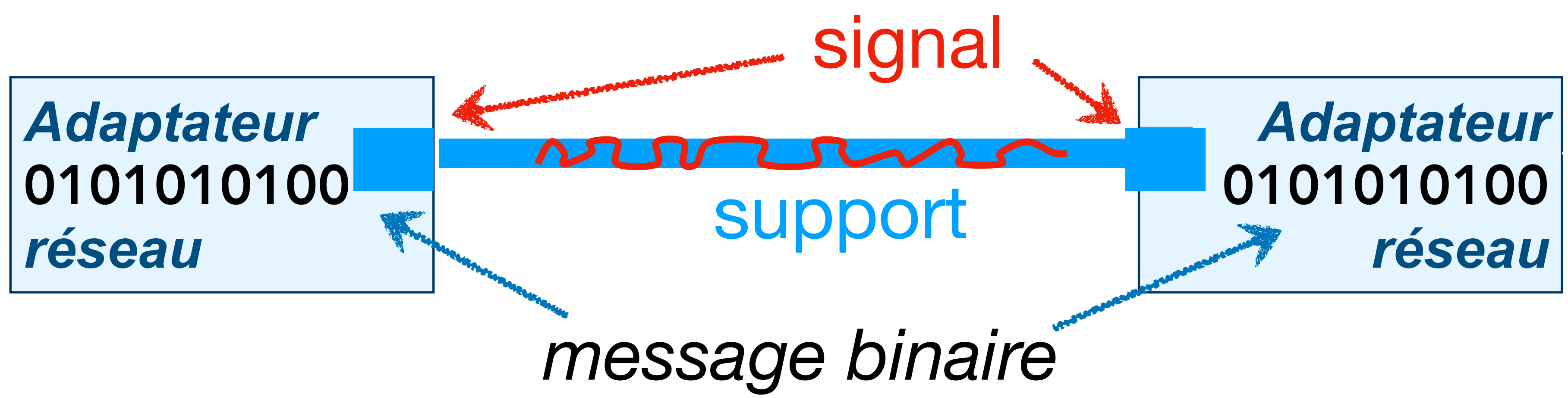
Couche Physique

« La couche physique fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de liaison de données. Une connexion physique peut mettre en jeu plusieurs systèmes intermédiaires, relayant chacun la transmission des bits dans la couche physique. »

Elle se décompose en deux sous niveaux :

- le **PMD** (*Physical Medium Dependant*) : description du média utilisé, câbles, connectique…
- le **PHY** (*Physical*) : correspondance entre le signal reçu et son interprétation sous forme binaire (codage). On obtient en sortie de cette couche un flux de données binaire.

Couche physique



Transmettre un message d’un émetteur vers un récepteur

- Transmission de l’information : données numériques
- Signal : domaine fréquentiel/temporel
- Transmission du signal
- Transmission des bits sur le support

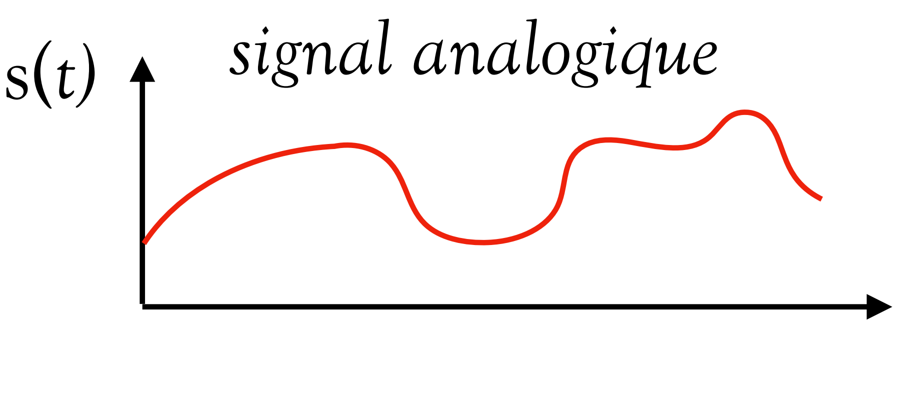
Transmission de l'information

Un **message** représente les données que l'on veut transmettre : le son, ses images, des textes,…

Les **messages** peuvent être représentés à l'aide de signaux analogiques ou numériques. Un *signal* est une quantité qui dépend du temps.

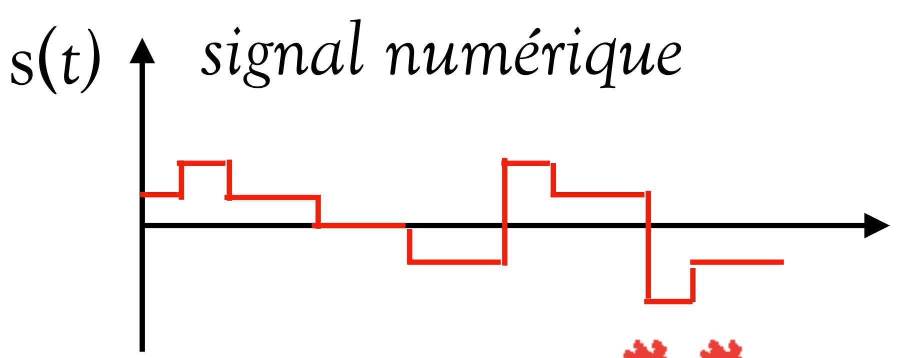
un *signal analogique*

peut prendre une infinité de valeurs dans le temps.



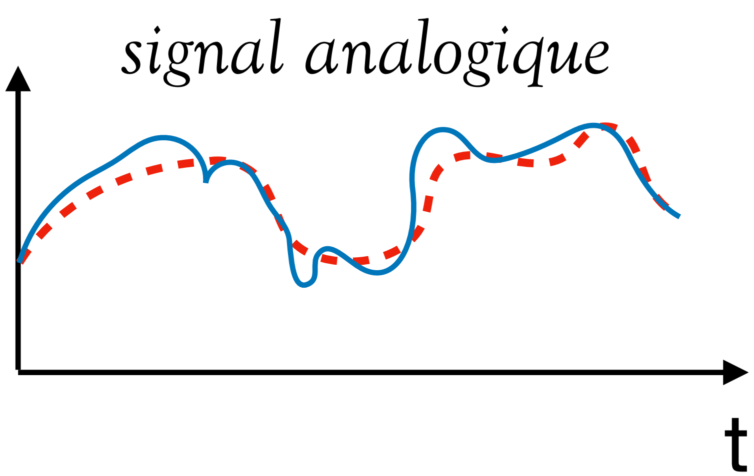
un *signal numérique*

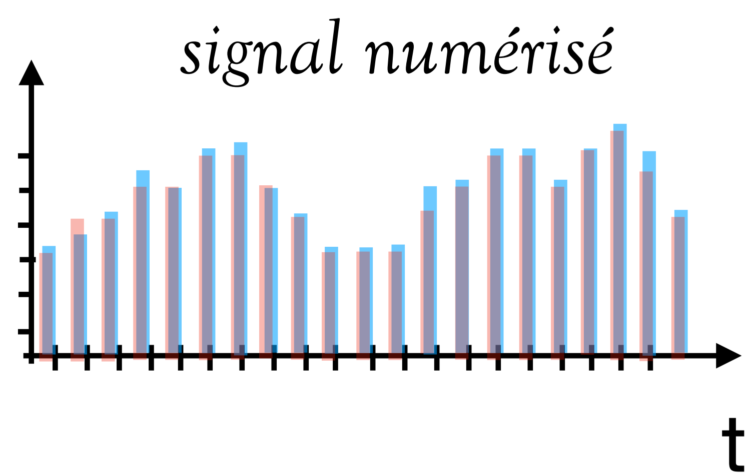
varie de façon discrète dans le temps, il peut prendre un ensemble prédéfini de valeurs possibles.



Transmission du signal

La transmission **déforme** le signal transmis, il est donc préférable de transmettre des signaux numériques

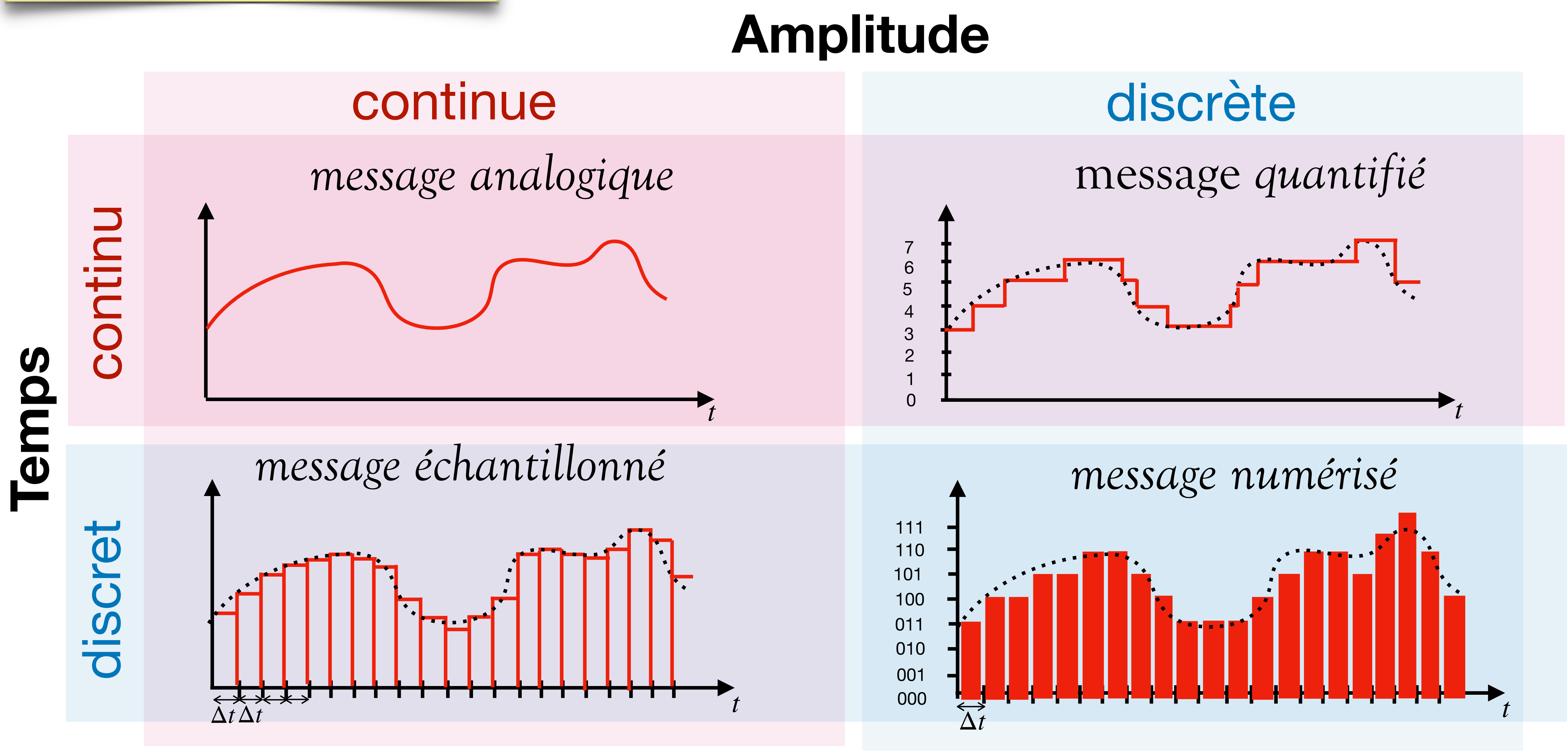




- Certaines composantes fréquentielles sont supprimées, atténuées ou subissent des déphasages différents
- des perturbations (bruits, interférences) s’ajoutent au signal transmis

Transmission de l'information

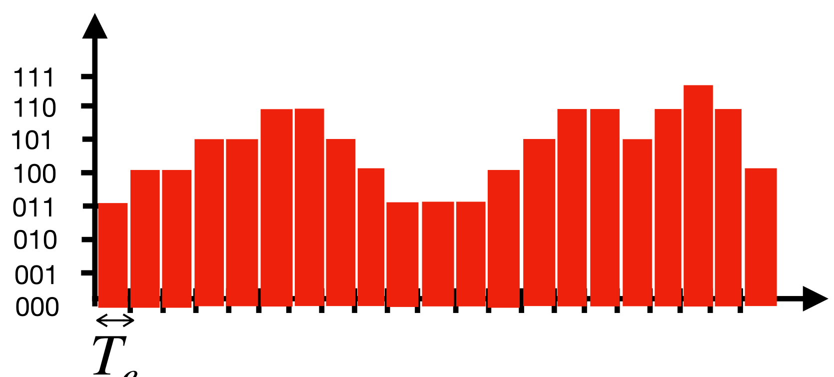
Numérisation : analogique -> numérique



Transmission du signal

Numérisation : signal analogique → message numérique

1. Quantification
2. Echantillonnage
3. Codage



signal numérisé

« 011100100101101…

Théorème d'échantillonnage de Nyquist

établit les conditions qui permettent l'échantillonnage d'un signal de largeur spectrale et d'amplitude limitées.

Fréquence d'échantillonnage : $f_e \geq 2f_{max}$

T_e : durée d'un échantillon

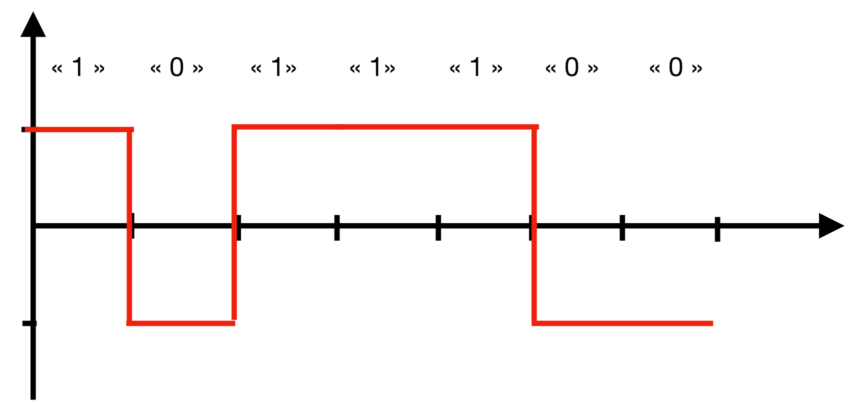
$$T_e \leq T_{e_{max}} = \frac{1}{f_{e_{min}}} = \frac{1}{2f_{max}}$$

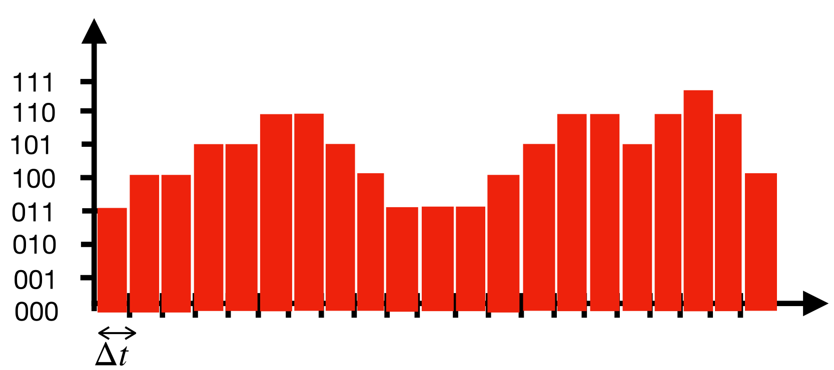
Transmission du signal

codages numériques

Les signaux numériques sont mieux adaptés à la transmission

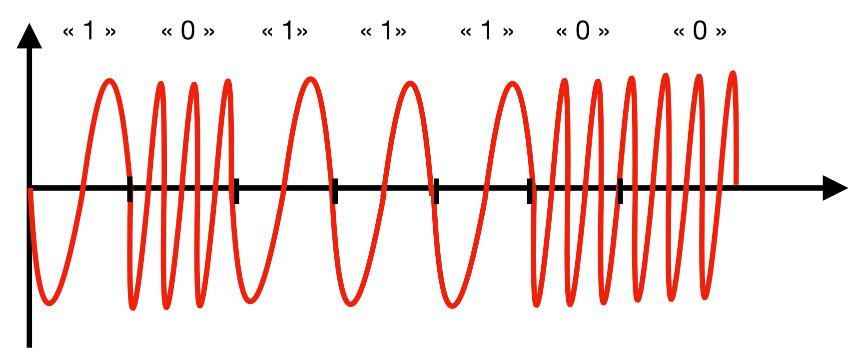
codage en bande de base





signal numérisé / numérique

« 01110010010110 1…

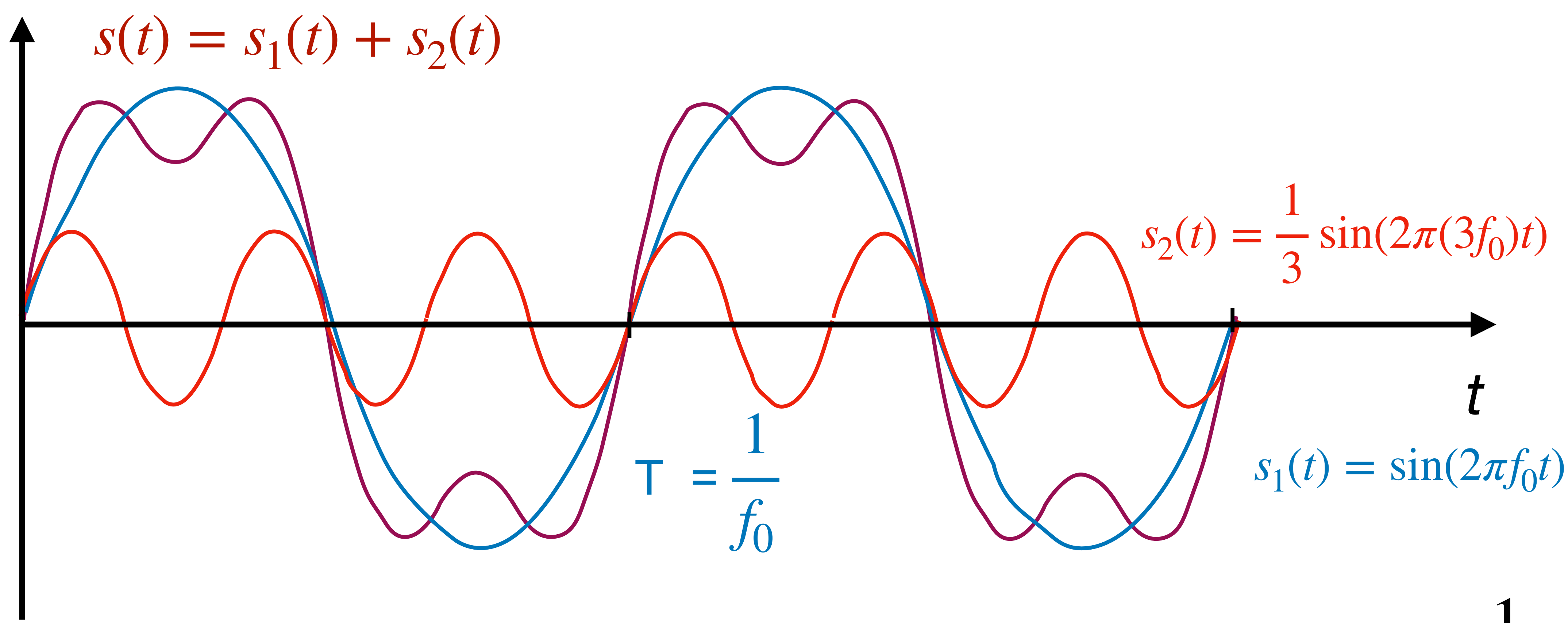


modulation sur fréquence porteuse

SORBONNE UNIVERSITÉ

Signal - domaine fréquentiel/temporel

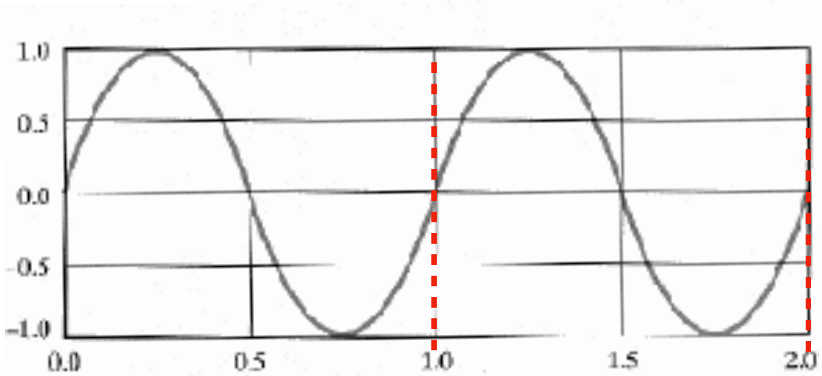
Les signaux peuvent se **combiner** entre eux pour donner des *signaux complexes* ainsi : $s(t) = s_1(t) + s_2(t)$



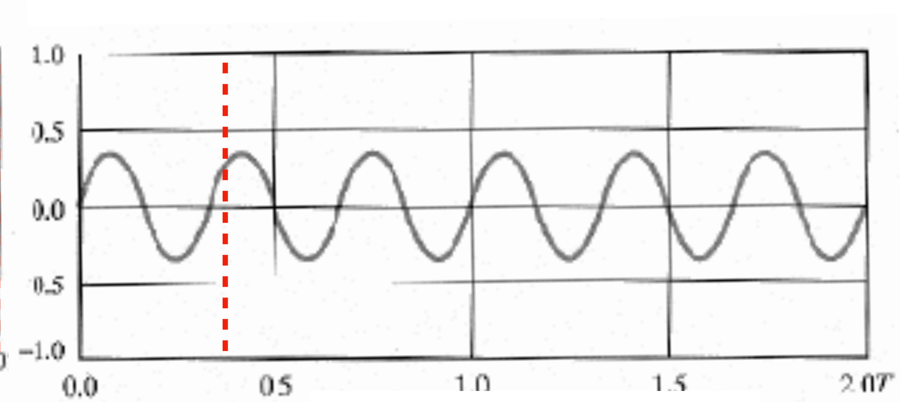
Représentation des signaux dans le **domaine temporel** $(T = \frac{1}{f_0})$

Signal - domaine fréquentiel/temporel

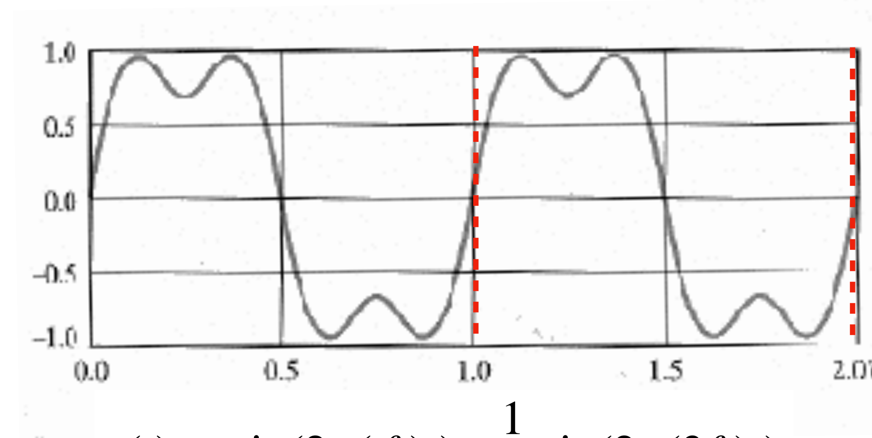
Représentation des signaux dans le **domaine temporel**



$s_1(t) = \sin(2\pi f_0 t)$

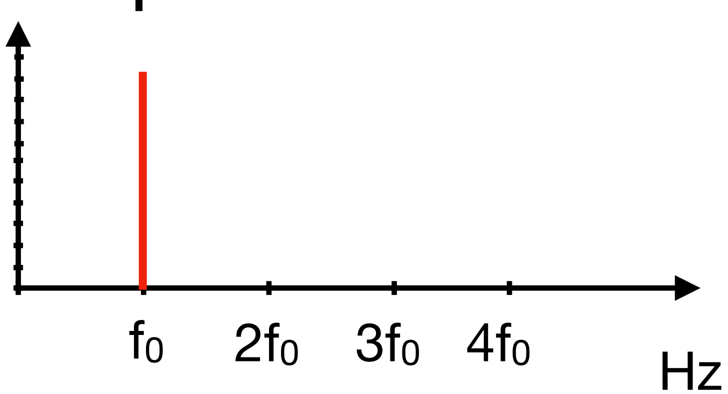


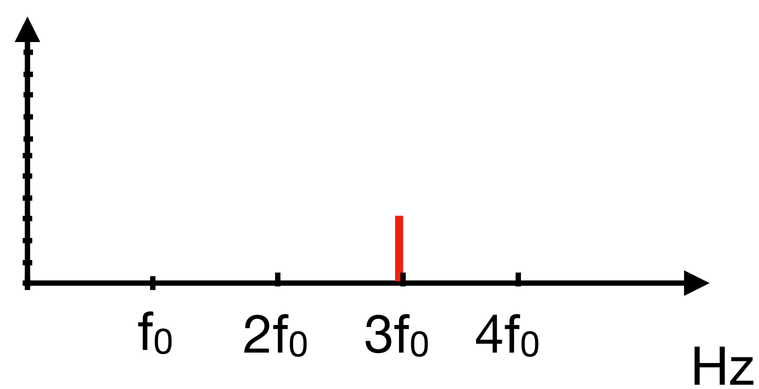
$s_2(t) = \frac{1}{3}\sin(2\pi(3f_0)t)$

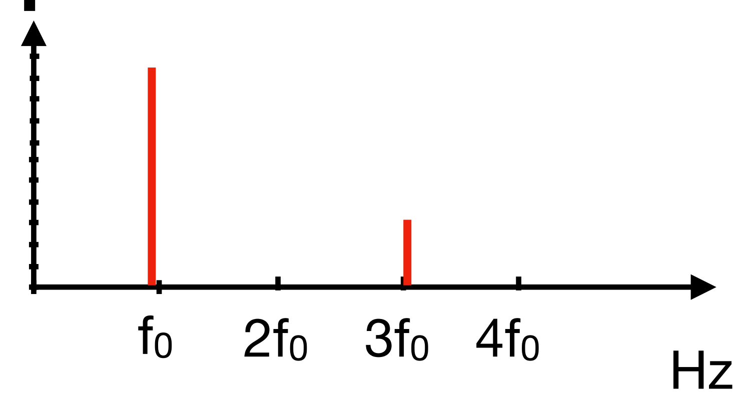


$s(t) = \sin(2\pi(f_0)t) : \frac{1}{3}\sin(2\pi(3f_0)t)$

Représentation des signaux dans le **domaine fréquentiel**

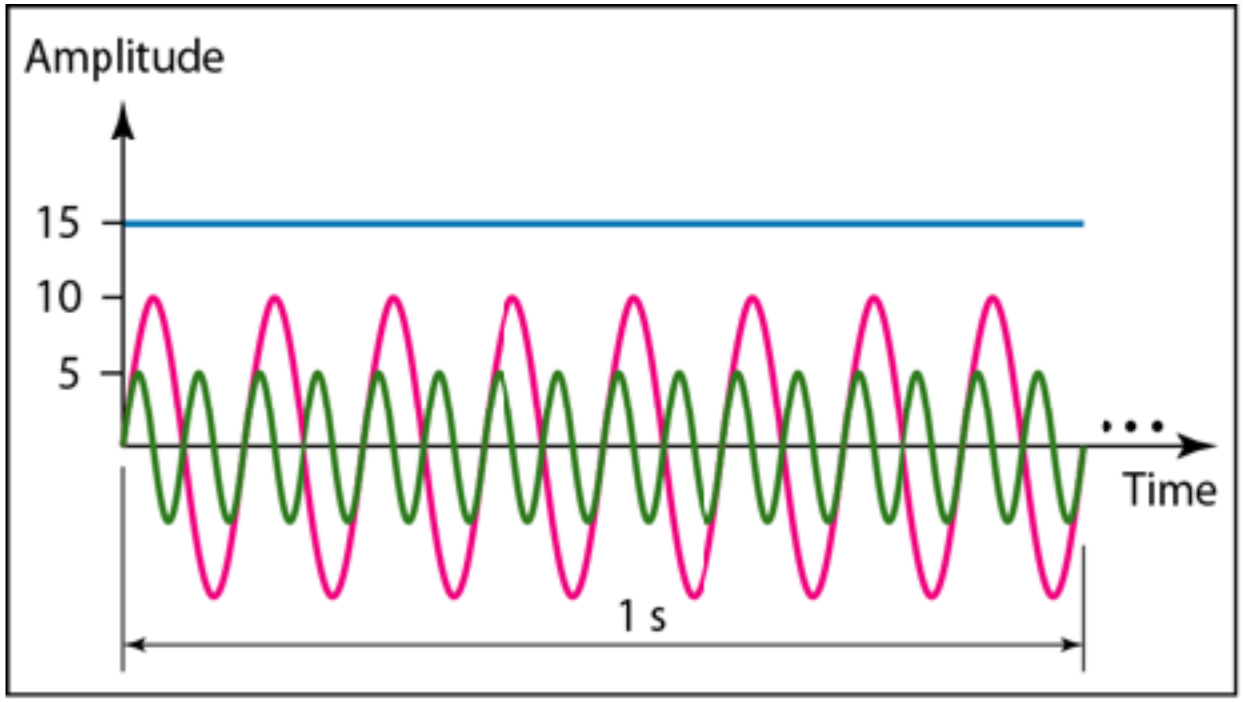




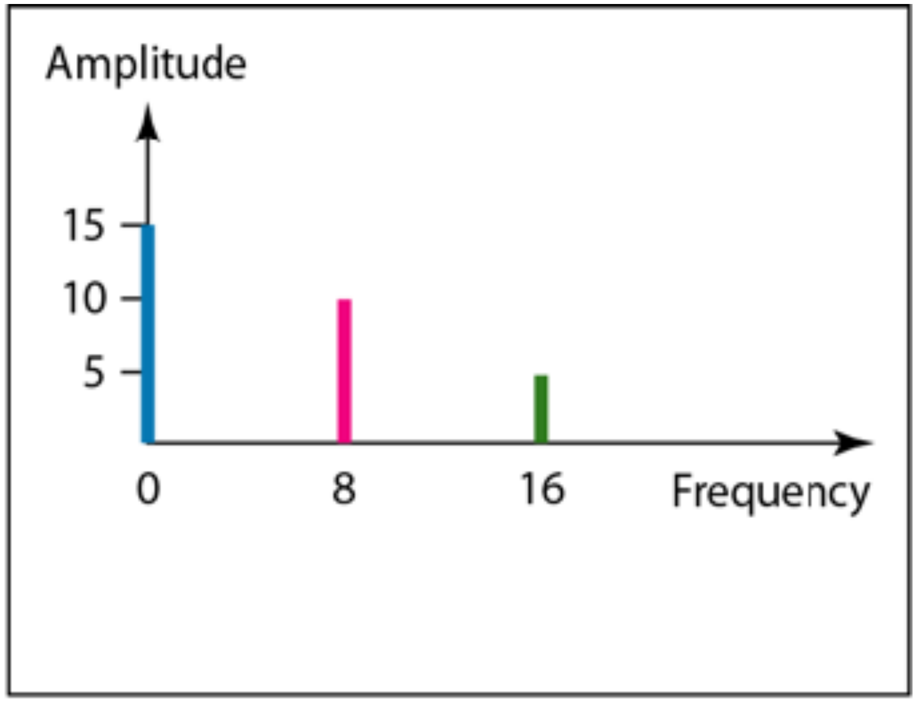


Signal - domaine fréquentiel/temporel

- La représentation dans le domaine fréquentiel peut être plus compact quand on a un signal composé de plusieurs composantes fréquentielles



a. Time-domain representation of three sine waves with frequencies 0, 8, and 16



b. Frequency-domain representation of the same three signals

Signal - domaine fréquentiel/temporel

- Tout signal complexe (analogique ou numérique) :
  - est constitué de **plusieurs** *composantes fréquentielles*
  - peut être décomposé en une *somme de signaux élémentaires* (Fourier)
- Lorsqu'un signal est périodique, on parle de **décomposition en séries de Fourier** :

$n^{ième}$ harmonique = composante fréquentielle de fréquence $n.f_0$

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n cos(2\pi(nf_0)t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n sin(2\pi(nf_0)t)$$

a_n et b_n sont les amplitudes
sinus et cosinus
de la n^{ième} composante
fréquentielle

Signal - domaine fréquentiel/temporel

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n cos(2\pi(nf_0)t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n sin(2\pi(nf_0)t)$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\,.\cos(2\pi n f_0 t)dt$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\,.\sin(2\pi n f_0 t)dt$$

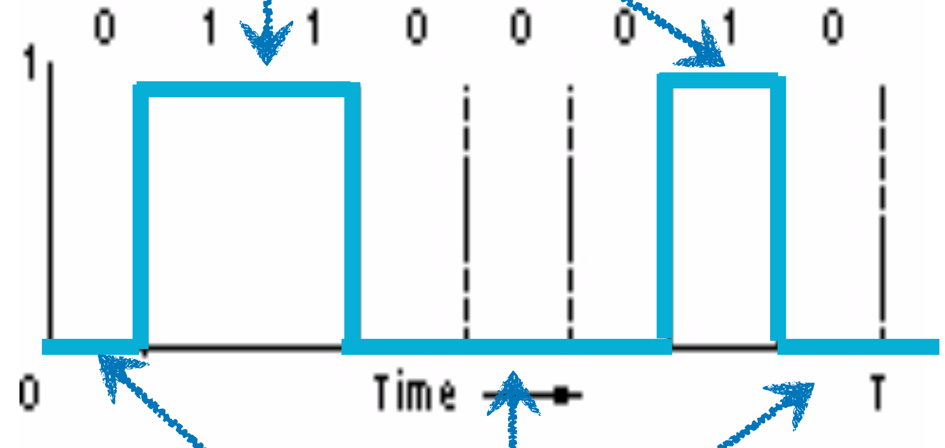
$$c = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)dt$$

SORBONNE UNIVERSITÉ

Signal domaine fréquentiel /temporel

$g(t) = 1 \; si \;\; t \in \left[\frac{T}{8}, \frac{3T}{8}\right[\cup \left[\frac{6T}{8}, \frac{7T}{8}\right[$

Ex : Considérons que la transmission du caractère “b” codé sur un octet de 8-bit : “01100010”. Supposons que ce signal soit périodique, avec T =1s



sinon $g(t) = 0$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\,.\,\sin(2\pi n f_0 t)dt = \frac{2}{T}\left(\int_0^{\frac{T}{8}} 0dt + \int_{\frac{T}{8}}^{\frac{3T}{8}} \sin(2\pi n f_0 t)dt + \int_{\frac{3T}{8}}^{\frac{6T}{8}} 0dt + \int_{\frac{6T}{8}}^{\frac{7T}{8}} \sin(2\pi n f_0 t)dt + \int_{\frac{7T}{8}}^{T} 0dt\right)$$

$$= \frac{2}{T}\left(\int_{\frac{T}{8}}^{\frac{3T}{8}} \sin(2\pi n f_0 t)dt + \int_{\frac{6T}{8}}^{\frac{7T}{8}} \sin(2\pi n f_0 t)dt\right) = \frac{2}{T}\left(\left[-\frac{T}{2\pi n}\cos\left(\frac{2\pi n}{T}t\right)\right]_{\frac{T}{8}}^{\frac{3T}{8}} + \left[-\frac{T}{2\pi n}\cos\left(\frac{2\pi n}{T}t\right)\right]_{\frac{6T}{8}}^{\frac{7T}{8}}\right)$$

$$= \frac{2}{T}\cdot\frac{T}{2\pi n}\left(\left[-\cos\left(\frac{2\pi n}{T}t\right)\right]_{\frac{T}{8}}^{\frac{3T}{8}} + \left[-\cos\left(\frac{2\pi n}{T}t\right)\right]_{\frac{6T}{8}}^{\frac{7T}{8}}\right)$$

$$\boxed{a_n = \frac{1}{\pi n}\left(\cos\left(\frac{\pi n}{4}\right) - \cos\left(\frac{3\pi n}{4}\right) + \cos\left(\frac{6\pi n}{4}\right) - \cos\left(\frac{7\pi n}{8}\right)\right)}$$

Signal - domaine fréquentiel/temporel

Exemple: b encodé sur un octet de 8 bits. Format: “01100010”

$$a_n = \frac{1}{\pi n}\left(\cos\left(\frac{\pi n}{4}\right) - \cos\left(\frac{3\pi n}{4}\right) + \cos\left(\frac{6\pi n}{4}\right) - \cos\left(\frac{7\pi n}{8}\right)\right)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n}\left(\sin\left(\frac{3\pi n}{4}\right) - \sin\left(\frac{\pi n}{4}\right) + \sin\left(\frac{7\pi n}{4}\right) - \sin\left(\frac{6\pi n}{8}\right)\right) \qquad c = \frac{3}{4}$$

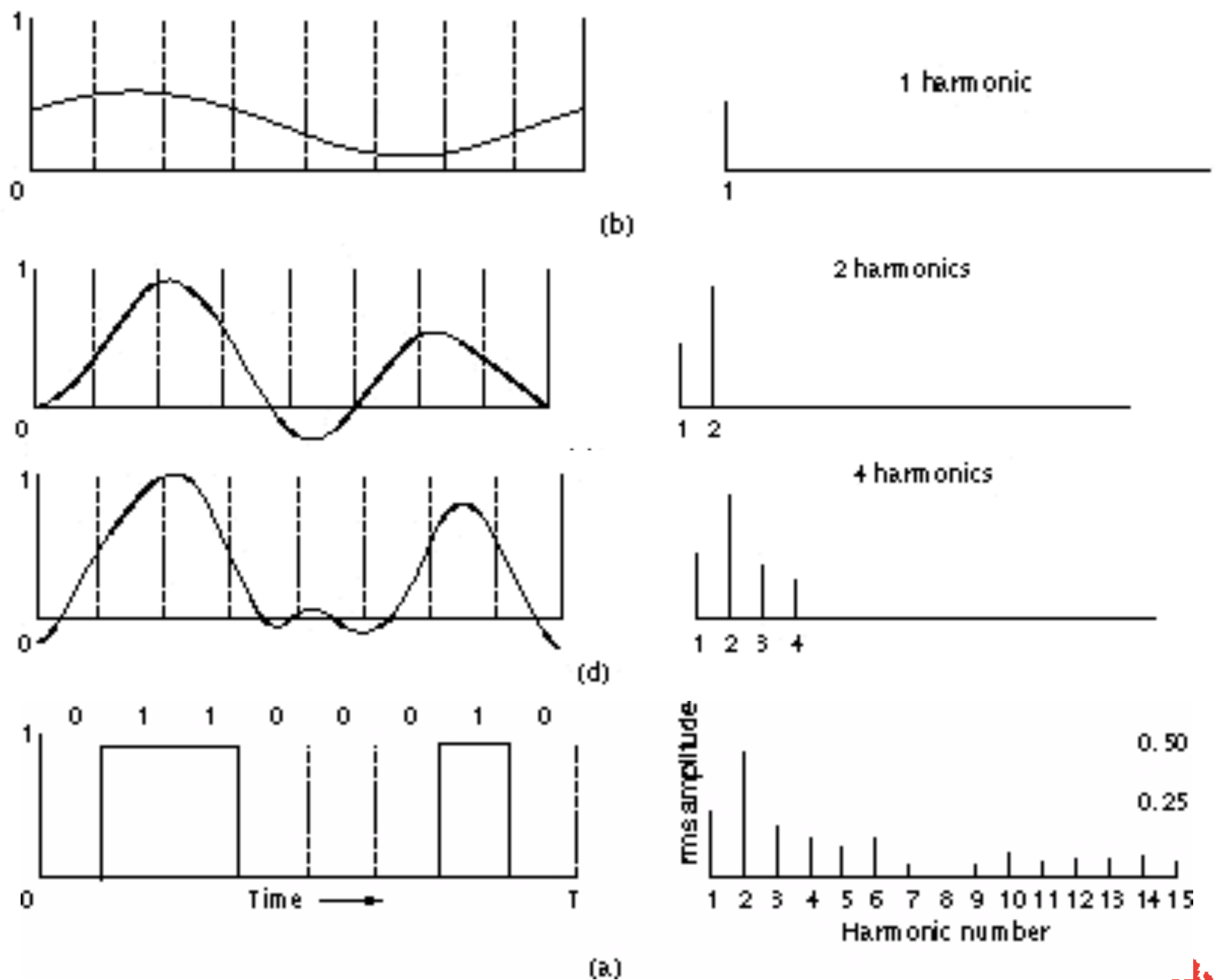
Le **spectre fréquentiel** associé à une fonction périodique est un *spectre de raies*. Chaque raie correspond à un harmonique. Il existe trois types de spectres fréquentiels :

- **Le spectre d’amplitude :** hauteur de chaque raie $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$
- le spectre de puissance : hauteur de chaque raie $a_n^2+b_n^2$
- le spectre de phase : hauteur de chaque raie a_n / b_n

SORBONNE UNIVERSITÉ

Signal - domaine fréquentiel/temporel

Que devient le signal si certaines composantes fréquentielles sont supprimées ?



SORBONNE UNIVERSITÉ

Signal - domaine fréquentiel/temporel

Pour le signal suivant, indiquez quelles sont les harmoniques et en déduire le spectre d'amplitude.

$$s(t) = 2\cos(2\pi f_0 t) + 3\sin(2\pi f_0 t) + 4\cos(4\pi f_0 t) + 3\sin(4\pi f_0 t) + \sin(8\pi f_0 t)$$

n	1	2	3	4	5
a_n					
b_n					

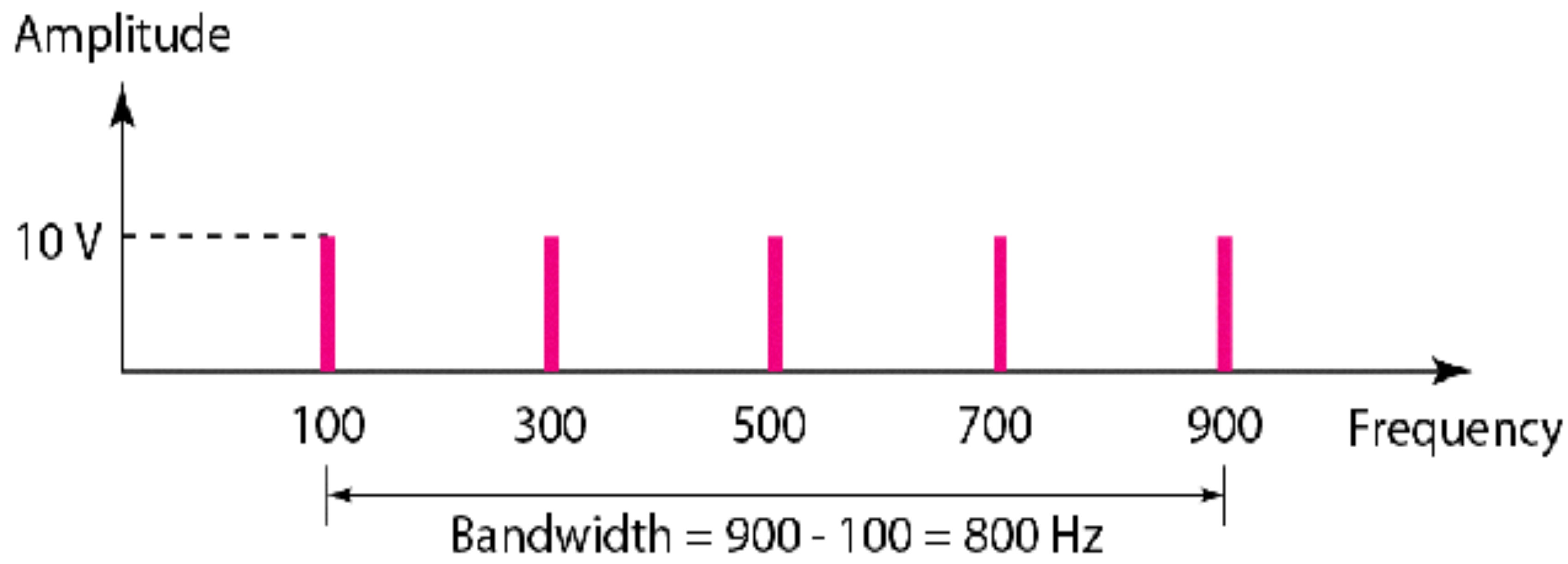
Pour revoir/approfondir ces notions, consultez le document sur le signal et l'analyse fréquentielle (avec vidéos explicatives)

https://images.math.cnrs.fr/Analyse-frequentielle-du-signal.html

SORBONNE UNIVERSITÉ

Signal - domaine fréquentiel/temporel

Bande passante d'un signal = différence entre la fréquence de coupure haute et la fréquence de coupure basse



- Quelle est la bande passante du signal suivant :
  $s(t) = 2\cos(2\pi f_0 t) + 3\sin(2\pi f_0 t) + 4\cos(4\pi f_0 t) + 3\sin(4\pi f_0 t) + \sin(8\pi f_0 t)$?

Transmission du signal

Caractérisation du bruit sur un canal

Le *rapport signal sur bruit (S/N)* mesure la quantité de bruit contenue dans le signal. Il s'exprime par le rapport des puissances du signal (P_S) et du bruit (P_N). Il est souvent donné en décibels (dB)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{P_S}{P_n}\right)$$

SORBONNE UNIVERSITÉ

Transmission du signal

Le débit de transmission théorique (bit/s) dépend de la qualité du canal de communication et donc du support

Loi de shannon

fournit la capacité, c'est à dire le **débit binaire maximum** auquel on peut théoriquement transmettre sans erreur **sur un canal** à bande passante limitée et sujet à de bruit

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right)$$

C : capacité = débit maximal théorique du support

B est la bande passante du support (en Hz)

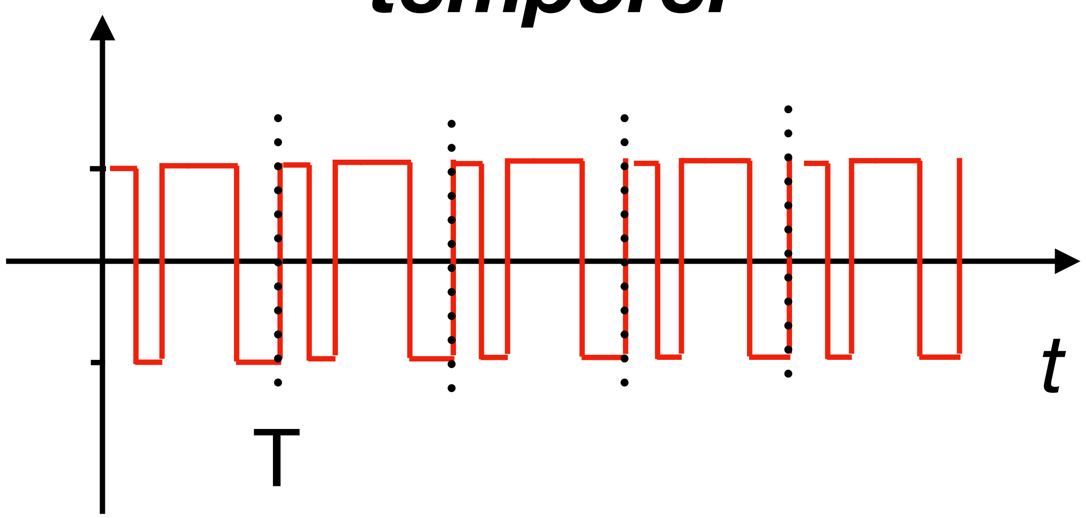
P_S/P_N est le rapport des puissances signal à bruit (sans unité)

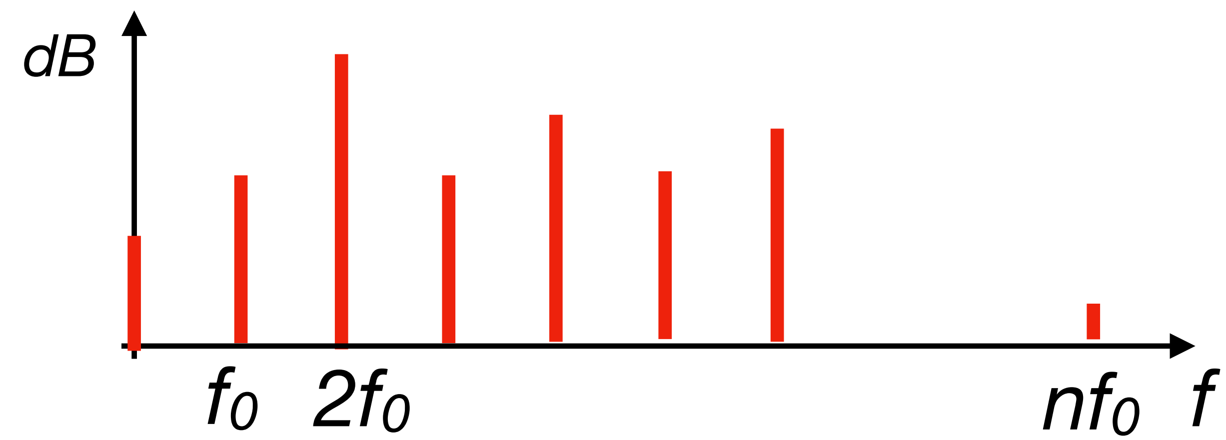
SORBONNE UNIVERSITÉ

Signal - domaine fréquentiel/temporel

Représentation dans le domaine

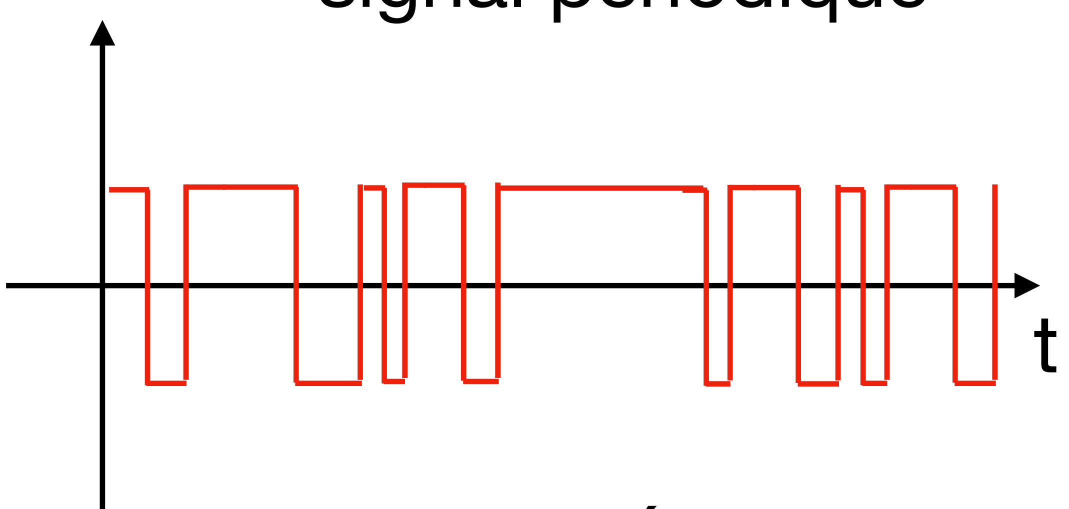
temporel ***fréquentiel***

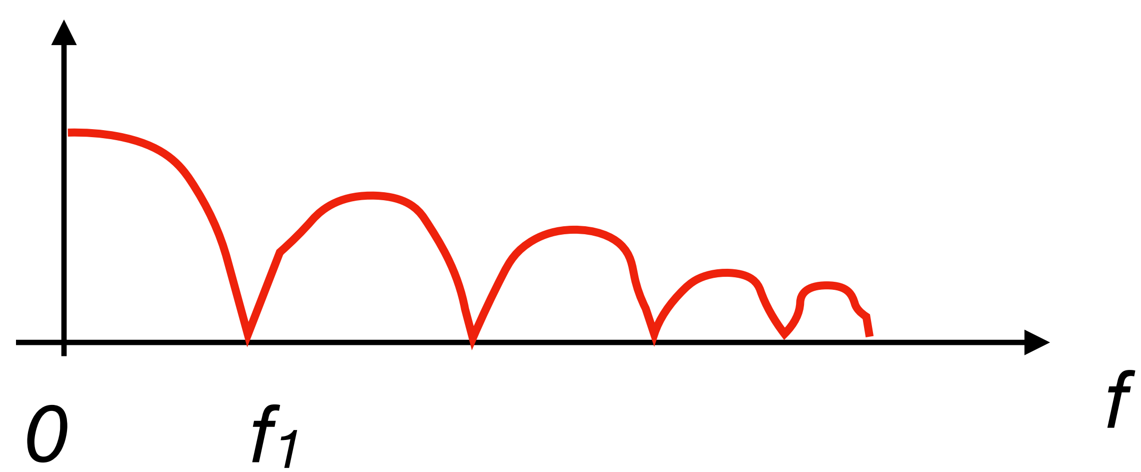




signal périodique

Amplitude dB





signal aléatoire

Transmission du signal

=> Codage des données

Transmission des bits sur le support

La transmission numérique

Les informations numériques ne pouvant circuler sous forme de 0 et de 1 directement, il faut les coder sous forme d'un signal.

- *Première étape* : le codage en ligne
- *Deuxième étape* **:** le signal peut ensuite être transmis

soit directement après le codage en ligne

Transmission en bande de base

En codant : des niveaux de tension par rapport à la masse, une différence de tension entre deux fils, une présence/absence de courant ou de lumière dans un fil, …

soit après modulation sur une fréquence porteuse

Transmission des bits sur le support

CODAGE EN LIGNE

- Le codage en ligne est réalisé par l'ETCD (Équipement Terminal de Circuit de Données), appelé aussi **codeur bande de base**, le signal codé étant en ***bande de base***.

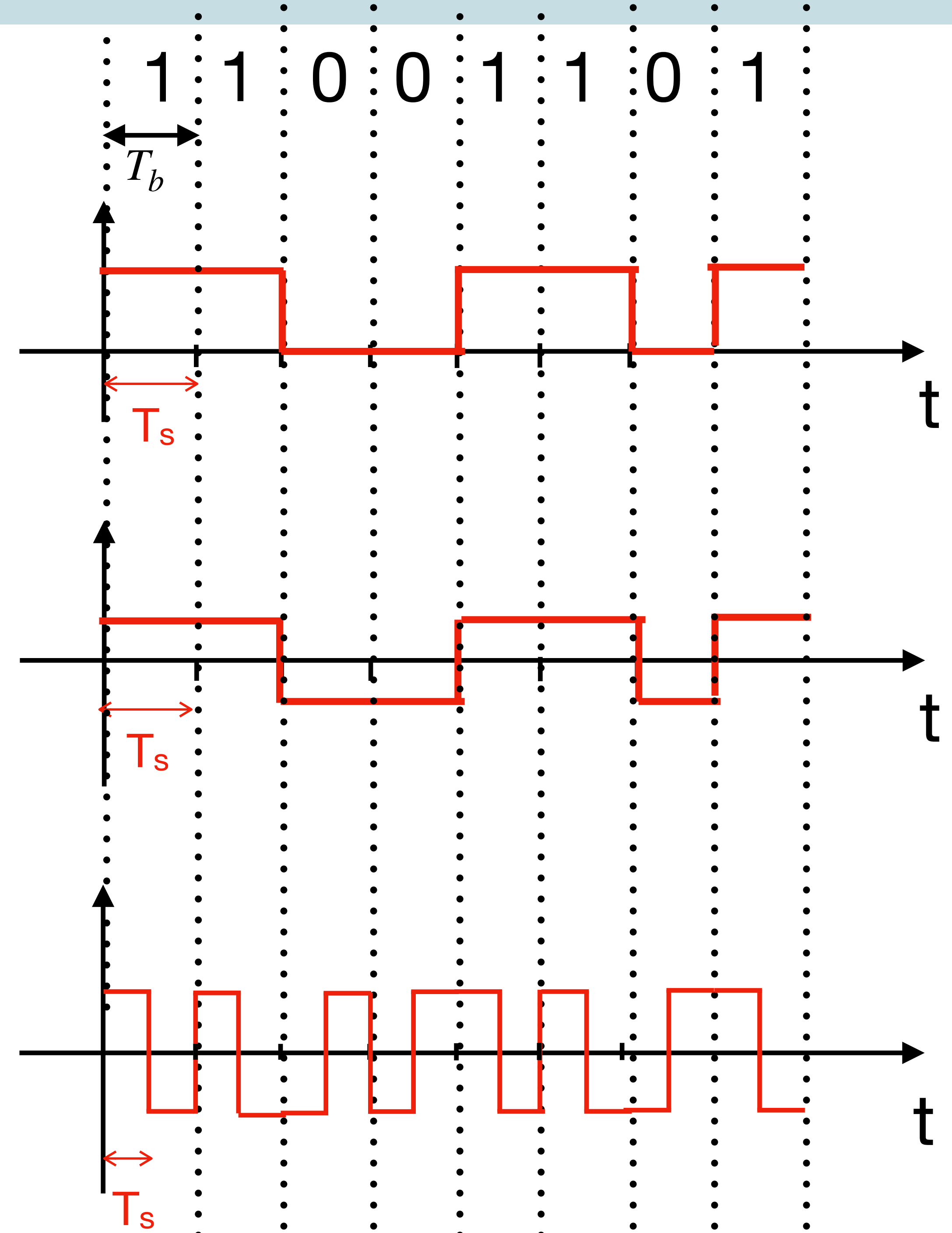
- Il existe différents codages :

  - Tout ou rien, **NRZ**, **Manchester**, Manchester différentiel, unipolaire, bipolaire, Miller, BHDn, ….

  - Une même suite binaire sera représentée par des signaux différents en fonction du codage choisi (domaine temporel et fréquentiel)

Transmission des bits sur le support

codage en ligne	« 0 »	« 1 »
tout ou rien	courant nul	courant +
NRZ	courant -	courant +
Manchester	courant - sur $\frac{T_b}{2}$	courant + sur $\frac{T_b}{2}$
	courant + sur $\frac{T_b}{2}$	courant - sur $\frac{T_b}{2}$

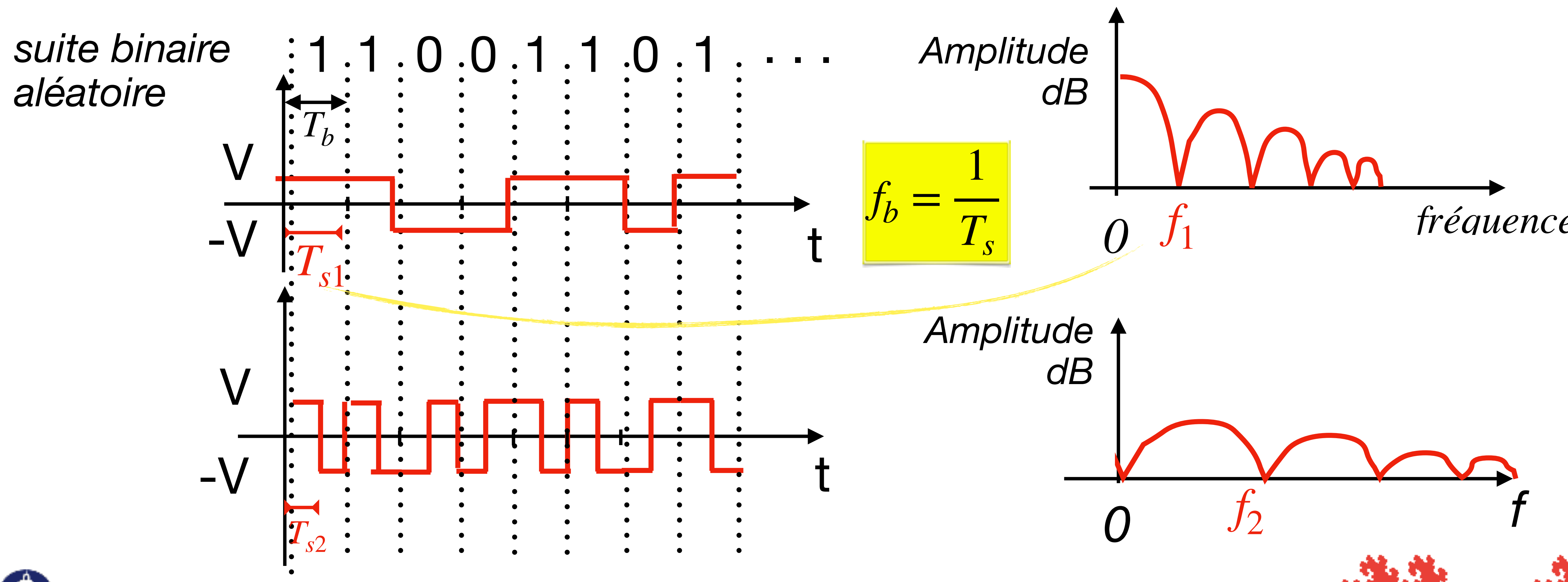


Transmission des bits sur le support

Le signal peut être considéré sous son aspect temporel et fréquentiel

Propriétés des codages : largeur spectrale, résistance au bruit, synchronisation,…

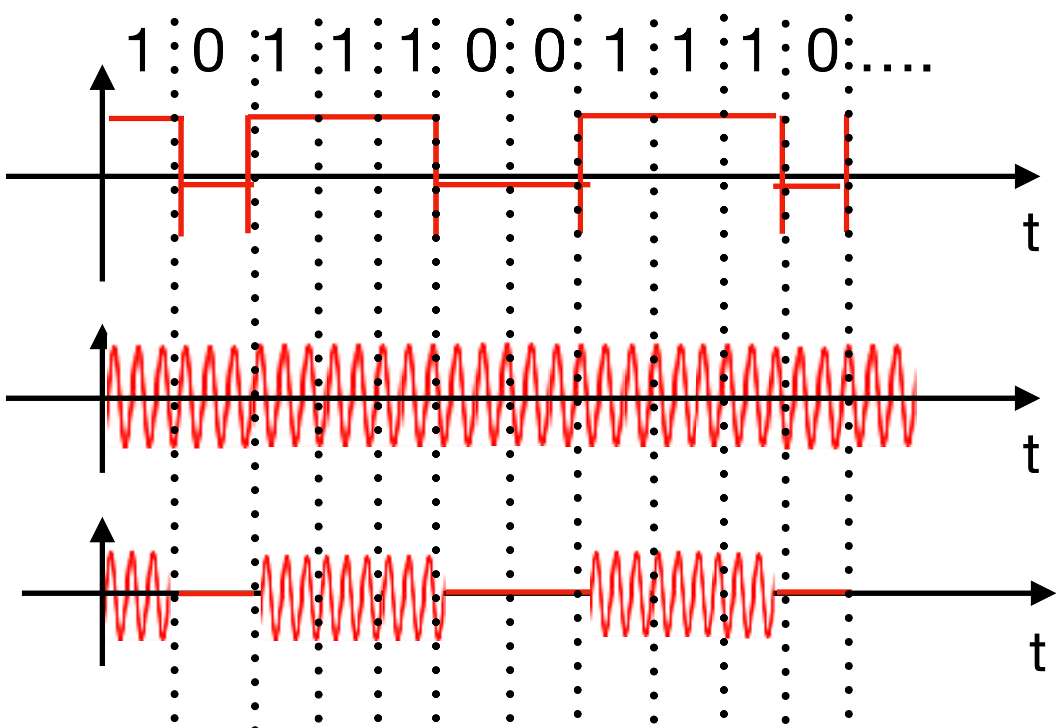
Transmission en bande de Base



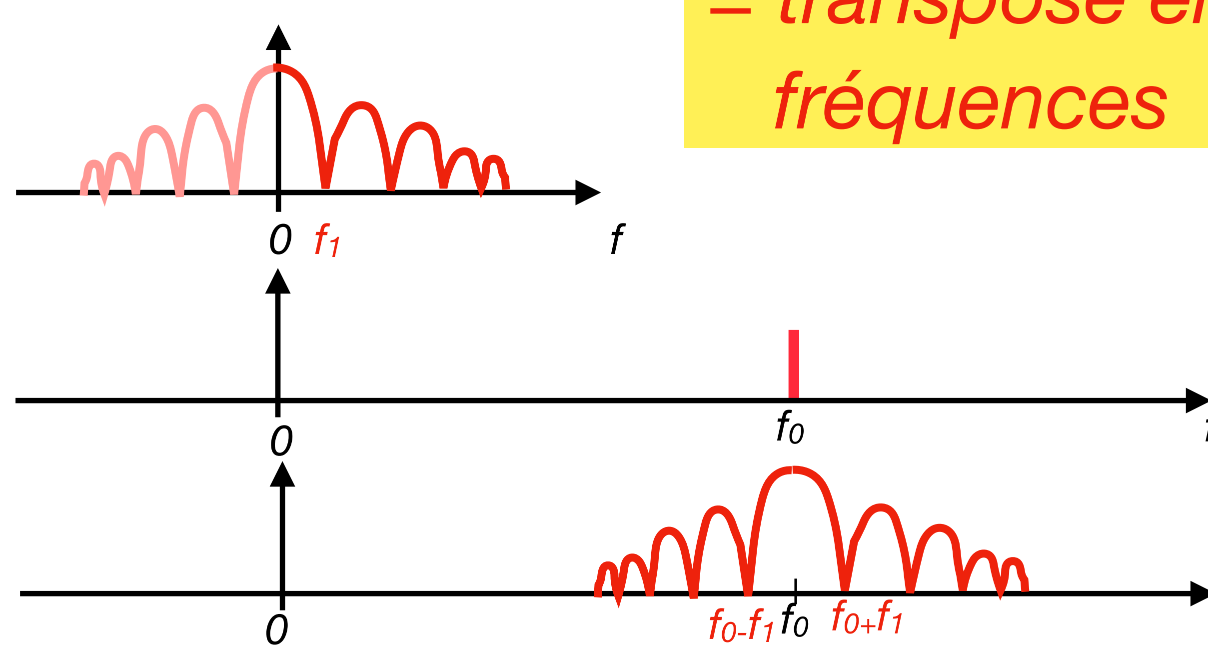
Transmission des bits sur le support

MODULATION SUR FREQUENCES PORTEUSES

- La transmission des données se fait par l'intermédiaire d'une onde porteuse dont on module un paramètre. C'est la technique de modulation. Le spectre du signal est alors centré autour de la fréquence porteuse f_0.



= transposé en fréquences



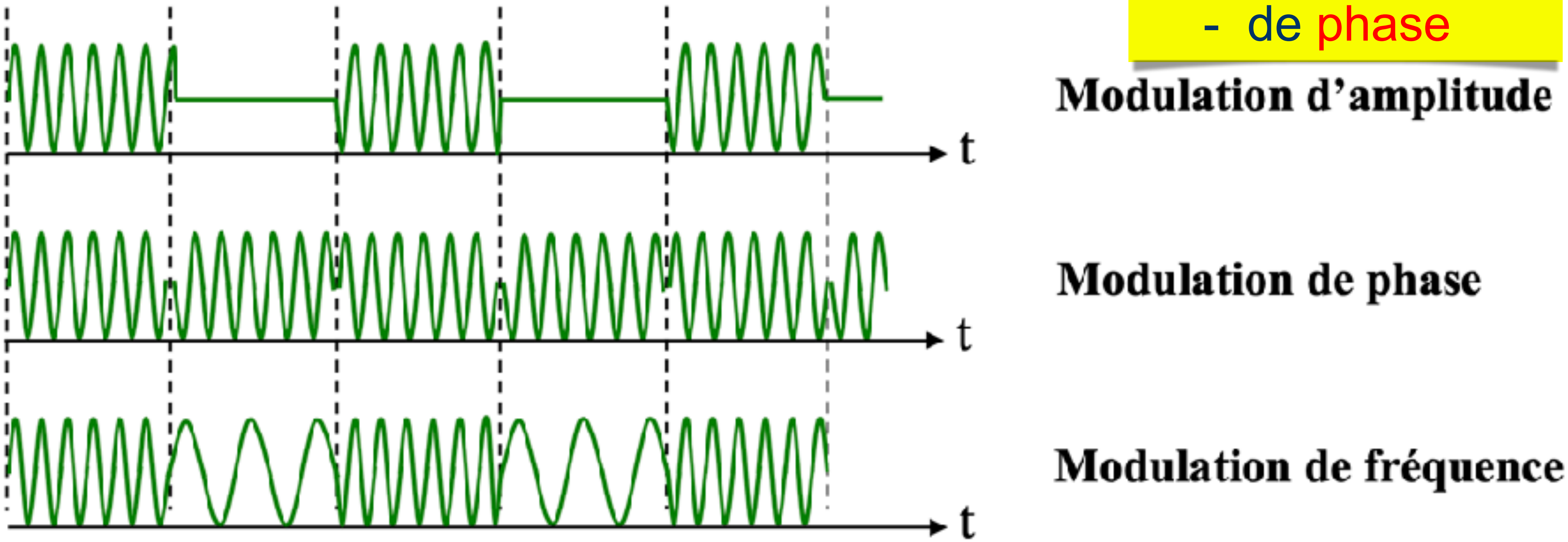
Transmission des bits sur le support

MODULATION SUR FREQUENCES PORTEUSES

= transposé en fréquences

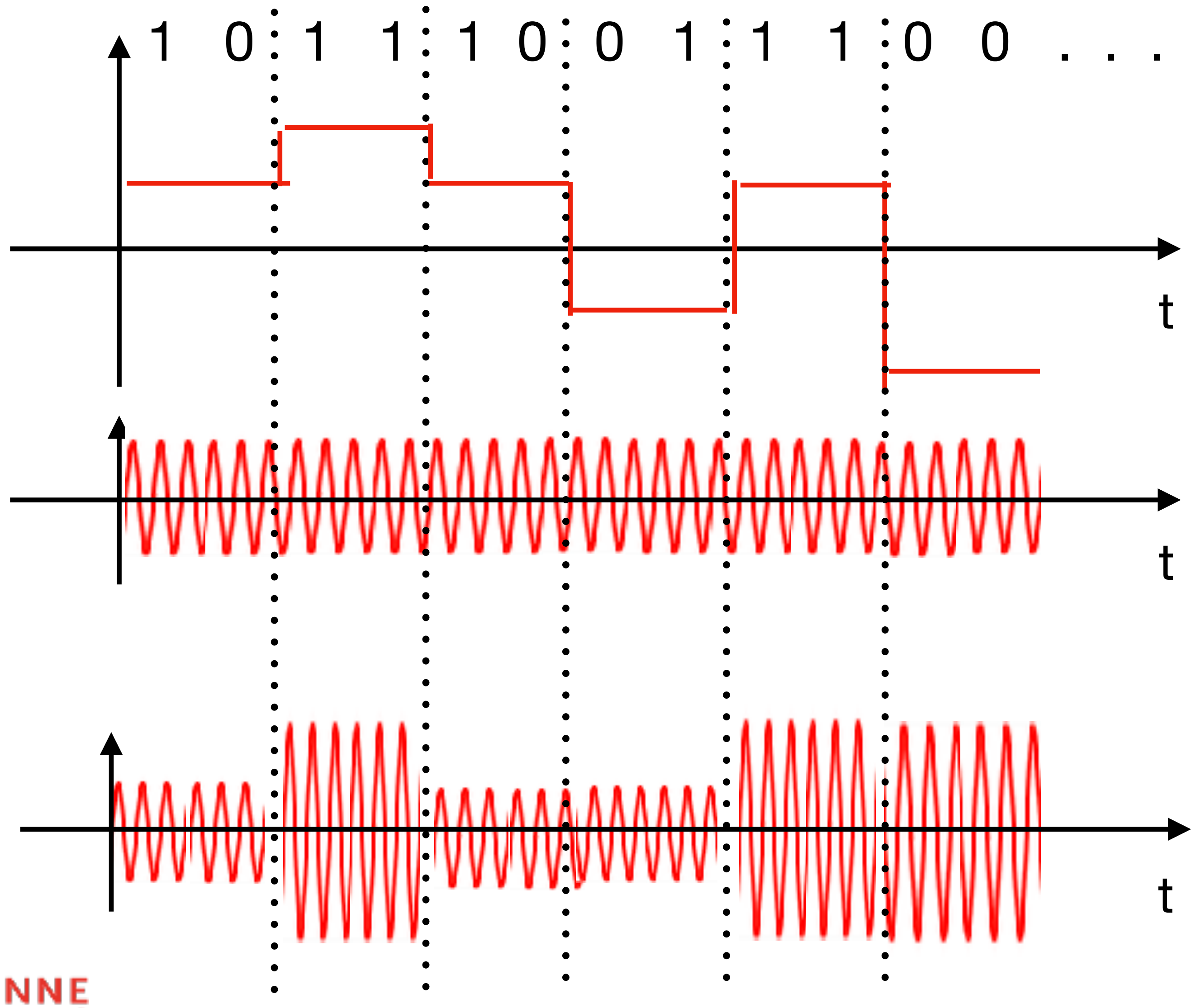
- Selon le paramètre de l'onde porteuse que l'on fait varier, on distinguera trois types de modulation :

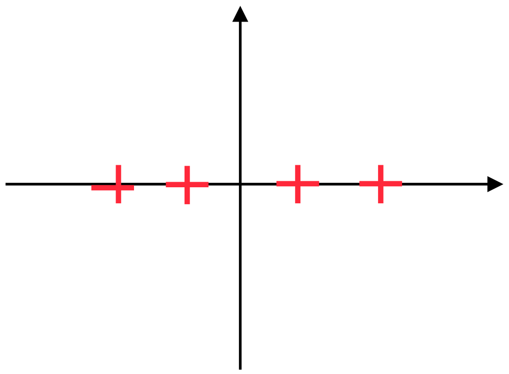
Modulation
- d'amplitude
- de fréquence
- de phase



Transmission des bits sur le support

- On peut aussi combiner la modulation de phase et la modulation d'amplitude.





Transmission du signal

A quel débit peut-on transmettre les données ?

Transmission du signal

D < C

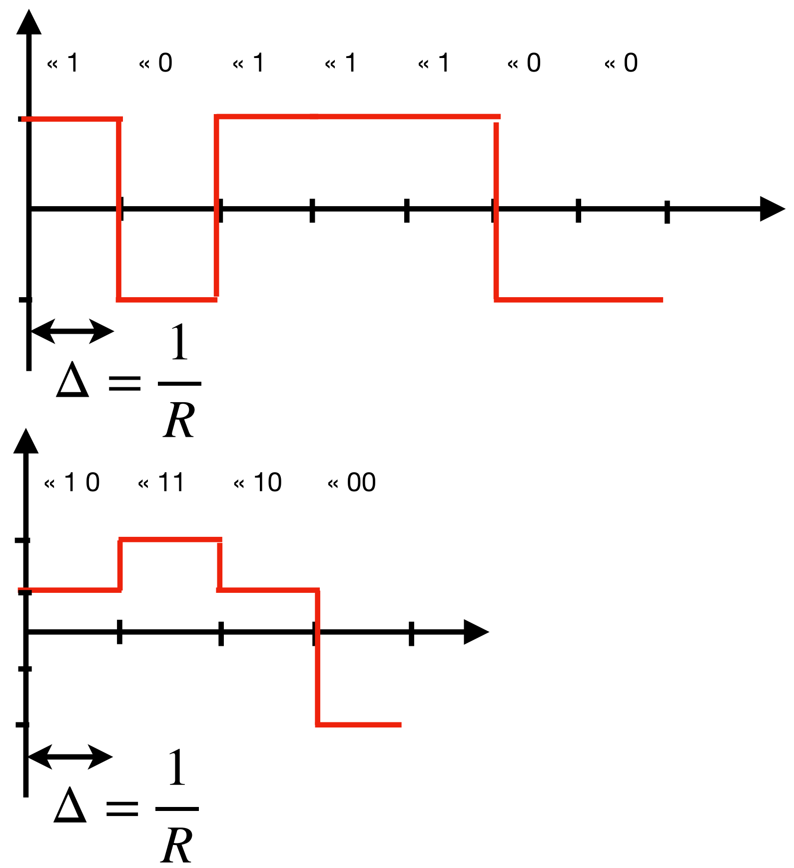
A quel débit peut-on transmettre les données ?

Théorème de Nyquist

Sur un canal de communication non bruité, la rapidité d'envoi des symboles (éléments de signaux) est bornée : R (symb/s) $\leq 2 \cdot B$

R : Rapidité de modulation

= vitesse d'envoi des symboles



$$\text{Débit} = R \cdot n = R \cdot \log_2 V \text{ bit/s}$$

n nombre de bits codés par élément de signal (ou symbole)

V valence du signal

$V = 2^n$

On en déduit que :

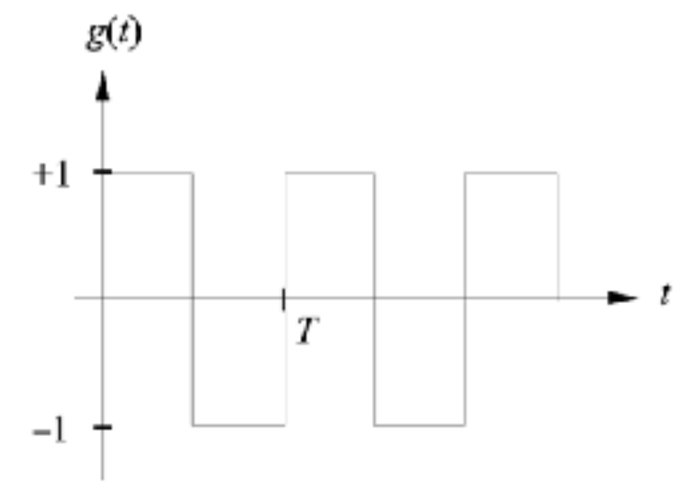
$$\text{Débit} \leq 2\ B\ \mathrm{Log}_2\ V \text{ (bit/s)}$$

SORBONNE UNIVERSITÉ

- Soit la fonction

$$g(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ impair}}}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(2\pi n f_0 t)$$

$g(t) = +1$ pour $0 \le t < T/2$;
$g(t) = -1$ pour $T/2 \le t < T$.



la fréquence fondamentale est égale à 1 MHz

Quels sont les coefficients *an*, *bn* et c0 associés à cette décomposition ? En déduire le spectre d'amplitude du signal.

Quelle bande passante le support doit-il avoir pour permettre cette transmission ?
Que se passe-t-il si la largeur de la bande passante du support est de 2 MHz ?
Qu'en est-il si le débit de la transmission est réduit à 1 Mbit/s ?

SORBONNE UNIVERSITÉ