



# Chef de Projet en Automatisation, Robotique et Informatique Industrielle CP ARII

*Gérer une information analogique*

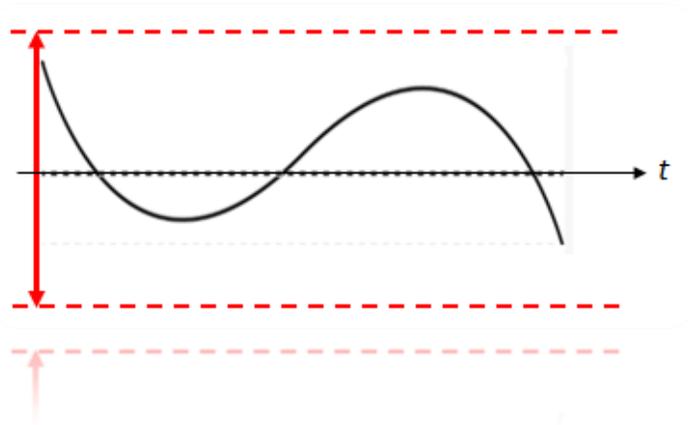
*Elaborer et transcrire un module de gestion d'une mesure analogique*

**Patrick MONASSIER**

## Sommaire

1. Le signal analogique
2. Conversion analogique vers numérique
3. Les perturbations
4. Les types d'erreurs classiques
5. Les capteurs
6. Le codage d'une donnée analogique
7. Les réseaux
8. Les supports video

## Le signal analogique



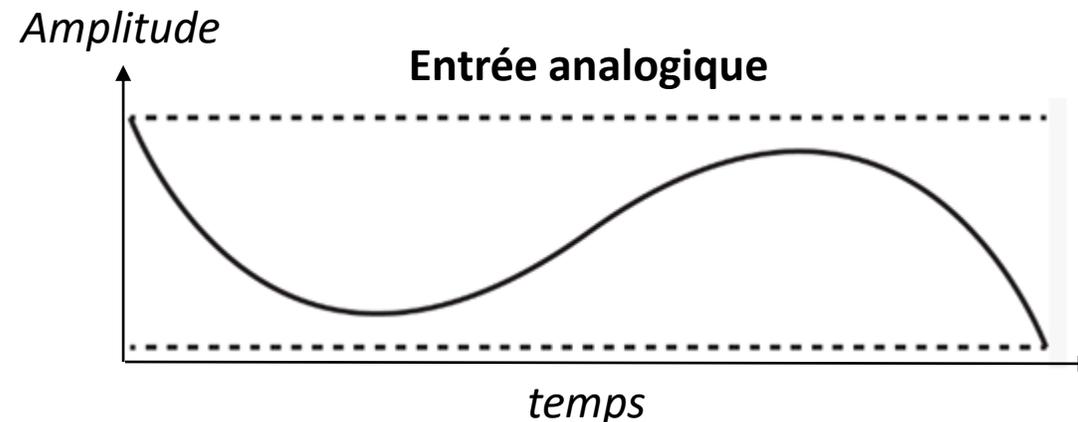
- Le signal analogique
- Le capteur
- Le système d'acquisition
- L'amplitude
- Les sorties des capteurs
- Les types de signaux
- Comparatif tension/courant
- La boucle 4/20 mA
- L'hystérésis
- La linéarisation
- *Exercices*

## Le signal analogique

L'analogique et le numérique sont deux procédés pour transporter et stocker des données. L'analogique est né avec le début de l'électricité tandis que le numérique est apparu plus récemment avec l'ère de l'informatique .

La **différence entre** les deux réside dans la façon dont les signaux **sont** traités et sauvegardés. Si, dans le cas de la technologie **numérique**, un signal sonore **est** converti en système binaire (à base de 1 et de 0), la technologie **analogique** conserve le signal sous sa forme non codée.

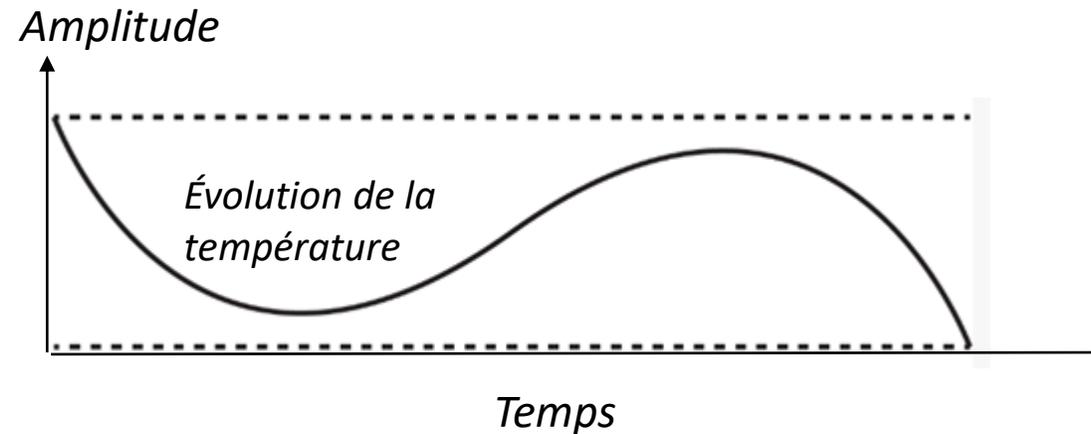
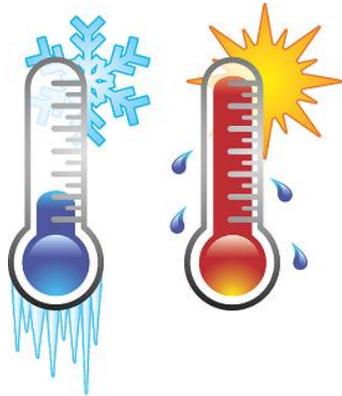
Un signal **est** dit **analogique** si l'amplitude de la grandeur porteuse de l'**information** peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle de temps donné, fonction du temps. La grandeur **analogique est** représentative d'un courant ou d'une tension



## Le signal analogique

Une entrée analogique permet de recueillir un **signal électrique variable** pouvant prendre une **infinité de valeurs** s'étendant sur une **plage définie**. La valeur d'une entrée analogique change continuellement **dans le temps** en fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur.

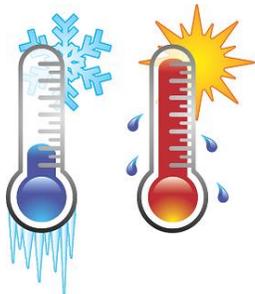
Les grandeurs physiques mesurables par un **capteur analogique** sont par exemple : une vitesse, une pression, une température, une distance etc...



## Le capteur

Le **capteur** est un instrument de mesure qui mesure une grandeur physique. Pour cela, il émet un signal électrique qui **est** proportionnel à la grandeur physique mesurée. Ce signal électrique peut prendre n'importe **quelle** valeur sur une plage de variation définie.

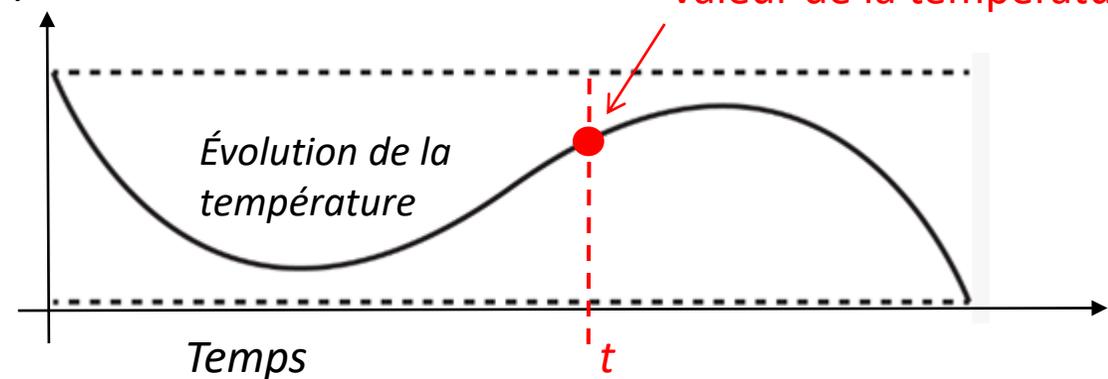
grandeur physique



*capteur*

signal électrique

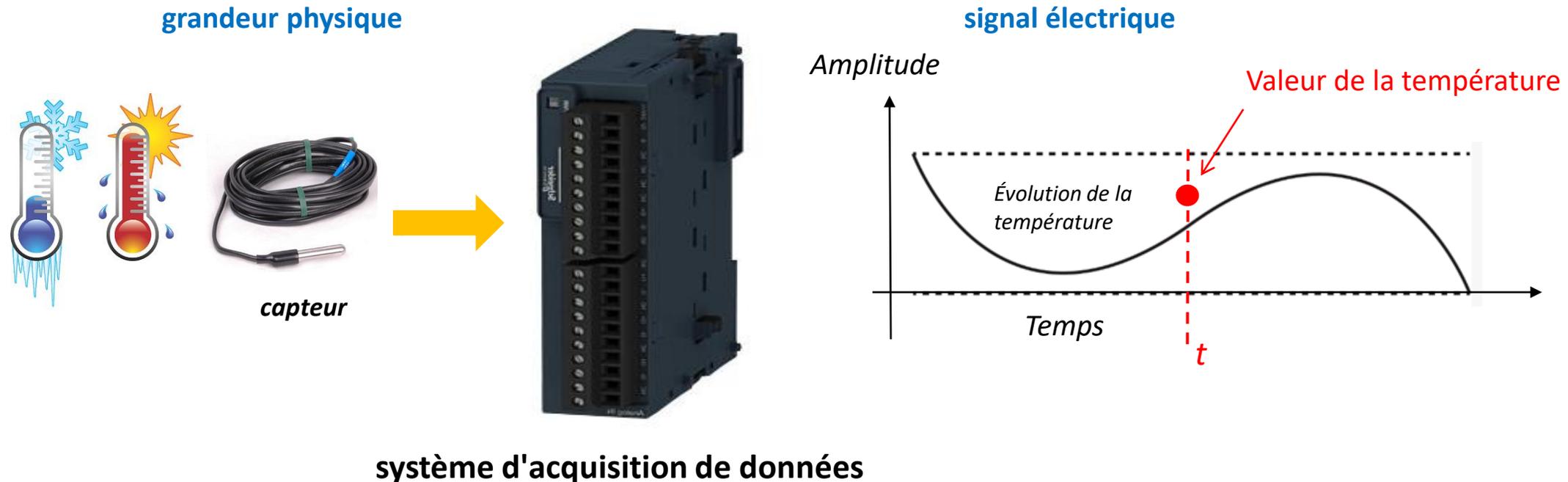
Amplitude



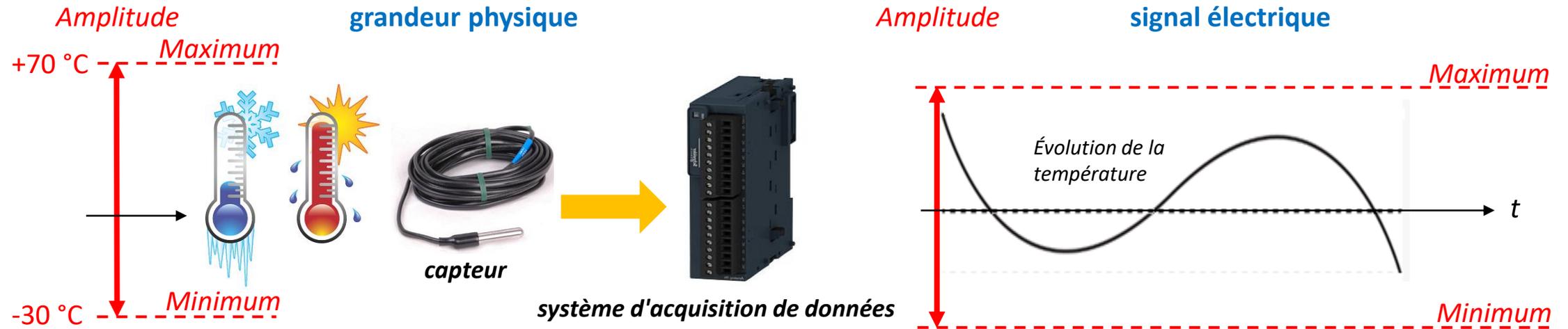
Un **capteur** convertit la grandeur physique à mesurer en une grandeur électrique et traite cette dernière de telle manière à ce que les signaux électriques puissent être facilement transmis et traités en aval

## Le système d'acquisition

En automatisme, le **système d'acquisition de données** représente l'interface entre le capteur et l'automate ou l'ordinateur. Ce système, composé de circuit imprimé et de logiciel, permet de recueillir automatiquement les informations analogiques provenant du capteur.



# L'amplitude



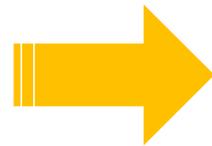
## Les sorties des capteurs

Les sorties des capteurs sont utilisées pour se connecter aux entrées analogiques du système d'acquisition de données. La sortie de signal des capteurs doit être connectée à une entrée de signal sur le port désiré.

**Entrée en tension** : La tension de sortie du capteur est directement proportionnelle à la mesure physique

**Entrée en courant** : La boucle de courant consiste à faire circuler dans une paire de conducteurs électriques un courant dont l'intensité est l'image du signal à transmettre

**Entrée en résistance** : La valeur de la résistance est directement proportionnelle à la mesure physique

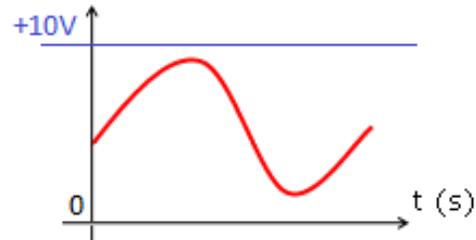


Signal de type **tension**  
Signal de type **courant**  
Signal de type **résistance**



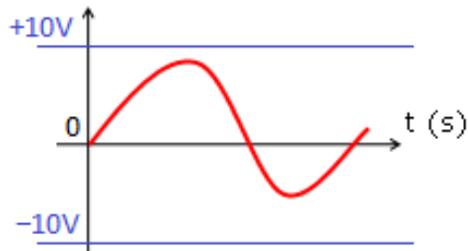
## Les Types de signaux

On distingue principalement **3 types de signaux d'entrée analogiques** :



### Les signaux de type tension

- Les signaux de type tension sont générés par certains types de capteurs analogiques. Les plages d'opération les plus courantes sont le 0-5 VDC, 0-10 VDC, -10VDC/+10VDC...



### Les signaux de type courant

- Le signal 4-20 mA est devenu le signal de courant standard dans l'industrie. On peut aussi rencontrer du 0-20 mA.

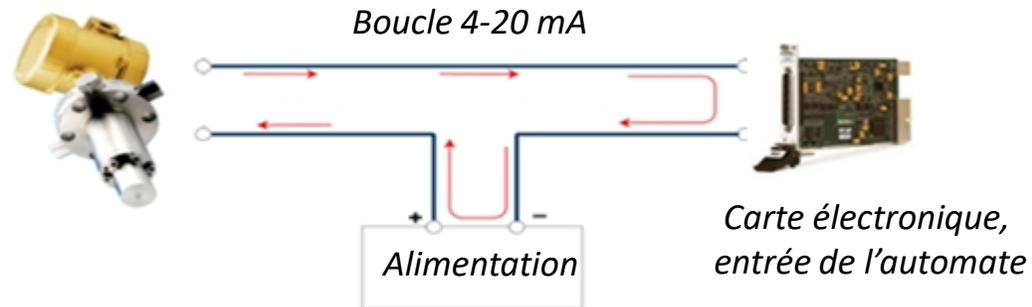
### Les signaux de type résistance

- Les signaux de type résistance sont dans la plupart du temps utilisés avec les capteurs de température comme les thermocouples.

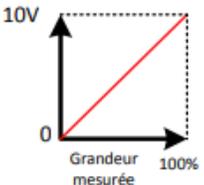
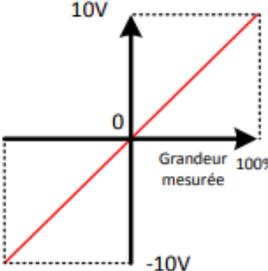
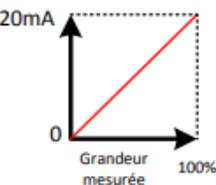
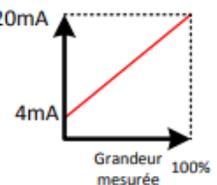


Exemple de thermocouple

Capteur convertisseur 4-20 mA

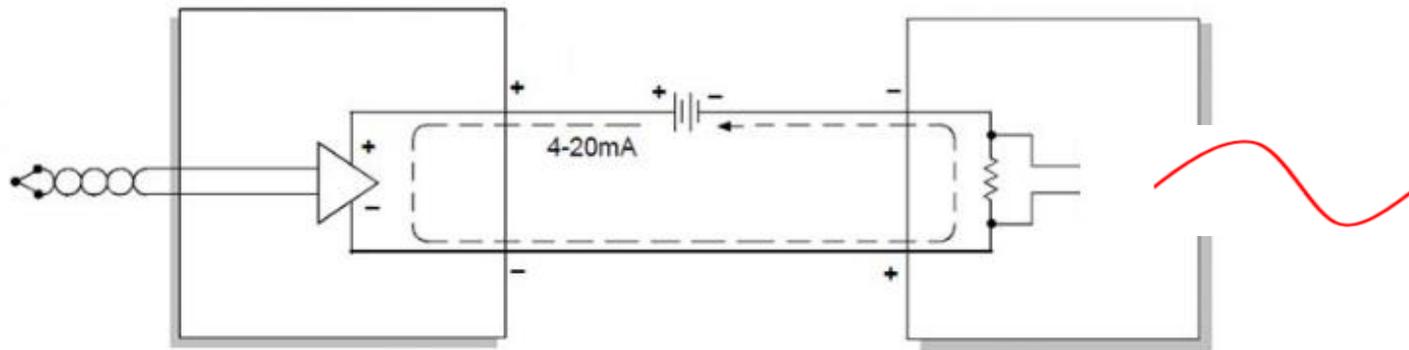


## Comparatif tension/courant

Nature du signal	0/10V	-10V/10V	0/20mA	4/20mA
Caractéristique				
Longueur de la liaison	10 m maxi	10 m maxi	> 100m	> 100m
Sensibilité aux parasites	élevée	élevée	faible	faible
Avantage	économique	précis	Fournit une valeur nulle en cas de rupture de liaison	Détecte la rupture de liaison
Inconvénient	Fournit une valeur aléatoire en cas de rupture de liaison		Pas de détection de la rupture de liaison	Moins précis
Loi de conversion	$U_s = \frac{\text{valeur mesurée} \times 10}{\text{Étendue de la mesure}}$	$U_s = \frac{\text{valeur mesurée} \times 10}{\text{Étendue de la mesure}/2}$	$I_s = \frac{\text{valeur mesurée} \times 20}{\text{Étendue de la mesure}}$	$I_s = \frac{\text{valeur mesurée} \times 16}{\text{Étendue de la mesure}} + 4$

## La boucle 4-20 mA - Pourquoi du 4 - 20 mA et non du 0 - 20 mA ? .... Ceci pour plusieurs raisons :

- 1 - L'avantage du 4 mA permet d'assurer une **surveillance de la boucle**. En effet, dans une boucle 0 - 20 mA, on ne peut pas faire la distinction entre une grandeur nulle et une rupture de la ligne (ou problème sur un élément)
- 2 - La valeur 4 mA permet d'**assurer l'alimentation du capteur** dans la partie comprise entre 0 et 4 mA. C'est la technologie 2 fils qui assure beaucoup de simplicité de câblage et une certaine sécurité puisque l'alimentation se situe aux environs de 24 V pour un courant maxi qui pourra être limité à une valeur faible
- 3 - Ce **standard permet la cohérence** entre les différents standards puisque le maximum est toujours égal à 5 fois le minimum

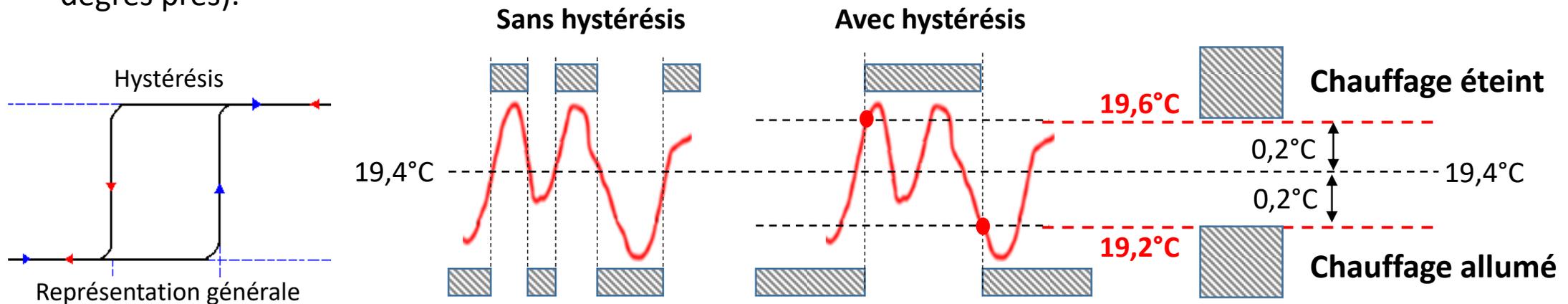


## L'hystérésis

L'**hystérésis** est la propriété d'un système dont l'évolution ne suit pas le même chemin selon qu'une cause extérieure augmente ou diminue.

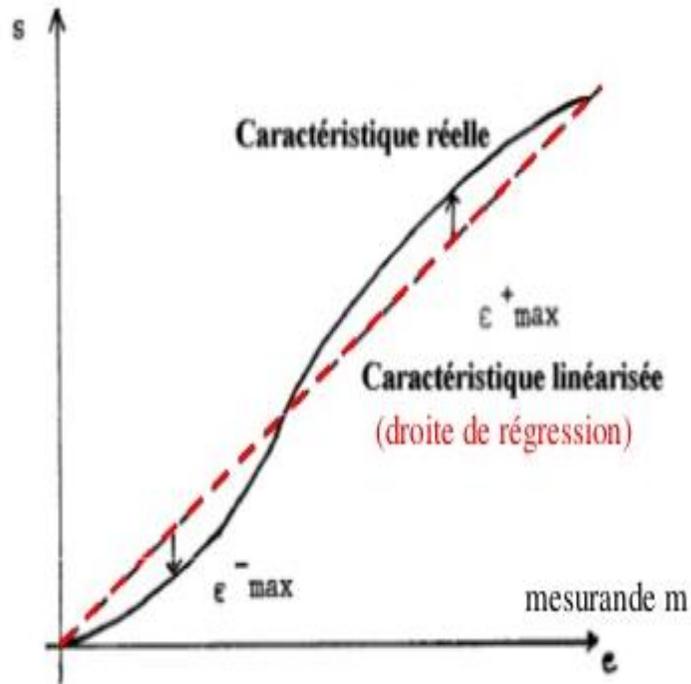
On peut concevoir volontairement un dispositif présentant une hystérésis, par exemple pour les **régulations de température** par thermostat, on introduit de l'hystérésis dans la commande afin que la consigne de température pour l'allumage soit différente de la consigne pour l'arrêt. Ceci permet **d'éviter de trop nombreuses mises en marche ou extinctions** de la chaudière. Les comparateurs réalisant cette fonction sont appelés comparateurs à hystérésis.

**Dans cet exemple** le chauffage est activé quand la température décroît en dessous de  $19,2\text{ °C}$  et coupé quand elle dépasse  $19,6\text{ °C}$  donnant une hystérésis de  $0,4\text{ °C}$  : on dit que la température est réglée à  $19,4\text{ degrés}$  (à  $0,2\text{ degrés}$  près).



## La linéarisation

Réponse du capteur



La linéarité s'exprime en %, c'est l'erreur relative maximale entre la droite de régression et la caractéristique réelle

On sait que tous les capteurs sont naturellement **non linéaires**.

Du temps des indicateurs à aiguille, ce n'était pas un problème. Il suffisait de graduer en tenant compte de la non linéarité pour "coller" à la **grandeur lue**. Avec l'apparition des indicateurs numériques, plus personne n'accepte que l'indication soit **fausse**. C'est depuis ce temps là que les linéariseurs sont **devenus obligatoires**. Les tout premiers furent les thermocouples et les PT100. Aux thermocouples, on a dû aussi ajouter les compensations de soudure froide sans laquelle la "simple" linéarisation serait une infirmité.

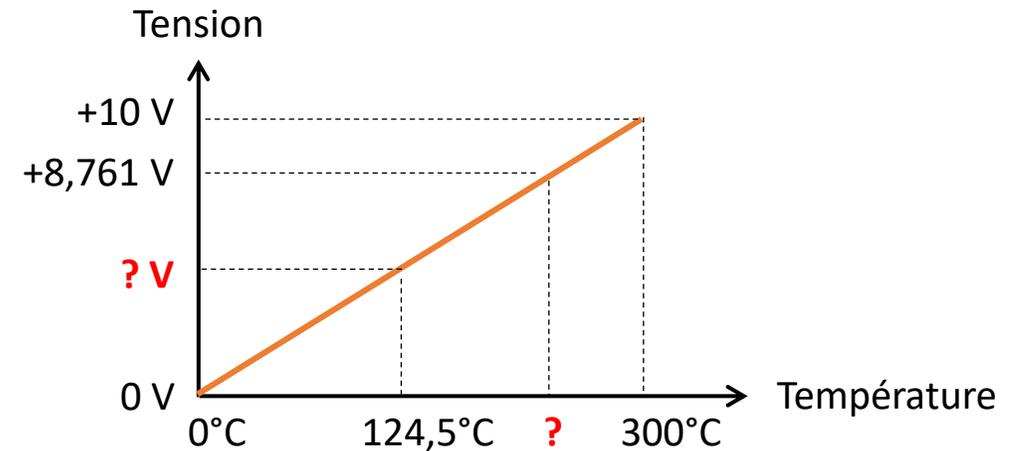
Il existe **différents procédés de linéarisation**, qui permette de corriger le défaut de linéarité d'un capteur ou de son conditionneur éventuel lorsqu'ils présentent dans leur domaine d'emploi des écarts à la linéarité interdisant de considérer la sensibilité comme constante. Ces procédés de linéarisation peuvent être classés en deux groupes :

- d'une part, ceux qui interviennent **sur la source** même du signal électrique de façon à linéariser ce dernier dès son origine
- d'autre part, ceux qui interviennent **en aval** de la source afin de corriger la non-linéarité du signal qu'elle fournit par un traitement approprié, analogique ou numérique.

## Exercice

La sortie 0/10V d'un thermostat délivre le signal  $0^{\circ}\text{C} \rightarrow 0\text{V}$  et  $300^{\circ}\text{C} \rightarrow +10\text{V}$ .

- A quelle tension correspond une température de  $124,5^{\circ}\text{C}$  ?
- A quelle température correspond un signal de  $8,761\text{V}$  ?



## Exercice (solution)

La sortie 0/10V d'un thermostat délivre le signal 0°C → 0V et 300°C → +10V.

- A quelle tension correspond une température de 124,5 °C ?

$$U_s = (124,5 \times 10) / 300 = 4.15 \text{ V}$$

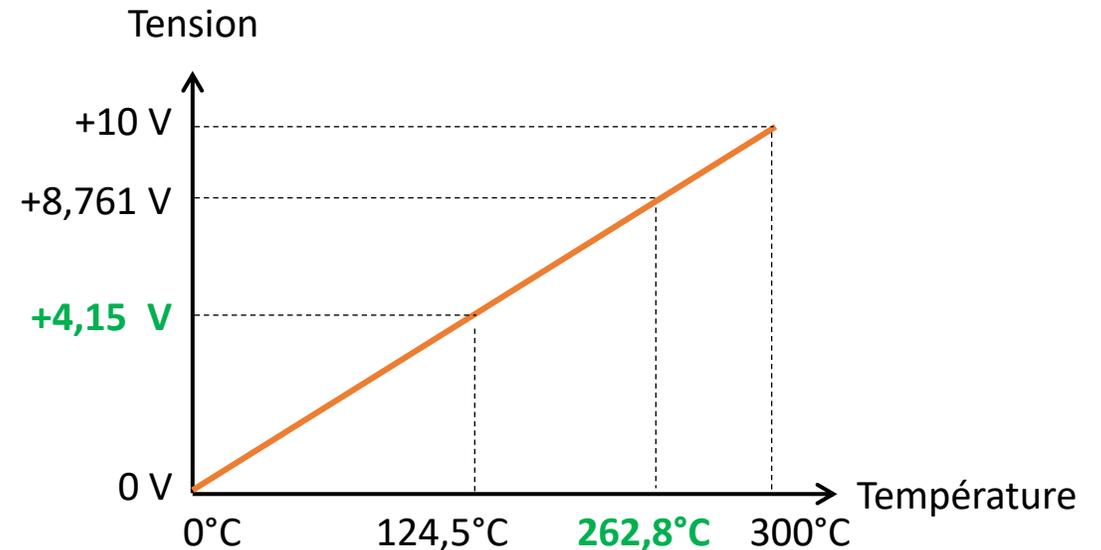
- A quelle température correspond un signal de 8,761 V ?

$$8,761 = (\text{valeur mesurée} \times 10) / 300$$

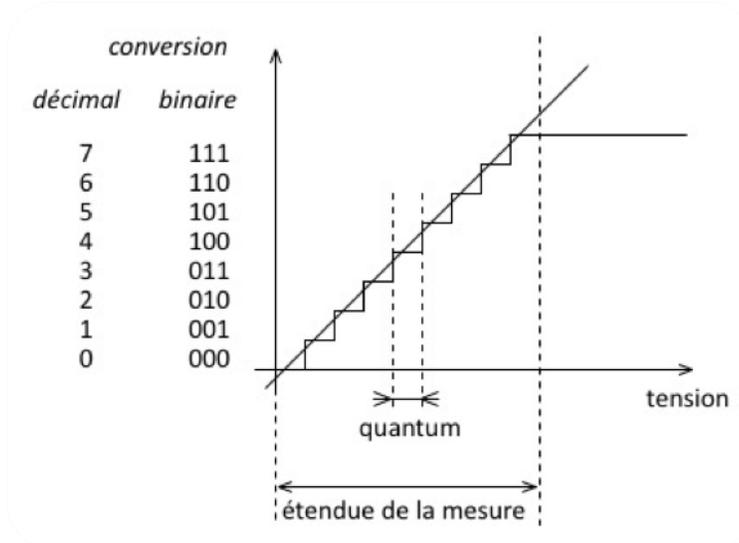
$$8,761 \times 300 = \text{valeur mesurée} \times 10$$

$$(8,761 \times 300) / 10 = \text{valeur mesurée}$$

$$\text{valeur mesurée} = 262,83^\circ\text{C}$$



## Conversion analogique vers numérique

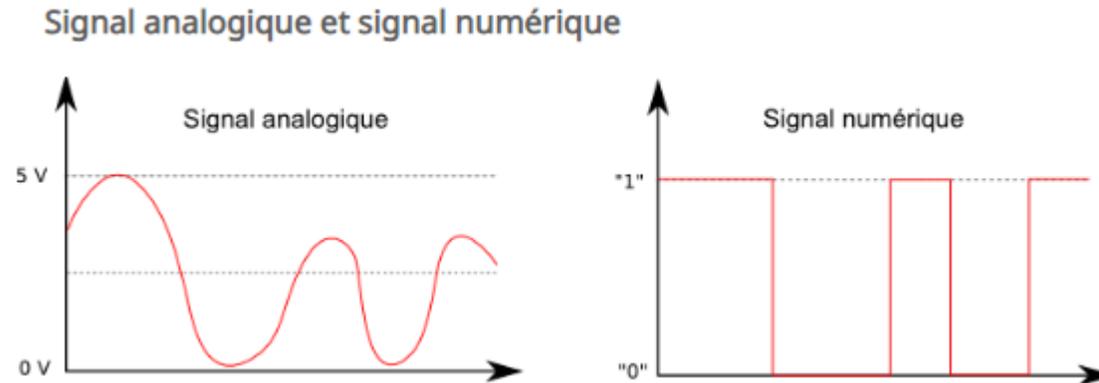


- La numérisation
- La chaîne de conversion
- Conversion sur un automate
- La conversion analogique-numérique
- CAN parallèle
- La dichotomie
- Technologies des CAN
- Le quantum
- L'échantillonnage
- La quantification
- Le réglage des paramètres
- Circuits et modules CAN
- La représentation numérique
- La résolution
- Architecture d'un automate
- Analogique vs Numérique

## La numérisation

Un signal analogique est un signal continu qui peut prendre une infinité de valeurs, alors que le signal numérique est un signal discret (discontinu), qui se résume en une succession de « 0 » et de « 1 ».

L'objectif de la numérisation est de transformer le signal analogique qui contient une quantité infinie d'amplitudes en un signal numérique contenant lui une quantité finie de valeurs.

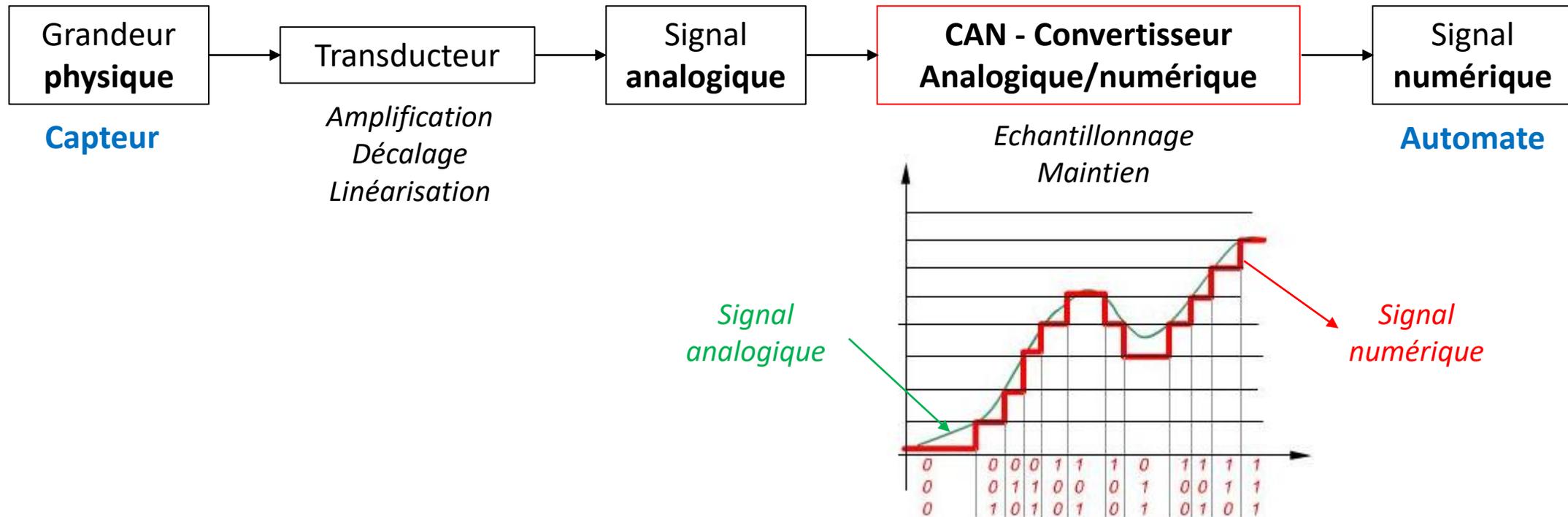


Le passage de l'analogique au numérique consiste en 2 étapes successives :

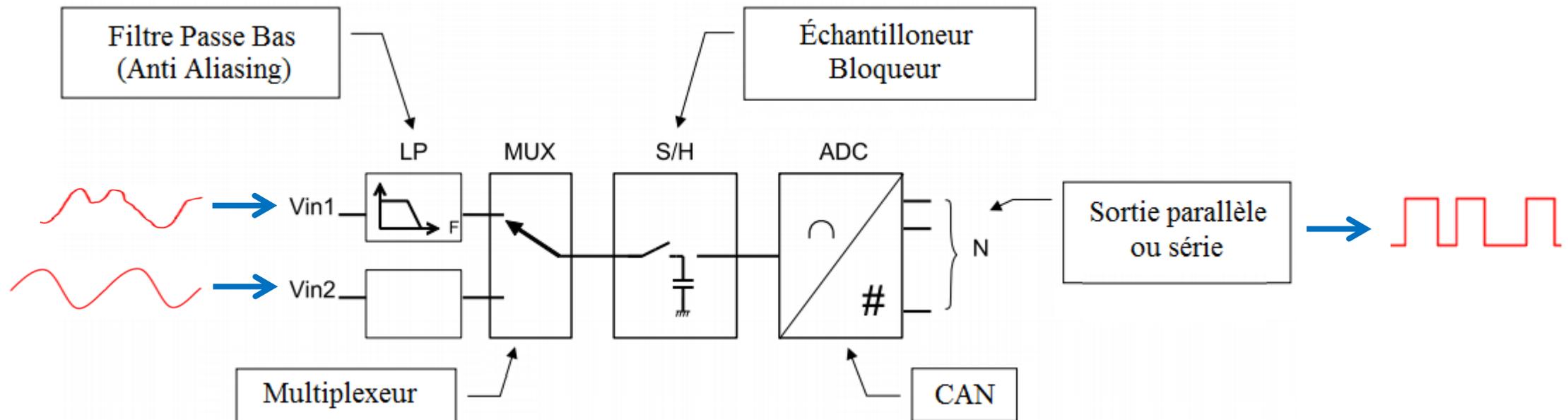
1. La conversion analogique-numérique (CAN).
2. L'échantillonnage

## La chaine de conversion

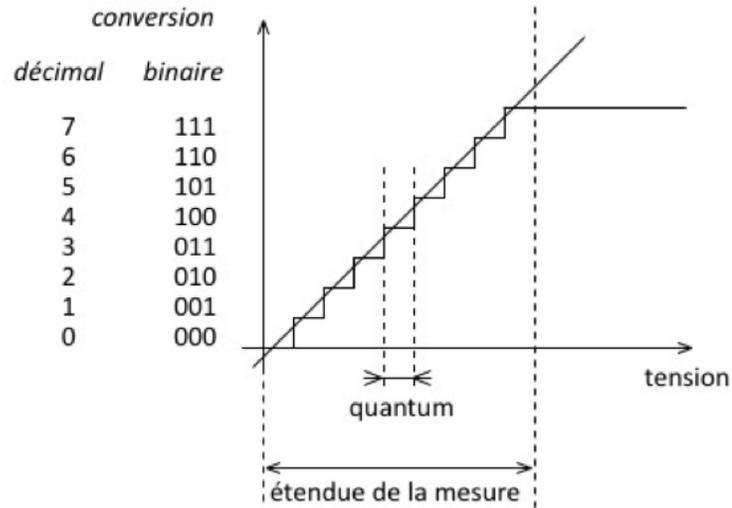
Les **signaux analogiques** provenant d'un **capteur** doivent être conditionnés et convertis en signaux numériques afin de pouvoir être interprétés par un automate . Cette conversion est faite par un **convertisseur analogique numérique (CAN)** située au niveau de l'automate (module E/S analogiques). En effet, le microprocesseur d'un automate ne peut traiter que des valeurs **numériques** ou **binaires**



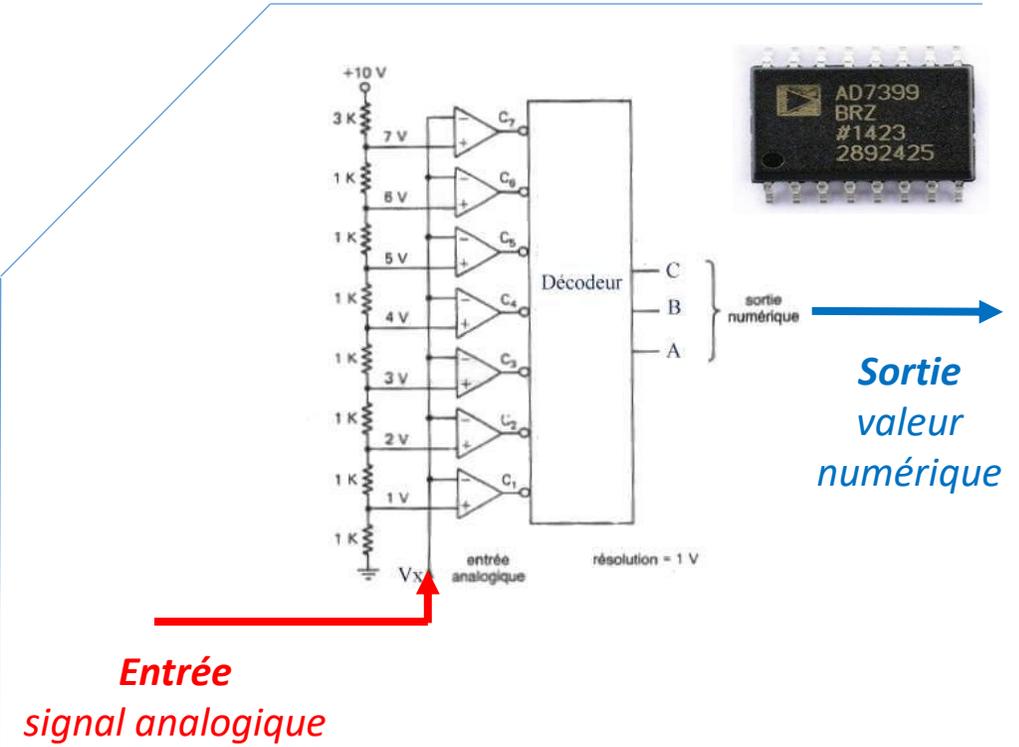
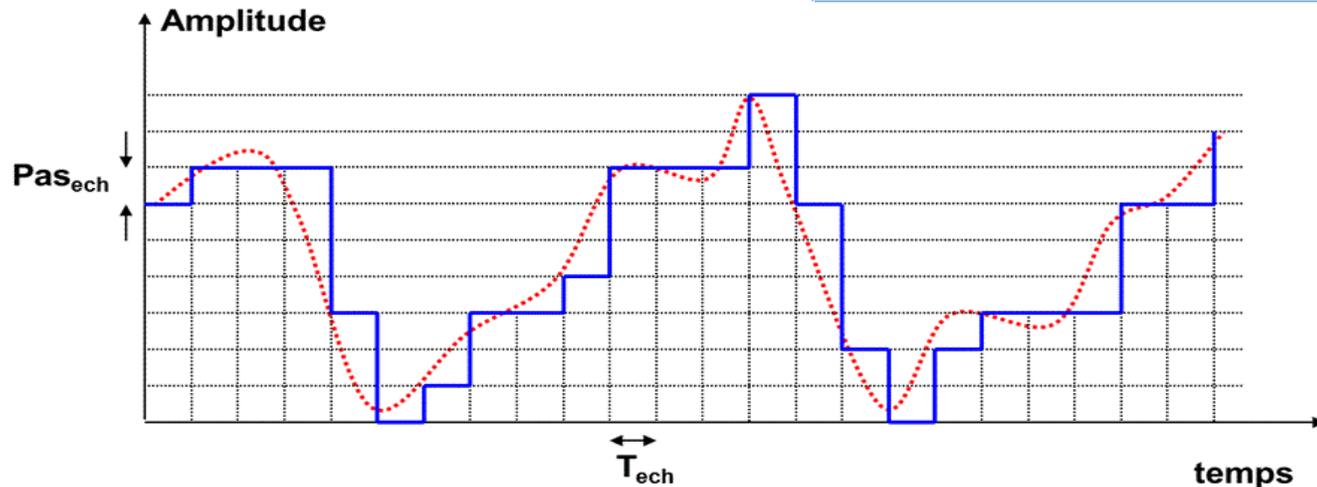
## Conversion sur un automate



## La conversion analogique-numérique



SIMATIC S7-300, entrée analogique SM 331, à séparation galvanique, 8 entrées analogiques, résolution 9/12/14 bits, U/I/thermocouple/résistance, alarme, diagnostic, 1x 20 pôles débroschage/enfichage avec bus interne actif



## CAN\* Parallèle – Principe de base

La tension à mesurer est comparée simultanément à  $2^N-1$  tensions de référence, N étant le nombre de bits du convertisseur

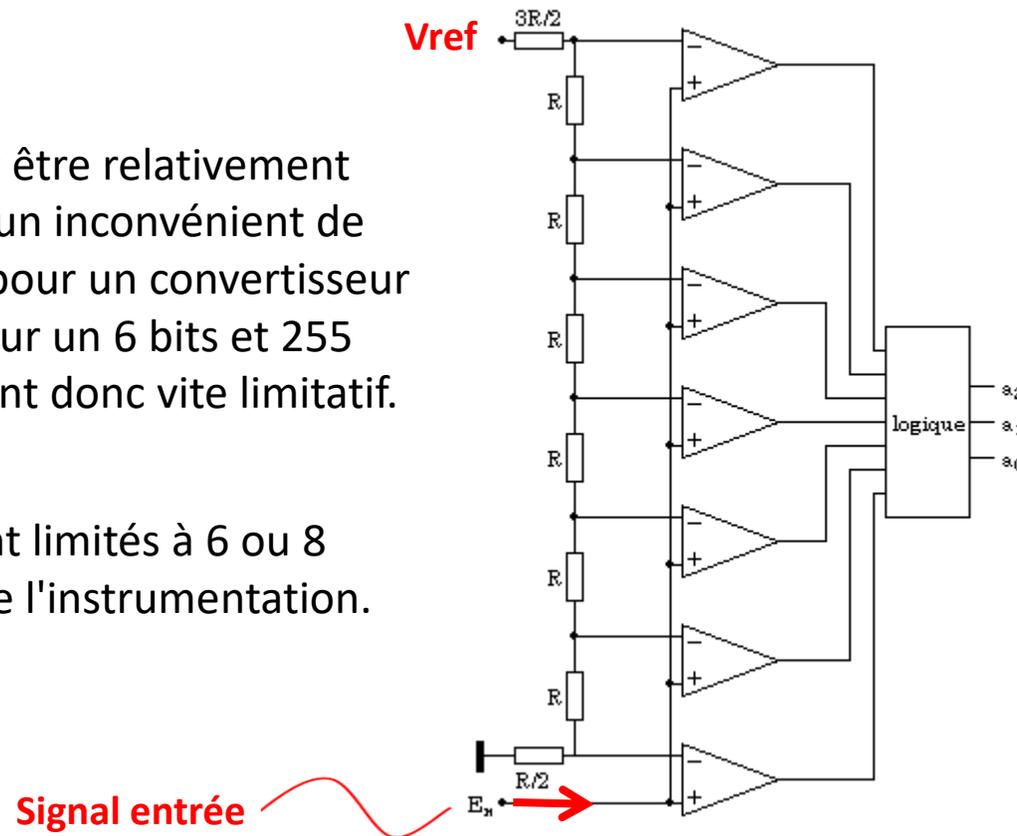
### Précision :

Dans le principe, ce CAN pourrait être relativement précis. En pratique, on butte sur un inconvénient de taille : il faut  $2^N-1$  comparateurs pour un convertisseur à N bits, soit 63 comparateurs pour un 6 bits et 255 pour un 8 bits ! Le procédé devient donc vite limitatif.

### Utilisation :

De par leur principe, ces CAN sont limités à 6 ou 8 bits, ce qui est insuffisant pour de l'instrumentation.

\* CAN = Convertisseur Analogique Numérique



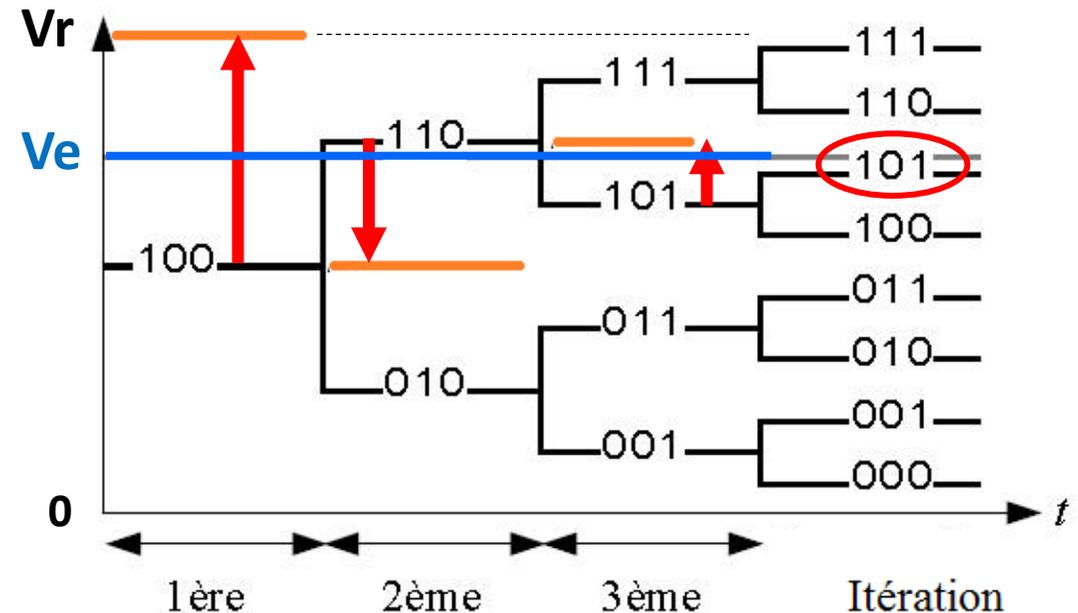
Nb	msb	lsb	de (V)	à (V)
8	1	1	8,75	10
7	1	1	7,5	8,75
6	1	0	6,25	7,5
5	1	0	5	6,25
4	0	1	3,75	5
3	0	1	2,5	3,75
2	0	0	1,25	2,5
1	0	0	0	1,25

## Principe de la dichotomie

Le principe de la **dichotomie** est de **comparer** le nombre que l'on veut estimer avec des nombres de référence connus et de plus en plus petit. C'est une méthode très rapide pour déterminer la valeur numérique la plus proche d'une valeur analogique donnée.

Au début, nous savons que **Ve** est compris entre 000 et 111, nous trouvons le milieu de cet intervalle, c'est-à-dire 100

- Au terme de la première itération, nous savons que  $V_e$  est compris entre 100 et 111.
- Au terme de la deuxième itération, nous savons que  $V_e$  est compris entre 100 et 110.
- Au terme de la troisième itération, nous savons que  $V_e$  est compris entre 101 et 110.
- $V_e > 101$  mais on peut considérer que  $V_e = 101$

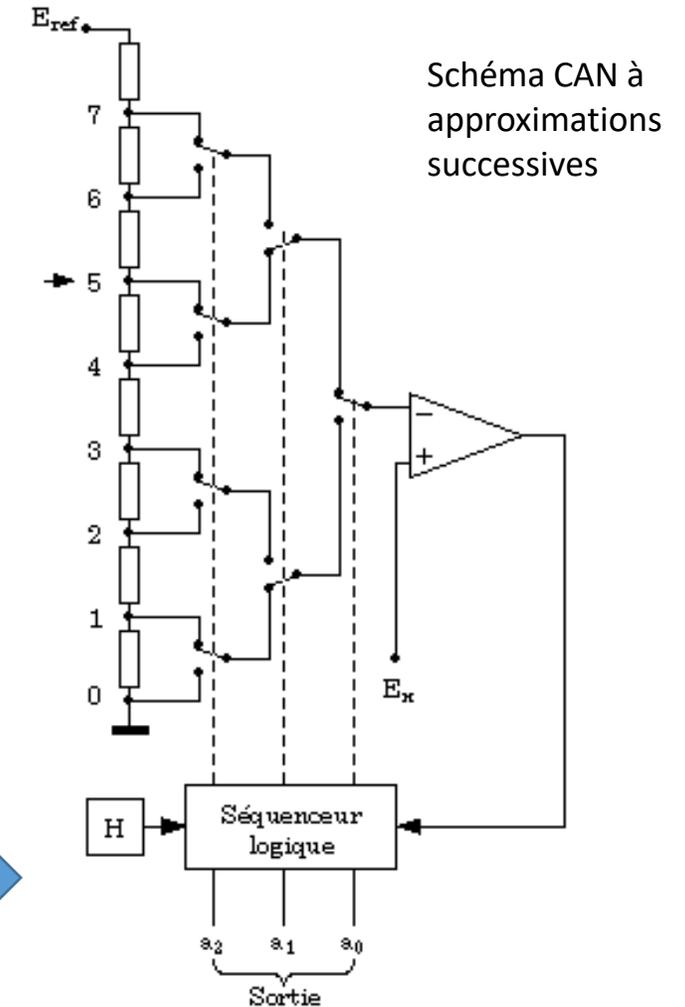


## Technologies des CAN

Technologie	Temps de conversion	Exemple d'utilisation
Simple rampe	Lent ( ms )	Mesure sans précision
Double rampe Multi rampe	Lent ( ms )	Multimètre
Approximations successives	Rapide ( $\mu$ s )	Acquisition son
Flash ( ou CAN parallèle )	Très rapide ( ns )	Acquisition vidéo Oscilloscope numérique

**CAN À APPROXIMATIONS SUCCESSIVES**

Ce type de convertisseur est très répandus car performant et bon marché



## Le quantum

En électronique, le **quantum** correspond à la **différence de tension** qu'il y a entre une valeur numérique et la valeur numérique suivante, à la sortie d'un convertisseur analogique/numérique (CAN).

Les suites binaires suivantes sur bits, pour  $V_{ref} = 8 \text{ V}$

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

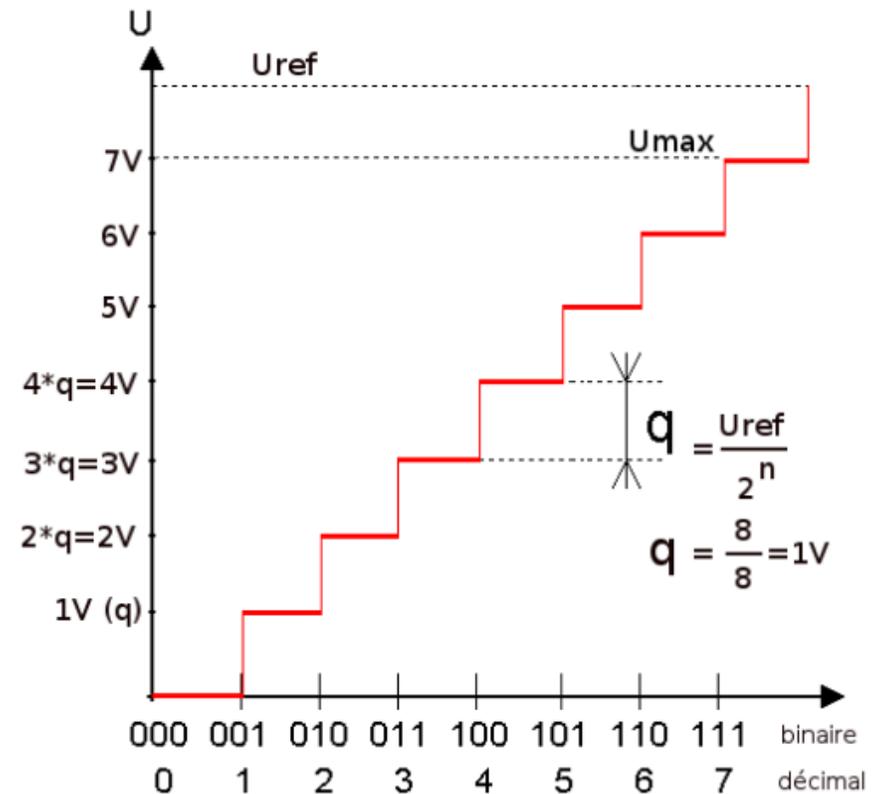
- De l'analogique au numérique on a :

0 0 0 si  $U_a < 1 \text{ V}$   
 0 0 1 si  $1 \text{ V} < U_a < 2 \text{ V}$   
 .....  
 1 1 1 si  $7 \text{ V} < U_a < 8 \text{ V}$

Ainsi le quantum  $q = 1 \text{ V}$  - on augmente de  $1 \text{ V}$  en analogique pour 0 0 1 en numérique

- Du numérique à l'analogique on a :

0 0 0 =  $0 \text{ V}$   
 0 0 1 =  $1 \text{ V} (= 1q)$   
 0 1 0 =  $2 \text{ V} (= 2q)$   
 ...  
 1 1 1 =  $7 \text{ V} (= 7q)$

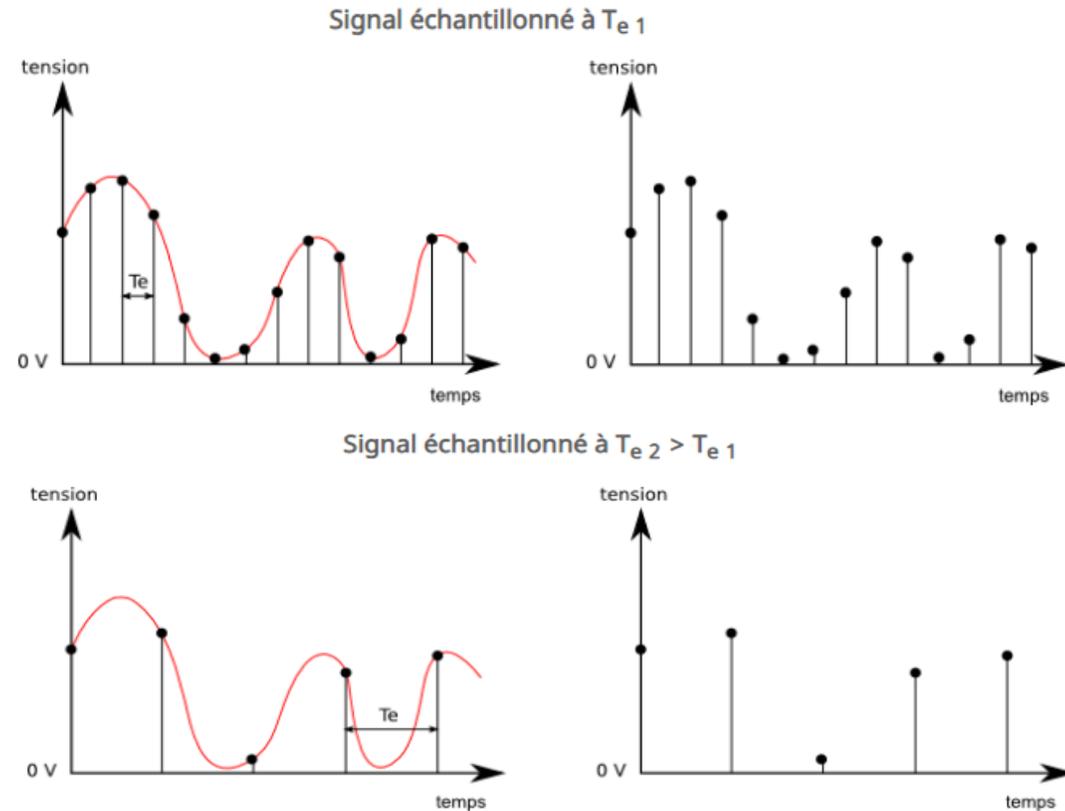


## L'échantillonnage - Rapidité ou choix de la fréquence d'échantillonnage

L' **échantillonnage** : Le premier paramètre à fixer est la **vitesse** à laquelle seront prélevés les échantillons pour que la reconstruction du signal de sortie soit fidèle au signal d'entrée. La **fréquence d'échantillonnage** doit être suffisamment grande. En effet, si celle-ci est trop faible, les variations rapides du signal ne pourront être retranscrites

Voici deux exemples d'échantillonnage du même signal pour deux fréquences :

$$f_{e1} = \frac{1}{T_{e1}} \text{ et } f_{e2} = \frac{1}{T_{e2}}$$

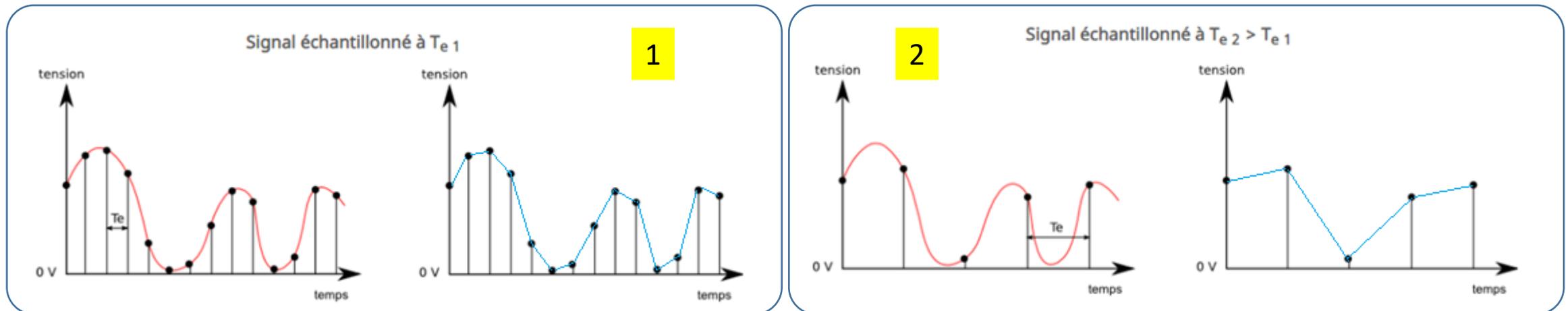


## L'échantillonnage

Dans le premier exemple, la **fréquence d'échantillonnage** choisie permet de reproduire les variations du signal. Par contre dans le second exemple, il est clair que les échantillons recueillis ne sont pas suffisants pour reconstruire le signal d'origine.

**Le théorème de Nyquist-Shannon** permet de connaître la fréquence d'échantillonnage à choisir pour un signal donné : *Pour reconstruire un signal de sortie de manière fidèle au signal d'entrée, il faut choisir une fréquence d'échantillonnage au moins deux fois supérieure à la fréquence maximale contenue dans le signal d'entrée. ( $f_e > 2 f_{max}$ )*

Si cette règle n'est pas respectée, des fréquences parasites qui n'appartiennent pas au signal de départ apparaissent. Ce phénomène est le repliement spectral ou aliasing.



## La quantification - Précision ou choix du pas de quantification

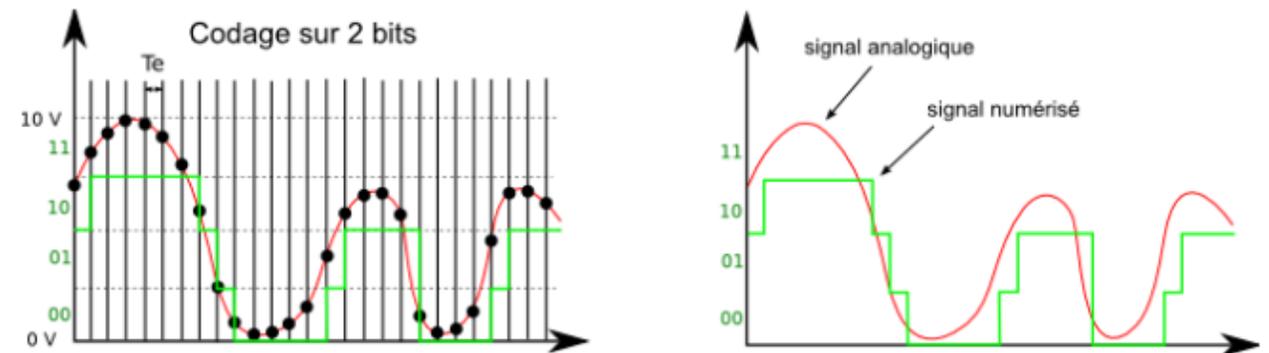
La précision ou résolution du signal obtenu en sortie va dépendre du convertisseur utilisé, autrement dit de l'électronique mise en oeuvre. La limite théorique de la résolution est définie par le nombre de bits du convertisseur analogique numérique.

L'exemple de la figure 1 montre un signal analogique codé sur 1 bit, seules deux valeurs sont possibles pour ce bit soit « 0 » soit « 1 ». La précision est alors très faible et ne permet pas un résultat satisfaisant. Lorsque le codage s'effectue sur 2 bits, chaque bit pouvant prendre deux valeurs (« 0 » ou « 1 »),  $2^2$  valeurs seront stockées soit un pas de quantification de :  $2,5 \text{ V} = 10\text{V} / 4$

Dans cet exemple, le signal a une amplitude de 10 volts :

- 0 à 2,5 V, le code sera « 00 »
- 2,5 V à 5 V, le code sera « 01 »
- 5 V à 7,5 V, le code sera « 10 »
- 7,5 V à 10 V, le code sera « 11 »

Signal analogique codé sur 2 bits



# La quantification

Nb	msb	lsb	de (V)	à (V)
4	1	1	7,5	10
3	1	0	5	7,5
2	0	1	2,5	5
1	0	0	0	2,5

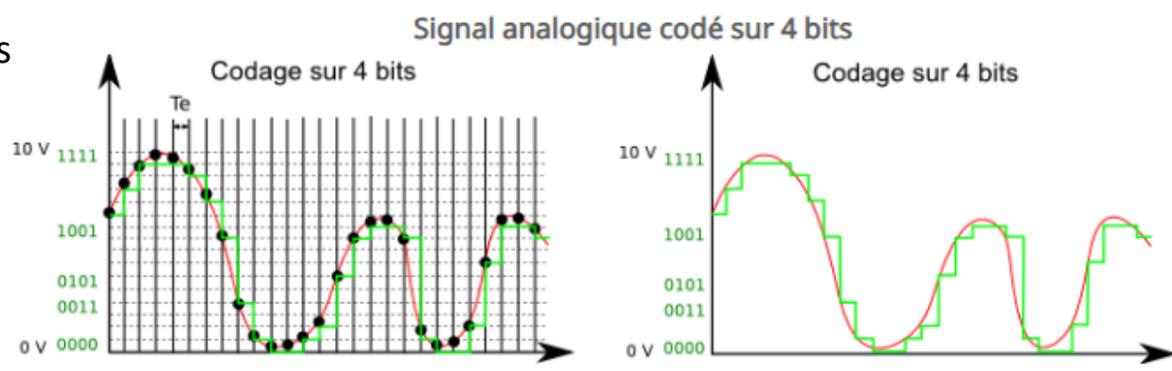
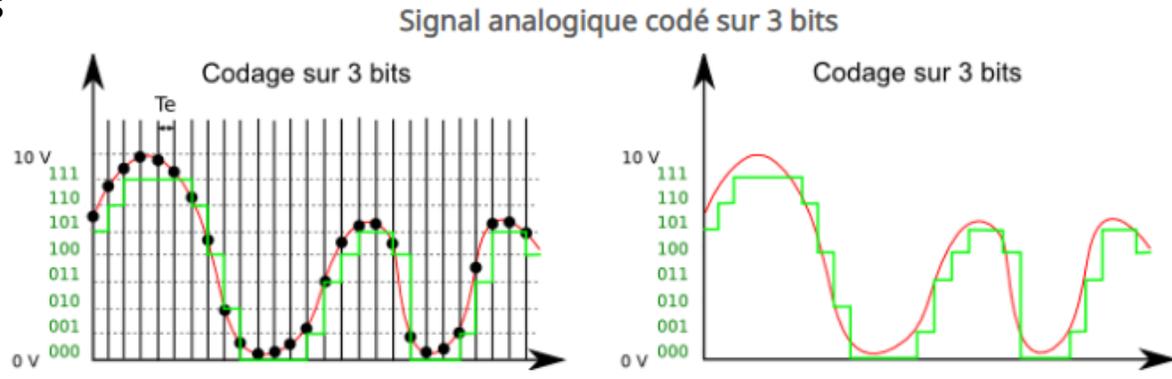
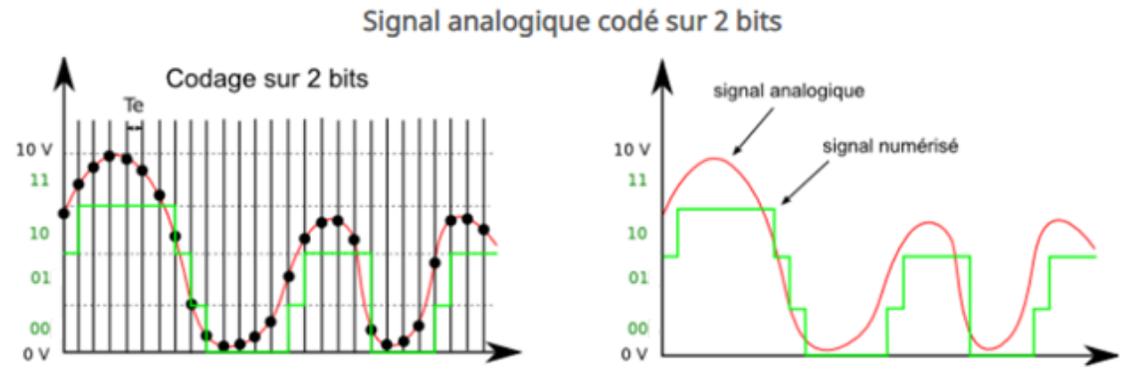
Codage sur 2 bits

Nb	msb		lsb	de (V)	à (V)
8	1	1	1	8,75	10
7	1	1	0	7,5	8,75
6	1	0	1	6,25	7,5
5	1	0	0	5	6,25
4	0	1	1	3,75	5
3	0	1	0	2,5	3,75
2	0	0	1	1,25	2,5
1	0	0	0	0	1,25

Codage sur 3 bits

Nb	msb			lsb	de (V)	à (V)
16	1	1	1	1	9,375	10
15	1	1	1	0	8,75	9,375
14	1	1	0	1	8,125	8,75
13	1	1	0	0	7,5	8,125
12	1	0	1	1	6,875	7,5
11	1	0	1	0	6,25	6,875
10	1	0	0	1	5,625	6,25
9	1	0	0	0	5	5,625
8	0	1	1	1	4,375	5
7	0	1	1	0	3,75	4,375
6	0	1	0	1	3,125	3,75
5	0	1	0	0	2,5	3,125
4	0	0	1	1	1,875	2,5
3	0	0	1	0	1,25	1,875
2	0	0	0	1	0,625	1,25
1	0	0	0	0	0	0,625

Codage Sur 4 bits

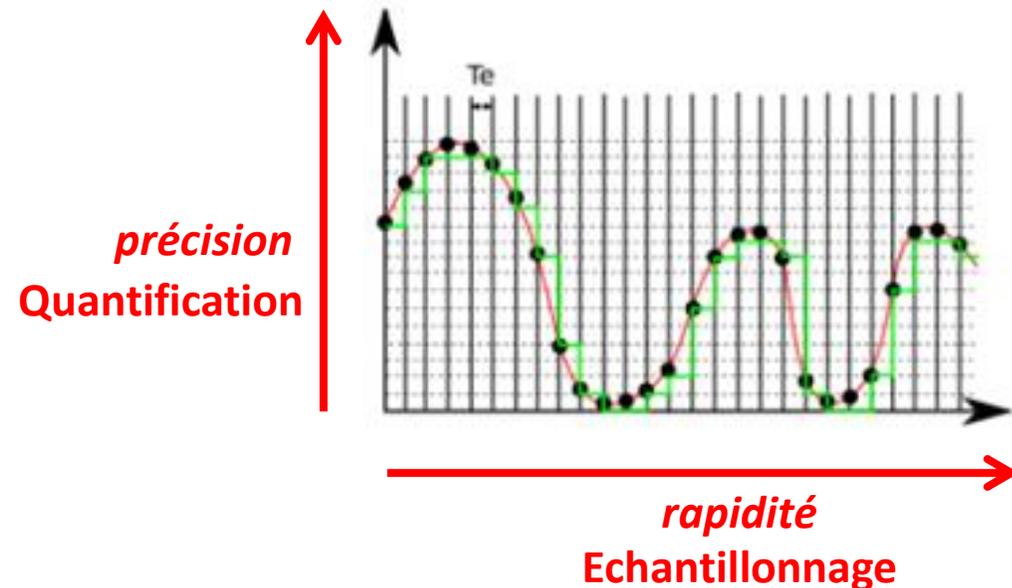


## Le réglage des paramètres

**Le réglage des paramètres (précision et rapidité)** se fera donc en fonction des contraintes et de l'utilisation souhaitée. Il faudra donc faire des compromis entre précision et taille du signal. De façon générale la précision, liée au nombre de bits, dépend de la technologie du convertisseur utilisé.

### Conclusion

Les avantages des systèmes numériques sont certains. Cependant, notons que le passage dans le numérique s'accompagne d'une perte d'information puisque du signal analogique ne sont conservés que des échantillons. L'enjeu est donc de prendre suffisamment d'échantillons avec une cadence acceptable pour reconstruire au mieux le signal de départ tout en gardant un signal qui ne soit pas trop gourmand technologiquement et en aussi espace



## Circuits et modules CAN

**CAN** : Convertisseur Analogique-Numérique  
**ADC** ou **A/D** : Analog-to-Digital Converter



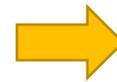
Exemple d'un circuit électronique :

Le convertisseur LTC1857 de Linear Technology est un circuits à 8 canaux, **12/14/16 bits, 100 kps\***.

Il peut être programmés par logiciel pour une entrée de 0V à 5V, 0V à 10V,  $\pm 5V$  ou  $\pm 10V$ , et fonctionne à partir d'une seule alimentation 5V

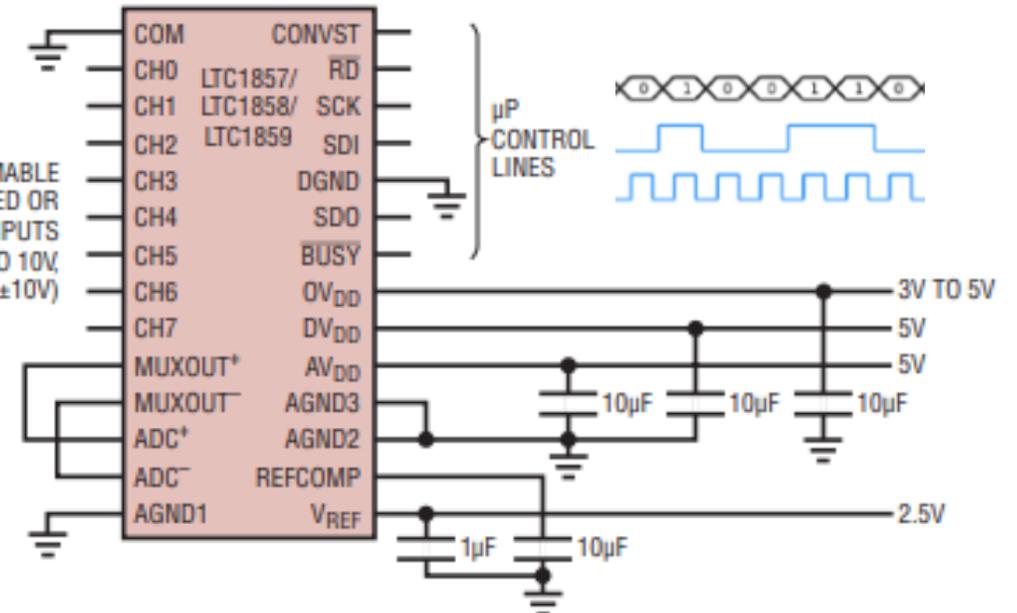
Chaque canal peut être programmé en entrées asymétriques ou en paires d'entrées différentielles ou combinaisons des deux.

Tous les canaux sont protégés jusqu'à  $\pm 25V$ .



SOFTWARE-PROGRAMMABLE  
SINGLE-ENDED OR  
DIFFERENTIAL INPUTS  
(0V TO 5V, 0V TO 10V,  
 $\pm 5V$  OR  $\pm 10V$ )

### 100kHz, 12-Bit/14-Bit/16-Bit Sampling ADC



(\* ) Kps ou ksp/s : Kilosample (s) par seconde (milliers d'échantillons par seconde)

## Circuits et modules CAN

**CAN** : Convertisseur Analogique-Numérique  
**ADC** ou **A/D** : Analog-to-Digital Converter

### SIMATIC S7-300, entrée analogique SM 331

**8** entrées analogiques à séparation galvanique,

Résolution : **9 / 12 / 14 bits**

U/I/thermocouple/résistance  
 alarme, diagnostic

1x 20 pôles débrochage

enfichage avec bus interne actif

Pour le raccordement de capteurs de tension et de courant, de thermocouples, de résistances et de thermomètres à résistance

***Temps d'échantillonnage** non précisé en standard car considéré comme largement suffisant pour les domaines d'applications*



## Circuits et modules CAN

**CAN** : Convertisseur Analogique-Numérique  
**ADC** ou **A/D** : Analog-to-Digital Converter



**Temps d'échantillonnage** non précisé en standard car considéré comme largement suffisant pour les domaines d'applications

Exemple :

### Module automate Siemens

6ES7134-6GD01-0BA1

4047623409212 EAN/GTIN

Tension d'alimentation CC : 19,2..28,8 V

Type de tension de la tension d'alimentation : DC

Entrée, courant : oui - 2-/4-wire ST

Signal d'entrée configurable : oui

Entrées analogiques configurables : oui

Résolution des entrées analogiques: **16 Bit** +/-0,3%

Nombre d'entrées analogiques : **4**

Composants système : oui

Montage sur rail possible : oui

Installation frontale possible : oui

Montage en rack possible : oui

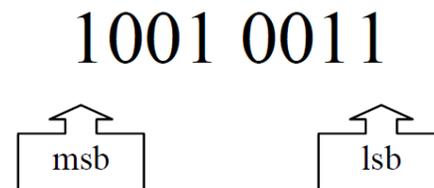
## La représentation numérique

Le terme **bit** (*b avec une minuscule dans les notations*) signifie « binary digit », c'est-à-dire 0 ou 1 en numérotation binaire. Il s'agit de la plus petite unité d'information manipulable par une machine numérique.

Dans un nombre binaire, la **valeur d'un bit**, appelée **poids**, dépend de la position du bit en partant de la droite. À la manière des dizaines, des centaines et des milliers pour un nombre décimal, le poids d'un bit croît d'une **puissance de deux** en allant de la droite vers la gauche.

Le **bit de poids faible** (en anglais *least significant bit*, ou **lsb**) est, dans le nombre binaire, le bit le plus à droite. Le **bit de poids fort** est celui le plus à gauche (*en anglais most significant bit*, ou **msb**).

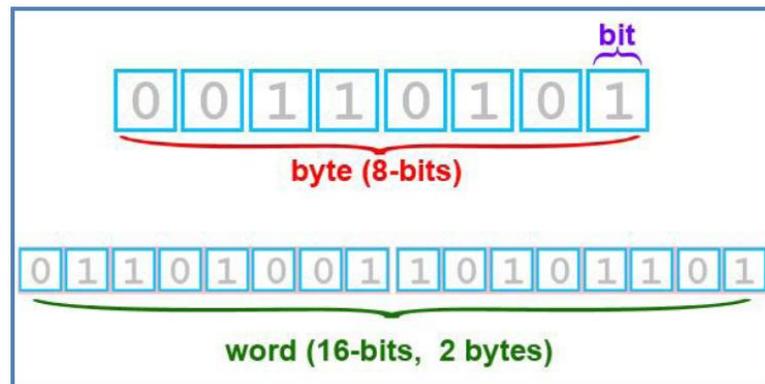
*Exemple: Pour un simple nombre en représentation binaire conventionnelle :*



## La représentation numérique

L'**octet** (en anglais **Byte** ou **B** avec une majuscule dans les notations) est une unité d'information composée de 8 bits.

Pour un octet, le plus petit nombre est 0 (représenté par huit zéros : 00000000), et le plus grand est 255 (représenté par huit chiffres « un » : 11111111), ce qui représente 256 (=  $2^8$ ) possibilités de valeurs différentes.

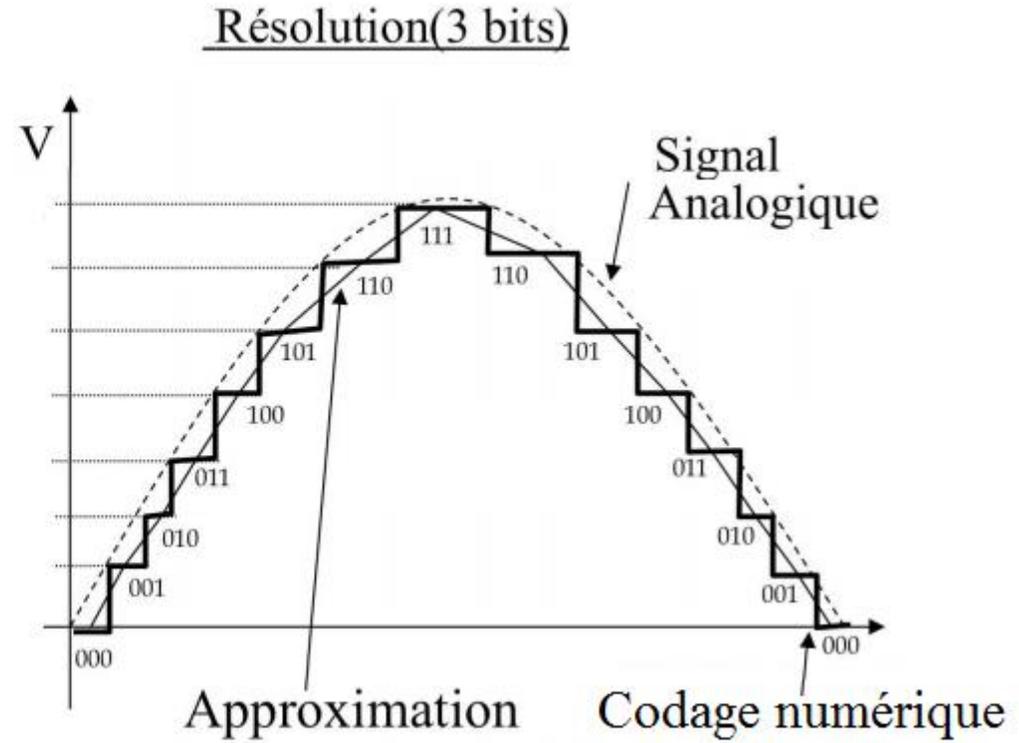
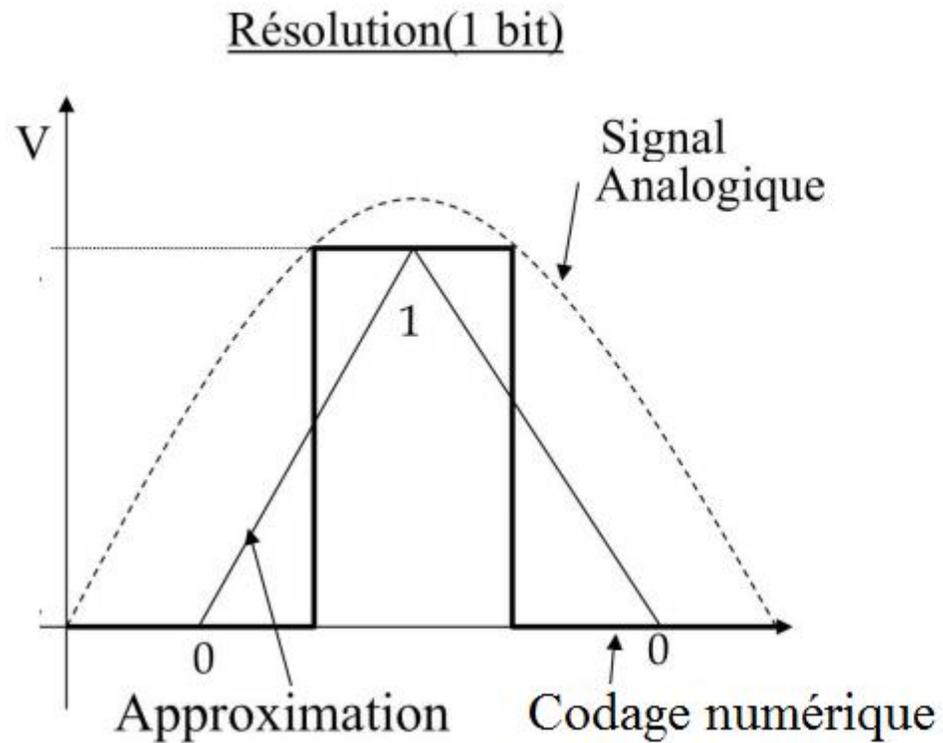


### Les formats standard

<b>Bit</b>	1 bit	$2^1$	De 0 à 1
<b>Byte</b>	8 bits	$2^8$	de 0 à 255
<b>Word</b>	16 bits	$2^{16}$	de 0 à 65535
<b>Double word</b>	32 bits	$2^{32}$	de 0 à 4 294 967 295
<b>Long word</b>	64 bits	$2^{64}$	de 0 à 18 446 744 073 709 551 615

## La résolution

Nécessité de coder un signal analogique sur un nombre suffisant de bits



## La résolution

Nécessité de coder un signal analogique sur un nombre suffisant de bits



**CAN** : Convertisseur Analogique-Numérique  
**ADC** ou **A/D** : Analog-to-Digital Converter

### Exemple :

Module automate Siemens  
6ES7134-6GD01-0BA1  
4047623409212 EAN/GTIN

Tension d'alimentation CC : 19,2..28,8 V  
Type de tension de la tension d'alimentation: DC  
Entrée, courant: oui  
Signal d'entrée configurable : oui

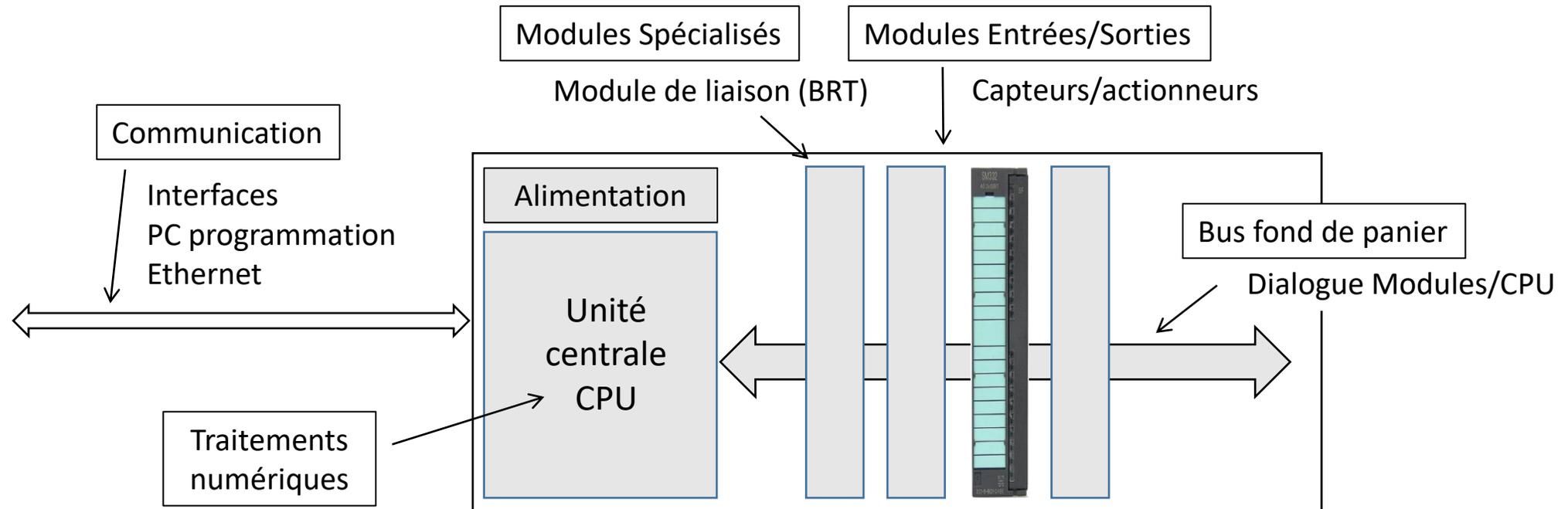
Résolution des entrées analogiques: 16 Bit \*

Nombre d'entrées analogiques : 4  
Entrées analogiques configurables : oui  
Composants système : oui  
Montage sur rail possible : oui  
Installation frontale possible : oui  
Montage en rack possible : oui

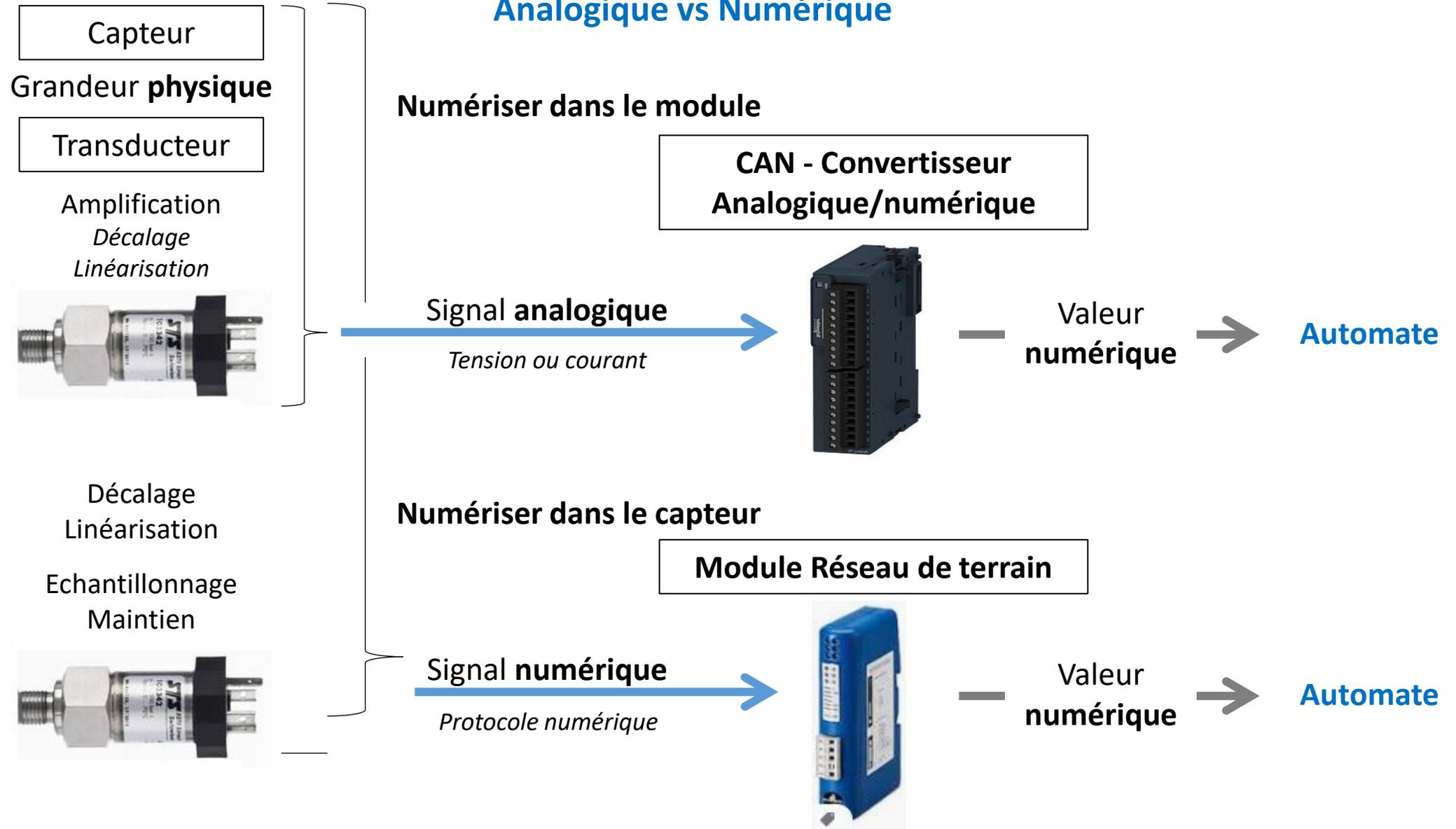
(\* ) 12, 14 ou 16 bits de résolution sont des valeurs couramment rencontrées

## Architecture d'un automate

Un API, automate programmable industriel, est un dispositif électronique programmable destiné à automatiser des processus



## Analogique vs Numérique



## Analogique vs Numérique

### Numériser dans le module



Signal **analogique**

 Tension ou courant



#### Avantages

Capteur plus simple, plus économique  
Moins d'électronique  
Lecture du signal avec un multimètre

#### Inconvénients

Signal plus sensible aux perturbations  
Longueur limitée  
Environnement et installation

### Numériser dans le capteur



Signal **numérique**

 Protocole numérique



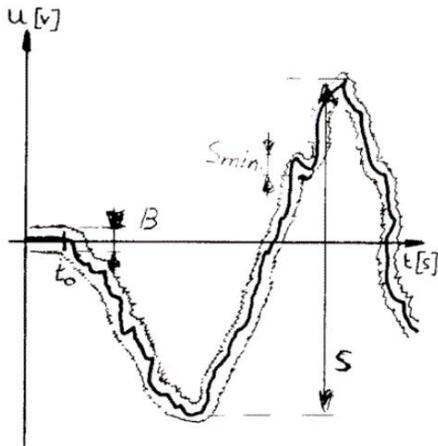
#### Avantages

Signal moins sensible aux perturbations  
Plus robuste face à environnement et installation  
Protocole réseau normalisé et universel

#### Inconvénients

Capteur plus complexe  
Nécessite un protocole de communication  
Signal non interprétable par multimètre

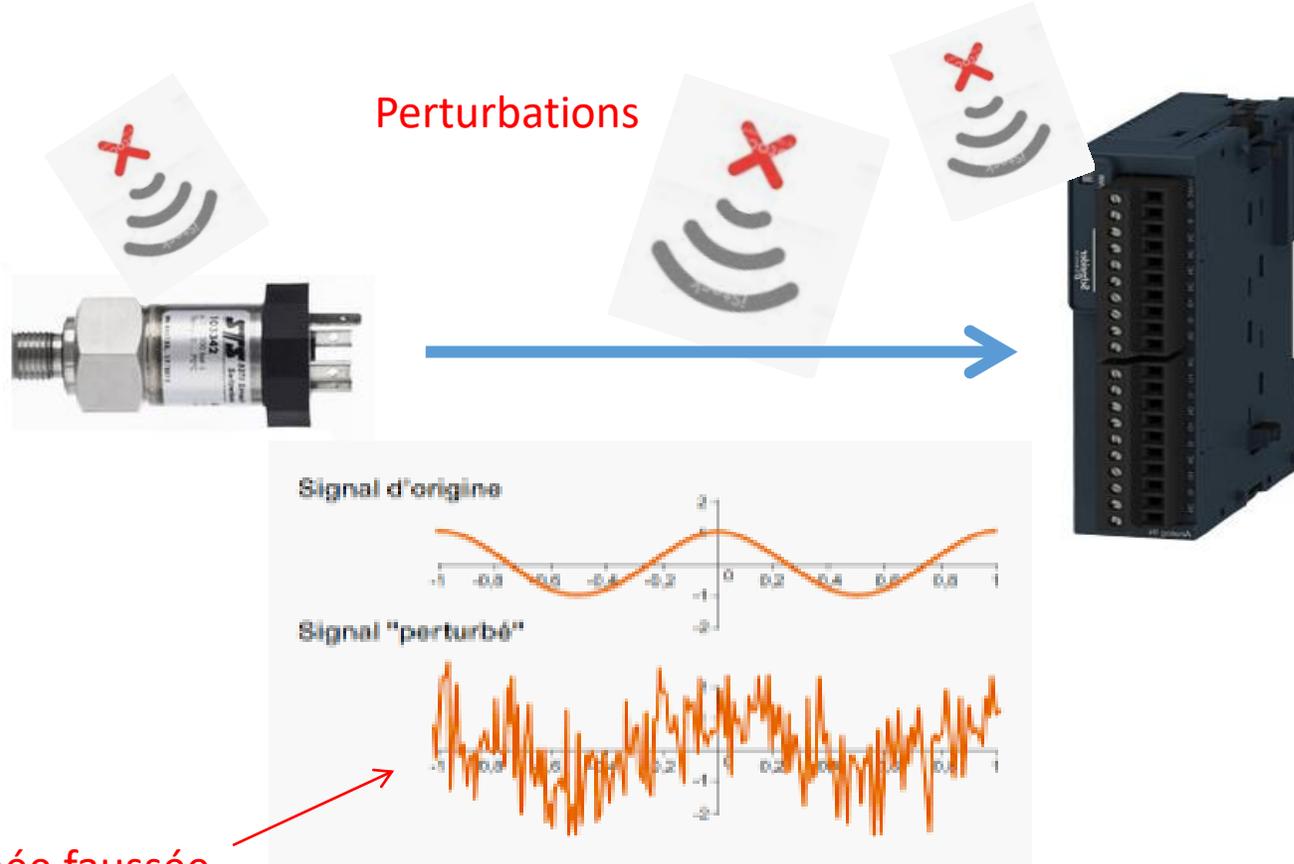
## Les perturbations



- Sensibilité aux parasites
- Perturbations électromagnétiques
- Agressions électromagnétiques
- Agressions et protection
- Types de filtres
- CEM : compatibilité électromagnétique
- Modes de couplage
- Réglementations CEM
- Le marquage CE

## Sensibilité aux parasites

Le **signal analogique** est sensible aux parasites et peut s'altérer dans le temps. Les amplificateurs sont aussi sujets à des variations de gain en fonction de la température, de l'humidité et du temps.



Un signal analogique perturbé verra son signal électrique modifié et risque de fournir au système une donnée faussée, ou approximative

Un signal numérique est globalement plus résistant aux perturbations car uniquement composé d'une suite de données numériques 0 et 1

## Perturbations électromagnétiques

### Définition

Une perturbation électromagnétique met en œuvre 3 éléments :

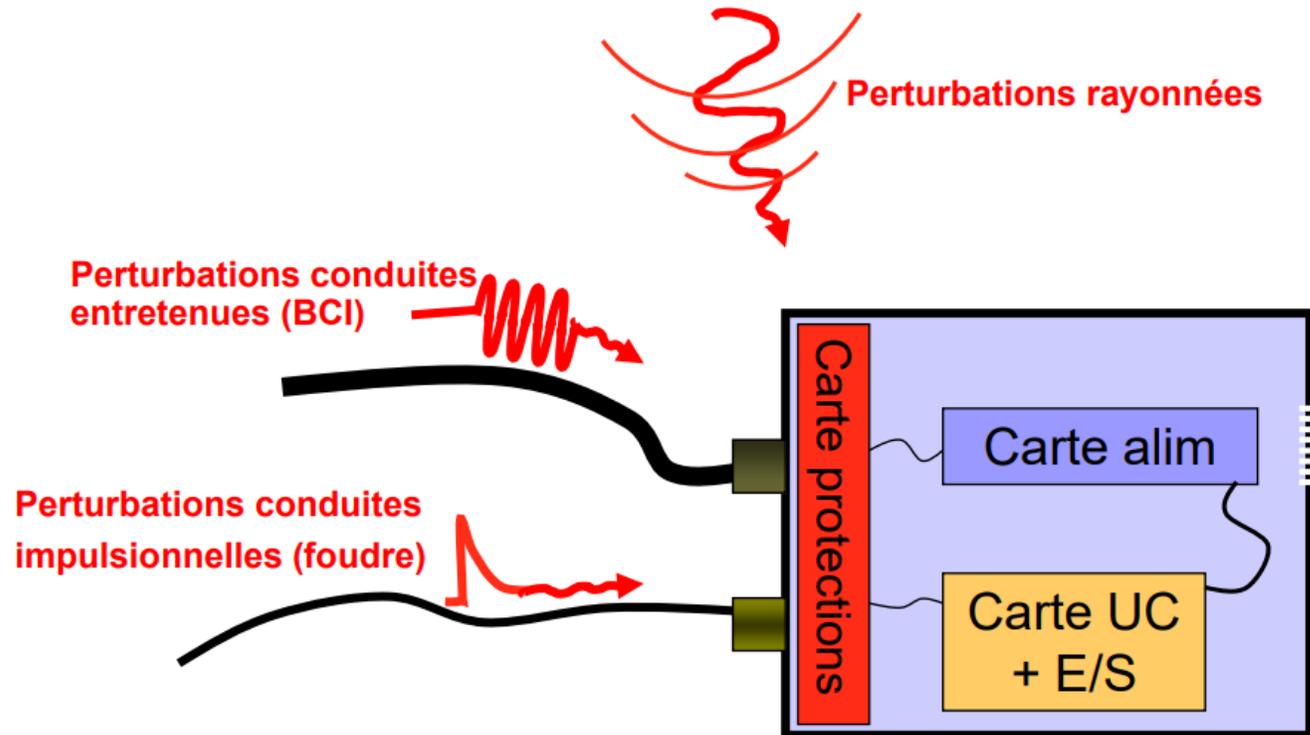
- une source : elle génère la perturbation
- une victime : elle reçoit la perturbation
- un mode de couplage : le vecteur de propagation, qui transmet la perturbation de la source à la victime

### Sources

Il existe de nombreuses sources éventuelles de perturbations. On peut les classer ainsi :

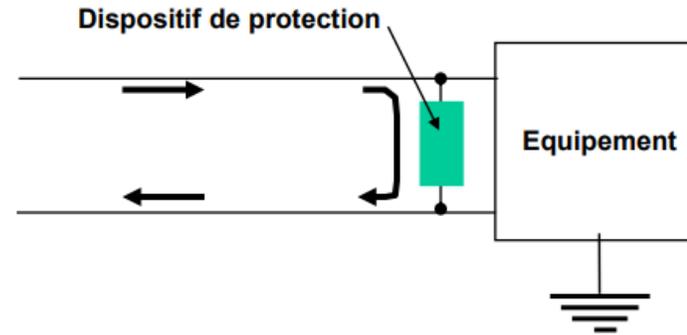
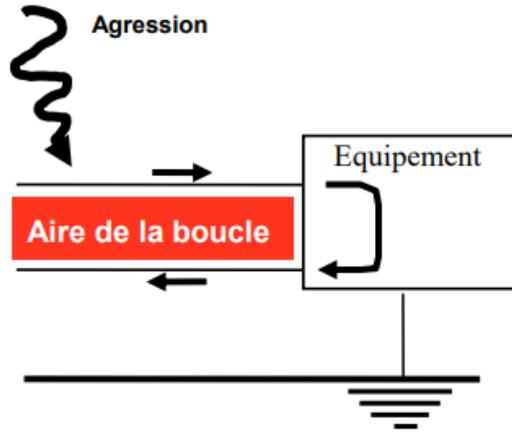
- Sources naturelles (foudre, rayonnements solaires, ...)
- Sources électrostatiques : elles apparaissent lors de la friction de matériaux entre eux (une personne, un ballon de baudruche, ...)
- Sources liées à l'activité humaine
  - Sources volontaires (émetteurs radio ou de télévision, antennes relais, radars, ...)
  - Sources involontaires (lignes haute tension, moteurs, ...)

## Agressions électromagnétiques

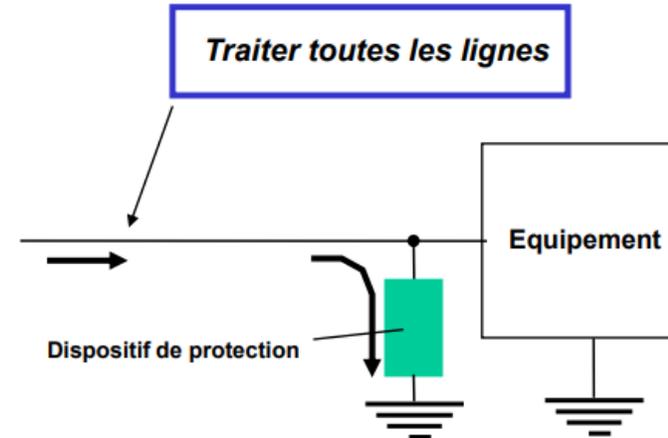
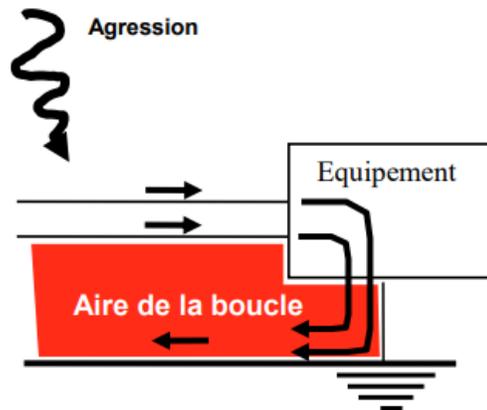


Source GERAC - Atelier Jessica - LAAS

## Agression et protection en mode différentiel



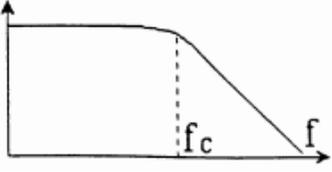
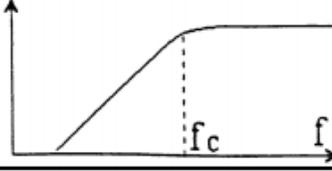
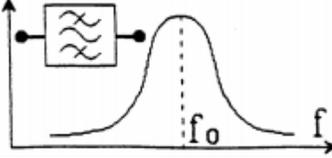
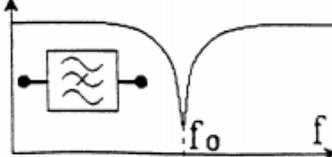
## Agression et protection en mode commun



Source GERAC - Atelier Jessica - LAAS

## Types de filtres



<p><b>Filtre passe-bas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Filtre secteur</li> <li>↓ Filtre alimentation continue</li> <li>↓ Filtre téléphonique</li> <li>↓ Filtre signal</li> </ul>	
<p><b>Filtre passe-haut</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Peu utilisé en CEM</li> </ul>	
<p><b>Filtre passe-bande</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Filtre d 'entrée de récepteurs radio</li> </ul>	
<p><b>Filtre coupe-bande</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Utilisé pour rejeter les fréquences indésirables</li> </ul>	

**Une ferrite** est un matériaux ferromagnétique, le seul fait de faire passer un fil au travers du trou suffit à faire une self, et celle ci comme toute inductance de bonne famille s'oppose au passage des courants de haute fréquence, cela constitue un filtre passe bas série.

**Torsader des fils** crée une capacité qui court-circuite, c'est à dire présente un chemin de moindre impédance pour les courant Haute-Fréquence, c'est un passe bas

## CEM : Compatibilité électromagnétique

### La CEM : Compatibilité électromagnétique

La compatibilité électromagnétique d'un appareil (CEM) est sa faculté à :

- fonctionner dans son environnement électromagnétique (il peut fonctionner avec les perturbations électriques et magnétiques de l'environnement)
- ne pas perturber les autres appareils de son environnement

La CEM se résume donc en deux notions : **susceptibilité** et **émissions**.

### Enjeux

La problématique liée à la compatibilité électromagnétique n'est pas récente. Elle est apparue notamment avec le développement de la radio, dans les années 1930. Des interférences survenaient lors de communications radio près de moteurs électriques. Avec la seconde guerre mondiale, les appareils électroniques se sont développés. Aujourd'hui, ils sont omniprésents et plusieurs facteurs augmentent leur sensibilité aux ondes électromagnétiques :

- la distance entre composants électriques a tendance à réduire
- les circuits électriques utilisent des niveaux d'énergie de plus en plus faibles

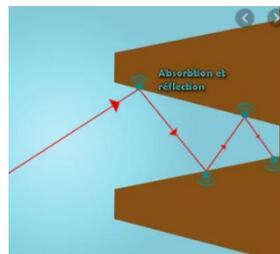
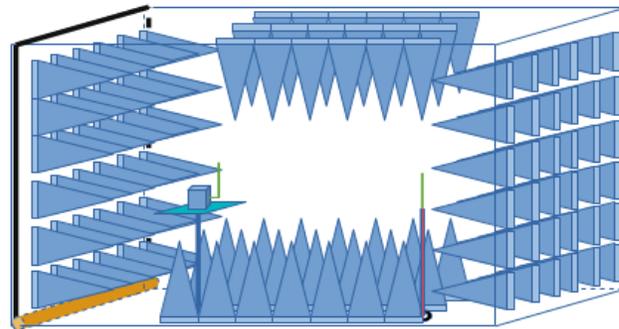
Il est donc essentiel de prendre en compte ces phénomènes lors de la conception et la réalisation d'appareils électronique, et aussi lors de leur utilisation.

## Mode de couplage

Le couplage est un phénomène physique permettant la propagation d'une perturbation de la source à la victime.

On distingue plusieurs modes de couplage :

- Conduit : la perturbation se propage sur les câbles de liaison (pour l'alimentation ou l'échange d'information)
- rayonné : la perturbation utilise les champs magnétiques, électriques ou électromagnétiques
- électrostatique : la perturbation se propage au travers d'une décharge électrostatique



### Conditions de mesures

Une **chambre anéchoïque** (ou chambre sourde) est une salle d'expérimentation et de mesure dont les parois absorbent les ondes sonores ou électromagnétiques, en reproduisant des conditions de champ libre et ne provoquant donc pas d'écho pouvant perturber les mesures

## Réglementation CEM

### Réglementation CEM - *Compatibilité électromagnétique*

#### **Au niveau international**

Le CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) est chargé de définir les normes internationales liées à la CEM. Ces normes régissent entre autres les niveaux d'émission et de susceptibilité des équipements électriques ou électroniques, ainsi que les méthodes de mesure et d'essai. Ces normes servent de base aux autres pays pour rédiger leur propre législation. Le CISPR fait partie de la CEI (Commission Electrotechnique Internationale), qui s'occupe des normes liées à l'électricité et à l'électronique. La CEI est complémentaire à l'organisme international de normalisation ISO.

#### **Au niveau européen**

Dans l'Union Européenne, c'est le CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) qui définit les directives et normes. Une des principales directives est la directive 89/336/CEE qui spécifie que tout équipement électrique doit obligatoirement être conforme en matière de CEM pour être commercialisé dans les pays de la CEE. Les produits conformes portent le label CE. Cette directive a été appliquée obligatoirement par les états membres à partir de 1996. Aujourd'hui, elle est remplacée par la directive 2004/108/CE. Les pays de l'union se basent sur les directives et normes européennes pour rédiger leurs lois, décrets et normes nationales.

## Le marquage CE



Le marquage CE doit être apposé sur de nombreux produits avant que ceux-ci puissent être vendus dans l'UE. Il indique qu'un produit a été **évalué par le fabricant** et qu'il a été **jugé conforme** aux exigences de l'UE en matière de sécurité, de santé et de protection de l'environnement. Le marquage CE est obligatoire pour les produits fabriqués partout dans le monde et qui vont être **commercialisés dans l'UE**.

### Comment obtenir le marquage CE

Il incombe au fabricant de déclarer que le produit est conforme à l'ensemble des exigences. Pas besoin de licence pour apposer le marquage CE sur le produit. Toutefois, avant de le faire, il faut :

- garantir la conformité du produit avec toutes les exigences applicables à l'échelle de l'UE
- déterminer s'il y a besoin de recourir à un organisme notifié ou le faire en interne
- constituer un dossier technique prouvant la conformité du produit
- rédiger et signer une déclaration de conformité UE.

Une fois que le produit porte le marquage CE, être en mesure de fournir à l'autorité nationale compétente, si elle en fait la demande, toutes les informations et pièces justificatives relatives au marquage CE

## Le marquage CE



### Faut-il payer des frais ?

Si le fabricant effectue lui-même l'évaluation de la conformité, il n'aura pas à payer de frais. S'il fait appel à **un organisme notifié**, il devra payer cet organisme pour le service fourni.

### Comment apposer le marquage CE ?

Le marquage CE doit être visible, lisible et indélébile. Il doit être constitué des initiales «CE» et les deux lettres doivent avoir la même dimension verticale, qui ne peut être inférieure à 5 mm (sauf indication contraire dans les exigences relatives au produit). Il peut être agrandi en gardant les proportions. Tant que les initiales restent visibles, le marquage CE peut prendre différentes formes (couleur, plein ou creux, par exemple).

Si le marquage CE ne peut pas être apposé sur le produit lui-même, il convient de l'apposer sur l'emballage, le cas échéant, ou sur les documents qui accompagnent le produit.

# Les type d'erreurs classiques



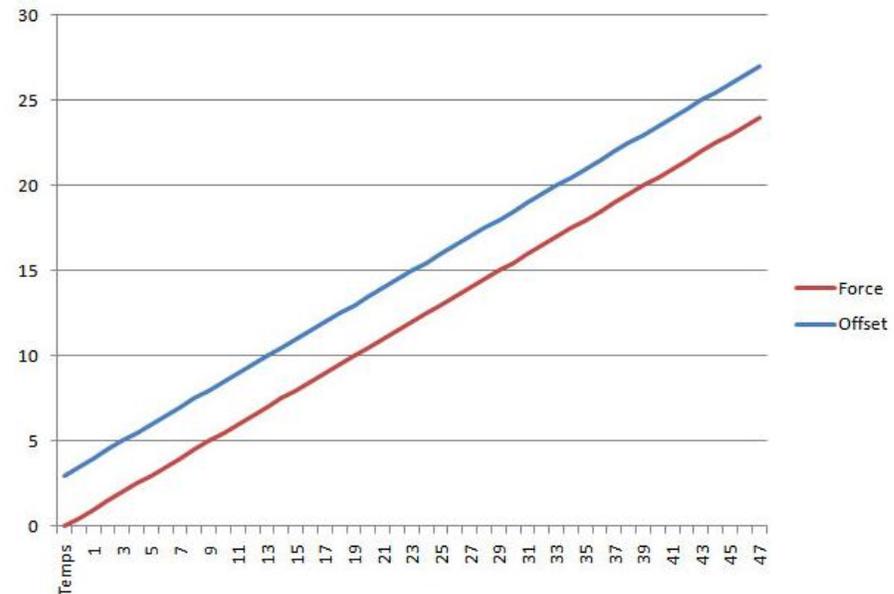
- Erreur d'offset (zéro)
- L'erreur de gain (échelle)
- L'erreur de linéarité
- L'erreur due au phénomène d'hystérésis
- L'erreur de quantification

## Les capteurs : les type d'erreurs classiques

Lorsque l'on effectue une mesure de force ou autre mesure, différents paramètres de l'instrument utilisé peuvent faire donner des résultats erronés. Il est important de savoir différencier les erreurs qui peuvent apparaître lors d'une mesure et de les quantifier.

### L'erreur d'offset (zéro)

La courbe de la valeur juste (Offset sur l'image) est décalée par rapport à la courbe exacte de la force. Ceci est généralement dû à un oubli ou une mauvaise tare de l'appareil de mesure



## Les capteurs : les type d'erreurs classiques

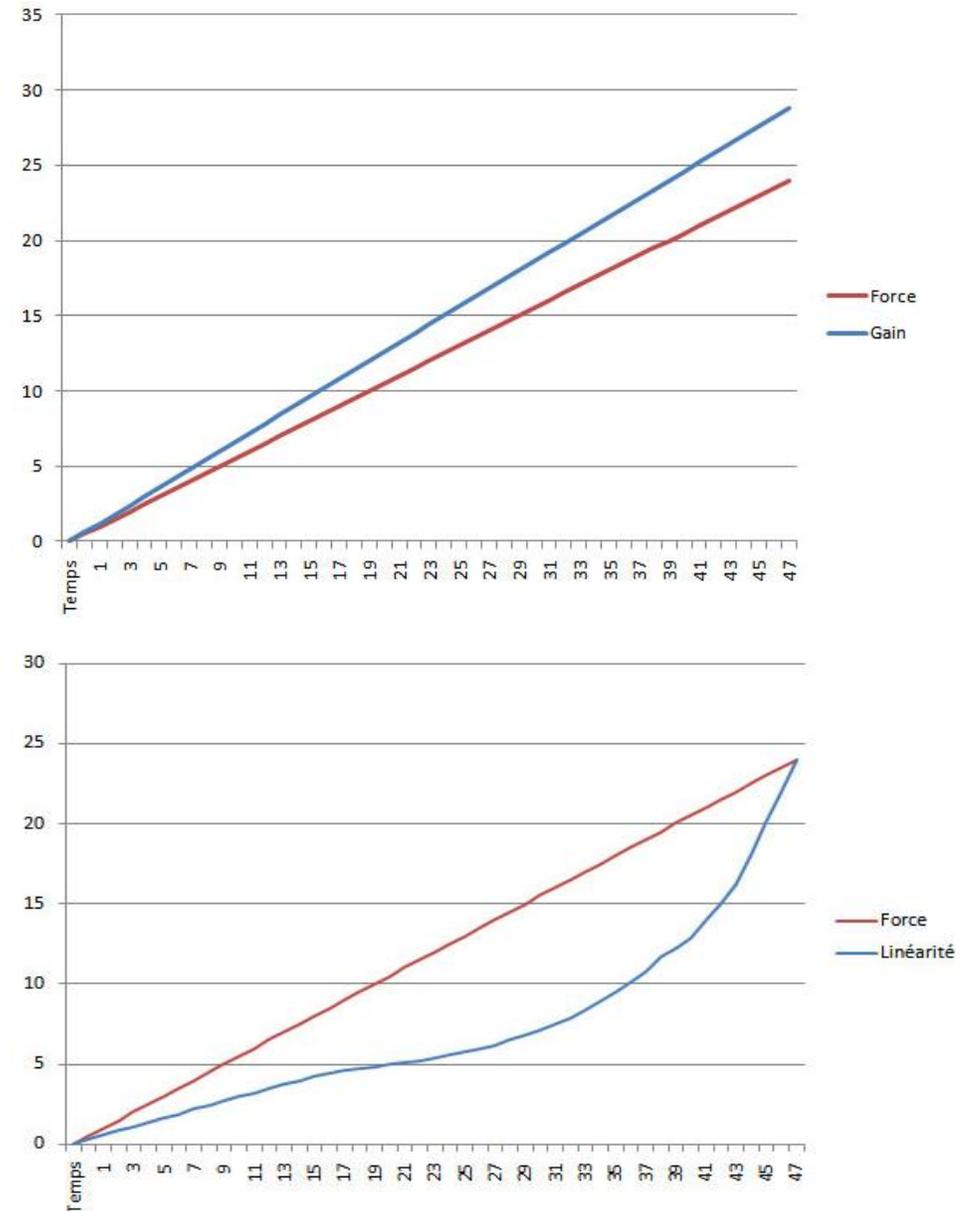
### L'erreur de gain (échelle) :

L'erreur varie de façon linéaire par rapport à la valeur juste. Sur cette exemple, plus on mesure une force importante, plus l'erreur est importante. La valeur mesurée dérive par rapport à la valeur juste.

En général, cette erreur est due à un mauvais réglage du gain sur le système d'acquisition ou à un capteur de mauvaise qualité

### L'erreur de linéarité :

Dans ce type cas, la valeur mesurée n'est pas une droite. L'écart entre la valeur juste et la valeur mesurée varie en fonction de la valeur. Cette erreur est souvent due à un capteur de mauvaise qualité. Néanmoins, il existe toujours une légère erreur de linéarité existe quelque soit le capteur



## Les capteurs : les type d'erreurs classiques

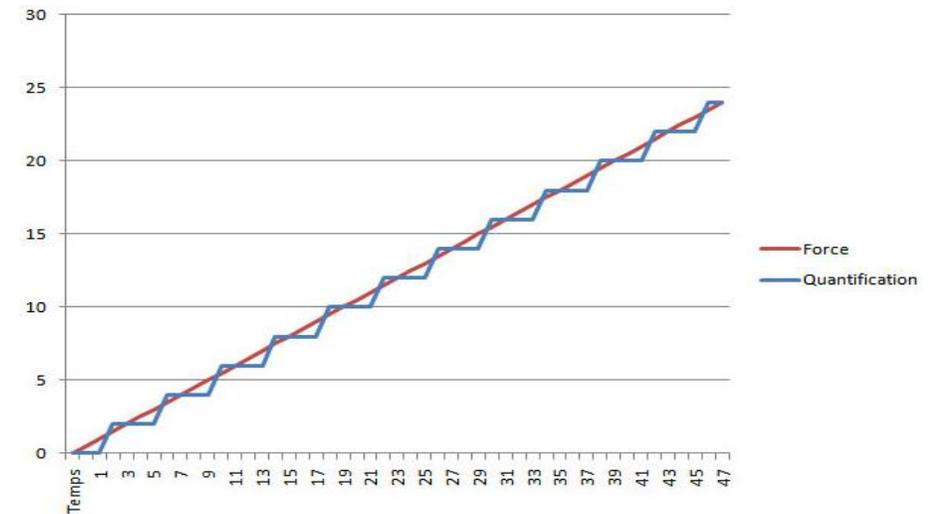
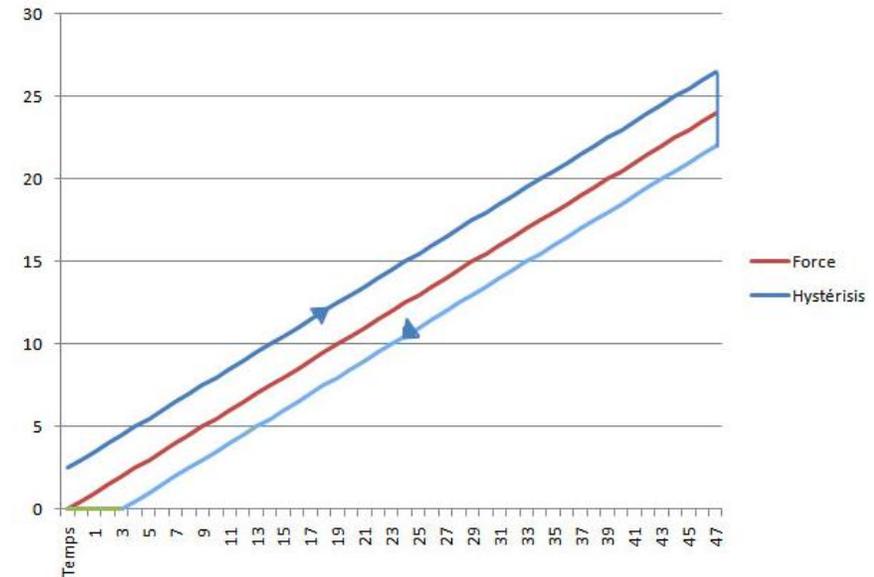
### L'erreur due au phénomène d'hystérésis :

Le phénomène d'hystérésis apparait quand le résultat de la mesure dépend de la mesure précédente. En général cela se traduit par des résultats différents lorsque l'on fait des cycles sur des échantillons

### L'erreur de quantification :

La courbe mesurée et donc l'erreur est en escalier. Le plus souvent cette erreur est due à une erreur numérique : fréquence d'échantillonnage trop faible, problème de conversion analogique numérique...

De façon générale, plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, plus cette erreur est minimisée. En général une fréquence d'échantillonnage du capteur à 100 Hz est un minimum



# Les capteurs



- Apport d'énergie
- Types de sorties
- Types de détection
- Caractéristiques
- Grandeurs physiques mesurées
- Courants exploités
- Les types de capteurs
- Capteurs avec et sans contact
- Capteurs inductifs, capacitifs, magnétiques, photoélectriques, à effet Hall, ultrasons
- Capteurs de température thermocouple, sonde PT 100, thermistance

## Apport d'énergie :

### ● Capteurs passifs

Ils ont besoin dans la plupart des cas **d'apport d'énergie extérieure** pour fonctionner (*ex. : thermistance, photorésistance, potentiomètre, jauge d' extensométrie appelée aussi jauge de contrainte*). Ce sont des capteurs modélisables par une impédance. Une variation du phénomène physique mesuré engendre une variation de l'impédance. Il faut leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie.

### ● Capteurs actifs

On parle de capteur actif lorsque le phénomène physique qui est utilisé pour la mesure effectue directement la **transformation en grandeur électrique**. C'est la loi physique elle-même qui relie mesure et grandeur électrique de sortie.

## ● TYPE DE SORTIE :

### Capteurs à sorties analogiques



La sortie est une **grandeur électrique** dont la valeur est une fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur. La sortie peut prendre une infinité de valeurs continues. Le signal des capteurs analogiques peut être du type : sortie tension, sortie courant..

### Capteurs à sorties numériques



La sortie est une **séquence d'états logiques** qui, en se suivant, forme un nombre. La sortie peut prendre une infinité de valeurs discrètes. Le signal des capteurs numériques peut être du type : train d'impulsions, code numérique binaire, bus de terrain ...

### Capteurs logiques

Ou capteurs **TOR**. La sortie est un état logique que l'on note 1 ou 0. La sortie peut prendre ces deux valeurs. Quelques capteurs logiques typiques : capteurs de fin de course, capteurs de rupture d'un faisceau lumineux, divers capteurs de position.

## ● TYPE DE DÉTECTION:

### Type de détection

Détection **avec contact** : le capteur est en contact physique avec un phénomène pour le détecter.

Détection **sans contact** : le capteur détecte le phénomène à proximité de celui-ci.

### CARACTÉRISTIQUES :

Un capteur est caractérisé selon plusieurs **critères** dont les plus courants sont :

- la grandeur physique observée
- son étendue de mesure (*gamme de mesure*)
- sa sensibilité
- sa résolution
- sa précision
- sa reproductibilité
- sa linéarité
- son temps de réponse
- sa bande passante
- son hystérésis
- sa gamme d'utilisation

Pour utiliser un capteur dans les meilleures conditions, il est souvent utile de pratiquer un **étalonnage** et de connaître les **incertitudes** de mesure relatives à celui-ci

## ● RECENSEMENT DES CAPTEURS PAR GRANDEUR PHYSIQUE MESURÉE

- Angle
- Contrainte
- Courant
- Champ magnétique
- Débit
- Déplacement
- Distance
- Force
- Inertiels
- Lumière
- Niveau
- Position
- Pression
- Son
- Température

## ● PRINCIPES PHYSIQUES COURANTS EXPLOITÉS PAR LES CAPTEURS

- Variation de capacité
- Variation d'inductance
- Variation de résistance
- Effet Hall
- Induction
- Effet Faraday
- Effet photoélectrique
- Dilatation, déformation
- Piézo-électricité
- Effet Doppler
- Principe de la corde vibrante
- Effet thermoélectrique

# Les capteurs

## Les capteurs par contact

Ils sont appelés aussi interrupteurs de position. Ce sont des commutateurs actionnés par le déplacement d'un organe de commande. Lorsqu'ils sont actionnés, ils ouvrent et ferment un ou plusieurs circuits électriques ou pneumatiques. Le signal de sortie est Tout Ou Rien (TOR)

## Les capteurs sans contact

Ils n'ont pas de contact physique avec les éléments détectés. Pas d'usure et possibilité de détecter des objets à distance.

On distingue 6 familles de détecteurs de proximité électrique :

- Capteurs inductifs
- Capteurs capacitifs
- Capteurs magnétiques
- Capteurs photoélectriques
- Capteurs à effet Hall
- Capteur à Ultra-sons

Les capteurs par contact



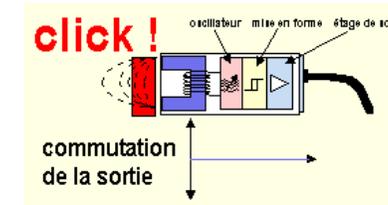
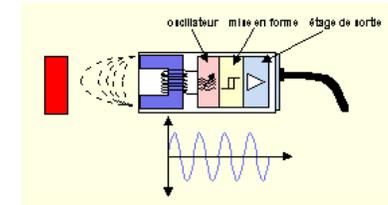
Capteur d'angle



# Les capteurs

## Les capteurs inductifs

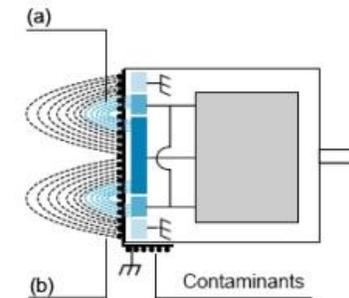
Ces détecteurs fonctionnent grâce à la variation d'un **champ électromagnétique** perturbé par la proximité d'un **objet métallique**. La distance varie **de 1 à 60 mm** selon le type de capteur, les conditions d'utilisation et la nature de l'objet à détecter (acier, aluminium, cuivre...). Ils supportent des ambiances humides et poussiéreuses.



## Les capteurs capacitifs

Ces capteurs détectent des **matériaux de toute nature** (verre, matières plastiques, métaux, liquides, poudres...). Ils sont spécifiquement utilisés pour détecter les **matériaux non conducteurs**. Ils sont très sensibles à l'environnement (saleté, poussière...).

Leur **distance de détection est faible** et plutôt délicats à mettre en œuvre.  
 Ordre de grandeur de détection : Carton : 4mm – acier : 10mm – Bois 4mm  
 – Verre : 7mm – Eu : 10mm – PVC : 6mm



# Les capteurs

## Les capteurs magnétiques

Les capteurs **magnétiques**, appelés aussi **ILS (Interrupteurs à lames souples)** sont par exemple utilisés sur les vérins dont la tige est équipée d'un **aimant**. On en rencontre aussi dans les systèmes d'alarme anti-intrusion (portes et fenêtres). Ils ont une **portée très limitée**, à proximité de l'aimant : jusqu'à 10mm.



## Les capteurs photoélectriques

Le capteur photoélectrique est constitué d'un **émetteur** qui envoie un **rayon infrarouge** et d'un **récepteur** qui le reçoit. Lorsque le **rayon est coupé** par un objet, le détecteur change d'état. La portée peut aller jusqu'à 10 mètres.

Il existe 3 systèmes de détection :

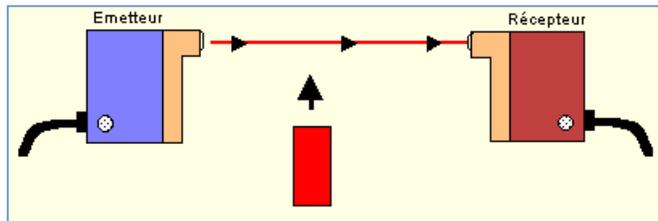
- Le système barrage
- le système reflex
- le système proximité



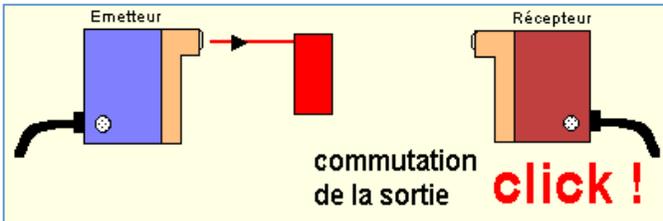
# Les capteurs

## Les capteurs photoélectriques

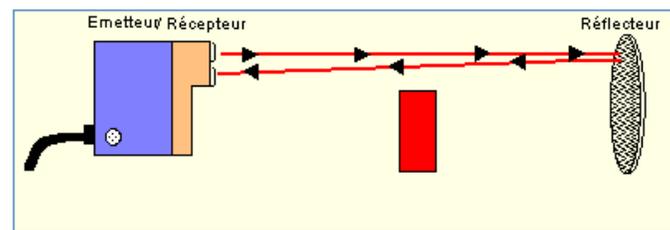
### Type Barrage



Principe des cellules photo-électriques de type barrage



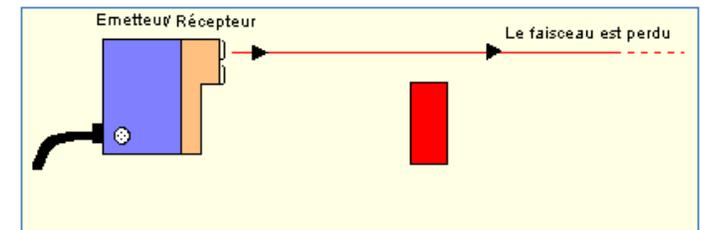
### Type Reflex



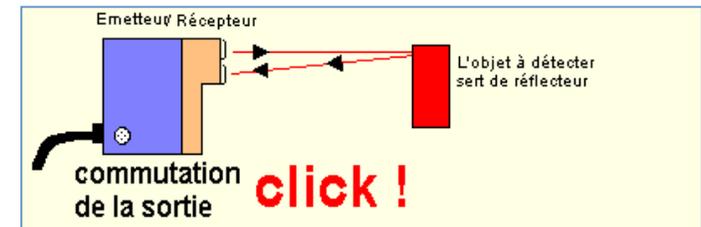
Principe des cellules photo-électriques de type reflex



### Type Proximité



Principe des cellules photo-électriques de type proximité



# Les capteurs

## Les capteurs à effet Hall

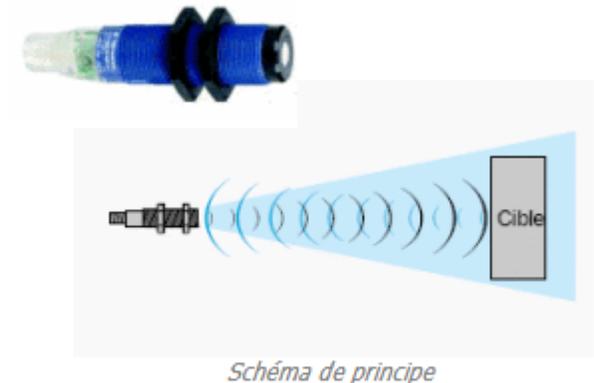
Les capteurs à effet Hall détectent la présence d'un champ magnétique ou sa variation. Ils sont par exemple utilisés pour mesurer des vitesses associés à une roue dentée



## Les capteurs à ultrasons

La détection est basée sur le temps qui s'écoule entre l'émission d'une onde ultrasonique et la réception de son écho. Les avantages sont :

- Pas de contact avec l'objet
- Détection de tous matériaux quelque soit leurs couleurs ou leurs distances
- Très bonne tenue aux environnements sévères
- Possibilité de calculer l'éloignement entre 1cm et 10m



# Les capteurs

## Capteurs de température

Les capteurs sont constitués d'un **élément sensible**, isolé électriquement et protégé par une gaine. Ils permettent de mesurer une **température** dans un but de contrôle ,de régulation de la puissance, de systèmes chauffants ou de sécurité. Il est nécessaire de tenir compte :

- de la sensibilité du capteur suivant l'utilisation souhaitée, la précision de la mesure
- du milieu d'utilisation, par exemple en cas de chocs thermiques ou mécaniques
- de l'inertie thermique du capteur
- du système de régulation.

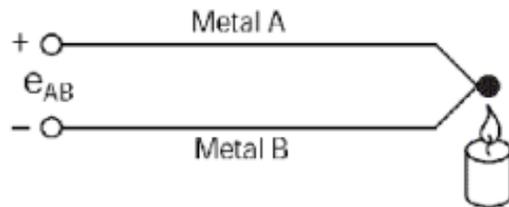
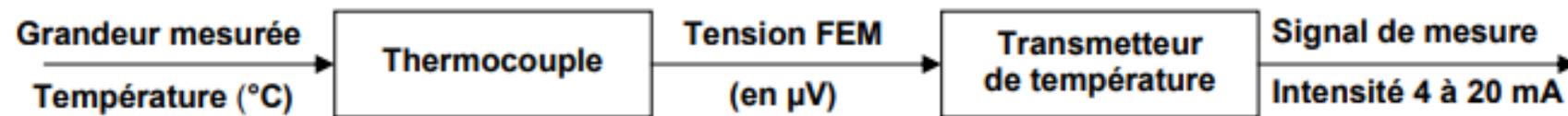
Les capteurs se déclinent en différents modèles :

- **Thermocouples** : Large plage de mesure, faible coût
- **Sondes platine PT100** : Tolérance resserrée
- **Thermistance** : Faible plage de mesure, bonne sensibilité



## Thermocouple

Un **thermocouple** est constitué de 2 conducteurs métalliques de nature différentes, soudés en un point, la soudure chaude. Les autres extrémités des fils sont branchées sur l'appareil de mesure. Cela constitue la soudure froide (le point de référence), qui sert de référence à la mesure. Elle doit être maintenue à température constante. Entre ces 2 points, il se crée une force électromotrice dite « fem »\*, qui augmente à mesure que la température croît. Elle est spécifique à chaque type de thermocouple.



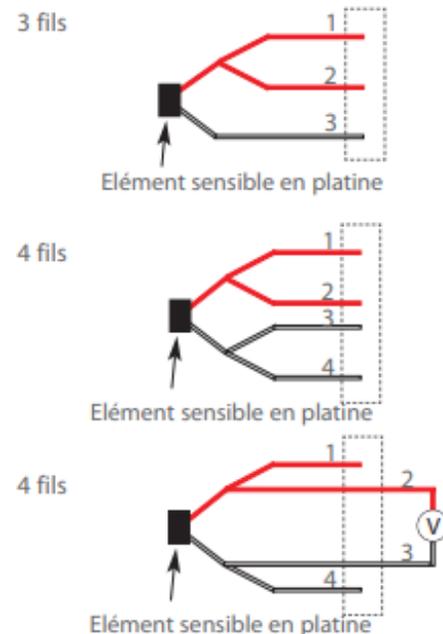
Type	Plage de T°		Pole positif	Pole négatif	Couleur +/-
T	-200°C	+350°C	Cuivre	Cuivre-Nickel	brun-blanc
J	-200°C	+750°C	Fer	Cuivre-Nickel	noir-blanc
K	-200°C	+1000°C	Nickel-Chrome	Nickel-Aluminium	vert-blanc
S	0°C	+1550°C	Platine-Rhodium	Platine	orange-blanc

(\* ) fem : tension ou différence de potentiel entre deux points capable de faire circuler du courant dans un circuit

## Sonde PT100

Les sondes platine appelées également **sondes à résistance** ou **sondes thermoélectriques**, sont constituées d'un élément sensible en platine, dont la valeur ohmique varie en fonction de la température. Les sondes platine PT 100 ont une valeur ohmique de 100 ohms à 0°C. La mesure ne fait pas appel à une jonction de référence, ni à une compensation de soudure froide, mais nécessite une alimentation électrique. Ces capteurs permettent une mesure précise de la température.

Schémas de câblage



Les sondes sont disponibles en différentes configurations : 2, 3 ou 4 fils.

- **2 fils** : Mesure la plus simple. Faible précision car il y a cumulation des valeurs ohmiques de la sonde et des cordons de prolongation
- **3 fils** : Montage le plus utilisé. La résistance créée entre les conducteurs 1 et 2, est soustraite de la valeur ohmique obtenue entre les conducteurs 1 et 3. La résistance des conducteurs est limitée. Il reste la résistance de contact
- **4 fils** : 2 possibilités de branchement :
  - Mesure pont de Wheaston : Même principe que la mesure par 3 fils, permettant d'affiner la précision de la mesure.
  - Mesure de Kelvin : Montage le plus précis. La résistance des conducteurs et la résistance de contact n'interviennent plus dans la mesure.

## Thermistance

**Une sonde platine** fonctionne suivant le principe de **variation de valeur ohmique** par rapport à la température. La valeur ohmique de la thermistance **diminue** à mesure que la température augmente, d'où l'appellation "résistance à coefficient thermique négatif". Cette technologie **précise et rapide**, bénéficie toutefois d'une **plage de travail plus faible** que les thermocouples et les sondes. L'utilisation de thermistances impose un système de régulation spécifique.

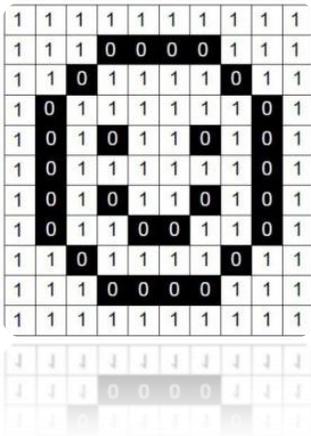
Les RTD **fonctionnent** sur le principe des variations de résistance électrique des métaux purs et se caractérisent par une modification positive linéaire de la résistance en fonction de la température. Concrètement, une fois chauffée, la résistance du métal augmente et inversement une fois refroidie, elle diminue

# CHAPITRE 6

## Le codage d'une donnée analogique

### Traitement numérique

- Pourquoi Ariane 5 a explosé en plein vol
- Les bases
- Types de données
- Les entiers
- Le codage hexadécimal
- Les codage des réels
- Précautions à prendre

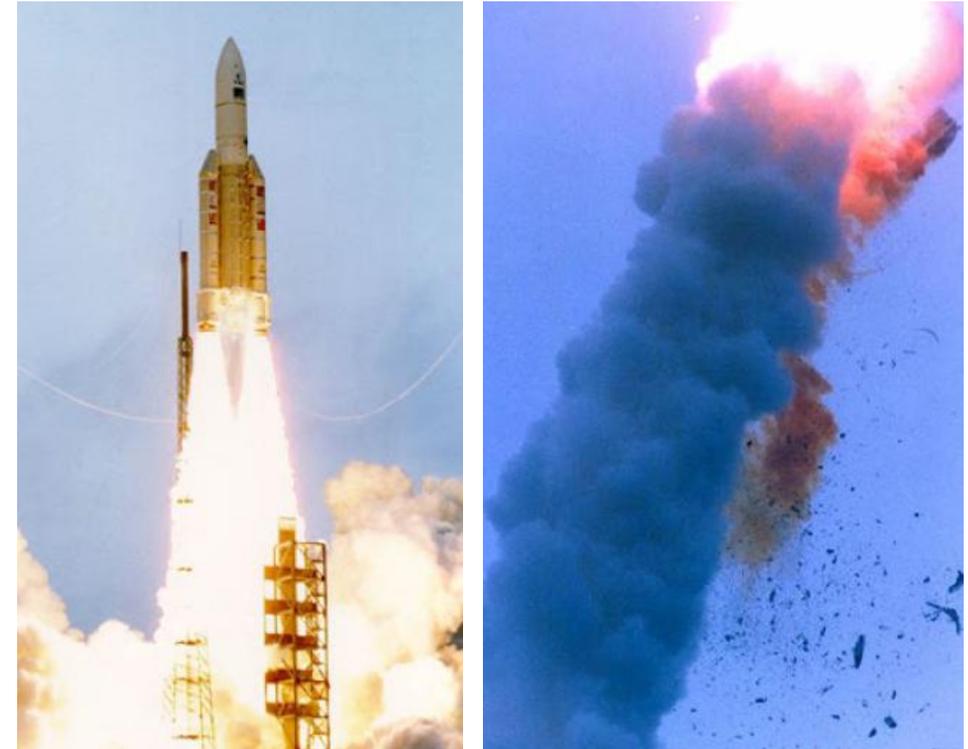


## Pourquoi Ariane 5 a explosé en plein vol

Le **vol 501** est le vol inaugural du lanceur européen **Ariane 5**, qui a eu lieu le 4 juin 1996. Il s'est soldé par un échec, causé par un dysfonctionnement informatique (*appelé aussi bug*), qui vit la fusée se briser et exploser en vol seulement 36,7 secondes après le décollage.

**La fusée a explosé** à une altitude de 4 000 mètres au-dessus du centre spatial de Kourou, en Guyane. Il n'y a eu aucune victime, les débris étant retombés relativement près du pas de tir et le vol étant inhabité.

L'incident, dû à un **dépassement d'entier dans les registres** mémoire des calculateurs électroniques utilisés par le pilote automatique, a provoqué la panne du système de navigation de la fusée, causant de fait sa destruction ainsi que celle de la charge utile. Cette charge utile était constituée des quatre satellites de la mission Cluster, d'une valeur totale de 370 millions de dollars.



## Pourquoi Ariane 5 a explosé en plein vol

Tout tenait à une seule petite variable : celle allouée à l'accélération horizontale. En effet, l'accélération horizontale maximum produite par Ariane 4 donnait une valeur décimale d'environ 64. La valeur d'accélération horizontale de la fusée étant traitée dans un **registre mémoire à 8 bits**, cela donne en base binaire  $2^8 = 256$  valeurs disponibles, un nombre suffisant pour coder la valeur 64, qui donne en binaire 1000000 et ne nécessite que 7 bits.

Mais Ariane 5 était bien plus puissante et brutale : son accélération pouvait atteindre la valeur 300, qui donne 100101100 en binaire et nécessite un **registre à 9 bits**. Ainsi, la variable codée sur 8 bits a connu un **dépassement de capacité**, puisque son emplacement mémoire n'était pas assez grand pour accepter une valeur aussi importante.

Il aurait fallu la coder sur un bit de plus, donc 9 bits, ce qui aurait permis de stocker une valeur limite de  $2^9 - 1 = 511$ , alors suffisante pour coder la valeur 300. De ce dépassement de capacité a résulté une valeur absurde dans la variable, **ne correspondant pas à la réalité**.

Par effet domino, le logiciel décida de l'autodestruction de la fusée à partir de cette donnée erronée.

## Les bases

**Nombre** : Un nombre peut être exprimé dans différentes bases :

- **Base binaire** : La base utilise seulement deux états "0" et "1" dans le système de numération binaire
- **Base décimale** : l'entier est représenté par une suite de chiffres unitaires (de 0 à 9) ne devant pas commencer par le chiffre 0
- **Base hexadécimale** : l'entier est représenté par une suite d'unités (de 0 à 9 ou de A à F (ou a à f)) devant commencer par 0x ou 0X – *exemple* : 0xFFE0
- **Bit** (*Binary digit*) : ne prend que deux valeurs 0 et 1 (*ouvert/fermé – absent/présent...*)
- **Octet** : est un ensemble de 8 bits – *exemple* : 00101101
- **N octets** : N fois des groupes de 8 bits
- *Exemple* : 1111 1111 1110 0000 binaire = 65504 décimal = FFE0 hexadécimal

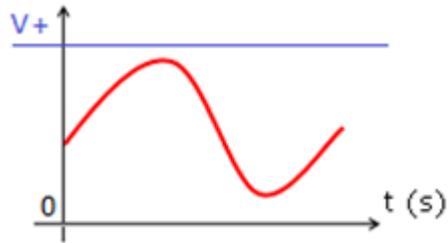
0	0	1	0	0	1	1	1	0	1
128	64	32	16	8	4	2	1		
$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$		

## Types de données

	Type de données	Signification	Taille (en octets)	Minimum	Maximum
Booléen	booléen	Vrai / faux	1 bit	0	1
Caractères	char	Caractère	1	-128	127
	unsigned char	Caractère non signé	1	0	255
Entiers	int	Entier	2	-32 768	32 767
	int	Entier non signé	2	0	65 535
	long int	Entier long	4	-2 147 483 648	2 147 483 647
	unsigned long int	Entier long non signé	4	0	4 294 967 295
Réels	float	Flottant (réel)	4	$3.4 \cdot 10^{-38}$	$3.4 \cdot 10^{38}$
	double	Flottant double	8	$1.7 \cdot 10^{-308}$	$1.7 \cdot 10^{308}$
	long double	Flottant double long	10	$3.4 \cdot 10^{-4932}$	$3.4 \cdot 10^{4932}$

# Les entiers

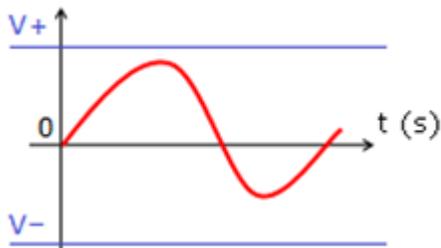
## Entier naturel



Un **entier naturel** est un entier positif ou nul

Type de données	Signification	Taille	Minimum	Maximum
booléen	Vrai / faux	1 bit	0	1
unsigned char	Caractère non signé	1 octet	0	255
Unsigned int	Entier non signé	2 octets	0	65 535
unsigned long int	Entier long non signé	4 octets	0	4 294 967 295

## Entier relatif



Un **entier relatif** est un entier pouvant être négatif

Type de données	Signification	Taille	Minimum	Maximum
char	Caractère	1 octet	-128	127
short int	Entier	2 octets	-32 768	32 767
long int	Entier long	4 octets	-2 147 483 648	2 147 483 647

## Le codage hexadécimal

Le **codage hexadécimal** est un système de numération positionnel en base 16. Il utilise ainsi **16 symboles**, en général les chiffres habituels pour les dix premiers chiffres et les lettres A à F pour les six suivants.

0 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; A ; B ; C ; D ; E ; F

<b>binaire</b>	1010110101010110011110111						
<b>regroupé par 4</b>	1	0101	1010	1010	1100	1111	0111
<b>regroupé en hexadécimal</b>	1	5	A	A	C	F	7
<b>hexadécimal</b>	15AACF7						
<b>(Décimal)</b>	22719735						

Ce format est largement utilisé en informatique car il offre une conversion facile avec le système binaire, système employé par les ordinateurs.

<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
128	64	32	16	8	4	2	1
$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$

$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	
8	4	2	1	
0	0	0	0	<b>0</b>
0	0	0	1	<b>1</b>
0	0	1	0	<b>2</b>
0	0	1	1	<b>3</b>
0	1	0	0	<b>4</b>
0	1	0	1	<b>5</b>
0	1	1	0	<b>6</b>
0	1	1	1	<b>7</b>
1	0	0	0	<b>8</b>
1	0	0	1	<b>9</b>
1	0	1	0	<b>A</b>
1	0	1	1	<b>B</b>
1	1	0	0	<b>C</b>
1	1	0	1	<b>D</b>
1	1	1	0	<b>E</b>
1	1	1	1	<b>F</b>

## Codage des réels - norme IEEE-754

Les nombres de type **float** sont codés sur 32 bits dont :

- 23 bits pour la mantisse
- 8 bits pour l'exposant
- 1 bit pour le signe

Les nombres de type **double** sont codés sur 64 bits dont :

- 52 bits pour la mantisse
- 11 bits pour l'exposant
- 1 bit pour le signe

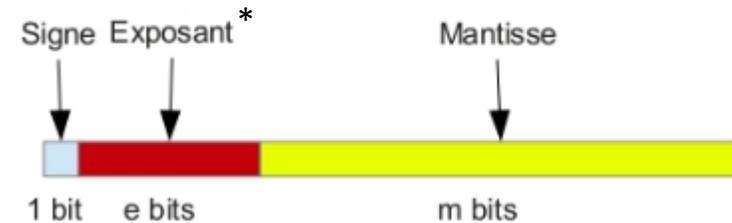
Les nombres de type **long double** sont codés sur 80 bits dont :

- 64 bits pour la mantisse
- 15 bits pour l'exposant
- 1 bit pour le signe

La précision des nombres réels est approchée. Elle dépend du nombre de positions décimales, elle sera au moins :

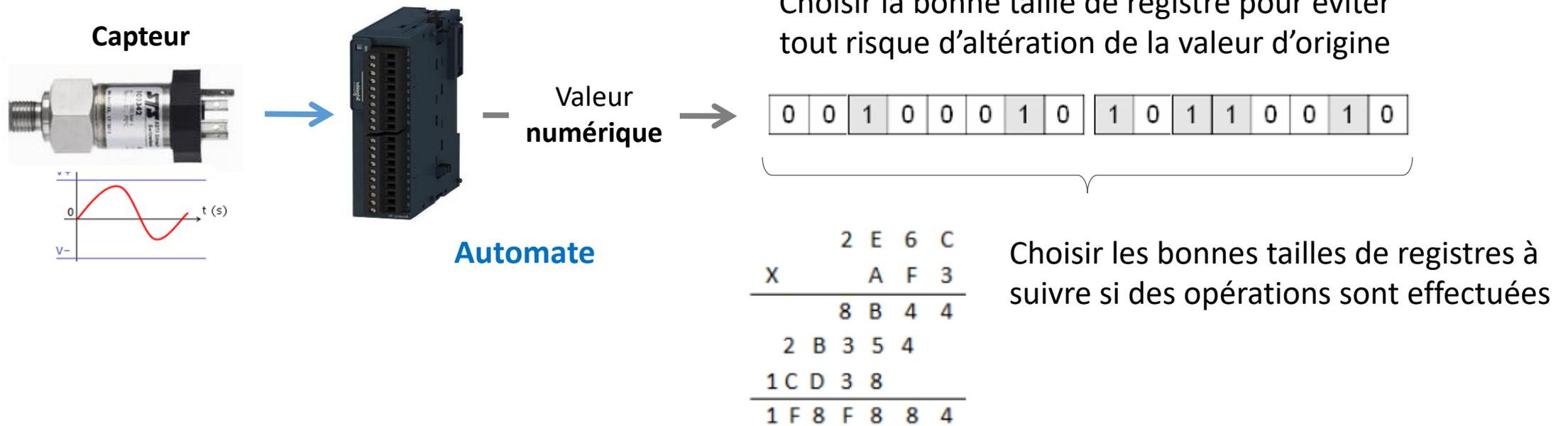
- de 6 chiffres pour le type **float**
- de 15 chiffres pour le type **double**
- de 17 chiffres pour le type **long double**

$$\text{Exemple : } -1,3254 = \underbrace{-}_{\text{Signe}} \underbrace{13254}_{\text{Mantisse}} \times \underbrace{10^{-4}}_{\text{Exposant}}$$



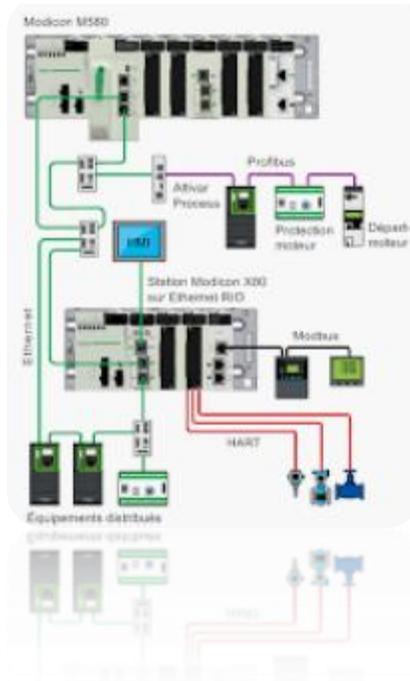
\* Pour des raisons pratiques, on ne stocke pas la vraie valeur de l'exposant mais l'exposant décalé c'est-à-dire un nombre entier compris entre 0 et  $2^{e-1}$  plutôt qu'un nombre compris entre  $-2^{e-1}+1$  et  $2^{e-1}$ . Le décalage (ou biais) est égal à  $2^{e-1}-1$ . Pour une valeur de  $e=8$ , l'exposant décalé sera donc compris entre 0 et 255 plutôt qu'entre -127 et 128 et le décalage sera de 127

## Précautions à prendre – adapter les registres en fonction des besoins et opérations effectuées



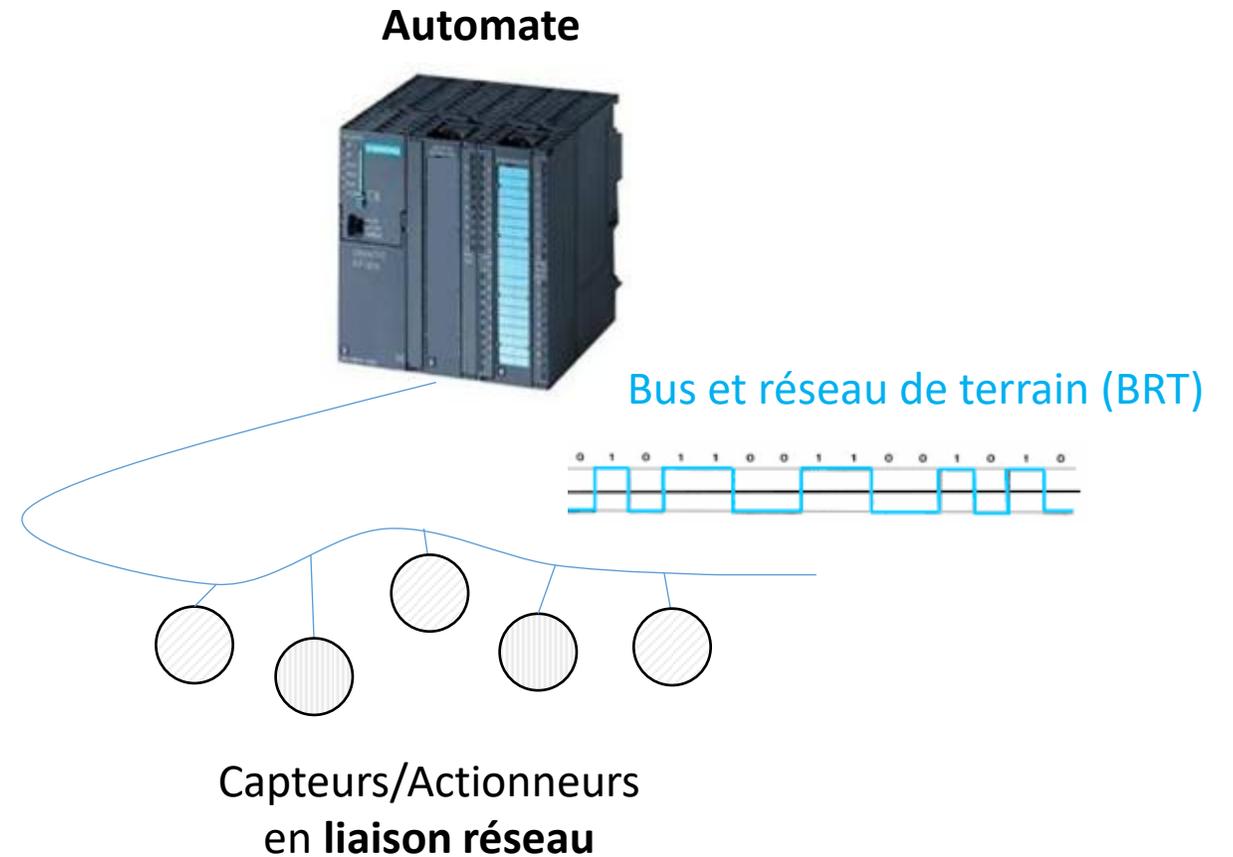
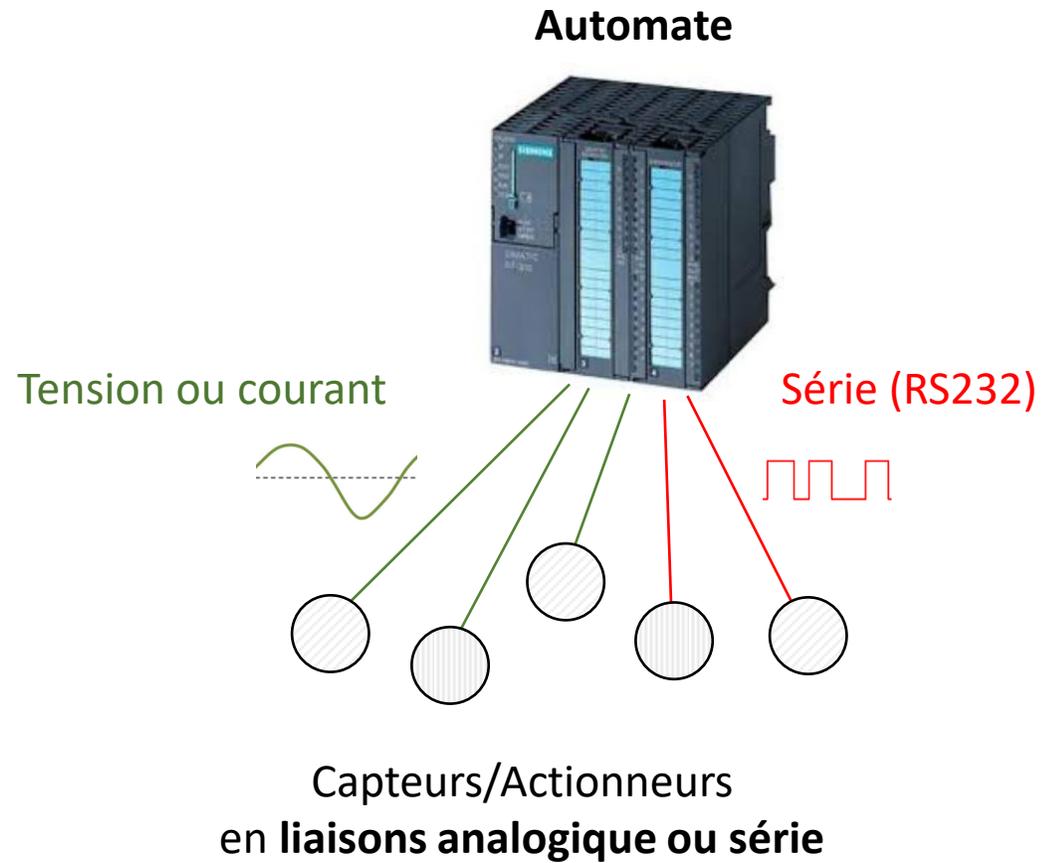
## LES RÉSEAUX

### *Bus et réseaux de terrain*



- Liaisons des capteurs et des actionneurs avec l'automate
- Niveaux de réseaux : avantages/inconvénients
- Groupes de réseaux
- Principes des réseaux
- Les méthodes d'accès
- Topologie des réseaux
- Câbles et connecteurs

## Liaisons des capteurs et des actionneurs avec l'automate



# Niveaux de réseaux

Bien différencier le BRT capteurs/actionneurs sous l'automate et le réseau de liaison inter-systèmes Ethernet



Réseau inter-automates et autres appareils (Ethernet)

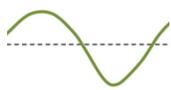
Automate



Automate



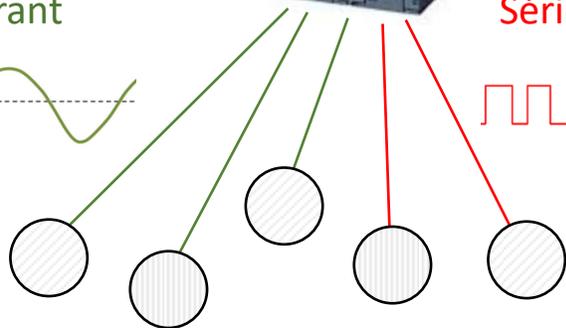
Tension ou courant



Série (RS232)



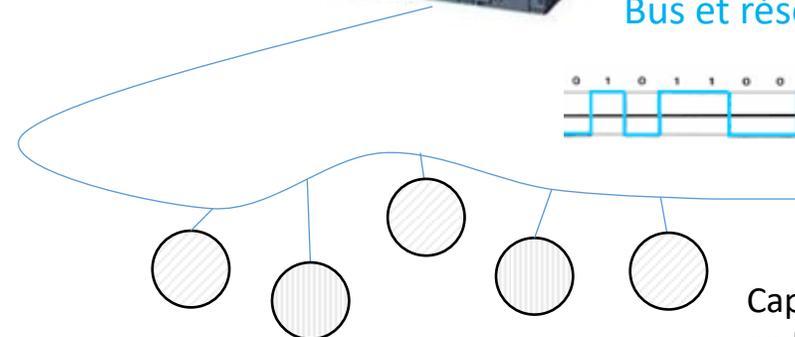
Capteurs/Actionneurs en liaisons analogique ou série



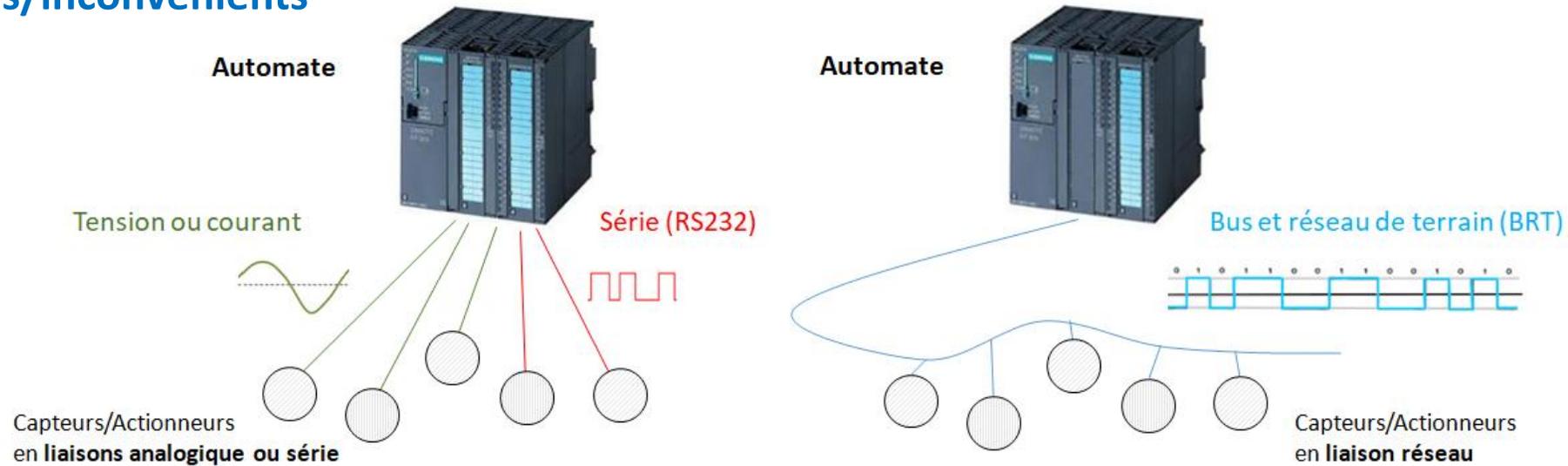
Bus et réseau de terrain (BRT)



Capteurs/Actionneurs en liaison réseau



## Avantages/inconvénients



### Tension ou courant

#### Avantages

- Liaison directe
- Permanence de l'information
- Mesure au multimètre

#### Inconvénient

- Sensible aux perturbations
- Beaucoup de fils

### Liaison série

#### Avantages

- Liaison directe
- Moins sensible aux perturbations

#### Inconvénient

- Pas de mesure multimètre
- Pas de permanence de l'information
- Beaucoup de fils

### Bus et réseau de terrain

#### Avantages

- Un seul câble de liaison
- Gain financier
- Bonne protection aux perturbations

#### Inconvénient

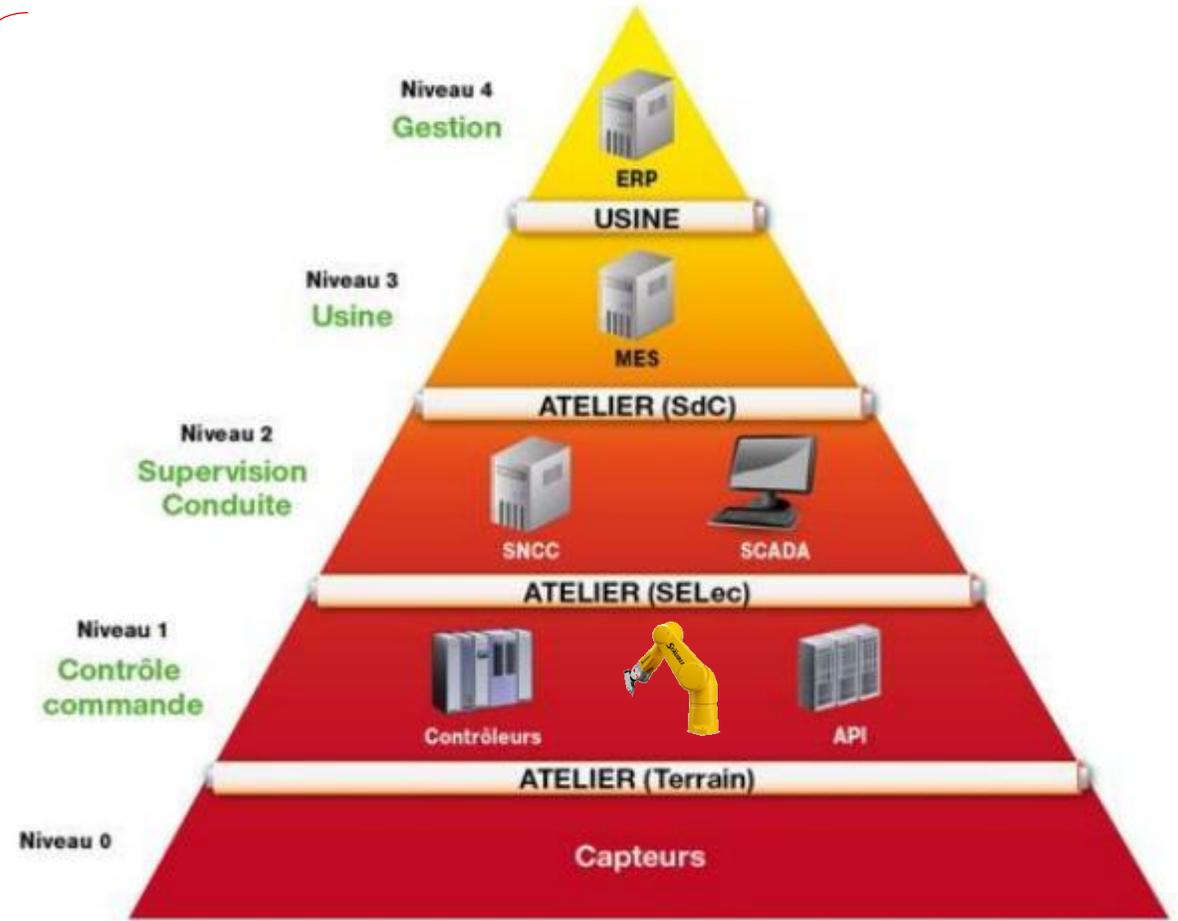
- Besoin d'outil informatique
- Pas de permanence de l'information

## Concept de la pyramide du CIM

Computerized Integration Manufacturing

### Groupes de réseaux

- **Internet** – *Le réseau des réseaux*
- **Ethernet** - *jusqu'à 1 GHz*
- **Ethernet industriel** - *jusqu'à 1 GHz*  
Powerlink – Ethercat...
- **Bus et Réseaux de Terrain** - *jusqu'à 20 MHz*  
Devicenet - Interbus - Profibus – Profinet...

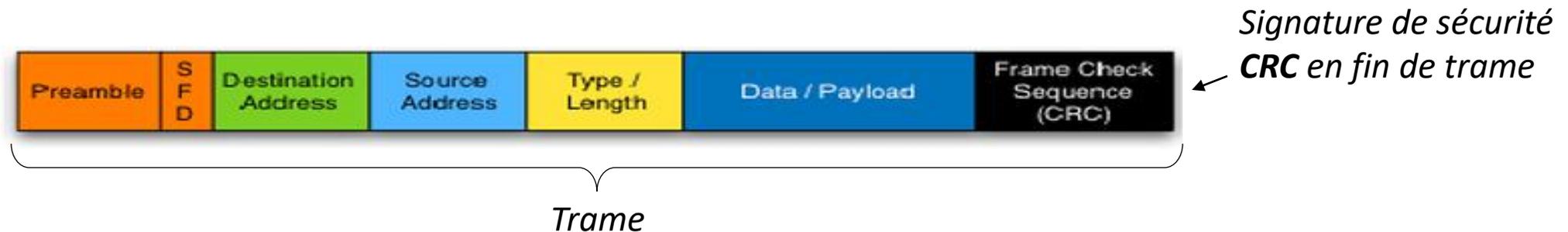


## Principes des réseaux

Le but principal du réseau industriel est de transporter l'information d'un point à un autre :

- **De façon sûre** : l'erreur peut être dangereuse
- **Dans un temps donné** : Déterminisme \*

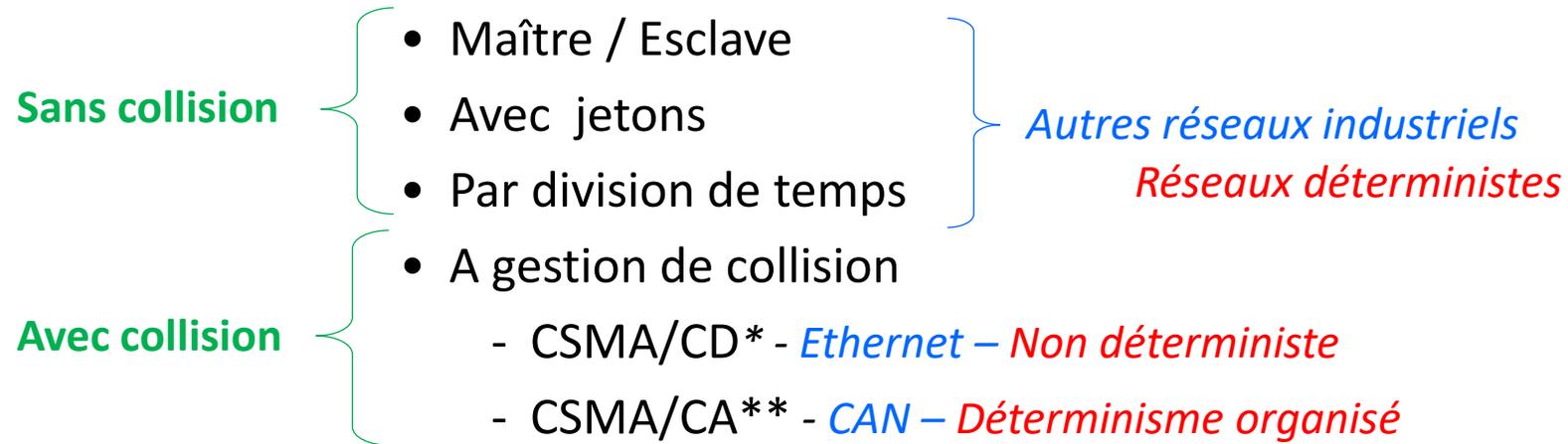
(\* **Déterminisme**: c'est la faculté de transférer des données dans un temps **donné et connu**



Les données sont transportées dans des **trames** (suite de bits 1/0) de **tailles variables** suivant les types de réseaux  
 Des **protocoles** propres à chaque réseau permettent d'échanger les données entre appareils  
 Le **CRC** (Cyclic Redundancy Check) ou **FCS** (Frame Check Sequence) permet de sécuriser chaque trame

## Les méthodes d'accès

La **méthode d'accès** permet de contrôler le trafic sur un réseau :  
qui parle, quand et pour combien de temps...



(\*) CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

(\*\*) CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

## Les méthodes d'accès

### Maitre/Esclave

- Le maître parle à un moment donné à l'esclave
- L'esclave doit répondre dans un temps donné
- Un esclave n'a pas le droit d'initier un dialogue
- Le maître peut parler à plusieurs esclaves
- Un dialogue entre 2 esclaves passe par le maître
- Le calculateur central cadence les dialogues
- Cohérence absolue des dialogues, pas de collisions
- Déterminisme assuré. temps de dialogues longs

### Jeton

- Aucune n'émet spontanément
- Chacun attend son tour pour émettre
- C'est le passage du jeton (token) qui détermine qui émet

### TDMA (division de temps)

- Chaque station émet dans sa tranche de temps sur un cycle
- Une station peut utiliser plusieurs tranches de temps par cycle
- Pas de collision

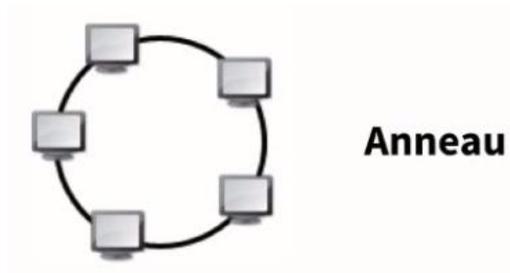
### CSMA CD/CA

- Toutes les stations sont égales
- Chaque station émet quand elle veut
- Les collisions sont détectées par les stations
- Les collisions sont acceptées
- Les collisions sont gérées par le protocole
- Il y a une stratégie d'arbitrage des collisions

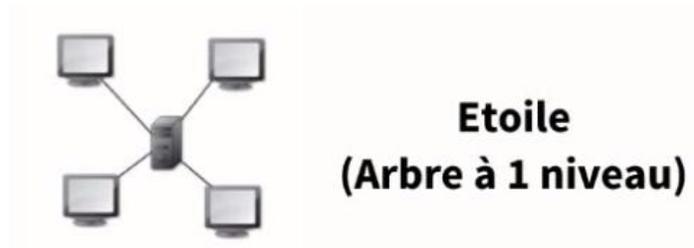
## Topologies des réseaux

Une **topologie de réseau** informatique correspond à l'architecture (physique ou logique) de celui-ci, définissant les liaisons entre les équipements du réseau et une hiérarchie éventuelle entre eux.

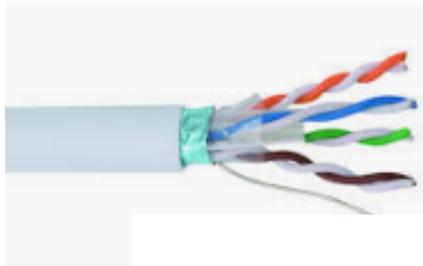
Elle peut définir la façon dont les équipements sont interconnectés et la représentation spatiale du réseau (topologie physique). Elle peut aussi définir la façon dont les données transitent dans les lignes de communication (topologies logiques)



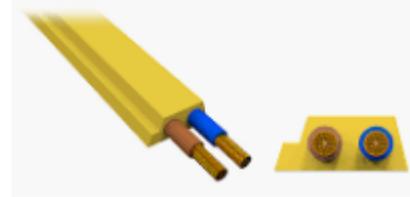
*La majorité des BRT industriels*



## Le câblage



Ethernet



ASi



Profibus

Les câbles doivent être **adaptés** au contexte industriel  
Chaque type de réseau a des **câbles homologués**  
Les câbles participent à la **qualité** de transmission  
Ils participent à la **protection** aux rayonnements

## La connectique



La connectique est importante car elle participe à la **qualité** du fonctionnement du réseau dans des **environnements difficiles**. Chaque type de réseau propose des connectiques normalisées et renforcées pour résister aux **conditions industrielles**

# Les supports vidéo



- Capteurs
- Signaux
- Traitements
- Perturbations
- ...

Les capteurs – généralités :

<https://www.youtube.com/watch?v=bCqRrAgmSQ0>

Les différentes familles de capteurs :

<https://www.youtube.com/watch?v=TGiuRNNMFow>

Les capteurs passifs et actifs :

<https://www.youtube.com/watch?v=VbIL9H-VTQk>

Numérisation et quantification d'un signal :

<https://www.youtube.com/watch?v=Fx4qjj0g88k>

Les capteurs - L'information analogique, numérique et logique :

<https://www.youtube.com/watch?v=2PckTQZTdBw>

Signal numérique et analogique : Théorie de l'échantillonnage :

<https://www.youtube.com/watch?v=ANICjZY23XU>

Les capteurs - Les types d'erreurs classiques :

<https://www.youtube.com/watch?v=kG8KoEJ552g>

Traitement du signal analogique d'une mesure à l'IHM :

<https://www.youtube.com/watch?v=KSZWp7yRW2A>

Les capteurs dans la chaîne d'information :

<https://www.youtube.com/watch?v=ukKk4X4ocL4>

Chef de Projet en Automatismes, Robotique et  
Informatique Industrielle  
CP ARII

*Gérer une information analogique*

*Elaborer et transcrire un module de gestion d'une mesure analogique*

**Fin de Présentation**