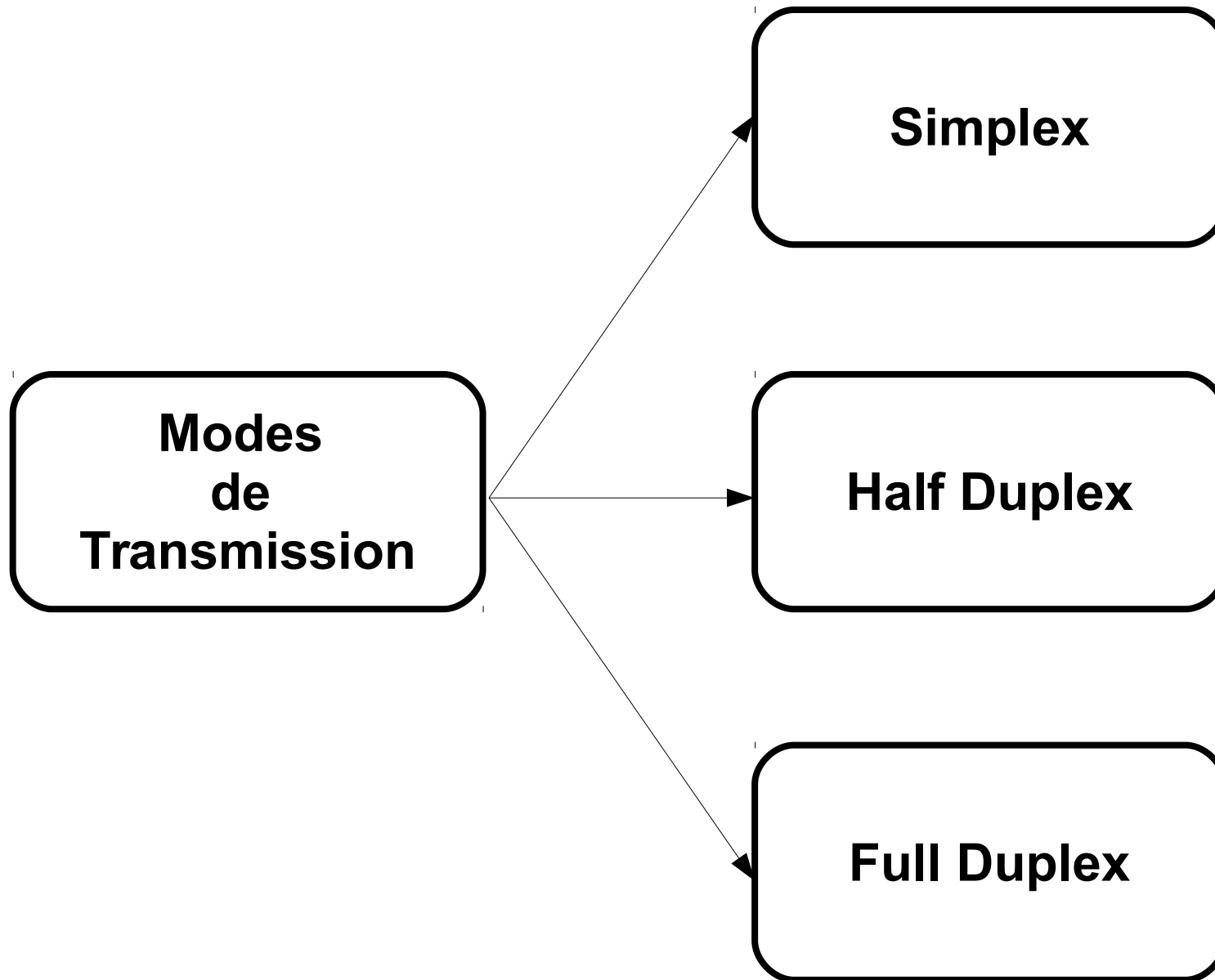


Chapitre I :

Codage et transmission de l'information

Caractéristiques d'une ligne de transmission

CLASSIFICATION DES MODES DE TRANSMISSION SELON L'ORGANISATION DES ÉCHANGES



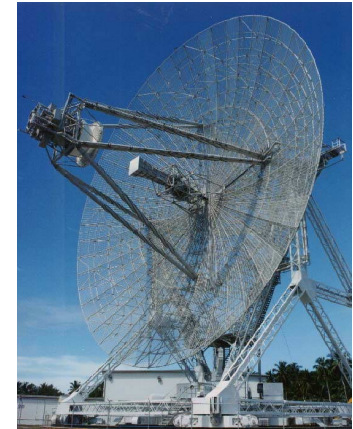
Simplex

- **Une liaison dans laquelle les données circulent dans un seul sens**
 - utile lorsque les données n'ont pas besoin de circuler dans les deux sens
- **Définition de l'ANSI (*American National Standards Institute*)**
 - *All signals can flow in only one direction*
- **Définition de l'ITU-T (*International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector*)**
 - *Signals can flow in only one direction at a time. At other times communications can flow in the reverse direction*

Exemple de simplex

- **Radiodiffusion**
 - radio FM/AM
- **Télédiffusion**
 - Transmission unilatérale de signaux (numériques/analogiques) vers un grand nombre de clients
- **Multicast dans l'Internet**
 - Méthode de diffusion de l'information d'un émetteur vers un groupe

Exemple de simplex



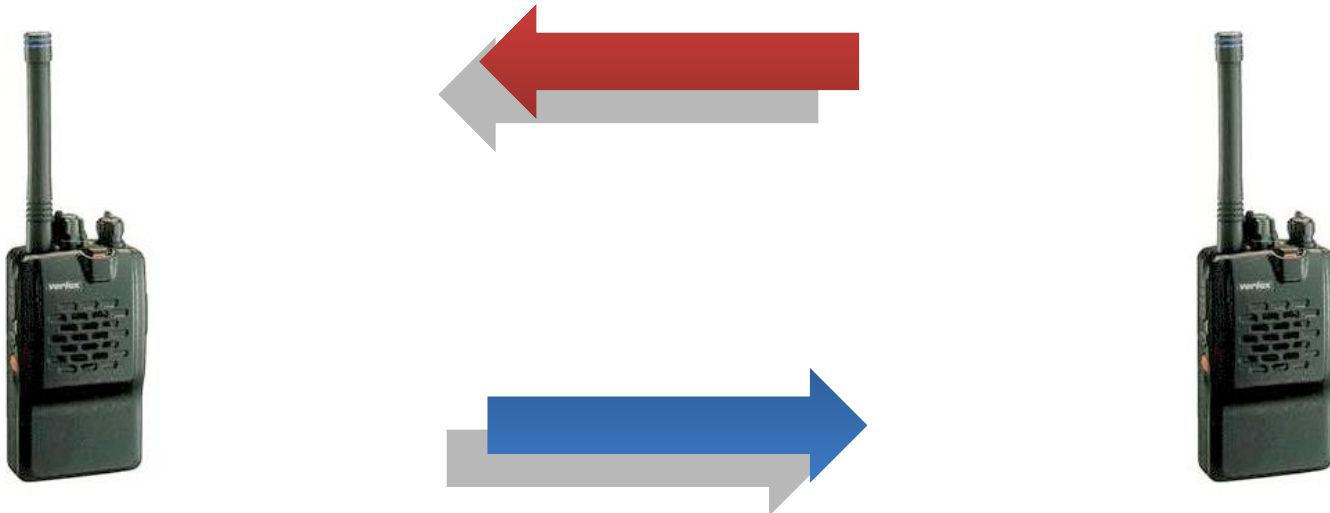
Half Duplex

- **Half Duplex ou semi-duplex**

- Les données circulent dans un sens ou l'autre, mais pas les deux simultanément.
- Chaque extrémité de la liaison émet à son tour.
- Utilisation de la capacité totale de la ligne.

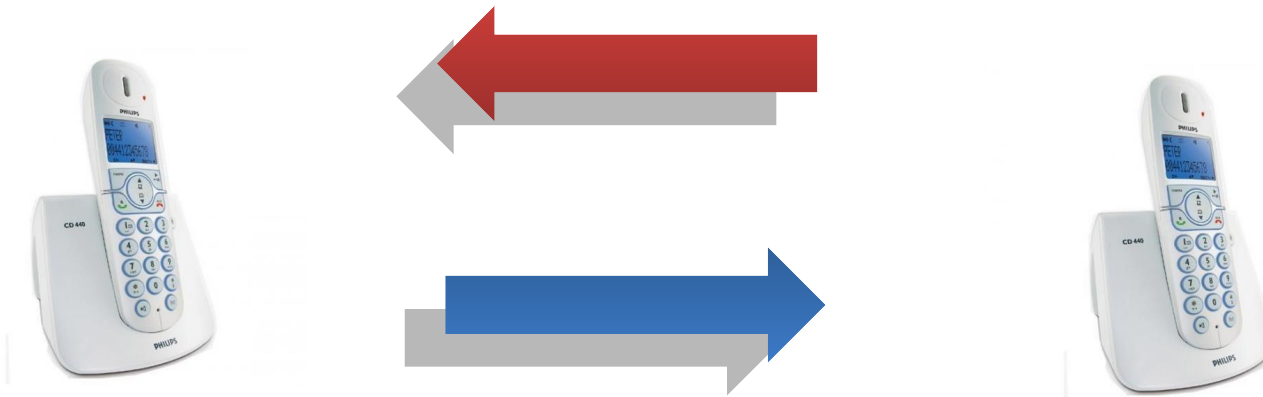
- **Exemple**

- Talki-Walki

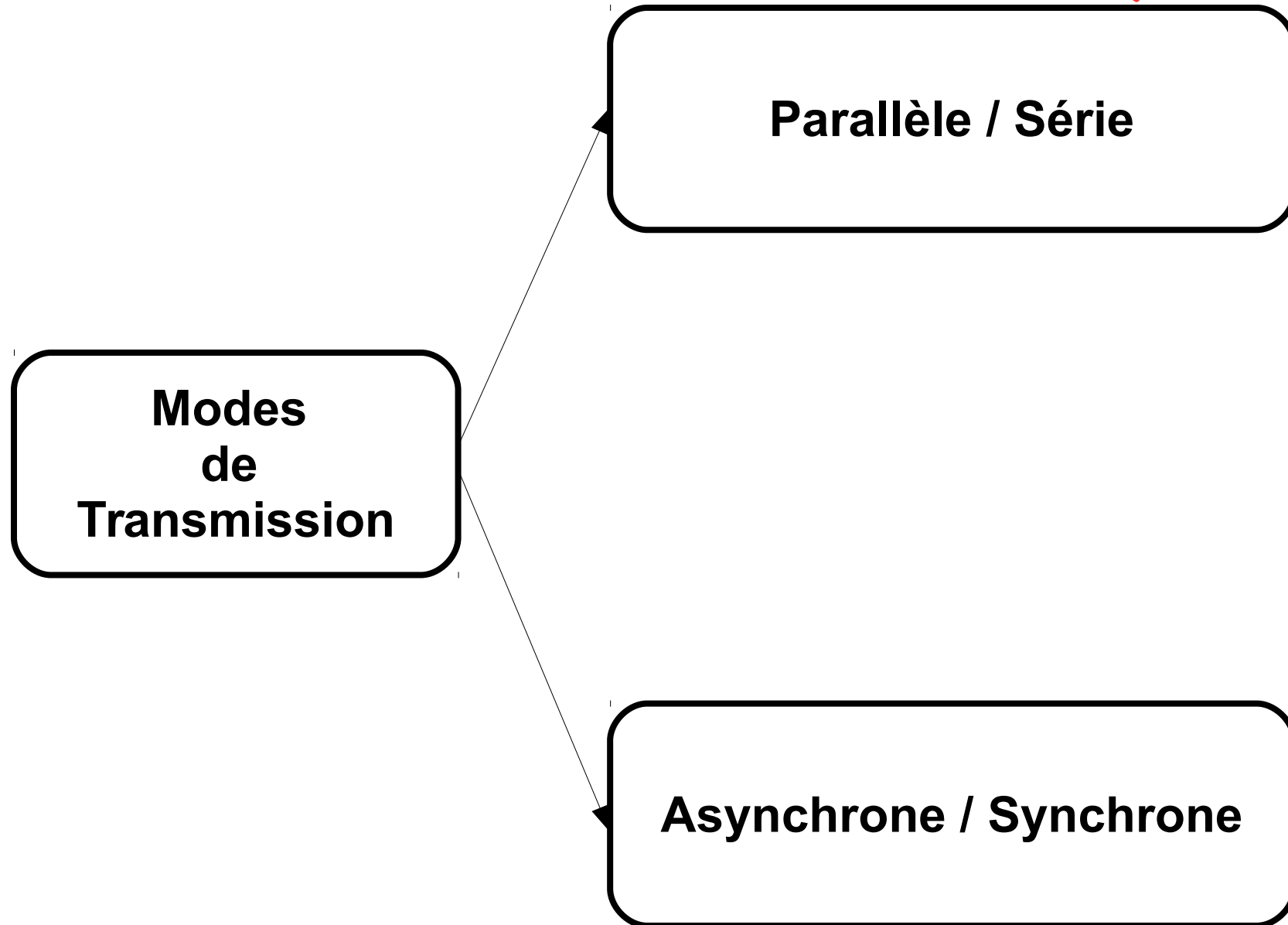


Full Duplex

- **Full Duplex ou Duplex Intégrale**
 - Les données circulent de façon bidirectionnelle et simultanément
 - L'association de deux canaux simplex
- **Exemple**
 - Téléphone, Full-duplex Ethernet



CLASSIFICATION DES MODES DE TRANSMISSION EN FONCTION DES PARAMÈTRES PHYSIQUES



Transmission Parallèle



11011100

1

1

0

1

1

1

0

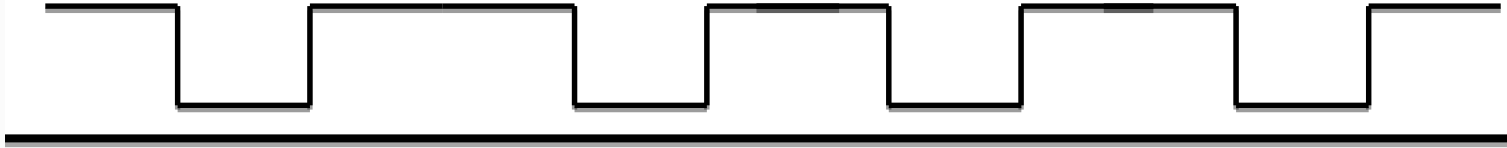
0



Transmission Parallèle

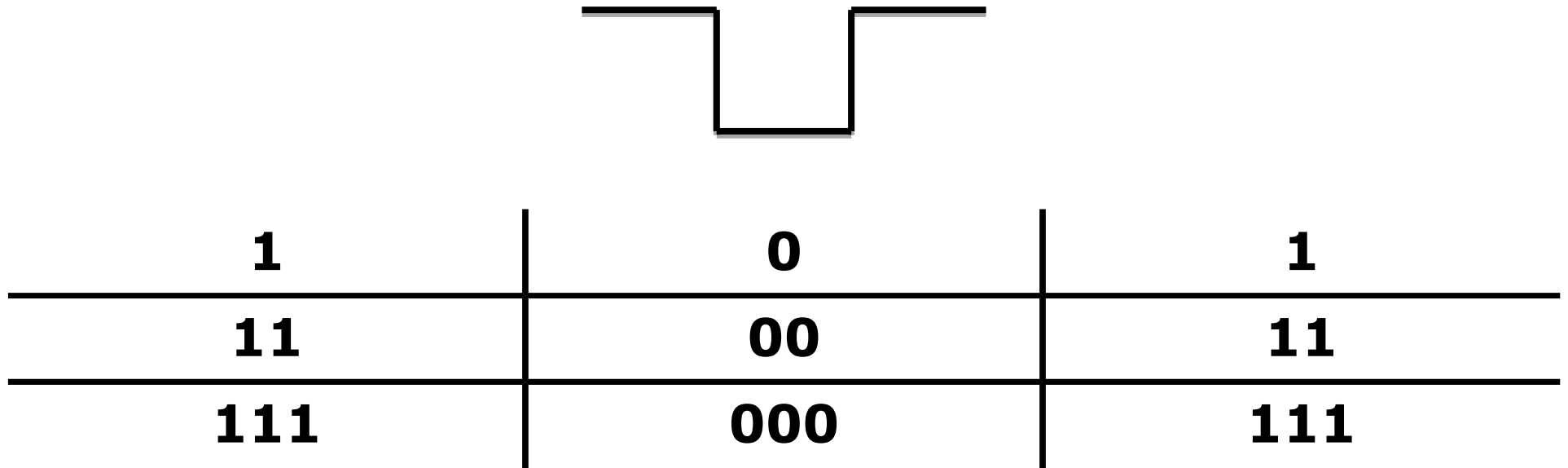
- **Caractérisée par un transfert simultané de tous les bits d'un même mot (n bits).**
 - Elle nécessite autant de conducteurs qu'il y a de bits à transmettre
- **Pose de nombreuses difficultés dont les principales sont**
 - le rayonnement des conducteurs l'un sur l'autre (diaphonie)
 - la différence de vitesse de propagation entre les différents conducteurs (Delay Skew)
 - qui nécessitent la réalisation d'une électronique coûteuse.
- **Un coût élevé (nombre de conducteurs) et une distance franchissable limitée par la désynchronisation du train de bits (Delay Skew) réservent la transmission parallèle aux liaisons de processeur à processeur**

Transmission Série



11011100

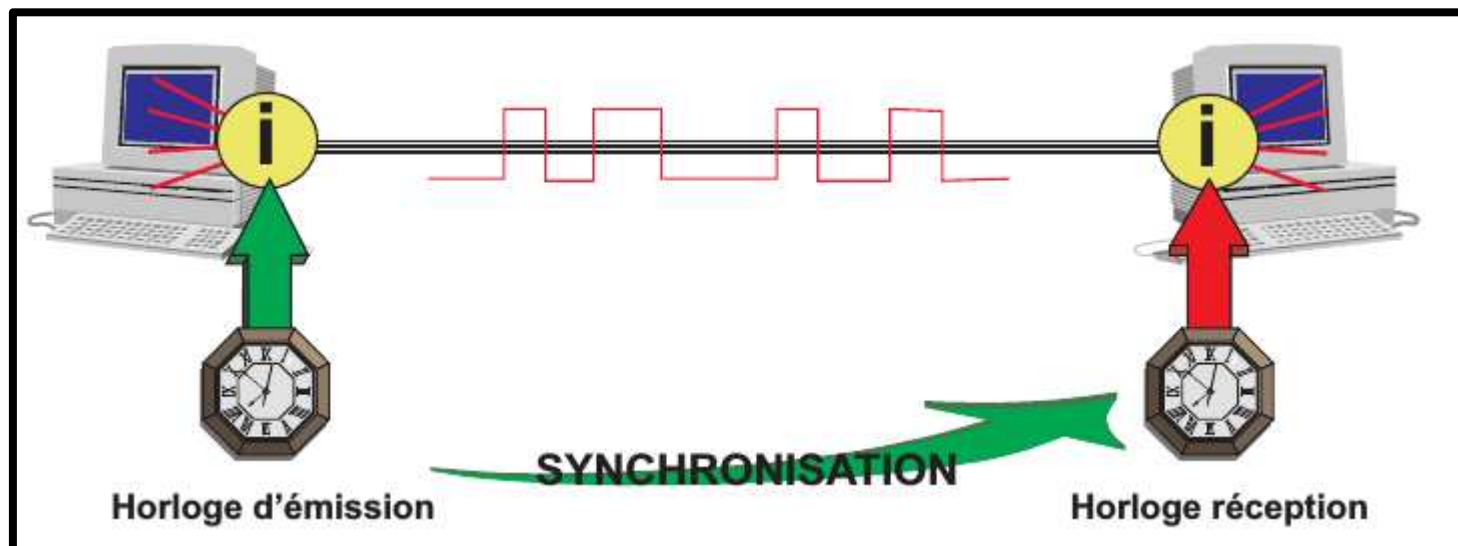
Transmission Série



- Comment le récepteur interprète-t-il le signal binaire ci-dessus si on ne connaît pas la durée d'un bit ?
- Est-ce 101 ou 110011 ou 111000111 ?
- Ne pas connaître la durée d'un bit = synchronisation.

Transmission Synchrone/Asynchrone

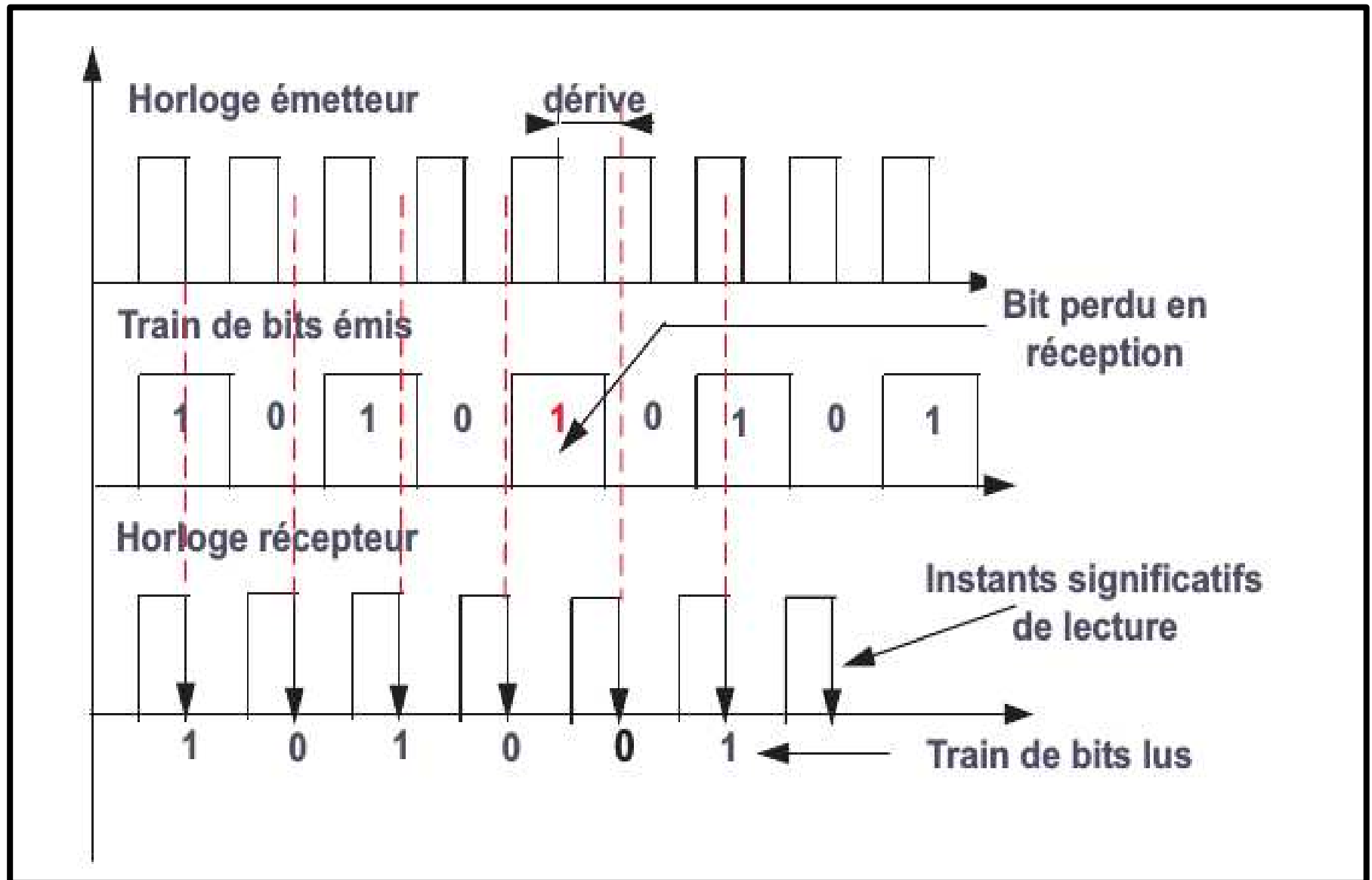
- Dans les transmissions asynchrones les horloges sont indépendantes
- Au contraire, dans les transmissions synchrones on maintient en permanence une relation entre les horloges émission et réception.



Notion d'horloge

- **Les bits sont émis au rythme de l'horloge locale de l'émetteur que nous supposons stable.**
- **L'horloge du récepteur est supposée fonctionner à la même cadence ou fréquence**
- **Cependant, rien ne permet de garantir sa stabilité.**
- **La fréquence varie, on dit que l'horloge dérive.**

Notion d'horloge



Transmission Synchrone

- **Solution de synchronisation d'une transmission série**
 - **Envoyer l'horloge par une voie supplémentaire**
 - Il pourrait y avoir déphasage des signaux à l'arrivée, l'horloge d'arrivée ne serait donc pas fiable
 - **Utilisé des horloges synchrones**
 - elles sont excessivement chères pour des applications banales de transmission
 - **Utilisé des codes autoporteurs d'horloge**

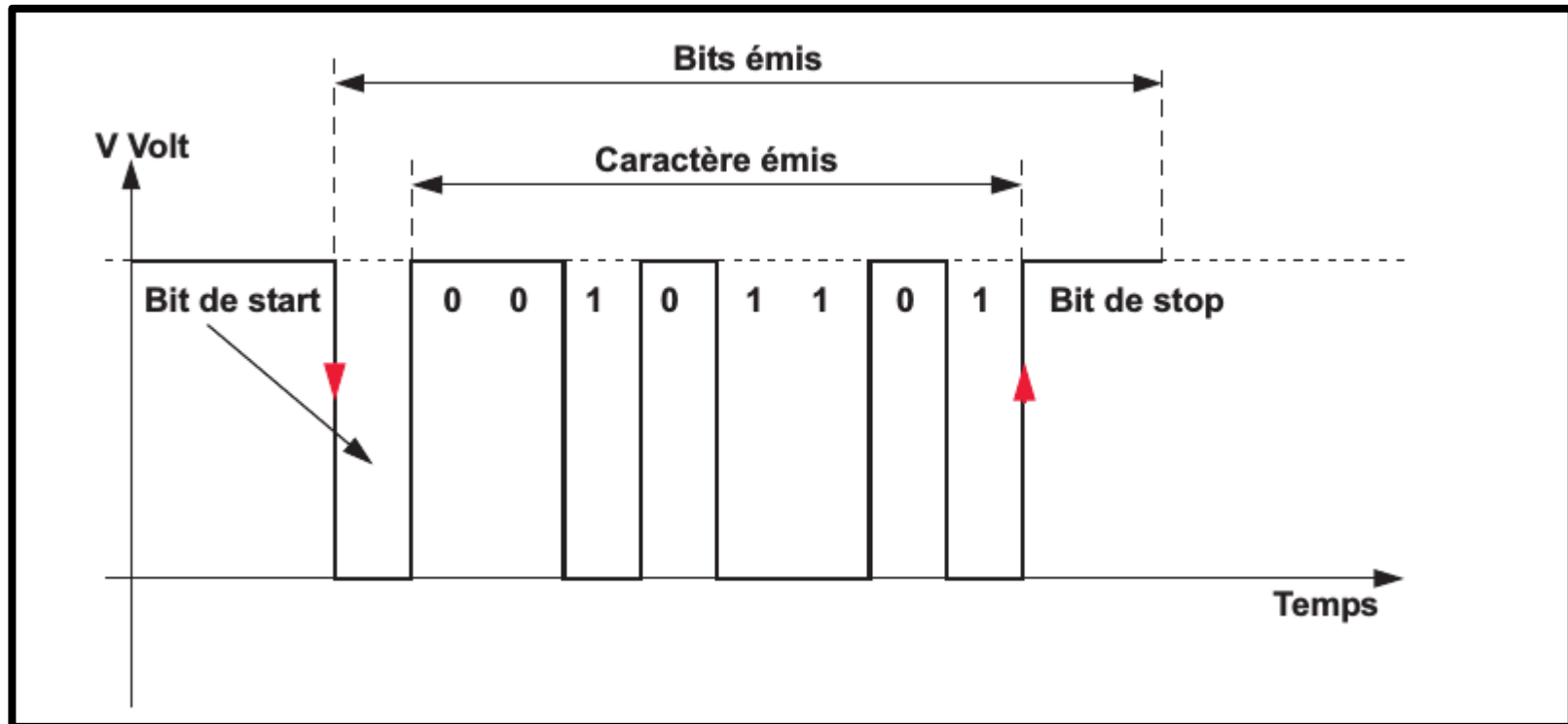
Transmission Asynchrone

- Le récepteur n'est pas parfaitement synchrone avec l'émetteur
- Le récepteur possède une horloge interne dont la période est aussi proche que possible de celle de l'émetteur
- Le récepteur découvre le *début* de transmission d'un octet au moment de la réception d'un premier bit appelé "*bit de start*".
 - Il va ensuite supposer que son horloge à lui est proche de celle de l'émetteur et décoder le reste de l'octet qui arrive.
- Il peut y avoir erreur si
 - l'horloge du récepteur est assez différente de celle de l'émetteur
 - si la séquence binaire envoyée est trop longue (généralement cette séquence est d'un octet seulement).
- En pratique, cette méthode s'avère très sûre quoiqu'un peu lente.

Transmission Asynchrone: Bit de START/ Bit de STOP

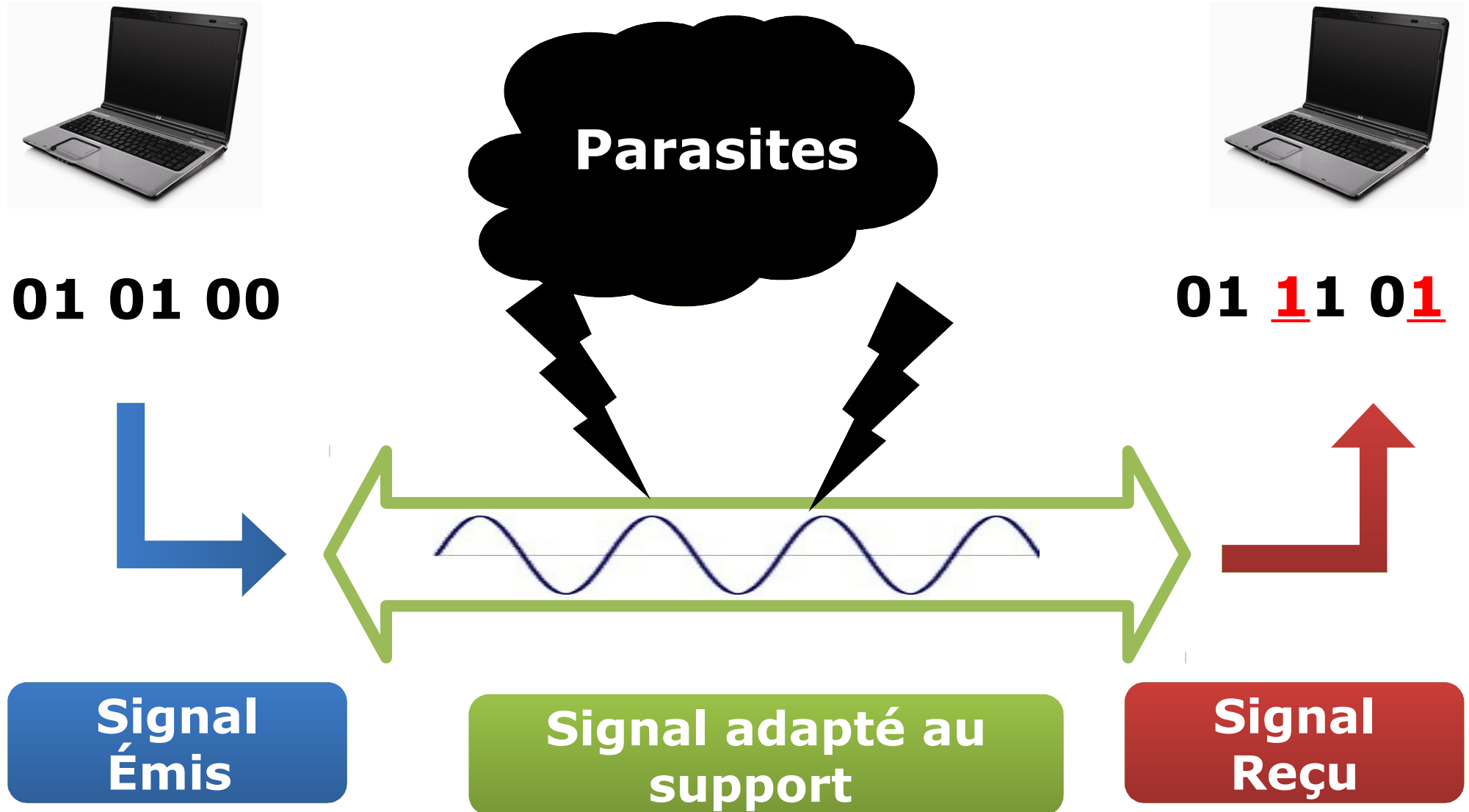
- Le **début de la transmission** d'un mot binaire (octet en général), est marqué par le passage du signal au niveau logique 0
- Ce niveau doit être **maintenu pendant un temps T** dont la **valeur** est une **caractéristique** de la **transmission**.
 - Valeur commune au transmetteur et au récepteur. On l'appelle **temps de bit**
 - Par ce moyen, l'émetteur indique au récepteur le début de la transmission d'un mot binaire.

Transmission Asynchrone: Bit de START/ Bit de STOP



MODÉLISATION DU SUPPORT DE TRANSMISSION

Modélisation du support de transmission



Modélisation du support de transmission

- **Les supports de transmission ne sont pas parfait**
 - Atténuation
 - Déphasage
 - Bruit
 - Écho...
 - **Les défauts du support limitent la transmission**
 - Débit
 - Délai
 - Étendu
- **Adapter les techniques de transmission aux caractéristiques du support**

Signal & Onde

- Un signal est une variation dans le temps d'un phénomène physique.
 - La variation se propage dans l'espace en formant une onde
 - Exemple: une vague à la surface de l'eau
- En contrôlant les variations on peut transmettre des informations à un destinataire qui observe les variations.

Signal & Onde

- **Lorsqu'on parle:**
 - Les vibrations des cordes vocales provoquent des variations de la pression de l'air.
 - Les variations de pression d'air se propagent autour de soi comme autant de bulles concentriques.
 - Dès qu'une bulle atteint l'auditeur, la pression d'air associée à cette bulle est détectée par son oreille puis analysée par son cerveau.
 - L'information est transmise.
- **En télécommunications, on crée un signal à l'aide de variations de potentiel électrique ou électromagnétique.**

L'onde sinusoïdale

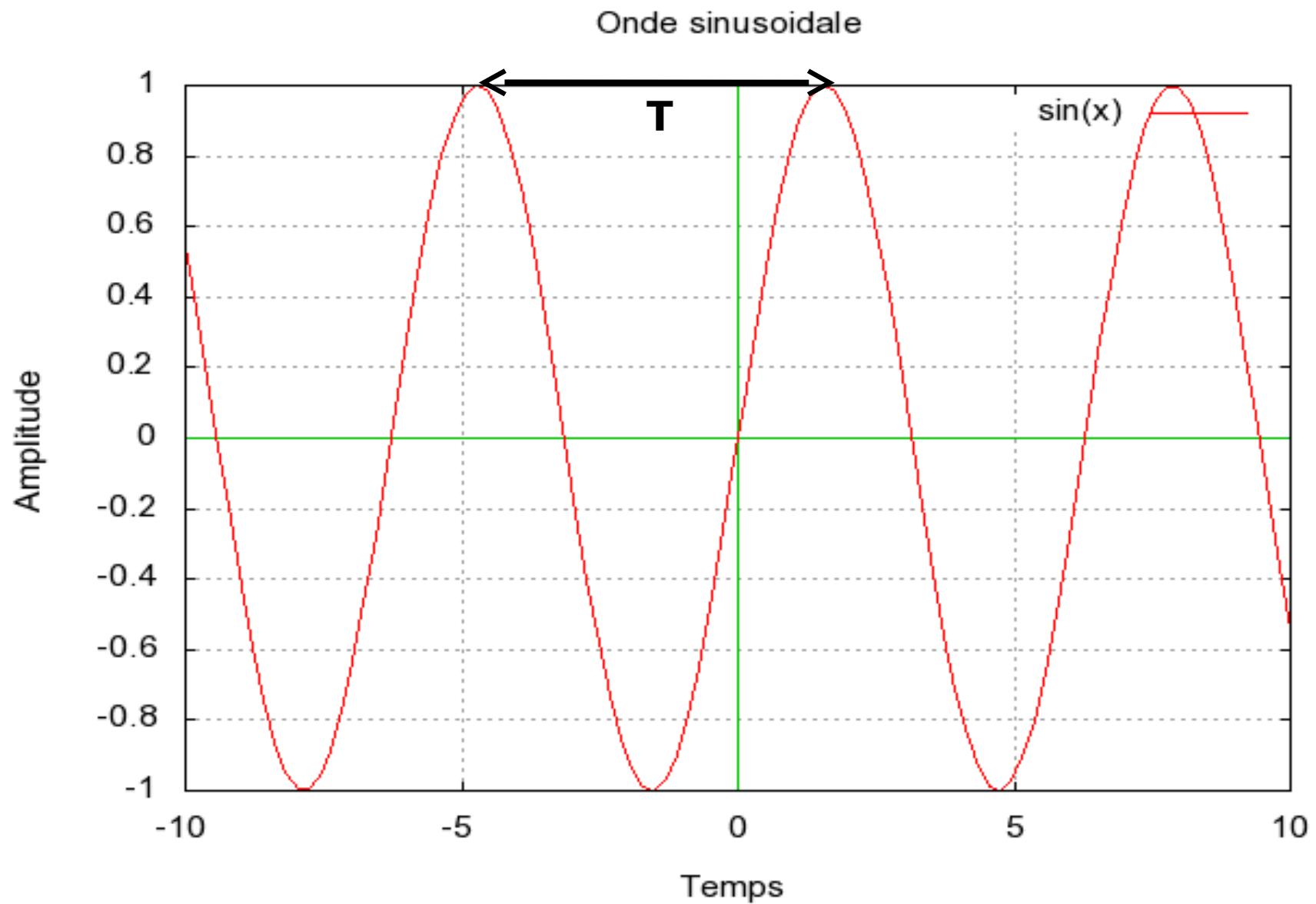
- **L'onde sinusoïdale**

- est le plus simple des signaux
- est facilement générée
- n'importe quel signal peut être exprimé à partir d'ondes sinusoïdales.

- **$s(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$**

- **A** : Amplitude
- **ω** : Pulsation = $2 \pi / T = 2 \pi f$; avec **T** = période
- **φ** : Phase à l'origine
- **$\omega t + \varphi$** : Phase instantanée

L'onde sinusoïdale



Puissance des signaux

- Les signaux ont une puissance relativement faible, mesuré en milliwatt (mW).
- On se réfère le plus souvent aux rapports de puissance: puissance reçue ($P_{\text{signal reçu}}$ ou P_2) par rapport à la puissance envoyé ($P_{\text{signal émis}}$ ou P_1)
- Comme ces rapports sont très faibles, on utilise les logarithmes décimaux (log) (à base de 10)
- Ce rapport s'exprime en décibel (dB)

Les Filters

- **Filtre passe bas** : laisse passer les basses fréquences et atténue les hautes fréquences, c'est-à-dire les fréquences supérieures à la fréquence de coupure
- **Filtre passe haut** : laisse passer les hautes fréquences et atténue les basses fréquences, c'est-à-dire les fréquences inférieures à la fréquence de coupure.
- **Filtre passe-bande** : ne laissant passer qu'une bande ou intervalle de fréquences compris entre une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute du filtre.

Modélisation d'un support de transmission

- **Bande passante:** la largeur, mesurée en hertz, d'une plage de fréquences $f_2 - f_1$.
 - Désigne la différence entre la plus haute et la plus basse fréquence du signal
- **Gain** = $10 \log(P_{\text{signal reçu}} / P_{\text{signal émis}})$
- Un support de transmission se comporte généralement comme **un filtre passe bande**
 - Ne laissant passer que les signaux dont les fréquences sont comprises entre une fréquence basse (f_b) et une fréquence haute (f_h)
- La **bande passante (capacité)** d'un support de communication
 - correspond à la plage de fréquences où il présente les meilleurs caractéristiques de transmission.

Modélisation d'un support de transmission

- La **bande passante à n décibels (dB)** est la **plage de fréquences** dans laquelle le rapport P_s/P_b (appelé le rapport signal sur bruit ou *SNR signal to noise ratio* ou *S/B*) vérifie :

$$10\log (P_{\text{signal}} / P_{\text{bruit}}) \leq n \text{ dB}$$

- **Le SNR:**
 - **Infini:** A la source du signal original (dont le bruit est nul), et ne peut que décroître lors de la transmission.
 - **Nul:** Le signal reçu ne permet plus de discerner de façon fiable le signal original du bruit, leurs puissances respectives étant égales
 - **Négatif:** on ne percevra que le bruit
 - **Positif:** support de transmission de bonne qualité

Modélisation d'un support de transmission

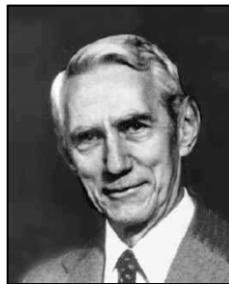
- Le ratio Signal/Bruit s'exprime sous la forme d'un Logarithme base 10:
– $\text{SNR}(\text{db}) = 10 \log(P_{\text{signal}} / P_{\text{bruit}})$ (parfois noté $10\log(S/B)$)

Formule de Shannon

- **Débit théorique maximum** d'un support soumis à du bruit :

$$D = W \log_2 (1 + P_{\text{signal}} / P_{\text{bruit}})$$

- Le débit **D** en **bits/s**
- la bande passante **W** en **Hz**
- $P_{\text{signal}} / P_{\text{bruit}}$ est obtenu à l'aide du rapport signal sur bruit exprimé en décibel **dB**



Claude Shannon (USA 1916- 2001)

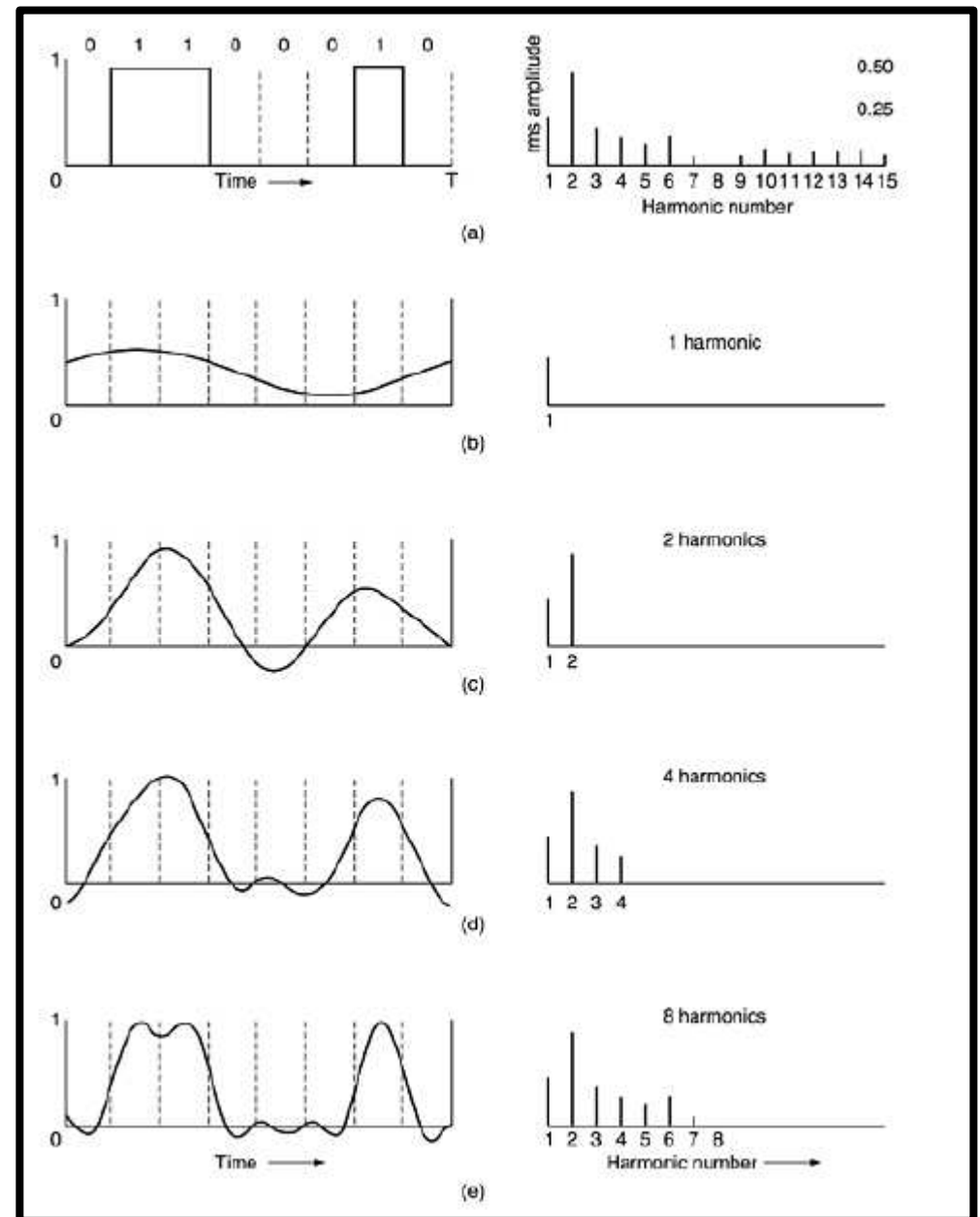
Analyse de Fourier

- Une fonction périodique quelconque de la forme $g(t)$ ayant pour période T pouvait être décomposée en une suite de fonctions sinusoïdale et cosinusoidale
 - Une fonction périodique est une fonction qui lorsqu'elle est appliquée à une variable, reprend la même valeur si on ajoute à cette variable une certaine quantité fixe appelée période
- $F=1/T \rightarrow$ Fréquence fondamentale du signal considéré
- a_n et b_n sont les amplitude du sinus et du cosinus de rang n (les termes ou harmoniques de la suite)
- Une telle décomposition est appelé la série de Fourier

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

Analyse de Fourier

- Partant de la série de Fourier, il est possible de reconstituer la fonction original d'autant plus fidèlement que le nombre d'harmonique est élevé.
- (a) signale numérique
- (b,c,d,e) ses approximations



Domaine Temporel / Fréquentiel

- Il y a deux domaines importants de description du signal
 - 1. Le domaine temporel de la forme $s(t)$. Il s'agit du domaine de description usuelle utilisé pour visualiser l'allure du signal $s(t)$. Dans ce domaine de représentation le signal peut être caractérisé par sa durée, sa période fondamentale, ou son amplitude.
 - 2. Le domaine des fréquences de la forme $s(f)$. Dans ce domaine de représentation le signal peut être caractérisé par son spectre, sa fréquence fondamentale ou sa largeur de bande.
- Ces deux domaines de description du signal sont reliés entre eux par la transformation de Fourier.
 - Cet aspect dualistique (dualité temps – fréquence) des signaux joue un rôle fondamental en théorie du signal et en électronique où on peut raisonner indifféremment en ' temps ' ou en ' fréquences '

Transformée de Fourier

- La transformée de Fourier est une généralisation de la série de Fourier appliquée aux signaux non périodique.
- Un signal $s(t)$ sera défini par une paire de transformée de Fourier, que l'on représentera de la façon suivante : $s(t) \longleftrightarrow s(f)$ dans les quelles

$$s(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-2j\pi ft} dt \quad \text{et} \quad s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(f) e^{2j\pi ft} df$$

Transformée de Fourier

- $s(t)$ est la caractéristique temporelle du signal, l'autre forme c'est à dire $s(f)$ est la caractéristique fréquentiel
- La paire de fonction $s(t)$ et $s(f)$ sont dite couple de Fourier.

$$s(f) = |s(f)| e^{j\varphi(f)}$$

spectre d'amplitude

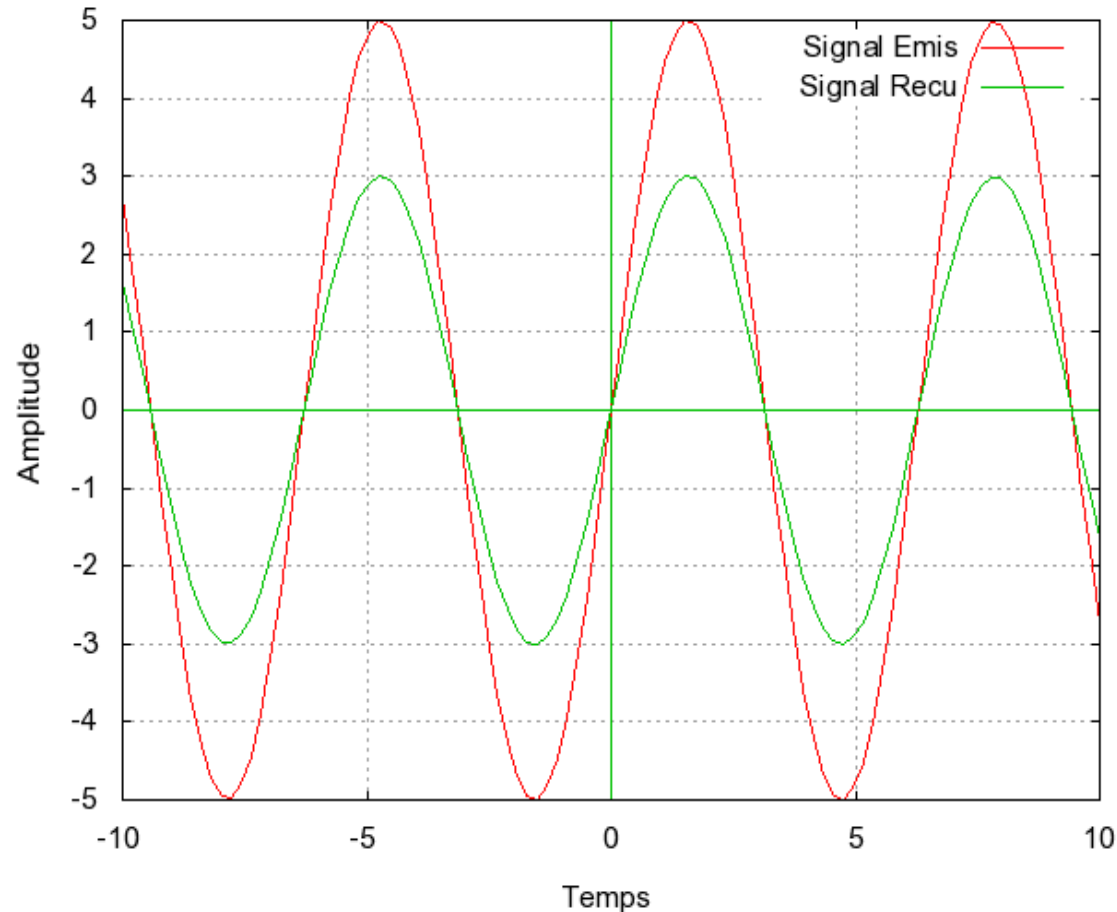
spectre de phase

Perturbation du signal transmis

- **Lorsqu'on transmet un signal sur un lien de communication, il arrive toujours déformé à l'autre bout.**
- **Autrement dit les réseaux ne sont pas parfaits**
 - ils introduisent des variations non désirées dans les signaux qu'ils transportent.
- **Lorsqu'un signal analogique est ainsi modifié, cela introduit du bruit dans le message.**
 - Plus la distance est grande, plus le signal est susceptible d'être déformé.

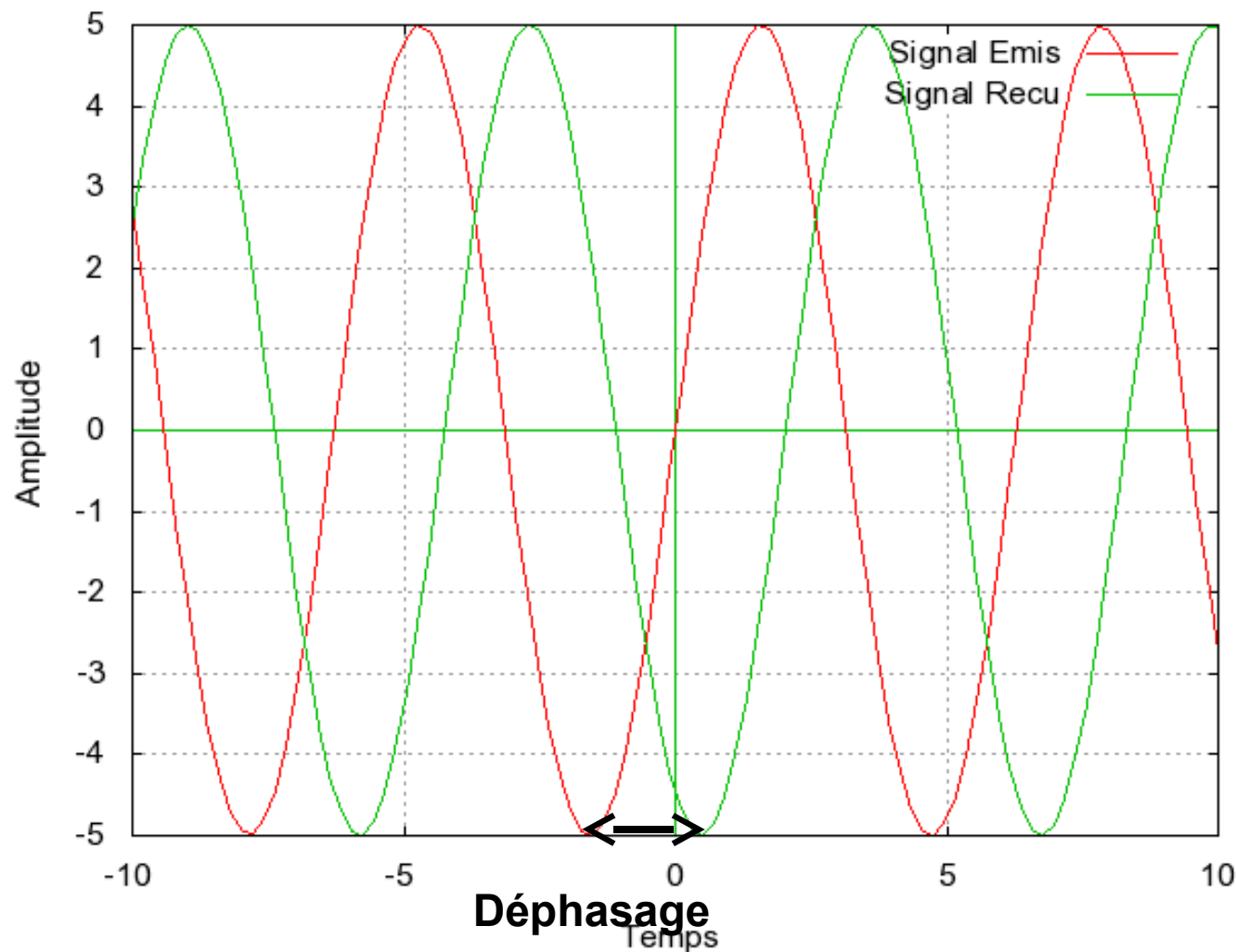
Perturbation du signal transmis : Affaiblissent

L'atténuation est la réduction de l'amplitude et de l'énergie d'un signal à travers le médium qu'il traverse.



Perturbation du signal transmis : Déphasage

Le déphasage entre deux ondes est la différence entre leurs phases.



Perturbation du signal transmis :

Bruit

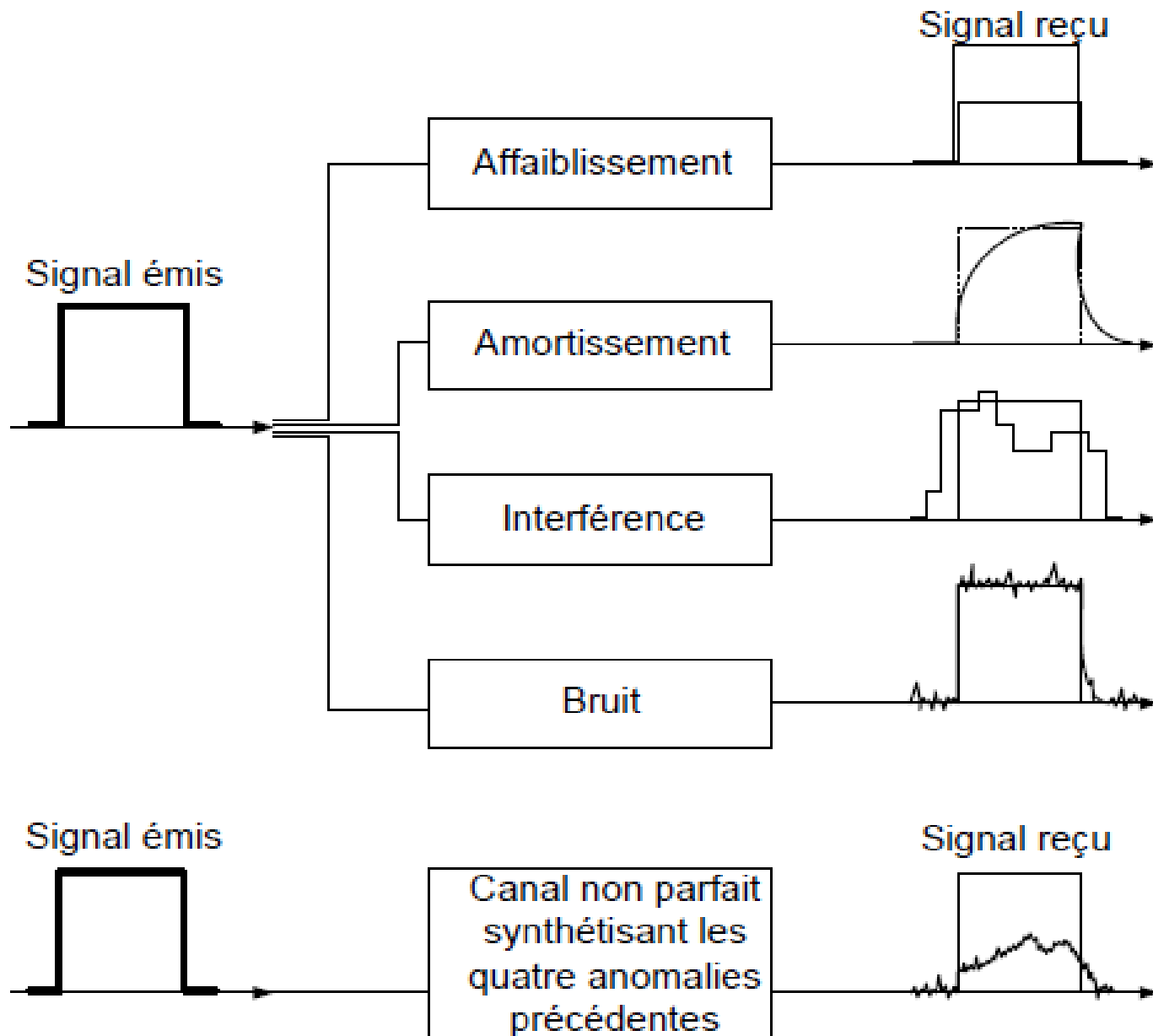
- **Signal qui ne contient aucune information et qui vient s'ajouter à l'information pertinente à transmettre**
- **Bruit blanc**
 - Origine : agitation thermique des porteurs de charges
 - De faible puissance
 - Sur une large plage de fréquences
- **Bruit Impulsifs**
 - Origine: organes électromécaniques, microcoupures.
 - Sources électriques proches qui induisent des courants électriques sur la ligne de transmission
 - De forte puissance
 - De faible durée

Perturbation du signal transmis :

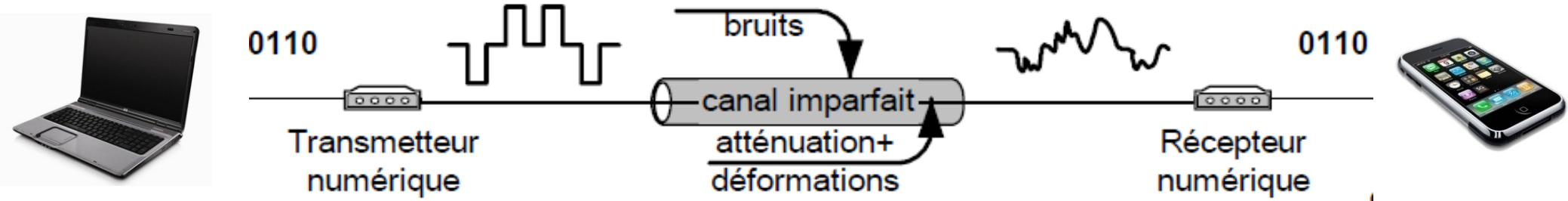
Autres phénomènes

- **Diaphonie** : couplage parasite entre lignes voisines
 - influence électromagnétique placement des câbles,
 - Solution : blindage
- **Écho** : réflexion du signal
 - Solution : suppresseur d'écho

Perturbation du signal transmis



Objectif : Transmission de données analogique numérisée



**Nature des
données**

**Type de
transmission**

Nature des données

- **Les données à transmettre peuvent être de nature analogique ou numérique**
 - **Analogique:** composées de valeurs qui varient de façon continue (température, voix, signal de télévision,...)
 - **Numérique:** composées de valeurs discrètes, c'est-à-dire que les données sont représentées par un ensemble fini ou dénombrable de valeurs distinctes ou séparées (nombres, caractères, pixels,...)

Types de transmission

- **Pour être transmises sur un canal de communication, les informations doivent être transformées en signaux électriques (ou électromagnétiques).**
- **Bien qu'un signal soit de nature essentiellement analogique, on distingue quand même (abus de langage commode) deux formes de transmission**
 - Analogique
 - Numérique

Types de transmission : Analogiques

- **le signal représente directement la valeur de l'information analogique qu'elle transmet,**
 - soit par les variations de la tension du signal,
 - de la fréquence du signal
 - ou par les variations d'une autre caractéristique physique

Types de transmission : Analogiques

- **Transmission analogique d'informations analogiques :**

- émission de la parole sur le réseau téléphonique, du son sur les ondes radio, d'images de télévision sur le réseau de télédiffusion,...

- **Transmission analogique d'informations numériques :**

- transmission de données informatiques sur des lignes téléphoniques, par satellite,...

Types de transmission : Numérique

- Avec les techniques de transmission numérique, on ne cherche plus à transmettre un signal analogue à celui que l'on veut reproduire ; on traduit tout signal en une suite de bits.
- Le signal est constitué d'une séquence de signaux élémentaires transmis les uns après les autres, chacun durant une brève période de temps.
- Les signaux sont choisis parmi un ensemble fini de valeurs ou formes prédéfinies (voltage, fréquence ,...)

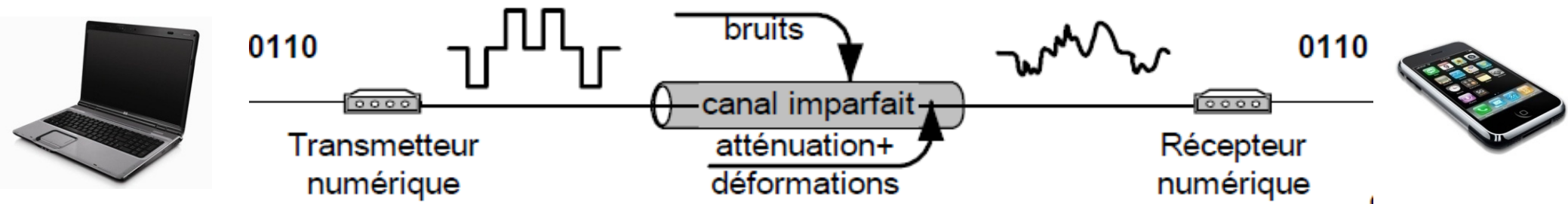
Types de transmission : Numérique

- **Transmission numérique d'informations numériques :**
 - transmission de données informatiques en bande de base,...
- **Transmission numérique d'informations analogiques :**
 - transmission de la parole, du son ou d'images en bande de base,...

Transmission de données analogique numérisée

- **Pour profiter de la robustesse de la transmission numérique, la majorité des compagnies de téléphone ont converti leurs réseaux en remplaçant la transmission analogique par une transmission numérique.**
- **Pour faire cette conversion, il faut d'abord transformer les signaux analogiques sous une forme numérique à l'aide de trois procédés complémentaires :**
 - l'échantillonnage
 - la quantification
 - le codage

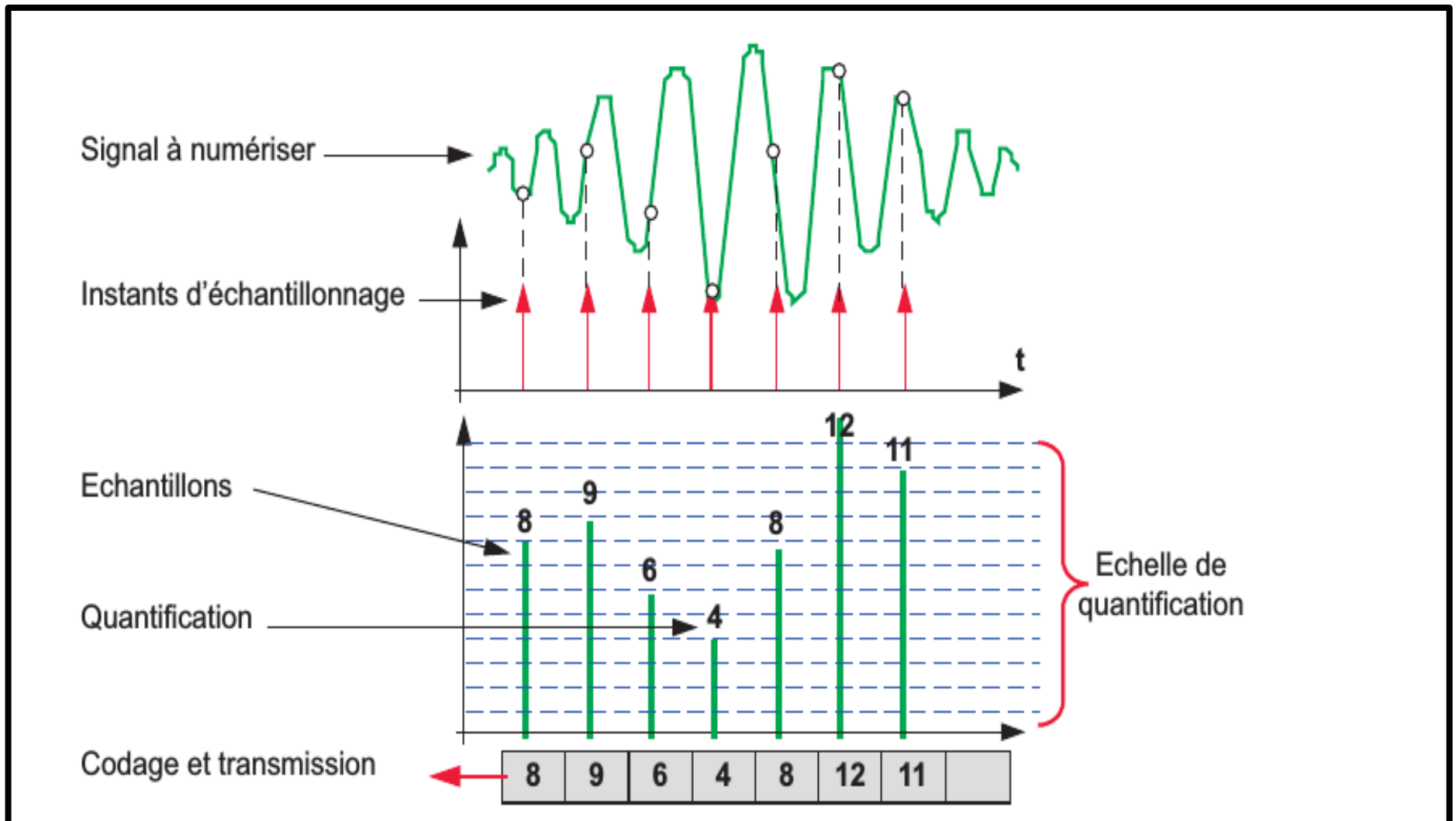
Transmission de données analogique numérisée



Transmission de données analogique numérisée

- **Pour profiter de la robustesse de la transmission numérique, la majorité des compagnies de téléphone ont converti leurs réseaux en remplaçant la transmission analogique par une transmission numérique.**
- **Pour faire cette conversion, il faut d'abord transformer les signaux analogiques sous une forme numérique à l'aide de trois procédés complémentaires :**
 - l'échantillonnage
 - la quantification
 - le codage

Transmission de données analogique numérisée



La numérisation des signaux analogiques

- **Trois opérations sont nécessaires pour la numérisation des signaux analogiques**

1- l'échantillonnage: passage d'un espace de temps continu à un espace de temps discret

2- la quantification : passage d'un espace de valeurs continu à un espace de valeurs discret

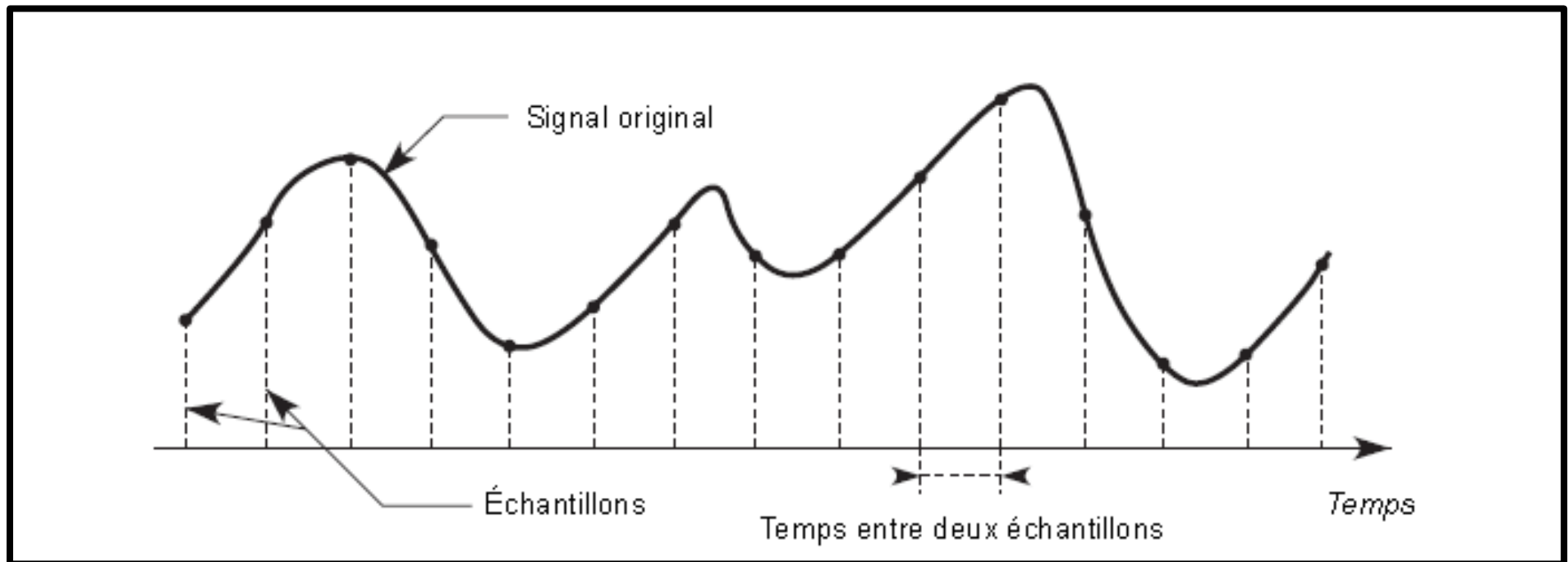
3- le codage: chaque niveau quantifié de valeurs est codé sur un nombre déterminé de bits

Transmission de données analogique numérisée

- **L'échantillonnage consiste à choisir un certain nombre de moments prédéfinis dans le temps et à observer le niveau de tension du signal analogique à chacun de ces moments**
- **Les valeurs ainsi observées sont appelées les échantillons.**
- **Le délai entre les échantillons doit être assez court pour s'assurer de bien observer toutes les variations importantes du signal.**
- **Pour la voix on échantillonne généralement 8000 fois par seconde.**

L'échantillonnage

- Pour reproduire correctement le signal à l'arrivée, le récepteur doit disposer d'un minimum d'échantillons.
- Il existe donc une relation étroite entre la fréquence maximale des variations du signal à discrétiser et le nombre d'échantillons à prélever.



L'échantillonnage

- **Consiste à prendre des points du signal analogique au fur et à mesure qu'il se déroule.**
- **Plus la bande passante est importante, plus il faut prendre d'échantillon par seconde.**
- **C'est le théorème d'échantillonnage qui donne la solution:**
 - **si un signal $f(t)$ est échantillonné à intervalle régulier dans le temps**
 - **et à un taux supérieur au double de la fréquence significative la plus haute,**
 - **les échantillons contiennent toutes les informations du signal original.**
 - **En particulier, la fonction $f(t)$ peut être reconstituée à partir des échantillons.**

Théorème d'échantillonnage de Nyquist-Shannon

- **La fréquence d'échantillonnage d'un signal doit être égale ou supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans ce signal, afin de convertir ce signal d'une forme analogique à une forme numérique**
- **La la fréquence d'échantillonnage d'un CD audio, (normalisé à 44,1 kHz)**
 - L'oreille humaine peut capter les sons jusqu'à 16 kHz, quelquefois jusqu'à 20 kHz.
 - Il convient donc, lors de la conversion, d'échantillonner le signal audio à au moins 40 kHz

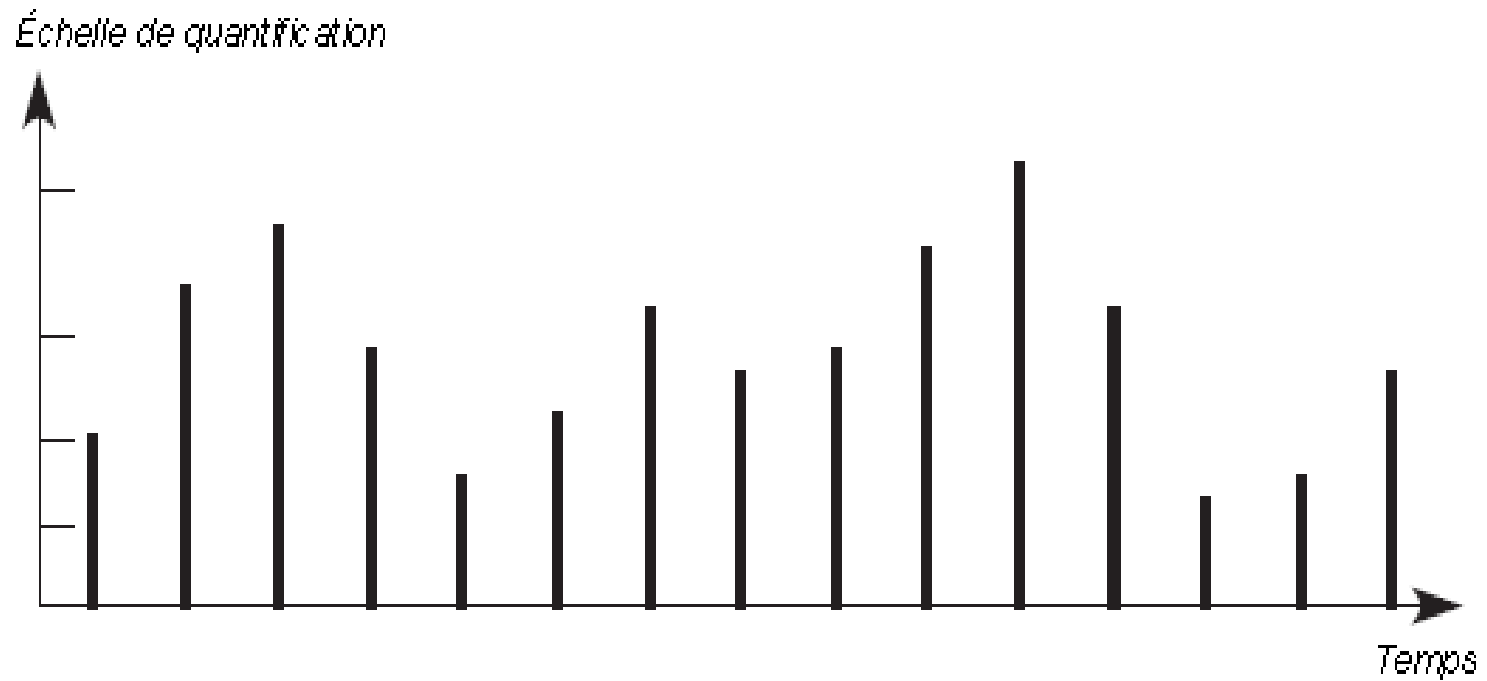
La quantification

- Pour compléter le processus de numérisation du signal on attribue à chaque échantillon un nombre entier qui représente le plus fidèlement possible le niveau de tension observé, c'est la quantification.
- La quantification fait perdre un peu de précision, plus ou moins selon la finesse de la grille d'attribution des nombres.
- Pour la voix, on utilise normalement une grille à 256 niveaux (les nombres ont donc 8 bits).

La quantification

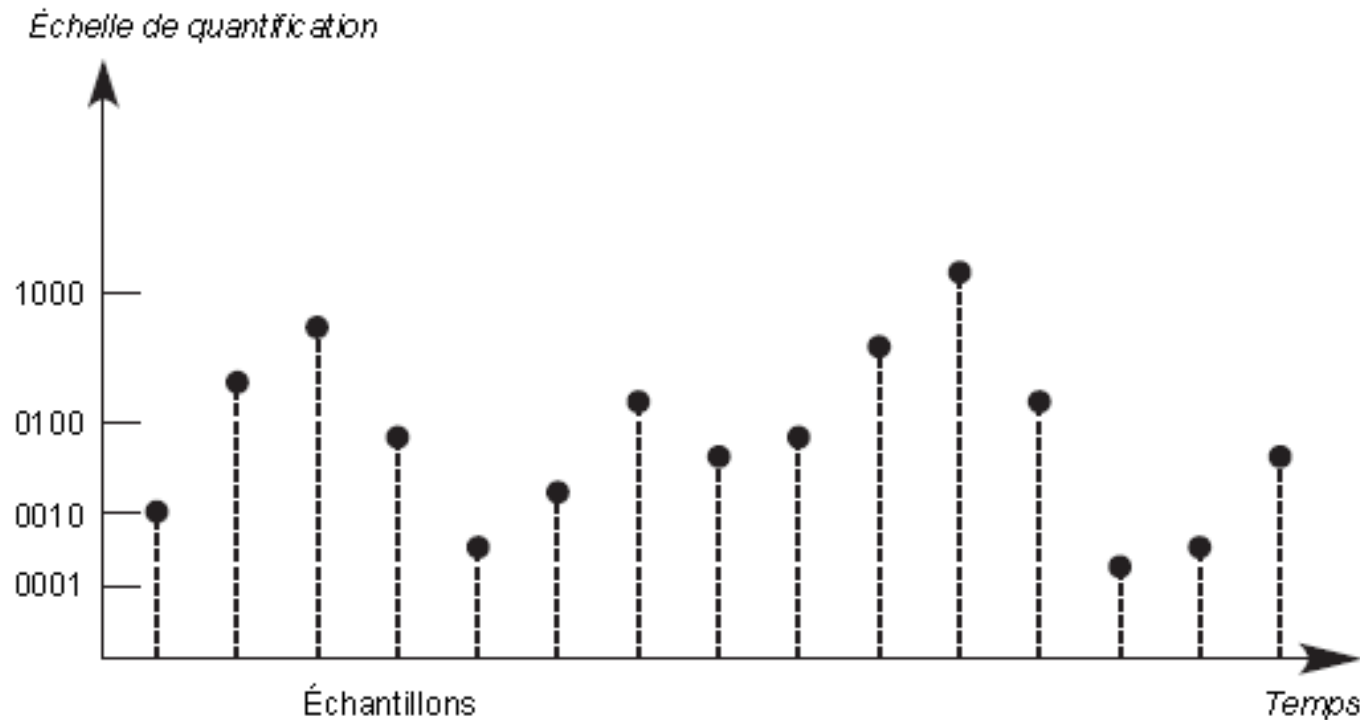
- **Consiste à représenter un échantillon par une valeur numérique au moyen d'une loi de correspondance.**
- **Il convient de trouver cette loi de correspondance de telle sorte que la valeur des signaux ait le plus de signification possible.**
- **Si tous les échantillons sont à peu près égaux, il faut essayer, dans cette zone délicate, d'avoir plus de possibilités de codage que dans les zones où il y a peu d'échantillons.**

La quantification



Le codage

- Consiste à affecter une valeur numérique aux échantillons.
- Ce sont ces valeurs qui sont transportées dans le signal numérique



Numérisation de la parole téléphonique

- **La numérisation de la parole téléphonique s'effectue généralement au moyen des méthodes classiques**
 - PCM (Pulse Code Modulation) en Amérique du Nord
 - MIC (modulation par impulsion et codage) en Europe
- **Ces méthodes présentent de légères différences, dont la plus visible concerne le débit de sortie**
 - 56 Kbit/s en Amérique du Nord
 - 64 Kbit/s en Europe

Numérisation de la parole téléphonique

- Le codage s'effectue soit sur **128** valeurs (PCM), soit sur **256** valeurs (MIC), ce qui demande, en binaire, **7 ou 8 bits** de codage.
- Débit de la numérisation de la parole téléphonique est obtenue en multipliant le nombre d'échantillon/section par le nombre de bits.
 - $8\,000 \times 7 = 56$ Kbit/s en Amérique du Nord
 - $8\,000 \times 8 \text{ bit/s} = 64$ Kbit/s en Europe.

Numérisation de la parole téléphonique

- **La largeur de bande de la parole téléphonique analogique est de 3 200 Hz.**
- **Pour numériser ce signal correctement sans perte de qualité, déjà relativement basse, il faut échantillonner au moins 6 400 fois par seconde.**
 - Dans la normalisation, on a adopté la valeur de **8 000 fois par seconde.**
- **L'amplitude maximale permise se trouve divisée en 128 échelons positifs pour la version PCM**
 - auxquels il faut ajouter **128 échelons négatifs** dans la version européenne MIC.

Techniques de transmission

Les techniques de transmission

**Deux techniques
de transmission**



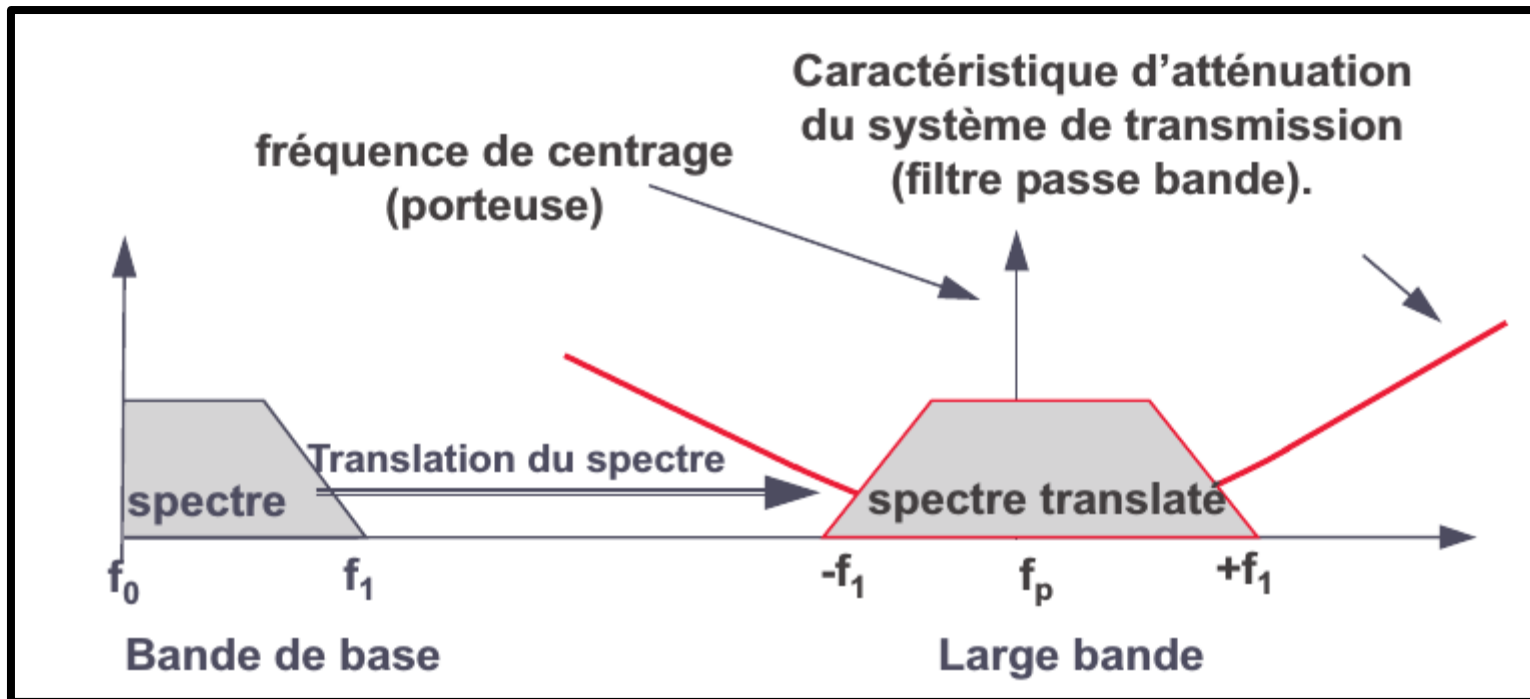
```
graph LR; A[Deux techniques de transmission] --> B[transposition en fréquence ou à large bande]; A --> C[bande de base];
```

The diagram consists of a central box on the left with the text 'Deux techniques de transmission'. Two arrows originate from the right side of this box. One arrow points diagonally upwards and to the right, ending at a box containing the text 'transposition en fréquence ou à large bande'. The other arrow points diagonally downwards and to the right, ending at a box containing the text 'bande de base'. All boxes have a black border and rounded corners.

**transposition en
fréquence ou à
large bande**

bande de base

Les techniques de transmission



Transmission à large bande

Transmission à large bande

- **En transmission large bande, le spectre du signal numérique est translaté autour d'une fréquence centrale appelée porteuse.**
- **Elle est réalisée par un organe appelé modulateur.**
 - En réception le signal doit subir une transformation inverse, il est démodulé.
 - Le modem, contraction de modulation/démodulation, est un équipement qui réalise la modulation des signaux en émission et leur démodulation en réception.

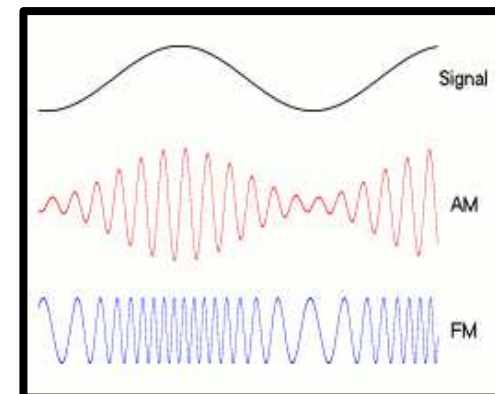
Transmission à large bande

Porteuse

- **Une porteuse est un signal sinusoïdal de fréquence et amplitude constantes**
 - Onde utilisée pour faciliter la transmission d'un signal
 - ne portant aucune autre information que celle de sa présence
- **La porteuse est**
 - **modulée** : on fait varier les paramètres de la porteuse pour coder un ou plusieurs bits à chaque changement d'état
 - en vue, de sa **diffusion au moyen d'un émetteur**

Définition de la modulation

- La **modulation du signal** est une opération de traitement du signal qui permet de l'**adapter** à un **canal de communication**
- **Signal** : $A \cos(2\pi ft - \varphi)$
 - **Modulation de fréquence**: les variations portent sur **f** (**FSK**, *Frequency Shift Keying*)
 - **Modulation d'amplitude**: les variations portent sur **A** (**ASK**, *Amplitude Shift Keying*)
 - **Modulation de phase**: les variations portent sur **φ** (**PSK**, *Phase Shift Keying*)



Modulation d'amplitude

- $S(t) = A(t)\cos(2\pi f_0 t - \varphi_0)$
- **Faire varier l'amplitude d'un signal de fréquence élevée en fonction d'un signal de basse fréquence.**
 - Ce dernier est celui qui contient l'information à transmettre (voix, par exemple, recueillie par un microphone),
 - le premier étant le signal porteur (porteuse).

Signal utile

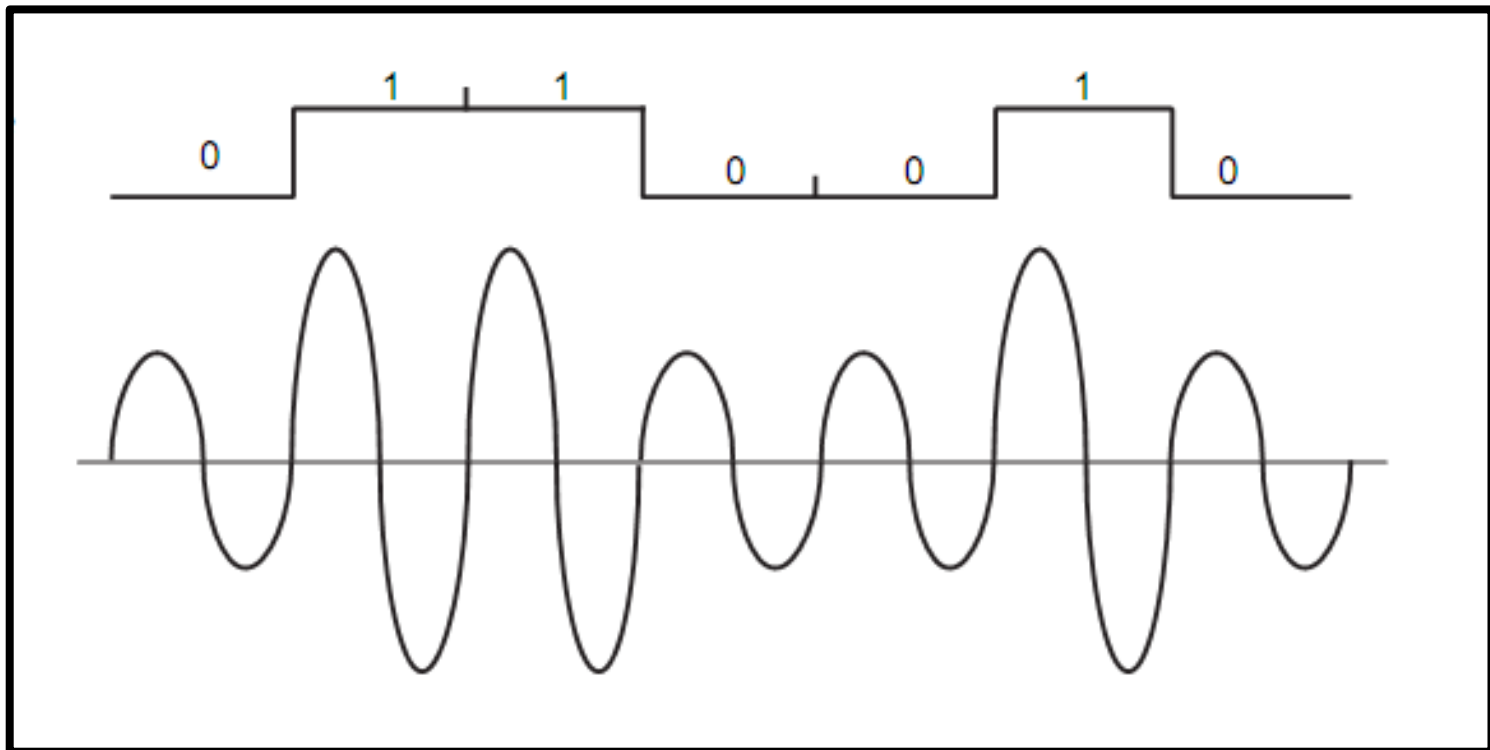
Porteuse

Signal
modulé



Exemple de modulation d'amplitude

- La différence entre 0 et 1 se traduit par une différence d'amplitude du signal

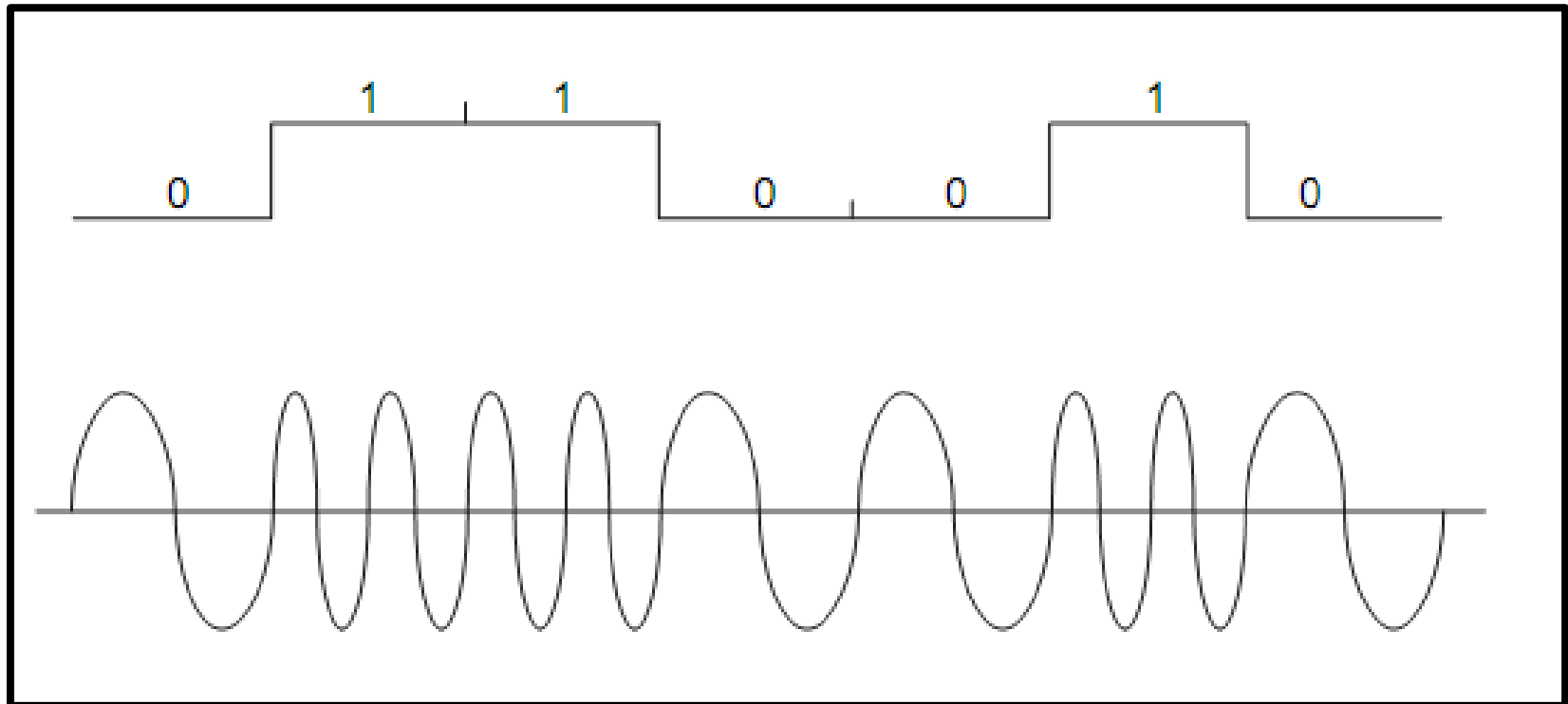


Modulation de fréquence

- $S(t) = A_0 \cos(2\pi f(t)t - \varphi_0)$
- En modulation de fréquence:
 - l'information est portée par une modification de la fréquence de la porteuse, et non par une variation d'amplitude.
- La modulation de fréquence est plus robuste que la modulation d'amplitude pour transmettre un message dans des conditions difficiles (atténuation et bruit importants).

Exemple de modulation de fréquence

- En modulation de fréquence, l'émetteur a la possibilité de modifier la fréquence d'envoi des signaux suivant que l'élément binaire à émettre est 0 ou 1

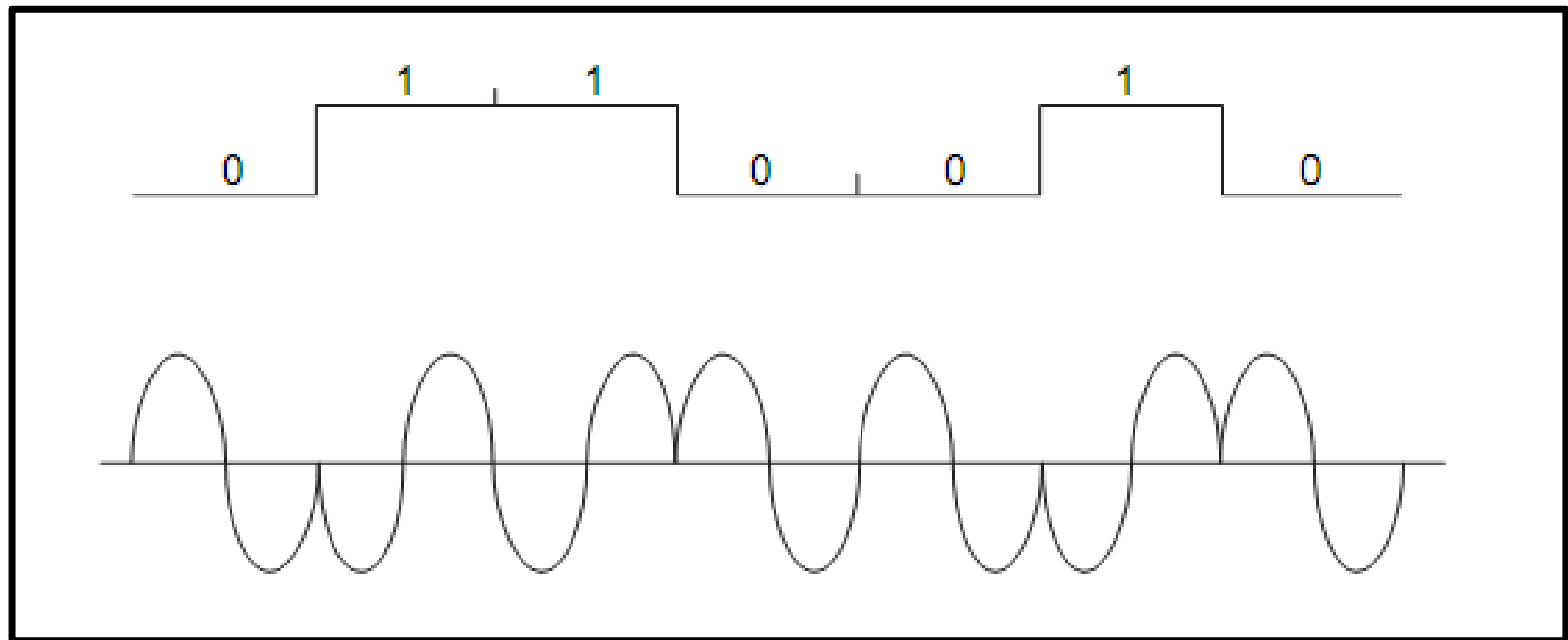


Modulation de Phase

- **$S(t) = A_0 \cos(2\pi f_0 t - \varphi(t))$**
- **Transmettre un signal par la modulation de la phase d'un signal porteur**

Exemple de modulation de phase

- La distinction entre 0 et 1 est effectuée par un signal qui commence à des emplacements différents de la sinusoïde, appelés phases.
- les valeurs 0 et 1 sont représentées par des phases respectives de 0° et de 180° .



Transmission en bande de base

Transmission en bande de base

- On qualifie de systèmes de transmission en bande de base les systèmes qui n'introduisent pas d'écart de fréquence entre les signaux émis et ceux reçus.
- Cette définition n'exclut nullement des modifications du signal pour mieux l'adapter aux caractéristiques du support de transmission.

Transmission en bande de base

- On appelle **codage**, l'opération qui fait **correspondre à un symbole appartenant à un alphabet**, une représentation binaire (codage à la source).
- On désigne par **transcodage**, ou **codage en ligne**, l'opération qui consiste à substituer **au signal numérique (représentation binaire)** un signal électrique mieux adapté à la transmission

Transmission en bande de base codage en ligne ou transcodage



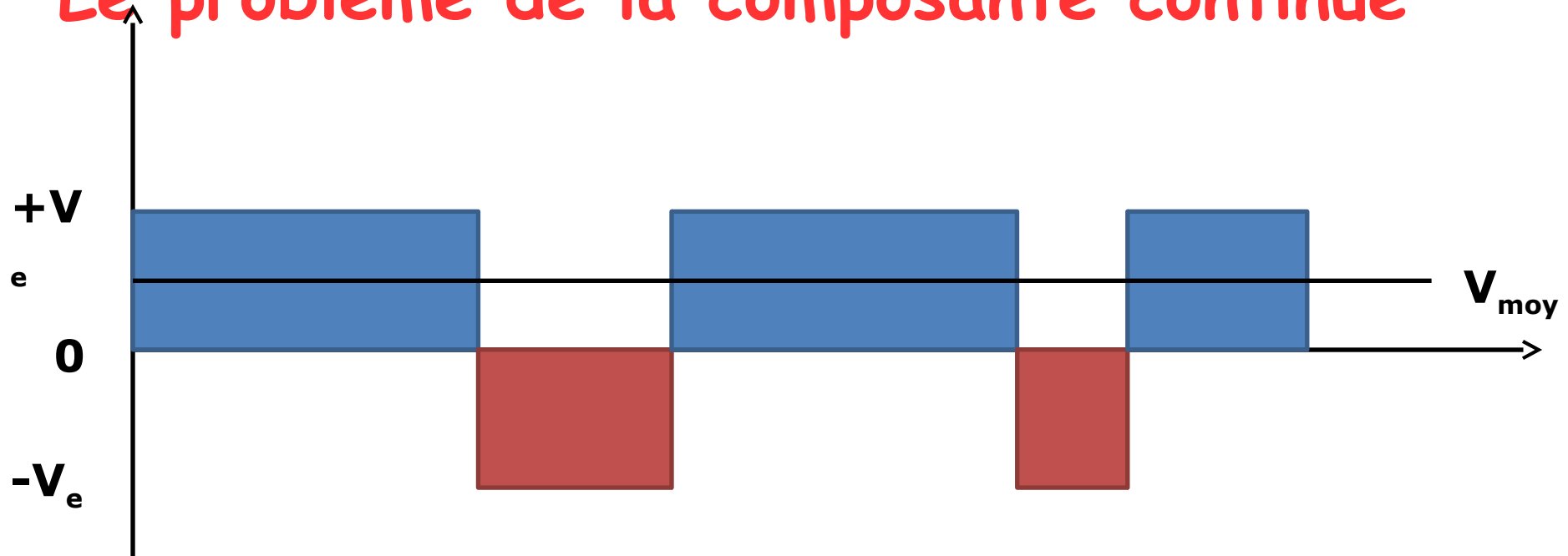
Transmission en bande de base

le transcodage

- **Le transcodage, ou codage en ligne, a essentiellement pour objet de supprimer la composante continue, d'adapter le spectre au canal de transmission et de maintenir la synchronisation de l'horloge de réception.**
 - La composante continue représente la valeur moyenne du signal pour un intervalle de temps donné.
 - Cette composante continue est inutile, elle ne transporte aucune information et provoque un échauffement (effet Joule) des organes d'extrémité
 - L'absence de transition, lors de la transmission d'une longue suite de 0 ou de 1, introduit un risque de perte de synchronisation des horloges.

Pourquoi Alterné ?

Le problème de la composante continue



Un signal possédant **une valeur moyenne non nulle**

- se propage mal sur les lignes de transmission longue distance
 - pose des problèmes de traitement par les circuits électroniques des récepteurs

Transmission en bande de base

- **Le codeur transforme une suite $\{d_k\}_{k \geq 0}$ initiale généralement binaire (de bits) en une suite codée $\{a_k\}_{k \geq 0}$ (de symboles) généralement binaire.**
 - Le décodeur fait l'opération inverse.
- **Le but du codage est d'adapter la suite de bits à transmettre aux caractéristiques de la transmission.**
- **S'il n'y a pas de modulation par transposition en fréquence, le codage est dit en bande de base**

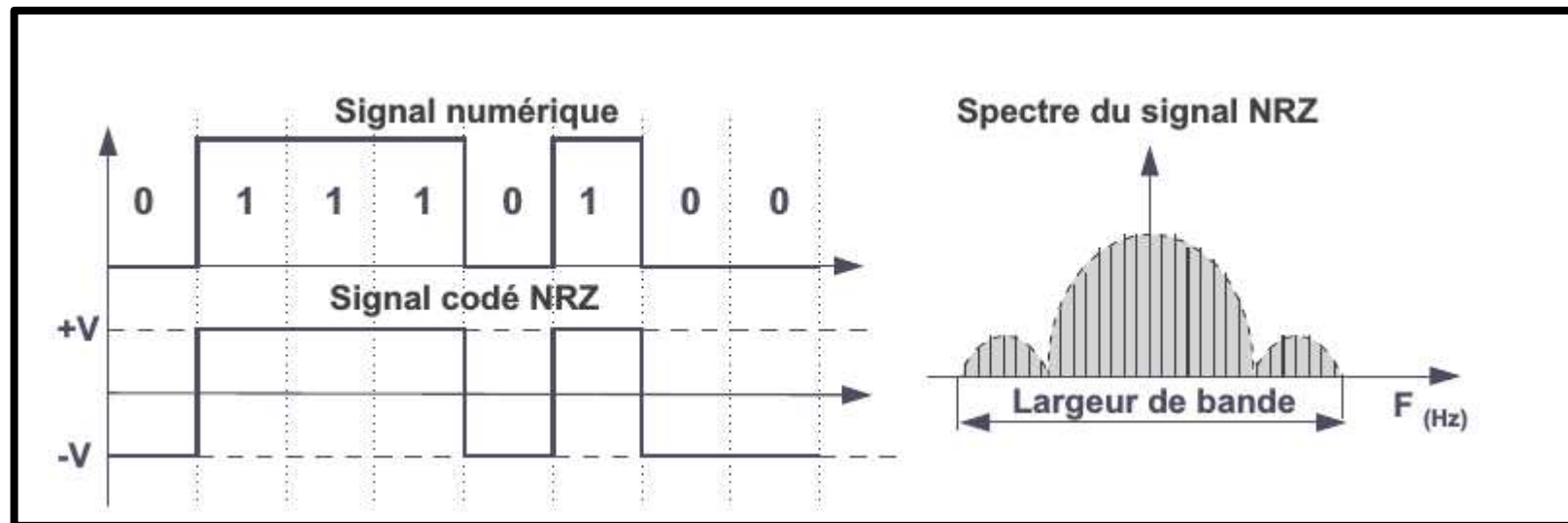
Transmission en bande de base

- **La transmission est dite en bande de base lorsque le signal ne subit pas de transposition en fréquence.**
 - Dans ce cas, le signal présente souvent un aspect rectangulaire
 - la fonction de modulation simple utilisée est rectangulaire.
- **On transforme une fonction discrète $\{d_k\}_{k \geq 0}$ en fonction continue $d(t)$ à l'aide de la relation suivante :**
 - $d(t) = \sum d_k R_T(t - kT - T_0)$
 - T_0 instant initial
 - $R_T(t)$: la fonction rectangulaire sur l'intervalle $[0, T]$ définie par $R_T(t) = 1$ si $t \in [0, T]$; 0 sinon

No Return to Zero NRZ

- En symétrisant le signal par rapport au potentiel de référence (0 volt), on diminue la composante continue.
 - Pour cela, on représente les 1 (ou les 0) par une valeur $+V$ et les 0 (ou les 1) par $-V$.
- Ce codage élémentaire connu sous le nom de code NRZ (No Return to Zero, non-retour à zéro) est à la base de tous les codes
 - Le codage NRZ, est la méthode la plus simple pour coder un flux.
- Le codage est à deux niveaux :
 - 1 logique \rightarrow un premier niveau de voltage
 - 0 logique \rightarrow un deuxième niveau de voltage
- Il n'a pas de transition générée lors d'une longue séquence de 1 ou 0, ce qui rend la synchronisation difficile

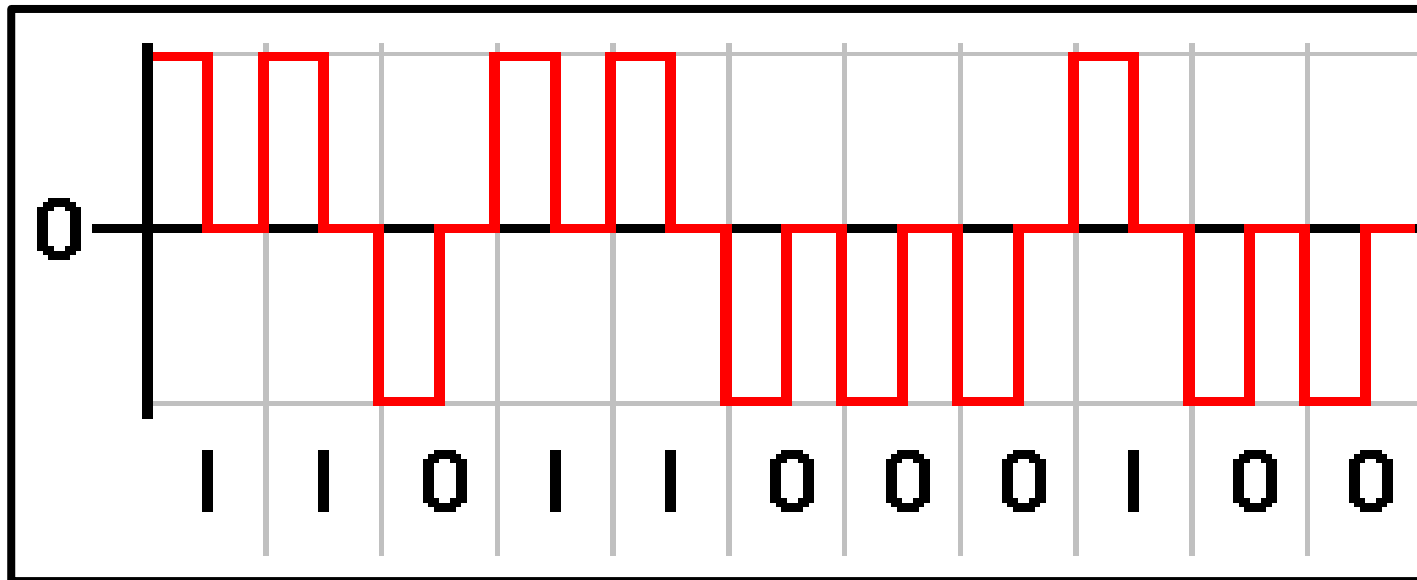
No Return to Zero NRZ



Code RZ (Return to Zero)

- **Le signal retourne à zéro à chaque pulsation**
- **« code autoporteur d'horloge »**
 - Ne nécessite pas l'envoi d'un signal d'horloge séparé ou toute autre source de synchronisation.
 - Cas particulier d'une longue série de 1 ou de 0 \Rightarrow perte de synchronisation possible.
 - Synchronisation maintenue dans la plupart des cas.
- **Code ternaire simple, limite les interférences entre symboles**
- **Code 1B/2T**
- **Utilise le double de la bande passante nécessaire à NRZ pour coder les mêmes données**

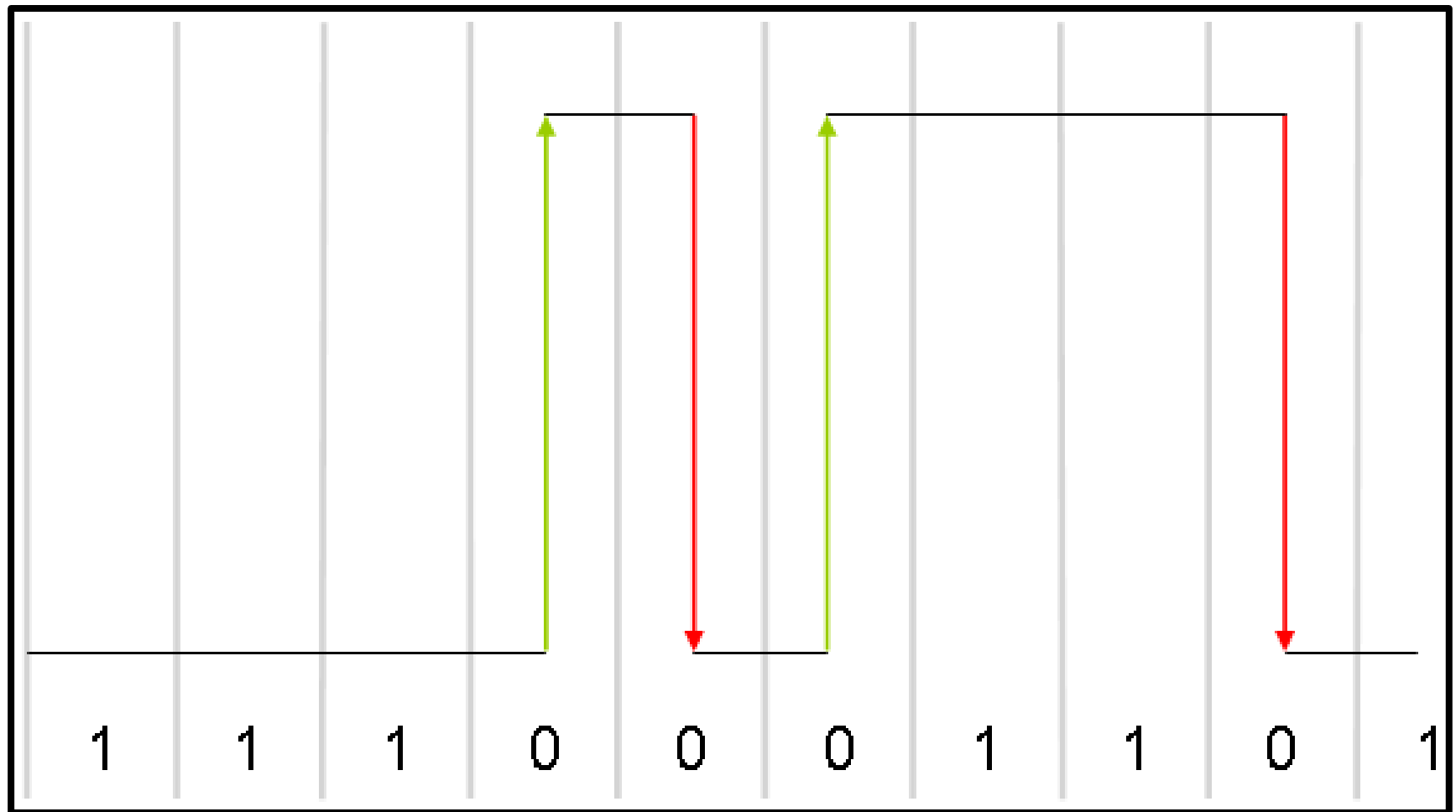
Code RZ (Return to Zero)



Non Return to Zero Inverted NRZI

- Est une variante du codage NRZ
- Le 0 a été choisi comme élément de changement
- Facile à mettre en œuvre, bonne utilisation de la bande passante
- Indépendant de la polarité
- Horloge peut être perdu en cas d'envoi successif d'une suite de 1 logique
- Le bus USB utilise le codage NRZI Norme USB.
 - Pour éviter la perte d'horloge, un 0 est envoyé après six 1 consécutifs.
 - Le récepteur doit prendre en compte ces éléments de remplissage.

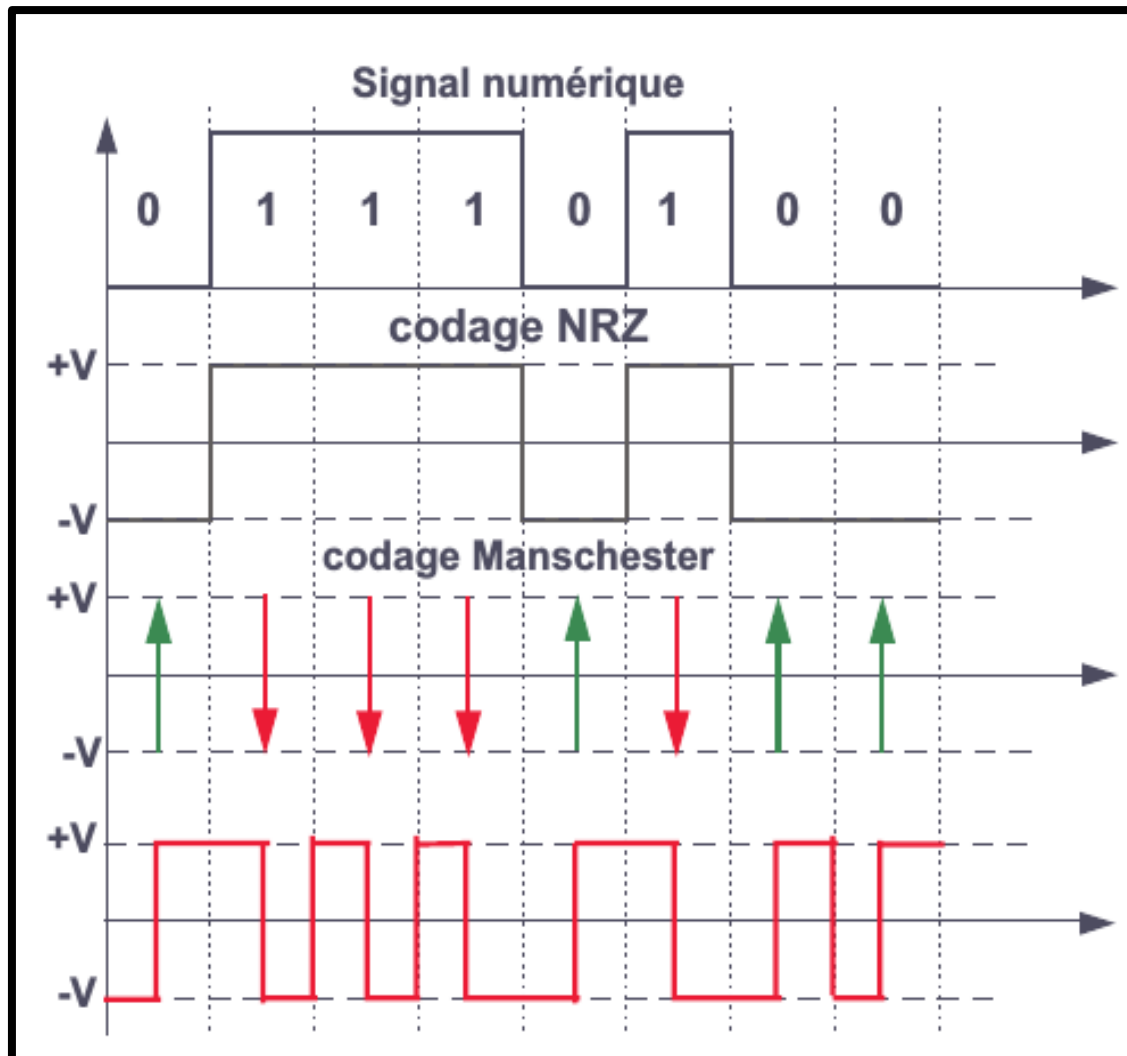
Non Return to Zero Inverted NRZI



Code Manchester (Code Biphase, Code biphase_L(evel))

- **Transitions (IEEE 802.3 , Ethernet, RFID)**
 - 1 → transition du niveau bas vers le niveau haut
 - 0 → transition du niveau haut vers le niveau bas
 - L'inverse est aussi possible
- **Mise en œuvre simple, codage et décodage faciles**
- **pas de composante continue**
 - donc pas de perte de synchronisation sur les suites de symboles identiques
 - code autoporteur d'horloge
- **Utilise le double de la bande passante nécessaire à NRZ (par exemple)**

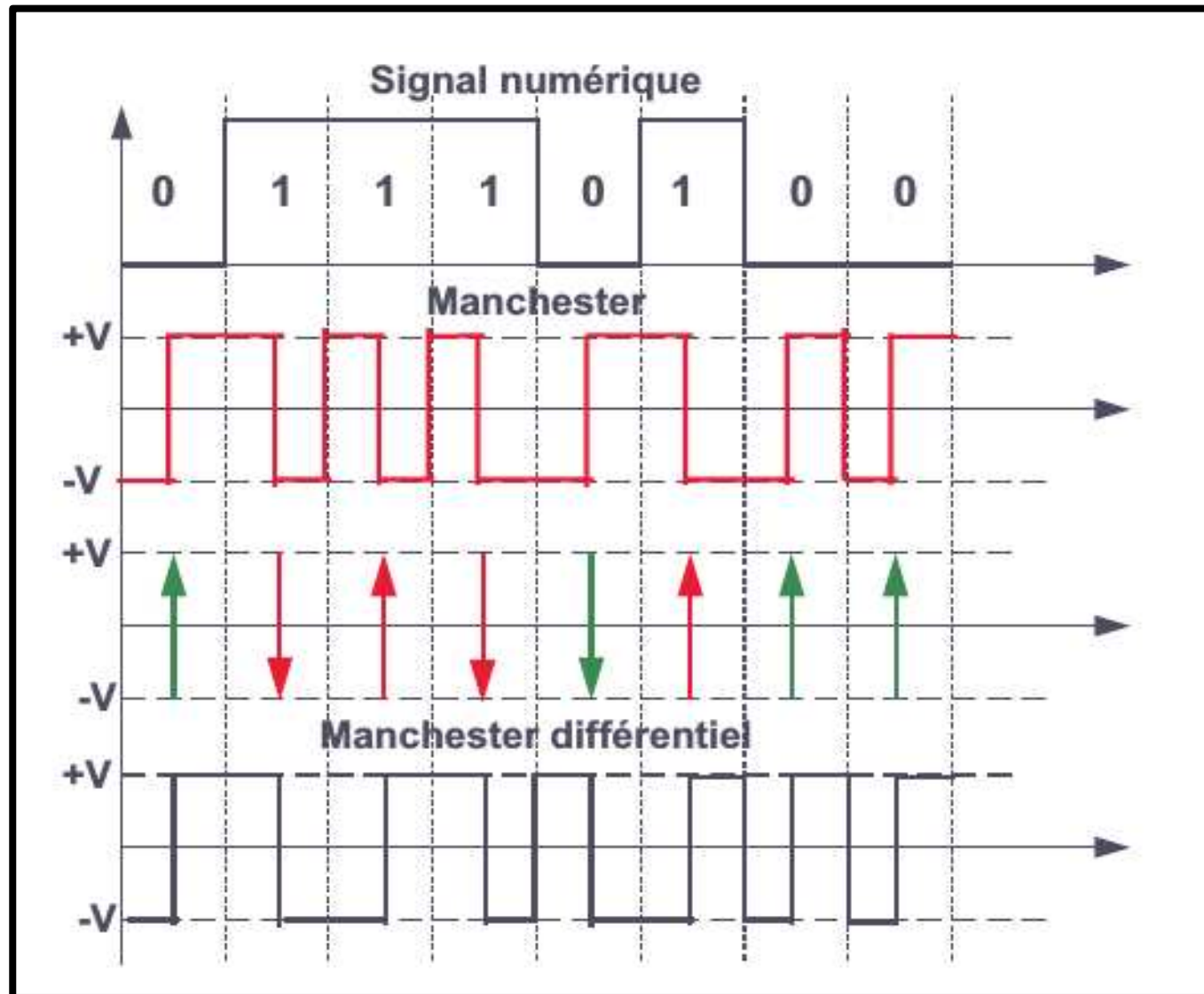
Code Manchester



Code Manchester Différentiel (Biphase différentiel)

- **Transitions (IEEE 802.5, Token ring)**
 - 0 → Transition dans le même sens que la précédente
 - 1 → Transition dans le sens inverse de la précédente
- **Mise en œuvre simple**
- **Codage et décodage facile**
- **Pas de composante continue**
 - pas de perte de synchronisation sur les suites de symboles identiques
 - code autoporteur d'horloge
 - Indépendance de polarité
- **Bande passante consommée importante**

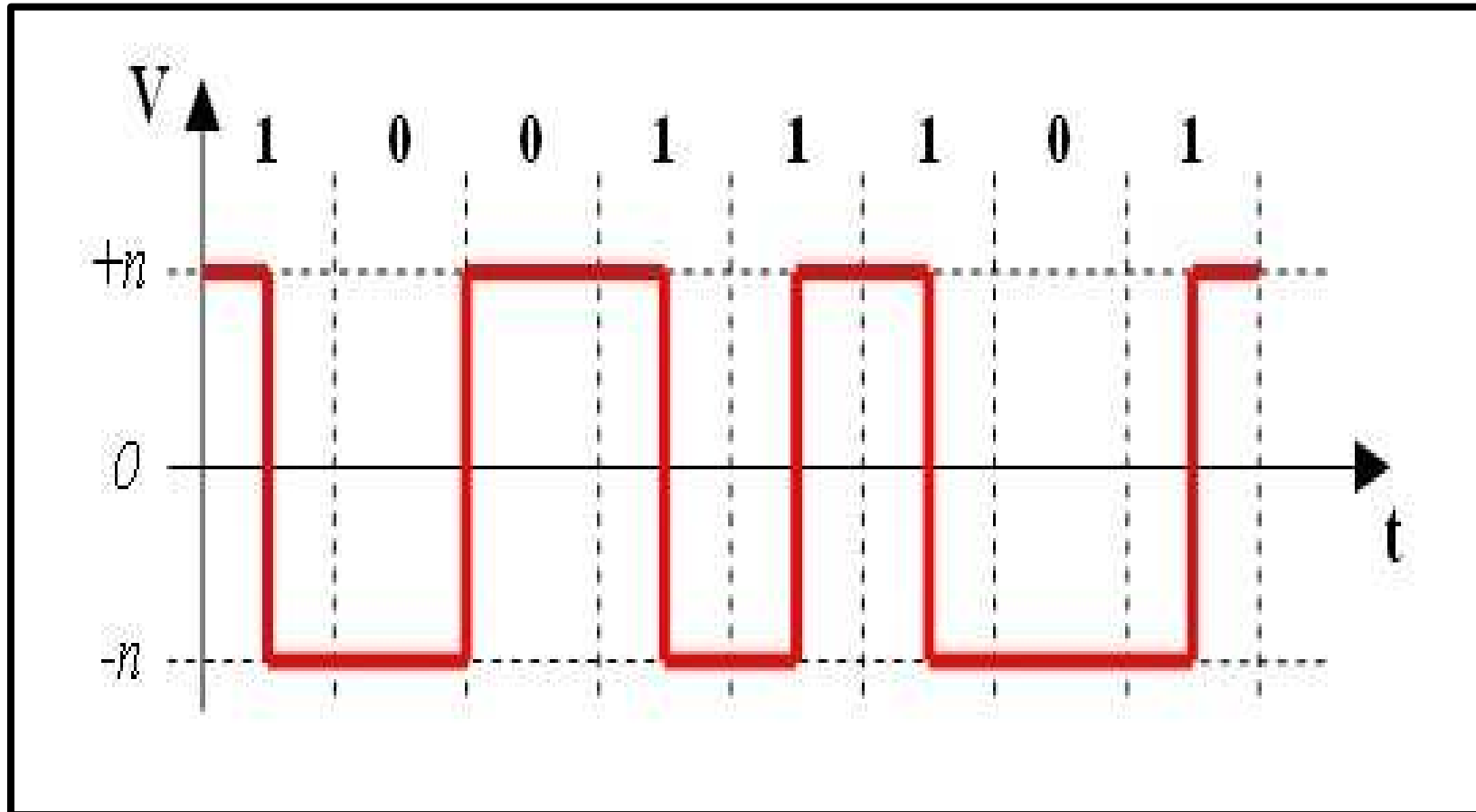
Code Manchester Différentiel (Biphase différentiel)



Code de Miller ou Delay Mode

- **Transition au milieu l'intervalle élémentaire du 1**
 - front montant ou front descendant
- **pas de transition au milieu l'intervalle élémentaire du 0**
- **une transition en fin l'intervalle élémentaire 0 si celui-ci est suivi d'un autre 0**
- **Code symétrique → indépendance de polarité**
- **Mise en œuvre simple, bande passante réduite, pas de perte de synchronisation sur les suites de symboles identiques.**

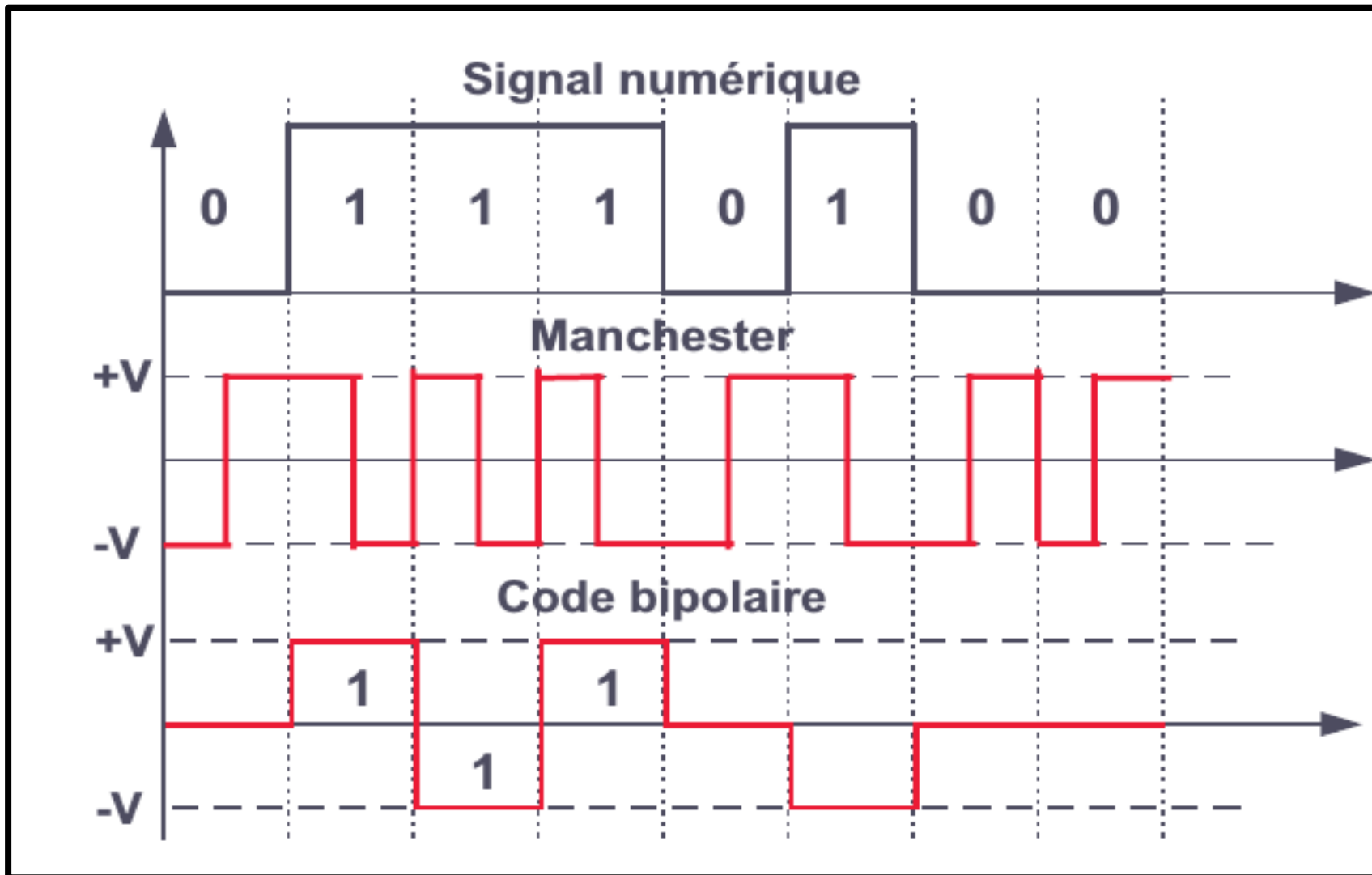
Code de Miller ou Delay Mode



Code Bipolaire simple (AMI : Alternate Mark Inversion)

- **Trois niveau de codage:**
 - 0 : pas de signal
 - 1 : alternativement niveau positif ou négatif
- **Le signal peut présenter de longues séquences de zéros → *bit stuffing***
 - Si n est le nombre maximal d'états égaux consécutifs
 - chaque fois qu'un signal comporte n états identiques consécutifs on ajoute un bit à l'état inverse
 - Par exemple, si n = 5
 - la séquence suivante : 10000000001
 - sera codée : **100000100001**
- Code ternaire, équilibré, indépendant de la polarité, dérive de l'horloge (suite de 0)

Code Bipolaire simple (AMI : Alternate Mark Inversion)



Code Bipolaire Haute Densité d'ordre n (BHD n)

- **Ajoute de la synchronisation à AMI**
- **Identique au codage AMI tant que le nombre de zéros consécutifs à coder est inférieur à $n+1$.**
 - basée sur la violation de l'alternance : bit de viol (noté V)
 - Une violation de codage consiste à générer un bit du même signe le "+" ou le "-" qui précède.
 - C'est une violation, car les "+" et les "-" doivent normalement alterner.

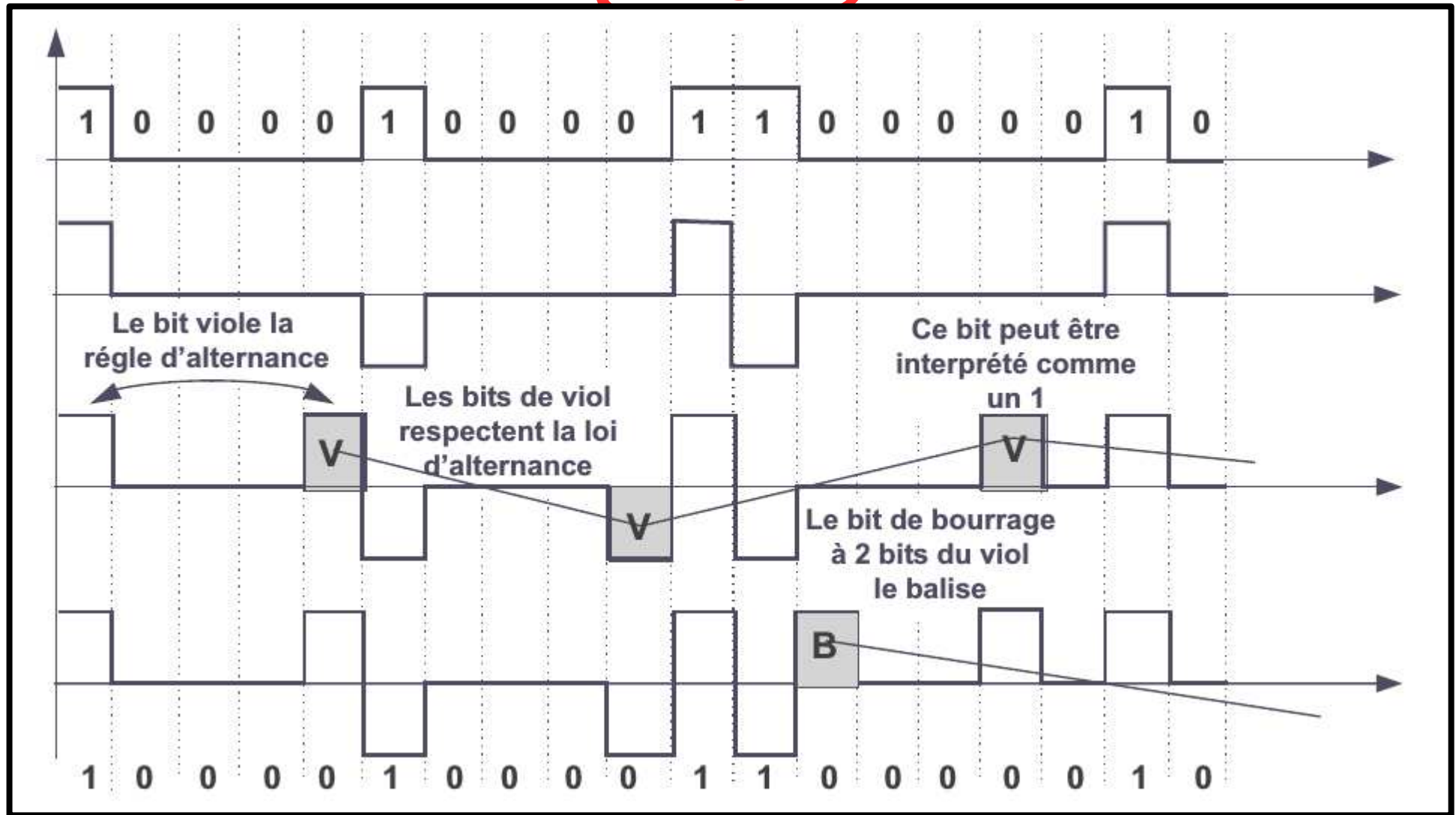
Code Bipolaire Haute Densité d'ordre n (BHD n)

- Les violations de codage produisent des signaux de même polarité proches les uns des autres.
 - Ce qui génère une valeur moyenne préjudiciable à sa propagation et à sa détection
- Le codage BHD n a prévu des **bits de balance** que nous désignerons par **B**.
 - s'ils sont bien distribués, vont rendre nulle la valeur moyenne du signal codé.
 - B suit la règle AMI (c'est "+" si le précédent signal non nul est "-" et inversement)

Code Bipolaire Haute Densité d'ordre n (BHD n)

- **Ce codage n'introduit pas de bits supplémentaires.**
 - les bits de violation V et les bits de balance B ne sont pas ajoutés
 - on change seulement la valeur du signal (nul pour un zéro) en un signal positif ou négatif suivant les cas.
- **Codage BHD3 :** Un groupe de quatre zéros sera codé : **B 0 0 V**
 - B est le bit de balance, V celui de violation.
 - Sauf pour le premier groupe qui sera codé **0 0 0 V**

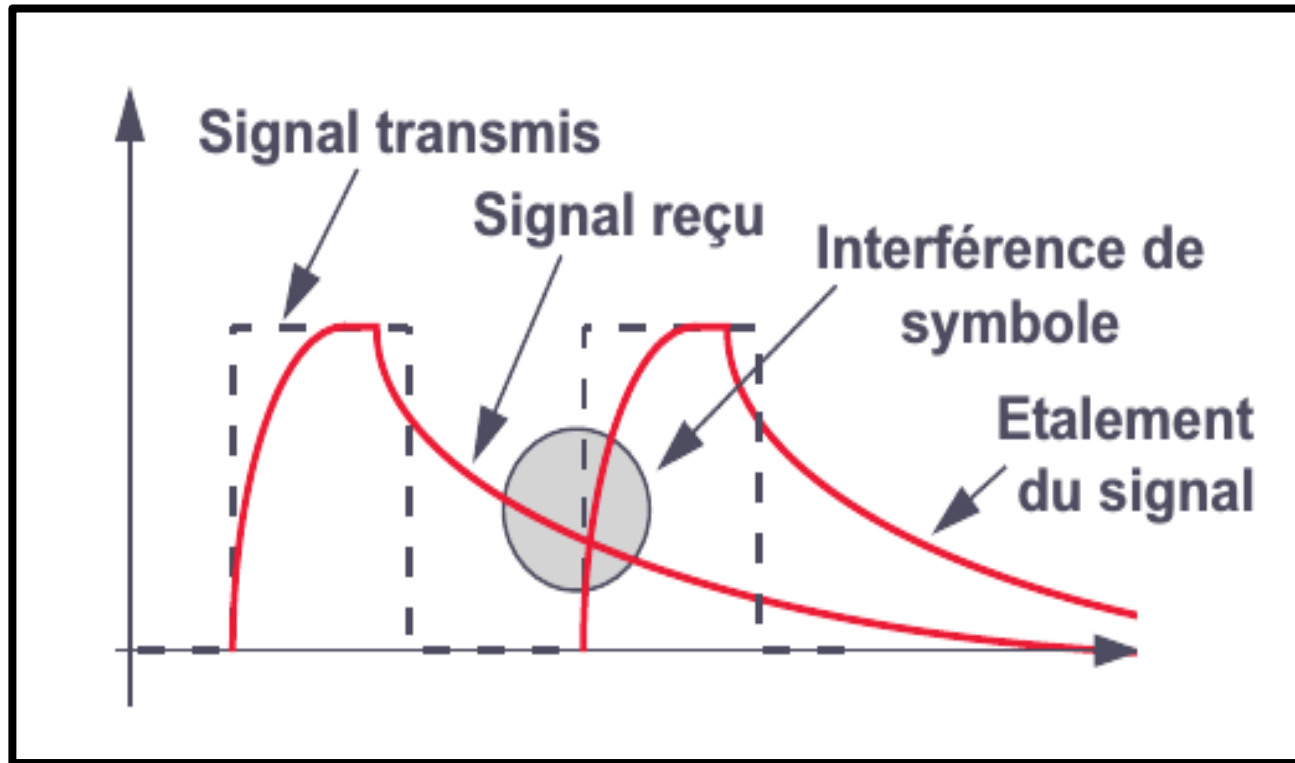
Code Bipolaire Haute Densité d'ordre n (BHD n)



Critère de Nyquist

- Une ligne ou canal de transmission se comporte comme un filtre passe-bas, les différentes composantes sont atténuées (distorsion d'amplitude) et retardées (distorsion de phase).
- L'une des conséquences les plus visibles est l'étalement du signal. Dans des conditions limites, cet étalement a pour conséquence que la fin d'une impulsion transmise se confond avec le début de la suivante.
- Les circuits électroniques ne peuvent, alors, distinguer deux impulsions successives, il y a interférence de symboles

Critère de Nyquist



Critère de Nyquist

- Il existe une relation étroite entre le nombre maximal de symboles (impulsions électriques) que le système peut admettre et la bande passante de celui-ci.
- Supposons:
 - un signal de fréquence F ,
 - deux instants significatifs peuvent être distingués.
 - Le premier correspond à la première alternance du signal, le second à la seconde.
- En assimilant chaque alternance à une impulsion électrique, le nombre maximal d'impulsions que peut transmettre un système, par unité de temps, est, au plus égal au nombre d'alternances du signal (alternance positive pour un « 1 », alternance négative pour le « 0 », par exemple).

Critère de Nyquist

- Soit R_{\max} , le nombre maximal de temps élémentaires par unité de temps (nombre d'impulsions), et F_{\max} , la fréquence de coupure du système, ils sont liés par la relation :

$$R_{\max} = 2 * F_{\max}$$

- Si on assimile F_{\max} à la bande passante (BP) du canal, on obtient la relation appelée critère de Nyquist :

$$R_{\max} \leq 2 \cdot BP$$

Critère de Nyquist

- Où R_{\max} désigne le nombre maximal de transitions qu'un système peut supporter, et est appelé rapidité de modulation.
- La rapidité de modulation, grandeur analogue à une fréquence, s'exprime en baud et représente le nombre d'instants élémentaires du signal par unité de temps.
- La rapidité de modulation est aussi appelée vitesse de signalisation sur le support

Débit binaire et rapidité de modulation

- Le débit binaire D d'une voie de données est le nombre maximum de bits d_i transmis par seconde sur cette voie
 - $D = 1 / T$ (bits/s) avec T intervalle élémentaire
- La rapidité de modulation R (exprimée en bauds) mesure le nombre maximum de symboles (élément de modulation émis en bande de base) transmis par seconde
 - $R = 1 / \Delta$ (baud) avec Δ période significative
- $1/\Delta$ est un **multiple** de $1/T$ et le **nombre de niveaux N** est choisi de telle sorte que $a(t)$ et $d(t)$ aient le même débit d'information
 - $D = 1/T = \log_2(N) / \Delta = R \log_2(N)$ (bits/s)

Les supports de transmission

Importance du support physique

- **Du choix du support physique dépendent**
 - les performances du réseau notamment le débit de transmission
 - la fiabilité du réseau
- **La plus part des réseaux locaux**
 - Utilisent un signal électrique véhiculé sur des supports métalliques
 - On trouve aussi, de plus en plus, des réseaux à fibres optiques permettant des débits plus élevés et une meilleure fiabilité
- **Par ailleurs, la transmission peut s'effectuer sans que les signaux ne soient guidés par un support : onde radio électromagnétique, rayons infrarouges, rayons laser,...**

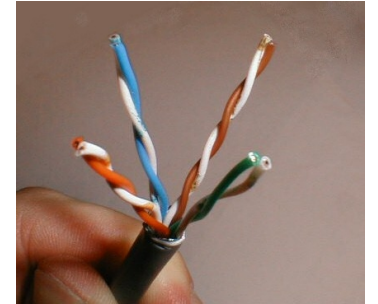
Supports physiques étudiés

**Supports
physiques**

Câble Coaxiale



Paires Torsadées

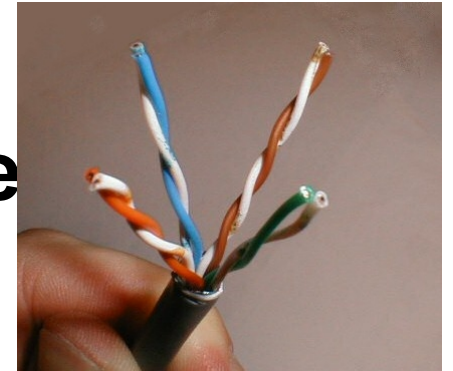


Fibres Optiques



Paires Torsadées

- Le câble est constitué d'une ou plusieurs paires de fils de cuivre en spiral (en torsade)
- Chaque fil est recouvert d'une gaine
- Plusieurs paires peuvent être regroupées dans une même gaine



(c) Copyright ABIX 2006

Caractéristiques des paires torsadées

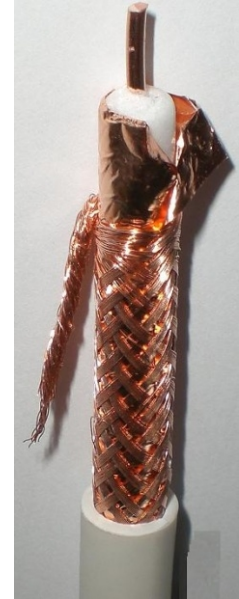
- 1. Se prête bien à une liaison point à point**
- 2. S'utilise pour une transmission analogique ou numérique**
- 3. Affaiblissement des signaux important suivant la longueur**
- 4. le débit dépend du type de la liaison et de la longueur**
 - De l'ordre du Kb/s ou moins pour une liaison multipoint ainsi que pour une liaison point à point d'une longueur supérieure au kilomètre
 - De quelques centaines de Kb/s jusqu'à plusieurs dizaines de Mb/s (voire même 100 Mb/s) lorsque la longueur est de plus en plus courte

Utilisation des paires torsadées

- **Topologies étoile et anneau**
- **les réseaux DAN (entre le répartiteur d'étage et les nœuds de l'étage)**
 - DAN : Departmental Area Network
 - Appelé aussi réseau capillaire, a pour objectif de relier les équipements d'un même département situé souvent dans un même étage
 - Un réseau d'établissement relie des réseaux DAN. Il peut être confiné dans un seul bâtiment (BAN : "Building Area Network") ou desservir plusieurs bâtiments géographiquement très proches (CAN : "Campus Area Network")

Câble Coaxiale

- Il est constitué d'un câble central entouré d'un isolant et d'une tresse métallique, le tout enveloppé par une gaine protectrice



Caractéristiques du câble coaxiale

- 1. Se prête bien à une liaison point à point ou multipoint**
- 2. S'utilise pour une transmission analogique ou numérique**
- 3. Moins simple à installer que la paire torsadée**
- 4. Plus coûteux que la paire torsadée**
- 5. le débit dépend de la longueur du câble et de ses caractéristiques**
 - il est de l'ordre de quelques Mb/s à plusieurs dizaines de Mb/s (sur une longueur de 1 Km) voire même 1 Gb/s

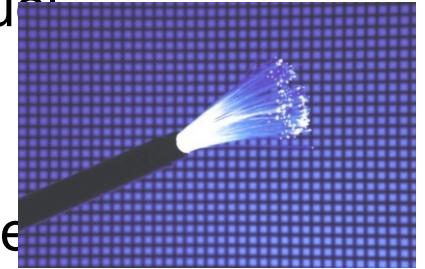
Utilisation du câble coaxiale

- **topologies bus, anneau, arbre**
- **tendance à le remplacer par**
 - la paire torsadée au niveau des réseaux DAN
 - la fibre optique pour le reste du câblage

La fibre optique

- **Se compose d'un noyau entouré d'une gaine.**

- Le noyau est un guide cylindrique en verre ayant un fort indice de réfraction (changement de direction) dans lequel se propagent des faisceaux lumineux (ondes optiques)
- La gaine confine les ondes optiques.
- Le tout est recouvert par une ou plusieurs enveloppes de protection



- **Aux extrémités du câble se trouve l'émetteur et le récepteur.**

- L'émetteur est composé d'un codeur et d'une Diode Electro Luminescente (DEL) ou d'une Diode Laser (DL) ou encore d'un laser modulé.
- Le récepteur est constitué d'un décodeur et d'un détecteur de lumière (photodétecteur).



Famille de fibre optique

- **la fibre monomode**

- un seul angle d'incidence
- diamètre de quelques microns
- vitesse de propagation de l'ordre de 0,25 millions de kilomètre par seconde
- bande passante jusqu'à 100 Ghz/Km voire même plusieurs milliers de Ghz/Km

- **la fibre multimode à gradient d'indice**

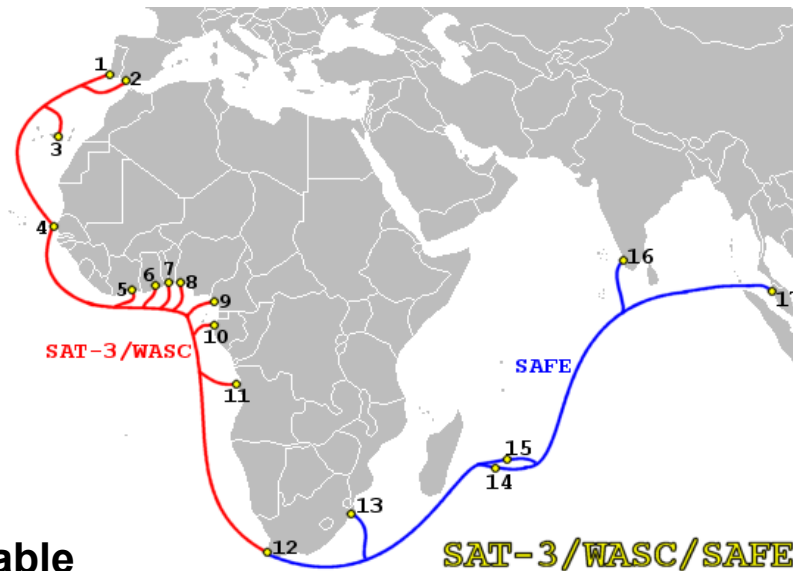
- Le noyau a un indice de réfraction qui diminue progressivement en s'éloignant de l'axe
- Bande passante allant jusqu'à 1 Ghz, vitesse propagation plus importante que celle pour la fibre à saut d'indice

Caractéristiques des fibres optiques

1. **S'utilise pour une liaison point à point**
 - il est délicat de l'utiliser pour une liaison multipoint à cause des difficultés de dérivation
2. **le plus difficile à installer (raccordement, dérivation,...)**
3. **le plus coûteux**
4. **bande passante et débit important**
5. **pas de diaphonie, insensible aux perturbations électromagnétiques**
6. **faible atténuation, résistance à la chaleur, au froid et à l'humidité**
7. **encombrement et poids inférieurs aux autres supports (<1/10)**

Utilisation des fibres optiques

- Topologies anneau, étoile
- Tendance à utiliser la fibre optique dans les réseaux d'établissement



South Atlantic 3/West Africa Submarine Cable

