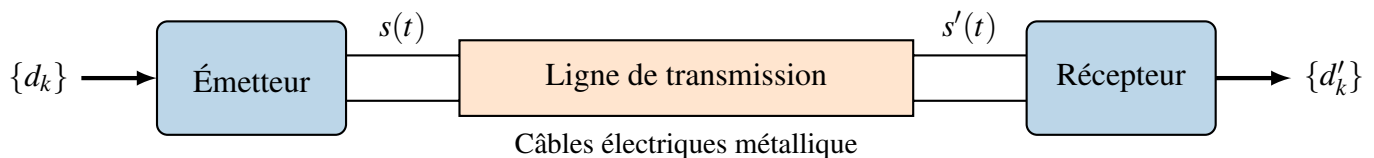


Transmission numérique en bande de base

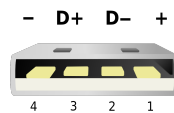
I - Introduction

Une communication numérique s'effectue d'un émetteur vers un récepteur à travers une ligne de transmission sans changement de fréquence.

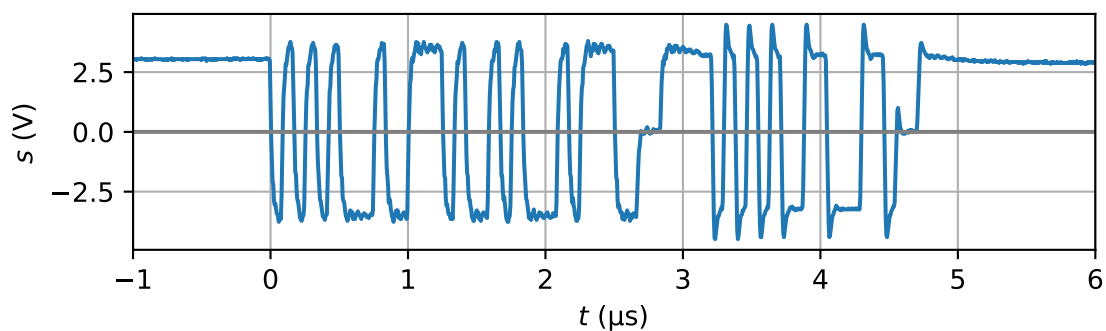


Exemple 1.

La transmission USB (versions 1.0, 1.2 et 2.0) utilise une paire de fils torsadés D_+ et D_- .



Il s'agit d'une communication différentielle telle que : $s(t) = v_{D_+}(t) - v_{D_-}(t)$



- Le codage binaire est du type NRZI (Non Retour à Zéro Inversé).
- Un bit à 0 est représenté par un changement d'état.
- Un bit à 1 est représenté par un non-changement d'état.
- Le débit binaire théorique est de :

$$1,5 \text{ Mbits} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (USB 1.0)} \quad 12 \text{ Mbits} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (USB 1.1)} \quad 480 \text{ Mbits} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (USB 2.0)}$$

Débit binaire

Le message numérique à transmettre est un signal binaire $\{d_k\}$ (0 ou 1) avec un **débit binaire** :

$$D = \frac{1}{T_b} \quad (\text{bits} \cdot \text{s}^{-1})$$

- T_b est la durée d'un bit.

Débit de symboles

Le signal émis $s(t)$ transporte une suite de symboles (alphabet) avec un **débit de symboles** :

$$R = \frac{1}{T_s} \quad (\text{bauds})$$

- T_s est la durée d'un symbole.
- N est le nombre de bits qui décrit un symbole.

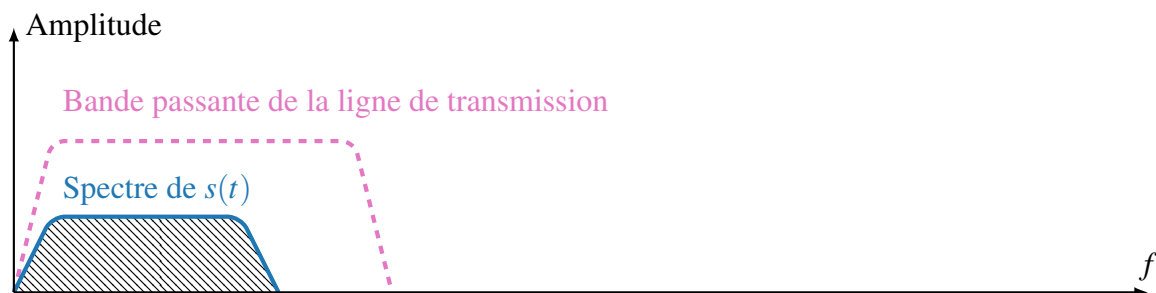
Relation

Sachant que $T_s = N \times T_b$, on obtient la **relation suivante entre ces deux débits** :

$$D = N \times R \quad \text{ou} \quad R = \frac{D}{N}$$

Spectre du signal émis

En bande de base, le spectre du signal émis $s(t)$ n'est pas modifié (pas de déplacement vers la fréquence d'une porteuse).



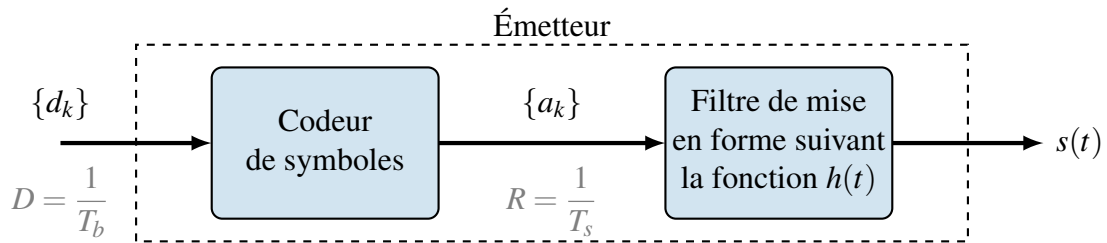
Ce type de transmission ne s'effectue qu'à travers des **câbles électriques** (ex. paire de fils simples, paire de fils torsadés, câble coaxial, ...).

La ligne de transmission est à l'origine de perturbations sur le signal transmis : atténuation, déformation, bruitage, ...

Le récepteur numérique doit restituer le message original à partir du signal reçu $s'(t)$ avec un minimum d'erreurs !

II - Émetteur numérique

1) Principe



Le **codeur** traduit le signal binaire $\{d_k\}$ en une suite de symboles $\{a_k\}$ à partir d'un alphabet imposé par le type de codage.

Exemples :

Codage RZ binaire	
d_k	a_k
0	0
1	+1

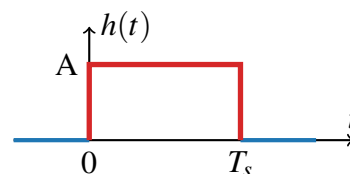
Codage NRZ binaire	
d_k	a_k
0	-1
1	+1

Codage NRZ 4-aire	
d_k	a_k
0 0	-3
0 1	-1
1 1	+1
1 0	+3

Le **filtre de mise en forme** construit le signal émis $s(t)$ à partir de l'action des symboles $\{a_k\}$ sur un **motif de base** décrit par une fonction $h(t)$.

Exemple :

d_k	a_k	$s(t)$
0	-1	$(-1) \times h(t)$
1	+1	$(+1) \times h(t)$



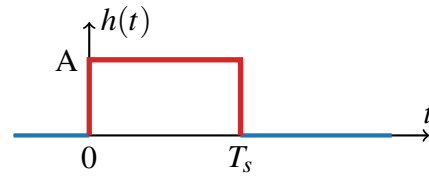
Le **choix d'un codage** en particulier se fait en fonction critères suivants :

- **encombrement spectral** du signal émis (bande de fréquence nécessaire);
- **présence de puissance aux fréquences proches de 0 Hz** (le continu peut poser problème);
- **possibilité de récupérer le débit de symbole** $R = \frac{1}{T_s}$ (signal horloge pour le décodage);
- **réduction des erreurs** de transmission.

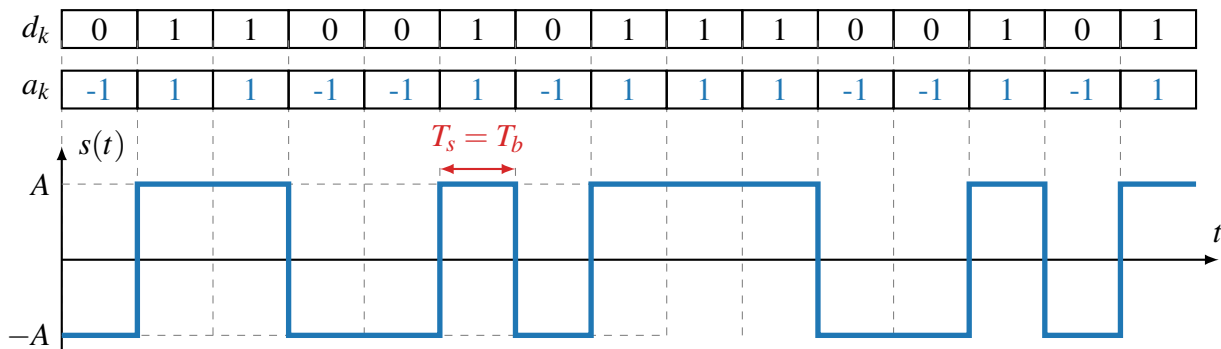
2) Codage binaire NRZ

Il s'agit d'un codage à deux symboles différents de zéro (Non Retour à Zéro) !

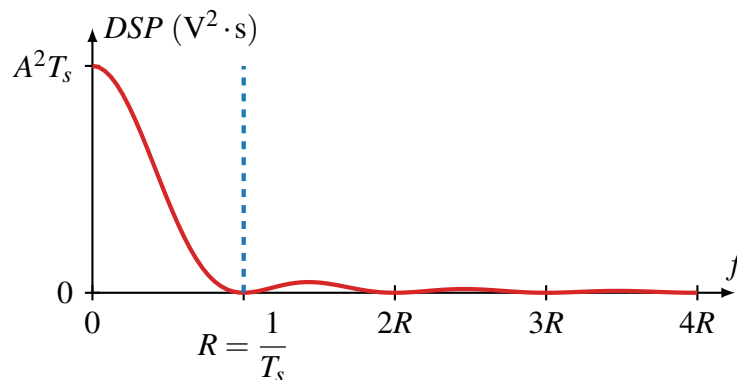
d_k	a_k	$s(t)$
0	-1	$-A$
1	+1	$+A$



Exemple :



Densité spectrale de puissance (DSP) :



Caractéristiques :

- 90% de la puissance du signal est dans le premier lobe.
- Encombrement spectral réduite : $B = \left[0 ; \frac{1}{T_s} \right]$
- Puissance maximale pour les fréquences proches de 0 Hz. La ligne de transmission doit laisser passer le continu !
- Composante nulle à la fréquence $\frac{1}{T_s}$. Impossibilité de récupération du rythme des symboles (horloge) !

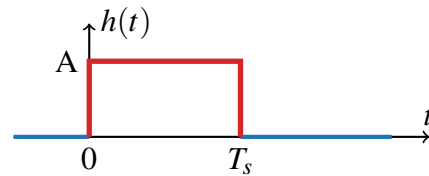
Application : Liaison série RS-232 (± 12 V).

3) Codage M-aire NRZ

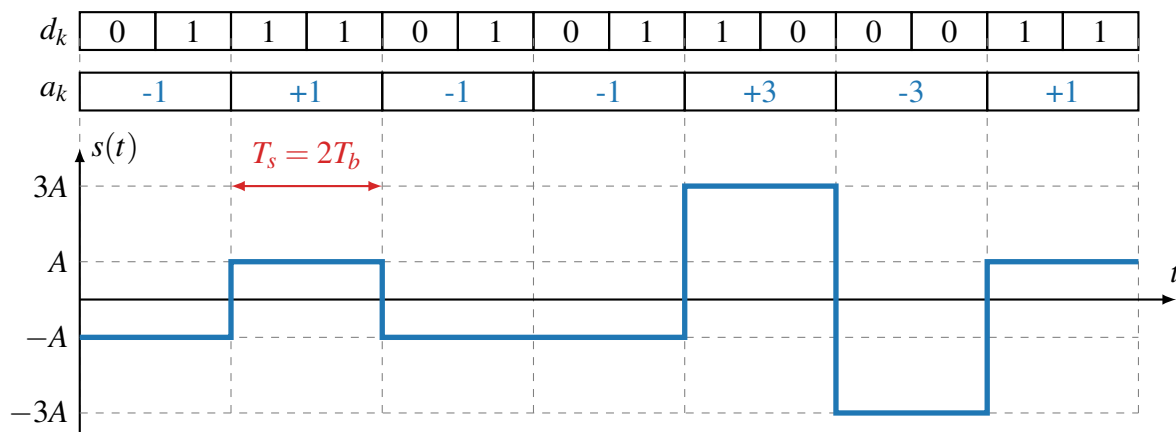
Généralisation du codage binaire NRZ avec un alphabet constitué de M symboles.

Cas particulier où $M = 4$:

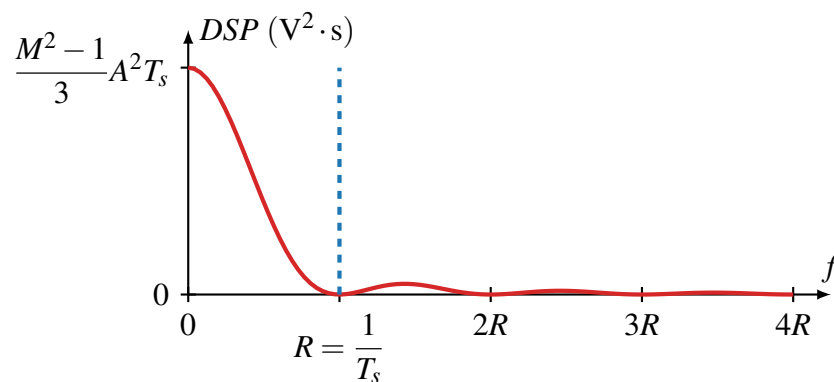
$\{d_k\}$	a_k	$s(t)$
00	-3	$-3A$
01	-1	$-A$
11	+1	$+A$
10	+3	$+3A$



Exemple :



Densité spectrale de puissance (DSP) :



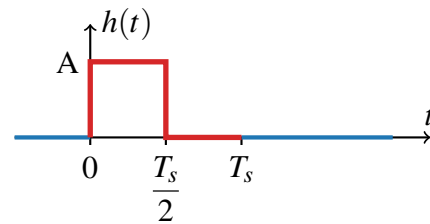
Propriétés :

- Les propriétés de la DSP sont les mêmes que précédemment.
- Seule la puissance est plus importante.

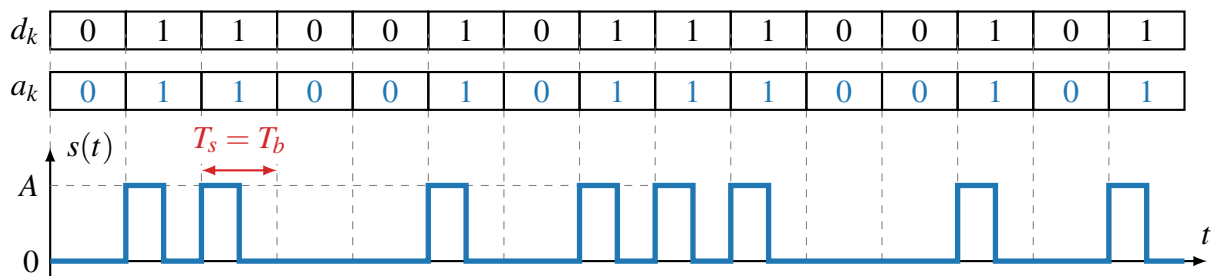
4) Codage binaire RZ 50%

Codage binaire pour lequel le retour à zéro est autorisé.

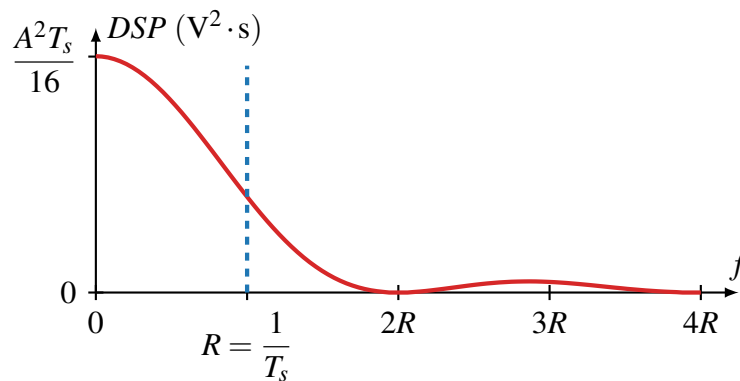
b_k	a_k	$s(t)$
0	0	0
1	+1	$h(t)$



Exemple :



Densité spectrale de puissance (DSP) :



Caractéristiques :

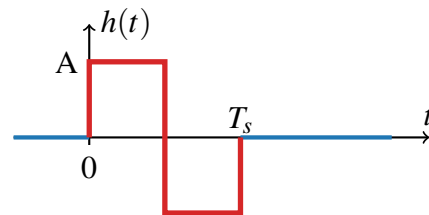
- 95% de la puissance du signal est dans le premier lobe.
- Encombrement spectral plus large : $B = \left[0 ; \frac{2}{T_s} \right]$
- Puissance maximale pour les fréquences proches de 0 Hz. La ligne de transmission doit laisser passer le continu !
- Composante à la fréquence $\frac{1}{T_s}$ existante. Récupération du rythme des symboles possible !

Application : .

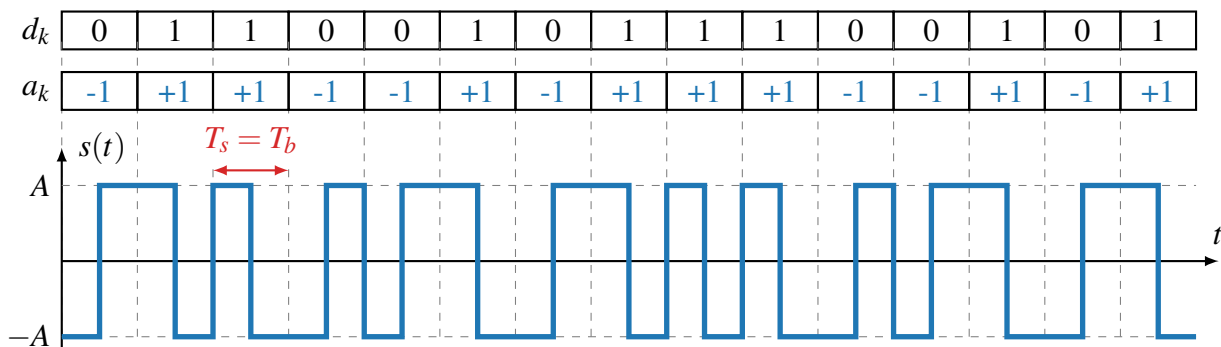
5) Codage binaire Manchester

Codage binaire pour lequel les formes d'ondes sont inversées.

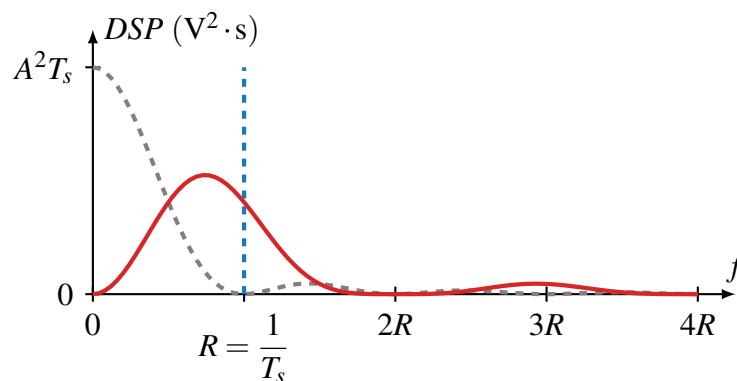
b_k	a_k	$s(t)$
0	-1	$-h(t)$
1	+1	$h(t)$



Exemple :



Densité spectrale de puissance (DSP) :



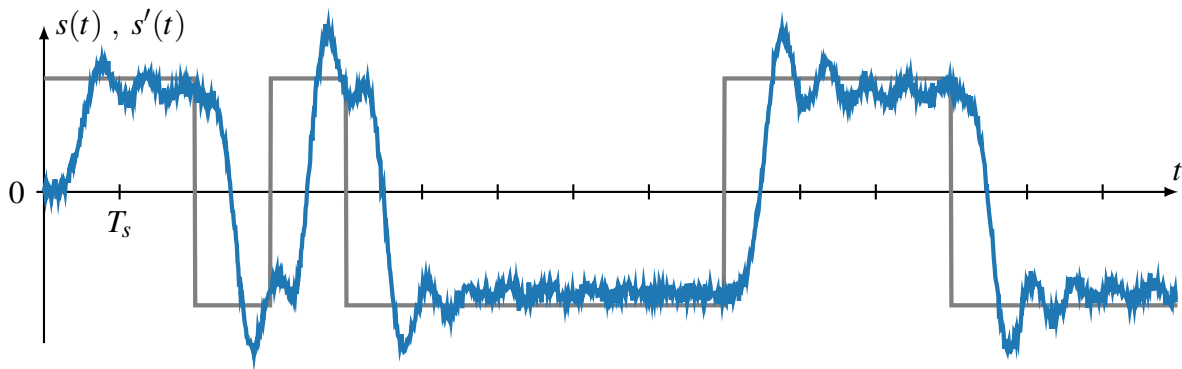
Caractéristiques :

- Encombrement spectral : $B = \left[0 ; \frac{2}{T_s} \right]$
- Puissance nulle pour les fréquences proches de 0 Hz. Possibilité d'isoler galvaniquement le ligne.
- Composante à la fréquence $\frac{1}{T_s}$ existante. Récupération du rythme de symboles (horloge) possible par détection de fronts (montants et descendants) !

Application : Réseau filaire Ethernet.

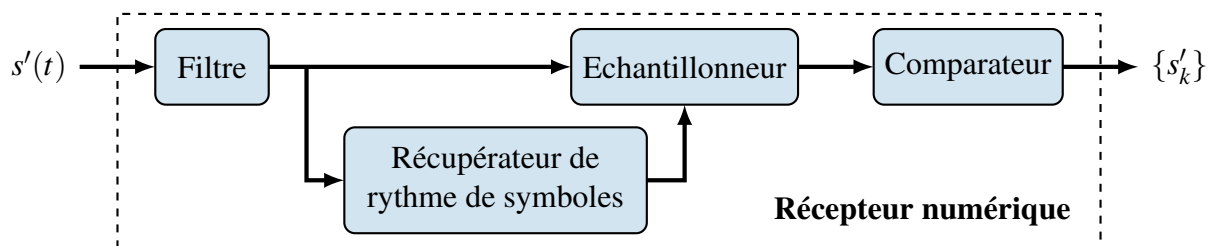
III - Réception numérique

1) Signal reçu



Le signal $s'(t)$ reçu est généralement **déformé** et **bruité** par le ligne de transmission.

2) Fonctionnement du récepteur



Le récepteur numérique réalise dans l'ordre les fonctions suivantes :

- récupération du signal reçu dans sa bande passante d'origine à l'aide d'un filtre ;
- détermination de rythme de symboles R pour une décodage synchrone ;
- échantillonnage du signal reçu aux meilleurs instants ;
- comparaison du signal échantillonné pour obtenir le signal numérique transmis.

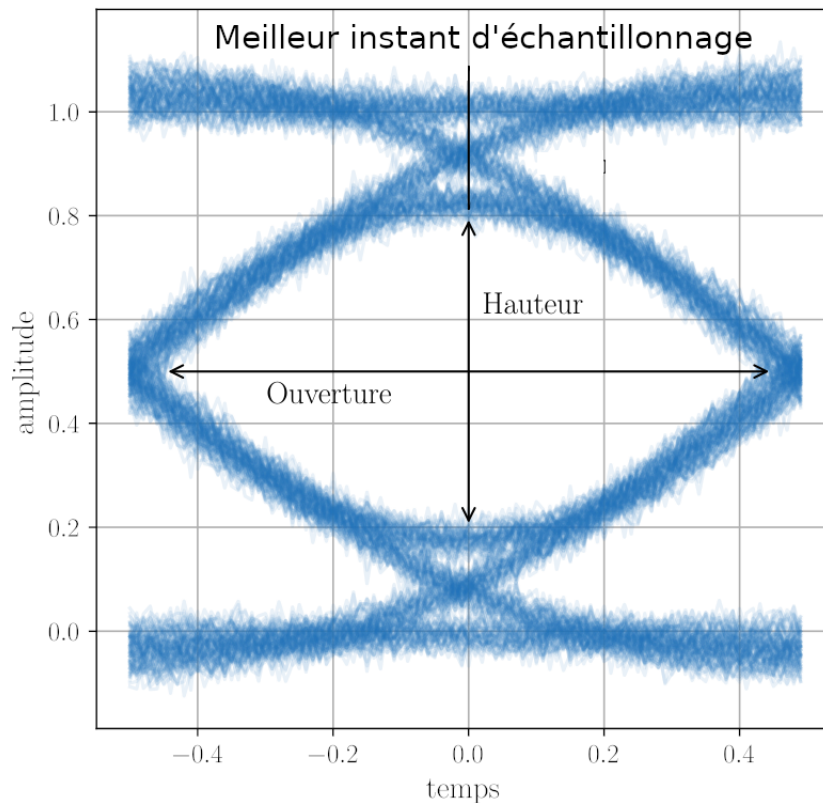
3) Erreurs dues au bruit

Le bruit superposé au signal reçu est à l'origine d'erreur de décodage. On définit ainsi le taux d'erreur par bit (TEB) par la relation :

$$TEB = \frac{\text{Nombre de bits érronés}}{\text{Nombre de bits transmis}}$$

4) Diagramme de l'œil (hors programme)

Le diagramme de l'œil est représentation graphique de la **superposition de plusieurs traces du signal reçu $s'(t)$ sur durée de symboles T_s** .



Ce diagramme met en évidence l'**interférence entre symboles (IES)** : un symbole reçu débordent sur le symbole suivant.

En pratique, ce diagramme s'obtient à l'**oscilloscope en mode persistant** avec une **base de temps égale à T_s** .

Le diagramme de l'œil permet de voir plusieurs choses :

- L'**ouverture** de l'œil qui représente l'intervalle de temps où peut se faire l'échantillonnage du signal.
- La **hauteur** de l'œil indique la quantité de bruit qui est tolérée pour que la distinction entre les niveaux soit possible. **Lorsque que l'œil se ferme, il devient difficile de distinguer les niveaux représentant les symboles.**
- **Le meilleur instant pour effectuer l'échantillonnage** est celui où l'œil est le **plus ouvert**. C'est à ce moment que les deux niveaux sont le plus éloignés.