



USTHB-Info |2023

COURS RÉSEAUX L3 ACAD

**Par
Dr. Khadidja CHAOUI**



PLAN

- I. Introduction aux réseaux informatiques
- II. Transmission de données**
- III. Protocoles de transmission
- IV. Les réseaux Locaux
- V. Architecture des réseaux informatiques

CHAPITRE II

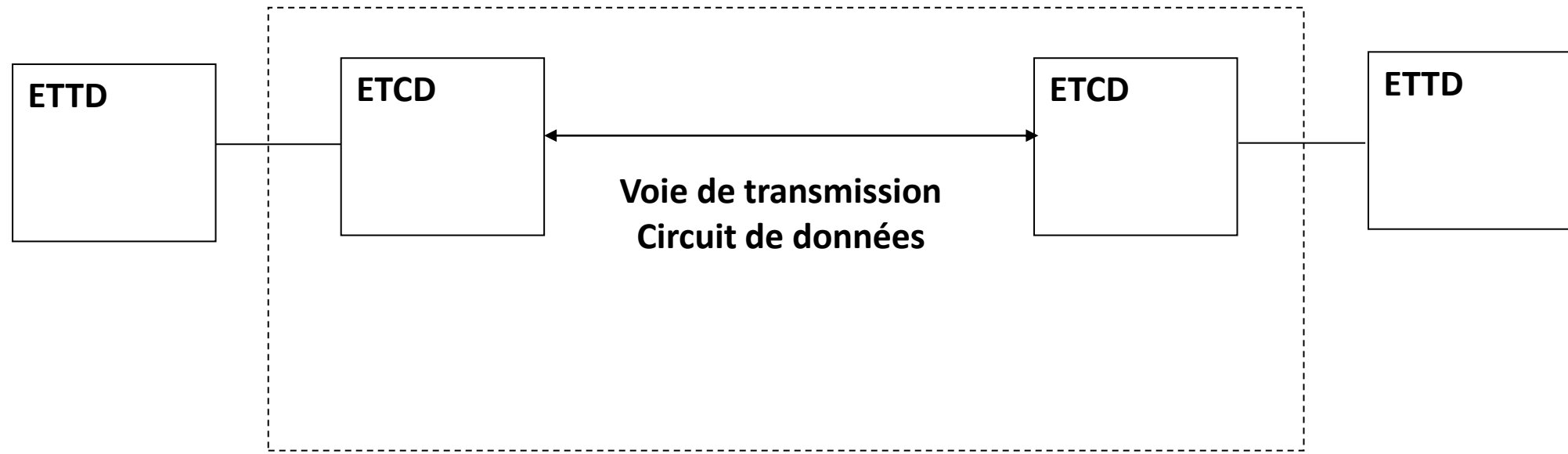
Transmission de données

II.1 Transmission de données

Pour transférer l'informations, il faut l'*encoder* en *signaux*. La transmission physique de l'information est prise en charge par la couche physique, sur *un canal de transmission* physique.

II.1.1 Qu'est ce qu'un canal de transmission ?

- Un canal de transmission est une liaison entre deux machines. Il n'est pas forcément constitué d'un seul support physique.
- On appelle ***circuit de données*** l'ensemble constitué des ***ETCD*** du canal de transmissions séparant deux ETTD.
- Les données circulent sur un canal de transmission sous-forme d'ondes électromagnétiques, électriques ou même acoustique



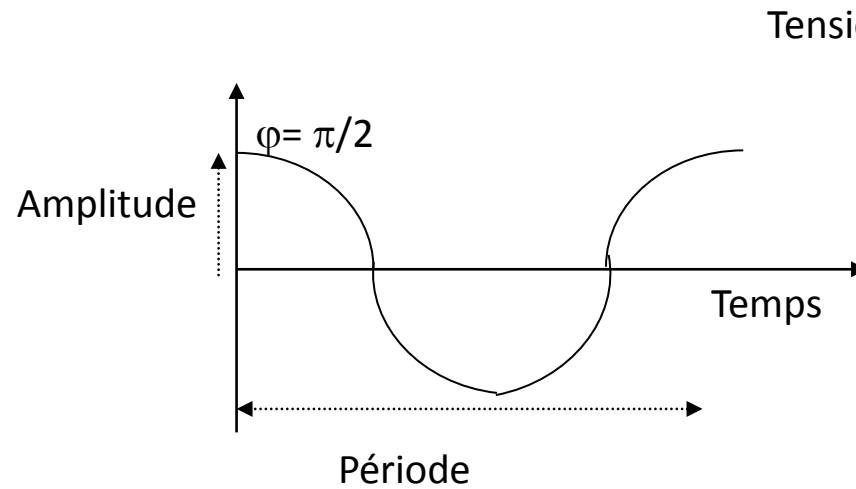
II. 1. 2 Représentation des données

La transmission de données sur un support physique se fait par propagation d'un phénomène vibratoire (lumière, onde radio, électricité), que l'on fait varier :

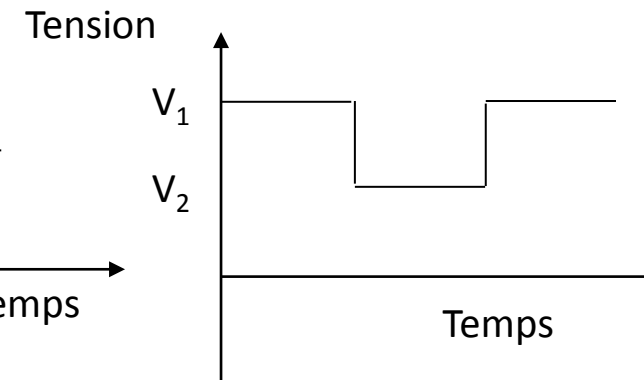
- Lorsque l'information est représentée par la **variation d'une seule grandeur physique** (tension électrique, intensité lumineuse, etc), on parle alors de **transmission numérique**.
- Lorsque l'information est représentée par la **variation des paramètres intrinsèques de l'onde**, on parle alors de **transmission analogique**. Une onde électromagnétique est caractérisée par une **fréquence**, une **amplitude** et une **phase**. Le signal est obtenu par la fonction :

$$y = A \sin(2\pi f t + \varphi)$$

où A est l'amplitude, $f = 1/p$ la fréquence (en Hertz) et p la période (en secondes), φ la phase (en radian).

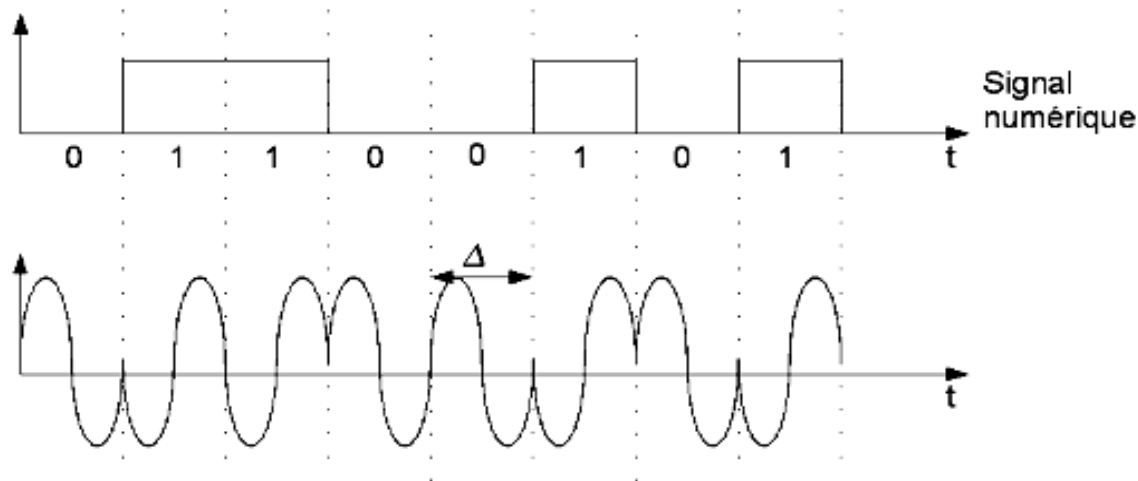


Signal Analogique

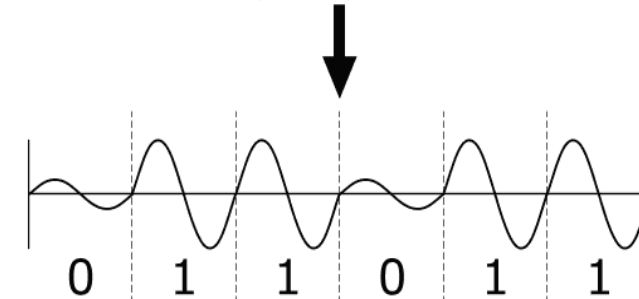


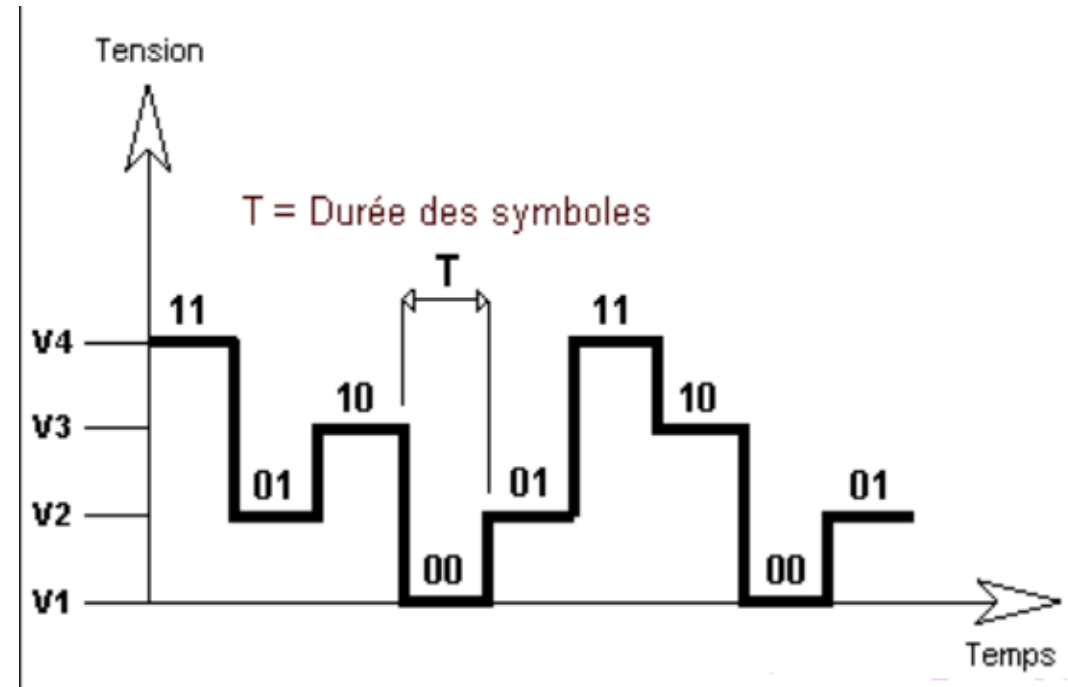
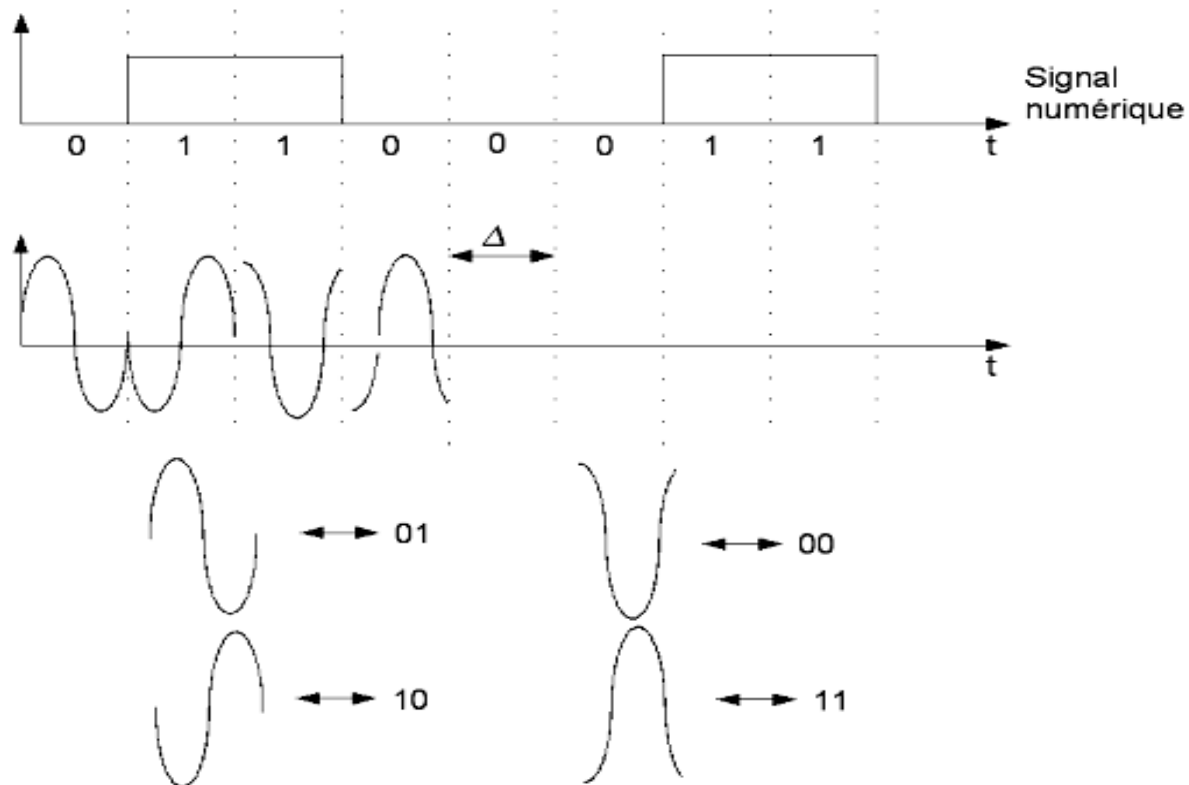
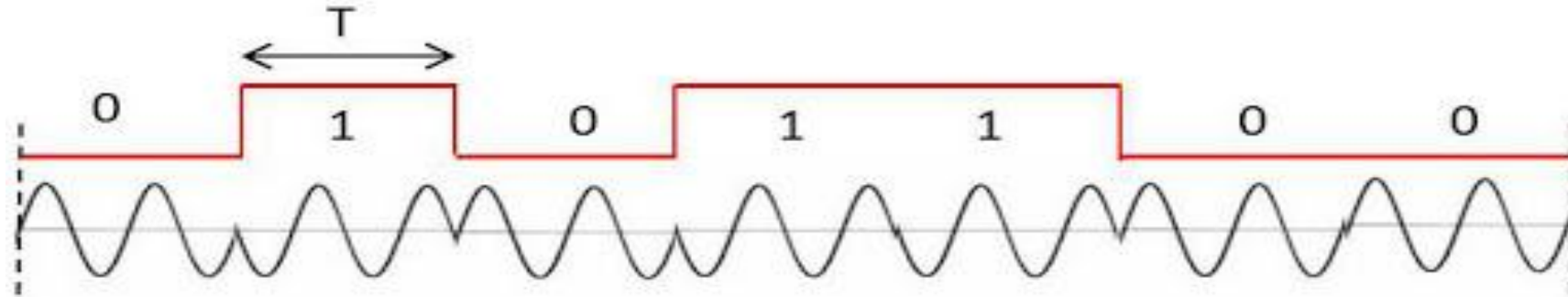
Signal Numérique

Type de Transmission.



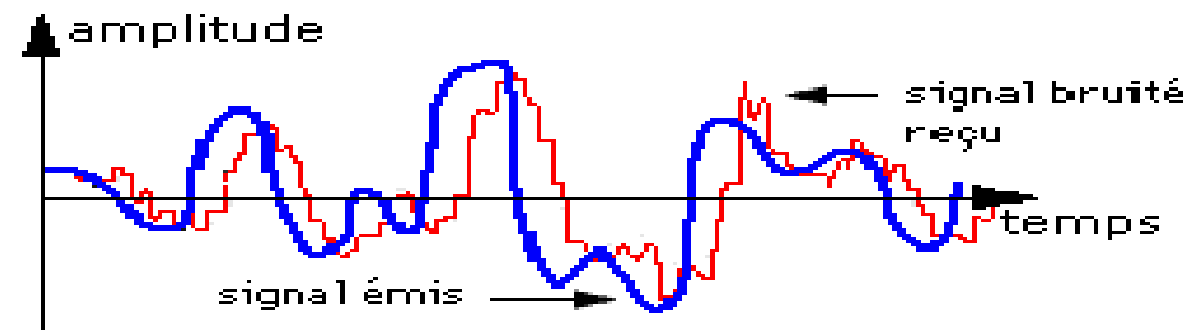
011011

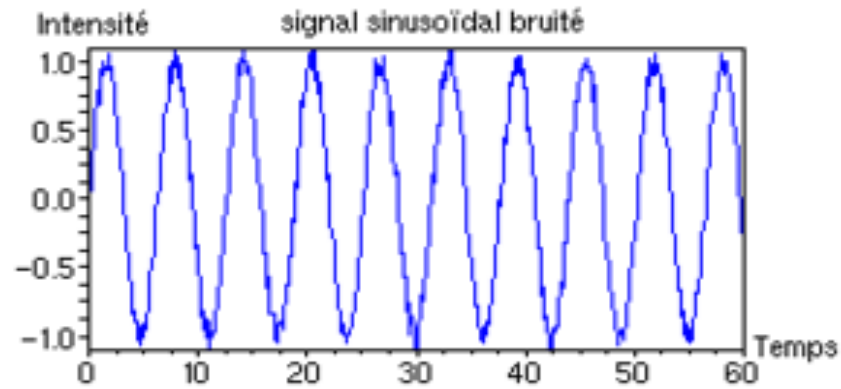
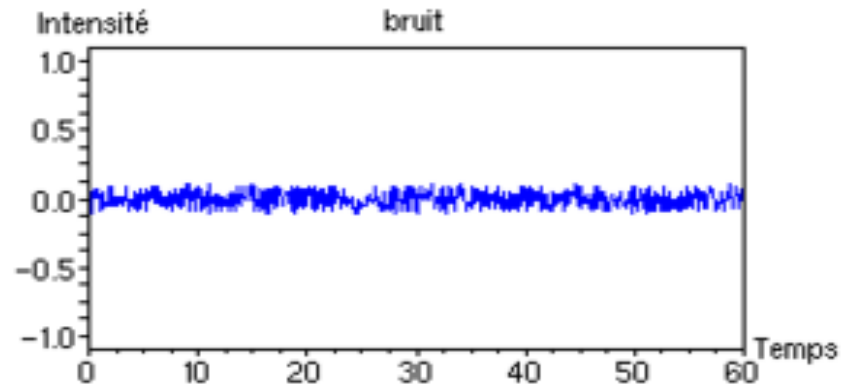
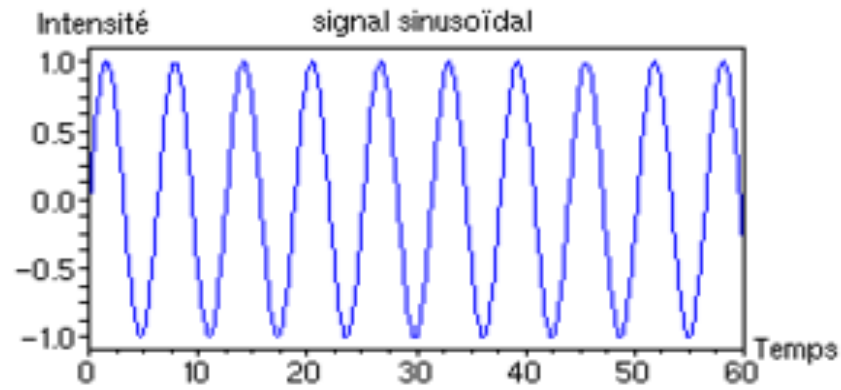




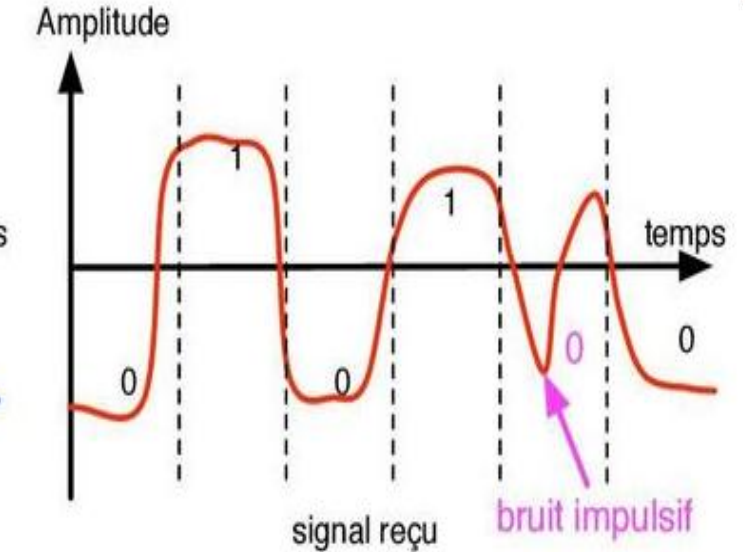
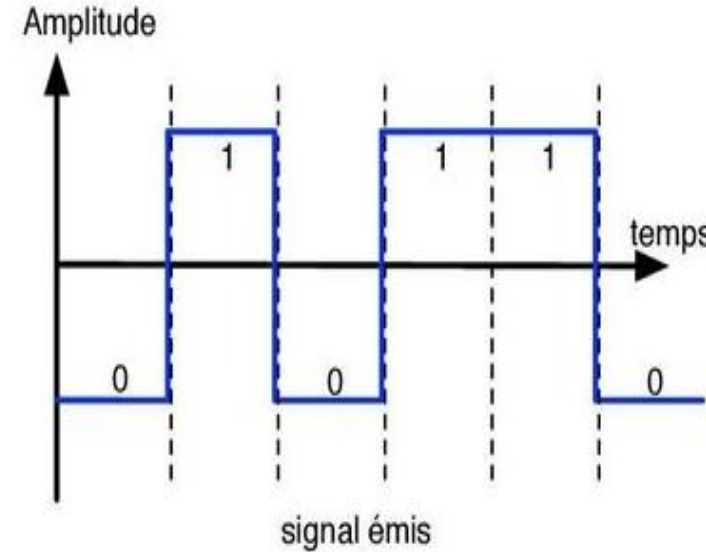
II. 1.3 Perturbations

- **Bruit:** Est l'ensemble des perturbations modifiant localement la forme du signal. On distingue généralement deux types de bruit :
 - **Le bruit blanc** Est une perturbation *uniforme du signal*, c'est à dire qu'il *rajoute au signal une petite amplitude* dont la moyenne sur le signal global est nulle. Il est induit généralement par *les connecteurs* les *amplificateurs* et les *équipements intermédiaires* interfaçant les câbles.
 - **Les bruits aléatoires** Sont des *petits pics d'intensité* provoquant des erreurs de transmissions. Ce type de bruits est induit par une source *électromagnétique* externe affectant momentanément ou de manière aléatoire le signal.

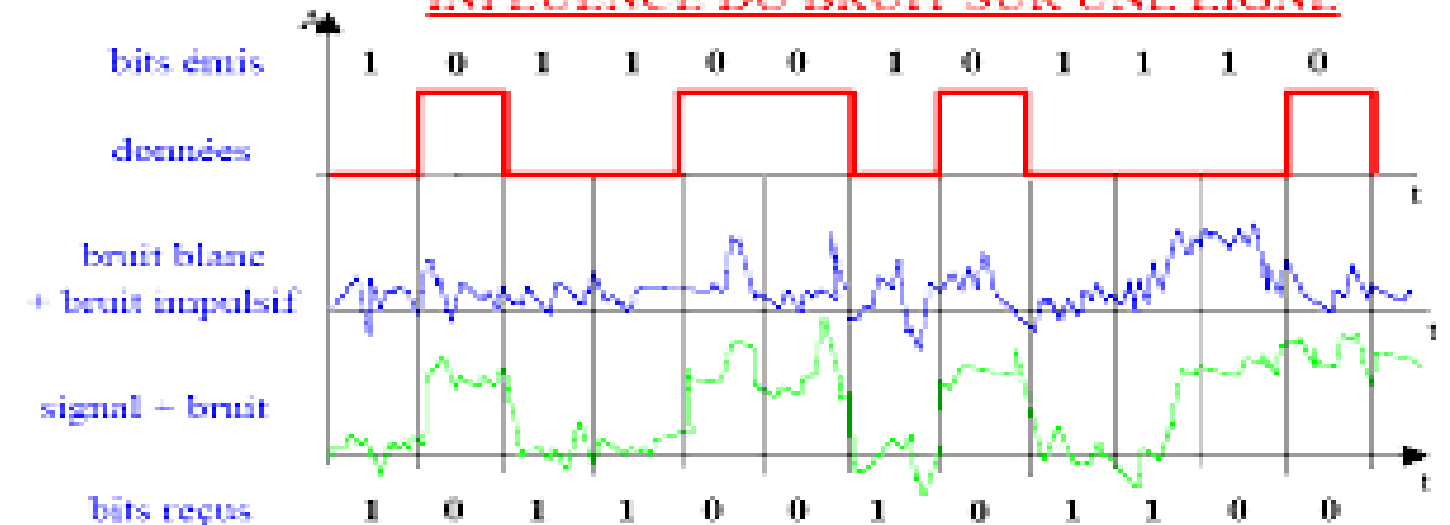




Bruit blanc



INFLUENCE DU BRUIT SUR UNE LIGNE

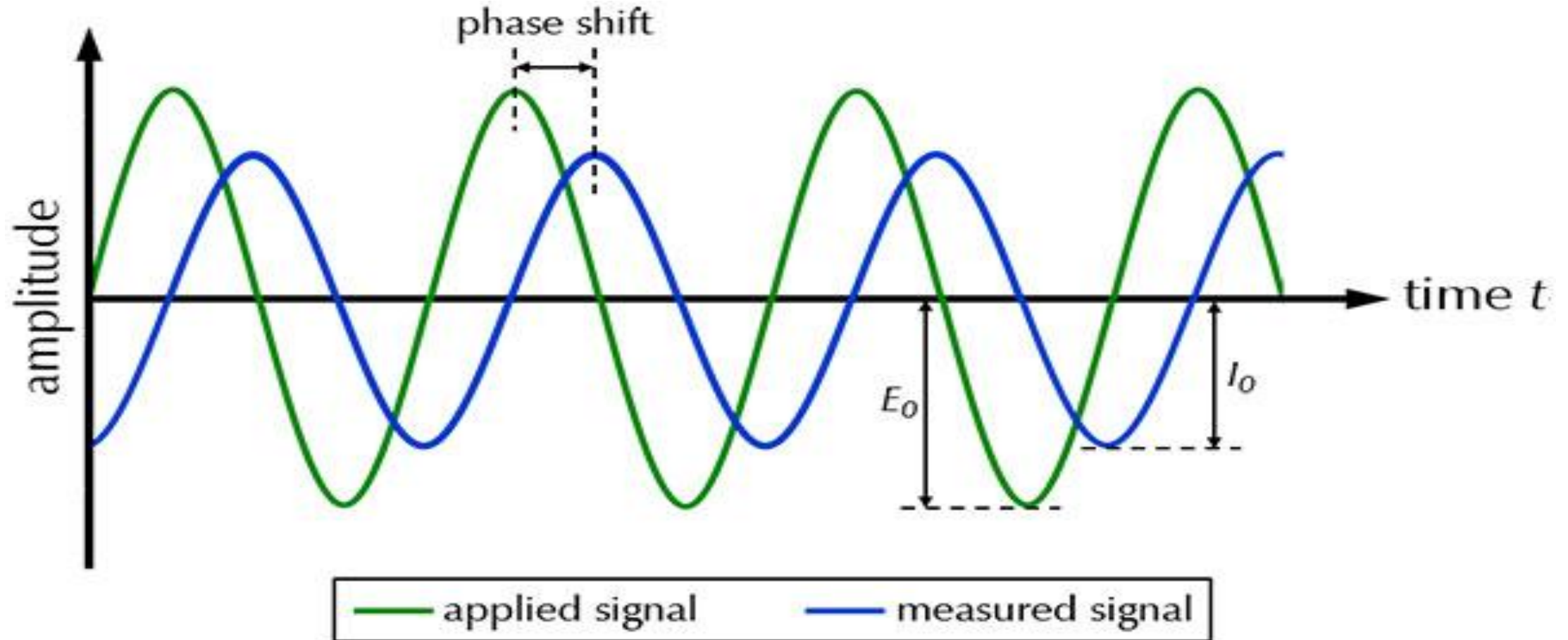


- **L'affaiblissement:** Représente la perte de signal en énergie dissipée sur la ligne. L'affaiblissement se traduit par un signal de sortie plus faible que le signal d'entrée.

$$A = 10 \log_{10} (RA) \text{ où } RA = \text{SignTrans} / \text{SignRecu}$$

Notons que l'affaiblissement est proportionnel à la longueur de la voie de transmission et à la fréquence du signal. Le signal s'affaiblit en fonction de la distance parcourue. Certaines fréquences tendent à s'affaiblir plus rapidement que d'autres.

- **La distorsion de phase :** Caractérise le déphasage du signal analogique en entrée et celui en sortie. Ces erreurs sont dues à une mauvaise synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.



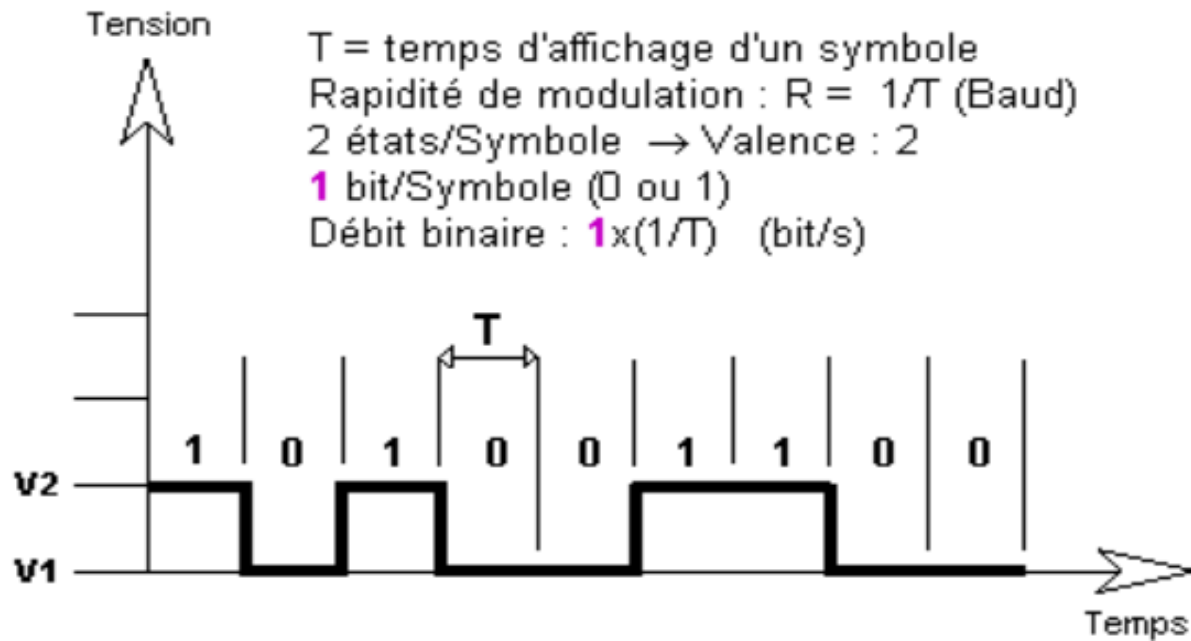
II.1.4 Caractéristiques d'une transmission

Une transmission est caractérisée par : Un taux d'erreurs induits, Une vitesse de transmission. Un temps de transfert de l'information.

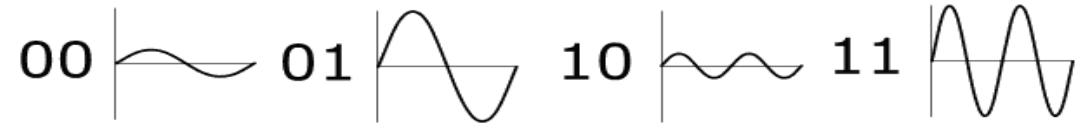
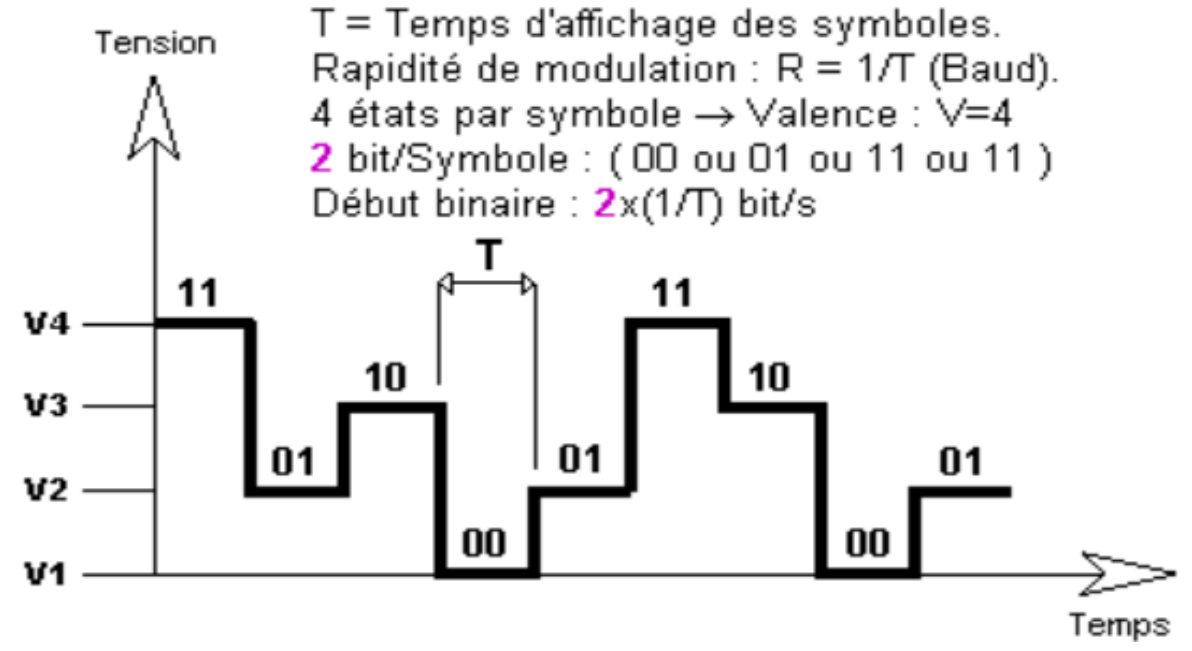
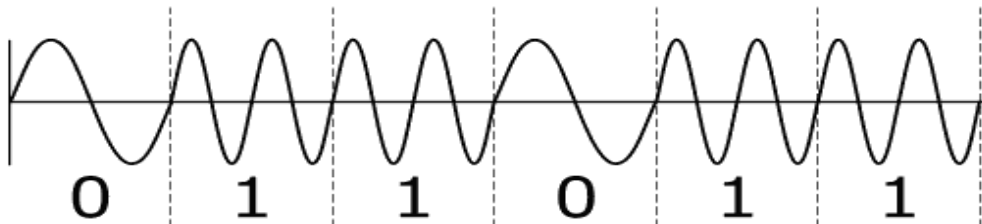
- **Taux d'erreurs** Probabilité de perte d'une information (1 bit). On peut la mesurer en calculant pendant un temps significatif le rapport:

$$\text{TauxER} = \text{Nombre de bits erronés} / \text{le nombre de bits émis.}$$

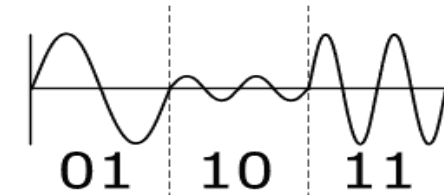
- **Vitesse de transmission:**
 - **Un état** est la plus petite portion du signal échangée entre deux ETCD.
 - La durée d'un état est notée **t** ou **Δ** . Cette durée est fixe.
 - **n** : Le nombre de bits représenté par un état. **$n = \log_2(V)$**
 - **V** : La valence du signal désignant le nombre de tous les états différents pouvant être générés dans le signal. **$V = 2^n$**



011011



011011



II.1.4 Caractéristiques d'une transmission

- **La rapidité ou vitesse de modulation R** est le nombre d'états transmis en une seconde :

$$R = 1 / t \quad (\text{en bauds}).$$
- **Le débit binaire D d'une voie de transmission** est le nombre maximum de symboles binaires transmis par seconde sur cette voie. P

$$D = n R \text{ bits/s} \qquad n = \log_2 V$$

- **Temps de transfert** est la durée de temps qui sépare le début d'émission de la fin de réception :

$$T_{\text{transfert}} = T_{\text{émission}} + T_{\text{propagation}}$$

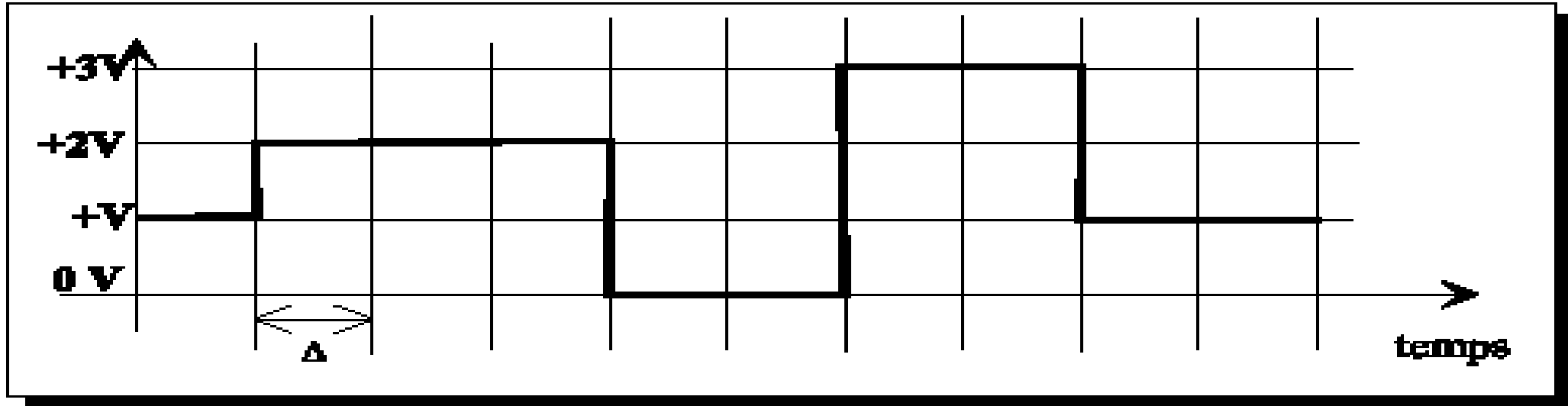
- Le *temps d'émission* dépend du débit et désigne le temps nécessaire pour que tout le message soit injecté sur le support par l'ETCD :

$$T_{\text{émission}} = \text{Taille du message envoyé} / \text{Débit binaire}.$$

- Le *temps de propagation* dépend de la distance couverte et du support et désigne le temps nécessaire pour que le signal se propage de l'émetteur vers le récepteur.

$$T_{\text{propagation}} = \text{distance parcourue par le message} / \text{vitesse de propagation sur le support}$$

- **Exemple** : On considère le signal numérique dont on relève l'échantillon représentatif suivant : $V=4$, $n=\log_2(V)=2$ et $D = R \times n = 2000$ bits/secondes.



$$\Delta = 1 \text{ ms}$$

$$R = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{10^{-3}} = 1000 \text{ bauds}$$

II. 1.5 Caractéristiques d'un canal de transmission

- **La bande passante** : D'une voie de transmission (*bandwidth*), notée W , est l'intervalle de fréquences sur lequel le signal ne subit pas un affaiblissement supérieur à 50%. Concrètement, un circuit de données est assimilable à un filtre de type *Passe Bande*. Autrement dit, seule une certaine bande de fréquence est correctement transmise.

$$W = f_2 - f_1$$

- Les fréquences f_1 et f_2 , limitant la bande passante

- **La capacité C** d'une voie de transmission (*formule de Shannon*) est la quantité d'informations en (bits) pouvant être transmise sur la voie en une seconde.

$$C = W \log_2 (1 + S / B) \text{ en bps.}$$

Où : W est la largeur de bande en Hz et S / B représente le rapport *signal sur le bruit* de la voie qui correspond au rapport de la puissance du signal sur la puissance du bruit. Plus ce rapport est grand, plus la capacité de la voie est augmentée.

- **Exemple** : *ligne téléphonique* $W=3100 \text{ Hz}$, rapport *Signal/Bruit* de 30 dB , la capacité de transmission est d'environ 10.600 bits/s . En pratique, les débits binaires sur de telles voies n'excédaient guère 9600 bits/s .

II. 1.6 Trafic :

Le *trafic* permet de mesurer le degré d'utilisation d'une voie et par conséquent de choisir une voie adaptée à l'utilisation que l'on veut en faire. Pour évaluer le trafic, on considère qu'une transmission ou communication est une session de durée moyenne T (en secondes) ; soit N_c le nombre moyen de sessions par heure. *L'intensité du trafic* est alors donnée par l'expression :

$$E = T \times N_c / 3600 \text{ (en Erlangs).}$$

l'intensité du trafic mesure le temps d'utilisation de la voie par heure.

- **Taux d'occupation du canal** : une *session* comporte un certain nombre de "*silences*" (applications conversationnelles). Pour mieux mesurer l'*occupation réelle* du canal, on décompose la session en *transactions* de longueur moyenne p en bits, entrecoupées par des silences. Soit N_t le **nombre moyen de transactions par session**. D étant le **débit nominal** de la voie, le **débit effectif** d de la voie est :

$$d = \frac{N_t P}{T}$$

Le taux d'occupation du canal est défini par le rapport :

$$e = \frac{d}{D}$$

II.2 Les supports physiques de transmission

Les informations sont représentées par des signaux électriques sur le support physique. Le support physique est constitué de câbles de différents types:

-Coaxial

-Paire torsadées

-Fibre optique

-Satellite

Le choix du support physique est influencé par les performances attendues du système à réaliser :

-Débit attendu

-Bande passante nécessaire

-Coût

- Le taux d'erreurs toléré

- Distance maximale

***- Possibilité d'avoir des voies
de secours***

II. 2. 1 La paire torsadée

- Constituée d'une paire de fils électriques agencés en spirale
- Convient à la transmission analogique et numérique
- Adaptée à la transmission d'information de courte distance
- Support le plus utilisé : téléphonie et réseaux locaux

Performances

Débits courants : 1 Mbit/s, 4 Mbit/s, 10 Mbit/s, 16 Mbit/s

Portée sans régénération : 100 à 250 m

II. 2. 2 Le câble coaxial

- Constitué de deux conducteurs cylindriques de même axe, séparés par un isolant
- Convient à la transmission analogique et numérique
- Adaptée à la transmission d'information de longue distance

Performances

Débits courants : 2 Mbit/s à 100 M bit/s

Portée sans régénération : 3 Km à 4,5 Km

II. 2. 3 La fibre optique

- Fibre de silicium (ou plastique)
- Permet une très large bande passante (de l'ordre de 1GHz pour 1 Km)
- Permet une très bonne qualité de la transmission

Performances

Débits courants : qq Gbits/s par Km

Portée sans régénération : 15 Km à 500 Km

II.3 Types de transmission de données

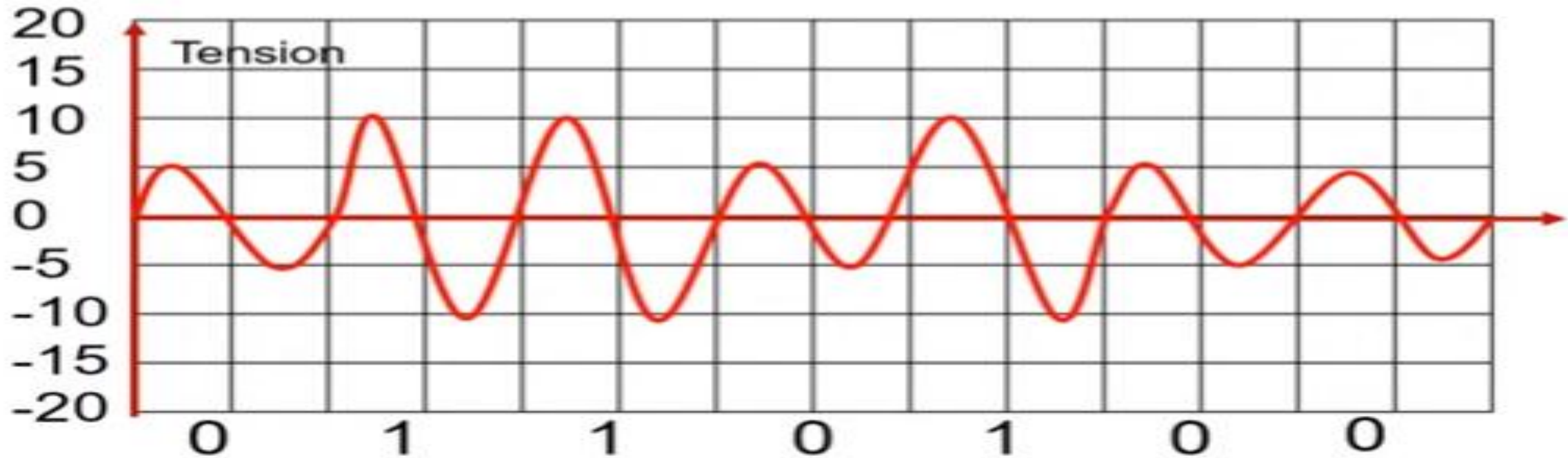
II. 3.1 Transmission analogique (modulation de base)

- La transmission analogique consiste à faire circuler des informations sur un support physique sous forme d'une *onde* par modification de l'une de ces caractéristiques (amplitude, fréquence ou phase).
- On utilise des signaux avec des fréquences choisies, ce qui permet de limiter les pertes et donc de transmettre sur des distances plus longues.
- Pour transmettre ces données numériques de façon analogique, on utilise un **ETCD** spécifique appelé, **Modem** ; son rôle est :
 - **A l'émission** : de convertir un signal numériques en signaux analogiques. On appelle ce procédé « *la modulation* ».
 - **A la réception** : de convertir le signal analogique en signal numériques. Ce procédé est appelé « *démodulation* ».

- **Modulation d'amplitude** ASK (amplitude shift Keying)
- **Modulation de fréquence** FSK (frequency SK)
- **Modulation de phase** PSK (phase SK)

- **La modulation d'amplitude ou l'ASK** : L'amplitude du signal varie du simple ou double suivant que l'on veuille transmettre un **0** ou un **1**.

Exemple: $1 \rightarrow 10\text{ V}$ et $0 \rightarrow 5\text{ V}$

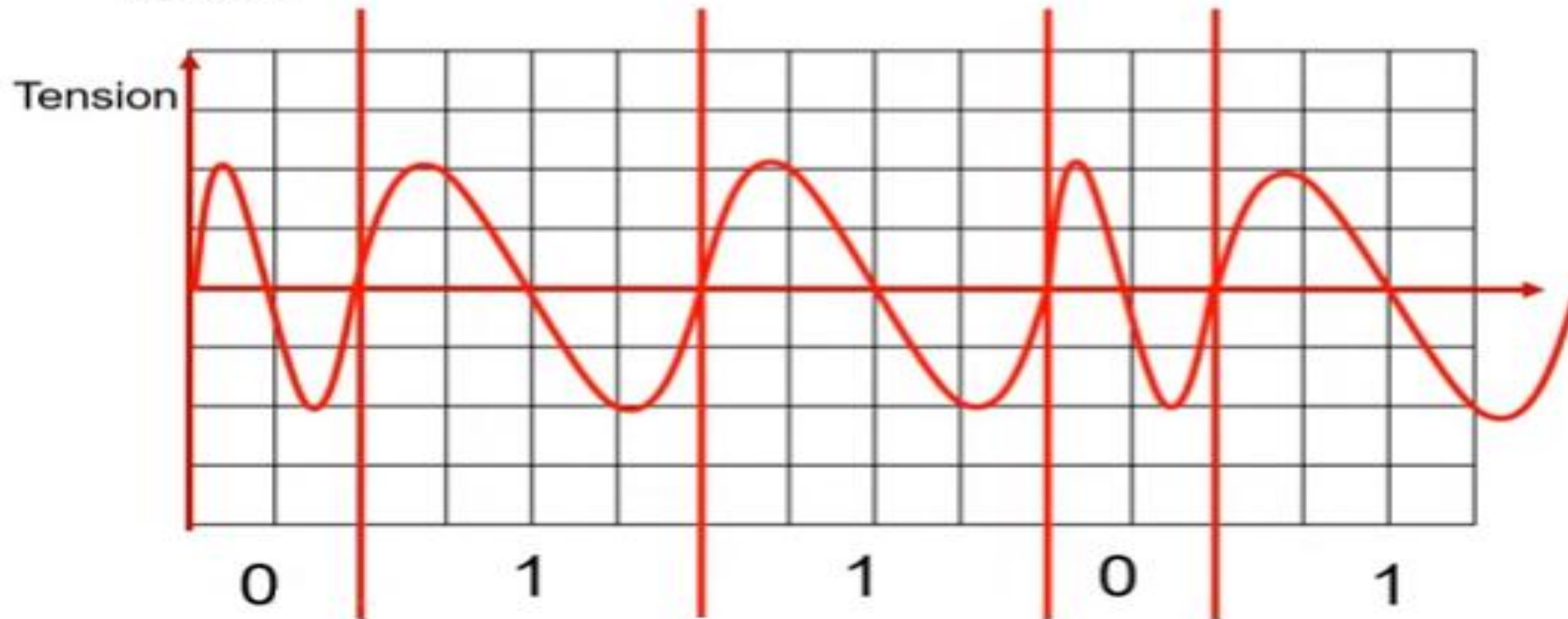


- ***La modulation de fréquence ou FSK*** : La fréquence du signal varie du simple F (fréquence de base) à un multiple.

Par exemple on prend deux fréquences : F_1 et F_2

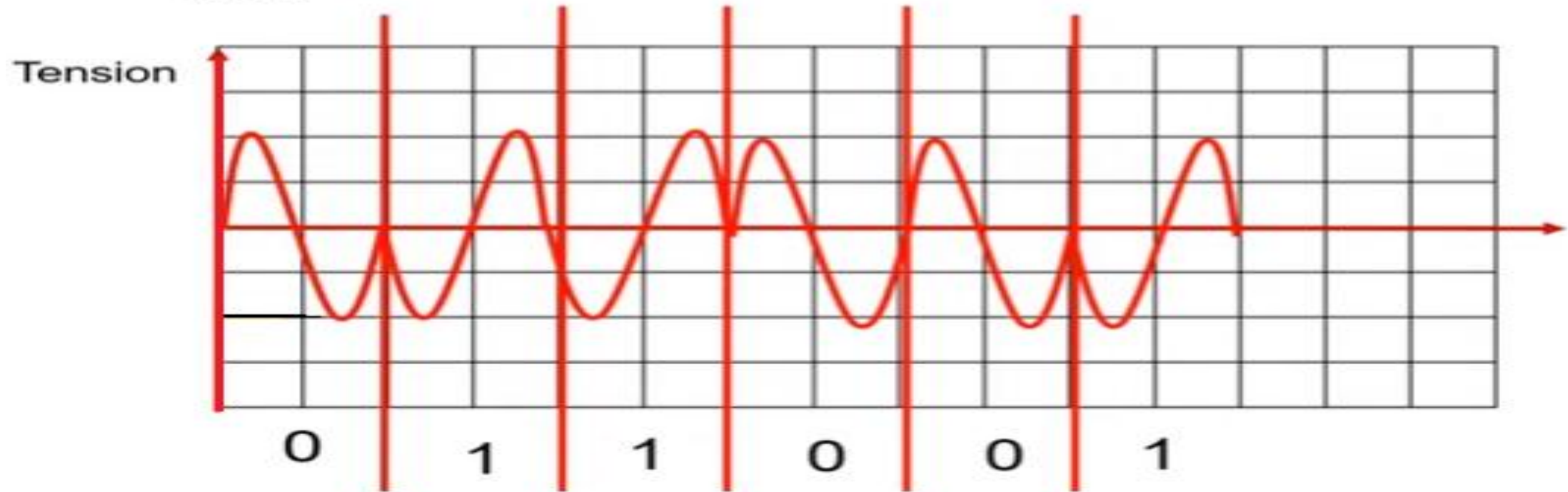
$F_1 \rightarrow 0$

$F_2 \rightarrow 1$



- **La modulation de phase ou PSK** : La phase du signal varie en fonction du bit à envoyer.

Exemple : On considère deux phases (0° et 180°)
 $1 \rightarrow 180^\circ$
 $0 \rightarrow 0^\circ$

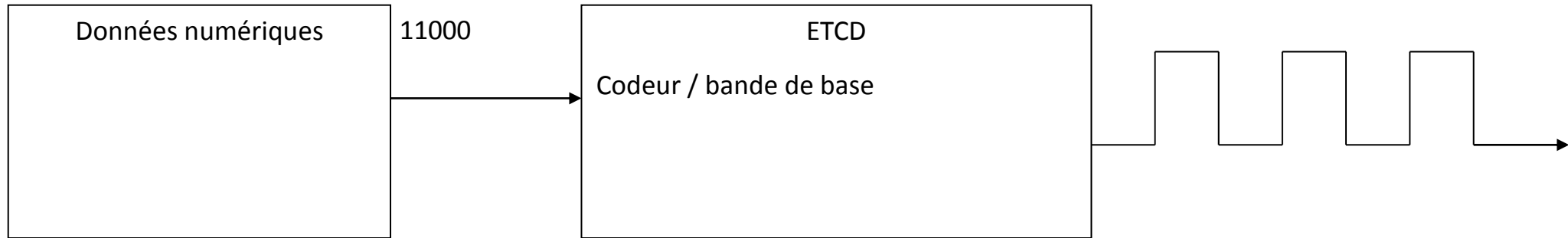


- La composition de ces trois techniques de modulations est possible et permet d'augmenter la valence et donc le débit de la transmission

II. 3.2 Transmission numérique (Bande de base)

La transmission numérique consiste à faire transiter les informations sur le support physique de communication sous forme de signaux numériques (0 et 1). Pour faire passer 0 ou 1, il faut coder par un signal possédant deux états, comme par exemple :

- Deux niveaux de tension par rapport à la masse.
- La présence ou absence de courant dans un fil.
- La présence / absence du son.
- La présence / absence de lumière,
- Cette transformation de l'information binaire sous forme d'un signal à deux états est réalisée par l'**ETCD**, appelé aussi **codeur bande de base**, d'où l'appellation de **transmission en bande de base** pour désigner la **transmission numérique**.



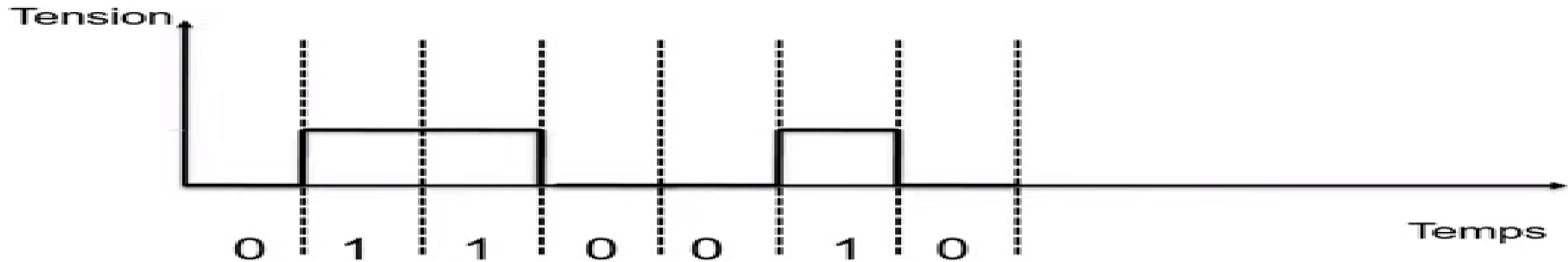
Codage des signaux : Plusieurs codages ont été définis

- **Codage tout ou rien (unipolaire)**

On utilise deux valeurs pour représenter le 0 et le 1

Tension positive = 1

Tension Nulle = 0

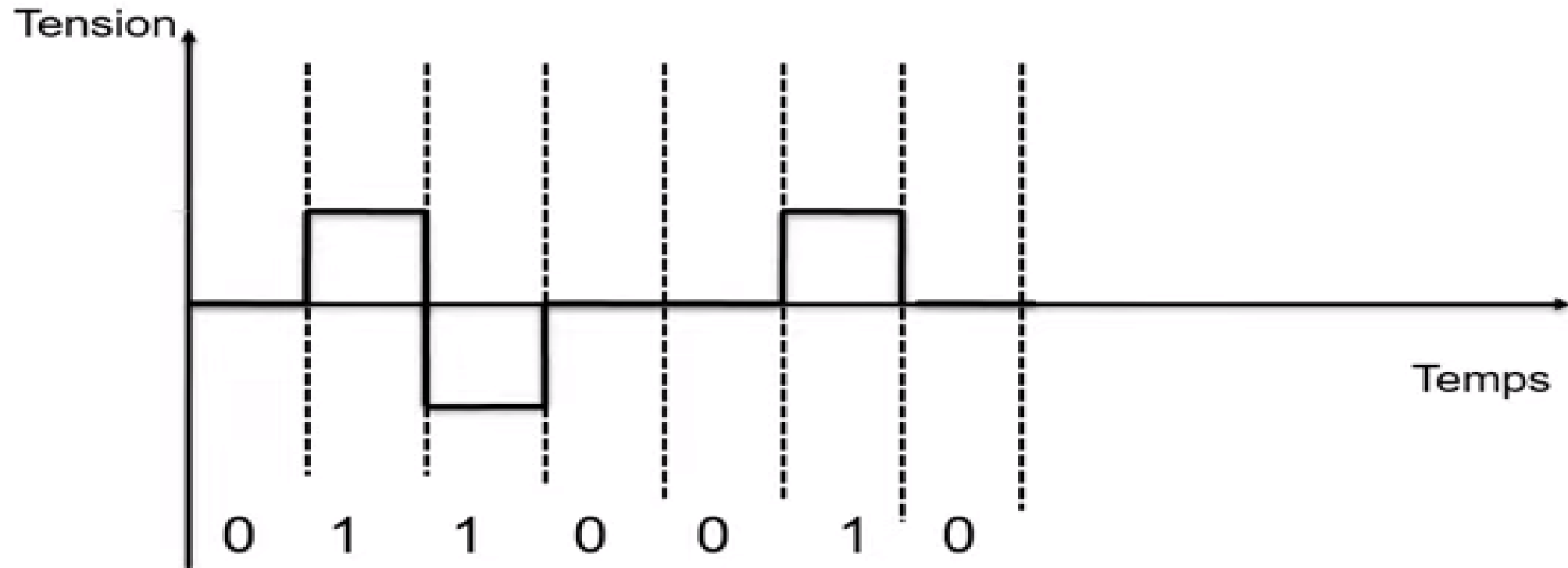


Ses inconvénients sont :

- consommation d'électricité importante dans le cas où on émet une série de 1
- problème de détection du signal
- problème de désynchronisation lors d'une longue série de 1 ou de 0

- **Codage bipolaire**

c'est aussi un code tout ou rien dans lequel le 0 est représenté par un courant nul, mais le 1 est représenté par un courant alternativement positif ou négatif pour éviter de maintenir des courants continus.



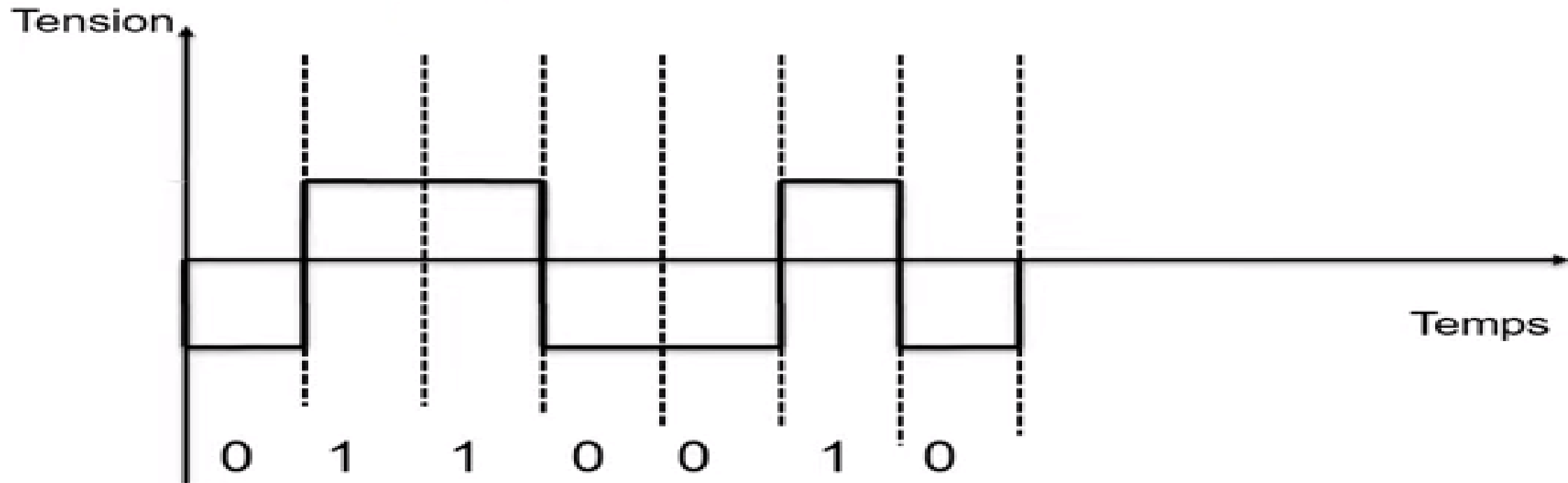
- **Codage NRZ (No Return to Zero)**

On utilise deux valeurs pour représenter le 0 et le 1

Tension positive = 1

Tension négative = 0

Tension nulle : pas de transmission



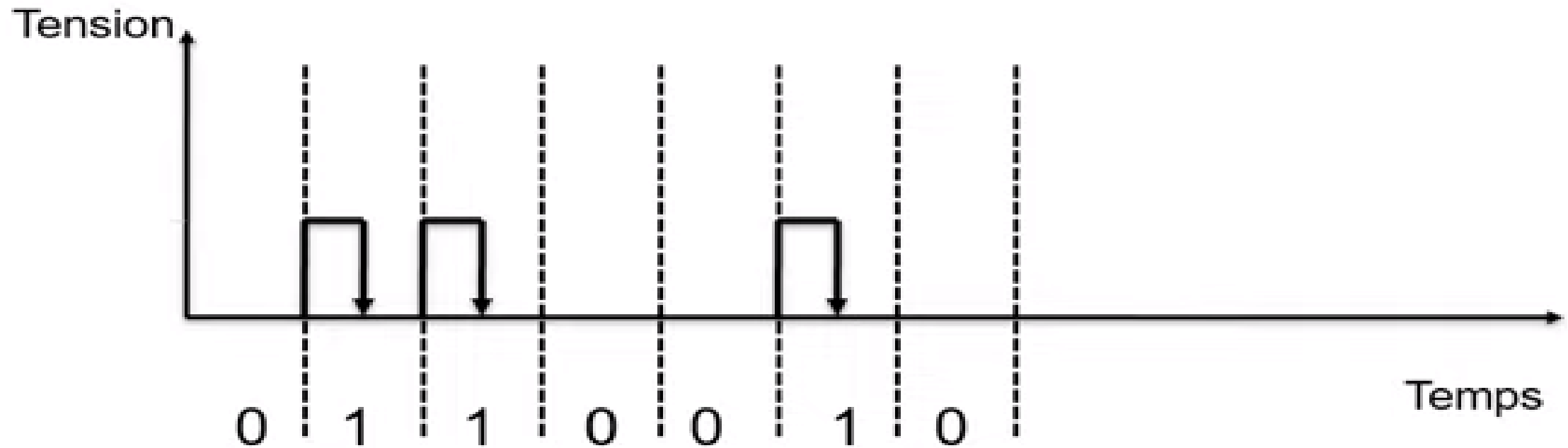
- Son défaut est que le signal continu gêne la synchronisation entre émetteur et récepteur.

- **Codage RZ (Return to Zero)**

On utilise deux valeurs pour représenter le 0 et le 1

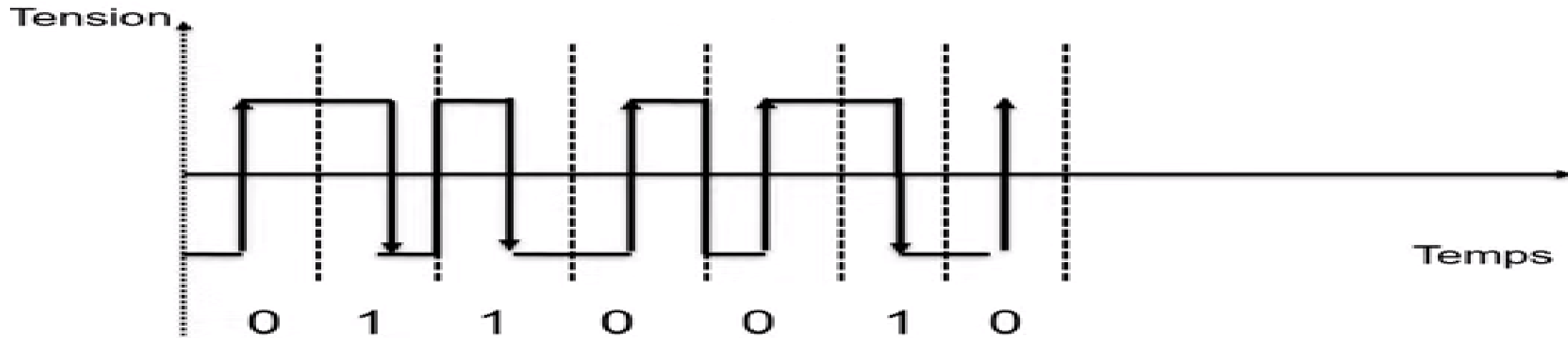
Front descendant = 1

Tension nulle = 0



• Codage biphase (Manchester)

On utilise deux valeurs pour représenter le 0 et le 1
Front descendant au milieu = 1
Front montant au milieu = 0



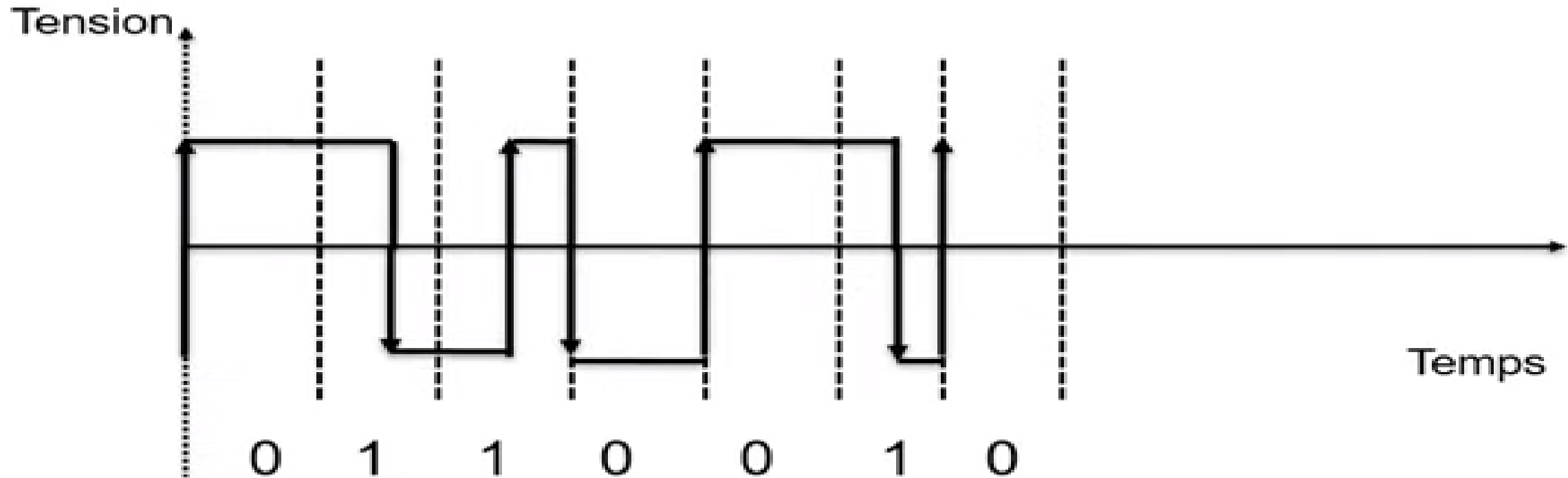
- La synchronisation des échanges entre émetteur et récepteur est toujours assurée.
- Le codage Manchester présente un inconvénient : il nécessite un débit sur le canal de transmission deux fois plus élevé que le codage binaire. Pour 10 Mbit/s transmis, on a besoin d'une fréquence à 10 Mhz.

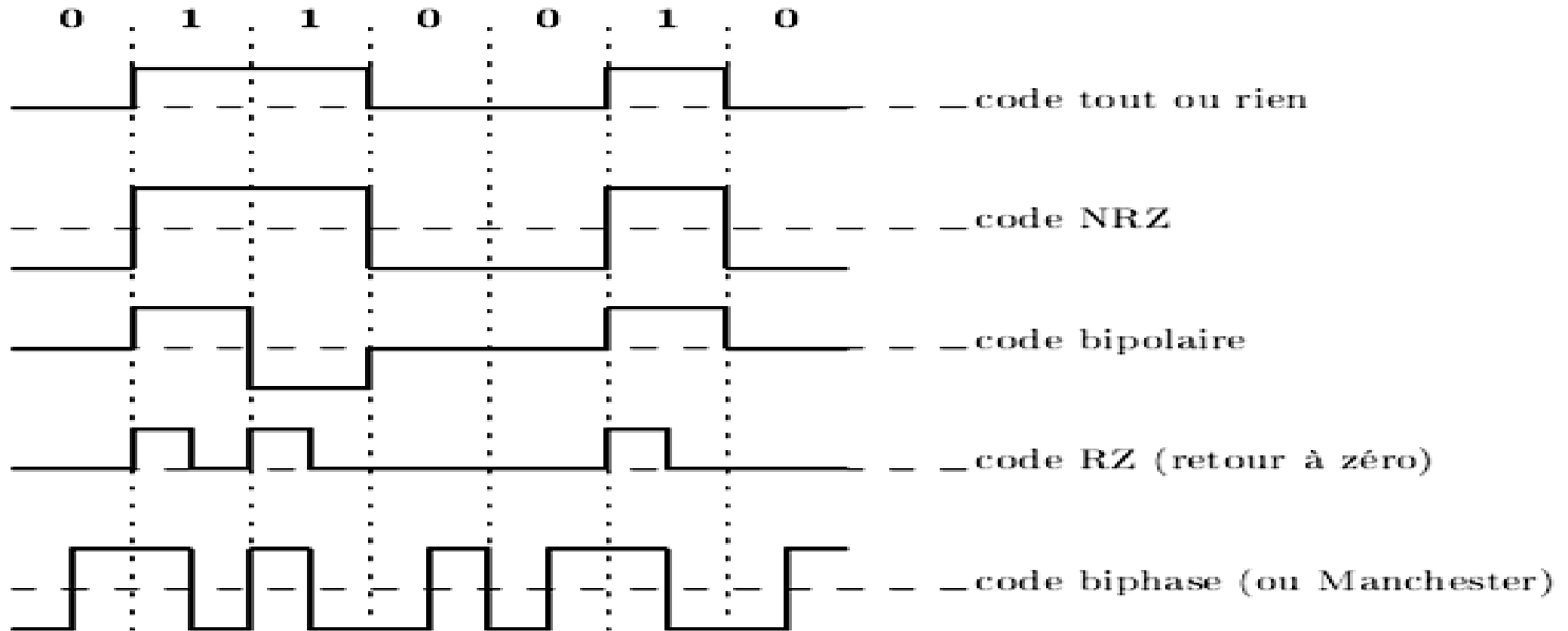
- Codage biphase différentiel (Manchester différentiel)**

On utilise deux valeurs pour représenter le 0 et le 1

Front montant ou front descendant au milieu = 1

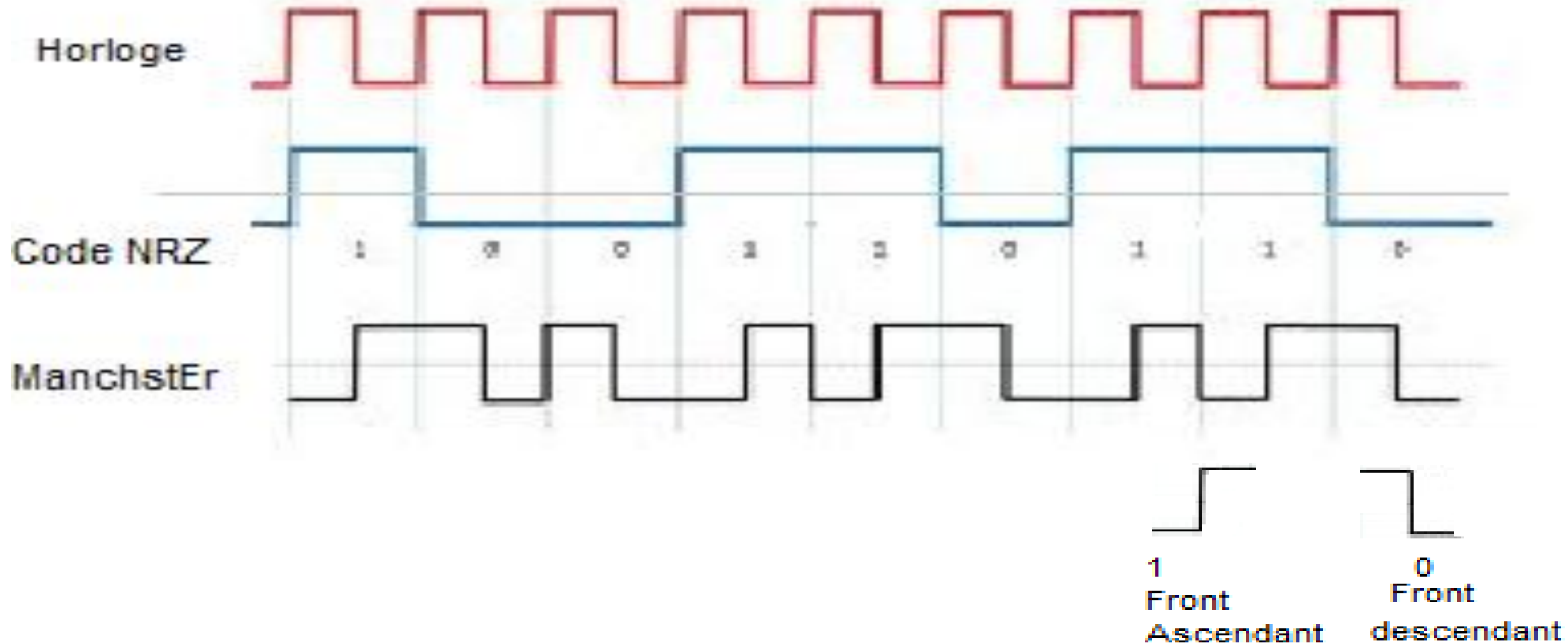
Front descendant ou montant au début = 0





Les principaux codages en bande de base

Le signal Manchester est obtenu en faisant la soustraction du signal horloge du signal NRZ.



 Impossible d'afficher l'image.

II.4 Les modes de Transmission de données

La transmission de données entre deux machines peut s'effectuer de différentes manières.

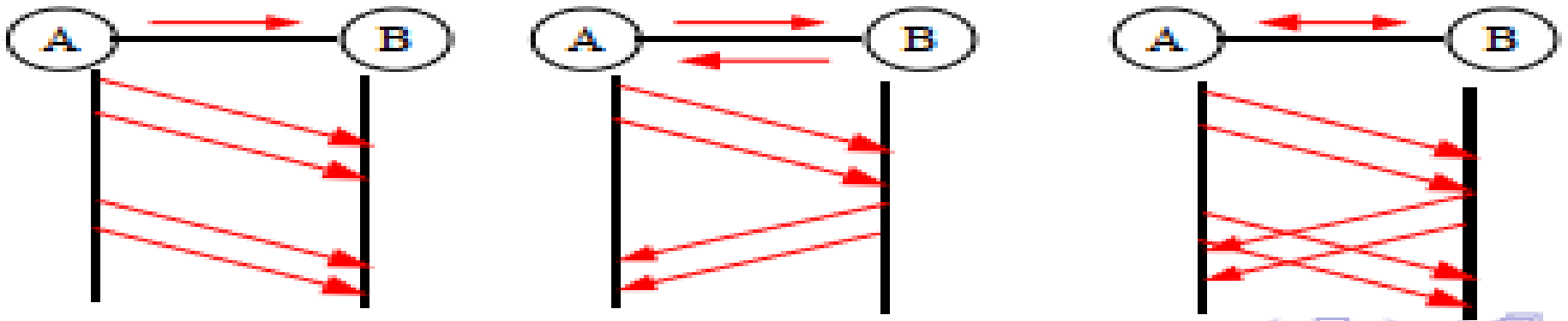
Elle est caractérisée par :

- Le sens des échanges.
- Le nombre de bit envoyés simultanément.
- La mode de synchronisation.

II. 4.1 Le sens des échanges

- **Liaison Simplexe** : Elle caractérise une liaison dans laquelle les données circulent dans un seul sens, c'est à dire de l'émetteur vers le récepteur. Ce mode est très utile lorsque les données n'ont pas besoin de circuler dans les deux sens (par exemple de votre ordinateur vers l'imprimante ou de la souris ou le clavier vers l'ordinateur, capteurs ...).

- **Liaison Half Duplex** : caractérise une liaison dans laquelle les données circulent dans un sens ou l'autre, mais pas les deux simultanément. Ainsi, avec ce genre de liaison, chaque extrémité de la liaison émet à son tour. Ce type de liaison permet d'avoir une liaison bidirectionnelle utilisant la capacité totale de la ligne.
- **Liaison Full Duplex** : caractérise une liaison dans laquelle les données circulent de façon bidirectionnelle et simultanément. Ainsi, chaque extrémité de la ligne peut émettre et recevoir en même temps. Ce qui signifie que la bande passante est divisé par deux pour chaque sens d'émission des données si un même support est utilisé pour les transmissions.

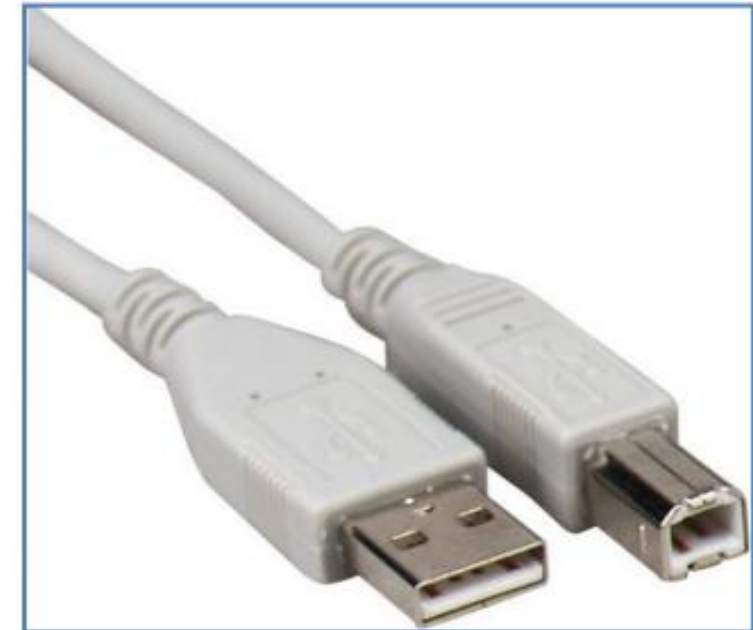
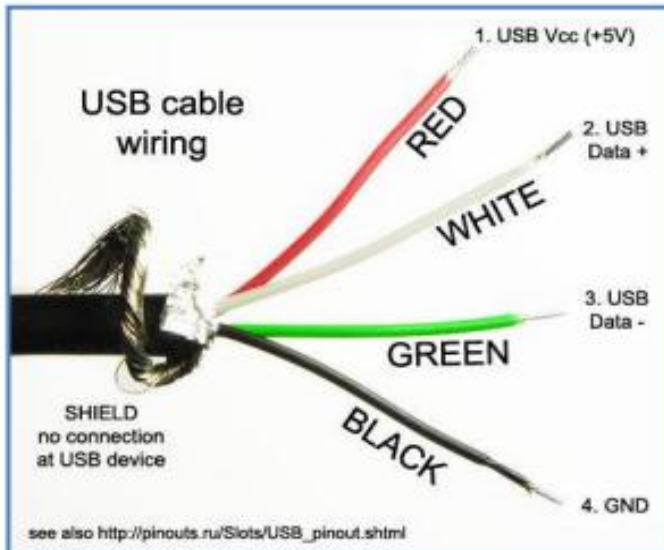
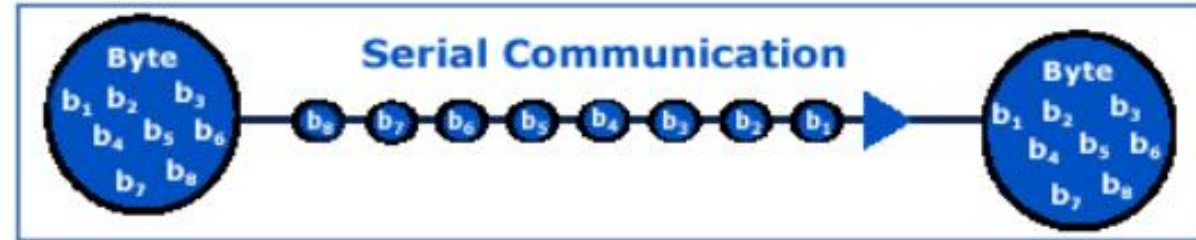


II.4.2 Modes de transmission

Le mode de transmission désigne le nombre d'unités d'informations (bits) pouvant être simultanément transmis par le canal de communication. En effet, un processeur ne traite jamais un seul bit à la fois mais plusieurs, c'est la raison pour laquelle la liaison de base sur un ordinateur est une *liaison parallèle*.

- **Liaison série** : Dans une liaison en série, les données sont envoyées *bit par bit* sur la voie de transmission. Toutefois, étant donné que la plupart des processeurs traitent les informations de façon parallèle, il s'agit de transformer des données arrivant de façon parallèle en données en série au niveau de l'émetteur, et inversement au niveau du récepteur. Ces opérations sont réalisées grâce à un *contrôleur de communication* (la plupart du temps une puce *UART, Universal Asynchronous Receiver Transmitter*).

Dans une liaison en série, les données sont envoyées bit par bit sur la voie de transmission. C'est le type de communication utilisé pour relier des appareils en utilisant, par exemple les ports USB (Universal Serial Bus) de l'ordinateur.



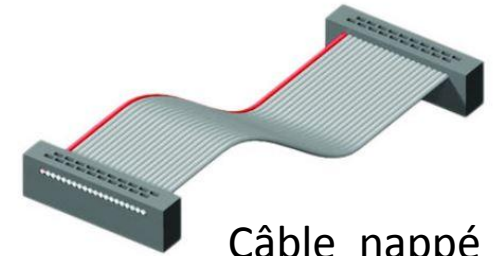
- **Liaison parallèle** : On désigne par liaison *parallèle* la transmission **simultanée de N bits**. Ces bits sont envoyés simultanément sur **N voies différentes** (la liaison parallèle nécessite généralement 10 fils). Ces voies peuvent être:
- Etant donné que les fils conducteurs sont proches sur une nappe, des perturbations (notamment à haut débit), peuvent être générées dégradant ainsi la qualité du signal.



Câble imprimante



Câble VGA

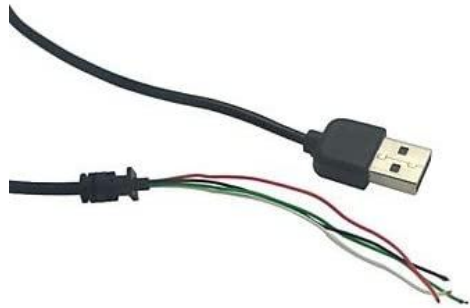


Câble nappé



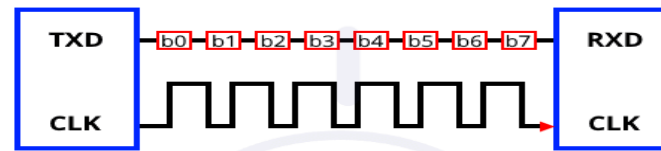
Câble HDMI

Câbles transmission parallèle



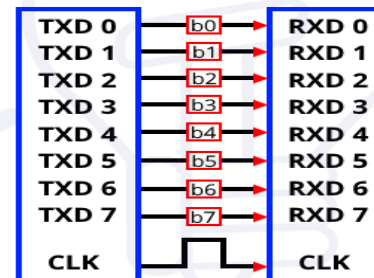
Câble USB souris clavier

Câble série



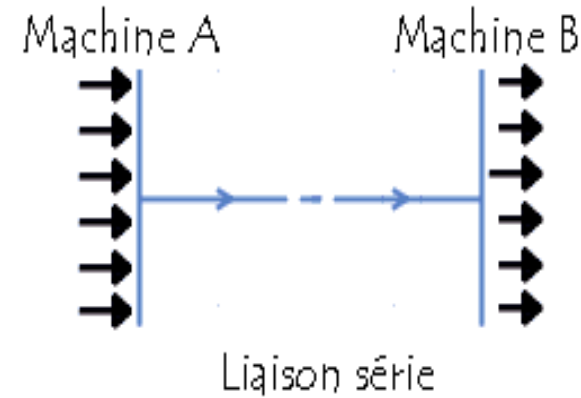
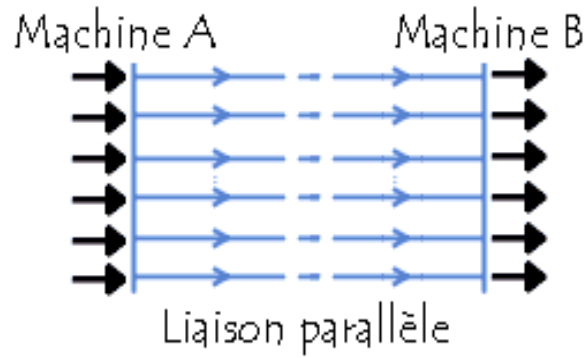
Serial Communication

www.electricaltechnology.org

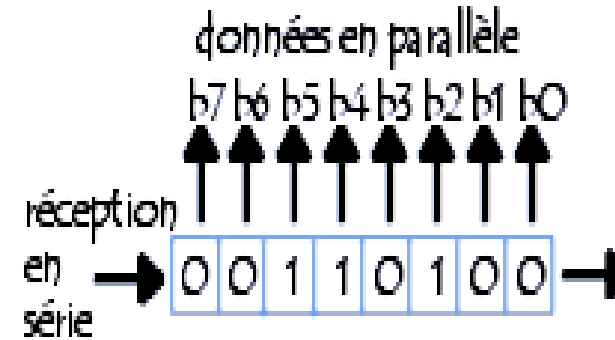
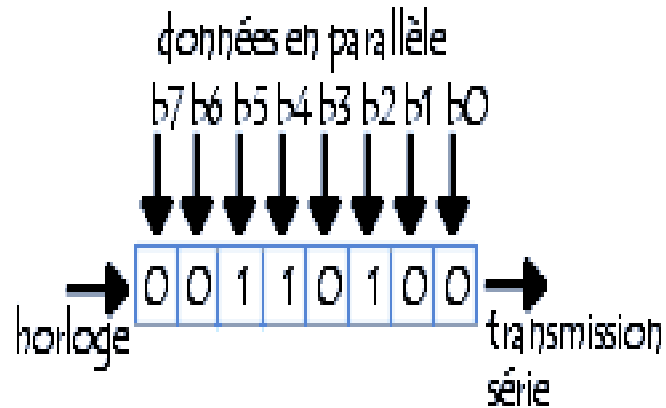


Parallel Communication

www.electricaltechnology.org



Modes de transmission

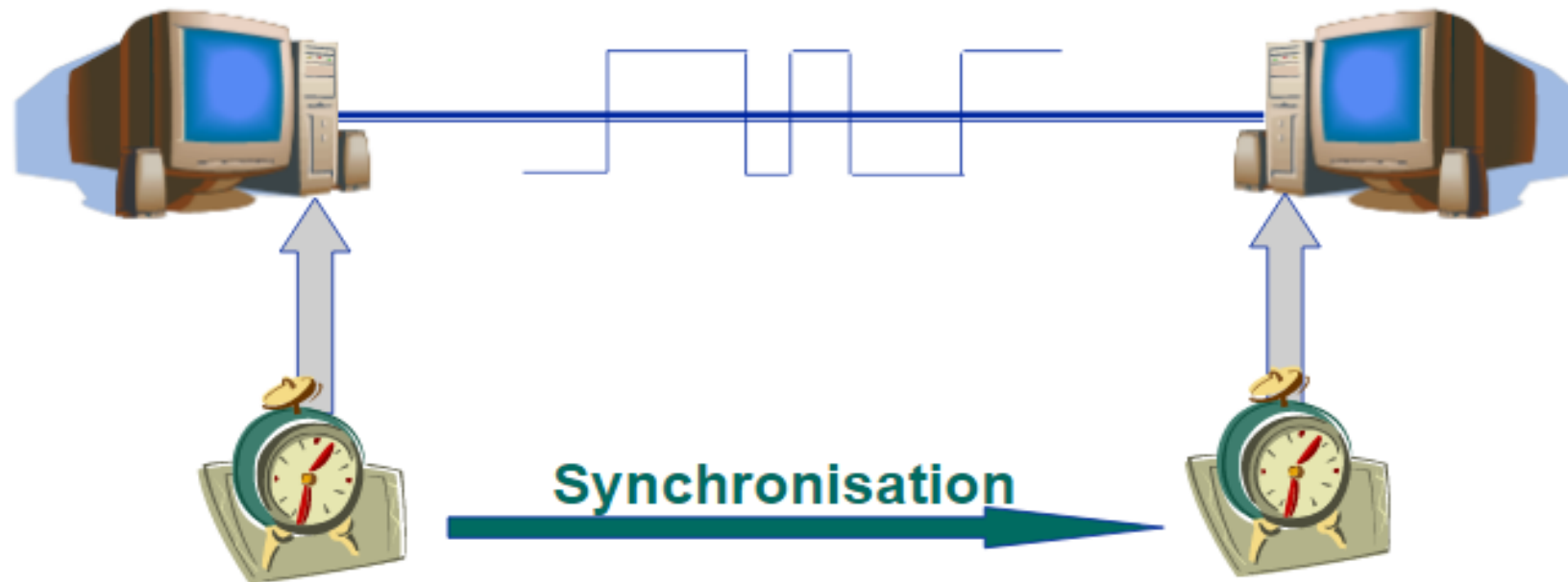


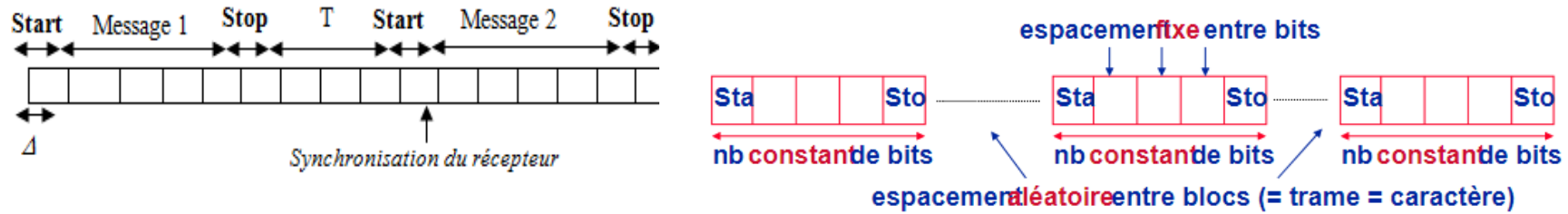
Sérialisation et parallélisation des données.

II. 4.3 Modes de Synchronisation

- Besoin de synchroniser émetteur et récepteur car chaque état ne dure qu'un laps de temps très court qu'il faudra identifier (*début et fin d'un état*) c'est la **synchronisation par bit ou état**.
- Lorsqu'on émet un bloc le récepteur doit encore reconnaître le début et la fin de chaque caractère ou **Bloc** : c'est la **synchronisation-caractère ou Bloc**. Deux modes de synchronisations sont possibles :

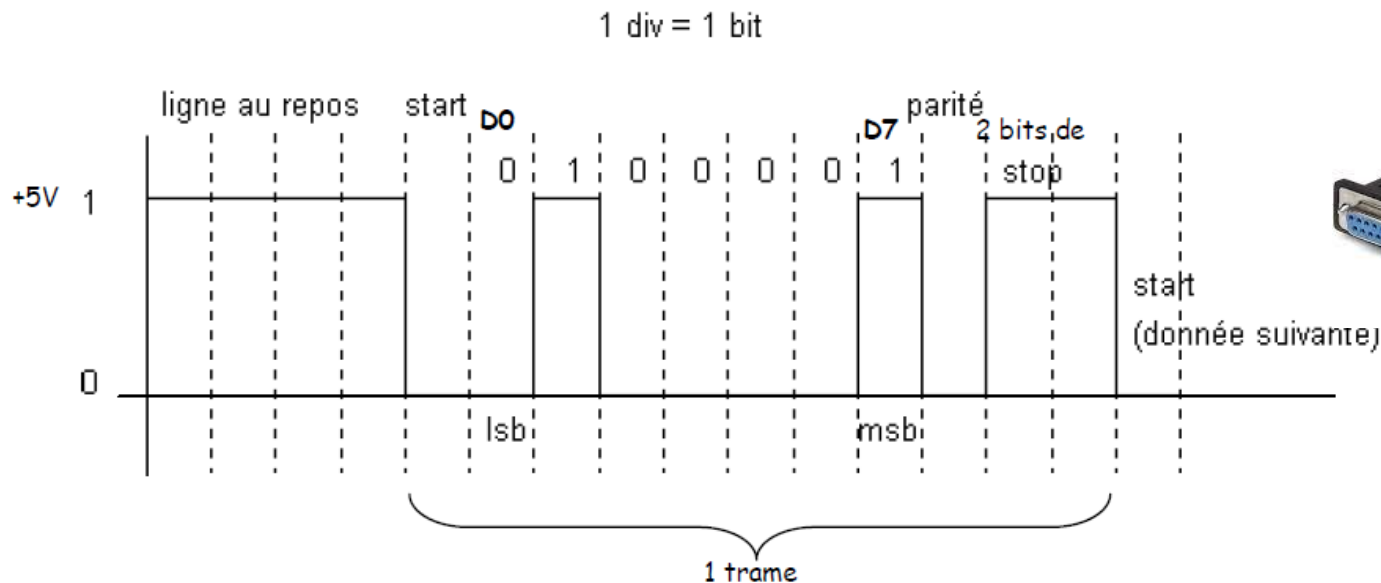
A) Transmission asynchrone : Les données circulent en mode semi-duplex, 1 octet (caractère) à la fois. Chaque caractère (7bits +1 bit de parité) est émis de façon irrégulière dans le temps (exemple : caractères saisis au clavier). L'intervalle de temps entre l'envoi de deux caractères est quelconque. Il n'y a synchronisation entre l'émetteur et le récepteur que pendant la transmission de chaque caractère. Il est donc nécessaire d'ajouter une information indiquant le début de la transmission du caractère (appelée *bit ou signal START*) et l'envoi d'une information de fin de transmission du caractère (un ou plusieurs bits ou signaux **STOP**). Ce qui donne le total de 10 bits pour une donnée sur 7 bits. Il ne nécessite pas la transmission du signal d'horloge pour la synchronisation.





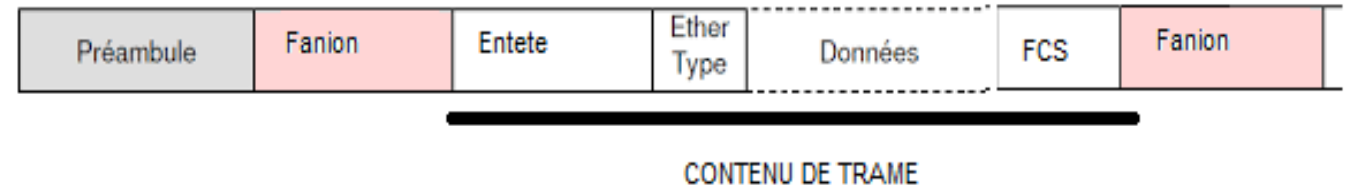
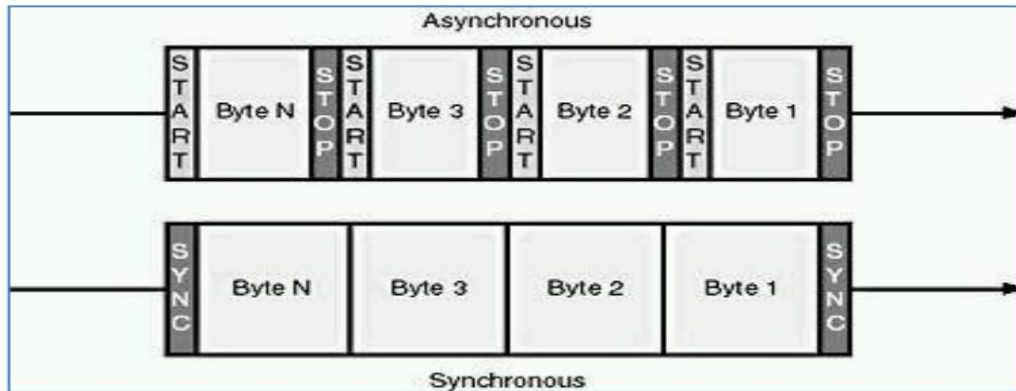
Δ : Temps nécessaire pour l'envoi d'un bit

T : Temps *quelconque* entre l'envoi du message 1 et du message 2
(multiple de Δ).



Câble (protocole) RS232

- **Transmission synchrone** : Elle permet de transmettre un un flot continu de bits sous forme de blocs d'information, appelé **trame**, en mode **duplex** sans utiliser les bits *start* et *stop*. Elle est utilisée pour transférer une grande quantité de données.
- Les données sont rythmées par une horloge qui assure un temps constant entre chaque bit envoyé. La synchronisation des horloges est obtenue soit en générant un signal sur une ligne séparée, soit en utilisant les signaux de données comme référence d'horloge (*Manchester*) ce qui permet d'utiliser moins de fils.
- Un autre niveau de synchronisation est nécessaire pour déterminer le début et la fin d'une trame. Un *préambule*, et subsidiairement un *postambule*, doivent être générés au début et à la fin d'une trame.
- Le bit de parité ne suffit plus pour détecter les erreurs, car le nombre de bits est trop important.



- Dans la **transmission synchrone**, les données sont transférées sous la forme de trames, alors dans la **transmission asynchrone**, les données sont envoyées sous forme d'octet ou de caractère.
- La **transmission synchrone** nécessite un signal d'horloge entre l'émetteur et le récepteur afin d'informer le récepteur du nouvel octet.
- Dans la **transmission asynchrone**, le taux de transfert de données est plus lent que celui de la **transmission synchrone**.
- La **transmission asynchrone** est simple et économique alors que la **transmission synchrone** est complexe et coûteuse.
- La **transmission synchrone** est efficace et a une surcharge plus faible par rapport à la **transmission asynchrone**.

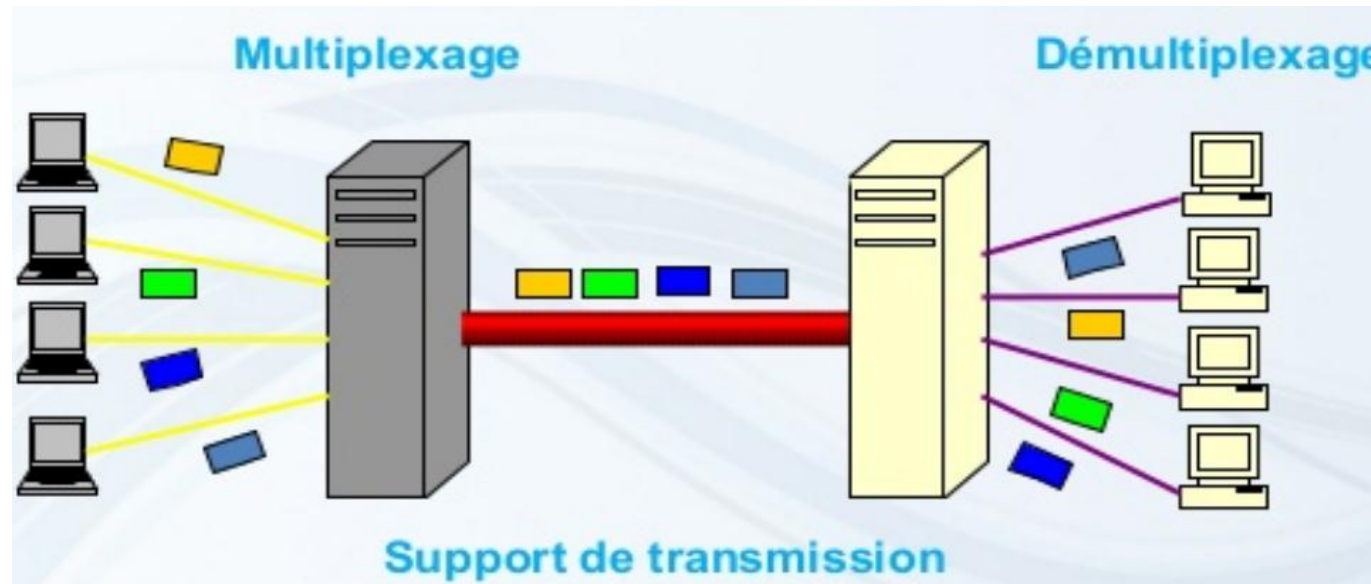
- Dans la **transmission synchrone**, les données sont transférées sous la forme de trames, alors dans la **transmission asynchrone**, Elles sont envoyées sous forme de caractère.
- **La transmission synchrone** nécessite un signal d'horloge entre l'émetteur et le récepteur afin de se synchroniser.
- Dans la **transmission asynchrone**, le taux de transfert de données est plus lent que celui de la **transmission synchrone**.
- **La transmission asynchrone** est simple et économique alors que la **transmission synchrone** est complexe et coûteuse.
- **La transmission synchrone** est efficace et a une surcharge plus faible par rapport à la **transmission asynchrone**.

Caractéristiques d'une transmission de données

- ***Le mode de connexion*** (connecté/non connecté)
- ***Le sens des échanges*** (simplex/half-duplex/full-duplex)
- ***Le mode de transmission*** (série/parallèles)
- ***La synchronisation entre émetteur et récepteur*** (mode synchrone/asynchrone)

II.5 Multiplexage

Pour optimiser l'usage des canaux de transmission, les opérateurs ont développé des techniques qui regroupent plusieurs communications sur un même support de transmission. On parle alors de partage de canal physique ou **MULTIPLEXAGE** physique. Les données transmises sur des lignes secondaires appelées voies basse vitesse (BV) sont concentrées sur un seul circuit de donnée à plus fort débit (dit voie Haute Vitesse, HV).



- Le **multiplexage** consiste donc à faire transiter sur une seule et même ligne de liaison, dite voie haute vitesse, des communications appartenant à plusieurs paires d'équipements émetteurs et récepteurs, (sans mélanger l'information à la sortie). Chaque émetteur (resp. Récepteur) est raccordé à un multiplexeur (resp. démultiplexeur) par une liaison dite **voie basse vitesse**.
- On appelle **multiplexeur** l'équipement de multiplexage permettant de combiner les signaux provenant des émetteurs pour les faire transiter sur la voie haute vitesse. On nomme **démultiplexeur** l'équipement de multiplexage sur lequel les récepteurs sont raccordés à la voie haute vitesse.

Le partage de canal peut être réalisé suivant deux types d'allocation:

- **L'allocation statique** : Lorsqu'une fraction de la capacité de transmission de la ligne est allouée de façon permanente à la disposition de chaque voie ou canal de transmission. Facile à exploiter mais mauvaise gestion de ressources
- **L'allocation dynamique** : Lorsque les durées d'allocation sont variables suivant le trafic de chaque voie. Le partage statique met en œuvre des équipements de type multiplexeur. Le partage dynamique peut être réalisé à l'aide d'équipements spécialisés de type concentrateurs. Optimisation des ressources mais plus complexe à mettre en œuvre.



Mutiplexeur FO



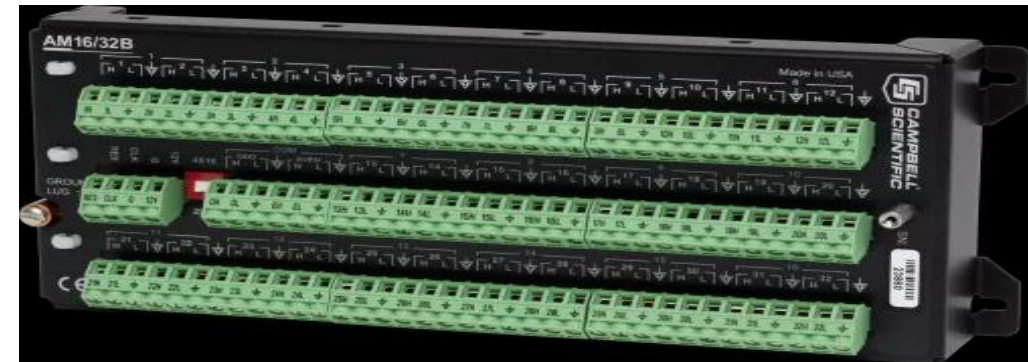
Mutiplexeur pour Câbles coaxiaux



Mutiplexeur pour Câbles coaxiaux TV SAT



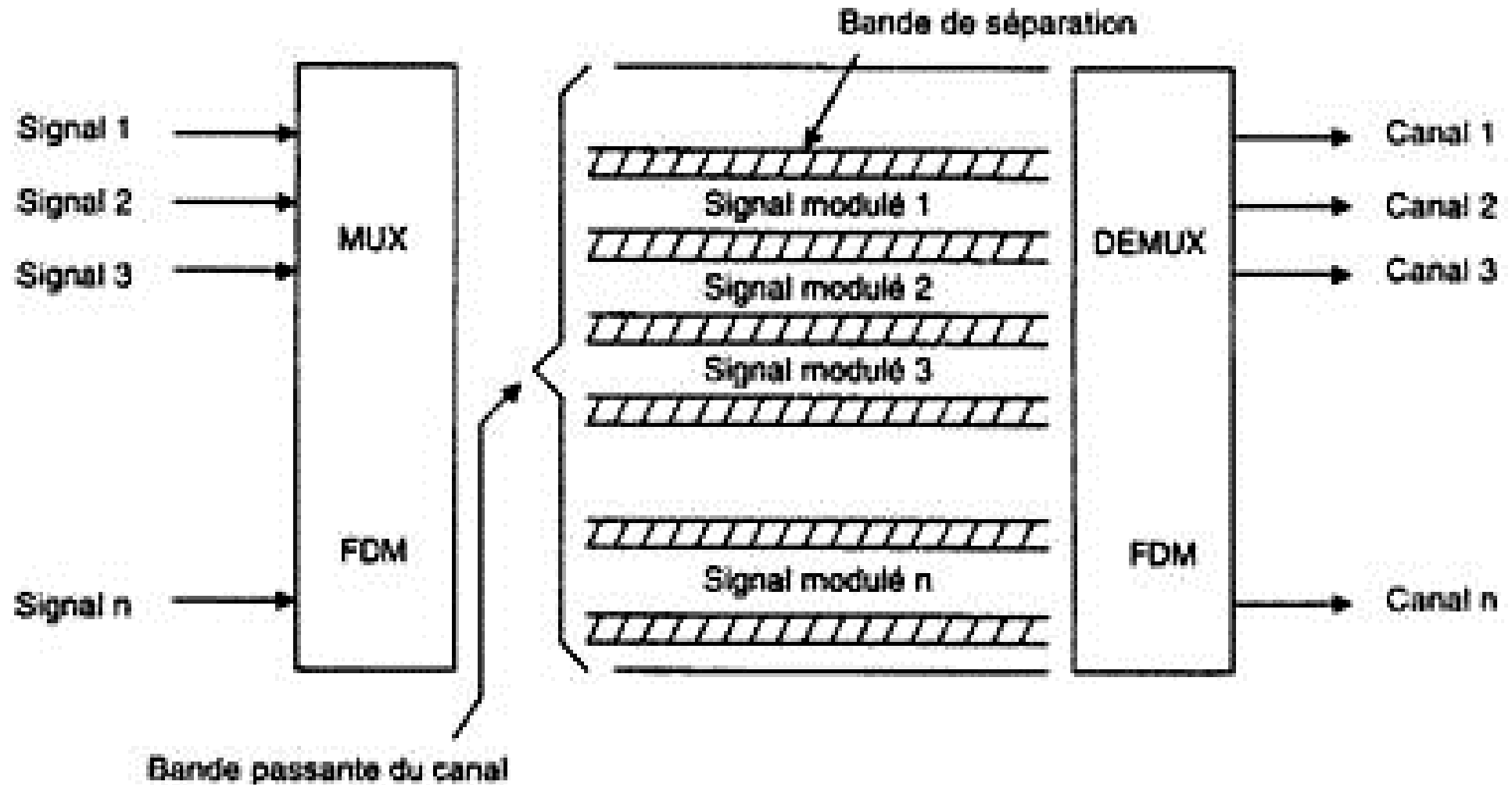
Multiplexeur /Démultiplexeur

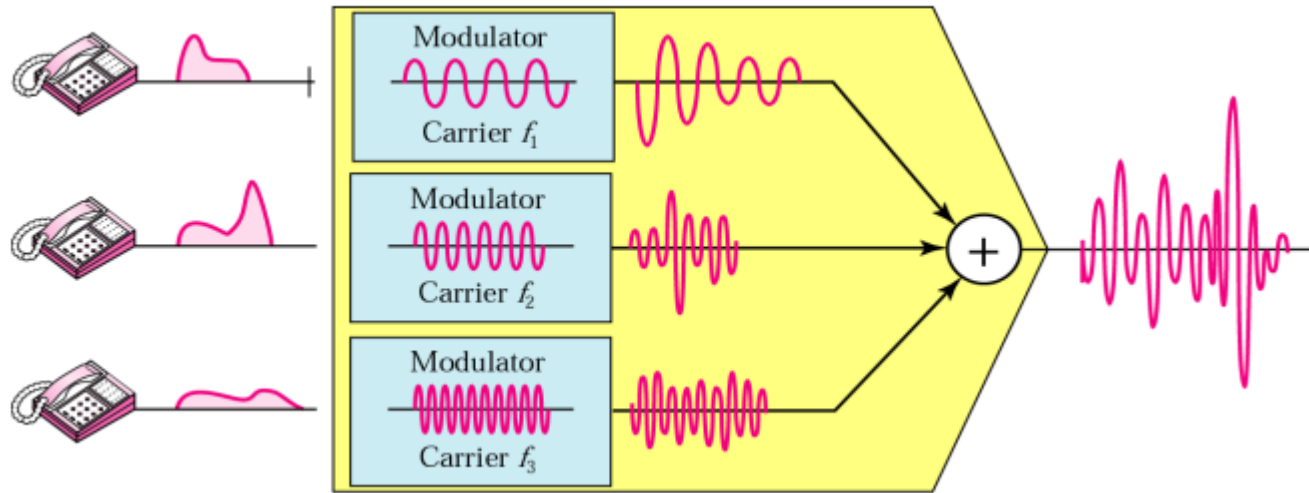


Mutiplexeur pour réseaux de capteur

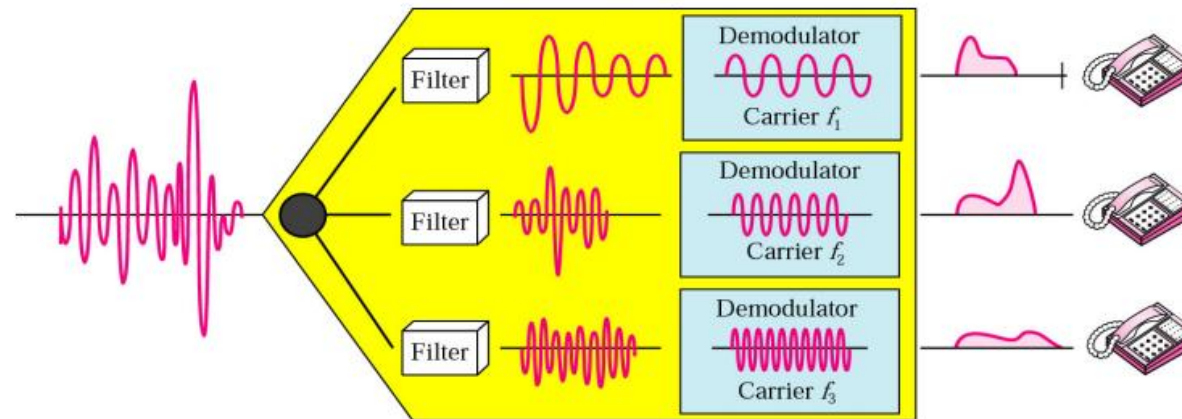
II.5.1 Le multiplexage fréquentiel

- Appelé aussi **MRF** (**Multiplexage par répartition de fréquence** ou en anglais **FDM**, Frequency Division Multiplexing), permet de partager la bande de fréquences disponibles sur la voie haute vitesse en une série de canaux de plus faible largeur.
- Il consiste à transposer les fréquences de chaque canal en entrée d'une ligne BV dans la bande qui lui est impartie dans la voie HV.
- Plusieurs transmissions peuvent être faites simultanément, chacune sur une bande de fréquences particulières, et à l'arrivée, le Démultiplexeur est capable de discriminer chaque signal de la voie haute vitesse pour l'aiguiller sur la bonne voie basse vitesse.
- Ce type de multiplexage n'est possible qu'en utilisant la **transmission analogique**.
- Exemple : transmission programmes radio, TV, TV SAT,





FDM à la réception (DEMUX)

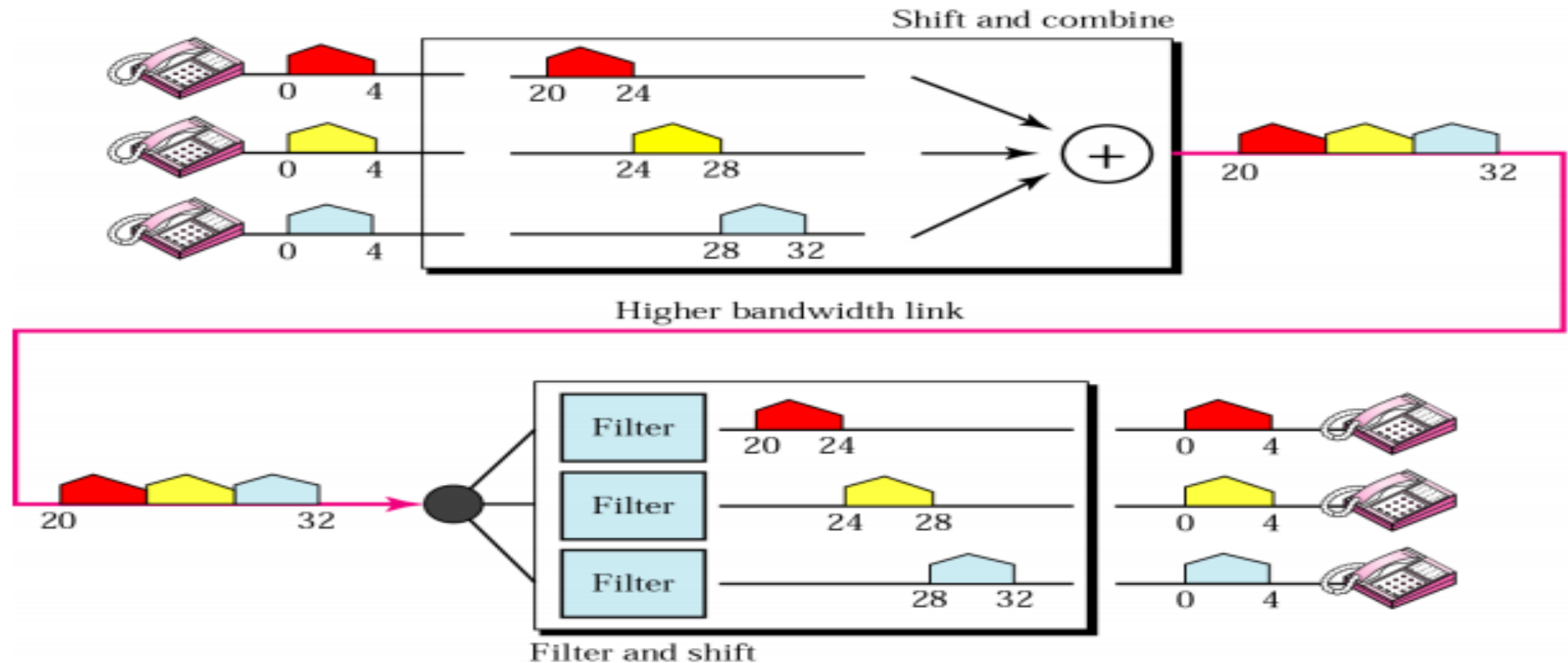


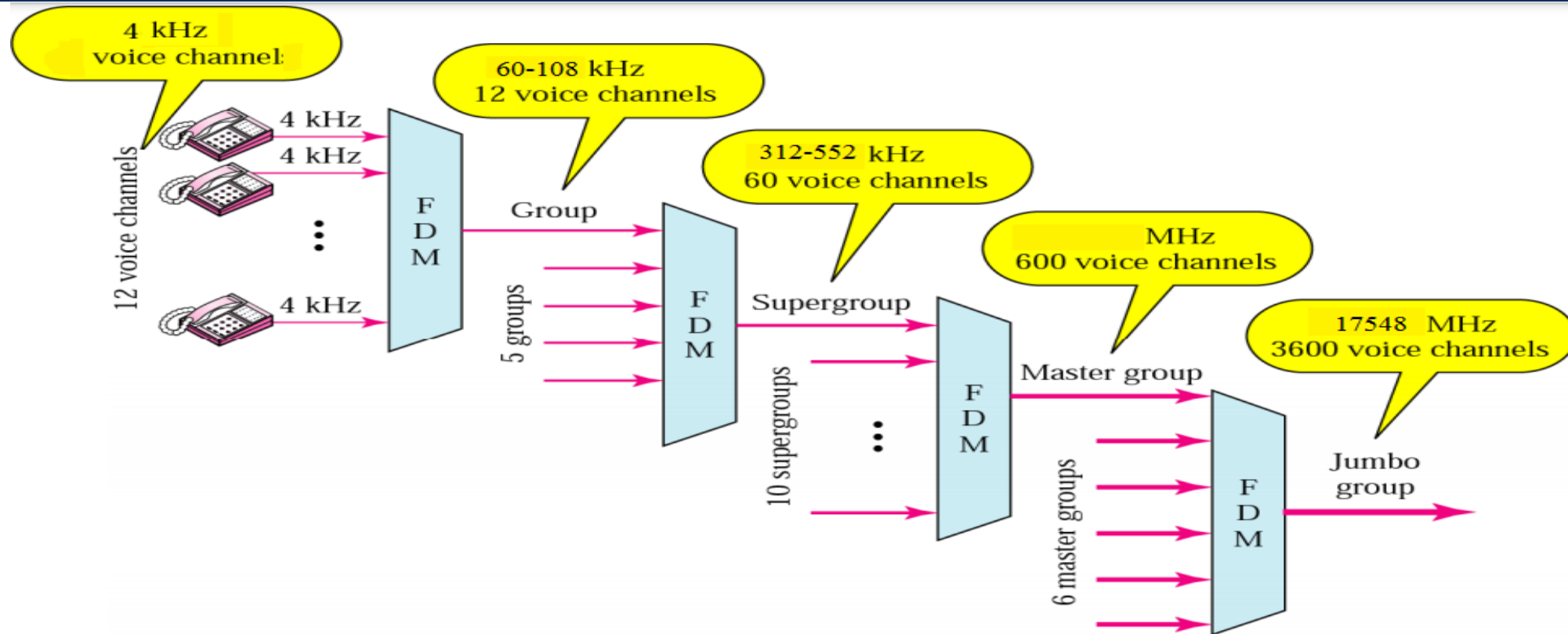
- La voie *HV* doit avoir une capacité suffisante pour absorber toutes les données provenant des voies *BV*. Chaque voie *BV* conserve sa bande passante sur la voie *HV*. Soit *BP* la bande passante de la voie haute vitesse et *Bp_i* est la bande passante à la ligne basse vitesse (*i*). On a :

$$\Sigma Bp_i < BP.$$

- Ainsi, si *C* est la capacité de la ligne *HV* et *D_i* et *R_i* le débit et la rapidité d'une ligne *BV*, alors : $C \geq \Sigma_i D_i$; $R_{Mux} \geq \Sigma_i R_i$
- Remarque** *Le multiplexage fréquentiel est uniquement possible avec la transmission analogique. Fourier a démontré grâce à sa transformée la possibilité de retrouver des signaux analogiques sinusoïdaux à partir d'une somme de signaux.*

- **FDM** est utilisé en téléphonie où, chaque signal occupe une bande de fréquence de **4kHz**. Les supports de transmission HV employés pour acheminer ces signaux possèdent des bandes passantes beaucoup plus larges. Une hiérarchie **FDM** téléphonique a été définie pour transmettre jusqu'à 600 voies téléphoniques multiplexées sur les supports comme des fils torsadés ou des câbles coaxiaux

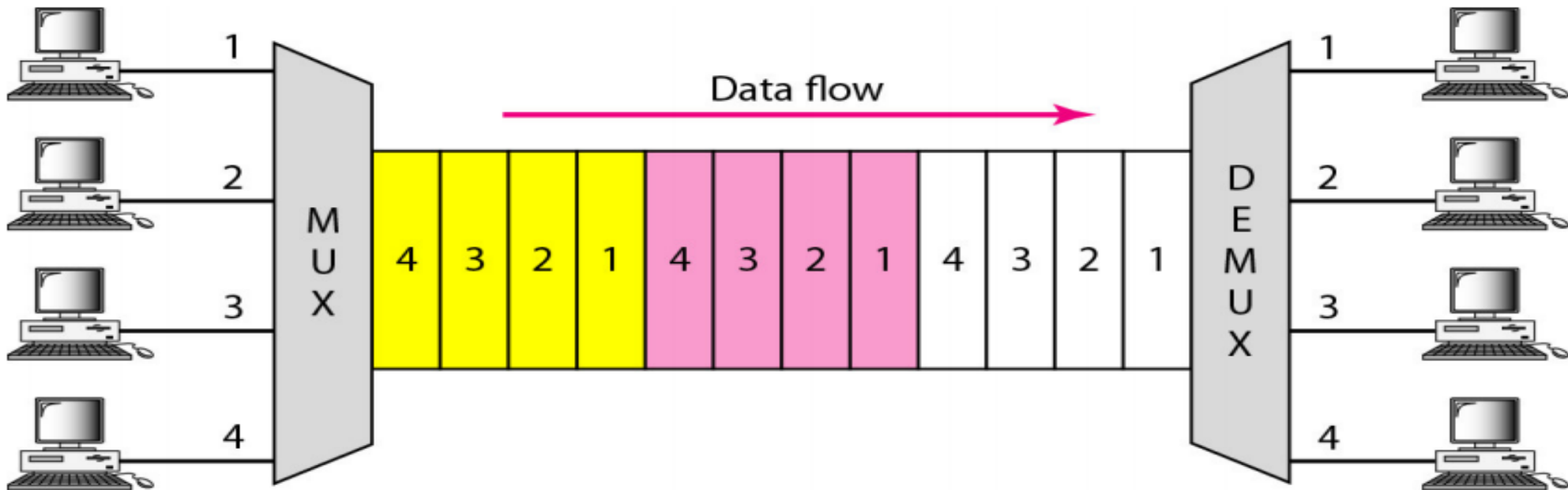




Le premier niveau **FDM** regroupe 12 canaux, pour former le *groupe primaire*. Le *groupe secondaire* est constitué de 5 *groupes primaires* et peut donc véhiculer 60 voies téléphoniques. Le *groupe tertiaire* (Master group) est composé de 10 groupes secondaires et véhicule 600 voies téléphoniques. Le jumbo group peut relier 6 masters groups.

II.5.2 Le multiplexage temporel

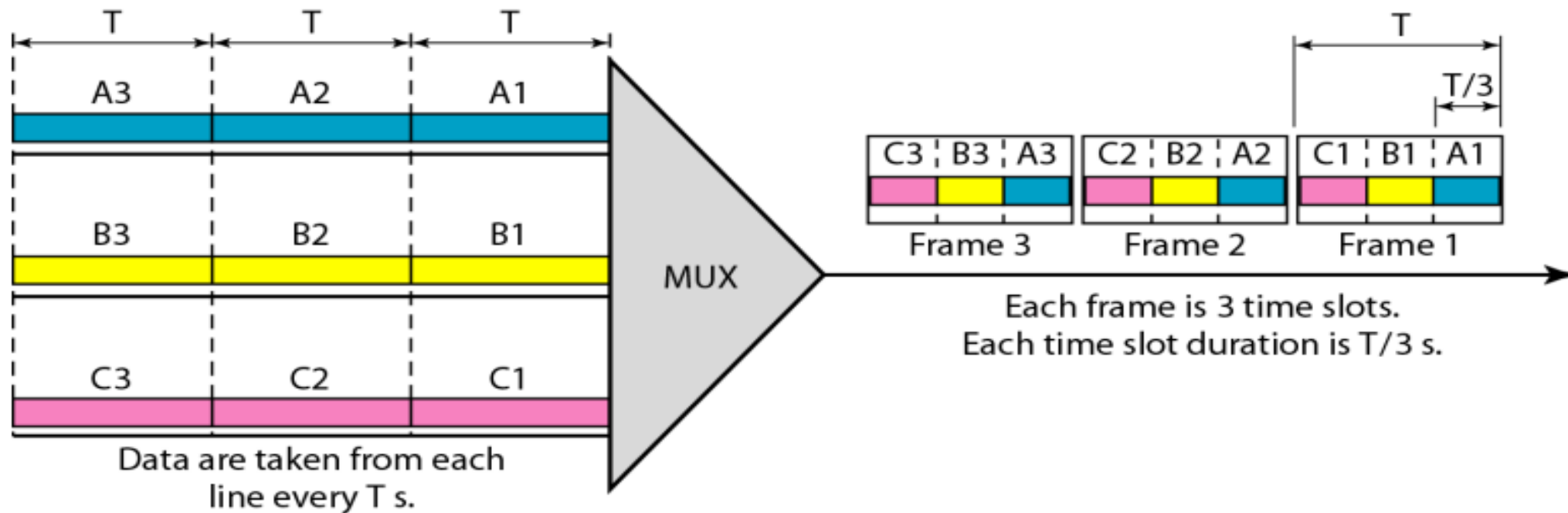
- Le multiplexage temporel, appelé aussi *MRT* (*Multiplexage par répartition dans le temps* ou en anglais *TDM*, *Time Division Multiplexing*) permet d'échantillonner les signaux des différentes voies BV et de les transmettre successivement sur la voie HV en leur allouant la totalité de la bande passante pendant un laps de temps limité appelé *Quantum*.
- Plus moderne et mieux adaptée à la transmission numérique, cette technique permet de transmettre à grande vitesse plusieurs signaux numériques *en série* sur un seul canal de transmission. Suivant les techniques, chaque intervalle de temps attribué à une voie permet de transmettre 1 ou plusieurs bits de manière statique ou dynamique.



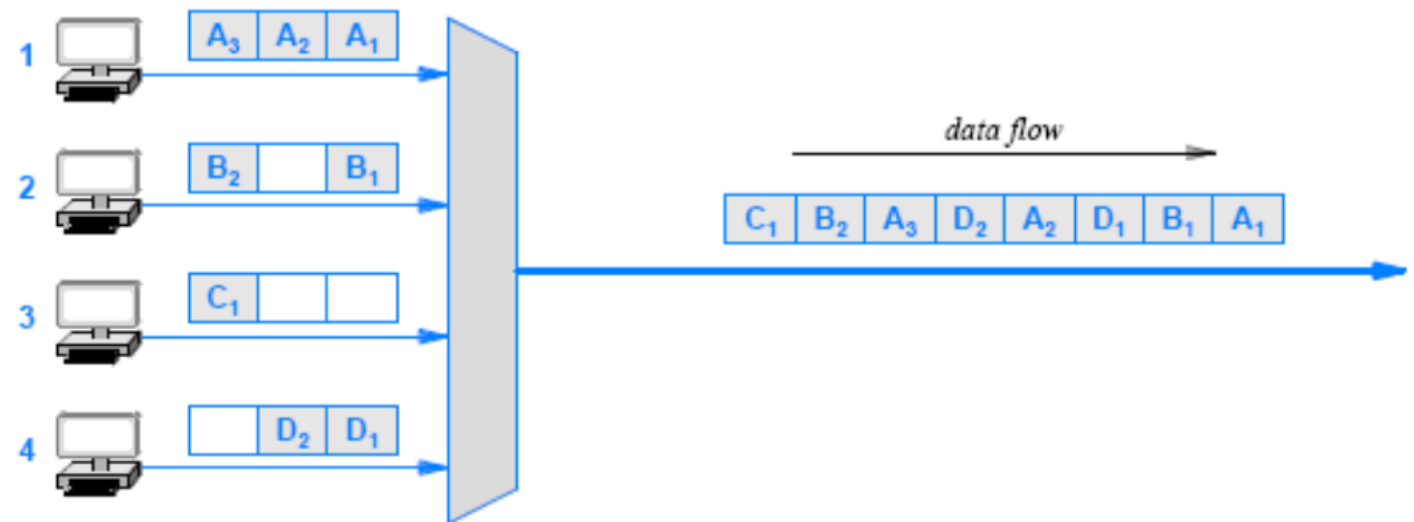
- **Multiplexage temporel synchrone:** Multiplexage statique où les quantums sont égaux et alloués périodiquement à chaque équipement. Pas besoin d'adresser les flux mais implique l'existence d'une mémoire dédiée (Buffer) à chaque ligne BV pour le stockage de l'information en attente de transfert. Pendant le quantum, les données de la voie BV occupent toute la bande passante de la voie HV .
- **Remarque :** *La vitesse de transmission des voies basse vitesse, notée d_i , est fonction de la vitesse de transmission de la ligne composite, notée D , et du nombre de voies n : $d=D/n$. La période de scrutation (cycle) T_s des trames est fonction du nombre de voies et de l'intervalle de temps élémentaires (Quantum) Q :*

$$T_s = n \times Q.$$

Dans un TDM synchrone, le débit de données de la liaison est n fois plus rapide, et la durée de l'unité est n fois plus courte.



- **Multiplexage temporel asynchrone** : Définit un multiplexage dynamique où un quantum est alloué à la demande dès qu'un buffer est plein. Cela nécessite de rajouter l'adresse de la provenance. Cette technique permet de réduire les silences sur la ligne *HV*. Elle améliore le multiplexage temporel synchrone en n'attribuant la voie haute vitesse qu'aux voies basses vitesses qui ont effectivement des données à transmettre. Les tranches de temps sont donc dynamiquement allouées et peuvent avoir des durées variables.



Exemple

Soit trois terminaux T1, T2, T3 reliés à un multiplexeur.

T1 émet le message A

T3 émet le message D

T1 émet le message B

T2 émet le message C

T1 émet le message E

Synchrone	A	silence	D	B	C	silence	E	silence	silence
Asynchrone	A	D	B	C	E	fin			

II.5.3 Concentration et diffusion

- La *concentration* consiste en la réception d'informations sur plusieurs lignes pour remettre l'ensemble sur une seule (la ligne est partagée dans le temps).
- La *diffusion* est l'opération inverse.
- Un concentrateur (un hub) est un multiplexeur asynchrone temporel intelligent, permettant d'assurer les fonctions de concentration et de diffusion. Il alloue dynamiquement (à la demande) les tranches de temps aux ETTD qui ont en besoin. Pour cela, il doit assurer le stockage des données temporairement sur *des mémoires* avant leur émission.
- Les blocs de données doivent explicitement contenir des informations de l'expéditeur. Le concentrateur doit être capable de désynchroniser le traitement des différentes lignes qu'il multiplexe.