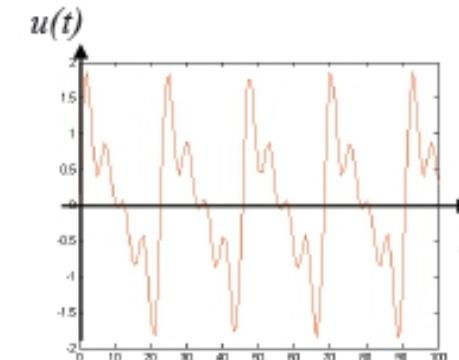
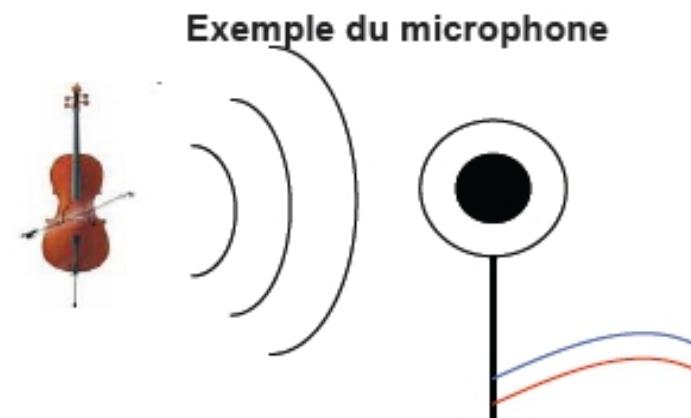


Chapitre 3

Echantillonnage et numérisation

1. Signal analogique ou continu ?

- ∅ C'est un signal représentant l'évolution d'une grandeur physique durant une durée de temps
- ∅ Souvent transformé en une tension électrique $u(t)$ à la sortie d'un capteur
- ∅ Il est défini à tout instant t



3. Echantillonnage et numérisation

Un signal numérique est un ensemble discret (c'est-à-dire discontinu) d'informations.

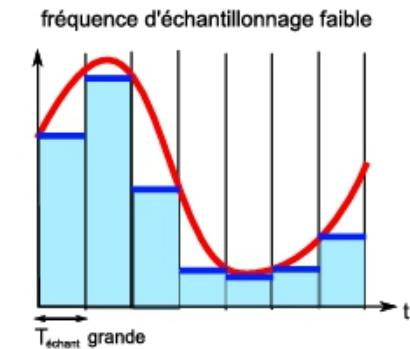
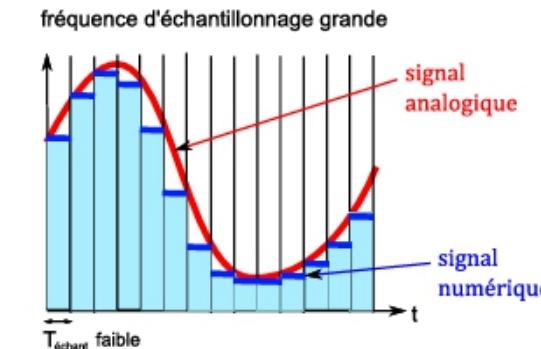
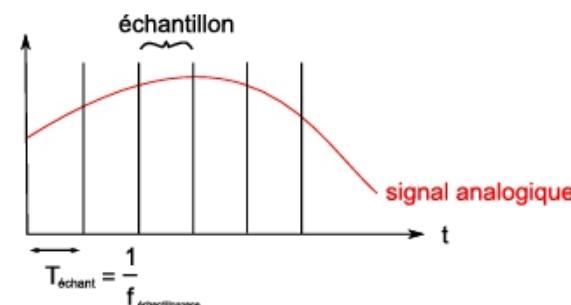
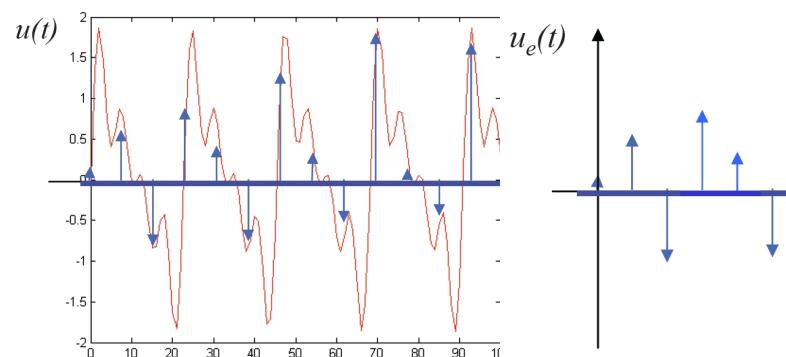
Pour transformer un signal analogique en signal numérique, il faut discréteriser les informations : on parle de numérisation.

Ø La numérisation est faite par un convertisseur analogique-numérique (en abrégé : CAN) :



2.1. Echantillonnage ?

Ø Pour numériser un signal, il faut le découper en échantillons de durée T_e . La fréquence d'échantillonnage correspond au nombre d'échantillons par seconde est s'exprime : $F_e = 1/T_e$



- L'échantillonnage provoque une **perte d'information**
- La numérisation est d'autant meilleure que le signal numérique se rapproche du signal analogique initial.

2.2. Reconstruction du signal analogique?

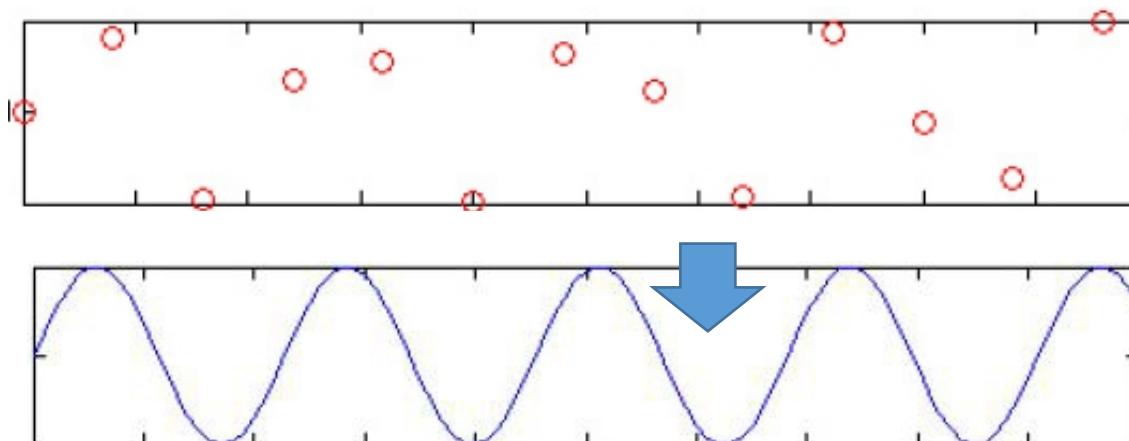
Théorème de Shannon

Pour numériser convenablement un signal, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit au moins deux fois supérieure à la fréquence du signal à numériser.

$$f_e \geq 2.f_{max}$$

C'est la condition d'échantillonnage de **Shannon**

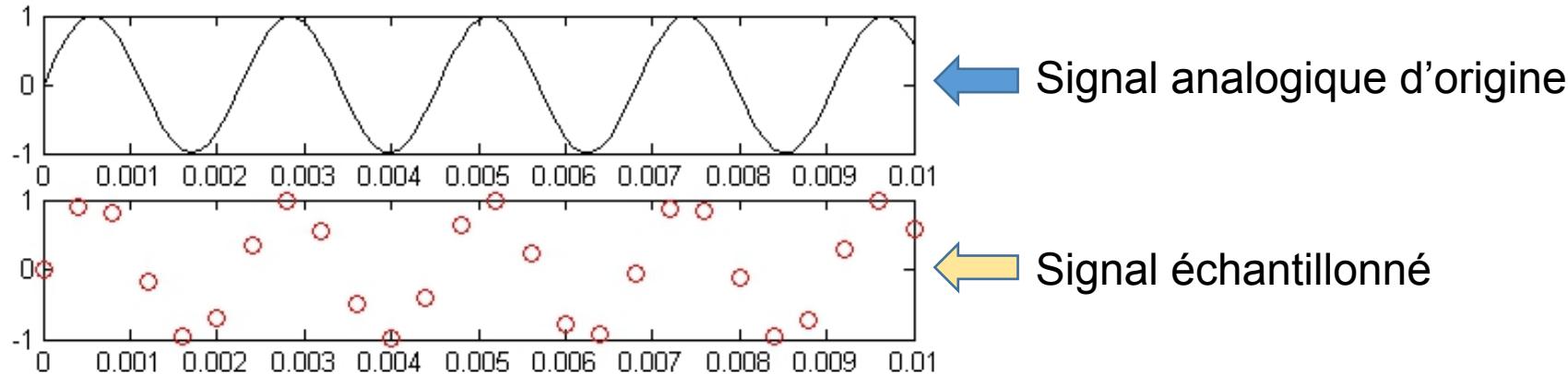
- Ø Dans le cas où la condition d'échantillonnage de Shannon est respectée, Shannon a montré que dans ce cas on peut reconstruire en théorie le signal analogique à partir des échantillons. L'interpolation idéale (la reconstruction parfaite d'un signal à partir de ses échantillons)



Claude Elwood Shannon
(30 avril 1916 - 24 février 2001)

2. Echantillonnage

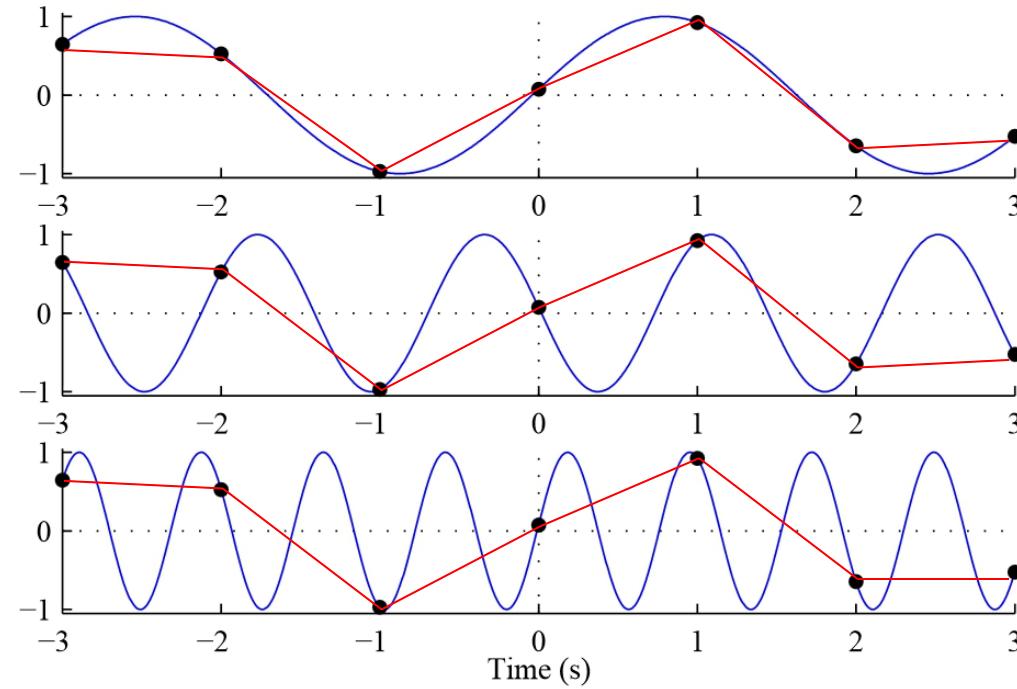
2.3. Reconstruction du signal analogique?



Interpolateur d'ordre 1: Interpole par le segment de droite qui relie 2 échantillons successifs

2.4. Application 1

1. Tracer l'interpolation du premier Ordre sur ces trois exemples.
2. Quels signaux ne sont pas échantillonnés correctement?



2.4. Application

- Quelle est la valeur limite de f_e pour que la condition de Shannon soit vérifiée dans les exemples ci-dessous :

Couleur	Fréquence (THz ou 10^{12} Hz)
Vert	725
Jaune	640
Rouge	565
Violet	520
Bleu	500
Orange	465

Un son aigu a une fréquence de 10 kHz. Un son grave a une fréquence de 100 Hz

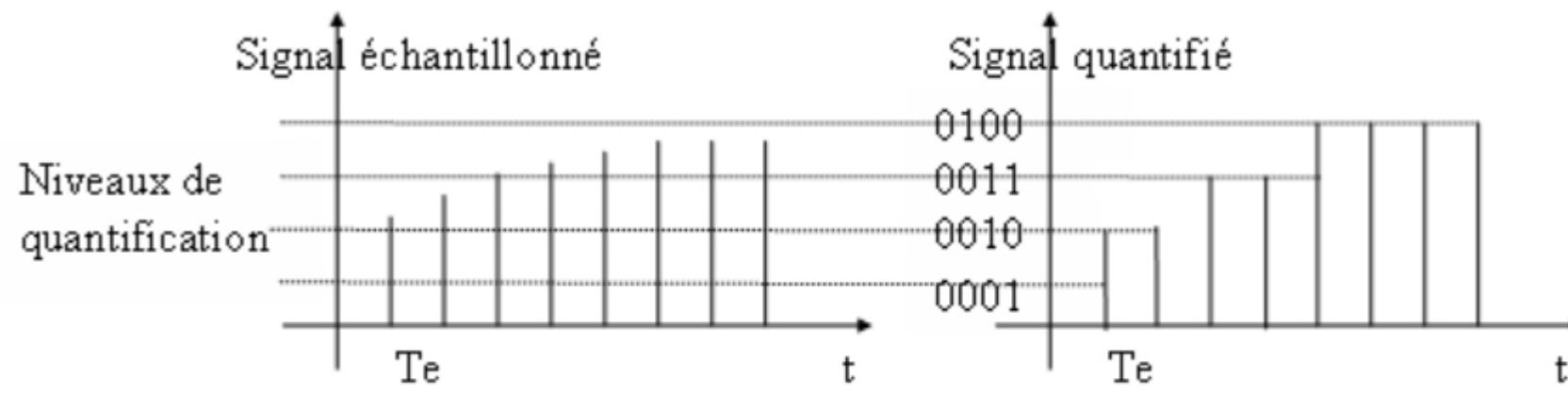
1. Calculer les périodes de ces deux sons.
2. Si la fréquence d'échantillonnage choisie pour numériser ces sons est de 1 kHz, calculer la durée des échantillons.
3. Conclure : quel type de son est alors mal numérisé ?

3. Quantification

3.1. Quantification ?

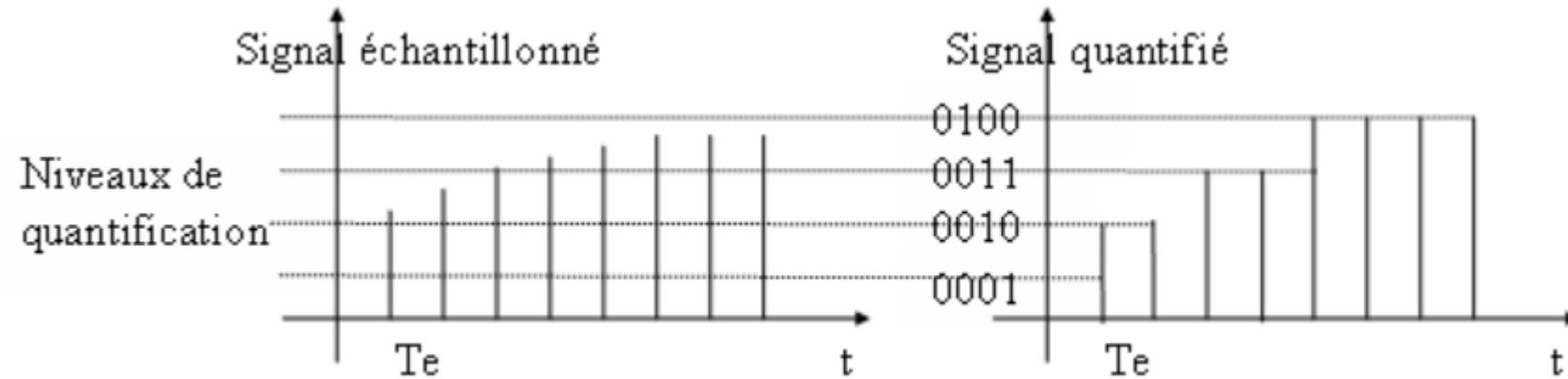
Lors de la numérisation, il faut également discréteriser les valeurs de l'amplitude du signal. La quantification consiste, pour chaque échantillon, à lui associer une valeur d'amplitude. Cette valeur de l'amplitude s'exprime en « bit » et l'action de transformer la valeur numérique de l'amplitude en valeur binaire s'appelle le codage.

Passage analogique – Numérique
Signal continu – Signal discret
Tension - Chiffre



3. Quantification

3.1. Quantification ?



Qu'est-ce qu'un bit ?

Un « bit » est un chiffre binaire (0 ou 1)

Avec 2 bits, on peut écrire : 00, 01, 10 et 11 soit 4 valeurs. (4)

Avec 3 bits, on peut écrire : 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 soit 8 valeurs (8)

Avec 4 bits, on peut écrire = valeurs

Avec n bits, on peut écrire valeurs

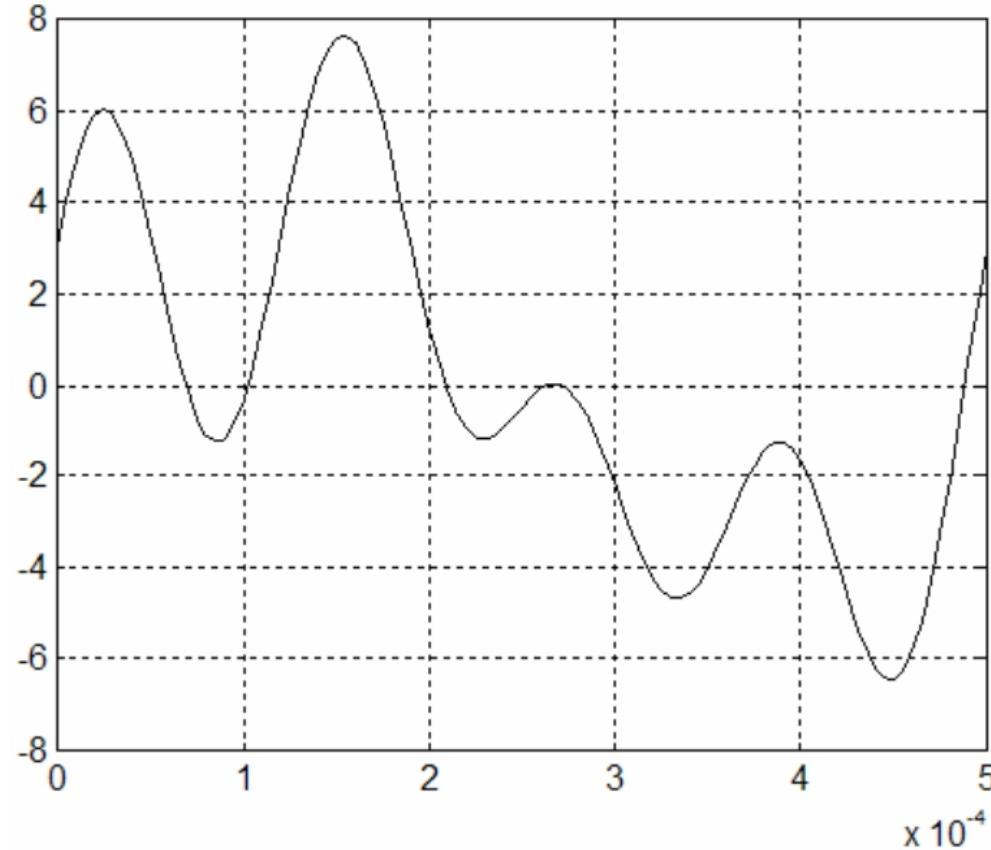
3. Quantification

3.1. Quantification ?

- Ø A chaque niveau de tension est associée une valeur binaire codée sur n bits tel que:
- Ø 2^n niveaux de tension répartis de $-V_m$ à $+V_m$
- Ø Un pas de quantification = Résolution d'un signal = $q = \frac{2V_m}{2^n}$

- Ø Exemple:
- Ø un signal de +/-5V codé sur 8 bits donnera un pas de quantification q =?

On désire numériser le signal vocal suivant dont l'amplitude est comprise entre -8 volts et +8 volts. Ce signal est de fréquence 10 KHz. La quantification est effectué sur 8 bits.



1. Proposer une valeur pour la fréquence d'échantillonnage, et représenter les échantillons prélevés sur le signal analogique.
2. Quel est le pas de quantification ?

Nombre de voies de mesure : 8.

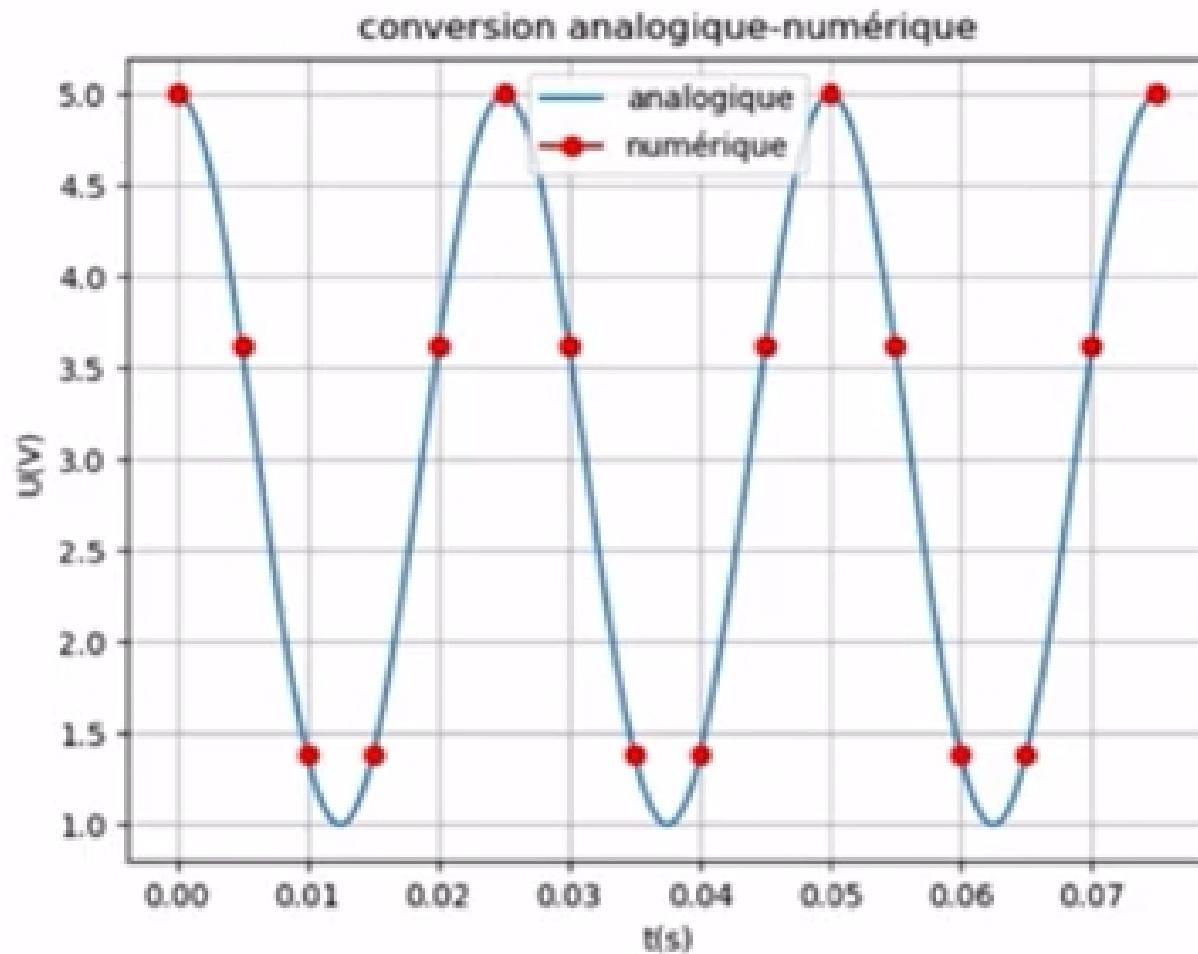
Tensions d'entrées : **entre 0 V et 5V**.

Résolution : 5 mV pour chaque voie.

Fréquence des mesures : 2 par seconde.

1. Quelle est la fréquence d'échantillonnage du convertisseur analogique-numérique?
2. Montrer que le convertisseur analogique-numérique de l'émetteur est de 10 bits.

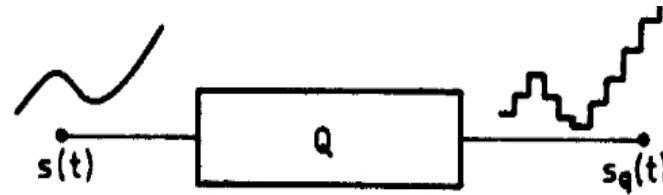
Donnée : $p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^n}$ avec n le nombre de bits du convertisseur.



1. Déterminer la période T du signal analogique.
2. Déterminer la fréquence d'échantillonnage f_e .
3. En déduire le nombre de points N .
4. Jusqu'à quelle fréquence du signal analogique est-il acceptable.

3. Quantification

3.2. Loi d'entrée sortie d'un quantificateur ?



$$s_q(t) = \text{arrondi} \left(\frac{s(t)}{Q} \right)$$

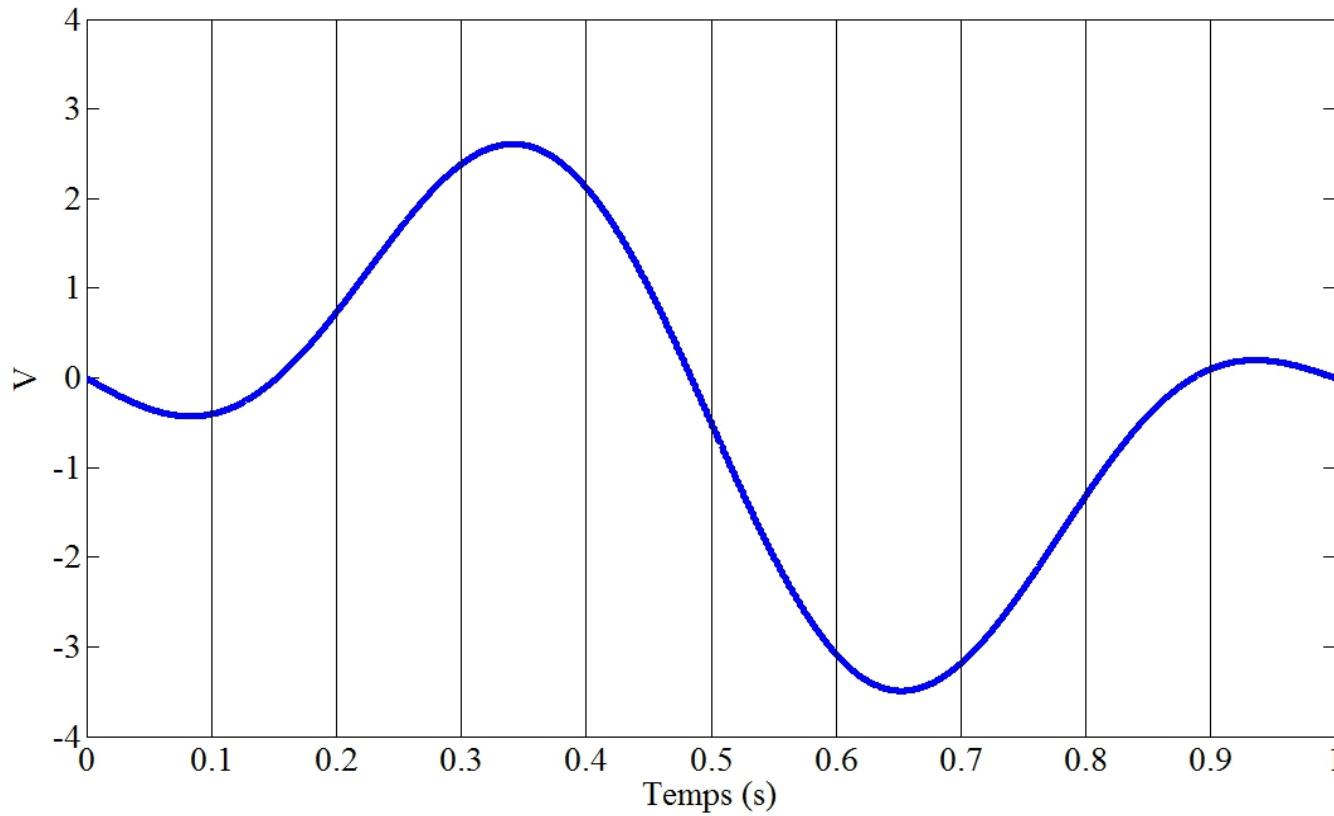
Q: pas de quantification (Volt)

$s_q(t)$ est entier

3. Quantification

Application

Ø Déterminer le pas q de quantification de ce signal avec $T_e = 0,1$ s et $n = 3$, plage de tension $[-4; 3]V$

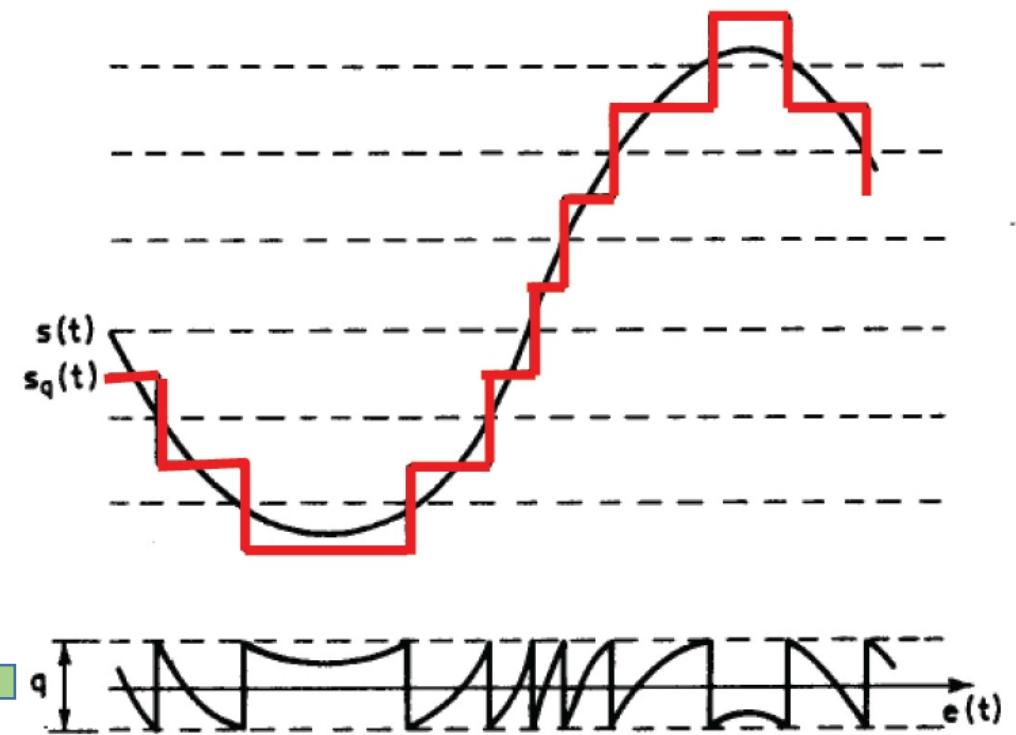


3. Quantification

3.3. Erreur de quantification ?

- ∅ Pour chaque mesure, le quantificateur en arrondissant à la valeur entière la plus proche fait une erreur.
- ∅ Il y a donc une erreur entre le signal d'entrée et le signal de sortie du quantificateur.

$$s(t) = s_q(t) + e(t)$$

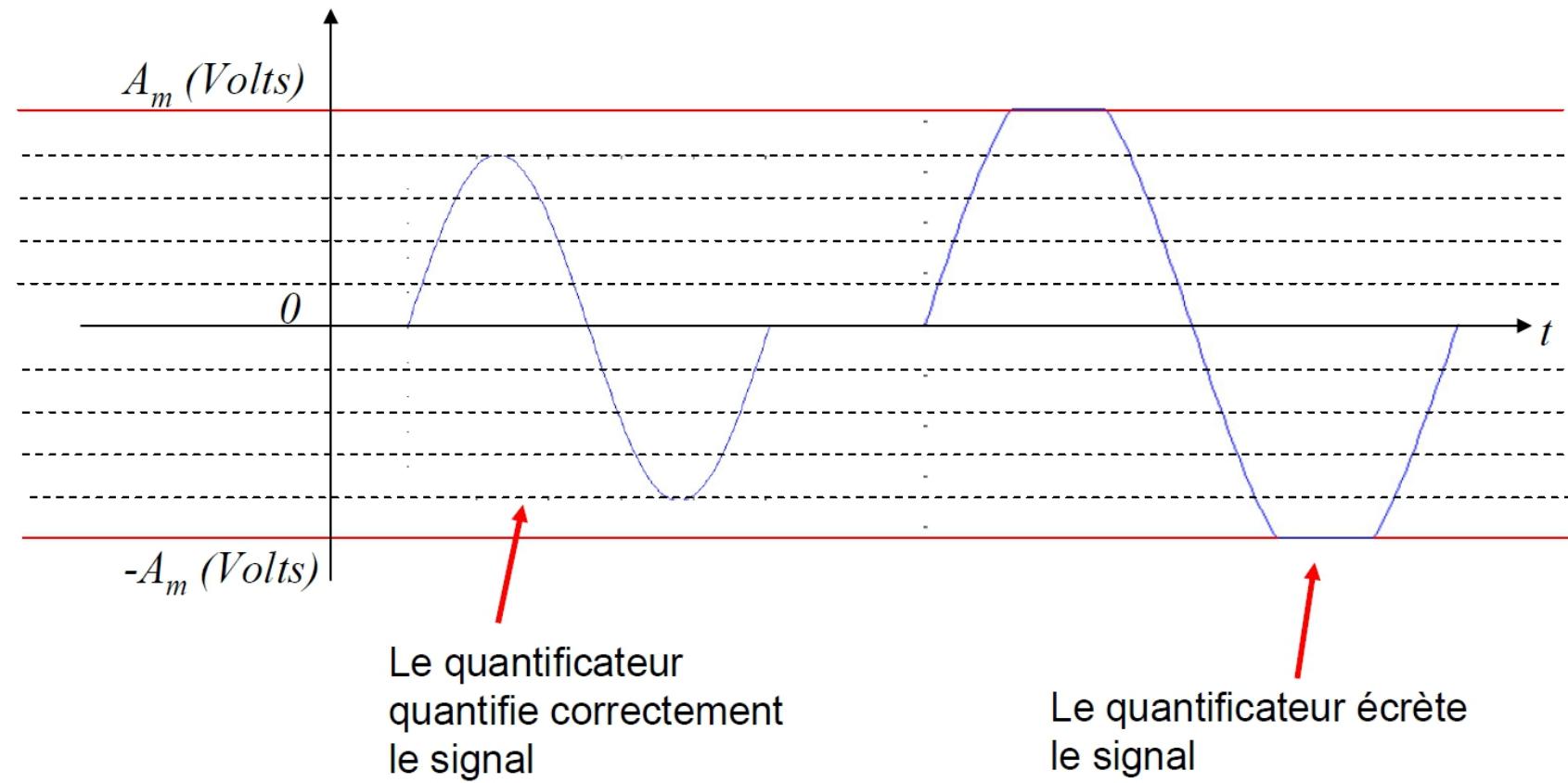


e(t) est le signal d'erreur du quantificateur

3. Quantification

3.4. Plage de conversion du quantificateur ?

- Ø Le quantificateur fonctionne correctement tant que l'amplitude du signal d'entrée est dans la plage $[-A_m, +A_m]$



3. Quantification

3.4. Précision du quantificateur ?

Ø Elle est définie par le pas de quantification Q doit être faible

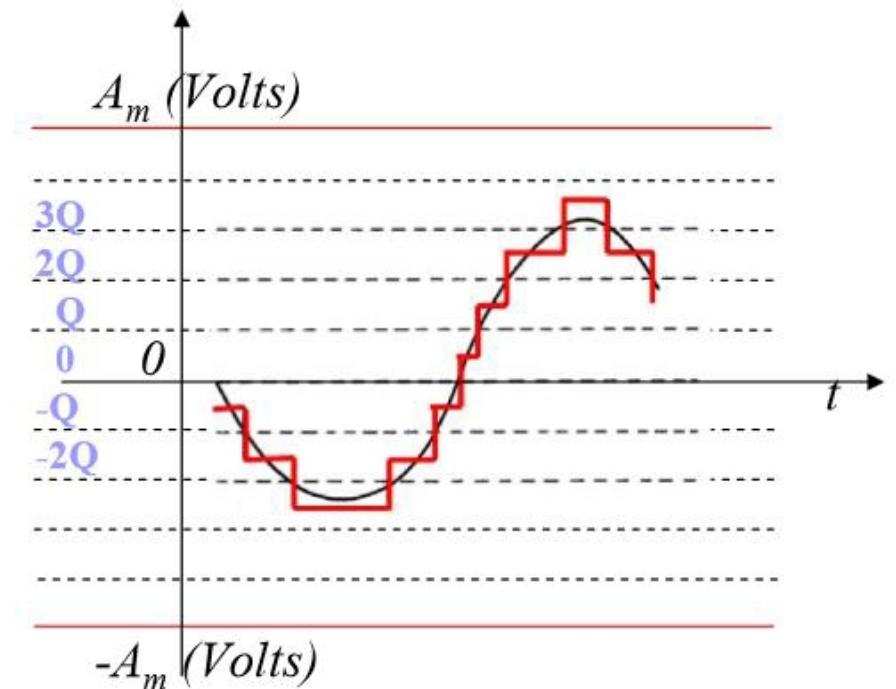
Ø Elle dépend de :

Ø la plage de conversion $[-A_m, +A_m]$

Ø du nombre de bits N utilisés pour coder l'amplitude quantifiée

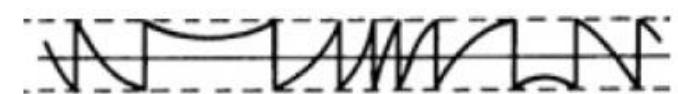
La précision est proportionnelle à N.

$$Q = \frac{A_m}{2^{N-1}}$$



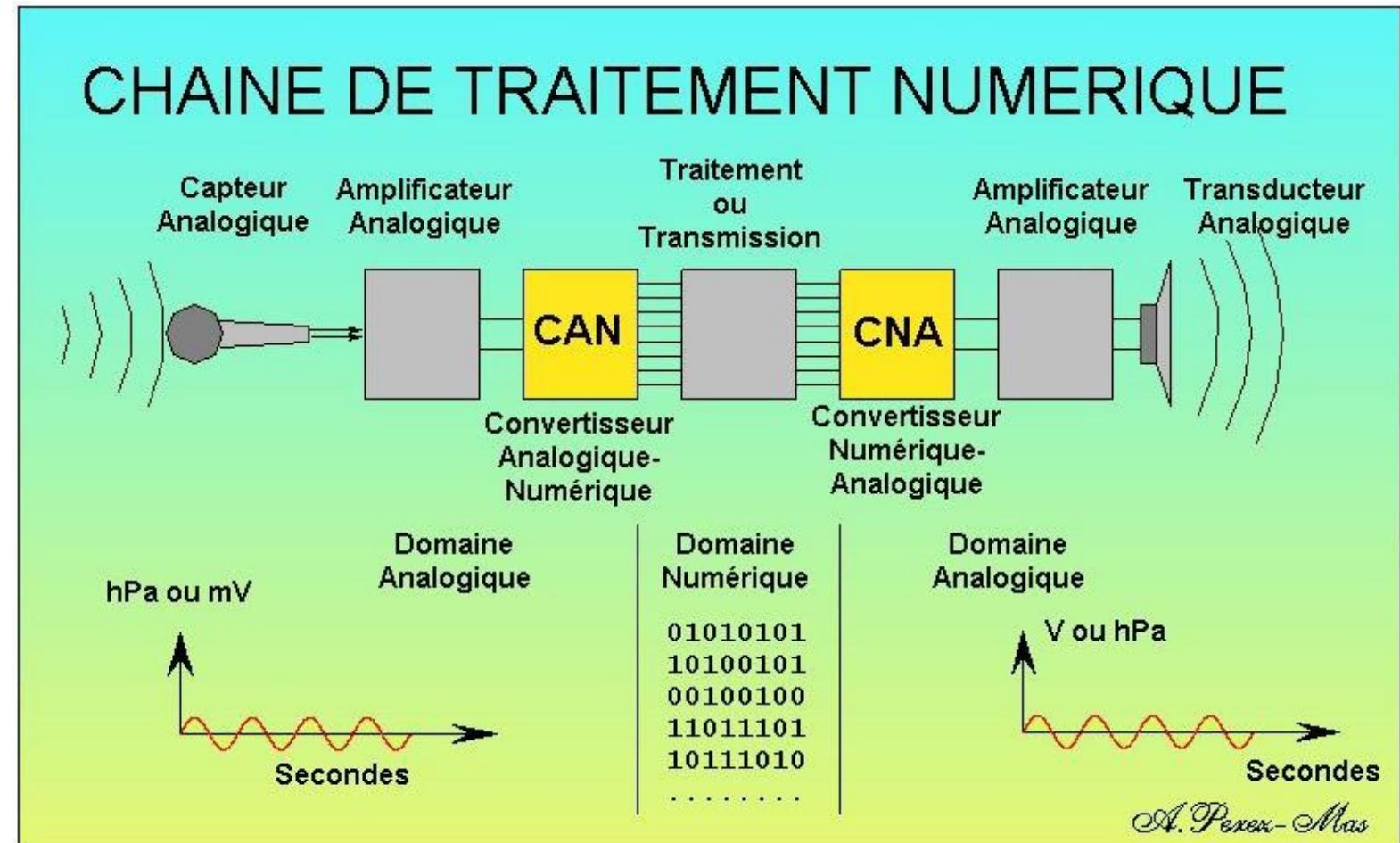
$$P_e = \frac{Q^2}{12}$$

La puissance moyenne du signal d'erreur s'écrit:



3. Echantillonnage et numérisation

4. Convertisseurs CAN-CNA



Convertisseur Analogique Numérique (CAN)
Convertisseur Numérique Analogique (CNA)

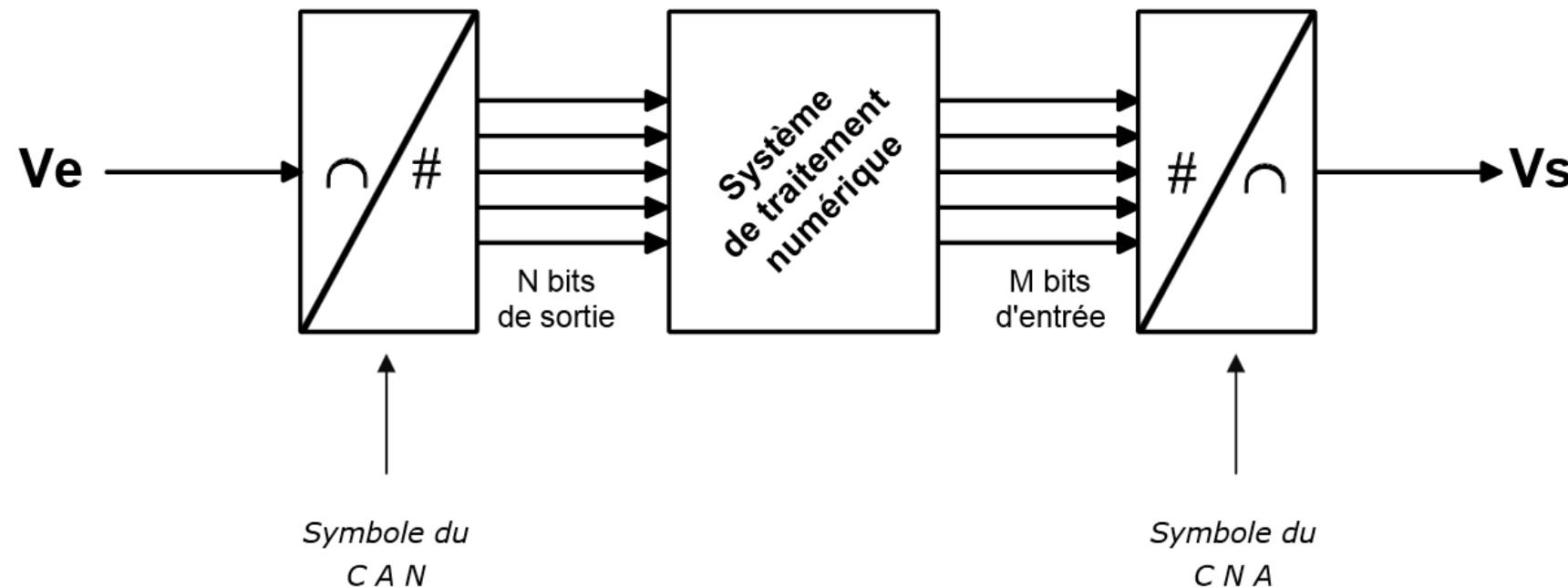


Analog to Digital Converter (ADC)
Digital to Analog Converter (DAC)

3. Echantillonnage et numérisation

4. Convertisseurs CAN-CNA

Symbole ?

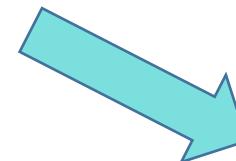


Système de numérotation ?

Le système binaire

- Ø On présente les nombres binaires en général avec un nombre fixe de bits, nombre imposé par les circuits mémoires utilisés pour représenter ces nombres.

Suite des nombres binaires à 4 bits



Poids :	2^3	2^2	2^1	2^0	B10
	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1
	0	0	1	0	2
	0	0	1	1	3
	0	1	0	0	4
	0	1	0	1	5
	0	1	1	0	6
	0	1	1	1	7
	1	0	0	0	8
	1	0	0	1	9

Le système octal

- Ø 8 symboles : {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7};

Le système hexadécimal

- Ø 16 symboles : {0, 1, 2, . . . , 9,A,B,C,D,E,F} appelés «digits»;
- Ø chaque symbole est exprimé en binaire sur 4 bits