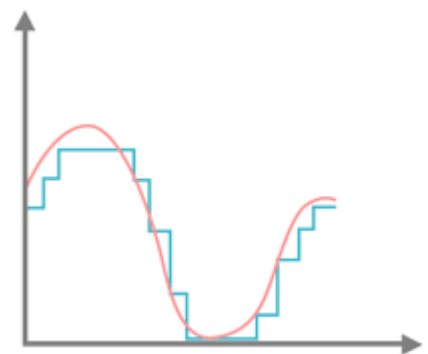


CAN et CNA

Table des matières

1. La numérisation d'un signal analogique.....	2
2. La restitution d'un signal échantillonné.....	2
3. L'alliance des deux mondes.....	3
4. Les « maux » binaires.....	3
4.1. Mot sur 4 bits.....	3
4.2. Comprendre « le poids des mots ».....	4
4.3. Conversion binaire décimal.....	4
4.4. Conversion décimal binaire.....	5
5. Le Convertisseur Numérique-Analogique (CNA).....	5
5.1. Exemple : CNA sur 4 bits 5kHz-8V.....	5
5.2. Caractéristique d'entrée-sortie d'un CNA.....	6
5.3. Exercice.....	6
6. Convertisseur Analogique-Numérique (CNA).....	7
6.1. Caractéristique d'entrée-sortie du CNA.....	7

Le propre de l'électronique consiste à acquérir un certain nombre de grandeurs physiques, à traiter électroniquement ces grandeurs, puis à piloter en conséquence un certain nombre d'actionneurs, qui devront délivrer en sortie, les informations et actions conformes à la fonction d'usage du dispositif.



1. La numérisation d'un signal analogique

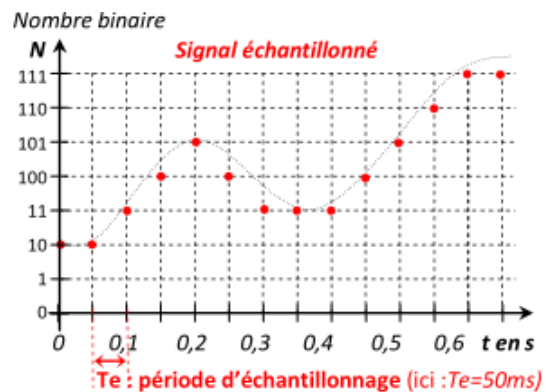
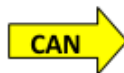
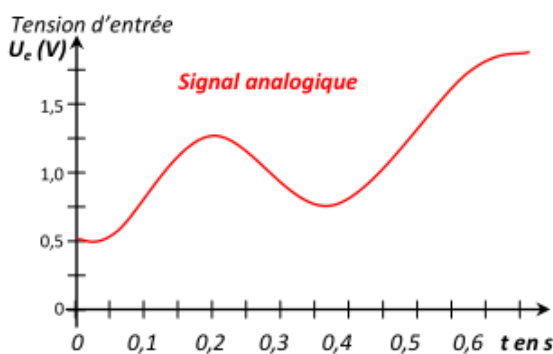
Pour stocker ou analyser une tension (ou un courant) provenant d'un capteur, il est nécessaire de l'échantillonner en mot binaire (nombre composé de 0 et de 1).

Pour cela on utilise en électronique un composant nommé le **Convertisseurs Analogique Numérique** (CAN). Le CAN convertie une tension (ou un courant) analogique en mot binaire.

Symbole du CAN



Exemple : $N = \%1010\ 1011 = 171$



L'échantillonnage d'un signal analogique doit être réalisé à intervalle de temps régulier. Cette durée se nomme la **période d'échantillonnage** T_e en seconde. On dit alors que le convertisseur est cadencé par un **signal d'horloge**.

Lorsqu'on choisit un convertisseur analogique-numérique, il faut donc prendre en compte sa fréquence d'échantillonnage f_e :

$$f_e = \frac{1}{T_e}$$

- f_e : fréquence d'échantillonnage (en Hz)
- T_e : période d'échantillonnage (en s)

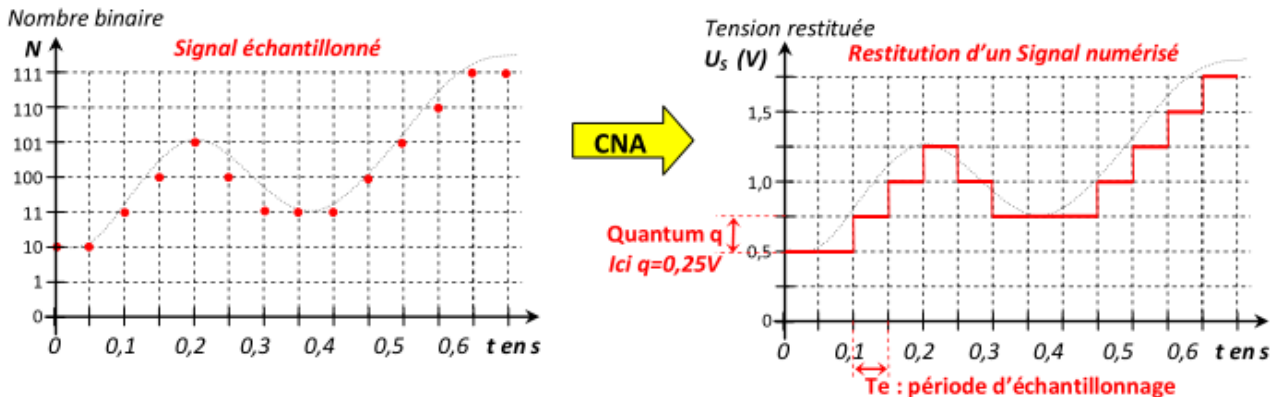
2. La restitution d'un signal échantillonné

Pour restituer une tension (ou un courant) analogique à partir d'un mot binaire N (nombre), on utilise un composant électronique qui se nomme le **Convertisseur Numérique Analogique** (CNA). Le CNA convertie un mot binaire (nombre) en tension (ou en courant).

Symbole du CNA



Pour restituer correctement le signal, il faut cadencer l'envoi des nombres vers le CNA par un signal d'horloge à la même fréquence d'échantillonnage f_e .



Lors de la restitution on peut observer la « hauteur d'une marche » qui correspond au « pas » du convertisseur. Ce « Pas » se nomme le **quantum** q convertisseur (en V ou A).

Le quantum est la plus petite tension (ou courant) que le convertisseur peut sortir.

Lorsque le nombre augmente d'une unité alors la tension(ou courant) de sortie augmente d'un quantum.

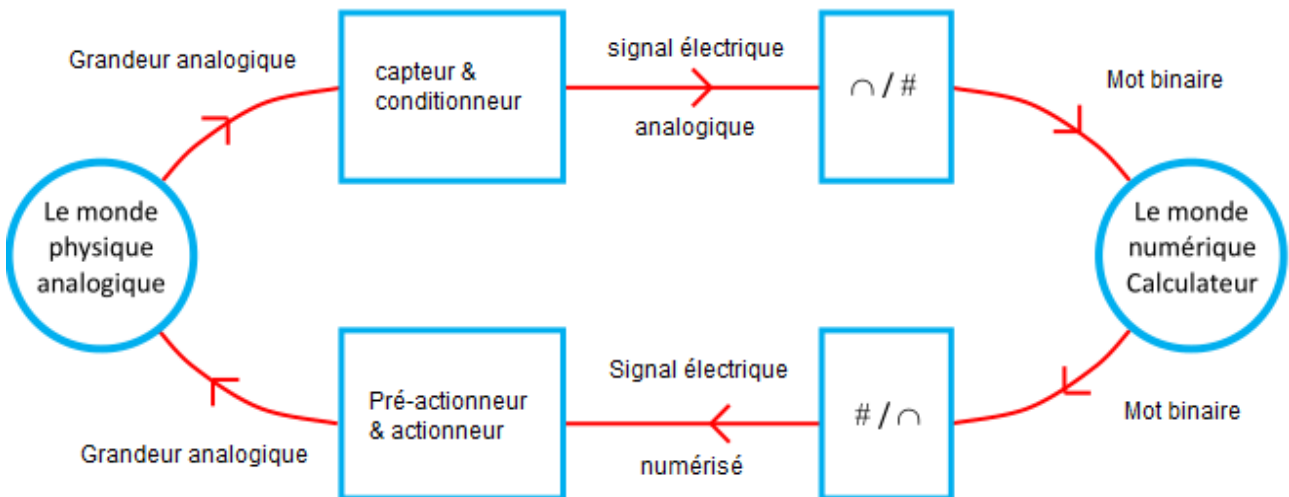
3. L'alliance des deux mondes

1. Compléter la structure générale d'une chaîne de conversion en précisant dans les cadres :

Pré-actionneur & actionneur, capteur & conditionneur, #/0 ou 0/#.

2. Préciser la nature des grandeurs transmises sur les flèches par :

Mot binaire, Grandeur analogique, Signal électrique numérisé, signal électrique analogique ;



4. Les « maux » binaires

4.1. Mot sur 4 bits

Nombre décimal	Mot binaire	Codage Hexadécimal
0	0000	0
1	0001	1

Nombre décimal	Mot binaire	Codage Hexadécimal
8	1000	8
9	1001	9

2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7

10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

1. Combien de combinaisons possibles peut-on faire avec 4 bits ? $2^4 = 16$
2. Indiquer le nombre maximal que l'on peut écrire sur 4 bits en binaire : $N_{MAX} = \%1111$
3. Quelle est sa valeur décimale ? $N_{MAX} = 15$

Soit un convertisseur de n bits :

- Le nombre de combinaisons possibles : 2^n
- Le nombre maximal : $N_{MAX} = 2^n - 1 = \%11\dots1111$

Exemple : Le convertisseur numérique-analogique d'un lecteur CD travaille sur 16 bits :

1. Calculer le nombre de combinaisons possibles : $2^{16} = 65536$
2. Indiquer le nombre maximal : 65535

4.2. Comprendre « le poids des mots »

Soit le mot décimal $N = 2\ 0\ 1\ 4$.

1. Quel est le poids de 4 en base 10 ? **L'unité** $\times 1$ $\times 10^0$
2. Quel est le poids de 1 en base 10 ? **La dizaine** $\times 10$ $\times 10^1$
3. Quel est le poids de 0 en base 10 ? **La centaine** $\times 100$ $\times 10^2$
4. Quel est le poids de 2 en base 10 ? **Le millier** $\times 1000$ $\times 10^3$

5. Quel est le chiffre de poids faible ? **4**
6. Quel est le chiffre de poids fort ? **2**

Décomposer le nombre décimal N sous la forme d'une somme de chiffres multipliés par leur poids 1000, 100, 10, 1 :

$$N = 2\ 0\ 1\ 4 = ___ \times 1000 + ___ \times 100 + ___ \times 10 + ___ \times 1$$

Poids fort  *Poids faible* 

Décomposer le nombre décimal N sous la forme d'une somme de chiffres multipliés par leur poids en puissance de 10 :

$$N = 2\ 0\ 1\ 4 = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

4.3. Conversion binaire décimal

Soit le nombre N en binaire de la forme :

$$N = \%a_n a_{n-1} \dots a_3 a_2 a_1 a_0$$

- Bit de **poids fort** : (MSB : Most significant byte)
- Bit de **poids faible** : (LSB : Least significant byte)

Calcul du nombre N en décimal :

$$N = a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + a_3 \times 2^3 + a_2 \times 2^2 + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0$$

Décomposer les nombres N_1 , N_2 et N_3 sous la forme d'une somme d'un chiffre multiplié par son poids en puissance de 2. Puis en déduire sa valeur décimale.

- $N_1 = \%1\ 0\ 1\ 1$

- $N_1 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11$
- $N_2 = \%10010110$
 $N_2 = 1 \times 2^7 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 = 150$
- $N_3 = \%1000100010001000$
 $N_3 = 1 \times 2^{15} + 1 \times 2^{11} + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^3 = 34952$

4.4. Conversion décimal binaire

Il existe plusieurs méthodes pour cette conversion ; l'une d'entre elle consiste à enlever si possible les différents poids successifs du plus fort au plus faible au nombre décimal N : On note alors 1 quand on peut enlever le poids et 0 quand on ne peut pas l'enlever.

Convertir les nombres 144, 255, 15, 100 en binaire puis en hexadécimal :

Poids en binaire	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
144	1	0	0	1	0	0	0	0
Hexadécimal	9				0			

Poids en binaire	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
255	1	1	1	1	1	1	1	1
Hexadécimal	F				F			

Poids en binaire	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
15	0	0	0	0	1	1	1	1
Hexadécimal	0				F			

Poids en binaire	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
100	0	1	1	0	0	1	0	0
Hexadécimal	6				4			

5. Le Convertisseur Numérique-Analogique (CNA)

Le CNA permet de convertir un nombre N en tension analogiques U proportionnelle. La relation entre U et N est donnée par :

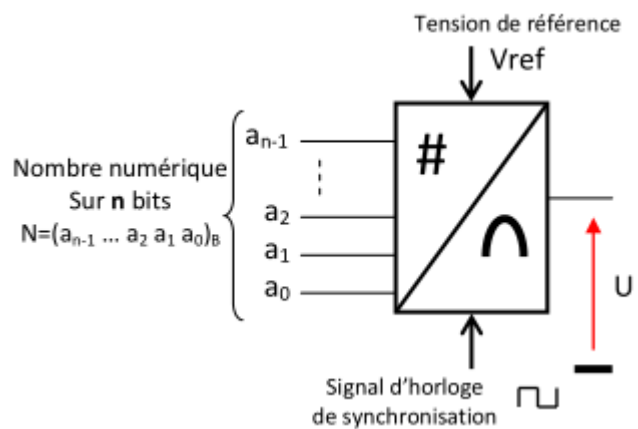
$$U = q \cdot N$$

- U : Tension de sortie (V)
- q : Quantum du convertisseur (V)
- N : Nombre décimal à convertir

L'un des moyens pour calculer le quantum en fonction de la tension de référence du constructeur est d'utiliser la relation :

$$q = \frac{V_{ref}}{2^n}$$

- q : Quantum du convertisseur (V)
- V_{ref} : Tension de référence du CNA
- n : Nombre de bit du convertisseur



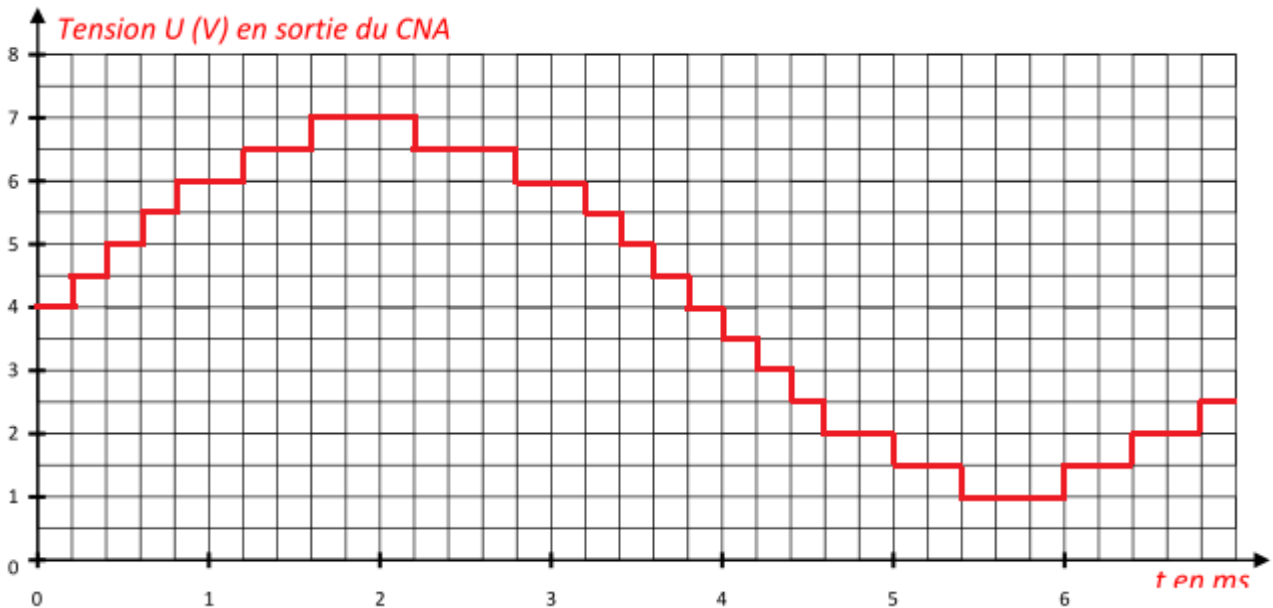
5.1. Exemple : CNA sur 4 bits 5kHz-8V

Un microprocesseur envoie une suite de nombres successifs avec une fréquence d'échantillonnage de f_e = 5 kHz sur un CNA de 4 bits de tension de référence 8 V.

8-9-10-11-12-12-13-13-14-14-14-13-13-13-12-12-11-10-9-8-7-6-5-4-4-3-3-2-2-2-3-3-4-4-5-6-...

- Calculer la période d'échantillonnage : $T_e = \frac{1}{f_e} = \frac{1}{5 \cdot 10^3} = 0,2 \cdot 10^{-3} s = 0,2 ms$
- Calculer le quantum du convertisseur : $q = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{8}{2^4} = 0,5 V$

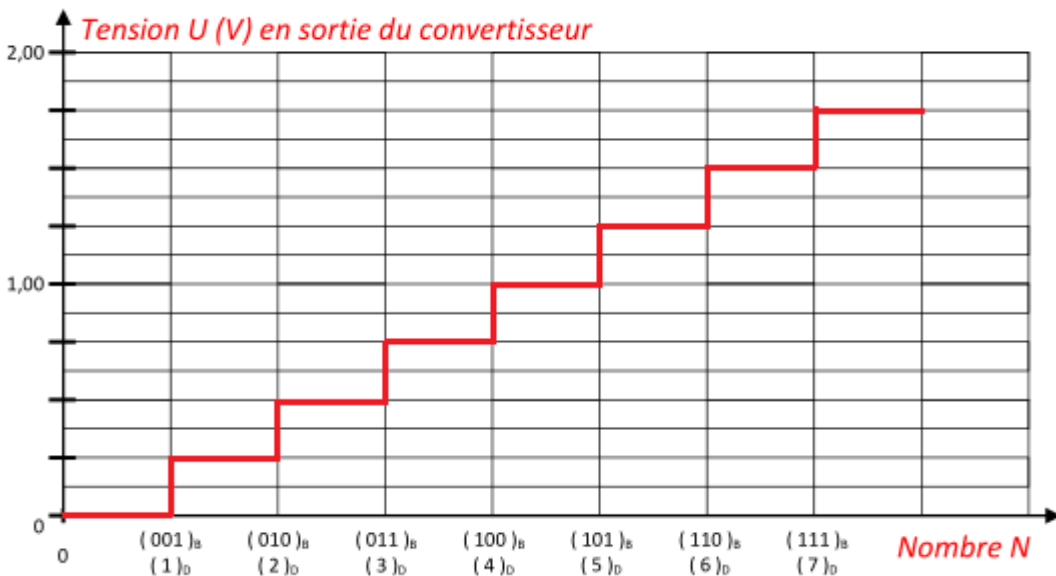
3. Représenter la tension en sortie du convertisseur.



5.2. Caractéristique d'entrée-sortie d'un CNA

La caractéristique d'un CNA représente l'évolution de la tension de sortie U (V) en fonction du nombre entier N en entrée.

Représenter la caractéristique d'un CNA 3 bits de tension de référence $V_{ref} = 2\text{ V}$, soit $q = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{2}{2^3} = 0,25\text{ V}$



5.3. Exercice

Un convertisseur CNA 8 bits fournit une tension de 0,664 V lorsqu'il reçoit un nombre %1 0 1 0 1 0 1 0.

1. Déterminer le quantum du convertisseur.

$$\%1010\ 1010 = 170$$

$$U = q \cdot N \Leftrightarrow q = \frac{U}{N} = \frac{0,664}{170} = 3.10^{-3}\text{ V} = 3\text{ mV}$$

- Déterminer la tension maximale que peut fournir ce convertisseur en sortie. Cette tension est appelée tension de la pleine échelle (U_{PE}).

$$U_{PE} = q \cdot N_{max} = q \cdot (2^n - 1) = 3 \times (2^8 - 1) = 765 \text{ mV}$$

- Déterminer la tension de référence V_{ref} du convertisseur.

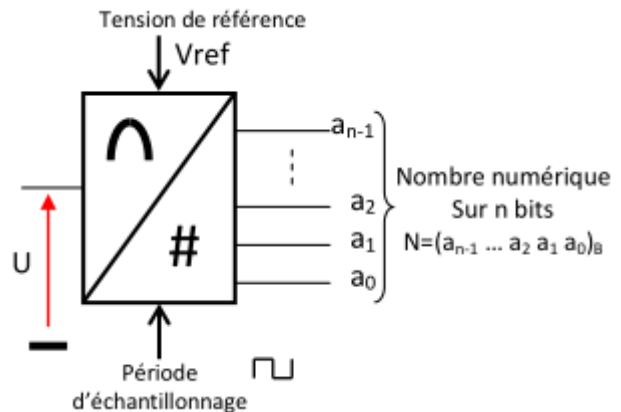
$$q = \frac{V_{ref}}{2^n} \Leftrightarrow V_{ref} = q \cdot 2^n = 3 \times 2^8 = 768 \text{ mV}$$

6. Convertisseur Analogique-Numérique (CNA)

Il permet de convertir une tension U en nombre binaire N .

$$N = \text{Tronquer} \left(\frac{U}{q} \right)$$

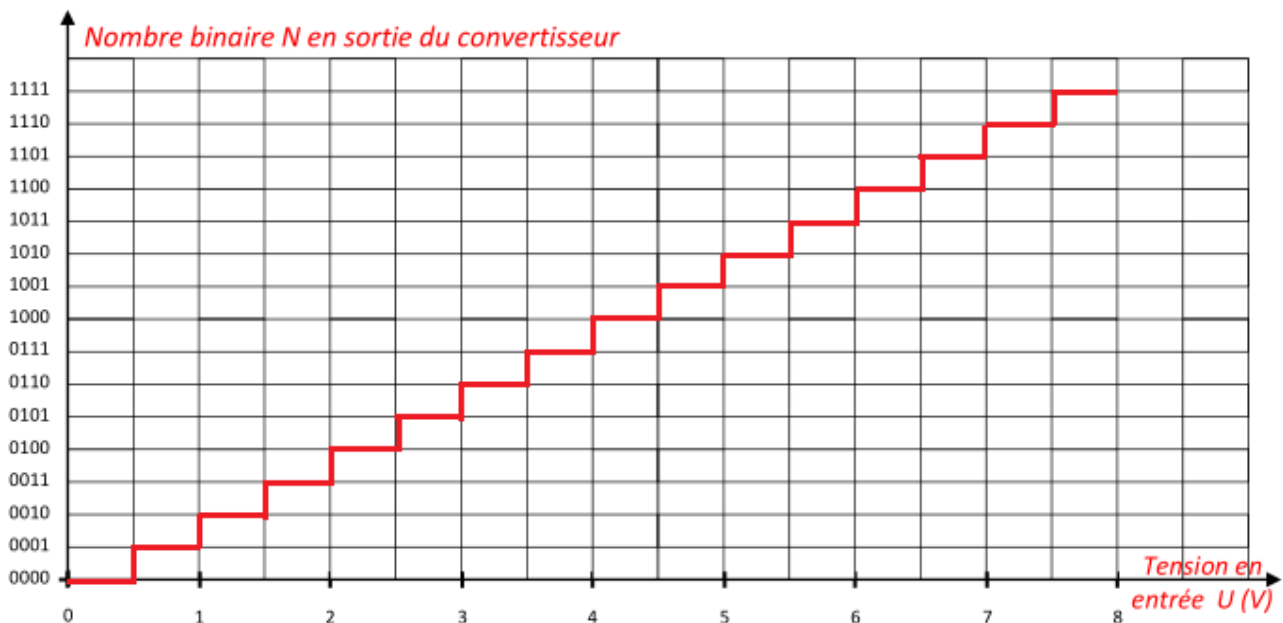
- N : Nombre décimal en sortie
- U : Tension d'entrée à convertir (V)
- q : Quantum du convertisseur (V)



6.1. Caractéristique d'entrée-sortie du CNA

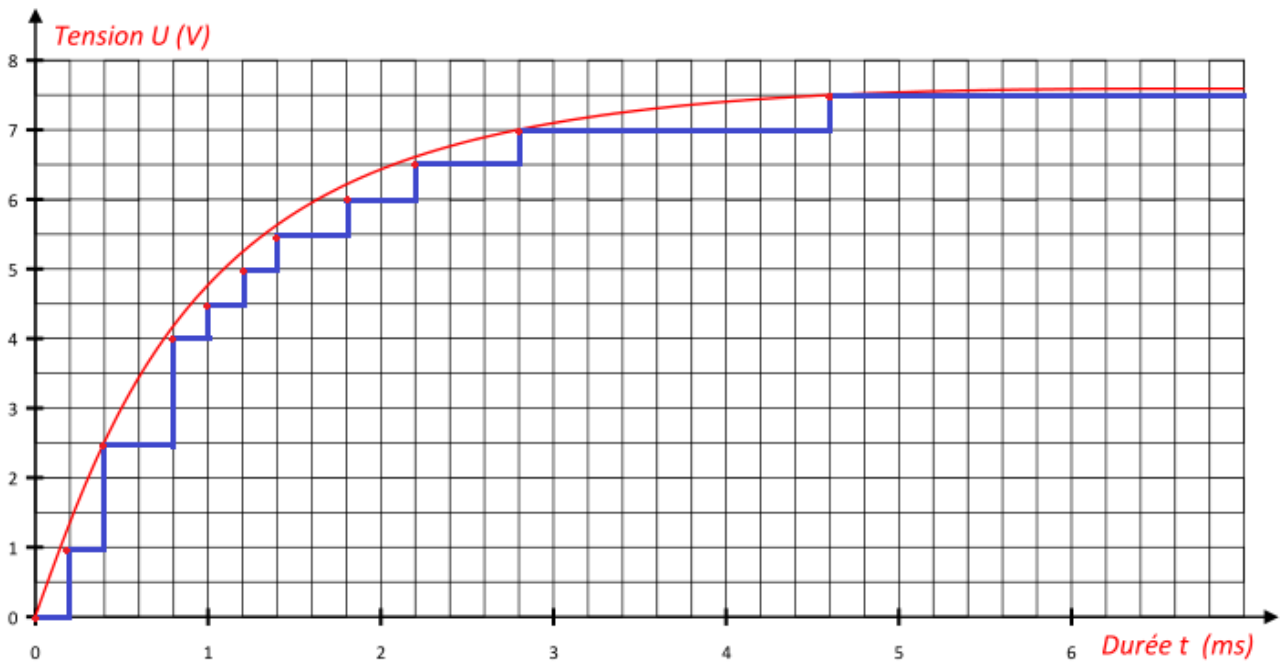
Elle représente l'évolution du nombre binaire N en fonction de la tension d'entrée U en V analogique.

Représenter la caractéristiques d'un CAN 4 bits, de tension de référence 8 V, soit $q = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{8}{2^4} = 0,5 \text{ V}$



Exemple :

Soit une tension analogique $U(t)$ (voir figure ci-dessous) qui arrive sur un convertisseur analogique-numérique de quantum $q = 0,5 \text{ V}$ et de période d'échantillonnage $T_e = 0,2 \text{ ms}$.



1. Échantillonner la tension analogique du graphique par des points rouges.
2. Numériser la tension analogique.

0	5,2V = %1010			
1,2V = %0010	5,6V = %1011			
2,5V = %0101	6,2V = %1100			
4,2V = %1000				
4,8V = %1001				

3. Reconstituer le signal numérisé en tension sur le graphique.