

CONVERSION ANALOGIQUE / NUMÉRIQUE (CAN)  
et  
CONVERSION NUMÉRIQUE / ANALOGIQUE (CNA)

## I. INTRODUCTION

On peut diviser les circuits électroniques en deux grandes catégories : numériques et analogiques. L'électronique numérique implique des quantités à valeurs discrètes alors que l'électronique analogique entraîne des quantités à valeurs continues. La plupart des grandeurs physiques que nous mesurons se retrouvent sous forme analogique : température, vitesse, position, pression, force...

### I.1. Avantages du numérique

Les signaux numériques sont :

- faciles à mémoriser (mémoires RAM et ROM)
- faciles à traiter mathématiquement (microprocesseur, ordinateur)
- insensibles aux bruits (forte immunité aux bruits des portes logiques)

Le numérique possède certains avantages sur l'analogique dans les applications électroniques.

Citons :

- la grande stabilité des paramètres
- un stockage plus compact des données (musique)
- l'excellente reproductibilité des résultats
- ...

De plus le coût du numérique diminue de manière spectaculaire avec le temps (facteur de l'ordre de 100 en 10 ans), et les performances en vitesse augmentent de la même façon.

### Intérêt des convertisseurs analogiques-numériques

La mémorisation et le traitement mathématique et ne pouvant se faire facilement que sur des signaux numériques, il est nécessaire de convertir toutes les grandeurs physiques analogiques en signaux numériques pour pouvoir les traiter et les mémoriser. De même, il est aussi nécessaire de convertir un signal numérique issu d'un calculateur en signal analogique pour pouvoir piloter un système physique.

### I.2. Exemples d'applications

#### Ex.1 : Thermostat électrique

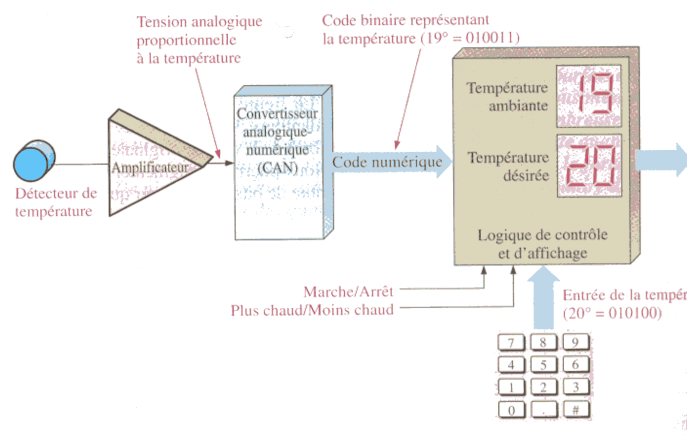
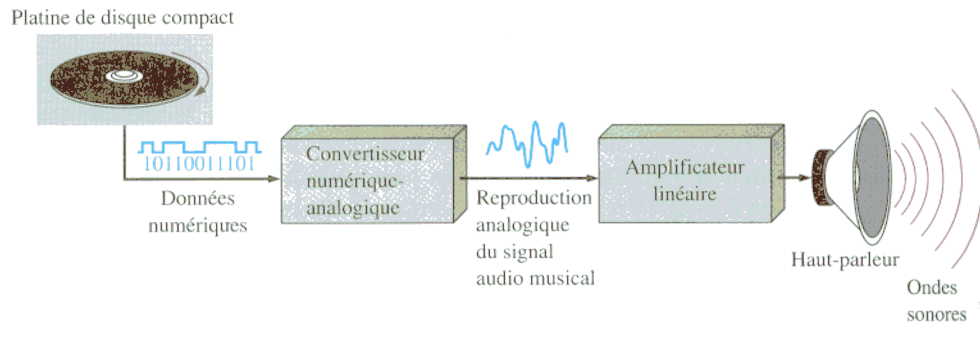


Figure 1 : Diagramme d'un thermostat utilisant un CAN

*Ex.2 : Lecteur de disque compact*

Le principe de base est illustré sur la Figure 2. La musique est stockée sous forme numérique sur le disque compact. Un système optique à diode laser capte les données numériques à partir du disque en rotation pour les transférer vers le **Convertisseur Numérique Analogique** (CNA). Le CNA transforme les données en un signal analogique, c'est-à-dire une reproduction électrique de la musique d'origine. Ce signal est amplifié et dirigé vers le haut-parleur.



*Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un lecteur de disque compact (utilisant un CNA)*

Une grandeur **analogique** possède des valeurs continues, alors qu'une quantité **numérique** renferme une série de valeurs discrètes.

### Ex.3 : Montage de régulation industrielle par ordinateur

La Figure 3 présente les cinq éléments que l'on retrouve dans un montage de régulation industrielle par ordinateur, quand la variable physique est analogique :

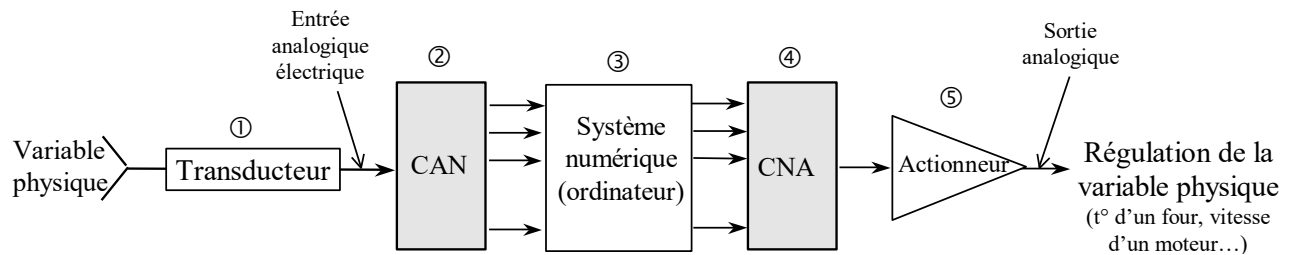


Figure 3 : Exemple de régulation industrielle par ordinateur, d'une variable physique analogique

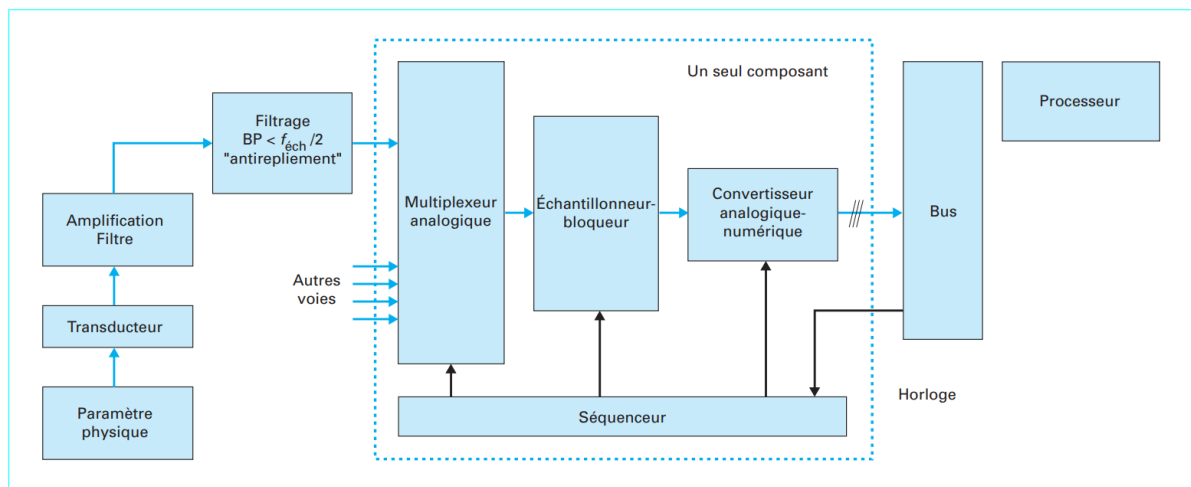


Figure 1 - Bloc diagramme d'un système d'acquisition de données analogique-numérique

(Image issue de « Techniques de l'Ingénieurs »)

① Un **transducteur (capteur)** est un dispositif qui fournit un équivalent électrique de la variable physique. La sortie électrique d'un transducteur est une tension ou un courant analogique proportionnel à la variable physique surveillée.

*exemples de transducteurs : thermistors, cellules photoélectriques, photodiodes, débitmètre , tachymètre.*

② **Convertisseur Analogique Numérique (CAN).** La sortie électrique du transducteur est délivrée à l'entrée analogique du CAN. Ce dernier convertit la valeur analogique en une grandeur numérique, c'est-à-dire en un certain nombre de bits qui représentent la grandeur analogique.

③ **Ordinateur.** La représentation numérique de la variable réglée est transmise du CAN à l'ordinateur qui la mémorise et la traite conformément aux instructions du programme de régulation qu'il exécute. Ce programme peut effectuer des calculs ou d'autres traitements qui utilisent cette donnée.

④ **Convertisseur Numérique Analogique (CNA).** La sortie numérique fournie par l'ordinateur arrive dans un CNA, dont le rôle est de faire correspondre à l'entrée numérique une sortie analogique proportionnelle.

⑤ **Actionneur.** Le signal analogique que l'on obtient du CNA est connecté à un circuit ou à un dispositif qui agit comme actionneur afin de régler effectivement la variable physique contrôlée.

## II. OPERATIONS NECESSAIRES A LA CONVERSION AN

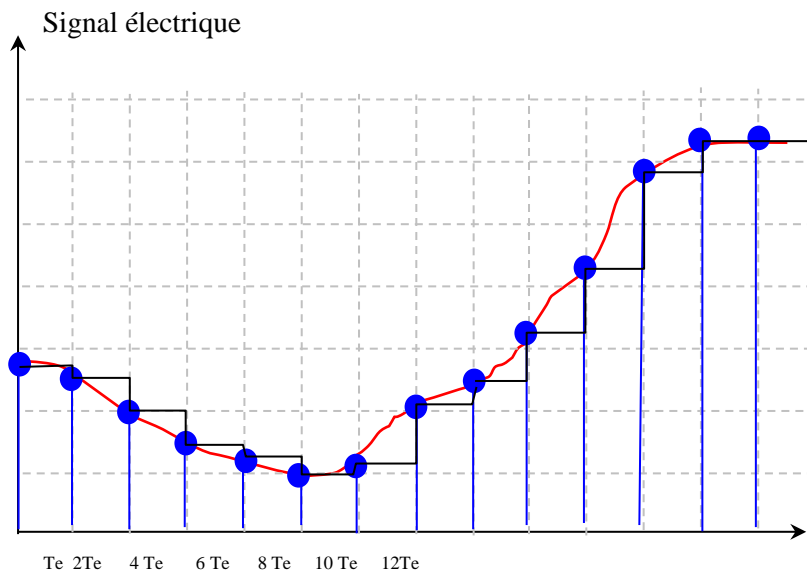
L'opération de conversion analogique-numérique va transformer un signal analogique continu en une valeur numérique. Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser les opérations :

- d'échantillonnage
- de quantification
- de codage

### II.1. Echantillonnage

**Echantillonner un signal, c'est prélever la valeur de ce signal pendant un intervalle de temps fixe, l'opération étant répétée périodiquement.** L'intervalle de temps fixe pendant lequel le signal analogique est bloqué dépend du temps de conversion du convertisseur. La fréquence d'échantillonnage dépend donc du convertisseur et du signal à analyser.

*Figure 4 : Représentation des valeurs échantillonnées :*

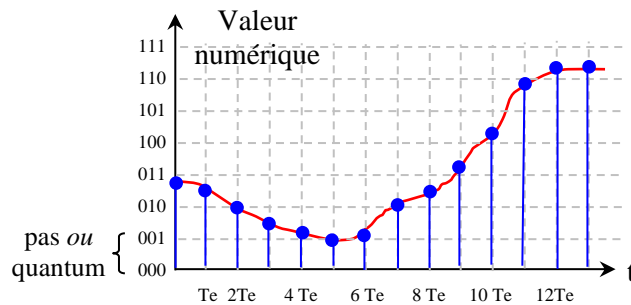


Pour que les opérations suivantes du convertisseur aient le temps de s'effectuer, il est nécessaire de **maintenir constant en sortie l'échantillon prélevé** dans le signal analogique jusqu'à l'arrivée du prélèvement suivant, c'est **l'opération de blocage**. On parle d'échantillonneur/bloqueur.

- La fonction originale est donc transformée en fonction en « escalier ». Mais chaque palier ne peut avoir une valeur d'amplitude quelconque, le signal numérique ne peut se représenter que par un nombre limité et fixé de valeurs. Il faut donc substituer à la valeur exacte de l'amplitude, un **nombre entier d'amplitudes élémentaires** appelées **quanta**, telle que l'amplitude ainsi obtenue soit la plus proche possible de l'amplitude du signal original.
- Ce nombre entier est ensuite **converti en signal numérique** selon la base numérique choisie et un code déterminé (ex : code binaire). Ce sont ces deux opérations, quantification et codage, qui forment le C.A.N. proprement dit.

## II.2. Quantification

La quantification est l'opération qui consiste à remplacer la valeur exacte du signal par une valeur numérique se rapprochant le plus de la valeur exacte.



On définit un quantum  $q$  par la première valeur positive différente de zéro et pouvant être appréciée.

Dans un CAN le **quantum** c'est en pratique la plus petite variation de la grandeur analogique d'entrée qui va provoquer une variation de 1 unité du code de sortie.

On l'appelle aussi le **pas**.

La résolution d'un CAN est le nombre  $N$  de bits avec lesquels s'exprime la valeur numérique codée.

Plus la valeur du quantum sera faible, meilleure sera la précision. Mais si le quantum est choisi trop faible, le nombre de pas nécessaires pour atteindre l'amplitude maximale sera important.

### II.3. Codage

La dernière étape d'une conversion analogique - numérique consiste à établir une relation biunivoque entre le nombre de quanta et son expression dans une base déterminée.

Il existe deux conventions pour réaliser cette association :

- Valeur par défaut : si la valeur  $\in [N ; N+1[$ , elle prendra la valeur numérique  $N$ .
- Valeur par excès : si la valeur  $\in [N ; N+1[$ , elle prendra la valeur numérique  $N+1$ .

On utilise habituellement le codage par défaut.

✓ *Code binaire naturel*

Un mot binaire  $[N]$  de  $n$  bits s'écrit :  $N = [a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0]$

L'équivalent décimal s'écrit : 
$$N = a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

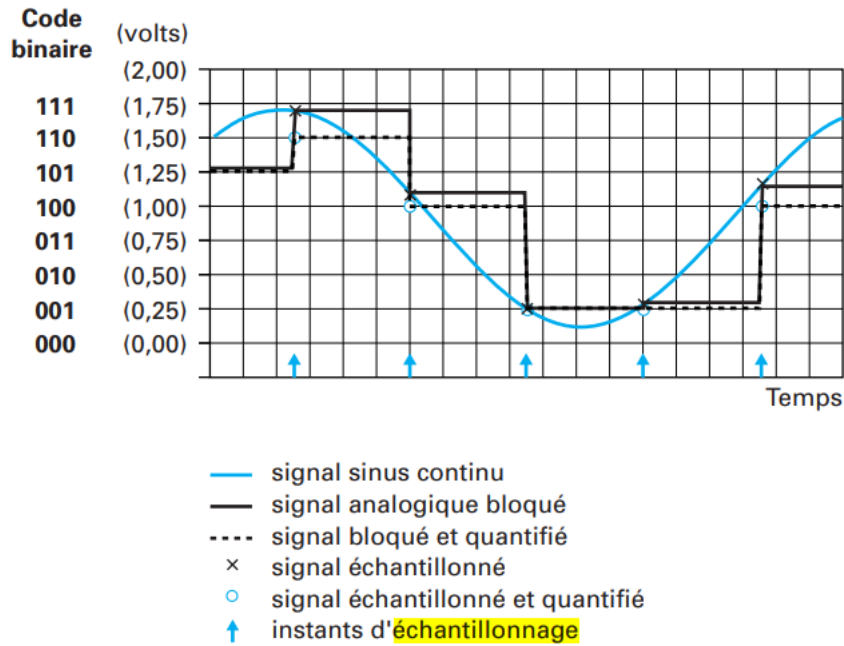
avec  $a_i = 0$  ou  $1$

L'élément binaire  $a_{n-1}$  est appelé bit de poids le plus fort ou MSB (Most Significant Bit). Il représente la moitié de la pleine échelle (0,5 PE).

L'élément binaire  $a_0$  est appelé bit de poids le plus faible ou LSB (Least Significant Bit). Il vaut  $2^{-n}$ .PE pour un mot de  $n$  bits.

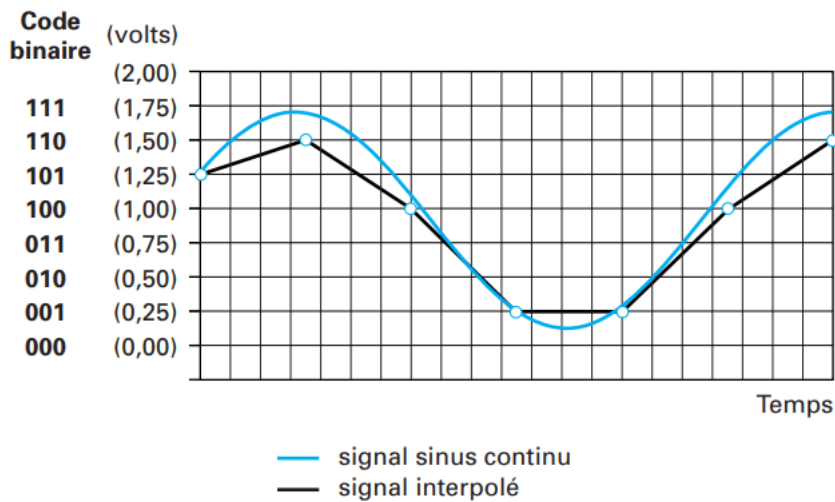
La valeur max est  $N_{\max} = 2^n - 1$





**Remarque :** la courbe en noir pointillé peut aussi représenter la conversion NA, en considérant que la valeur réelle souhaitée est celle marquée par le repère "X" (signal échantillonné) avant troncation sur 3 bits et que c'est le signal bloqué et quantifié qui représente la sortie du NA

**(b) échantillonnage par "blocage" puis quantification du signal**



**(c) comparaison entre le signal et le tracé, interpolé linéairement, entre les points échantillonnés et quantifiés**