

# Conversion Numérique Analogique (CNA) Conversion Analogique Numérique (CAN)

(Extrait du polycopié «OPTION ÉLECTRONIQUE ET INFORMATIQUE  
APPLIQUÉES AUX SCIENCES PHYSIQUES» distribué aux élèves)

par J.-C. BIGOIS et R. TOURNIER  
Lycée Technique Ch. Coulomb - 16000 Angoulême

## 1. TRAITEMENT NUMÉRIQUE DE L'INFORMATION

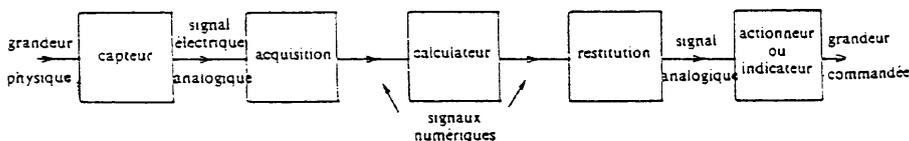
Elle présente des avantages par rapport à la technique analogique :

- facilité de conceptions des fonctions complexes,
- mémorisation possible des informations.

De façon générale, l'information issue d'un capteur est une grandeur analogique ; de plus, les actionneurs sont généralement commandés par des signaux analogiques (voir prochains chapitres).

Par conséquent, il faut procéder à des conversions de données.

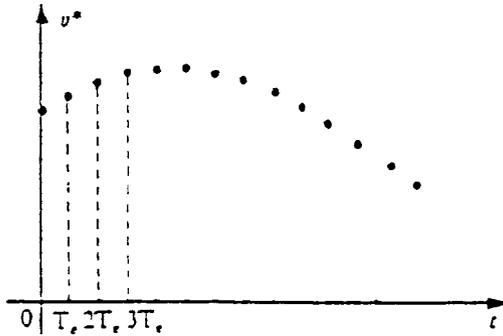
Organisation d'une chaîne de traitement numérique :



- la grandeur physique captée peut être de nature quelconque : intensité, position, vitesse, température, pression, éclaircissement, ...
- il faudra une conversion analogique numérique puis une conversion numérique analogique.

Acquisition : on la réalise au moyen d'un échantillonnage de période  $T_e$ .

On prélève des valeurs du signal  $v$  à chaque instant  $nT_e$  et on obtient le signal échantillonné  $v^*$ .



Pour pouvoir traiter les différents échantillons on les mémorise pendant une certaine durée. Ceci est réalisé par un échantillonneur bloqueur.

A chaque échantillon, on associe un mot binaire : c'est le rôle du CAN.

Après traitement des informations par le calculateur il faut revenir à un signal analogique : c'est le rôle du CNA.

## 2. CONVERSION NUMÉRIQUE ANALOGIQUE

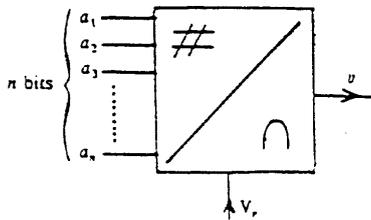
Le convertisseur numérique analogique transforme une information numérique en un signal analogique.

L'entrée du CNA est un mot codé généralement sous forme binaire.

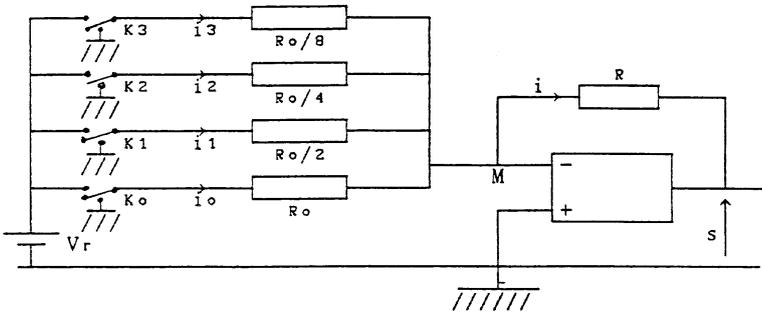
Exemple : 10010110.

La sortie du CNA est en général une tension.

A chaque valeur du mot d'entrée correspond une valeur de la tension de sortie.



### 2.1. Réalisation d'un CNA dit à «résistances pondérées»



$R$  :  $10 \text{ k}\Omega // 33 \text{ k}\Omega$ .

$R_0 = 220 \text{ k}\Omega$ .

AO : TL 081 alimenté en  $-15/+15 \text{ V}$ .

$V_r$  : alimentation continue  $+5 \text{ V}$ .

La maquette utilisée permet de travailler sur 4 bits :  $a_0, a_1, a_2$  et  $a_3$  ; c'est-à-dire sur le mot binaire  $B = (a_3 a_2 a_1 a_0)$ .

Sur la maquette, lorsque l'interrupteur  $K_i$  est fermé sur la référence : bit  $a_i = 0$  (LED éteinte) ; lorsqu'il est fermé sur l'alimentation  $V_r$  : bit  $a_i = 1$  (LED allumée).

### 2.2. Étude théorique

L'AO est en régime linéaire et il est supposé idéal. Que vaut le potentiel du point M ?

.....

Exprimer :  $i_0, i_1, i_2, i_3$  en fonction de  $V_r, a_0, a_1, a_2, a_3$  et  $R_0$  :

.....

Exprimer  $i$  :

– en fonction de  $s$  et de  $R$  :

.....

– en fonction de  $i_0, i_1, i_2, i_3$  et par suite en fonction de  $V_r, R_0, a_0, a_1, a_2$  et  $a_3$  :

.....

– en déduire l'expression de  $s$  en fonction de  $V_r, R, R_0, a_0, a_1, a_2$  et  $a_3$  :

.....

–  $s$  étant négative on fait suivre ce montage d'un montage amplificateur inverseur de gain unité. Retrouver sur la maquette ce montage en repérant les résistances utilisées pour obtenir ce gain. Quelle est l'utilité de l'ajustable ?

.....

– Exprimer la tension  $S$  de sortie du CNA (sortie du montage inverseur) en fonction de  $s$  puis en fonction de  $V_r$ ,  $R$ ,  $R_0$ ,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$  :

.....

### 2.3. Étude expérimentale

Appliquer les mots binaires 0000, 0001, 0010, 0011, ..... 1111 à l'entrée du convertisseur et relever à l'aide d'un voltmètre les valeurs correspondantes de  $S$ . Présenter les résultats sous la forme d'un tableau :

.....

Tracer la caractéristique du CNA :  $S = f(a_3 a_2 a_1 a_0)$ .

.....

Peut-on dire que le CNA est linéaire au vue de la caractéristique ci-dessus ?

.....

$V_r$  est la tension de référence appliquée au convertisseur ; elle fixe l'échelle des tensions de sortie.

La valeur  $S_{\max}$  de la tension  $S$  est appelée pleine échelle du convertisseur : ici  $PE = 8 V$ .

La résolution du CNA est l'inverse du nombre de mots binaires différents :  $r = 1/2^n = \dots$

Le quantum analogique est  $q = PE/2^n = \dots$ . Comparer ce résultat à une mesure effectuée sur la caractéristique du CNA.

.....

### Remarques :

– La tension maximale que l'on peut obtenir à la sortie du CNA correspond toujours à  $PE - q$ .

– Pour un convertisseur numérique analogique idéal, les points de la caractéristique de transfert  $S = f(a_3 a_2 a_1 a_0)$  sont alignés.

**Exercice d'application :**

Supposons un mot d'entrée de  $n$  bits (exemple :  $n = 8$  bits)  $E = 10010110$  appliqué à l'entrée d'un CNA idéal.

Le nombre de points de la caractéristique de transfert est :

.....

La valeur décimale du mot binaire  $E$  est :

$N(E)$  ..... = .....

Supposons une pleine échelle analogique  $PE = 10$  V.

Calculer  $q$  : .....

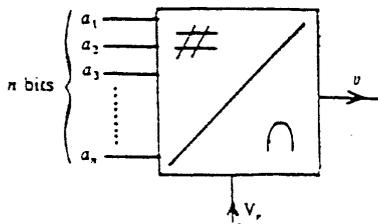
Au mot d'entrée  $E : 10010110$  correspond la tension de sortie :

$V_s = q N(E) =$  .....

**3. CONVERSION ANALOGIQUE NUMÉRIQUE**

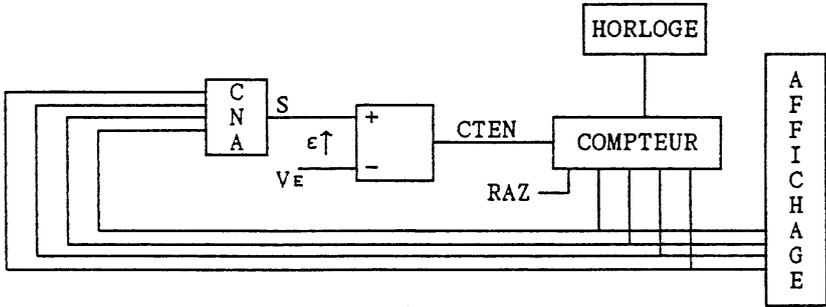
**3.1. Principe**

Il s'agit de convertir une tension  $V_E$  en un mot binaire (par exemple de 4 bits). Pour cela on compare la tension de sortie  $S$  d'un CNA à  $V_E$  à l'aide d'un comparateur. Si  $S$  est supérieur ou égal à  $V_E$  la sortie CTEN du comparateur est à l'état haut ; si  $S$  est plus petit que  $V_E$  CTEN est à l'état bas.



La sortie CTEN est reliée à l'entrée d'un compteur. Ce compteur, cadencé par une horloge, compte (à ses sorties on a un mot binaire qui est envoyé à l'entrée du CNA en lieu et place des interrupteurs manuels utilisés lors de l'étude du CNA) tant que CTEN est à l'état bas. Dès que CTEN passe à l'état haut, c'est-à-dire dès que  $S \geq V_E$ , le compteur se bloque. On a alors en sortie du compteur un mot binaire qui correspond à la tension  $V_E$ .

Synoptique :



**Remarques :**

- les alimentations du CNA, du comparateur, du compteur, de l'horloge et de l'affichage ne sont pas représentées,
- une LED rouge située en sortie du comparateur s'allume dès que le compteur s'arrête de compter (CTEN à l'état haut),
- un interrupteur positionné au niveau de l'horloge permet de changer la fréquence (comptage plus ou moins rapide),
- un deuxième interrupteur positionné au niveau du compteur permet de remettre le compteur à zéro (RAZ),
- un dispositif avec des LED permet d'afficher le mot binaire correspondant à la tension  $V_E$ .

**3.2. Manipulation**

Appliquer une tension  $V_E$  continue réglable entre 0 et 6 V et relever le mot binaire B correspondant (on prendra la fréquence la plus faible de l'horloge). Enlever le module «entrées» du CNA.

Compléter le tableau de mesures suivant :

$V_E$ (V)	0,00	0,45	0,90	1,45	1,90	2,45	2,90	3,45	3,90	4,45	4,90	5,45
B												

Vérifier vos mesures en prenant la plus grande fréquence d'horloge.

Tracer la caractéristique du CAN :  $B = f(V_E)$ .

.....

Que se passe-t-il si l'on applique une tension  $V_E = 10 \text{ V}$  ?

.....

Comment peut-on expliquer ce phénomène ?

.....

Quelle est la limite supérieure de la tension que l'on peut convertir ?

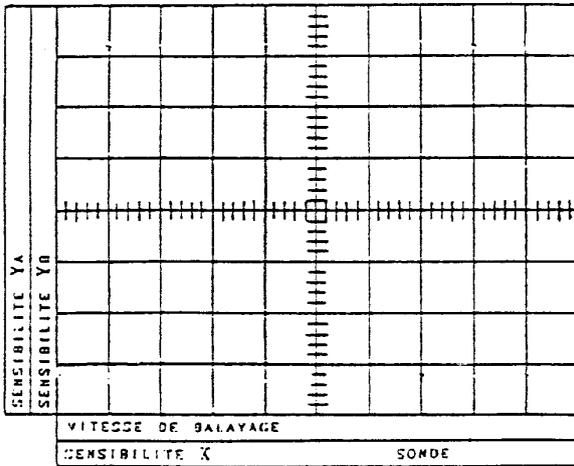
.....

Peut-on conclure, au vu de la caractéristique ci-dessus, que le CAN est linéaire ?

.....

Prendre  $V_E = 10 \text{ V}$ . Choisir la fréquence élevée de l'horloge. Observer à l'aide d'un oscilloscope les signaux S (voie 1) et  $V_E$  (voie 2). Régler les références des deux voies en bas de l'écran. Choisir une vitesse de balayage de l'ordre de la milliseconde.

Relever un oscillogramme.



Prendre  $V_E = 4,90 \text{ V}$ . Choisir la fréquence basse de l'horloge. Faire une acquisition de la caractéristique du CAN à l'aide de CANDIBUS et du logiciel LABO. On connectera  $V_E$  à la voie 1 de CANDIBUS et S à la voie .

- lancer LABO,
- dérouler «FICHIERS» et dans «RÉPERTOIRE» écrire :

A:\PHYSIQUE\LABO\CAN

– dérouler «PARAMÈTRES» puis «DONNÉES»,

Nombre de mesures	1000	↵
Nombre d'acquisitions	1	↵
Nombre de voies	2	↵
Temps en $\mu$ s	10000	↵

– dérouler «PARAMÈTRES» puis «SYNCHRONISATION»,

Voie de synchronisation	2	↵
Sens de synchronisation	↑	↵
Niveau de synchronisation	0.05	↵

– dérouler «DESSIN»,

Courbes	1 – 8	↵
Numéro de la courbe échelle	0	↵
Courbe de référence	1	↵

Minimum sur x :	0.00	↵
Maximum sur x :	10000000	↵
Minimum sur y :	0.00	↵
Maximum sur y :	+ 6	↵

– dérouler «ACQUISITION» ; choisir «NORMALE»,

– faire un grand zoom (F5) puis une copie d'écran par Impr.écran.

### Remarques :

– il existe plusieurs autres types de convertisseurs numérique-analogique (réseau R-2R, ...) et analogique-numérique (à simple rampe, à double rampes, à approximations successives, ...),

– il existe des circuits intégrés qui réalisent les conversions analogique-numérique et numérique-analogique,

– la carte CANDIBUS est l'exemple pratique d'un convertisseur analogique-numérique.

Le polycopié «*Option électronique et informatique appliquées aux sciences physiques*» réalisé par J.-C. BIGOIS et R. TOURNIER - Lycée Technique Charles de Coulomb - 16000 Angoulême -, sous la responsabilité de M. R. VOGEL - I.P.R. de l'Académie de Poitiers (document de T.P. élèves couvrant le programme de l'option) est disponible au :  
 CRES - Lycée Victor Hugo - 10, rue Victor Hugo - 86000 Poitiers  
 Prix : 70 F. franco de port.