

Réseaux 1

Couche Physique

Codage et transmission de données

Abdelkader OUALI

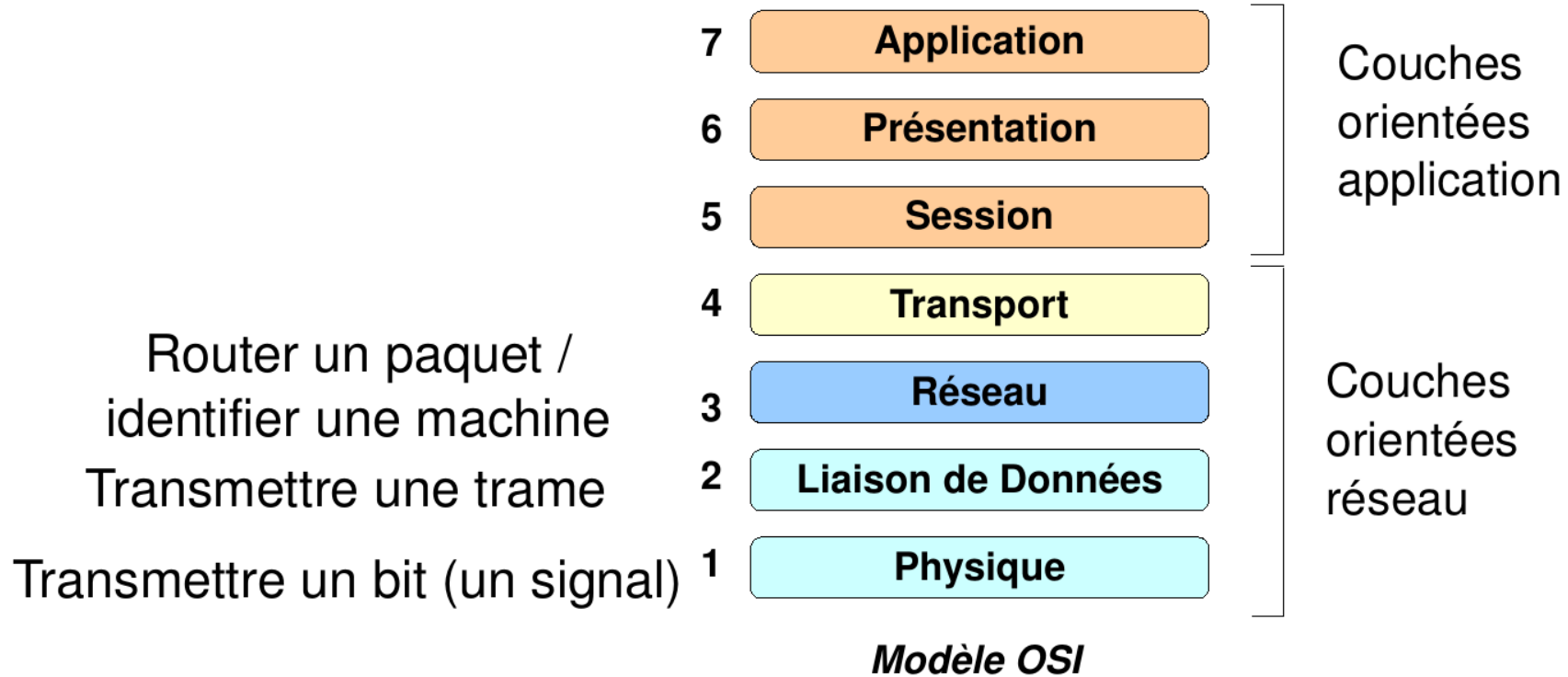
Université de Caen Normandie
Laboratoire GREYC

abdelkader.ouali@unicaen.fr

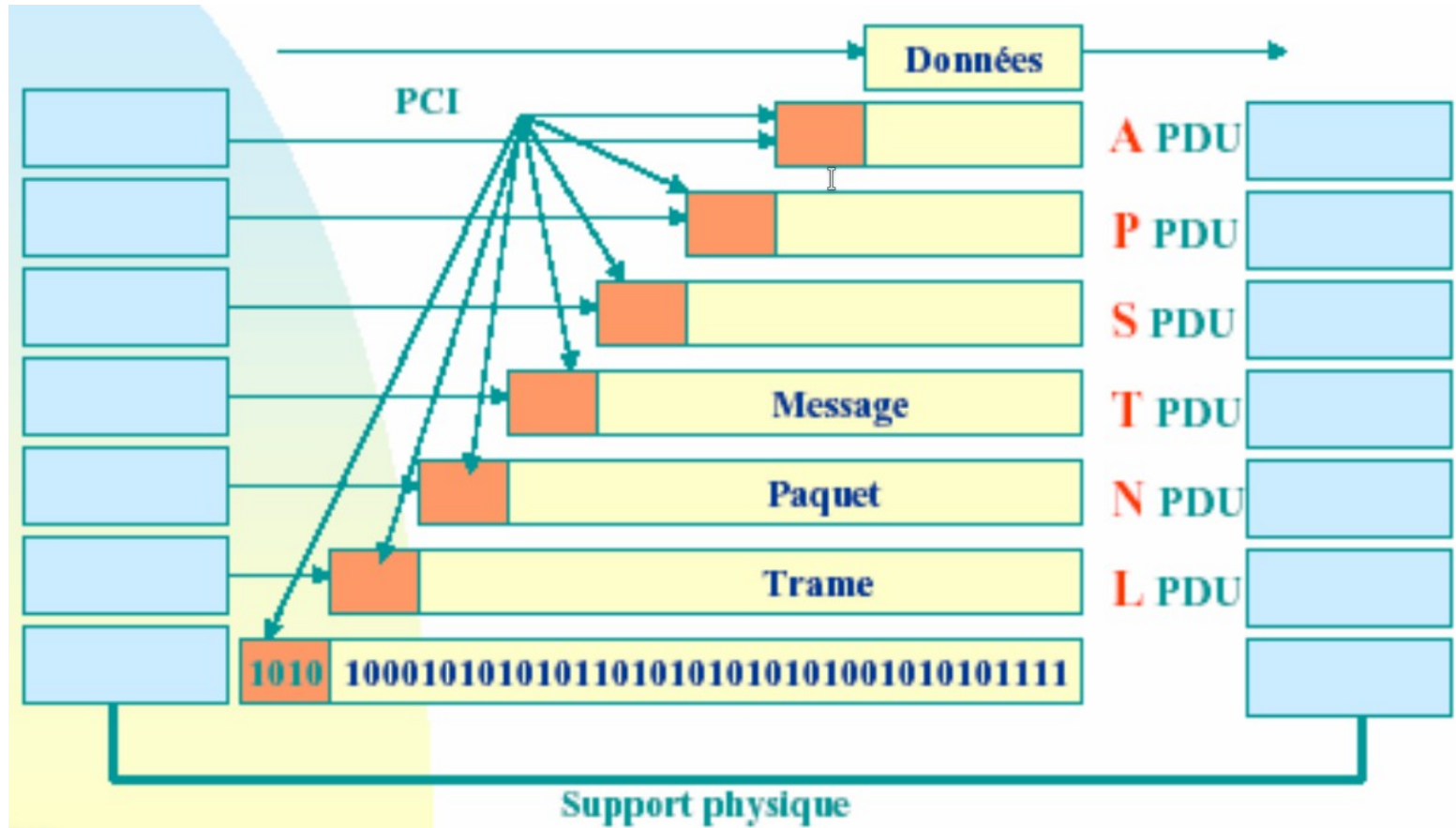
Plan

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

Modèle OSI

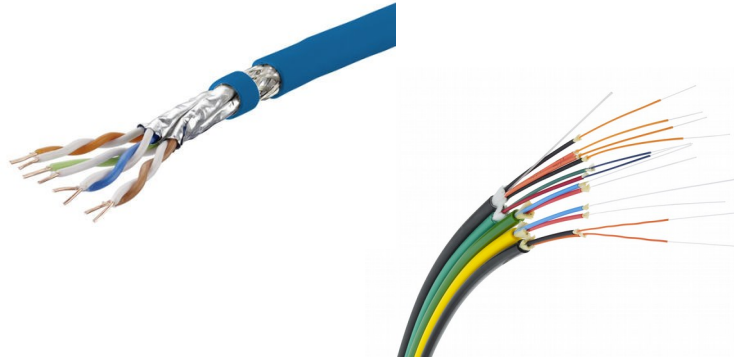


Encapsulation



Supports de transmission

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



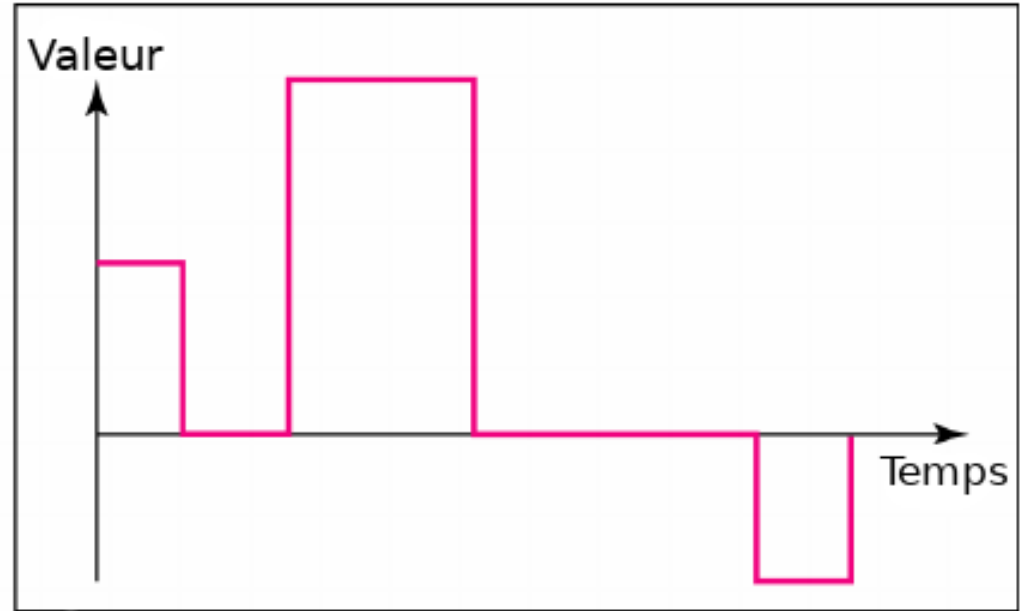
Généralités

- Pour être **transmises**, les données doivent être transformées en **signaux électromagnétiques**
- 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

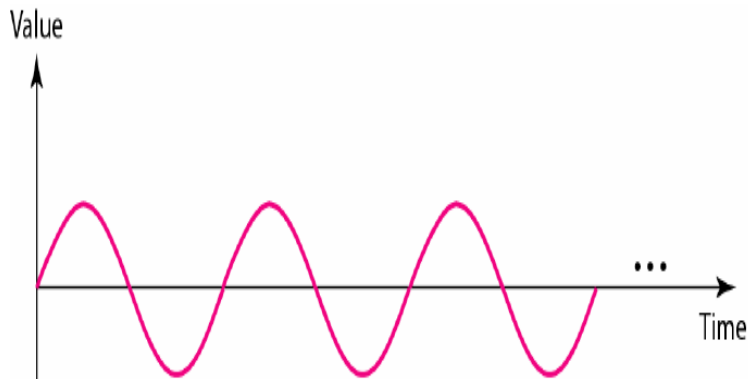
Signal périodique et apériodique

- Les signaux analogiques et numériques peuvent prendre l'une des deux **formes** suivantes :
 - **Périodique** : complète un **motif** dans une période de temps donnée, répète ce motif sur périodes identiques ultérieures
 - **Apériodique** : le signal change **sans montrer** de motif ni de **cycle** qui se répète dans le temps
- En communication 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, ne peut pas être décomposé en signaux plus simples
 - **Composite** : composé de plusieurs ondes sinusoïdales

Une onde sinusoïdale



Peut être représentée mathématiquement par :

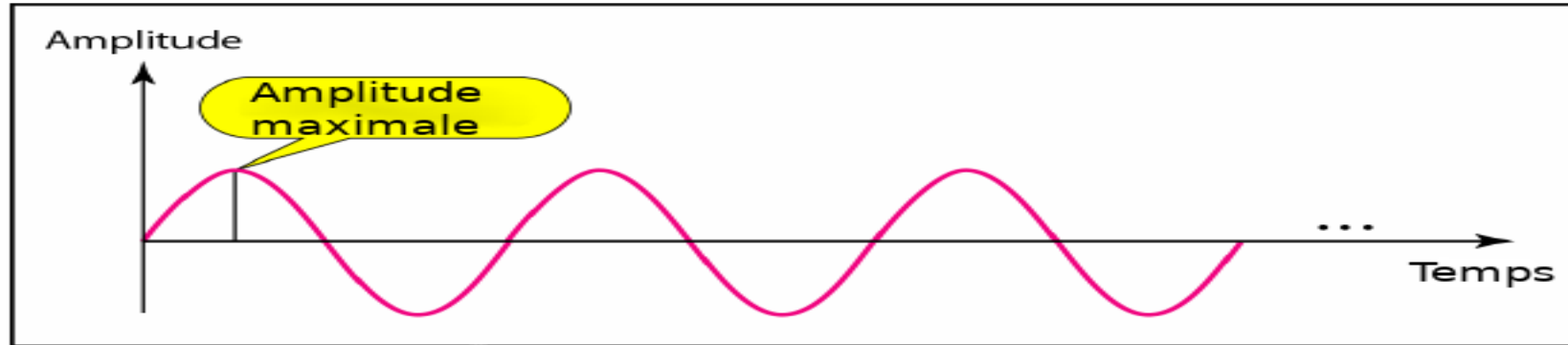
$$S(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

Où :

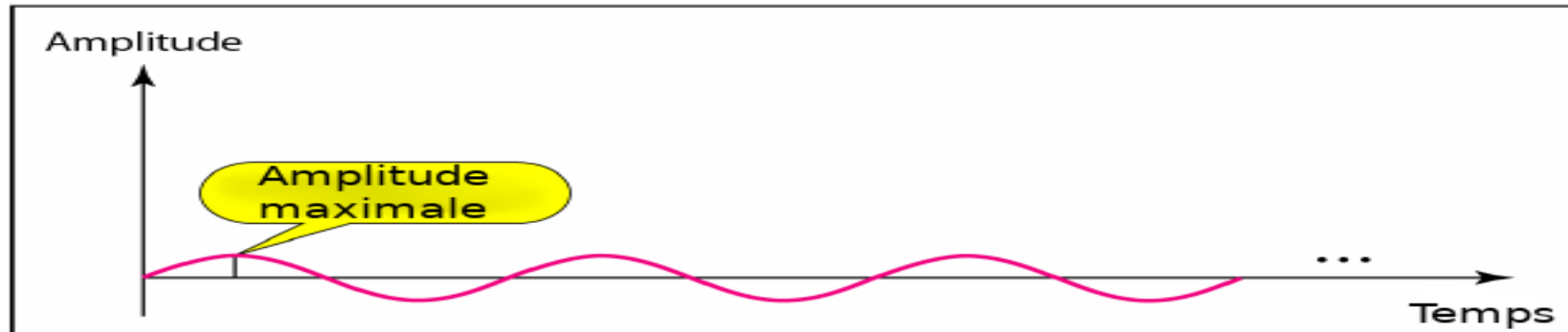
- **S** est l'amplitude instantanée
- **A** est l'amplitude maximale
- **f** est la fréquence
- **ϕ** est la phase
- **t** est le temps
- **π** est une constante (~ 3.14159)

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

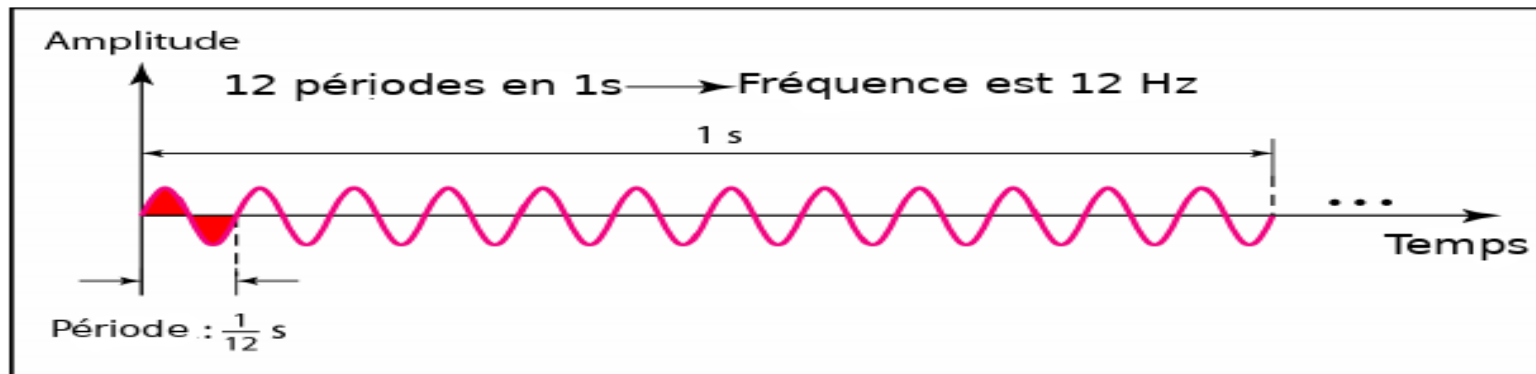
- **Période** : fait référence au temps, en secondes, requis pour qu'un signal complète 1 cycle
 - Noté par **T**, mesurée en **secondes**
- **Fréquence** : fait référence au nombre de périodes en une seconde
 - Noté **f**, mesurée en **hertz (Hz)**
- La **fréquence** et la **période** sont l'inverse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

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

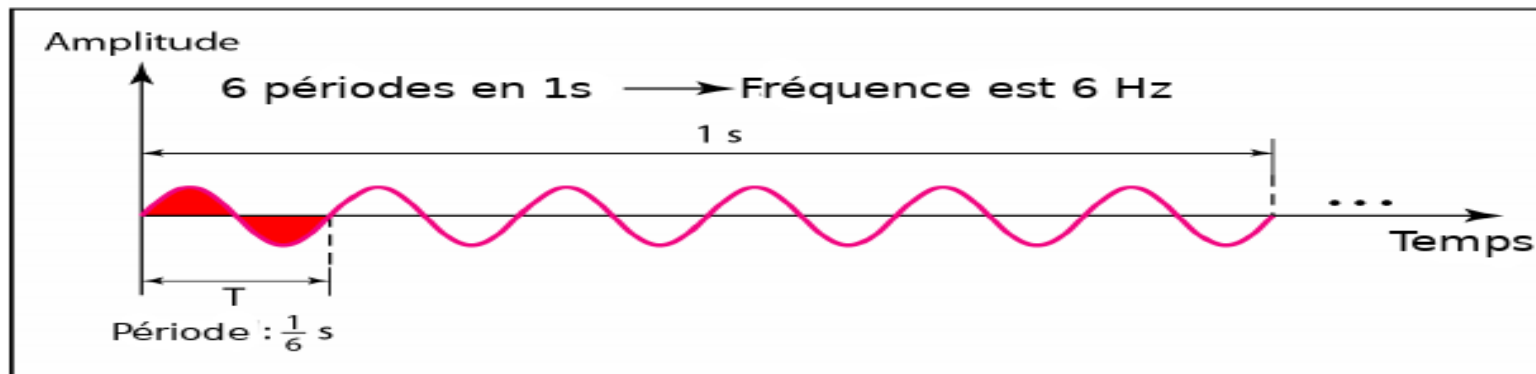
$$T = \frac{1}{f}$$

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

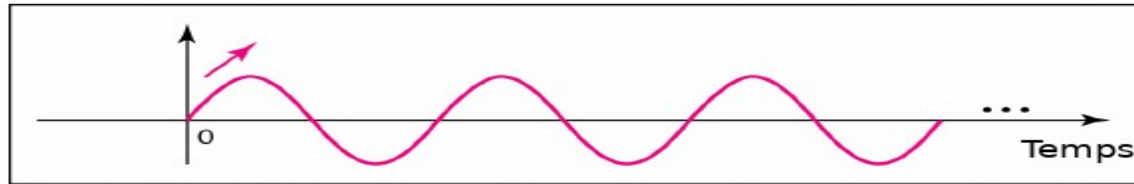
<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>	<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^3 Hz
Microseconds (μ s)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanoseconds (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picoseconds (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz

Fréquence

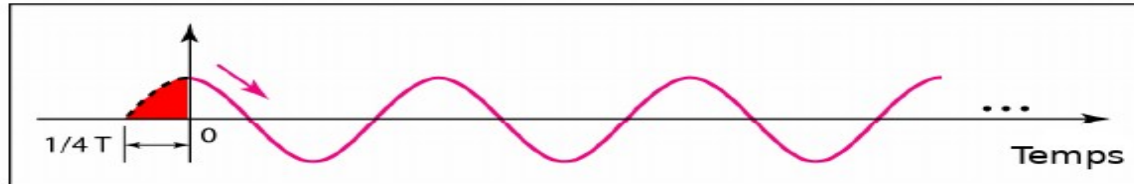
- La fréquence est le **taux de changement** dans le temps.
 - Changement dans un court laps de temps signifie **haute fréquence**
 - Changement sur une longue période de temps signifie **basse fréquence**.
- Si un signal ne change **pas du tout** :
 - sa fréquence est égale à **zéro**.
- Si un signal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

Phase

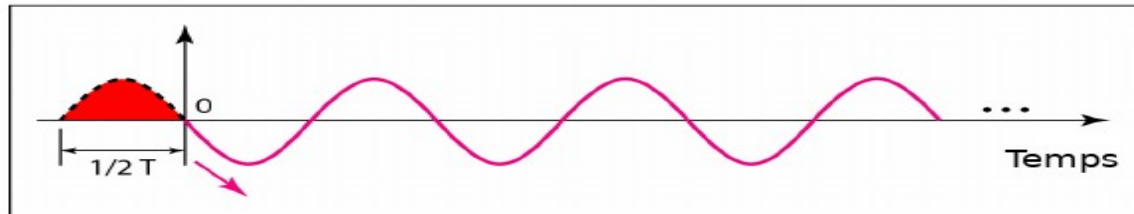
- Phase décrit la **position** du signal par rapport au **temps 0**
- Même **amplitude** et **fréquence**, mais **phases différentes**



a. 0 degrés



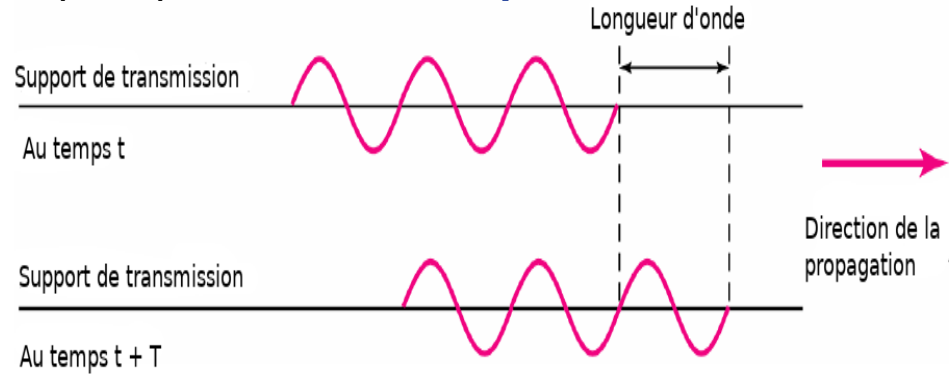
b. 90 degrés



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**

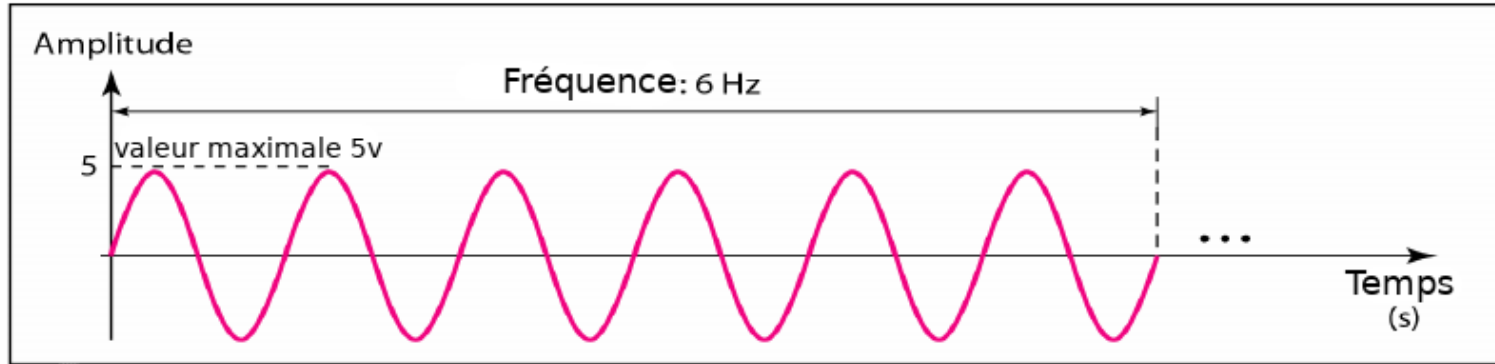


- Où :
 - λ est la longueur d'onde
 - c est la vitesse de la lumière ($\sim 3 \times 10^8$ m / s)
 - f est la fréquence

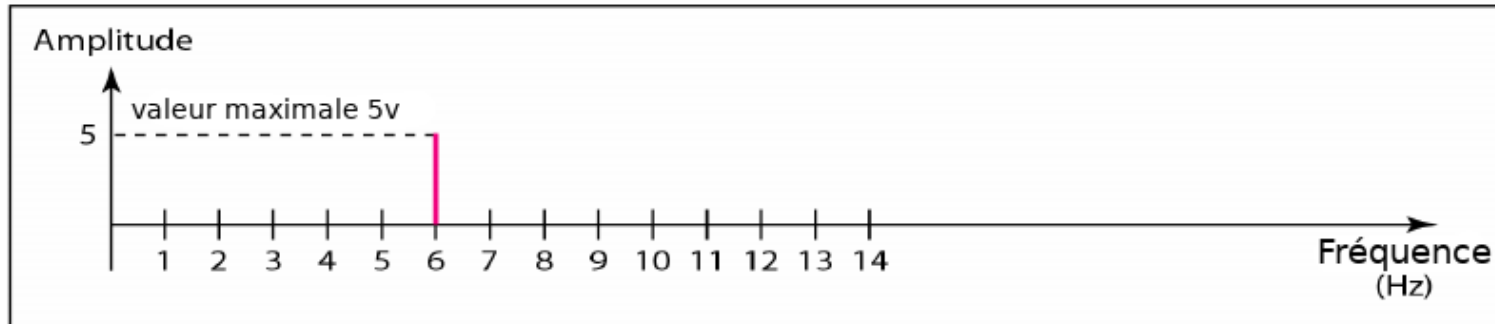
$$\lambda = c/f$$

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)

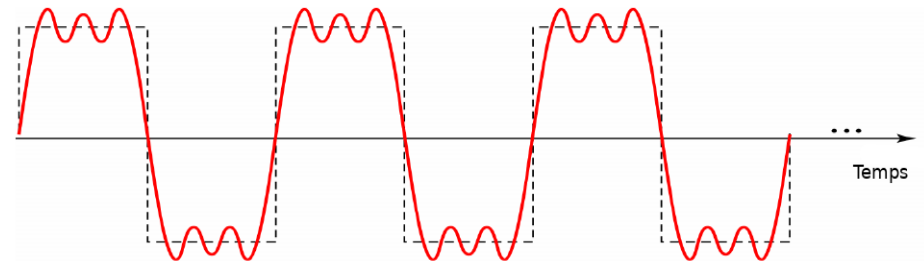


b. La même onde sinusoïdale dans le domaine fréquentiel (valeur max. : 5v, fréquence : 6Hz)

Signal composite

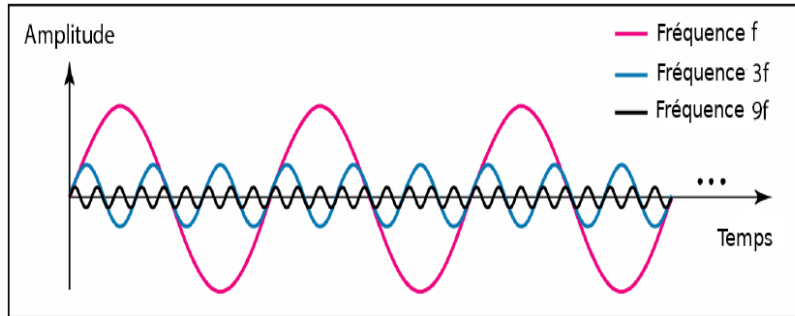
- Une onde sinusoïdale à fréquence **unique** n'est **pas utile** pour communiquer les données; on doit envoyer un **signal composite**, un signal composé de **nombreuses ondes sinusoïdales** simples.
- Selon l'analyse de **Fourier**, tout **signal composite** est une combinaison de **simples ondes sinusoïdales**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

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

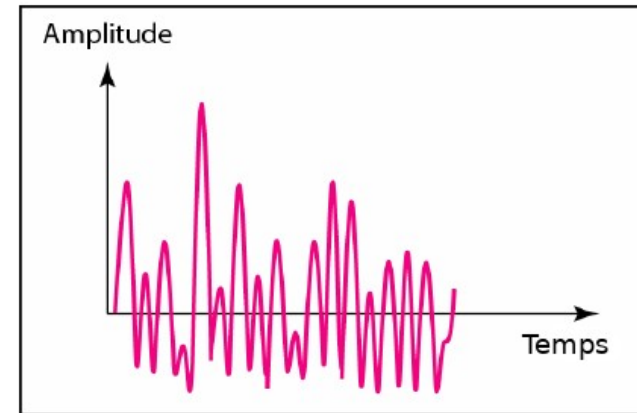


Décomposition du signal

- 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**.



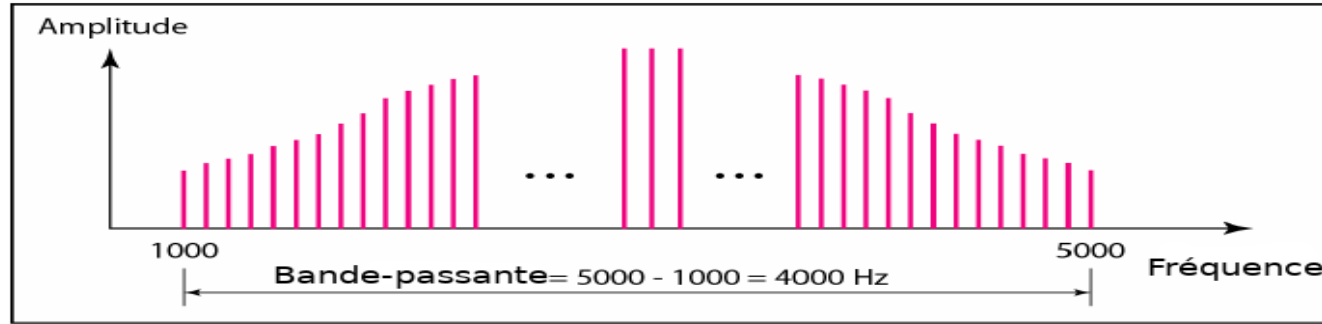
a. Décomposition d'un signal composite - domaine temporel



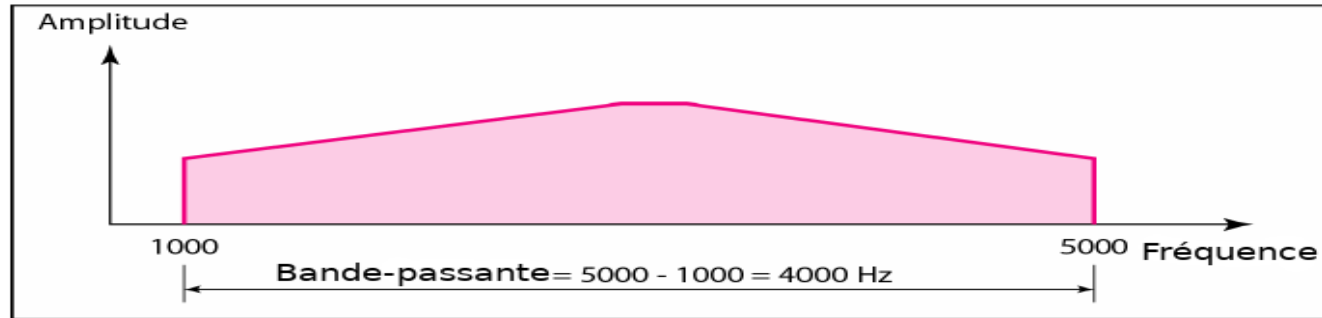
a. Domaine temporel

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.



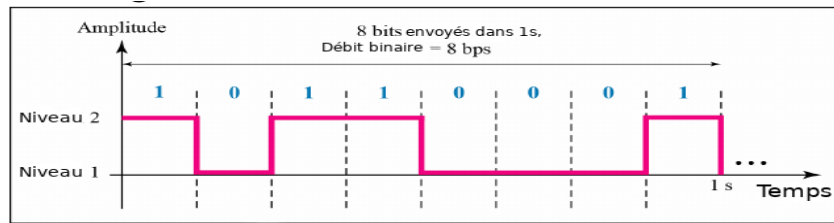
a. Bande-passante d'un signal périodique



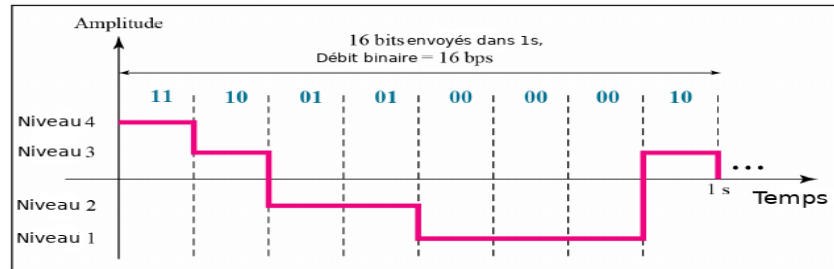
b. Bande passante d'un signal non périodique

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



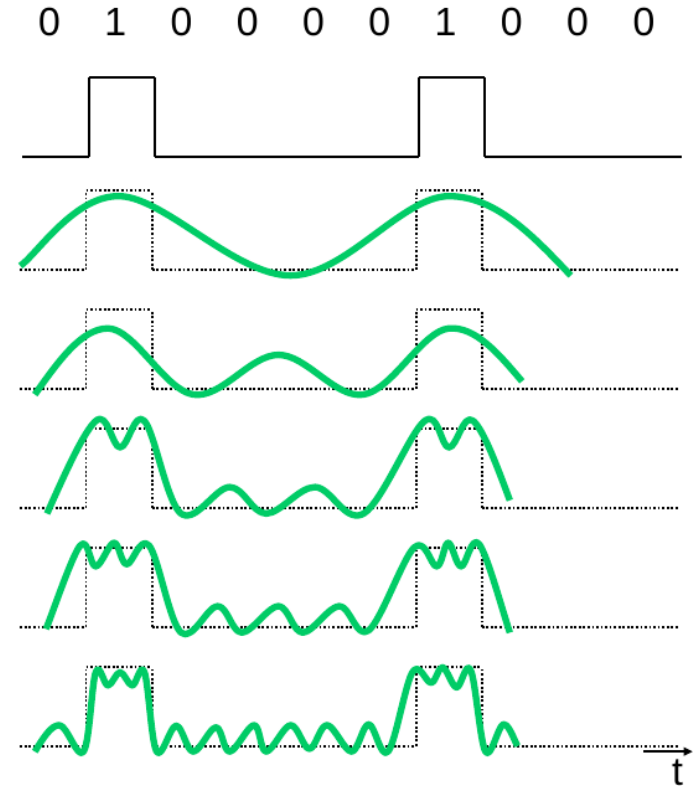
a. Signal numérique avec 2 niveaux



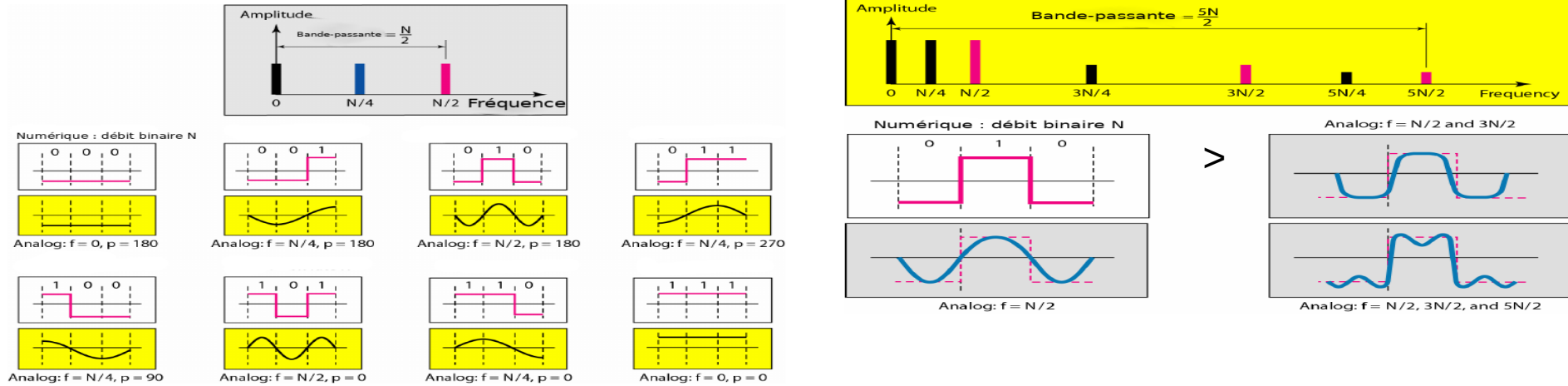
b. Signal numérique avec 4 niveaux

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



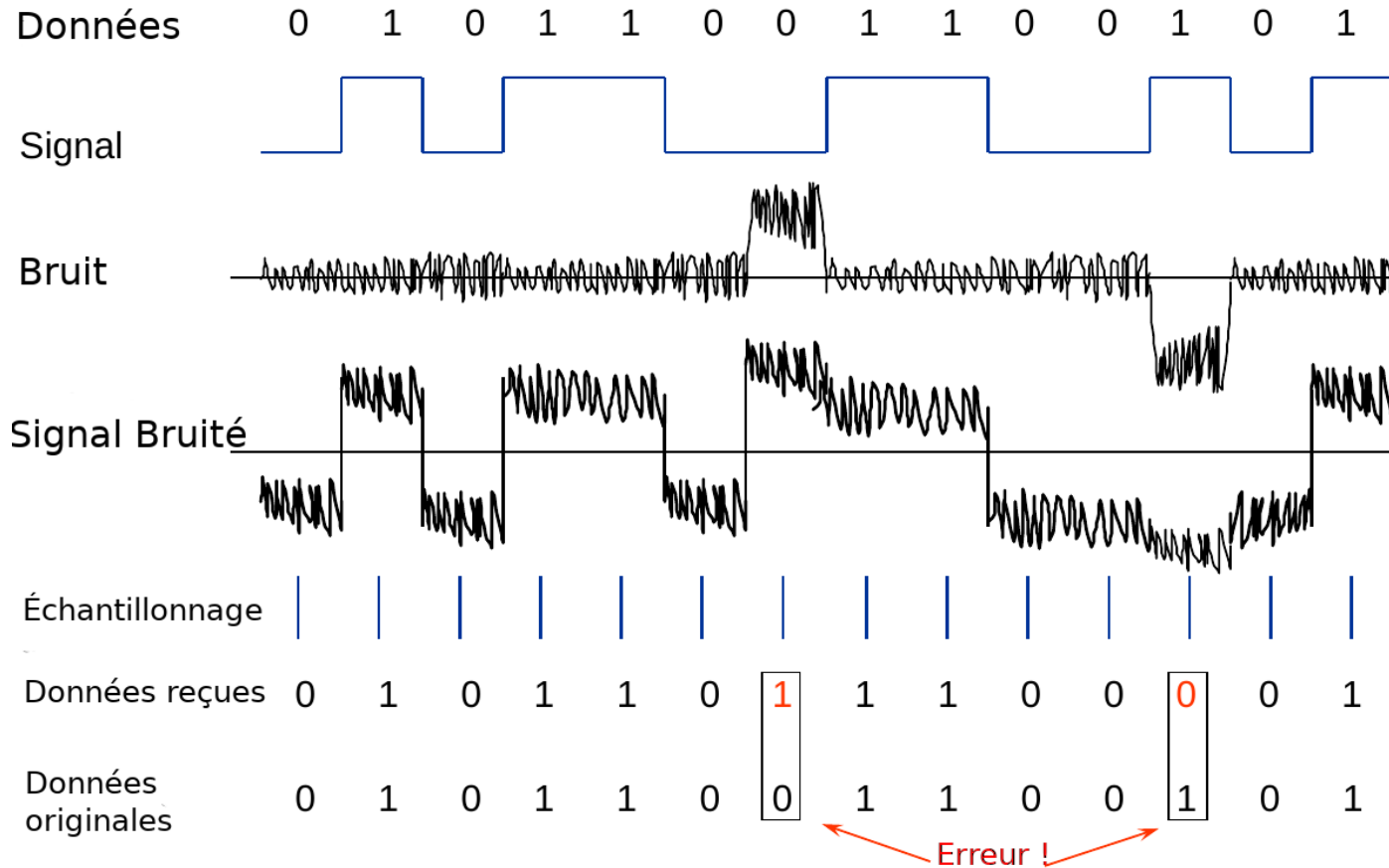
Approximation d'un signal numérique en utilisant les harmoniques



- 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 communication de données est à quelle vitesse nous pouvons envoyer des données, en bits par seconde, 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)

Signal à bruit (SNR)

- 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 de niveaux de signal utilisés 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 :

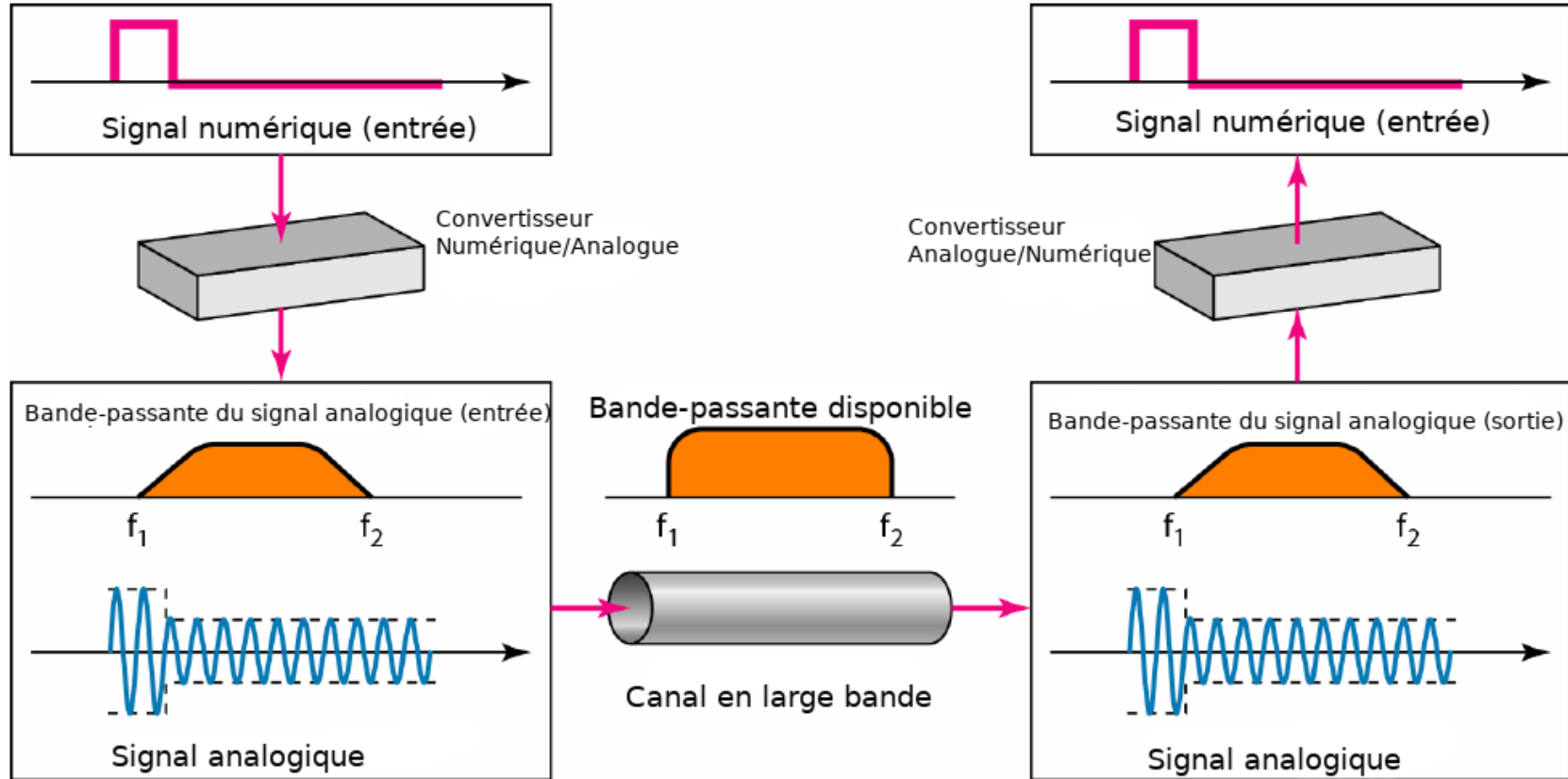
$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR})$$

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

Signal à bruit (SNR)

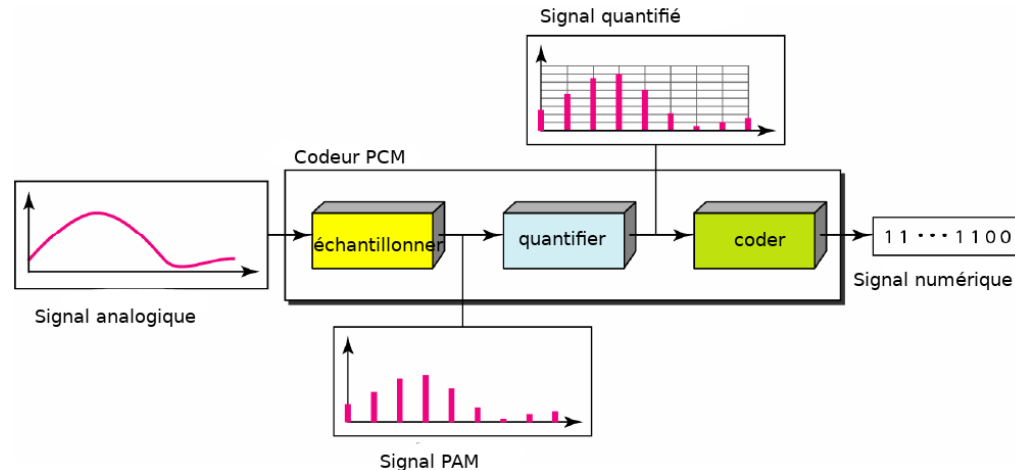
- La **capacité de Shannon** nous donne la **limite supérieure**
- La formule de **Nyquist** nous dit combien de **niveaux** de signal dont on a **besoin**.

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



Conversion analogique-numérique

- **Pulse Amplitude Modulation (PAM)**
 - prend un signal analogique, l'**échantillonne** et génère une série d'impulsions basées sur les résultats de l'échantillonnage.
 - **échantillonnage** : mesurer l'amplitude du signal à des intervalles égaux
- PAM n'est pas utile pour les communications de données car. il s'agit toujours d'un signal analogique, les impulsions générées ont toujours une amplitude quelconque. Pour les rendre numériques, nous les modifions en utilisant **Pulse Code Modulation (PCM)**.



Performance

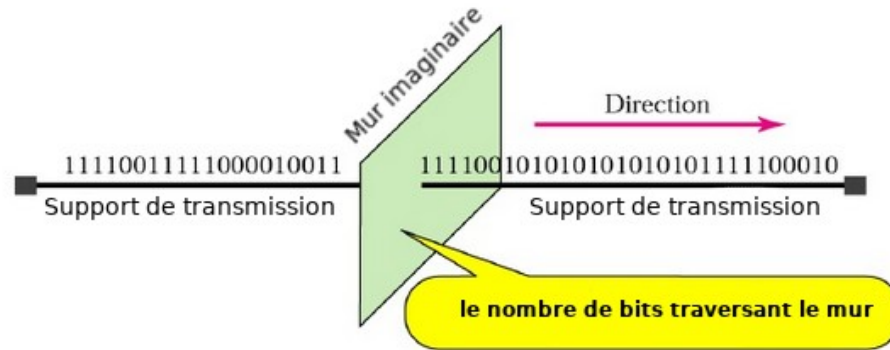
- Une question importante dans la mise en réseau est la **performance** du réseau
 - à quel point correspond la performance du réseau?
- Mesures :
 - **Bande passante**
 - **Débit et débit applicatif**
 - **Latence**

Bande passante

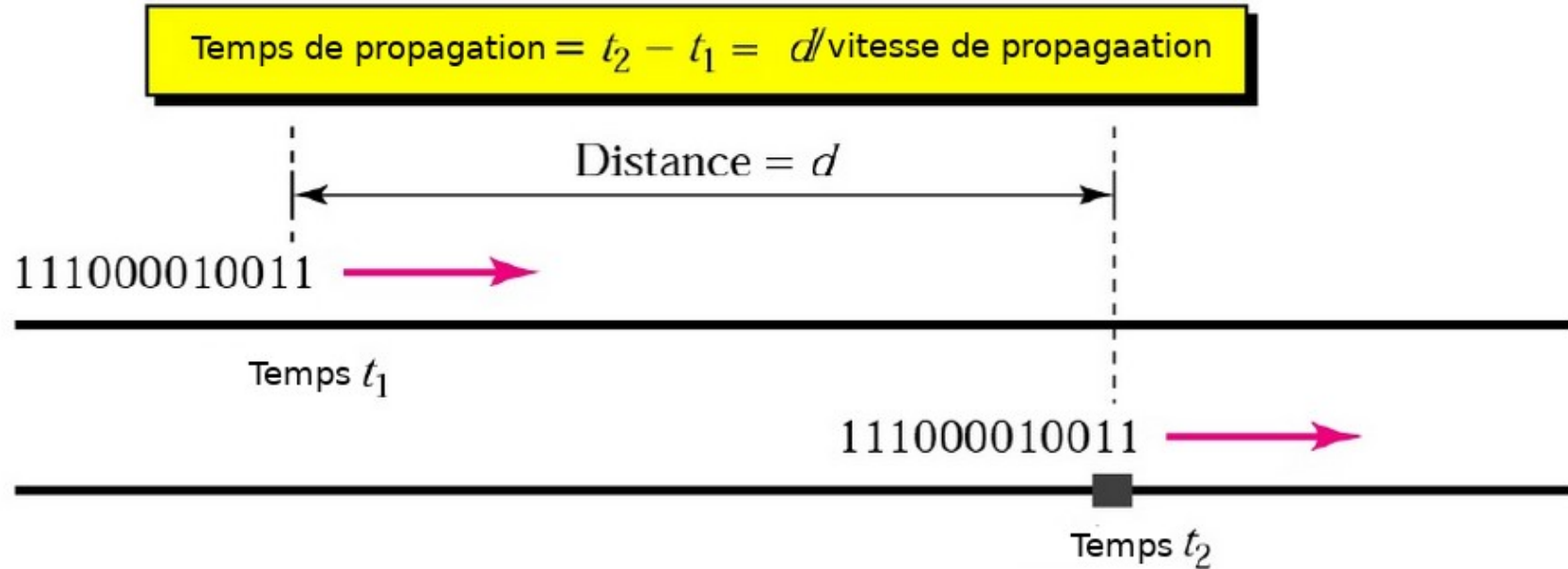
- Deux contextes :
 - Bande-passante en **hertz**, fait référence à la **plage** de fréquences d'un signal composite ou à la plage de fréquences qu'un canal peut transmettre
 - Bande-passante en **bits par seconde**, fait référence à la **vitesse** de transmission des bits dans un canal ou un lien.

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

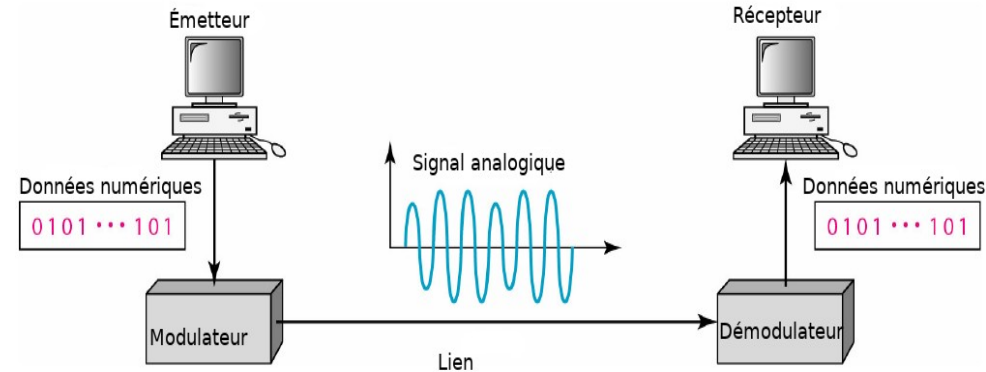
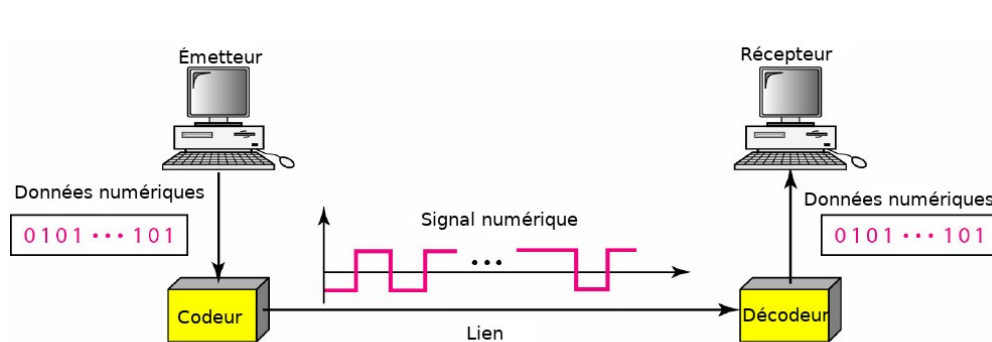


Temps de propagation

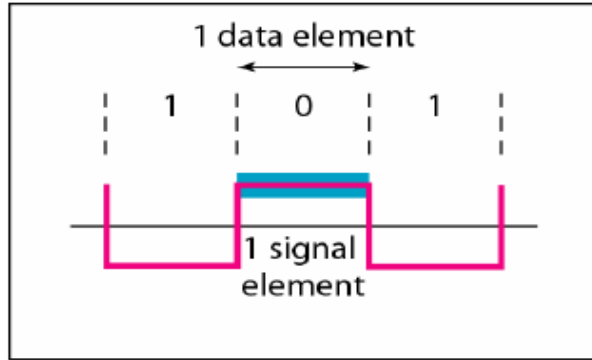


Transmission de données

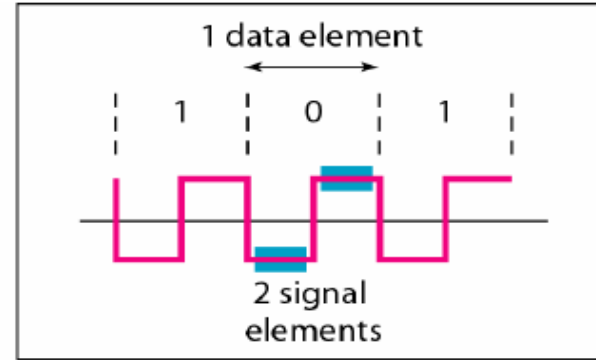
- Un signal numérique peut être transmis soit en bande de base soit en large bande
 - **Bande de base** : envoi un signal numérique sans le changer en signal analogique
 - **Large bande** : envoi un signal numérique après avoir changé son état en signal analogique



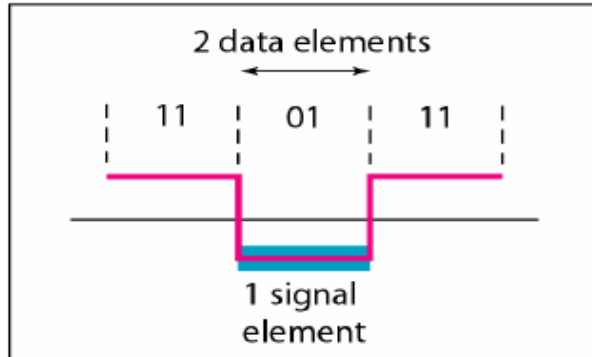
Élément de données et élément du signal



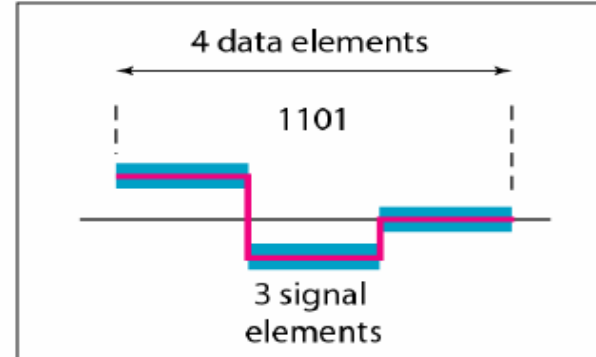
a. 1 élément de données par 1 élément du signal
($r = 1$)



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



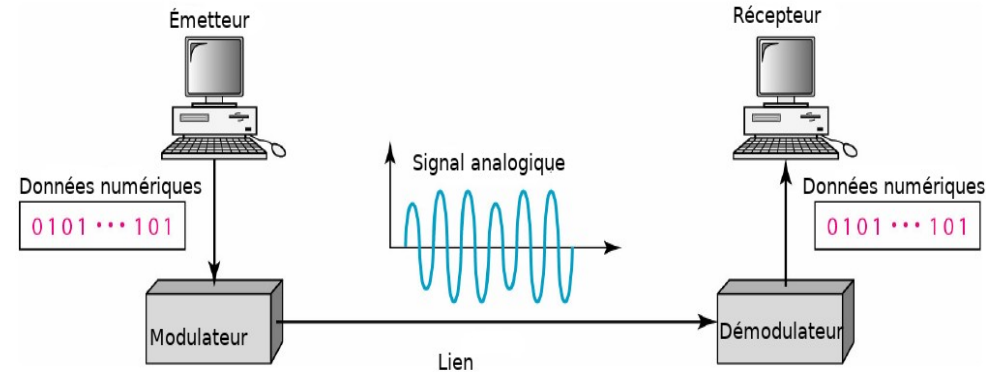
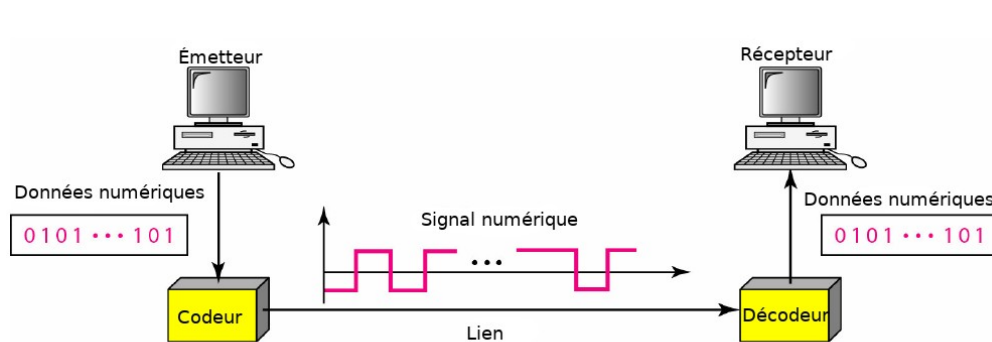
c. 2 éléments de données par 1 élément du signal
($r = 2$)



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

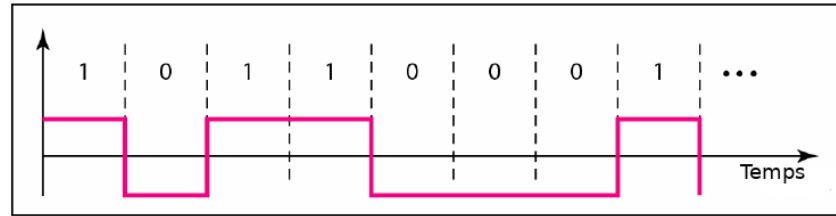
Transmission de données

- 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

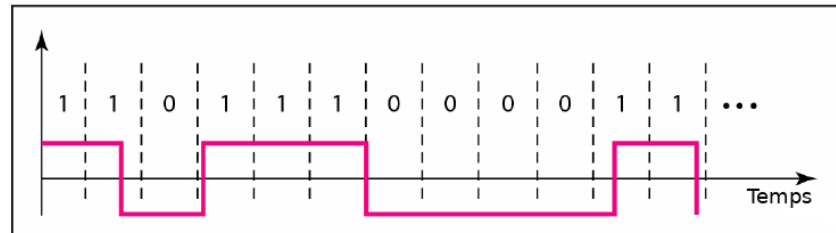


Synchronisation

- 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.



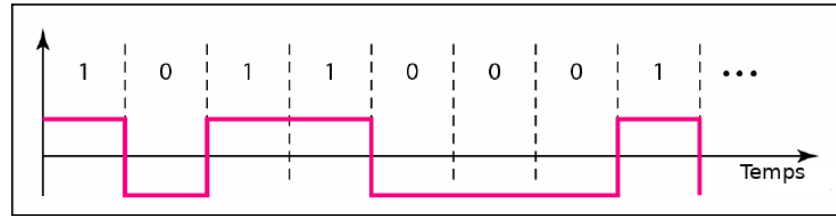
a. Envoyé



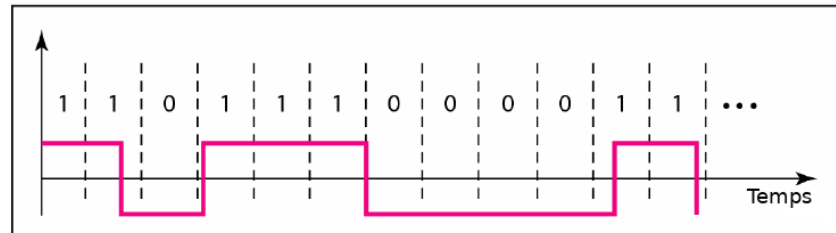
b. Reçu

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.



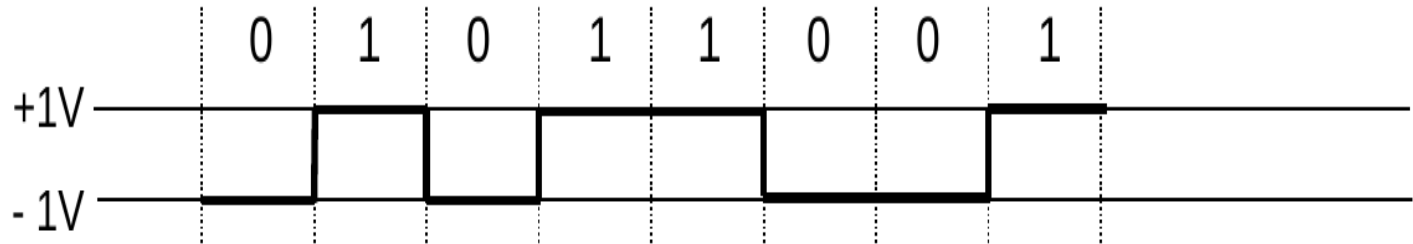
a. Envoyé



b. Reçu

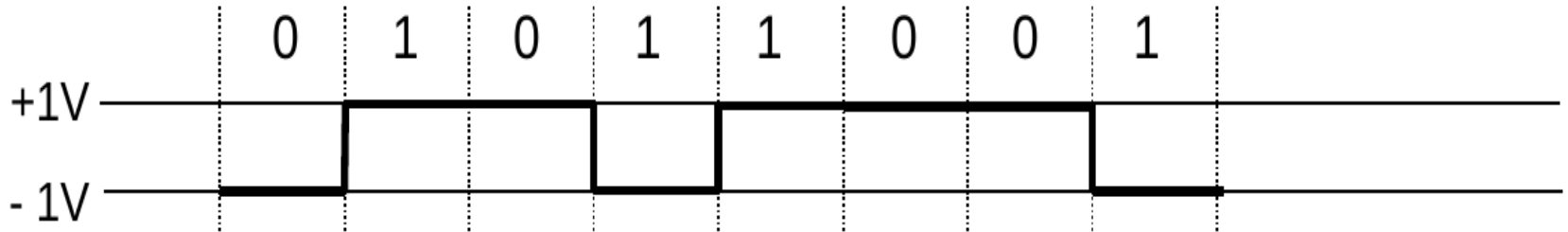
NRZ (non retour à zéro)

- 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



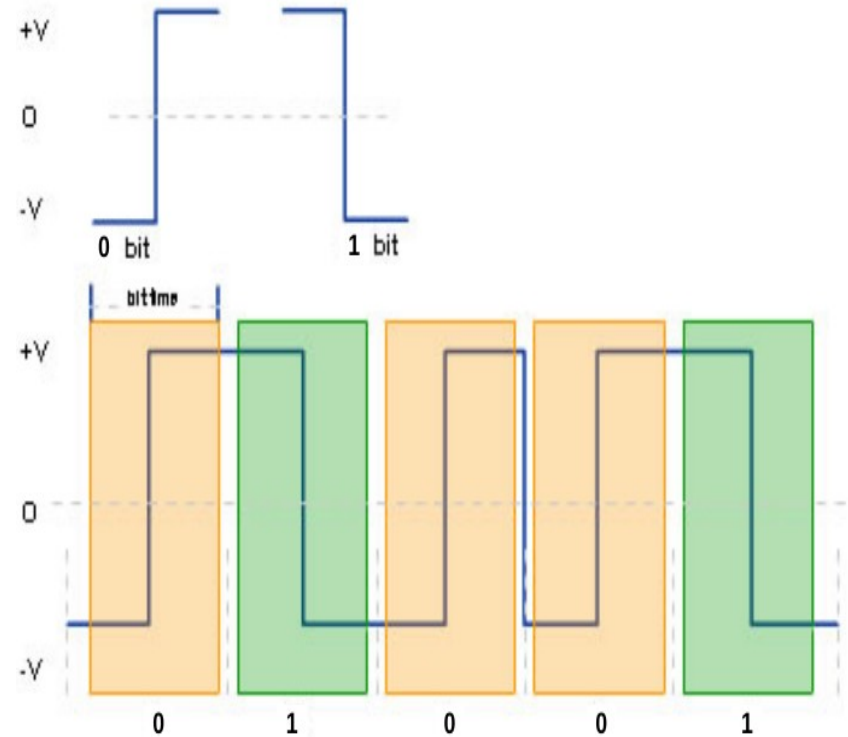
NRZ différentiel

- 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**

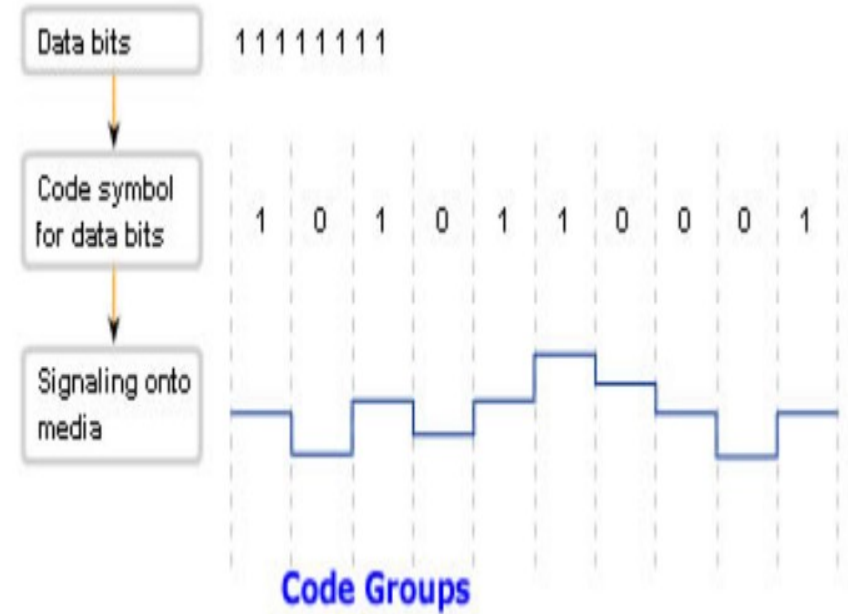


Regroupement de bits

- 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

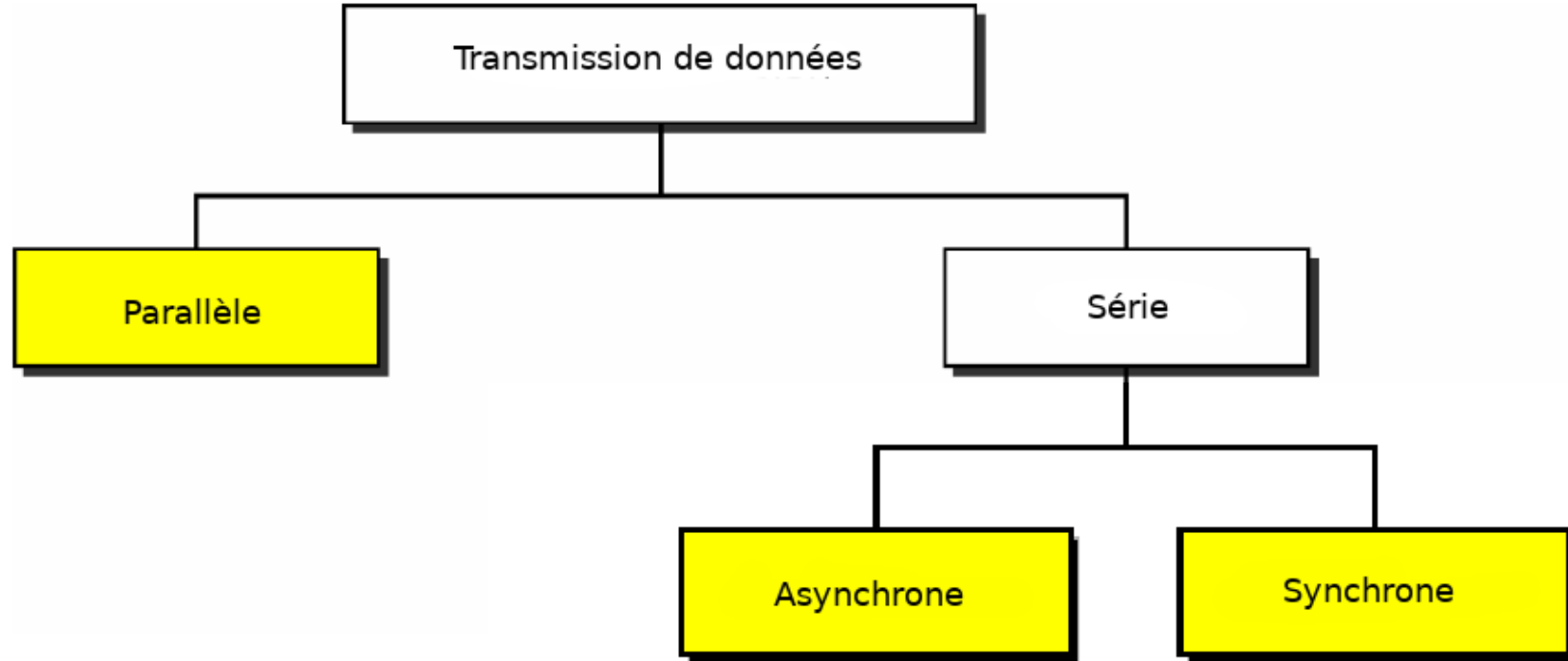
- Dans cette technique, 4 bits de données sont transformés en symboles de code à 5 bits pour la transmission sur le système du support.
- Dans 4B / 5B, chaque octet à transmettre est décomposé en morceaux ou en quartets de quatre bits et codé sous forme de valeurs à cinq bits, appelées symboles.
- Ces 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

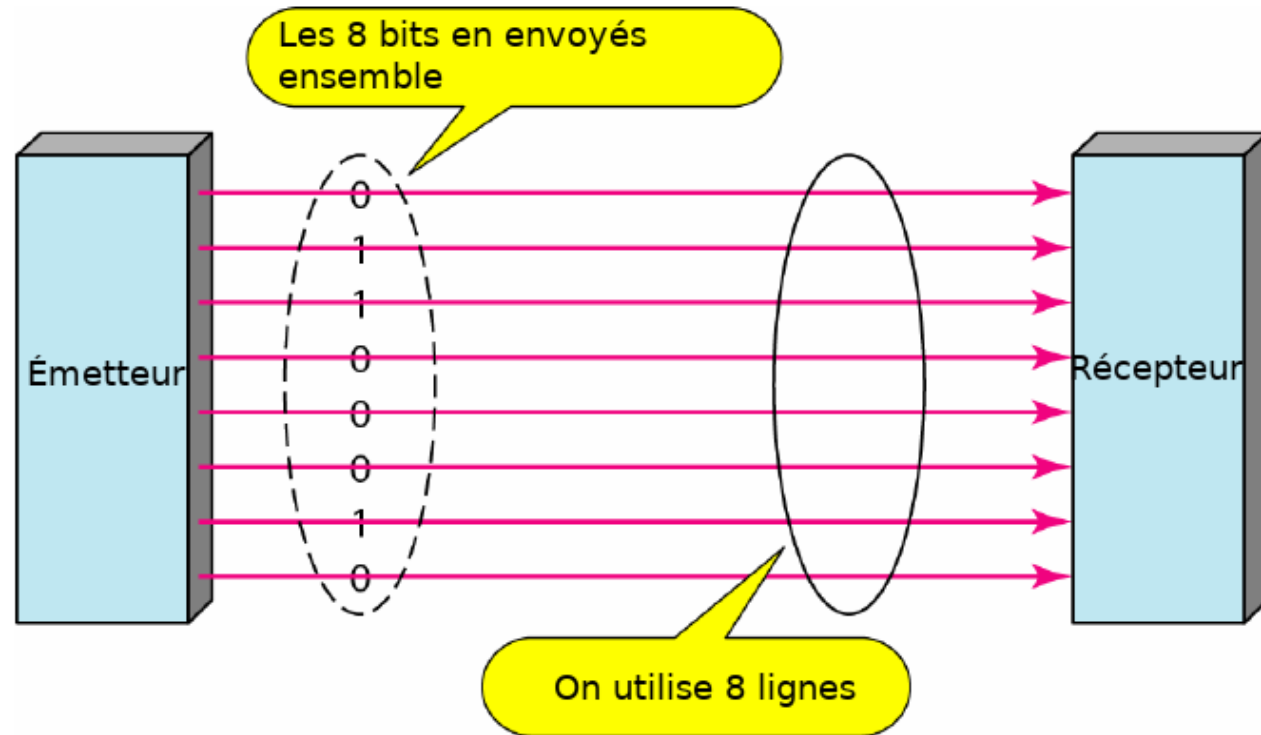
- **Inconvénient** du code Manchester:
 - 50% d'efficacité, 1B / 2B (un bit est codé sur deux bits)
- Une **amélioration** est donnée avec 4B / 5B :
 - quatre bits (donnés) sont codés en cinq bits (transmis): efficacité de 80%
- **Fonctionnalités :**
 - Changement de niveau avec 1, pas de changement 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)

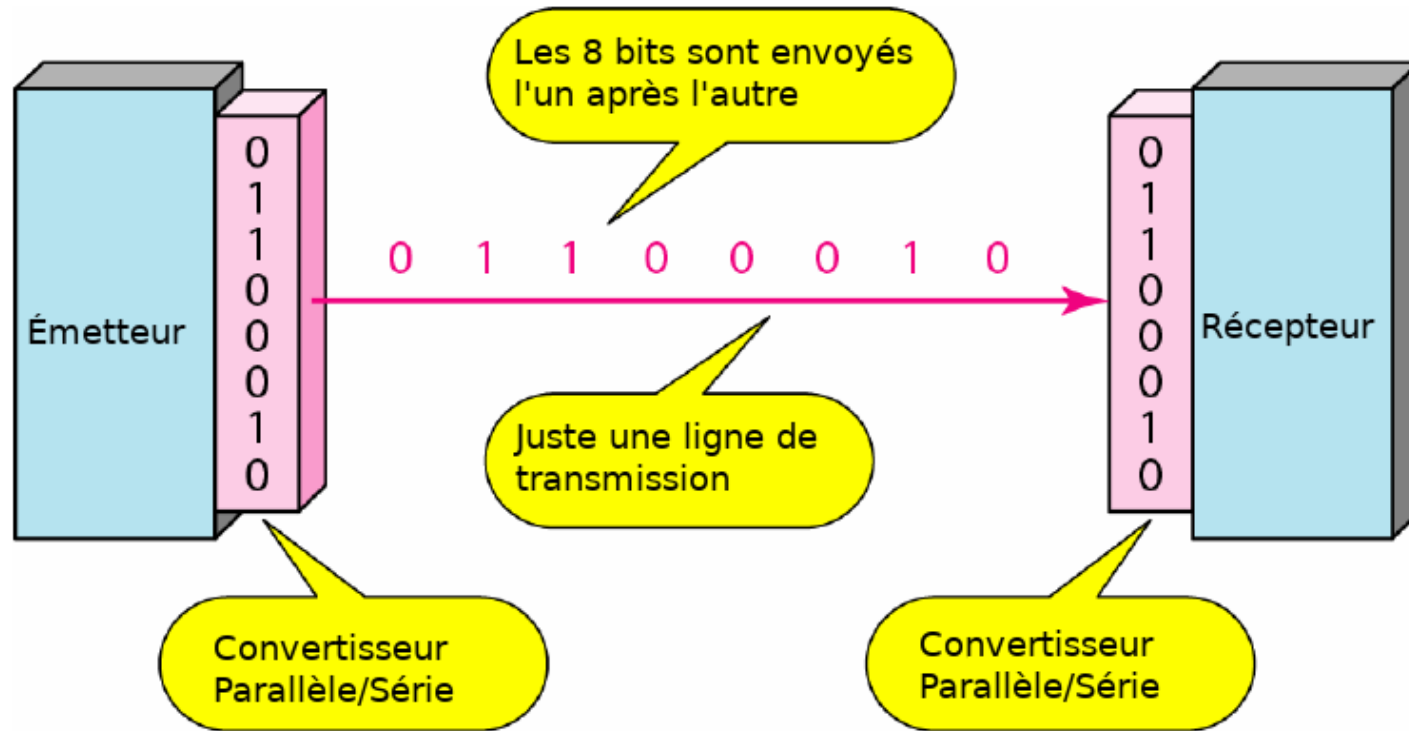
Modes de transmission de données



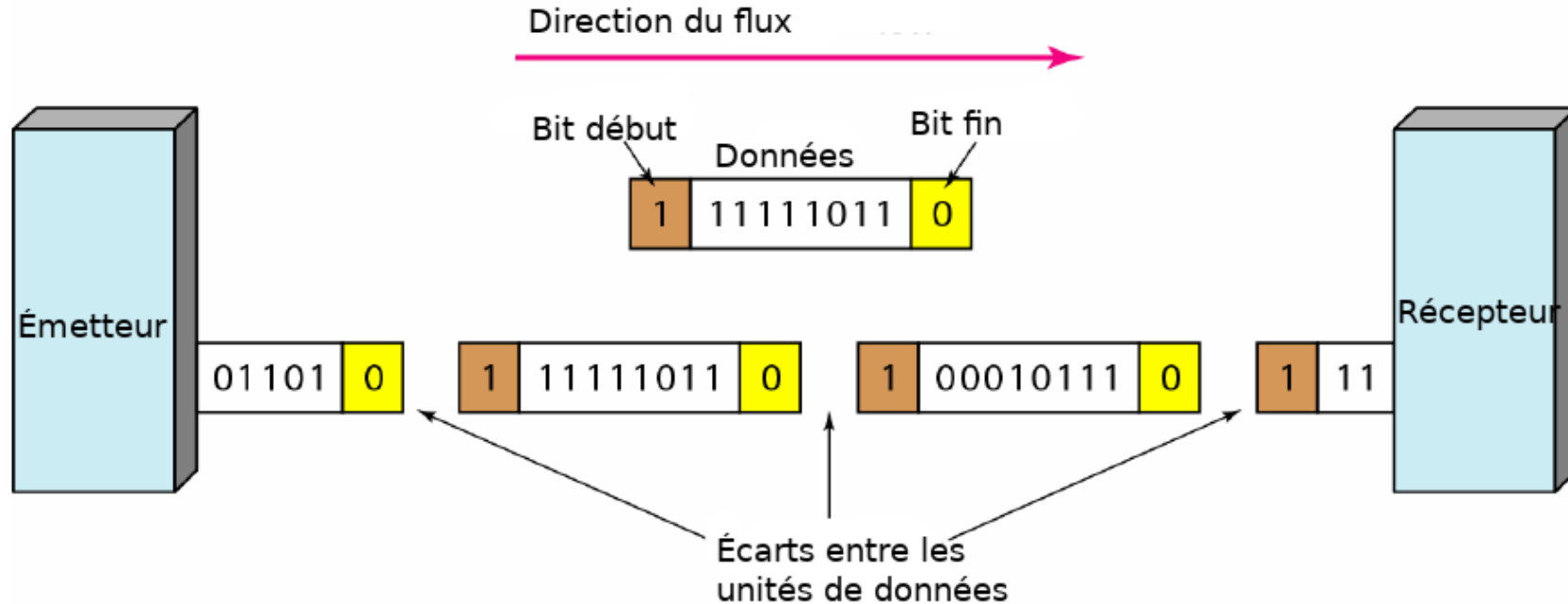
Transmission Parallèle



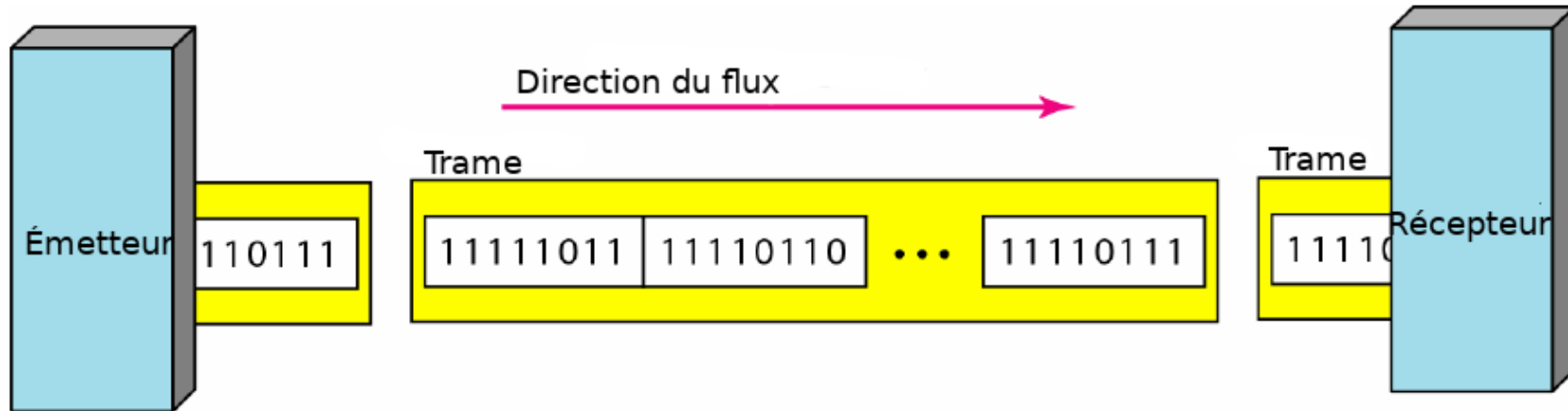
Transmission en Série



Transmission Asynchrone



Transmission synchrone



Résumé