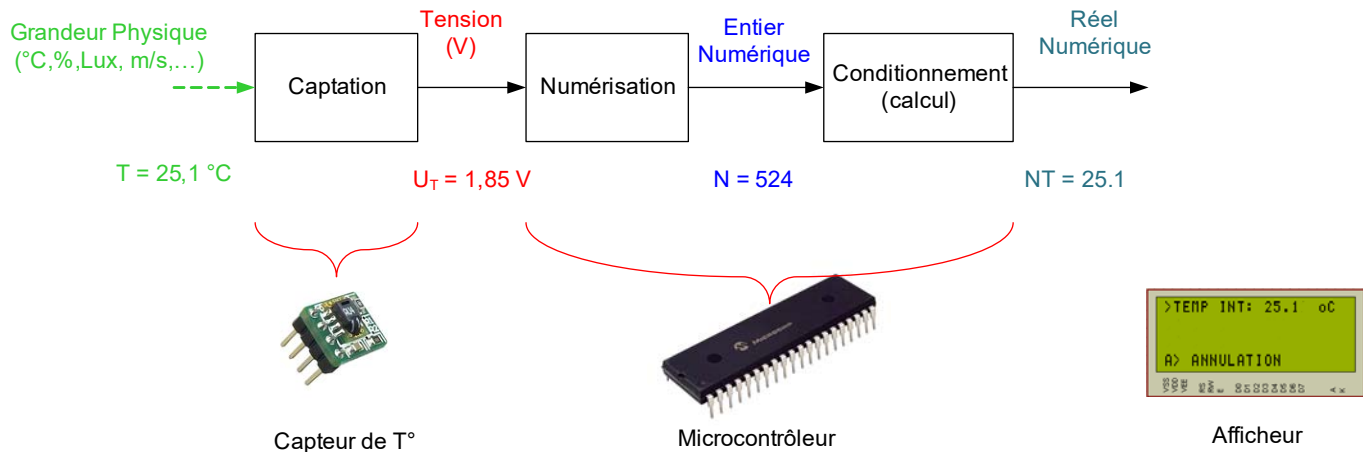


## 1. Principe de l'acquisition et du conditionnement d'une grandeur physique

Il n'est pas rare sur un système Micro-électronique de devoir faire l'acquisition d'une grandeur physique (Température, Humidité, Vitesse, luminosité, etc...) afin par exemple de l'afficher. Le principe de la numérisation d'une telle grandeur est réalisé en trois étapes, définies à partir de la chaîne d'information suivante :



## 2. Captation de la Grandeur Physique :

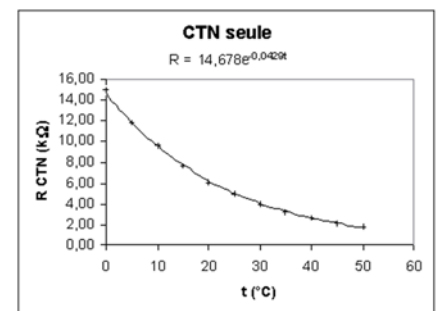
Différents capteurs permettent de générer un signal électrique (Tension ou courant) proportionnel à la grandeur physique à mesurer. Un **capteur** est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable par un microcontrôleur, telle qu'une **tension**.

Il existe 3 technologies de capteurs :

- **analogique** : délivre une tension ou un courant de sortie proportionnel à la grandeur physique
- **numérique** : délivrent directement une valeur numérique  $N$  proportionnel à la grandeur physique
- **logique** : délivre une information TOR : Tout ou Rien (Exemple : contact de porte)

La nature du signal électrique de sortie d'un capteur analogique peut être continue ou alternative, avec une plage de tension variant de 0 à 24V suivant le capteur. Dans la plus part des cas, la caractéristique de transfert Entrée/Sortie est linéarisée, afin de faciliter le traitement de l'information par le système numérique. D'autres capteurs ont une caractéristique non-linéaire, plus difficile à mettre en équation.

Pour un traitement numérique, il est souhaitable de choisir un capteur analogique fournissant une tension analogique comprise entre 0 et 3.3V à 5V.



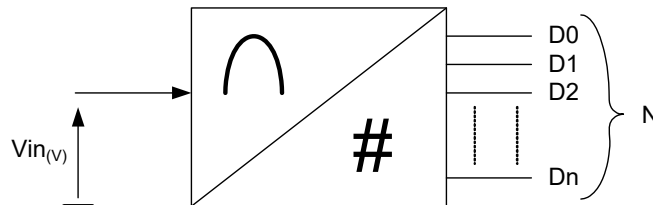
Boussole HMC 6252 (I2C)

Les capteurs numériques constituent une grande avancée dans le monde du numérique. Ils délivrent directement une information numérique par transmission série (Bus I²C, Bus Série, SPI, etc.).

La plupart des appareils numériques en sont équipés comme les téléphones portables fournissant les informations de température, l'heure (horloge temps réel), l'inclinaison (axéromètre), l'orientation (boussole), etc..

### 3. Numérisation : conversion Analogique /Numérique

La numérisation consiste à transformer une grandeur électrique, généralement une tension, en une valeur entière numérique **N**. Cette opération est réalisée par un convertisseur Numérique/Analogique, noté AN, ou AD en anglais (Analog to Digital).



#### Caractéristiques d'un convertisseur AN

- **La plage de tension de conversion** : appelée **Tension Pleine Echelle** (**VFS** : Voltage Full Scale). Elle correspond à la valeur de tension maximale d'entrée que le circuit peut convertir. Généralement liée à la tension d'alimentation du composant.
- **La résolution de conversion** : définit le **nombre de combinaisons** utilisé pour restituer l'information numérique de conversion. Plus le nombre de combinaisons est élevé, plus la précision est grande. Elle dépend directement du **nombre de bits** du convertisseur (Rappel : Nombre de Combinaisons =  $2^{N_{bits}}$  )
- **le quantum** (noté **q**) qui symbolise la **précision** du convertisseur. Le quantum correspond à la variation minimale de la tension d'entrée permettant d'incrémenter (+1) ou de décrémenter (-1) la valeur numérique de conversion **N** . **Plus le quantum est faible, plus la précision est grande !**

$$q(V) = \frac{\text{TENSION PLEINE ECHELLE}}{\text{NOMBRE DE COMBINAISONS}} = \frac{VFS}{(2^N - 1)}$$

**Remarque** : Le quantum varie en fonction de la valeur N max et de la tension d'entrée  $V_{IN}$  :

- si le mot de sortie **Nmax** correspond à la valeur de **VFS** alors :  $q(V) = \frac{VFS}{(2^N - 1)}$
- si le mot de sortie **Nmax** correspond à la valeur de **VFS - q** alors :  $q(V) = \frac{VFS}{2^N}$

#### Exemple :

- un convertisseur **8 bits** alimenté en 5V peut afficher les variations d'une tension de 0 à 5V :

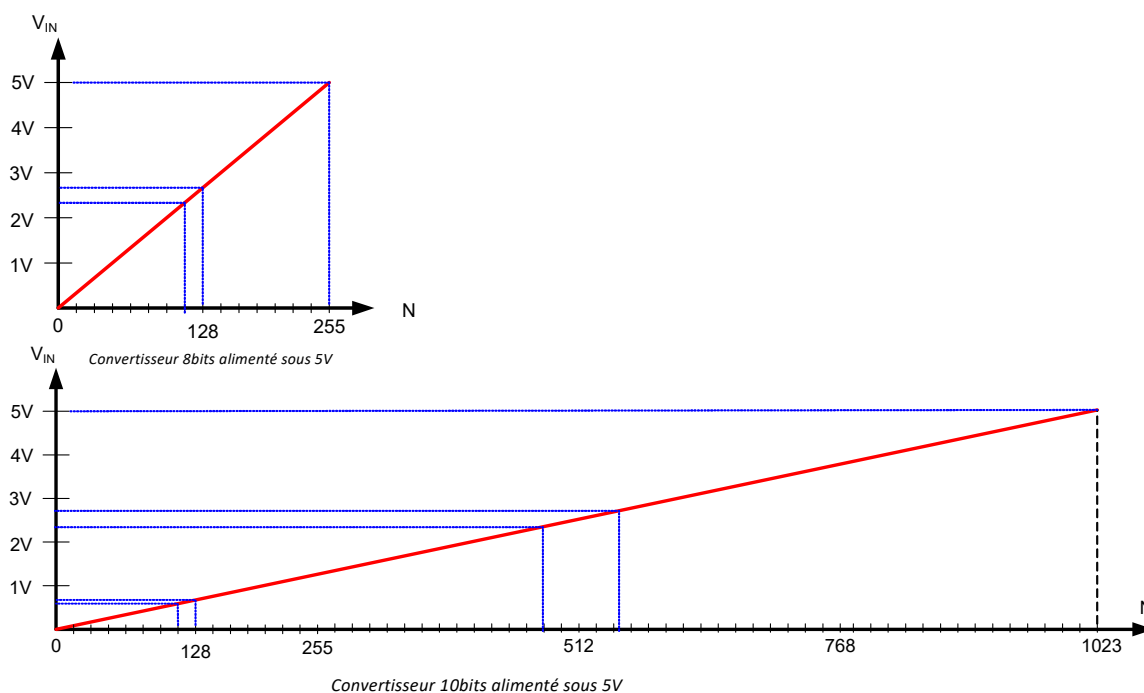
$$q(V) = \frac{VFS}{(2^N - 1)} = \frac{5}{(2^8 - 1)} = \frac{5}{255} = \mathbf{19,6\ mV} \quad \text{--> Changement de N } (\pm 1) \text{ tous les } \mathbf{19,6\ mV}$$

- un convertisseur **10 bits** alimenté en 5V peut afficher les variations d'une tension de 0 à 5V :

$$q(V) = \frac{VFS}{2^N - 1} = \frac{5}{2^{10} - 1} = \frac{5}{1023} = \mathbf{4,88\ mV} \quad \text{--> Changement de N } (\pm 1) \text{ tous les } \mathbf{4,88\ mV}$$

Concrètement, suivant la **précision** du convertisseur (le **quantum**) il sera possible d'afficher par exemple une température au **degré** près avec 8 bits, et au **dixième** de degré près avec un convertisseur 10 bits :

N	0	1	2	...	10	11	etc...
T° ( 8 bits )	0	1°C	2°C	...	10°C	11°C	etc...
T°( 10 bits )	0	0,1 °C	0,2°C	...	1°C	1,1°C	etc...



**Plus le convertisseur possède de bits, plus le quantum est faible, plus la précision est grande !**

### Conversion de la tension d'entrée

La valeur de conversion N par rapport à la tension d'entrée  $V_{IN}$  est donnée par la relation :

$$N = \frac{V_{IN}}{q} = \frac{V_{IN}}{\frac{V_{FS}}{2^N - 1}} = \frac{V_{IN} \times (2^N - 1)}{V_{FS}}$$

**Exemple :**

1. Pour un convertisseur 10 bits alimenté en 5 V, la conversion AN de la tension d'entrée de 2,25 V donne :

$$N = \frac{V_{IN} \times (2^{nbit} - 1)}{V_{FS}} = \frac{2,25 \times (2^{10} - 1)}{5} = \frac{2,25 \times 1023}{5} = 460$$

2. Avec un convertisseur 12 bits alimenté en 5 V, la conversion AN de cette même tension donne :

$$N = \frac{V_{IN} \times (2^{nbit} - 1)}{V_{FS}} = \frac{2,25 \times (2^{12} - 1)}{5} = \frac{2,25 \times 4095}{5} = 1842$$

## Technologie des convertisseurs

On distingue 3 grandes technologies : **Double pente**, **approximations** successives et **Flash**. Cette dernière est désormais la plus répandue et utilisée, de part sa vitesse de conversion et sa facilité d'intégration dans les microcontrôleurs ou circuits numériques tels que les capteurs numériques

	Durée de CV	Fréq. Utilisation	Nbre de bits	Coût
Double pente	$2^N$ cycles	kHz	> 16 bits	\$
Approximations	N cycles	~ 50 kHz	16 bits	\$\$
<b>Flash</b>	<b>1 cycles</b>	<b>&gt; 10 Mhz</b>	<b>10 - 12 bits</b>	<b>\$\$</b>

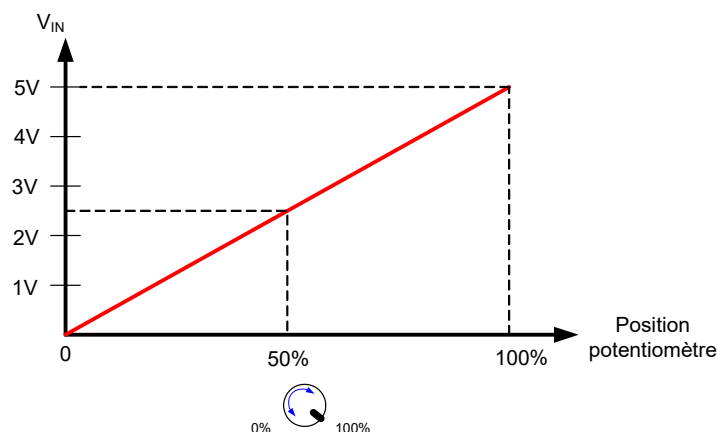
## 4. Conditionnement

Il n'est pas aisé de travailler directement avec des entiers numériques, sans savoir à quelle valeur de la **grandeur physique mesurée** ceux-ci correspondent : **comment savoir que 524 correspond à 25,1 °C ???**

Le **conditionnement** consiste donc à mettre en forme la donnée numérique de conversion afin de la rendre **exploitable** par l'unité logicielle de traitement.

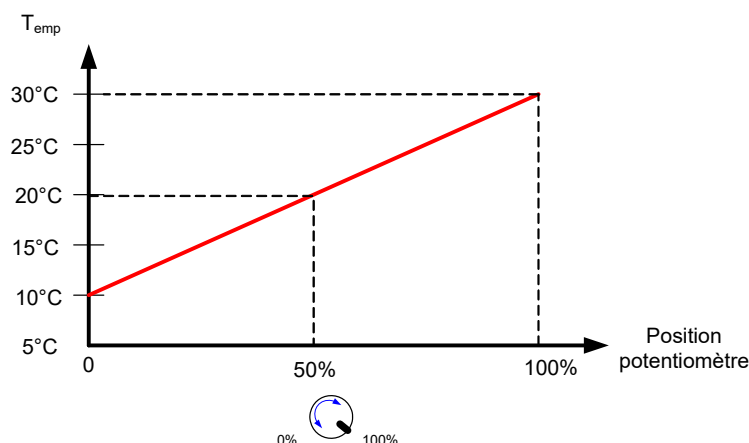
Supposons un élément de commande (potentiomètre par exemple) fournissant pour ses deux positions extrêmes une grandeur variant continuellement de 0 à 5V. En voici la caractéristique représentée par une fonction **linéaire** :

$$V_{in} = a \cdot \text{Position\%}$$

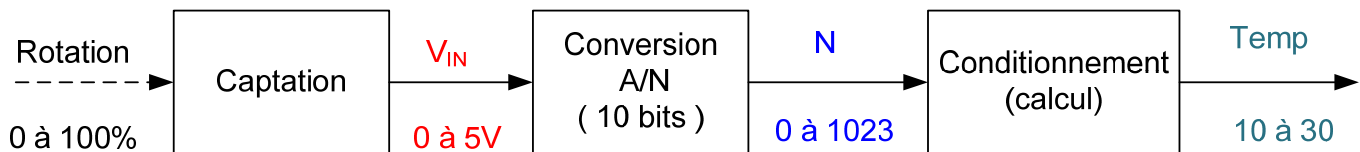


Cette variation dans votre projet doit être le reflet d'une grandeur physique que vous désirez « manipuler ». Ainsi supposons que les deux butées doivent correspondre dans votre projet, à une **consigne de température** variant de **+10°C** à **+30°C**. Vous désirez donc que la caractéristique devienne la suivante (fonction **affine**) :

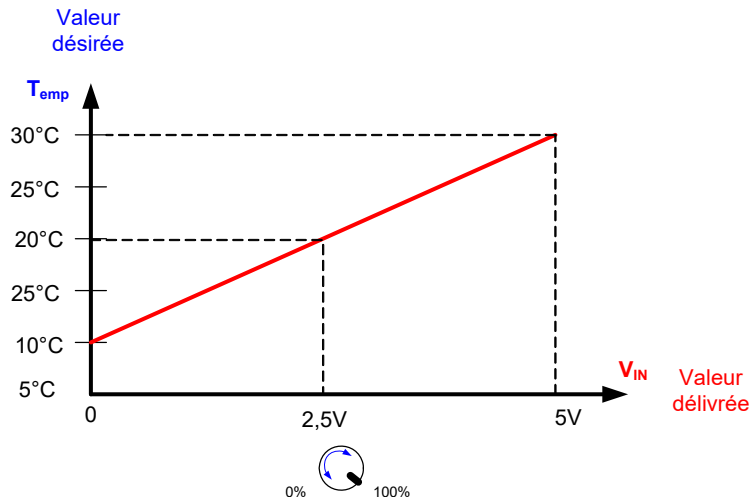
$$\text{Temp} = a \cdot \text{Position\%} + b$$



L'étape permettant de passer de la première caractéristique à la deuxième se nomme le « **conditionnement** ». La représentation ci-dessous montre la chaîne complète :



Pour trouver la caractéristique de la fonction conditionnement, il suffit de reprendre les deux caractéristiques précédentes et de les associer :



Il ne reste plus qu'à trouver l'équation de la caractéristique qui est de la forme :

$$\text{Temp} = a \times V_{IN} + b \quad (\text{fonction affine de la forme } y = a.x + b)$$

Il suffit de déterminer **a** et **b** par substitution. La résolution donne :

$$\text{Temp} = 4 \times V_{IN} + 10$$

Reste à transformer **VIN** en valeur **numérique**. Cette opération est réalisée par le **convertisseur AN**. Prenons le cas d'un convertisseur **10 bits** sous tension **pleine échelle de 5v**, on obtient grâce au calcul du quantum  $q = 5 / (2^{10} - 1)$

$$N = V_{IN} / q = (V_{IN} \times [2^{10} - 1]) / 5 = (V_{IN} \times 1023) / 5$$

On recherche alors ce que vaut **VIN** en fonction de **N** :

$$5 \times N = V_{IN} \times 1023$$

$$(5 \times N) / 1023 = V_{IN}$$

On remplace alors **VIN** dans l'équation de **Temp** pour mettre en relation **Temp** et **N** :

$$\text{Temp} = 4 \times V_{IN} + 10 \quad \text{donc : } V_{IN} = (\text{Temp} - 10) / 4$$

Que l'on remplace dans l'équation  $V_{IN} = (5 \times N) / 1023$  :

$$(\text{Temp} - 10) / 4 = (5 \times N) / 1023$$

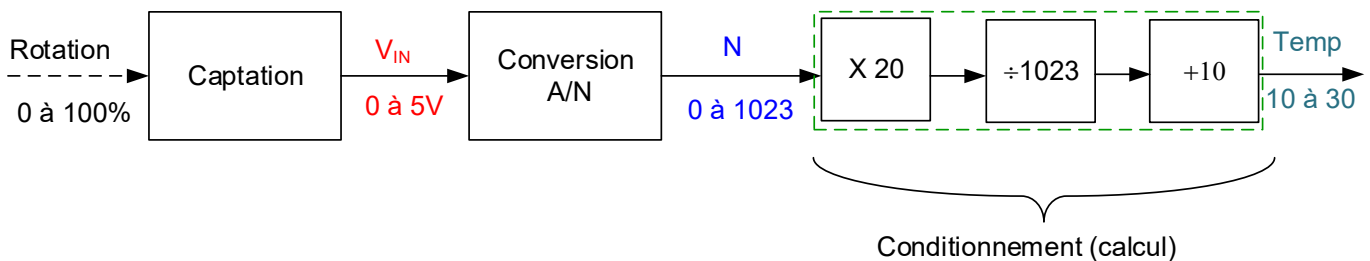
$$\text{Soit : Temp} = (4 \times (5 \times N) / 1023) - 10$$

D'où le **conditionnement** de **Temp** par **N** suivant :

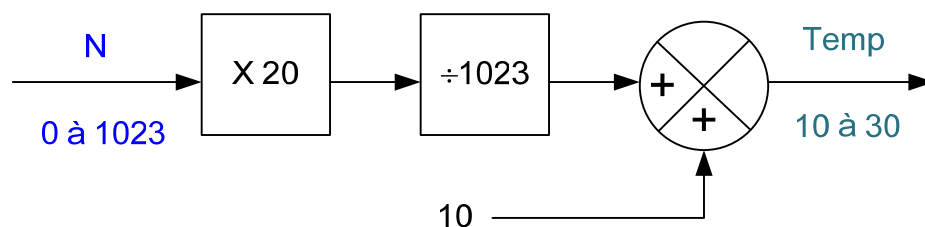
$$\text{Temp} = 20 \times N / 1023 + 10$$

Il faut donc réaliser 3 opérations mathématiques pour conditionner le signal numérique de conversion N : une **multiplication** par **20** suivie d'une **division** par **1023**, puis une **addition** de **10**.

Ainsi la chaîne d'acquisition complète se représente de la manière suivante :



Une représentation normalisée (schéma bloc) du bloc **conditionnement** serait la suivante :



Le tableau de mesures suivant représente l'évolution des grandeurs en fonctions de la consigne de Température

Pot	0%	5%	10%	15%	25%	50%	75%	90%	100%
$V_{IN}$	0V	0.25V	0.5V	0.75V	1.25V	2.5V	3.75V	4.5V	5V
N (Entier)	0	51	102	153	255	511	767	920	1023
Temp (Réel)	10	10.99	11.99	12.99	14.98	19.99	24.99	27.98	30

