

# Réseaux 1

## Couche Physique

Codage et transmission de données

**Abdelkader OUALI**

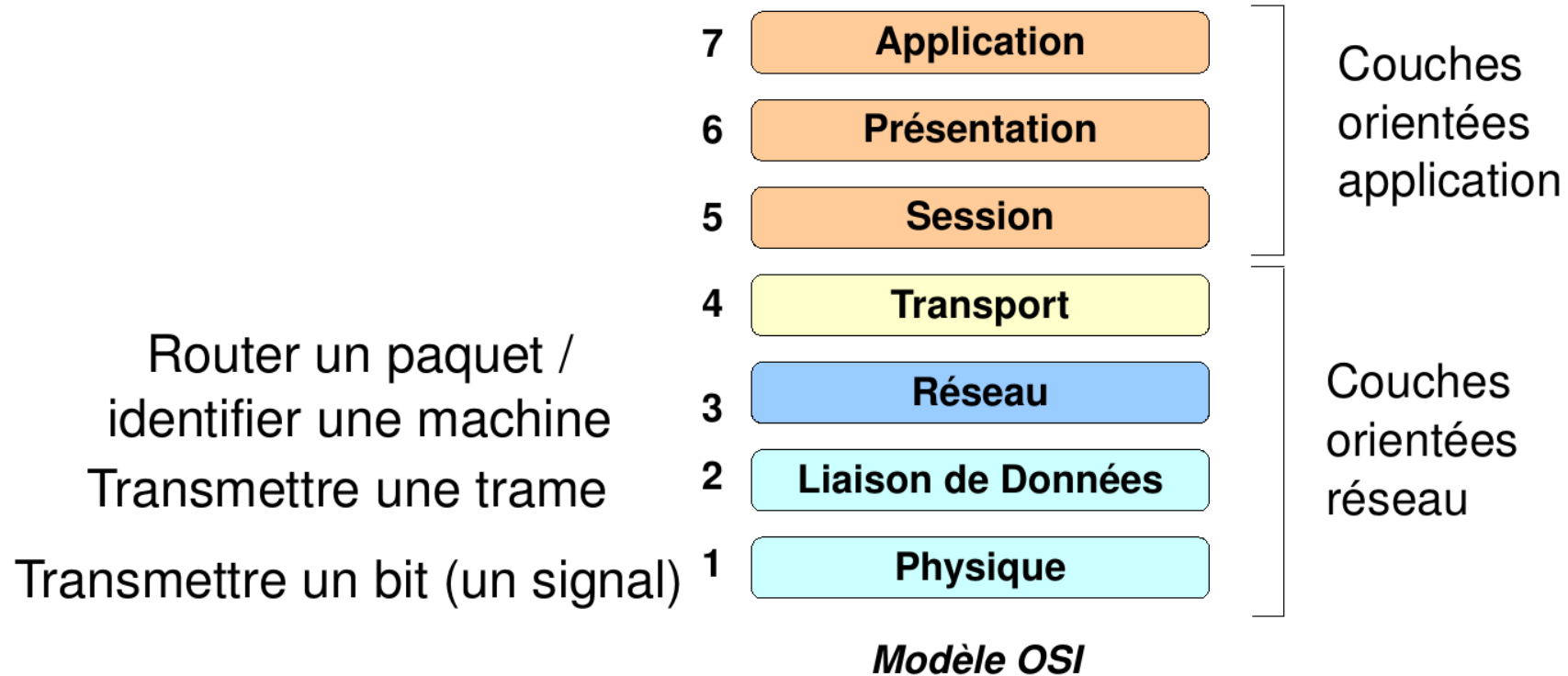
Université de Caen Normandie  
Laboratoire GREYC

[abdelkader.ouali@unicaen.fr](mailto:abdelkader.ouali@unicaen.fr)

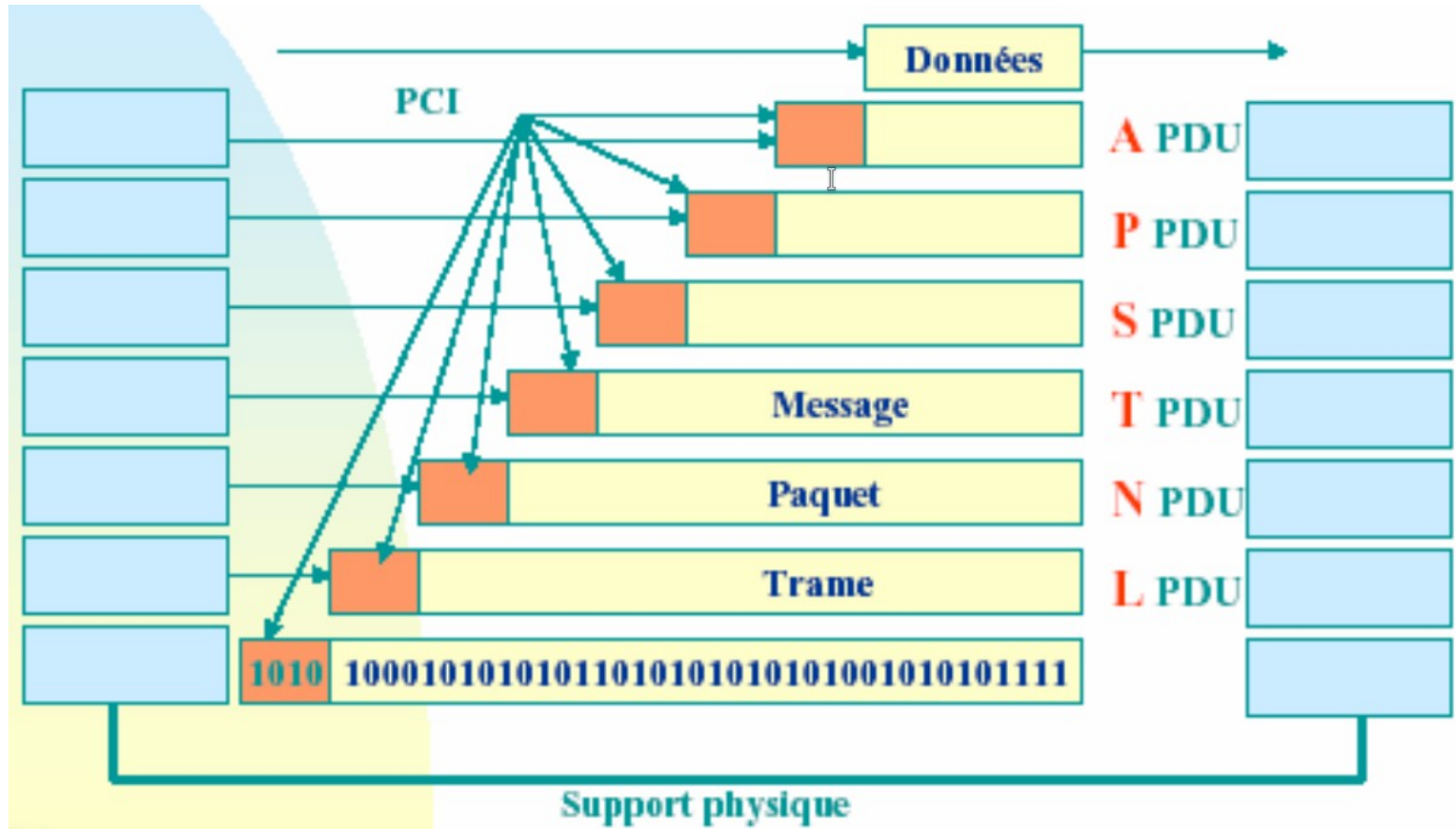
# Plan

- **Rappel**
  - Modèle OSI
  - Supports de transmission
- **Donnée et signal**
  - Analogique et numérique
  - Signal Analogique Periodique
  - Signal Numérique
  - Performance
- **Transmission**
  - Analogue et Numérique
  - Modes

# Modèle OSI

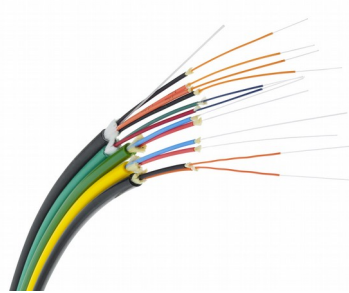
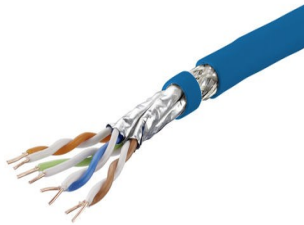


# Encapsulation et décapsulation



# Supports de transmission

- Le support transporte des signaux, **un à la fois**, pour représenter les **bits** qui composent la trame
- **Trois formes élémentaires** des supports réseaux sur lesquels les données sont représentées :
  - Câble de cuivre
  - Fibre optique
  - Ondes électromagnétiques



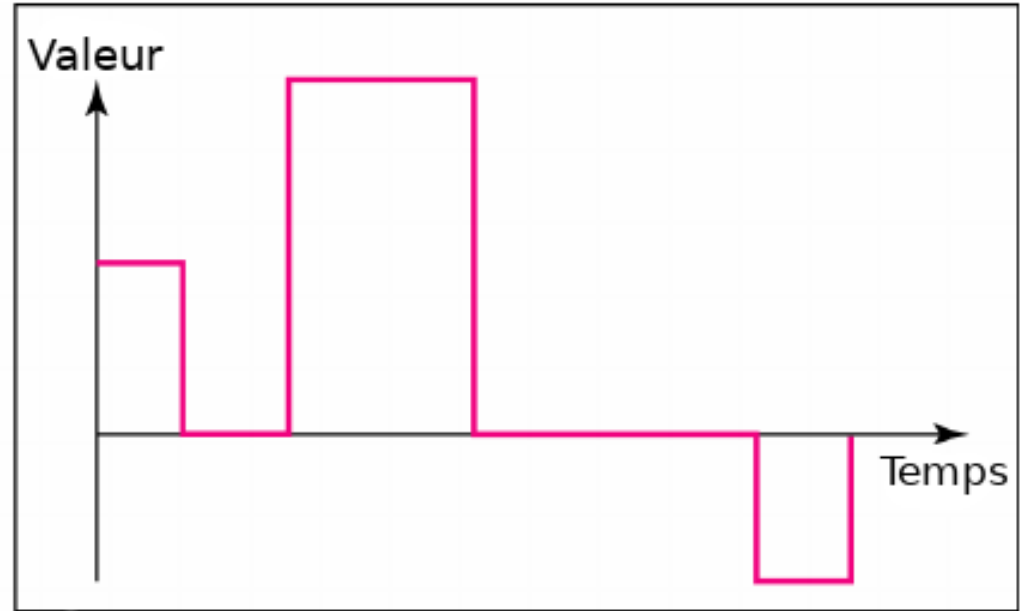
# Généralités

- Les données doivent être transformées en **signaux électromagnétiques** pour qu'elles puissent être transmises.
- Les **données** peuvent être **analogiques** ou **numériques** :
  - Analogiques : ont des états **continues**
  - Numériques : ont des états **discrets**
- Les **signaux** peuvent être **analogiques** ou **numériques**.
  - Analogique : un nombre **infini** de valeurs dans une plage
  - Numérique : un nombre **limité** de valeurs dans une plage

# Comparaison d'un signal analogique et numérique



a. Signal analogique



b. Signal numérique

# Signal périodique et apériodique

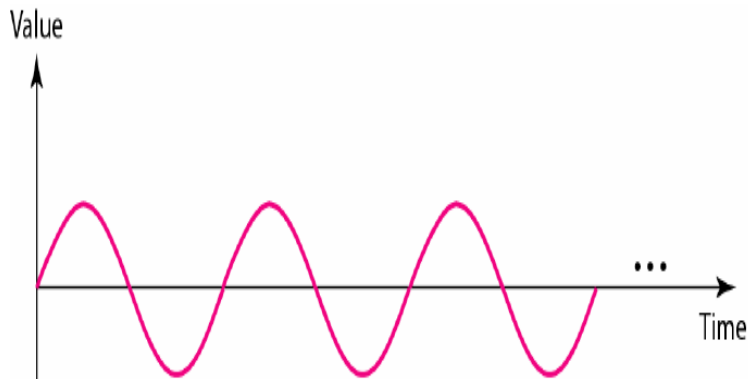
- Les signaux analogiques et numériques peuvent prendre l'une des deux **formes** suivantes :
  - **Périodique** : présence d'un **motif** dans une période de temps donnée et répétition de ce motifs sur des périodes identiques ultérieures
  - **Apériodique** : changement de signal **sans montrer** de motif ni de **cycle** qui se répète dans le temps
- En transmission de données, nous utilisons couramment des **signaux analogiques périodiques** et des signaux numériques non périodiques.



# Signal analogique périodique

- **Un signal analogique périodique** peut être classé comme :
  - **Simple** : une onde sinusoïdale qui **ne peut pas être décomposé** en signaux plus simples
  - **Composite** : composé de plusieurs ondes sinusoïdales

# Une onde sinusoïdale



Peut être représentée  
mathématiquement  
par :

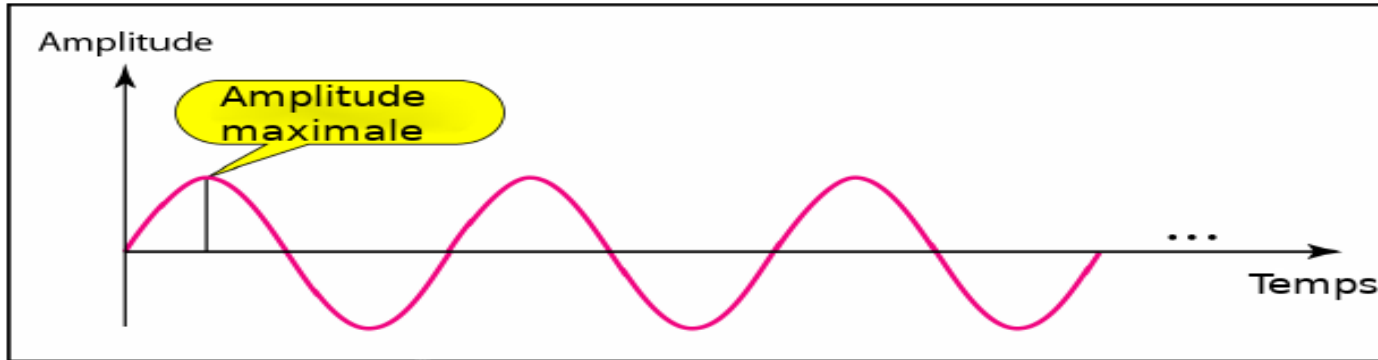
$$S(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

Où :

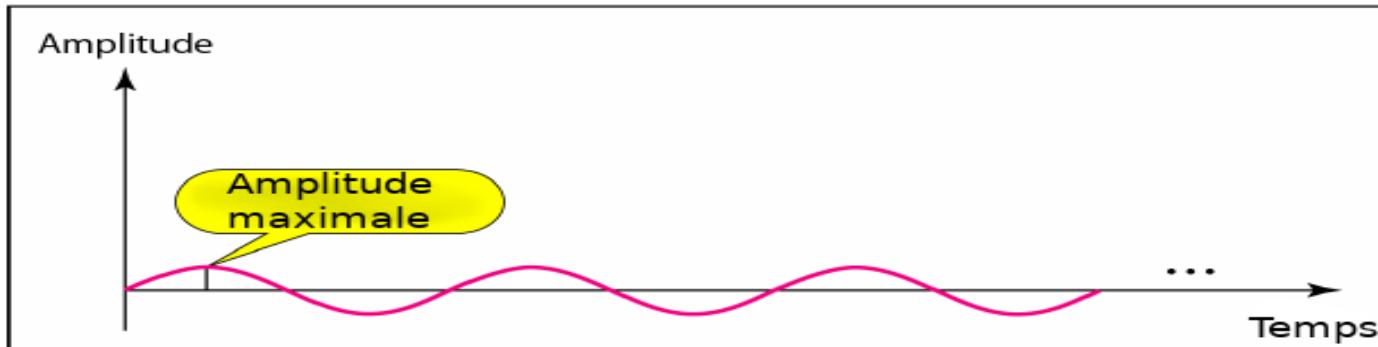
- **S** est l'amplitude instantanée
- **A** est l'amplitude maximale
- **f** est la fréquence
- **$\phi$**  est la phase
- **t** est le temps
- **$\pi$**  est une constante ( $\sim 3.14159$ )

# Une onde sinusoïdale

- Même **phase** et **fréquence**, mais **amplitudes différentes**



a. signal avec une amplitude maximale élevée



b. signal avec une amplitude maximale faible

# Période et Fréquence

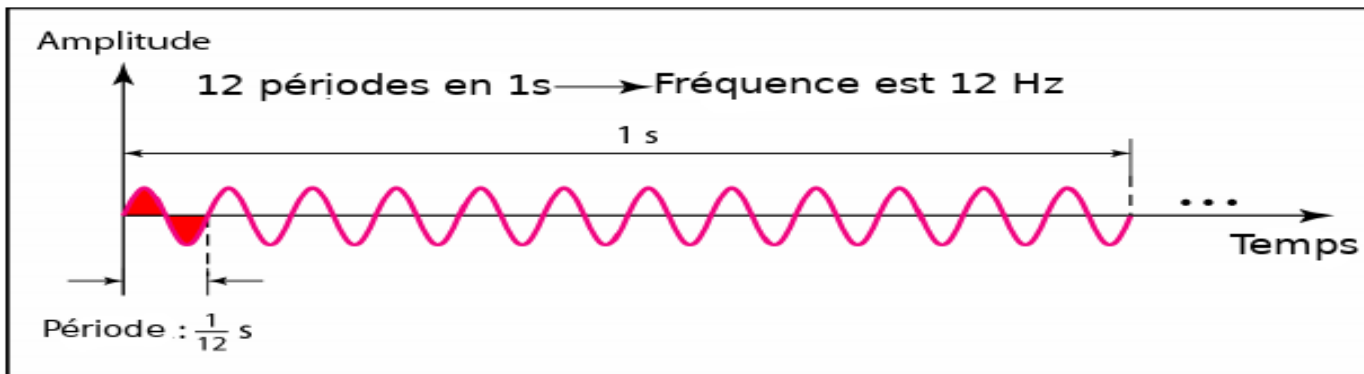
- **Période** : fait référence au temps, en secondes, requis pour qu'un signal complète 1 cycle
  - Noté par **T**, mesurée en **secondes**
- **Fréquence** : fait référence au nombre de périodes en une seconde
  - Noté **f**, mesurée en **hertz (Hz)**
- La **fréquence** et la **période** sont l'inverse de l'autre :

$$f = \frac{1}{T}$$

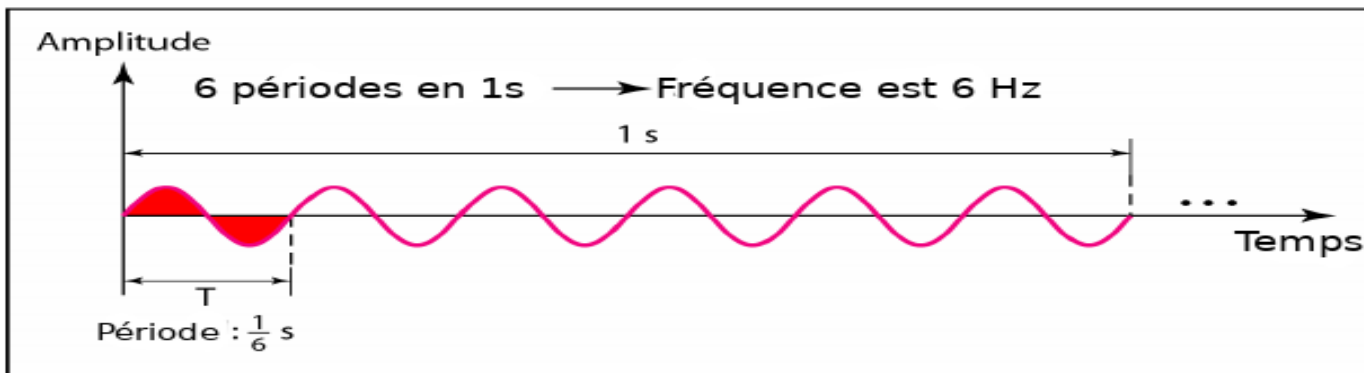
$$T = \frac{1}{f}$$

# Période et Fréquence

- Même **amplitude** et **phase**, mais **fréquences différentes**



a. Signal avec une fréquence 12 Hz



b. Signal avec une fréquence 12 Hz

# Unités de période et de fréquence

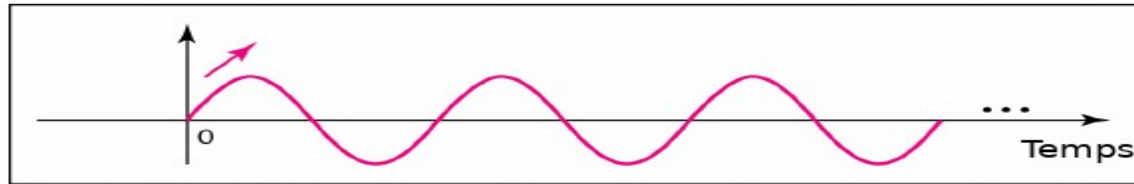
<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>	<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	$10^{-3}$ s	Kilohertz (kHz)	$10^3$ Hz
Microseconds ( $\mu$ s)	$10^{-6}$ s	Megahertz (MHz)	$10^6$ Hz
Nanoseconds (ns)	$10^{-9}$ s	Gigahertz (GHz)	$10^9$ Hz
Picoseconds (ps)	$10^{-12}$ s	Terahertz (THz)	$10^{12}$ Hz

# Fréquence

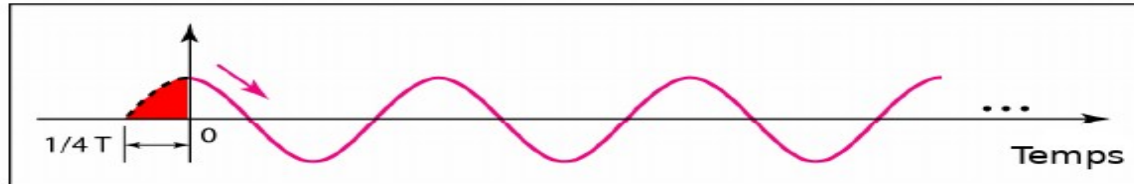
- La fréquence est le **taux de changement** dans le temps :
  - Changement dans un **court laps de temps** signifie **haute fréquence**
  - Changement sur une **longue période de temps** signifie **basse fréquence**.
- Si un signal ne change **pas du tout** :
  - sa fréquence est égale à **zéro**.
- Si un signal change **en continu** :
  - sa fréquence est **infinie**.

# Phase

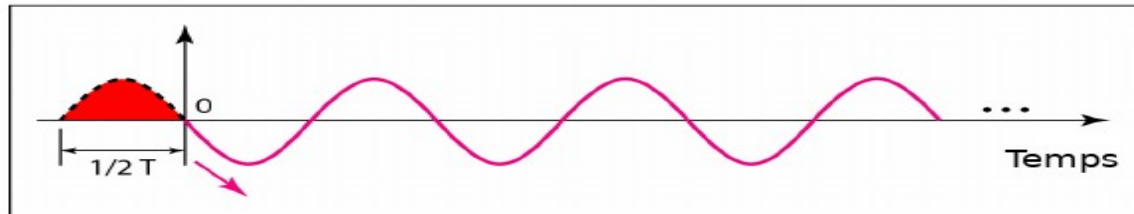
- Phase décrit la **position** et la **direction** du signal par rapport au **temps 0**
- Même **amplitude** et même **fréquence**, mais **phases différentes**



a. 0 degrés



b. 90 degrés

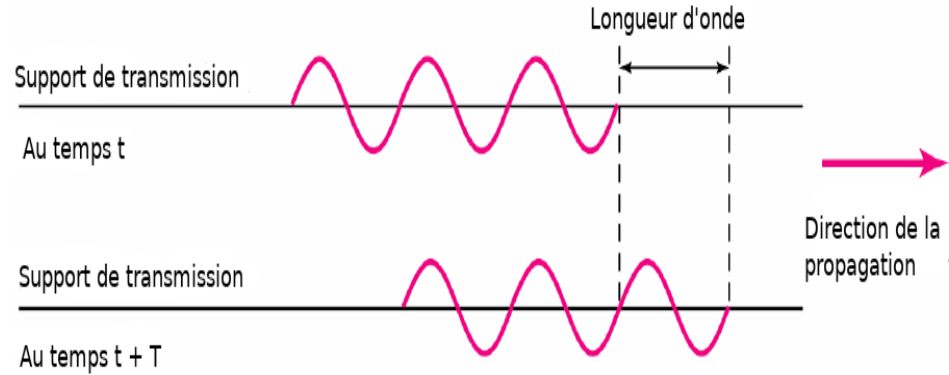


c. 180 degrés



# Longueur d'onde

- La **longueur d'onde** est une **autre caractéristique** d'un signal **voyageant** dans un support de transmission
- Elle dépend à la fois de la **fréquence** et du **support**
- Elle représente la **distance** qu'un signal peut parcourir sur une **période** de temps

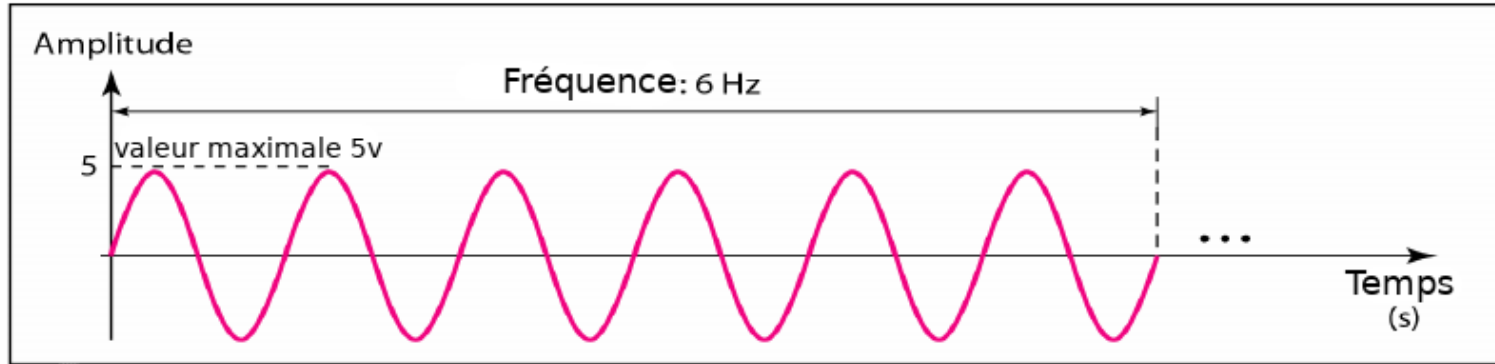


- Où :
  - $\lambda$  est la longueur d'onde
  - $c$  est la vitesse de la lumière ( $\sim 3 \times 10^8$  m / s)
  - $f$  est la fréquence

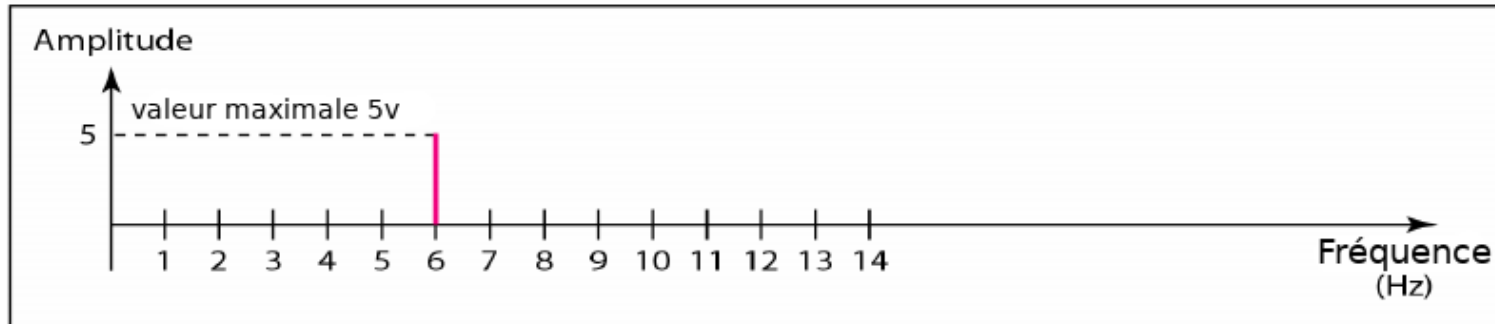
$$\lambda = c/f$$

# Représentation temporelle et fréquentielle

- Une onde sinus complète dans le **domaine temporel** peut être représentée par **une pointe** dans le **domaine fréquentiel**



a. une onde sinusoïdale dans le domaine temporel (valeur max. : 5v, fréquence : 6Hz)

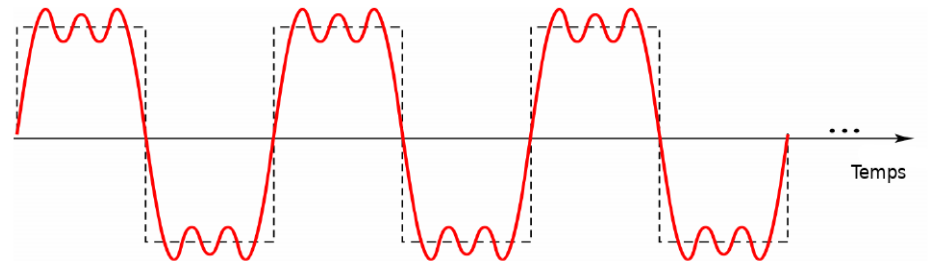


b. La même onde sinusoïdale dans le domaine fréquentiel (valeur max. : 5v, fréquence : 6Hz)

# Signal composite

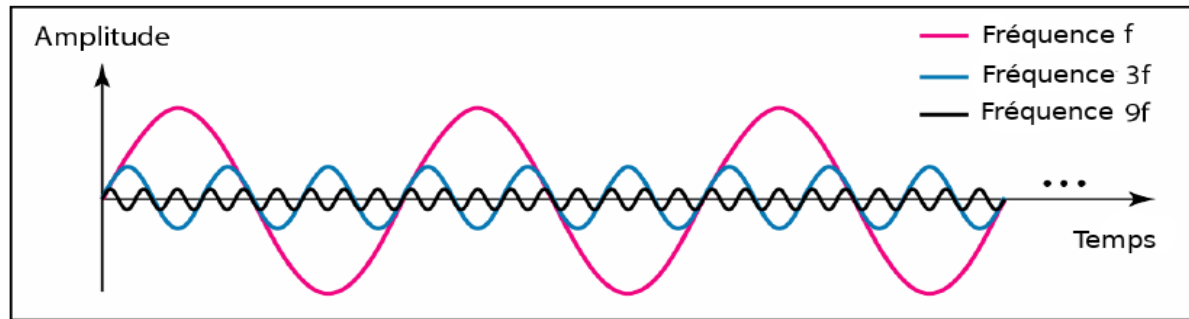
- Une onde sinusoïdale à fréquence **unique** n'est **pas utile** pour transmettre les données; on doit envoyer un **signal composite**, un signal composé de **nombreuses ondes sinusoïdales** simples.
- Selon l'analyse de **Fourier**, tout **signal composite** est une combinaison de **simples ondes sinusoïdales** de **fréquences**, d'**amplitudes** et de **phases** différentes.
- On peut réécrire un signal composite comme suit :

$$S(t) = \sum_{i=1}^n A_i \sin(2\pi f_i t + \phi_i)$$



# Décomposition du signal

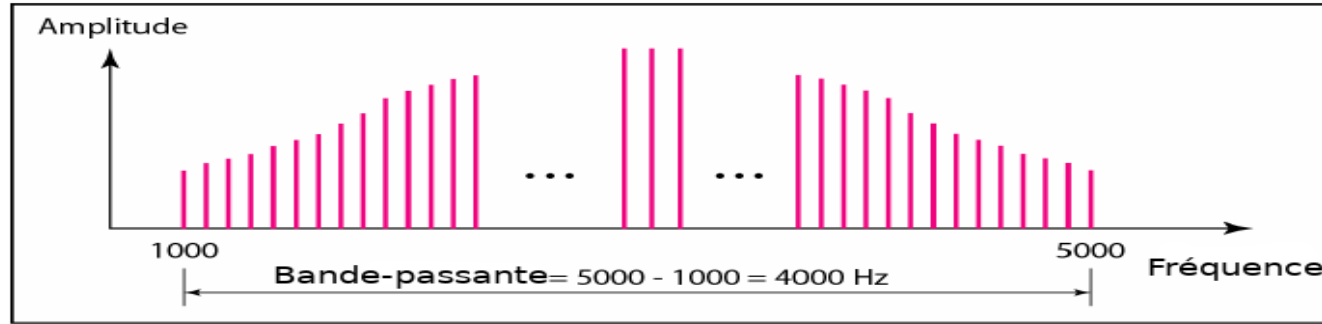
- Signal composite est **périodique** :
  - la décomposition donne une série de signaux à fréquences **discrètes**
- Signal composite est **non périodique** :
  - la décomposition donne une combinaison d'ondes sinusoïdales à fréquences **continues**



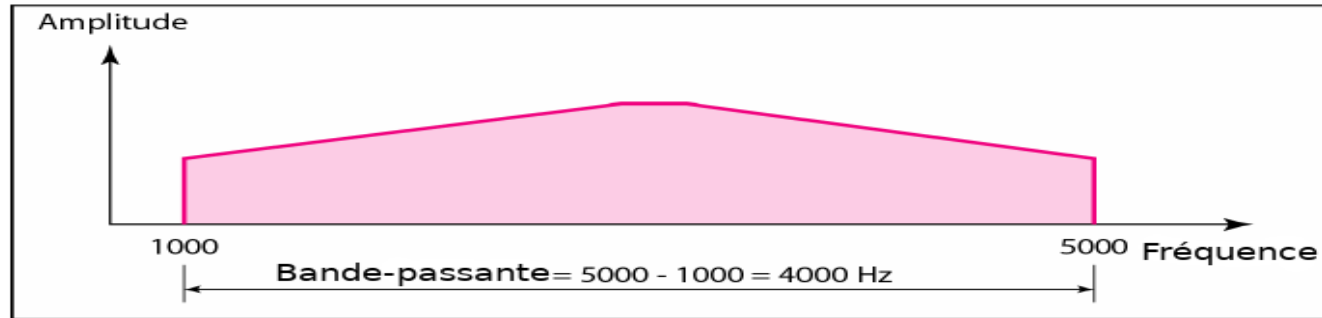
a. Décomposition d'un signal composite - domaine temporel

# Bande passante d'un signal composite

- La bande-passante d'un signal composite est la **différence** entre les **fréquences** les **plus élevées** et les **plus basses** contenues dans ce signal.



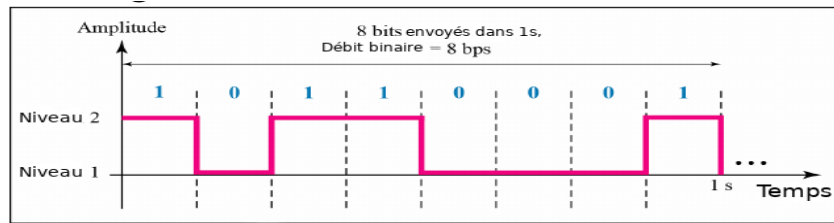
a. Bande-passante d'un signal périodique



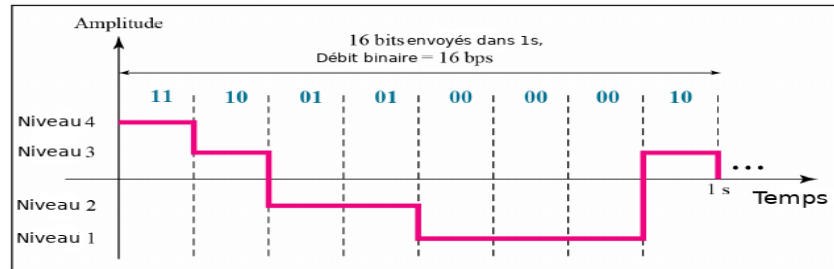
b. Bande passante d'un signal non périodique

# Signal numérique

- En plus d'être représentées par un **signal analogique**, les informations peuvent également être représentées par un **signal numérique**
- Par exemple, un **1** peut être codé par une tension positive et un **0** en tant par une tension nulle.
- Un **signal numérique** peut avoir **plus de deux** niveaux. Dans ce cas, nous pouvons envoyer **plus de 1 bit** pour chaque **niveau**
- **Débit binaire** (Bit rate) : nombre de bits émis par seconde



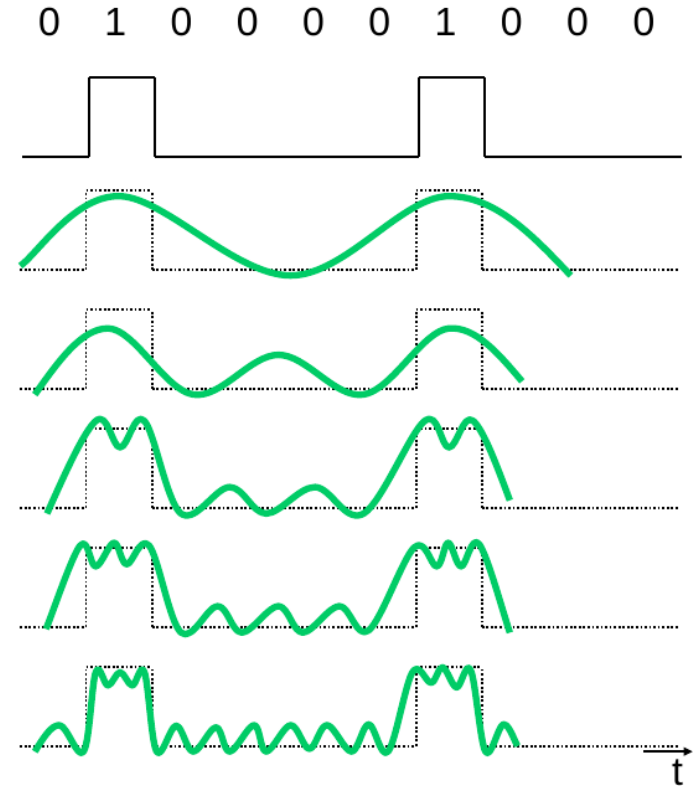
a. Signal numérique avec 2 niveaux



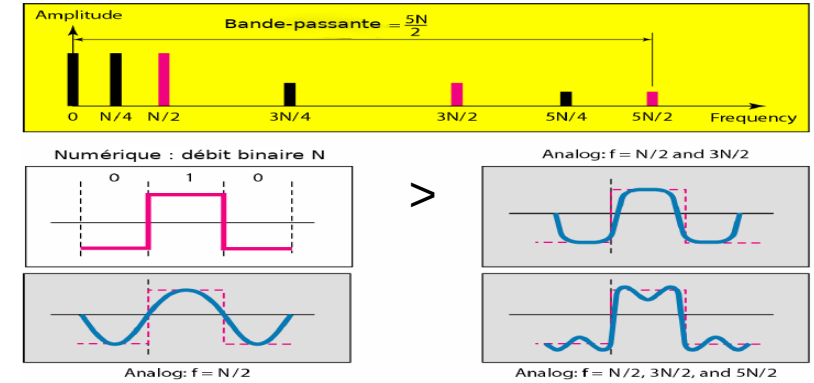
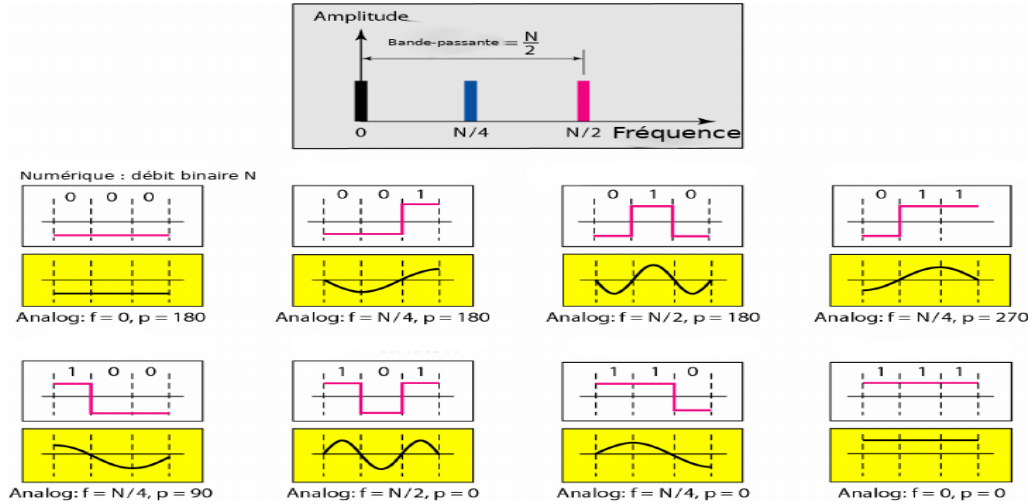
b. Signal numérique avec 4 niveaux

# Signal numérique

- Un signal numérique est un **signal analogique composite** avec une bande passante **infinie**
- Le taux de signal de bande passante de 2000 Hz serait nécessaire!
- Bande passante 500 Hz seulement 1er harmonique
- Bande passante 900 Hz 1er et 2ème harmonique
- Bande passante 1300 Hz 1er-3ème harmonique
- Bande passante 1700 Hz 1er au 4e harmonique
- Bande passante 2100 Hz harmoniques 1er à 5e



# Approximation d'un signal numérique en utilisant les harmoniques

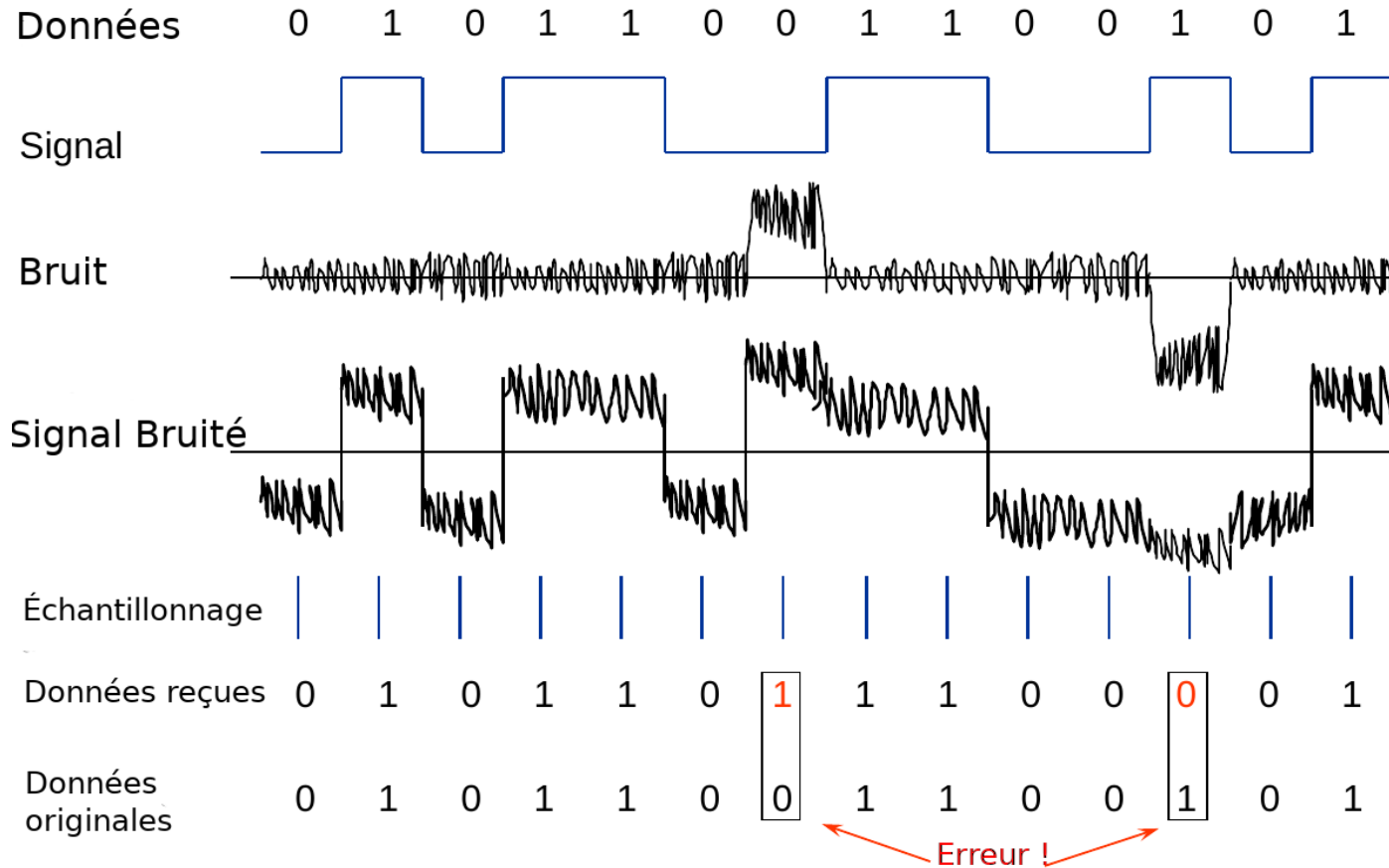


- Dans la transmission en **bande de base**, la bande passante requise est **proportionnelle** au débit binaire
- Si nous devons envoyer des bits plus **rapidement**, nous avons besoin de **plus** de **bande passante**

Bit Rate	Harmonic 1	Harmonics 1, 3	Harmonics 1, 3, 5
$n = 1$ kbps	$B = 500$ Hz	$B = 1.5$ kHz	$B = 2.5$ kHz
$n = 10$ kbps	$B = 5$ kHz	$B = 15$ kHz	$B = 25$ kHz
$n = 100$ kbps	$B = 50$ kHz	$B = 150$ kHz	$B = 250$ kHz



# Impact du bruit



# Signal à bruit (SNR)

- SNR est le rapport statistique entre la puissance du signal  $P_s$  et la puissance du bruit  $P_n$ ,  **$SNR = (P_s/P_n)$**
- Formule en décibels

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} SNR$$

- Un facteur très important en transmission de données est à quelle **vitesse** nous pouvons envoyer des données, en bits par seconde (bps), sur un canal ?
- Le débit de données dépend de **trois facteurs** :
  - La **bande passante** disponible
  - Le **niveau** des signaux que nous utilisons
  - La **qualité** du canal (le niveau de **bruit**)

## Capacité d'un canal de transmission

- Pour un canal sans bruit, la formule de débit de **Nyquist** définit le débit théorique maximal :

$$C = 2 B \log_2 L$$

- Où :
  - **C** est la capacité du canal ou le débit en bps
  - **B** est la bande passante en Hz
  - **L** est le nombre des niveaux utilisés de signal pour représenter des données
- En réalité, on ne peut pas avoir un canal sans bruit; le canal est **toujours bruité** !
- Dans ce cas, la formule de **capacité de Shannon** est utilisée pour déterminer le débit de données **théorique le plus élevé** pour un canal bruité :

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR})$$

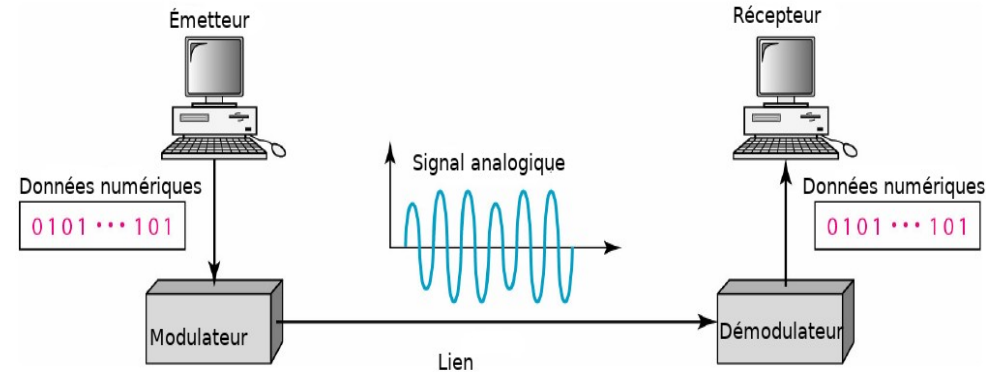
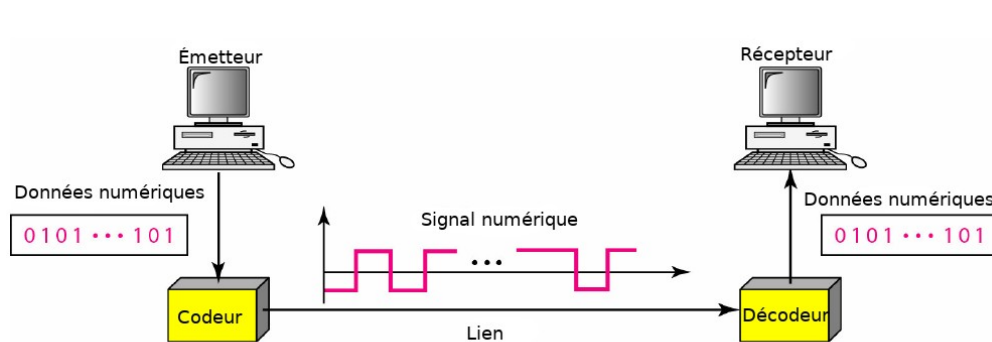
- **C** est la capacité du canal en bps
- **B** est la bande passante en Hz
- **SNR** est le rapport signal sur bruit

# Capacité et représentation

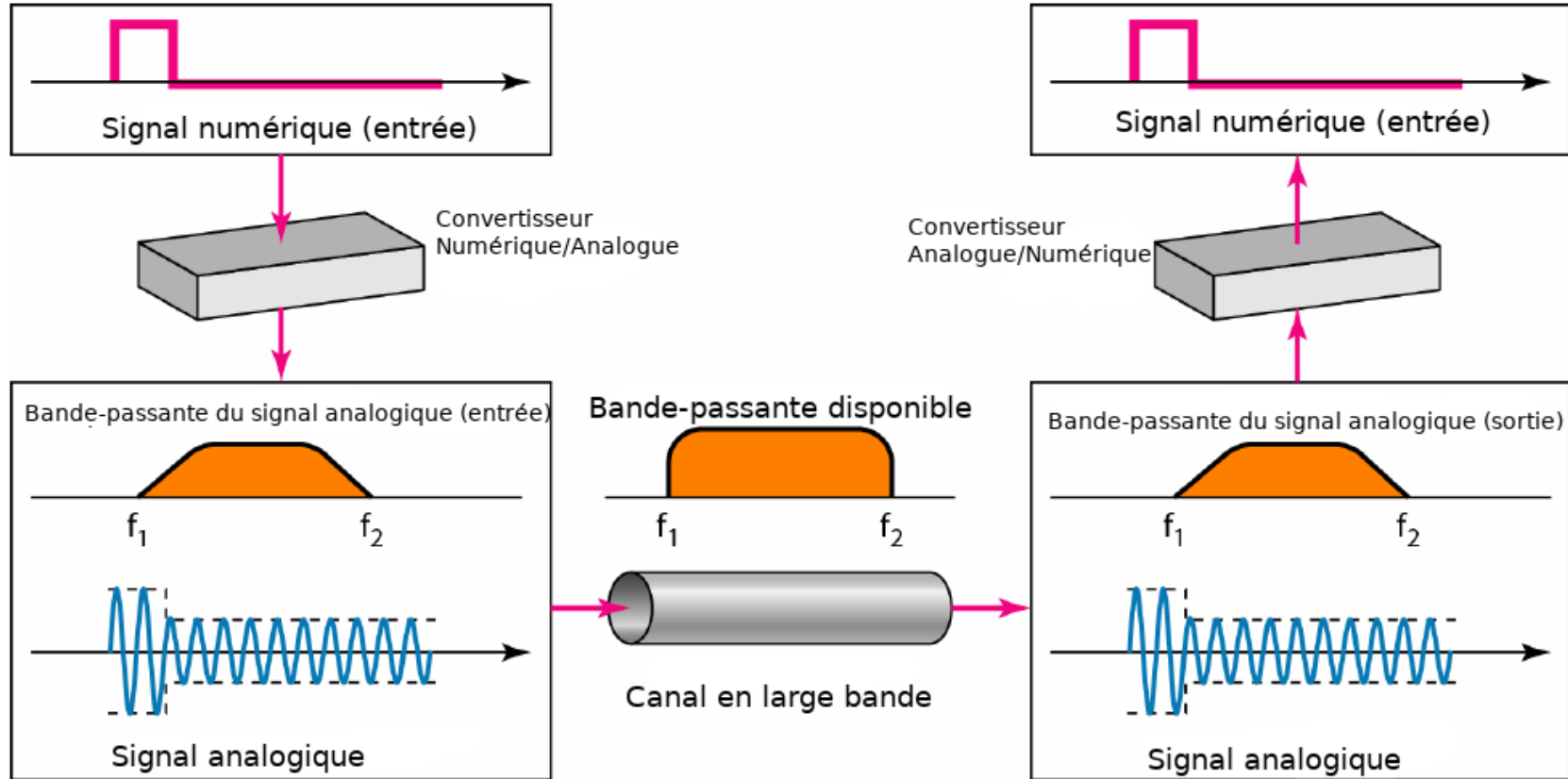
- La **capacité de Shannon** nous donne la **limite supérieure** du canal de transmission
- La formule de **Nyquist** nous dit combien de **niveaux** de signal dont on a **besoin** pour la transmission des données.

# Transmission de données

- Un signal numérique peut être transmis soit en bande de base soit en large bande
  - **Bande de base** : envoi un signal numérique **sans** le changer en signal analogique
  - **Large bande** : envoi un signal numérique **après avoir changé** son état en signal analogique



# Modulation d'un signal numérique pour la transmission sur un canal large-bande

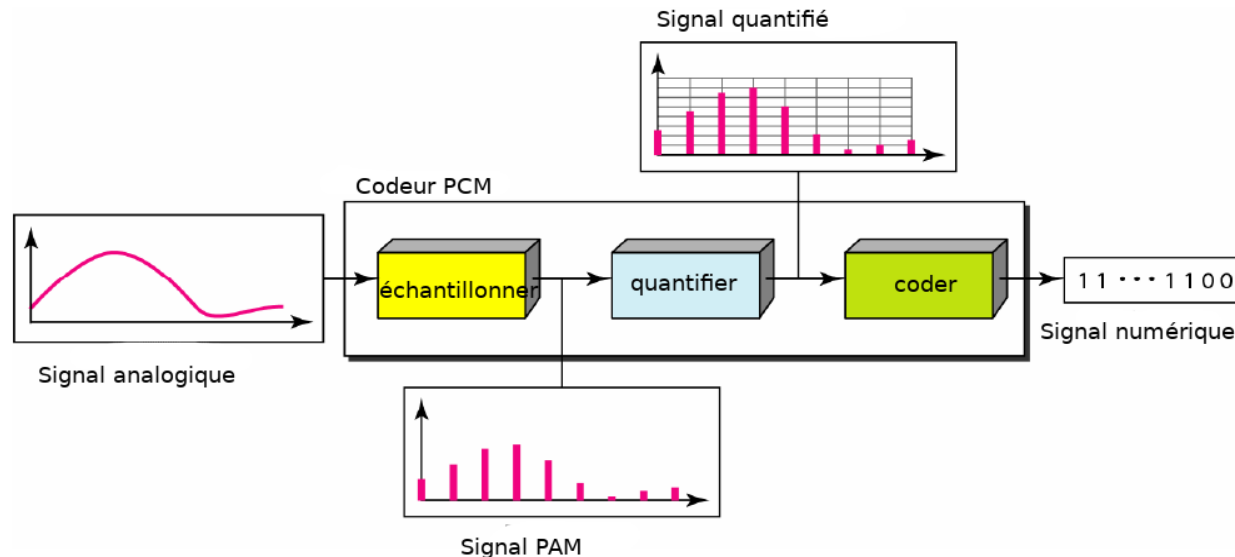


# Conversion analogique-numérique

- **Pulse Amplitude Modulation (PAM) :**
  - 1) Reçoit un signal analogique,
  - 2) **Échantillonnage**
  - 3) Génération d'une série d'impulsions basées sur les résultats de l'échantillonnage.
- **Échantillonnage :** mesurer l'amplitude du signal à des intervalles égales

# Conversion analogique-numérique

- **PAM** n'est pas utile pour la transmission de données car :
  - les impulsions générées d'un signal analogique ont toujours une amplitude quelconque.
- Pour les rendre numériques, nous les modifions en utilisant **Pulse Code Modulation (PCM)**





# Performance

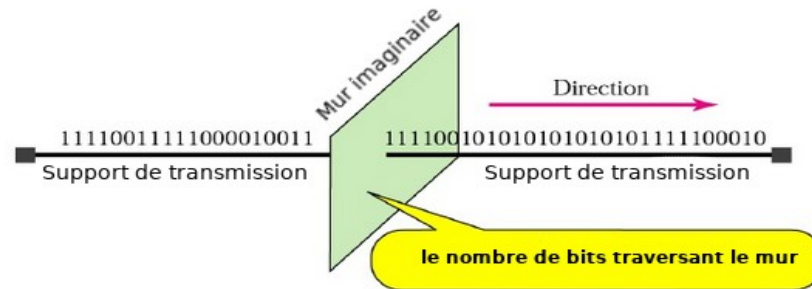
- Une question importante dans la mise en réseau est la **performance** du réseau :
  - à quel point correspond la performance du réseau ?
- **Mesures :**
  - **Bande passante**
  - **Débit**
  - **Latence**

# Bande passante

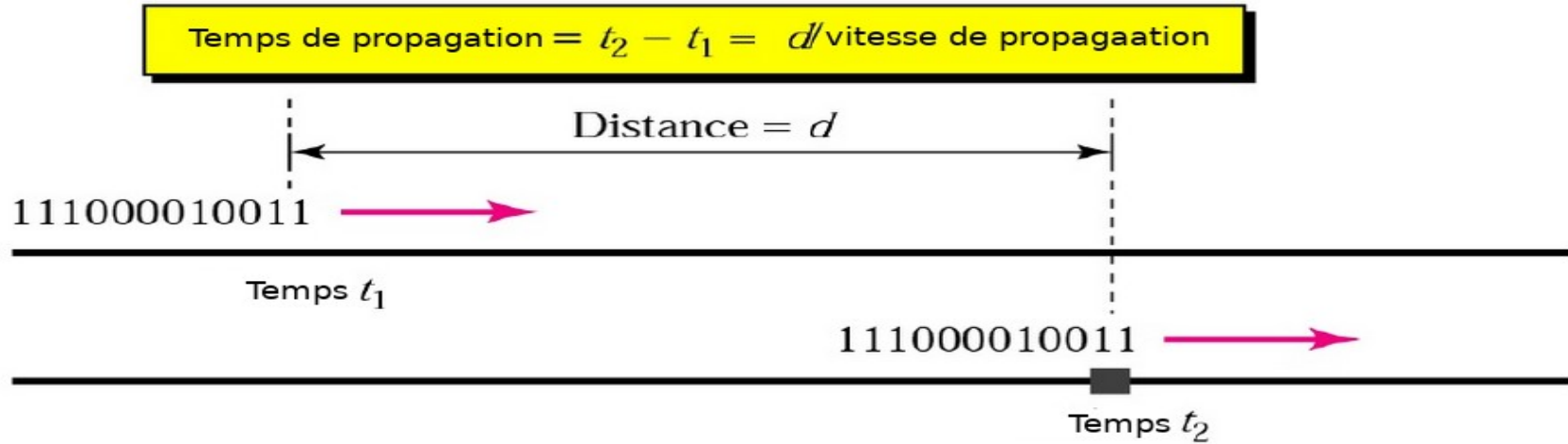
- Deux contextes :
  - Bande-passante en **hertz**, fait référence à la **plage** de fréquences d'un signal composite ou à la plage de fréquences qu'un canal peut transmettre
  - Bande-passante en **bits par seconde**, fait référence à la **vitesse** de transmission des bits dans un canal ou un lien.

# Débit

- Mesure de **transfert de bits** sur le support pendant une **période donnée**
- Suite à un certain nombre de facteurs ne correspond pas à la bande passante spécifiée dans la mise en œuvre de couche physique (Ethernet)
- Le débit est calculé comme suit:
  - Débit = trames par seconde x bits par trame
  - Débit = Taille / Temps



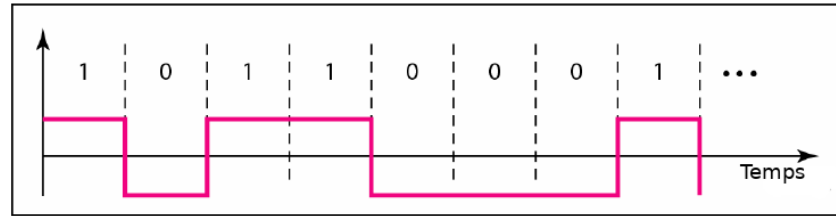
# Temps de propagation



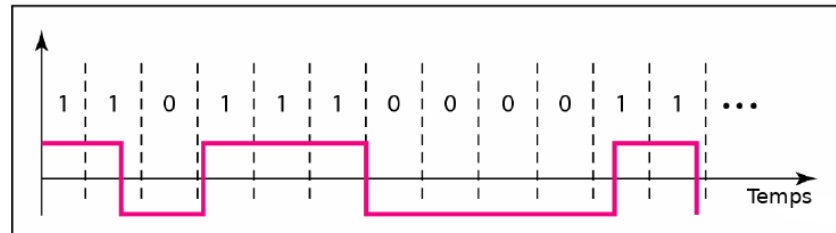
- Temps de transmission = Taille (ou Longueur) / débit (de la liaison)
- Temps de transmission  $\geq 2 * \text{Temps de propagation}$

# Synchronisation

- Un signal numérique à synchronisation automatique comprend des informations de synchronisation dans les données en cours de transmission
- Peut être réalisé s'il y a des transitions dans le signal qui avertissent le récepteur du début, du milieu ou de la fin de l'impulsion.
- Si l'horloge du récepteur n'est pas synchronisée, ces points d'alerte peuvent réinitialiser l'horloge.

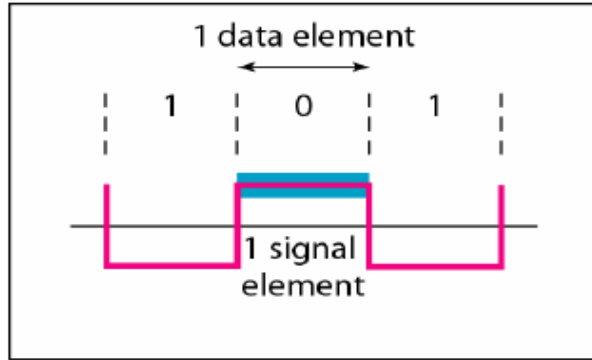


a. Envoyé

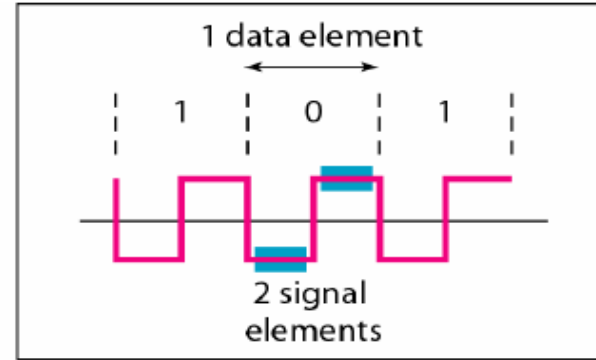


b. Reçu

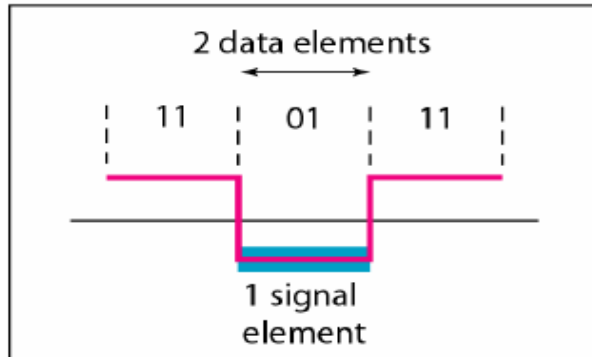
# Élément de données et élément de signal



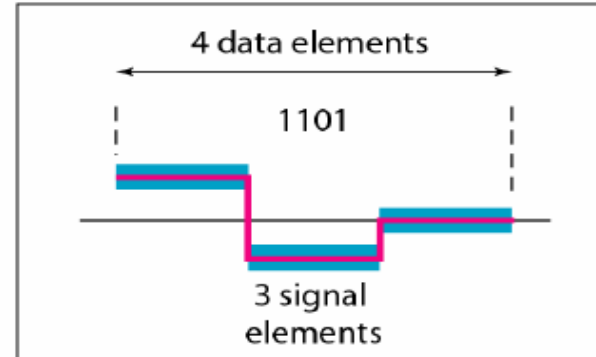
a. 1 élément de données par 1 élément du signal  
( $r = 1$ )



b. 1 élément de données par 2 éléments du signal  
( $r = \frac{1}{2}$ )



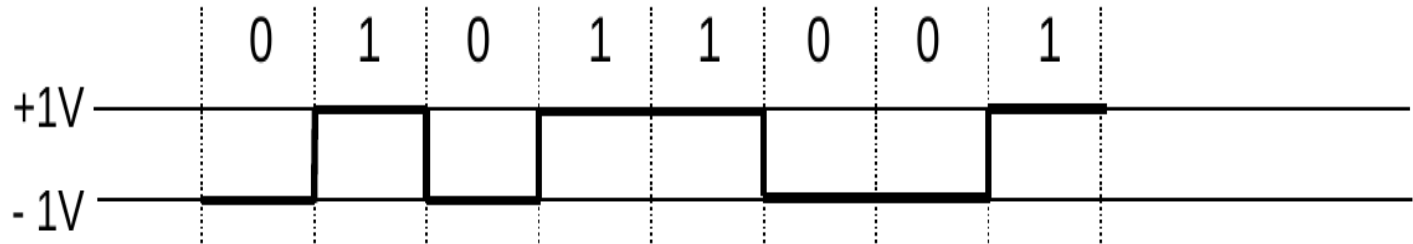
c. 2 éléments de données par 1 élément du signal  
( $r = 2$ )



d. 4 éléments de données par 3 éléments du signal  
( $r = \frac{4}{3}$ )

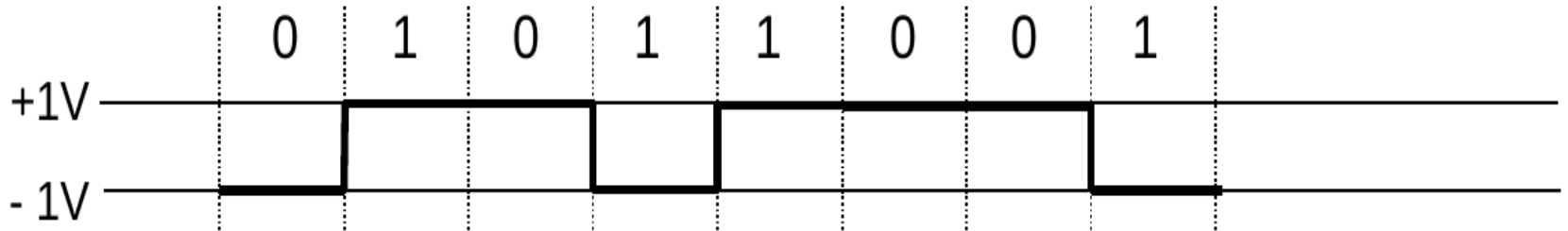
# NRZ (non retour à zéro)

- Approche simple :
  - coder « 1 » avec une tension **positive** (+1V)
  - coder « 0 » avec une tension **négative** (-1V)
- **Avantage :**
  - **Plus** la période d'impulsion est courte, **plus** le débit de données est élevé
- **Désavantage :**
  - **Perte** de synchronisation d'horloge et de courant continu dans les **longues séries** de 0 ou 1



# NRZ différentiel

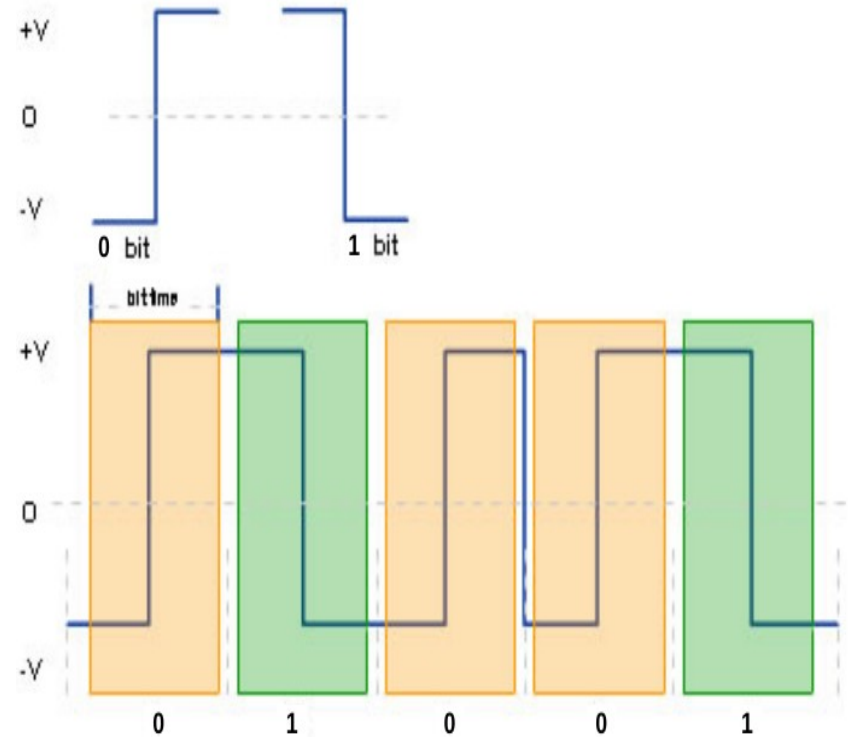
- Principe similaire à NRZ :
  - coder "1" lors du **changement** de **niveau** de tension
  - coder "0" **aucun changement** de **niveau** de tension
- **Inconvénient** :
  - **Désynchronisation** sur les séquences de **zéros**





# Codage Manchester

- **Principe :**
  - Pour un 1, une transition de tension **élevée** à **basse** au **milieu** du bit
  - Pour un 0, une transition de tension **basse** à **haute** au **milieu** du bit
- **Avantages :**
  - Synchronisation d'horloge avec chaque bit, pas de courant continu
  - Fin de la transmission facilement reconnaissable
- **Inconvénient :**
  - Pas assez efficace pour être utilisé à des vitesses de **signalisation** plus **élevées**

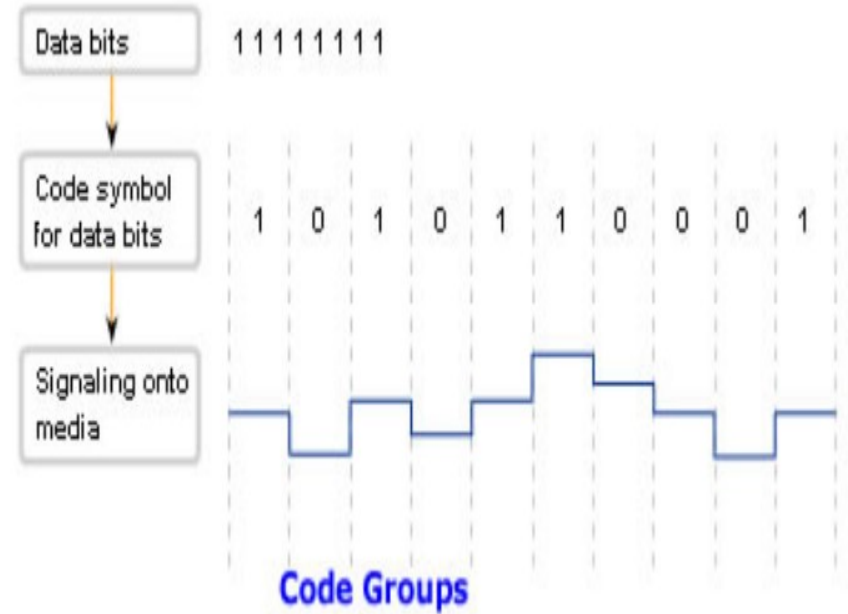


# Regroupement de bits

- En utilisant une étape de codage avant que les signaux ne soient placés sur le support, nous améliorons l'**efficacité** lors de la transmission de données à **grande vitesse**
- Utilisation d'un codage par mot pour représenter le **regroupement symbolique** de bits avant leur **présentation** au support
- Si on utilise un support plus rapide : la possibilité que les données soient corrompues est plus grande. **Détection** des **erreurs** plus **efficace** avec le groupement

# Regroupement de bits

- Un groupe de codes est une **séquence consécutive** de bits de code qui sont interprétés et **mappés** en tant que modèles de bits de données.
- Par exemple, les bits de code 10101 pourraient représenter les bits de données 0011. Ex du groupe de codes: 4B / 5B
- **Avantages :**
  - **Réduction de l'erreur** de niveau de bit
  - **Limiter l'énergie** effective transmise dans le média
  - Aider à **distinguer** les bits de **données** des bits de **contrôle**
  - **Meilleure détection** des erreurs du **support**



# 4B/5B

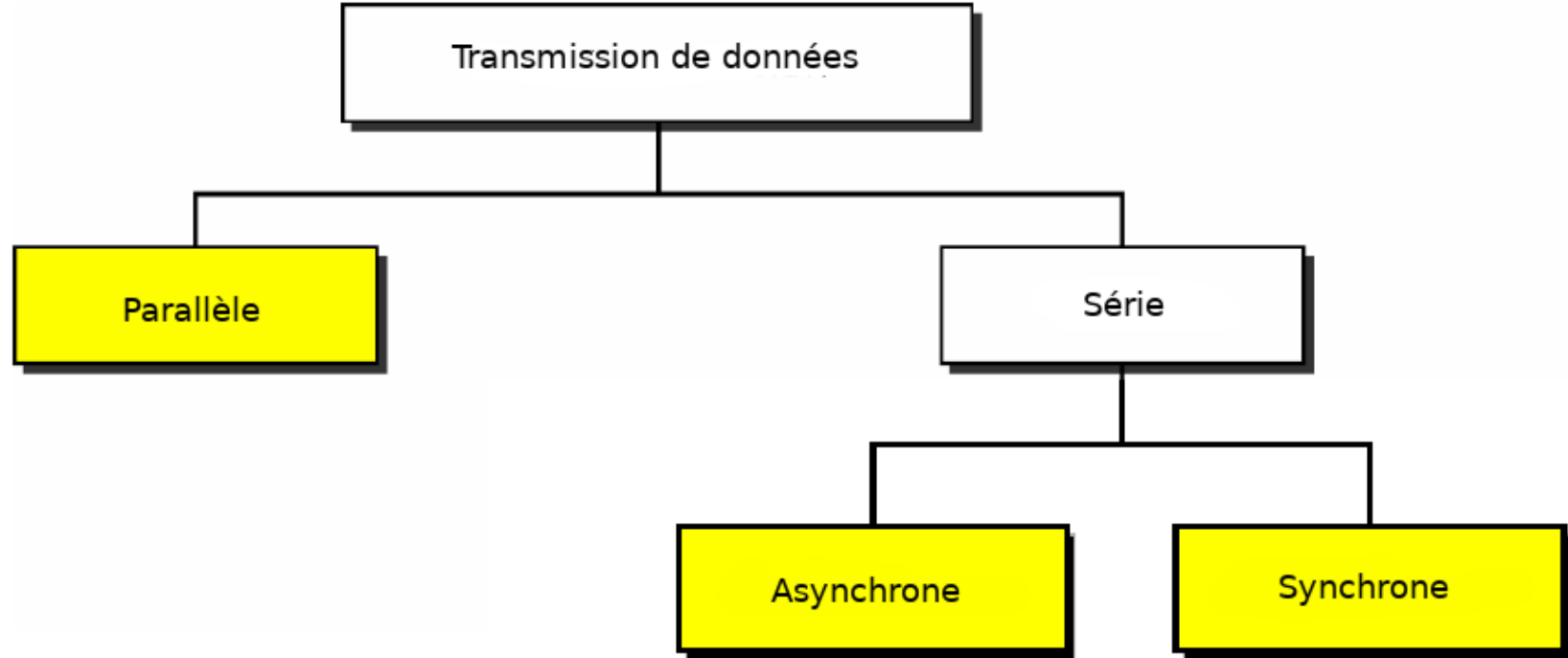
- Dans cette technique, 4 bits de données sont transformés en symboles de code à 5 bits pour la transmission sur le système du support.
- Dans 4B / 5B, chaque octet à transmettre est décomposé en morceaux ou en quartets de quatre bits et codé sous forme de valeurs à cinq bits, appelées symboles.
- Ces symboles représentent les données à transmettre ainsi qu'un ensemble de codes permettant de contrôler la transmission sur le support.
- Parmi les codes figurent des **symboles** indiquant le **début** et la **fin** de la transmission de trame.
- Bien que ce processus ajoute une **surcharge** aux transmissions de bits, il ajoute **également des fonctionnalités** facilitant la transmission de données à des vitesses plus élevées.

# 4B/5B

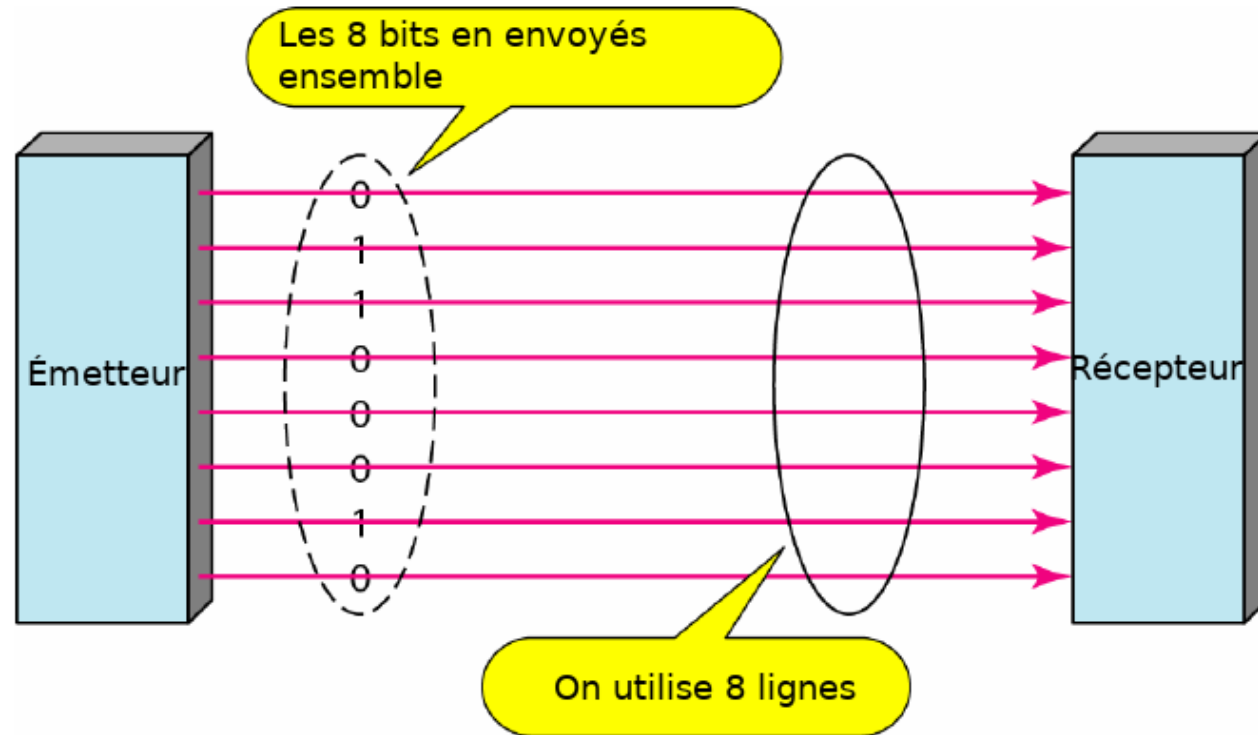
- **Inconvénient** du code Manchester:
  - 50% d'efficacité, 1B / 2B (un bit est codé sur deux bits)
- Une **amélioration** est donnée avec 4B / 5B :
  - quatre bits (donnés) sont codés en cinq bits (transmis): efficacité de 80%
- **Fonctionnalités :**
  - Changement de niveau avec 1, pas de changement de niveau avec 0 (code NRZ différentiel)
  - Prétraitement du flux de bits pour éviter les longues séquences de zéros:
    - Codage des caractères hexadécimaux: 0, 1, ..., 9, A, B, ..., F (4 bits en 5 bits)
    - Sélection des **16 plus favorables** parmi les **32 mots** de code possibles
    - (maximum 3 zéros en séquence)
    - Autres **combinaisons de 5 bits** pour les informations de **contrôle**

Decimal	Data	Transmitted	Symbol Assignment	
0	0000	00000	Quiet -line state	(status)
1	0001	00001	Invalid	
2	0010	00010	Invalid	
3	0011	00011	Invalid	
4	0100	00100	Halt -line state	(status)
5	0101	00101	Invalid	
6	0110	00110	Invalid	
7	0111	00111	R-Reset (logical 0)-control	(control)
8	1000	01000	Invalid	
9	1001	01001	Data	
10	1010	01010	Data	
11	1011	01011	Data	
12	1100	01100	Invalid	
13	1101	01101	T-Ending delimiter	(control)
14	1110	01110	Data	
15	1111	01111	Data	
16		10000	Invalid	
17		10001	K-starting delimiter	(control)
18		10010	Data	
19		10011	Data	
20		10100	Data	
21		10101	Data	
22		10110	Data	
23		10111	Data	
24		11000	J-starting delimiter	(control)
25		11001	S - set (logical 1) - control	(control)
26		11010	Data	
27		11011	Data	
28		11100	Data	
29		11101	Data	
30		11110	Data	
31		11111	Idle-line state	(status)

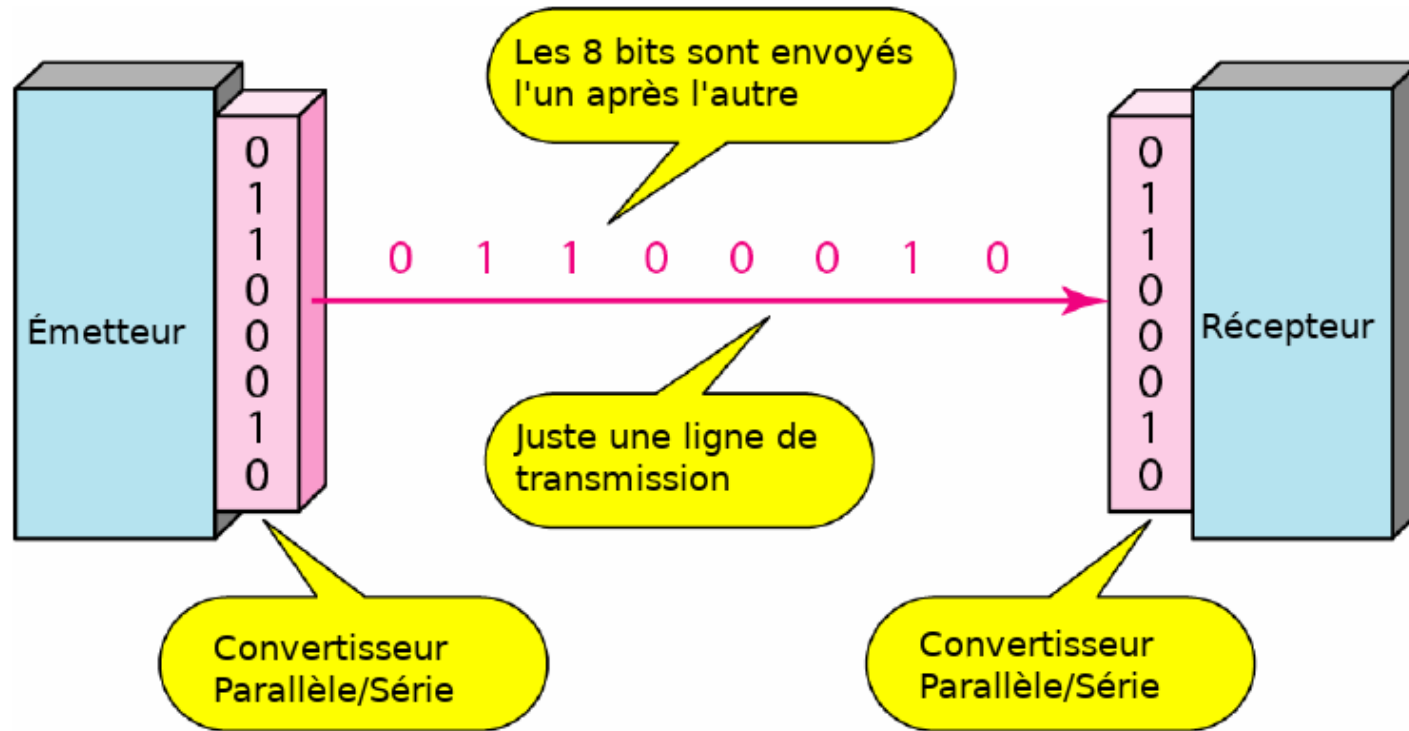
# Modes de transmission de données



# Transmission Parallèle

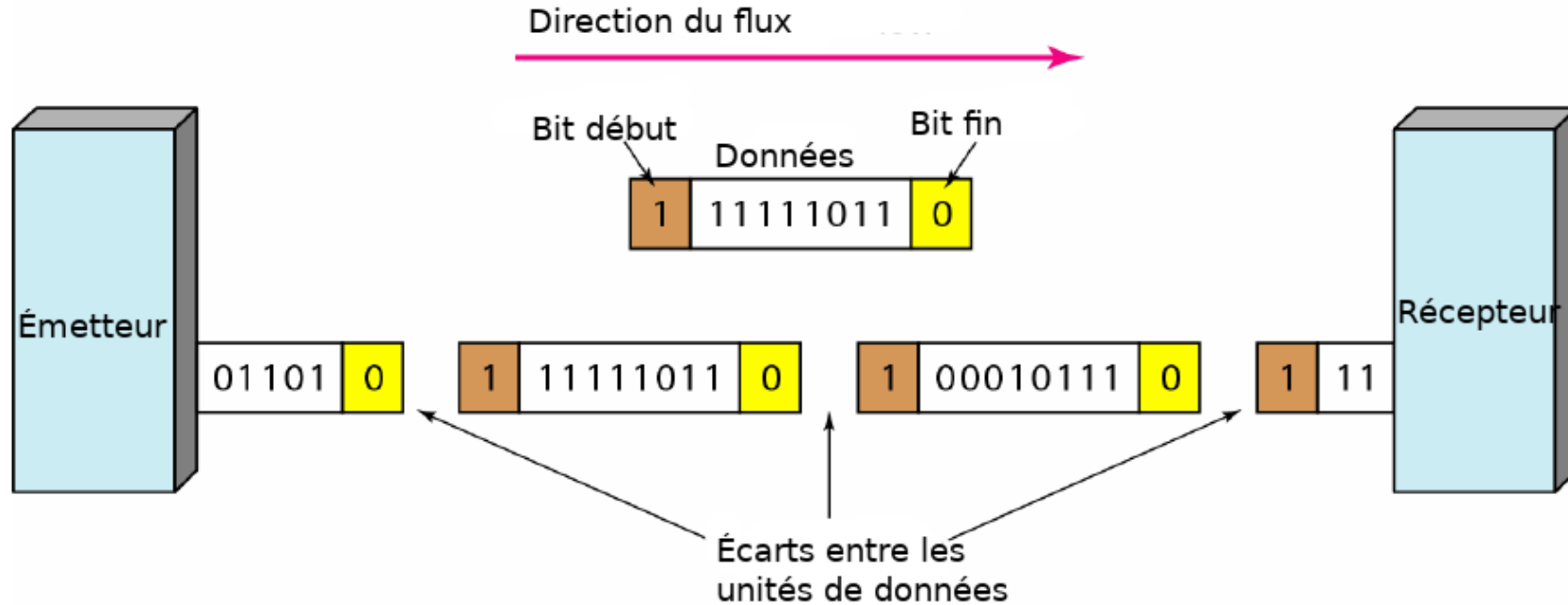


# Transmission en Série

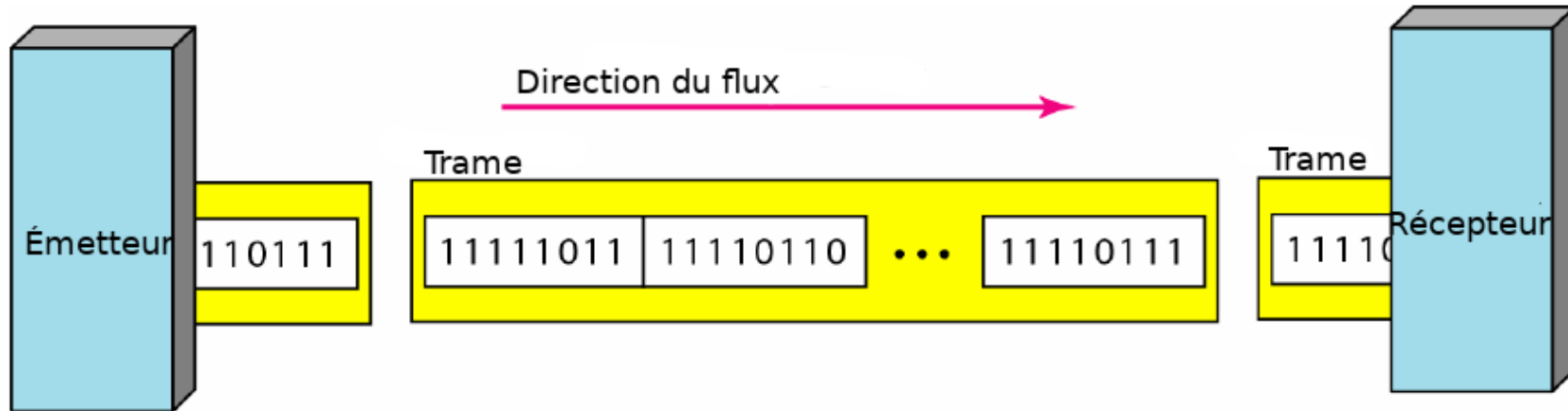




# Transmission Asynchrone



# Transmission synchrone



# Résumé