

CONVERSION analogique/numérique (CAN) et numérique analogique (CNA) des données

1. **INTRODUCTION**

De nombreux systèmes électroniques utilisent les techniques numériques, à base de microprocesseurs ou de microcontrôleurs.

Les avantages qu'elles présentent par rapport à aux techniques analogiques sont :

- facilité de traitements complexes de l'information (filtrage, compression...),
- mémorisation des informations sur support à faible coût,
- bonne immunité au bruit...

Lorsque les informations issues de capteurs sont des grandeurs analogiques ou que les actionneurs doivent être commandés par des signaux analogiques, il est nécessaire de procéder à des conversions de données :

Conversion analogique→numérique (CAN) et numérique→analogique (CNA)

La grandeur physique à convertir peut-être de nature quelconque : vitesse, température, force et le capteur convertit cette grandeur en un signal analogique (dynamo tachymétrique pour le captage de la vitesse, pont de jauges d'extensométrie pour le captage d'une force).

Le convertisseur analogique numérique (CAN) va convertir le signal analogique sous forme de mots numériques qui pourront être interprétés et traités par le calculateur (microprocesseur).

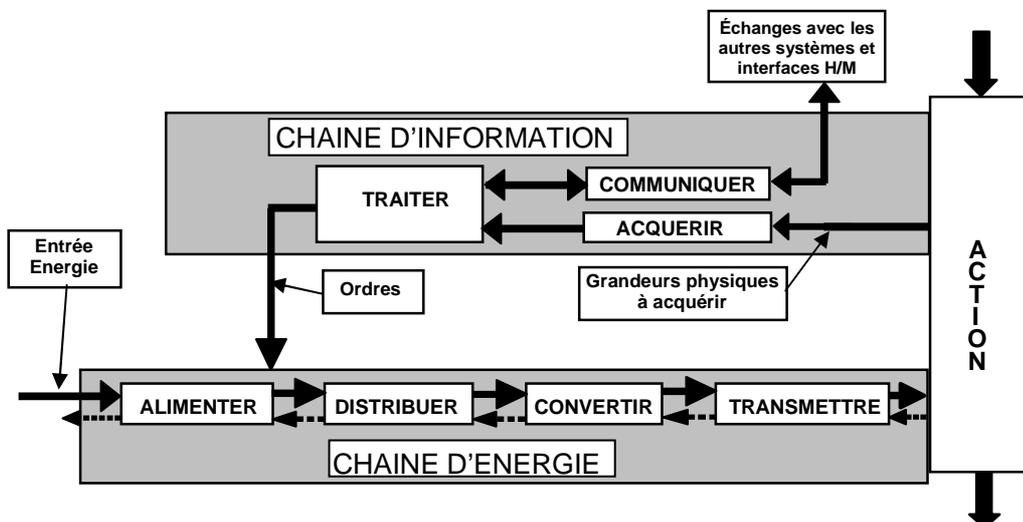
De même, le calculateur pourra générer en entrée du CNA des mots numériques qui seront convertis en un signal analogique par le CNA (convertisseur Numérique Analogique).

Exemple de chaîne de traitement numérique pour le signal audio (enregistrement et restitution MP3, pédalier multi effets pour guitare...).



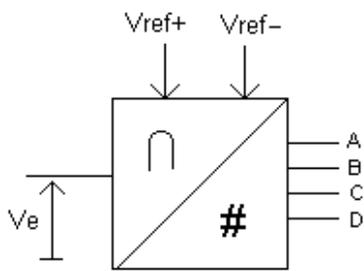
- **Passage analogique numérique** : (vibrations acoustiques → microphone → CAN → compression numérique → enregistrement en mémoire ou sur disque dur).
- **Passage numérique analogique** : (lecture des fichiers numériques stockés → filtrage numérique → CNA → amplification → écouteurs ou baffles → vibrations acoustiques).

Situer sur le synoptique ci-dessous les différentes conversions CAN ou CNA envisageables.



Exemple 3 : Convertisseur analogique numérique CAN

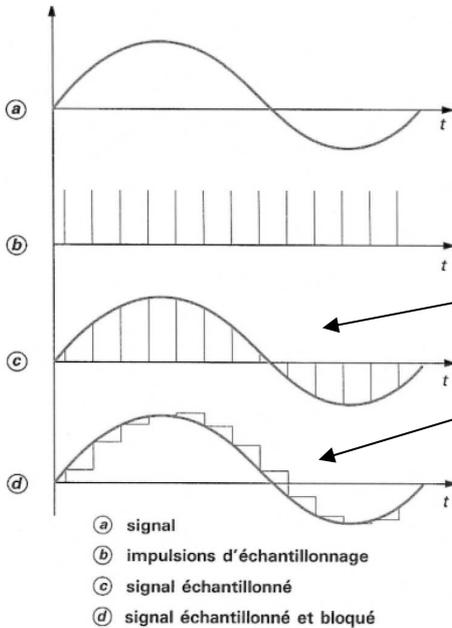
Un convertisseur analogique / numérique (CAN) est un circuit hybride qui transforme une grandeur analogique d'entrée V_e (souvent une tension) en une valeur numérique N exprimée sur n bits.



Exemple de CAN 4 bits : V_{ref+} et V_{ref-} représentent les tensions de références du convertisseur. Elles permettent de fixer les amplitudes maximales et minimales de la grandeur d'entrée à convertir.

L'opération de conversion se déroule en 2 étapes : LA QUANTIFICATION puis LE CODAGE

La **quantification** consiste à prélever à divers instants ($t_1, t_2, t_3 \dots$) la valeur de la tension V_e : c'est ce qu'on appelle aussi **l'échantillonnage ou discrétisation** de V_e (le signal continu V_e est réduit en un nombre fini de valeurs).



Le **codage** consiste à faire correspondre à ces échantillons (les diverses valeurs de V_e prélevées aux temps $t_1, t_2, t_3 \dots$) un mot binaire, en respectant une logique précise.

La figure ci-contre illustre le problème de l'échantillonnage d'une grandeur analogique et de sa valeur numérique convertie en tension.

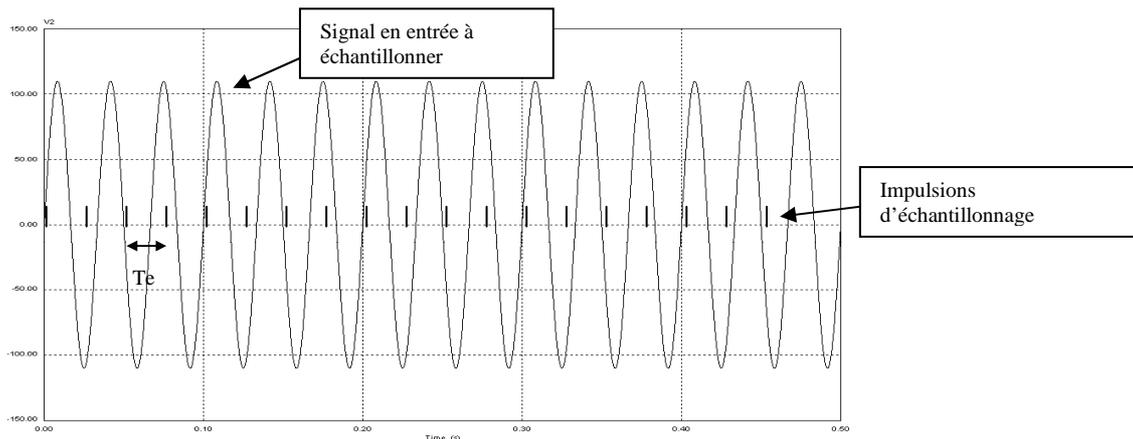
L'horloge interne du CAN prélève des échantillons tous les instants $n.T_e$ (T_e étant la période d'échantillonnage).

Cette valeur sous sa forme analogique est bloquée (**fonction échantillonneur bloqueur**) de façon à permettre la conversion numérique.

La période d'échantillonnage T_e est donc une caractéristique essentielle de ce type de convertisseur.

Pour montrer son importance nous allons envisager la situation suivante.

A partir du graphe ci-dessous, esquisser l'allure du signal échantillonné et bloqué et commenter l'allure de ce signal sur sa fréquence apparente.



Si la fréquence du signal échantillonné est inférieure à celle du signal réel, on dit qu'il y a « **repliement du spectre** ».

On vient de montrer que pour échantillonner correctement un signal d'entrée de fréquence F , il faut que la fréquence d'échantillonnage $F_e = 1 / T_e$ soit plus grande que F .

A la limite un coefficient $F_e / F = 2$ est retenu, il s'agit du **théorème de Shannon**.

Tableau clés des CAN et CNA (extrait des techniques de l'ingénieur)

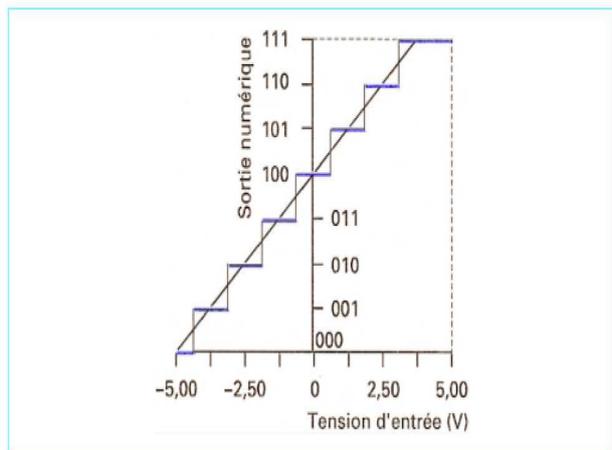


Figure 13 - Caractéristique de transfert d'un CAN bipolaire 3 bits

Tableau 1 – Résolution, nombre d'états, poids du LSB et dynamique des CAN et CNA

Résolution n (bits)	Nombre d'états 2^n	Poids du LSB 2^{-n}	Dynamique (dB)
0	1	1	0
1	2	0,5	6
2	4	0,25	12
3	8	0,125	18,1
4	16	0,062 5	24,1
5	32	0,031 25	30,1
6	64	0,015 625	36,1
7	128	0,007 812 5	42,1
8	256	0,003 906 25	48,2
9	512	0,001 953 125	54,2
10	1 024	0,000 976 562 5	60,2
11	2 048	0,000 488 281 25	66,2
12	4 096	0,000 244 140 625	72,2
13	8 192	0,000 122 070 312 5	78,3
14	16 384	0,000 061 035 156 25	84,3
15	32 768	0,000 030 517 578 125	90,3
16	65 536	0,000 015 258 789 062 5	96,3
17	131 072	0,000 007 629 394 531 25	102,3
18	262 144	0,000 003 814 697 265 625	108,4
19	524 288	0,000 001 907 348 632 812 5	114,4
20	1 048 576	0,000 000 953 674 316 640 625	120,4

Tableau 2 – Codes binaires pour des convertisseurs 8 bits unipolaires

Fraction de la pleine échelle PE	Valeurs correspondantes pour une pleine échelle de 10 V (V)	Binaire naturel	Binaire complété
+ PE – 1 LSB	+ 9,961	1111 1111	0000 0000
+ 3/4 PE	+ 7,500	1100 0000	0011 1111
+ 1/2 PE	+ 5,000	1000 0000	0111 1111
+ 1/4 PE	+ 2,500	0100 0000	1011 1111
+ 1/8 PE	+ 1,250	0010 0000	1101 1111
+ 1 LSB	+ 0,039	0000 0001	1111 1110
0	0,000	0000 0000	1111 1111

Tableau 3 – Codes binaires usuels en conversion de données

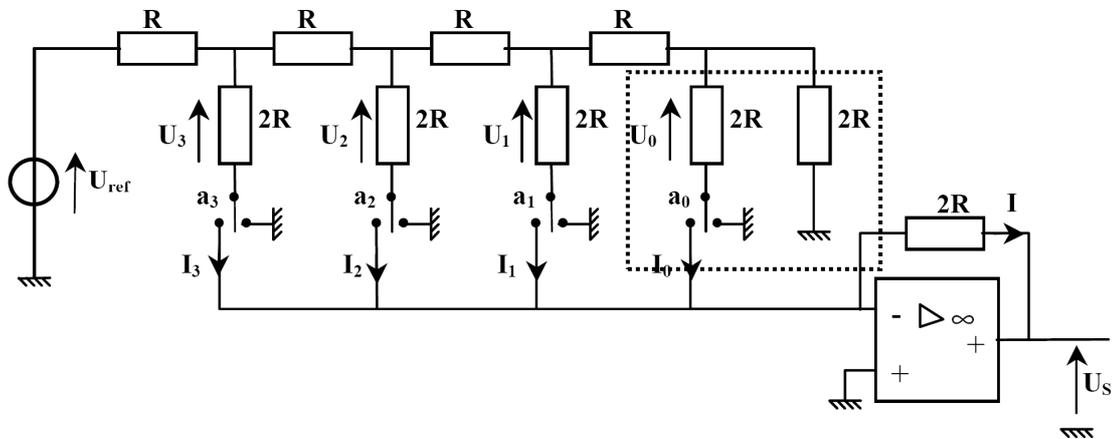
Fraction de la pleine échelle PE	Valeurs correspondantes pour une pleine échelle de 10 V (-5 à +5 V) (V)	Binaire décalé	Binaire décalé complété	Complément à 2	Binaire signe (1)
$+\frac{PE}{2} - 1LSB$	+ 4,997 6	1111 1111	0000 0000	0111 1111	1111 1111
$+\frac{3}{4} \frac{PE}{2}$	+ 3,750 0	1110 0000	0001 1111	0110 0000	1110 0000
$+\frac{1}{2} \frac{PE}{2}$	+ 2,500 0	1100 0000	0011 1111	0100 0000	1100 0000
$+\frac{1}{4} \frac{PE}{2}$	+ 1,250 0	1010 0000	0101 1111	0010 0000	1010 0000
0	0,000 0	1000 0000	0111 1111	0000 0000	1000 0000
$-\frac{1}{4} \frac{PE}{2}$	- 1,250 0	0110 0000	1001 1111	1110 0000	0010 0000
$-\frac{1}{2} \frac{PE}{2}$	- 2,500 0	0100 0000	1011 1111	1100 0000	0100 0000
$-\frac{3}{4} \frac{PE}{2}$	- 3,750 0	0010 0000	1101 1111	1010 0000	0010 0000
$-\frac{PE}{2} + 1LSB$	- 4,997 6	0000 0001	1111 1110	1000 0001	0111 1111
$-\frac{PE}{2}$	- 5,000 0	0000 0000	1111 1111	1000 0000	

(1) En binaire signe il y a deux codes pour représenter zéro : 0⁺ : 1000 0000 0000
0⁻ : 0000 0000 0000

3 EXEMPLES DE REALISATION TECHNOLOGIQUE DES CNA /CAN :

3.1. CNA à réseau R-2R à sortie en tension :

■ Schéma pour n = 4 :

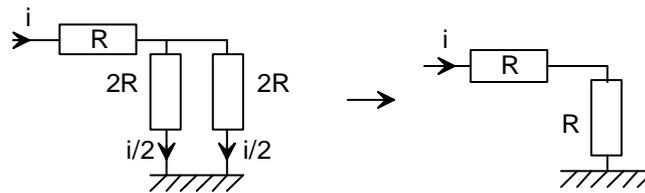


L'interrupteur a_i à la masse fixe un 0 logique, le cas contraire fixe un 1 logique.

Ce type de montage utilise une propriété de récurrence que l'on peut mettre en évidence à partir des 2 résistances les plus à droite (dans le cadre en pointillés).

On remarque tout d'abord que quelle que soit la position de l'interrupteur a_i , le point inférieur est relié à la masse : masse réelle à droite ou masse virtuelle à gauche grâce à la contre réaction de l'A.Op.

Les 2 résistances dans le cadre sont donc toujours en parallèle et la résistance équivalente est R, soit le schéma :



On peut ainsi de proche en proche établir que la résistance vue de la source de tension U_{ref} est égale à $2R$.

Le courant sortant de cette source est $I_{ref} = U_{ref} / 2.R$ et il se partage en deux pour donner $I_3 = I_{ref} / 2$.

Exprimer les différents courants I_i en fonction de I_{ref} et de a_i correspondant.

Exprimer I en sortie en fonction des a_i , I_{ref} et des a_i .

Déduire finalement la relation entre les a_i , U_{ref} et U_s .

Donner la valeur et le signe de U_{ref} pour obtenir $U_s = 10V$ à pleine échelle.

Pour ce montage, les résistances ont les mêmes valeurs (R ou $2R$) ce qui est facile à obtenir en microélectronique.

