

# CAPTEURS

« conditionnement des signaux »

Instrumentation Industrielle

## Capteurs

Module Capteur : Licence PRO

Présenté par:

**ANNECCA Gaëtan**

Responsable REGULATION

Papèteries de CLAIREFONTAINE

## Partie 2 :

### Capteurs – Transmetteurs

- Définition et ***classification*** des capteurs
- L'entrée du capteur : le ***mesurande***
- Le ***corps d'épreuve*** et le ***transducteur***
- Les capteurs « ***passifs*** » et « ***actifs*** »
- Les ***conditionneurs*** et les ***transmetteurs***
- Les principaux ***signaux*** utilisés
- Raccordement électrique du transmetteur

## Capteurs

## • Le Capteur - (*Sensor*)

Définition: Dispositif de **métrologie** chargé de traduire les **variations** d'un procédé **physico-chimique** en une **grandeur exploitable**.

Procédés  
physico-chimique,  
mécanique,  
électrique, ...



CAPTEUR



Grandeur  
quantitative  
exploitable

Ex: pression, niveau,  
débit, vitesse,  
déplacement,  
température,  
flux lumineux,



Indication analogique  
Indication numérique

Signal électrique  
Signal numérique

# Capteurs

- **Définitions**

Un **capteur** est un dispositif de prélèvement d'informations qui élabore, à partir d'une **grandeur physique**, une autre grandeur physique de nature différente (généralement électrique) **image** de la grandeur prélevée, et utilisable à des fins d'indication de **mesure**.

C'est à partir du moment où l'on a su capter une grandeur physique et exploiter ses caractéristiques, que l'on a pu réaliser des systèmes automatiques et intelligents qui s'auto contrôlent sans l'intervention de l'homme.

## Capteurs

- **Entrée : grandeur physique**

C'est la grandeur d'entrée du capteur (position, pression, température, niveau, déplacement, ...) qui fournit par son état ou ses variations, une information utile à l'unité d'acquisition et de traitement.

- **Sortie : grandeur électrique**

C'est la grandeur de sortie du capteur, précisément de la **chaîne de mesure**. Ce signal de sortie électrique, dit **exploitable**, peut être de nature :

**Analogique** (continu dans le temps)

**Logique** (binaire 0 ou 1, ou TOR : tout ou rien)

**Numérique** (valeur > à deux états)

## • Classification

Un **capteur électrique** est un dispositif qui transforme une grandeur physique, le Mesurande (grandeur analogique), en une grandeur électrique (courant, tension, charge).

Les **détecteurs** font partie de la famille des capteurs, leur fonction est de transformer la grandeur physique d'entrée en une grandeur **logique**. L'information en sortie d'un détecteur est de type **tout ou rien**, 0 ou 1 logique.

Exemple de détection :

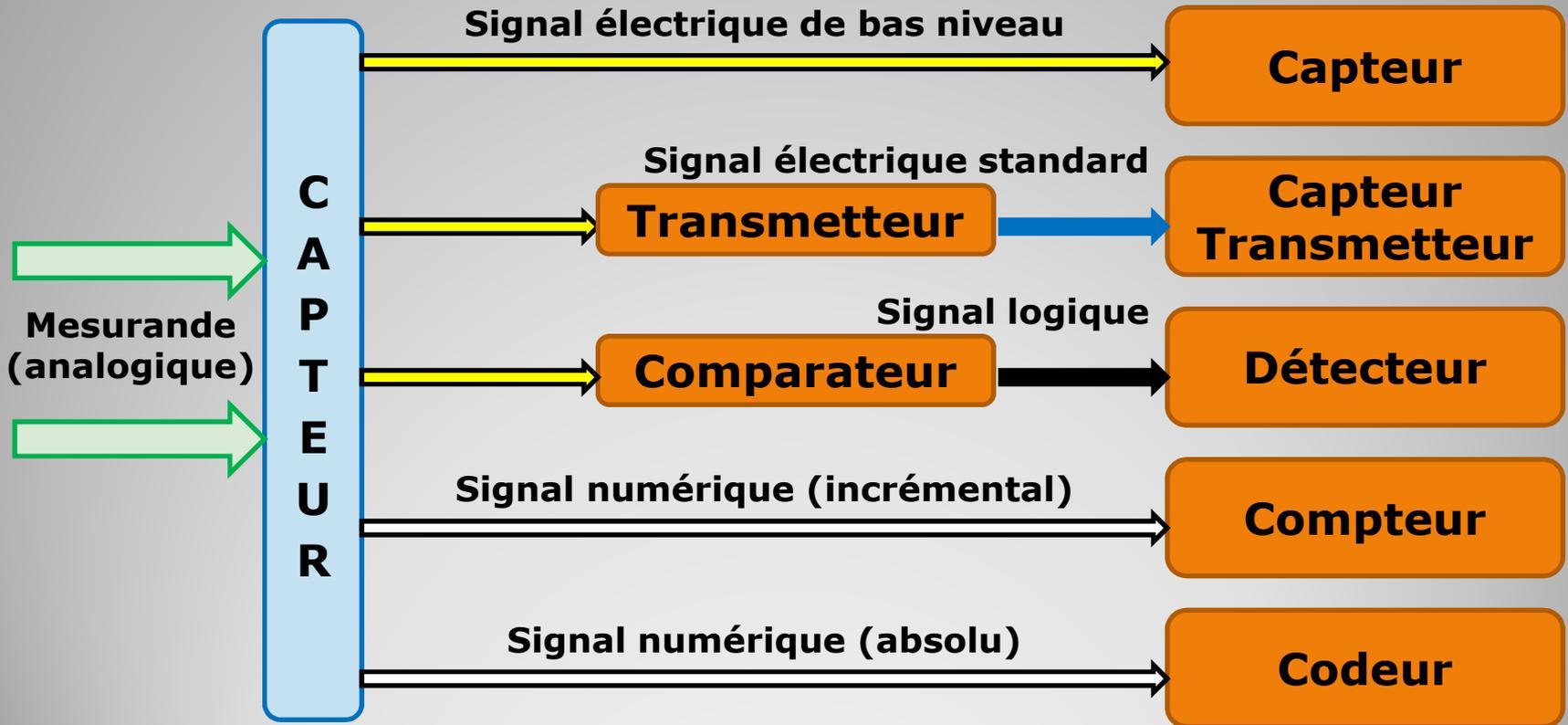
Présence, absence, passage, position, proximité

Exemple de technologie utilisée :

Détecteurs inductifs, magnétiques, capacitifs, photoélectriques, ultrasons, infra rouge, laser, radioactifs, ...

# Capteurs

# Classification - terminologie



# Capteurs

- **Capteur - Transmetteur**

*Langage technique*

Le langage technique usuel simplifiant souvent les dénominations, l'association d'un capteur et de son transmetteur devient couramment, par raccourci, **capteur** au lieu du terme **capteur-transmetteur**.

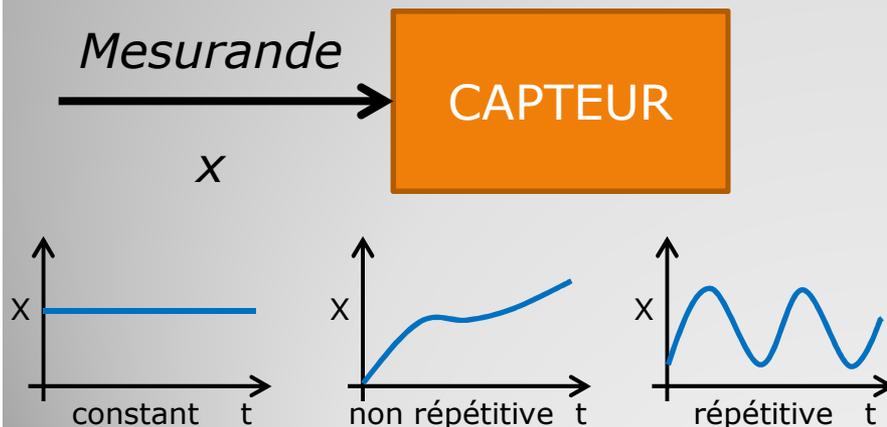
On admet que le mot **capteur** définit un instrument de mesure de procédé industriel.

Le mot **transmetteur**, intégré ou déporté, correspond à un convertisseur d'un signal de mesure en un signal normalisé.

## • L'entrée du capteur : le mesurande

Le **mesurande** est la **grandeur physico-chimique à mesurer**, on la note **X** ou **E** pour se référer à l'**entrée du capteur**.

Exemple: pression, température, débit, niveau, flux de rayonnement, accélération, position, déplacement, tension, densité, viscosité, conductivité, pH, ...



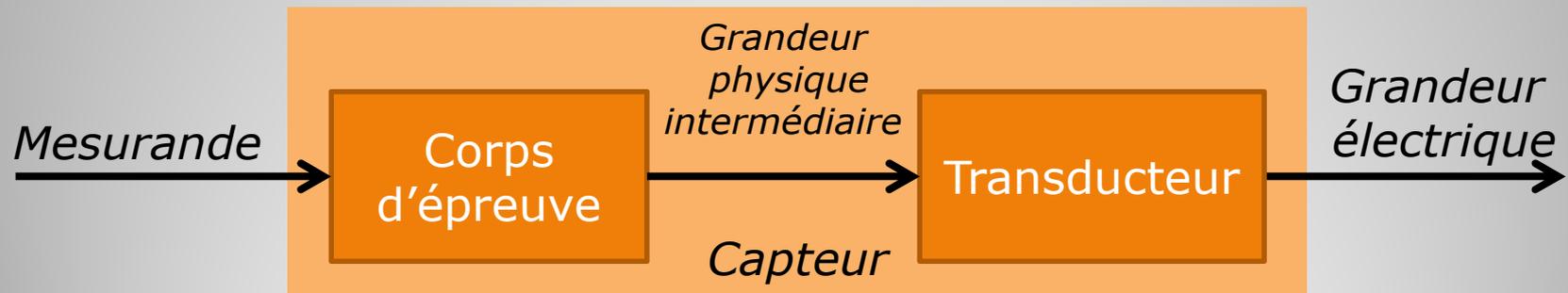
On peut distinguer plusieurs type de mesurandes:

- Mesurande constant
- Mesurande à évolution temporelle
  - non répétitive
  - répétitive (périodique)

## • Constitution d'un capteur

Lorsque le capteur est constitué de plusieurs éléments, le **corps d'épreuve** est celui en contact direct avec le mesurande.

Il génère une grandeur physique intermédiaire (déplacement, déformation, force ...) traduite en une grandeur électrique (tension, capacité, induction ...) par le **transducteur**.



En pratique, les termes capteur et transducteur désignent le même constituant, traduit en anglais par les mots *sensor* et *transducer*.

# Capteurs

- Classification – grandeurs physiques**

Une des façons de distinguer les capteurs, est de classer les **grandeurs physiques** auxquelles les **corps d'épreuve** des capteurs sont soumis.

	<b>Concentration</b>		<b>Proximité</b>	
<b>Distance</b>		<b>Epaisseur</b>	<b>Densité</b>	<b>Pression</b>
<b>Température</b>		<b>Force</b>	<b>Viscosité</b>	<b>Temps</b> <b>Pesée</b>
	<b>Vitesse</b>		<b>Position</b>	<b>Niveau</b> <b>Couple</b>
<b>Analyses</b>	<b>Débit</b>		<b>Fréquence</b>	<b>Déplacement</b>
<b>Gaz ou</b>		<b>Vibrations</b>		
<b>Liquides</b>			<b>Position</b>	<b>Humidité</b>

# Capteurs

- **Capteur « passif » VS « actif »**

Une autre façon de distinguer les capteurs repose sur *l'effet* mis en œuvre pour **générer le signal de mesure**, on peut en distinguer deux types :

Les capteurs *passifs* :

**Impédance** dont l'un des **paramètres déterminant** est **sensible** au **mesurande**.

Les capteurs *actifs* : Fonctionnent en **générateurs**.

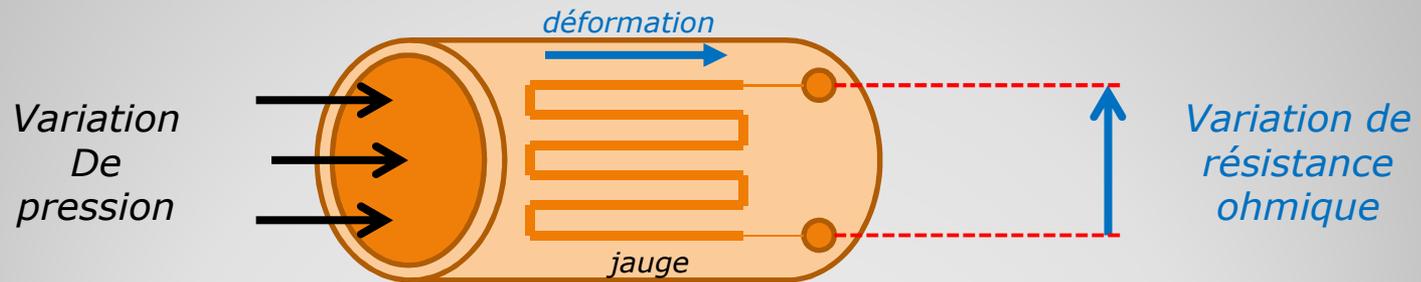
**Principe** fondé sur un **effet physique** qui assure la **conversion** en **énergie électrique** de la forme propre au **mesurande**.

**Capteur « passif » VS « actif »**

## • Capteur passif : définition

Le capteur est *passif* lorsque la grandeur électrique exploitable est une impédance à dominante **capacitive**, **inductive** ou **résistive**.

### Exemple: jauge de contrainte résistive



Une jauge de contrainte résistive (transducteur) est collée sur l'extérieur d'un tube. Sous l'influence d'une variation de pression, la jauge subit une déformation identique au tube (corps d'épreuve), et sa résistance ohmique varie.

## Capteur passif

## • Capteur passif : principe

Les capteurs *passifs* utilisent les *variations d'impédance*.

L'impédance présente dans l'*élément de transduction* réagit aux *variations* du mesurande aux travers des effets du mesurande sur le *corps d'épreuve*.

Cette variation d'impédance peut être le résultat d'un changement de *résistivité*, de *capacitance* ou d'*inductance*.

Dans l'expression littérale d'une impédance sont présents des termes liés:

- d'une part à sa *géométrie* et à ses *dimensions*
- d'autre part aux *propriétés électriques* des matériaux:
  - résistivité  $\rho$  (matériaux conducteurs)
  - constante diélectrique  $\epsilon$  (condensateurs à plaques ou cylindriques)
  - perméabilité magnétique  $\mu$  (métaux ferromagnétiques)

La variation d'impédance peut donc être due à l'action du mesurande :

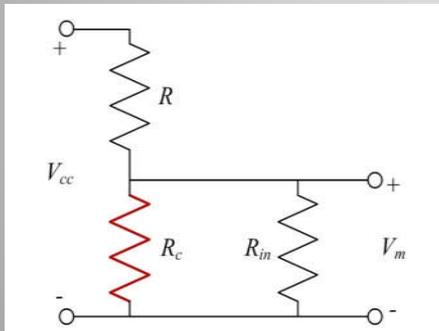
- soit sur les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles
- soit sur les propriétés électriques des matériaux
- soit plus rarement sur les deux simultanément

# Capteur passif

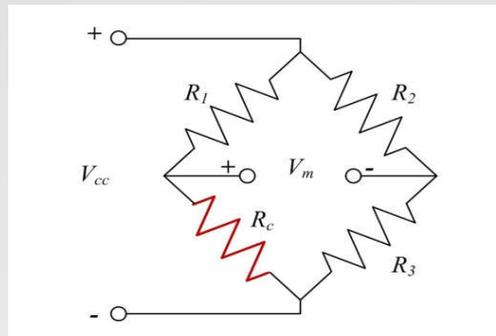
- Le Capteur passif** est un dipôle passif : les variations de son impédance ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique alimenté, qui est son **conditionneur électronique associé**.

Il faut leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie, par exemple dans le cas d'un **changement de résistivité**, les montages électroniques les plus couramment utilisés sont :

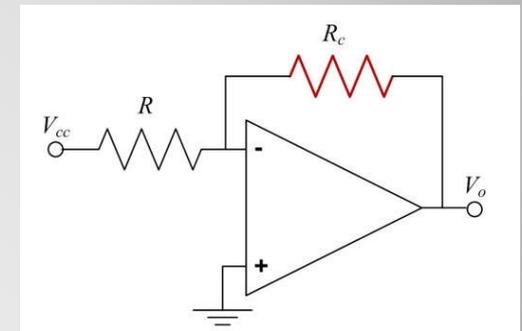
Potentiométrique



Pont de Wheatstone



Amplificateur inverseur



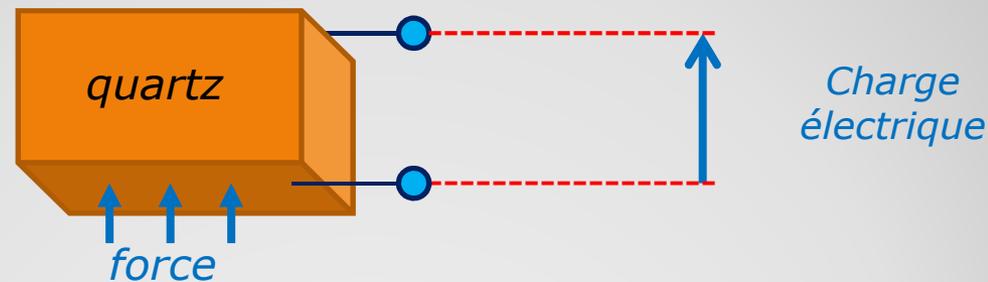
## Capteur passif

- **Capteur actif : définition**

Le capteur est **actif** lorsque, soumis au mesurande, il se comporte en générateur électrique : générateur de charge, de courant, ou de force électromotrice.

Le signal généré est faible : par exemple, pour une variation de  $100^{\circ}\text{C}$ , la f.é.m. d'un thermocouple type K varie de 4 mV.

Exemple: capteur générateur de charge



L'effet piézoélectrique du quartz traduit l'apparition de charges superficielles sur les faces opposées d'une lame soumise à une force. Cet effet est réversible.

## Capteur actif

# • Capteur actif : définition

Fonctionnant en **générateur**, un capteur **actif** est généralement fondé dans son principe sur un **effet physique** qui assure la conversion en **énergie électrique** de la forme d'énergie propre au **mesurande** : énergie **thermique**, **mécanique**, **cinétique** ou **magnétique**.

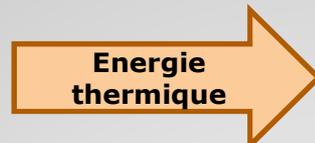
Température

Flux de rayonnement optique

Force, Pression, Couple

Vitesse

Position (avec un aimant)

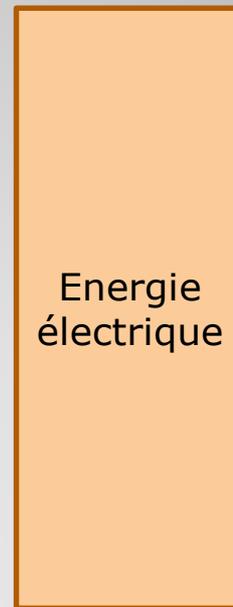


Thermoélectricité  
Pyroélectricité  
Photoémission  
Photovoltaïque  
Photoélectromagnétique

Piézoélectricité

Induction électromagnétique

Effet Hall



Tension  
Charge  
Courant  
Tension  
Tension

Charge

Tension

Tension

# Capteur actif

## • Effet *thermoélectrique*

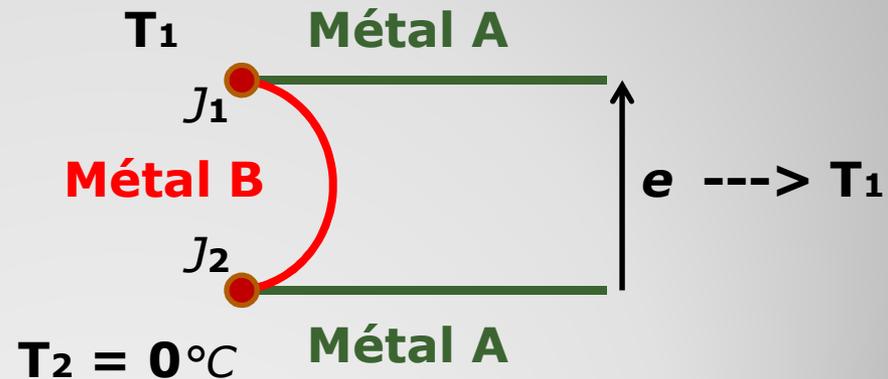
Un circuit formé de deux **conducteurs** de **nature chimique différente** dont les **jonctions  $J_1$  et  $J_2$**  sont à des températures différentes  **$T_1$**  et  **$T_2$** , est le siège d'une **force électromotrice :  $e(T_1, T_2)$**  **proportionnelle** à la **différence de température**.

C'est le principe des thermocouples.

Application : détermination à partir de la mesure de  **$e$**  d'une température inconnue  **$T_1$** , lorsque  **$T_2$**  ( $0^\circ\text{C}$  par exemple) est connue.

$J_1$  : Jonction de soudure chaude

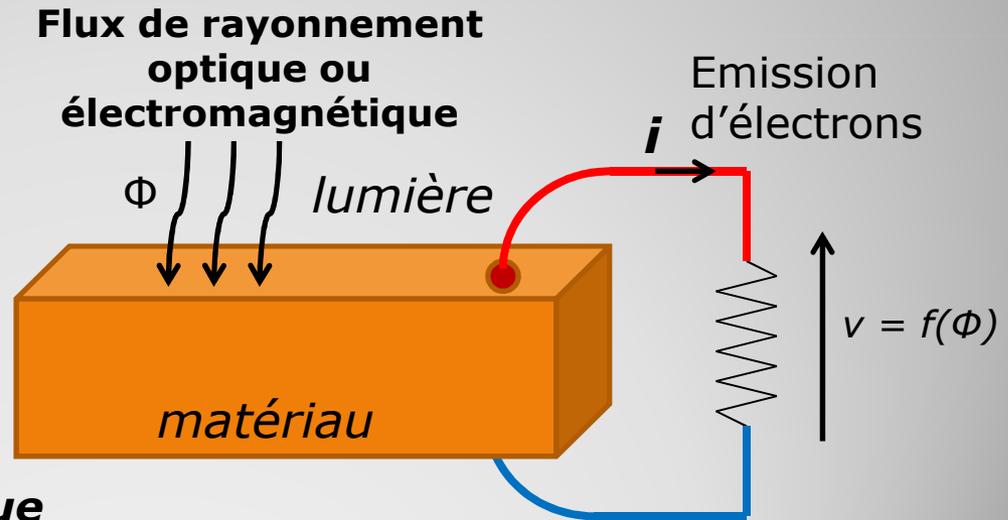
$J_2$  : Jonction de soudure froide



## Capteur actif

## • Effet *photoélectrique*

On en distingue plusieurs, qui diffèrent par leurs manifestations, mais qui ont pour origine commune la **libération de charges électriques** dans la matière sous **l'influence d'un rayonnement lumineux**, ou plus généralement électromagnétique, dont la longueur d'onde est inférieure à une valeur seuil, caractéristique du matériau.



Ce phénomène peut prendre plusieurs formes:

- Effet photoémissif
- Effet photovoltaïque
- Effet photo électromagnétique

## Capteur actif

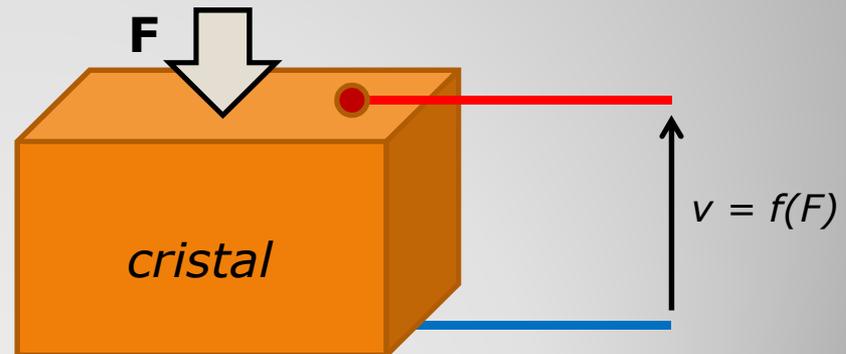
- **Effet piézoélectrique**

L'application d'une **force** et plus généralement d'une **contrainte mécanique** à certains **matériaux** dits piézoélectriques, le **quartz** par exemple, entraîne une déformation qui **créent des charges électriques égales**, et de signes contraires sur les faces sous contraintes.

Application: mesure de forces ou de grandeurs s'y ramenant (pression, force, accélération) à partir de la tension que provoquent aux bornes d'un condensateur associé à l'élément piézoélectrique, les variations de sa charge.

F : force de compression

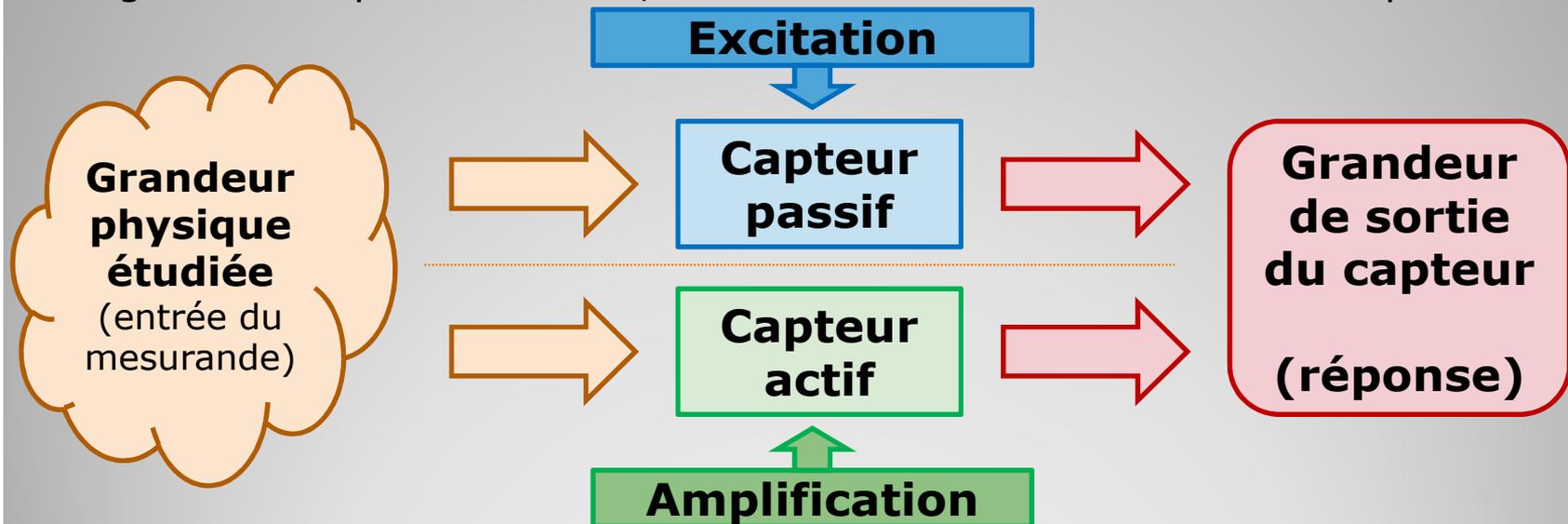
v : variation de tension aux bornes d'un condensateur associé



## Capteur actif

## • En résumé :

Les capteurs passifs ont besoin d'une source d'excitation pour fournir un signal électrique de mesure, certains ont besoin d'un circuit complexe.



Les capteurs actifs ont besoin d'un circuit d'adaptation pour fournir un signal électrique de mesure utilisable.

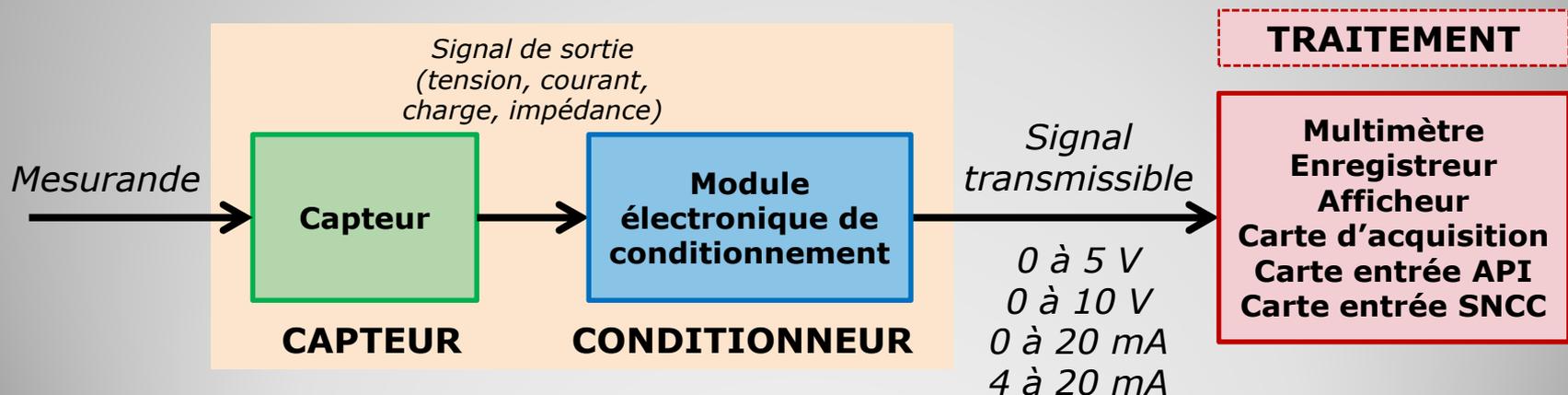
# Capteur « passif » vs « actif »

## • Définition

C'est un **dispositif** qui assure la **conversion** de la grandeur électrique de sortie du capteur en une grandeur électrique exploitable par **l'organe de traitement**.

Cette définition nécessite la **connaissance** des capteurs.

Le conditionneur est un **montage électronique** qui d'une manière plus générale englobe toute la chaîne instrumentale.



## Conditionneurs

## • Rôle du conditionneur

Dans la réalisation d'un ensemble de mesure, l'association **capteur + conditionneur** détermine le signal électrique.

Les capteurs **passifs** ont besoin d'une **alimentation**, et les capteurs **actifs** ont besoin d'un **circuit d'adaptation** pour délivrer un signal transmissible.

De la constitution du conditionneur dépend un certain nombre de performances de l'ensemble de la mesure:

- **sa sensibilité**
- **sa linéarité**
- **son insensibilité aux grandeurs d'influence**

En plus de fournir si nécessaire une **alimentation** au transducteur, le conditionneur permet d'obtenir la meilleure **sensibilité** globale possible, en ayant un comportement quasi **linéaire** au moins dans une plage limitée de fonctionnement, et en **compensant** au maximum les grandeurs d'influence.

# Conditionneurs

## ***Les conditionneurs du signal***

sont des dispositifs de traitement dont la fonction est en rapport direct avec les conditions de mesure et avec la nature du signal.

Objectifs recherchés :

- ***Alimentation*** d'un capteur passif
- ***Adaptation*** de la source de signal délivrée par un capteur actif grâce au type d'interface adéquat entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure, selon que cette source est une tension, un courant ou une charge.
- ***Filtration*** du signal primaire
- ***Linéarisation*** du signal analogique
- ***Amplification*** du signal analogique
- ***Isolation galvanique***
- ***Extraction de l'information*** relative au mesurande

Et pour certains transmetteurs, d'autres fonctions comme :

- ***Multiplexage***
- ***Conversion*** du signal sous forme ***numérique***

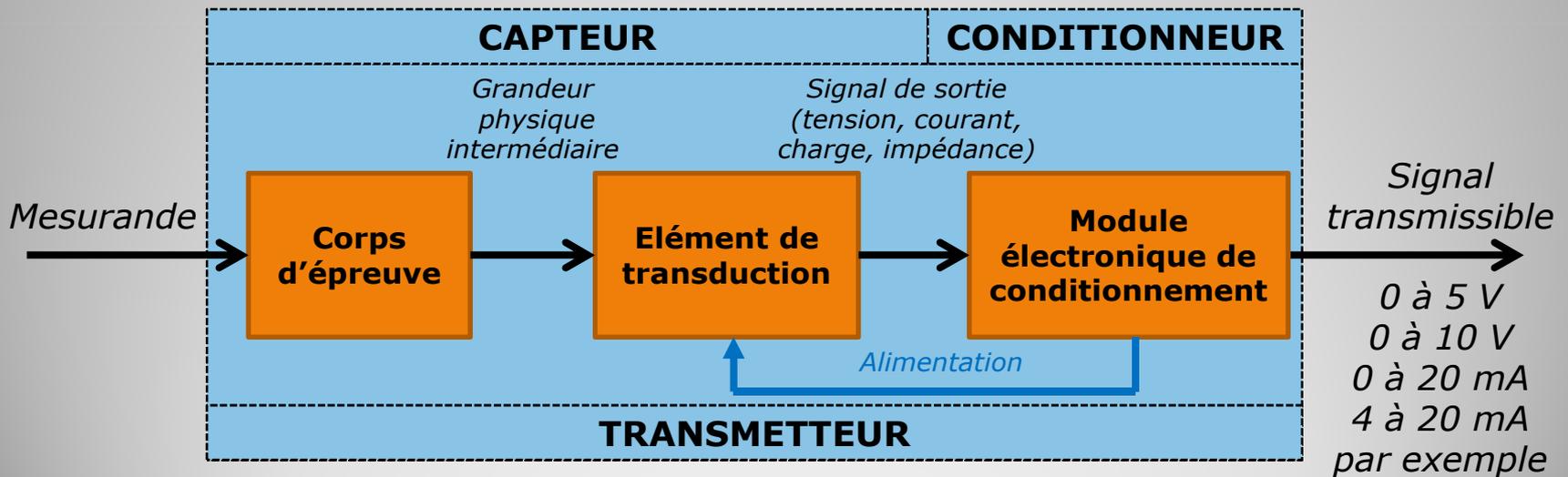
# Conditionneurs

## • Définition d'un transmetteur simple

D'après la norme NFC 46-303, un transmetteur est un appareil qui, recevant une vraie variable mesurée, produit un signal de sortie normalisé pouvant être transmis et ayant une relation continue et définie avec la valeur de la variable mesurée.

Le transmetteur est constitué d'un **capteur** associé à son **conditionneur**.

Il permet ainsi la transmission de **signaux exploitables** pour la plupart des appareils de contrôle commande industriels.



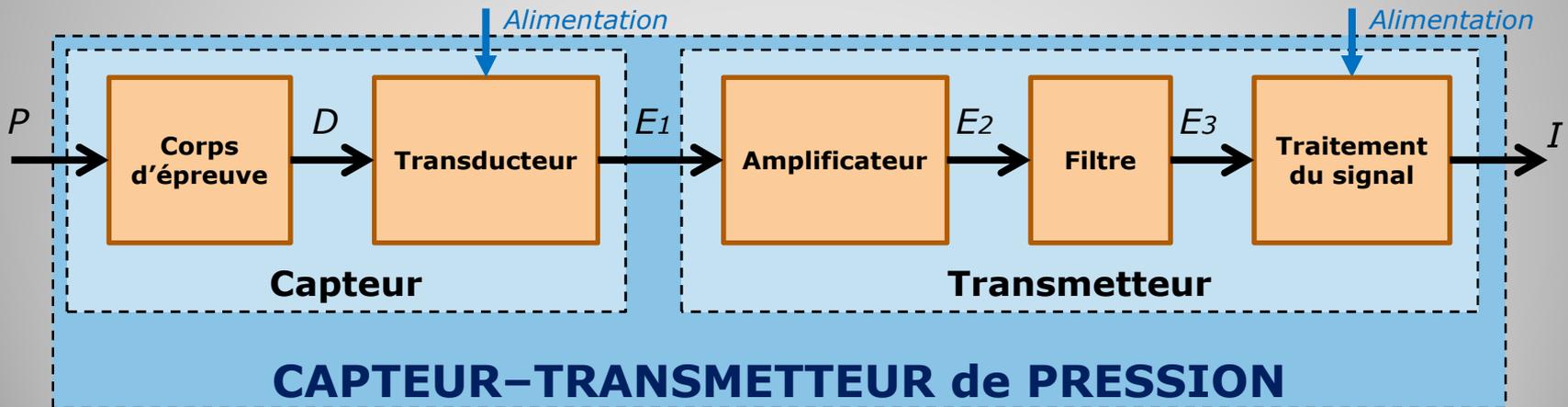
# Transmetteurs

- **Constitution d'un transmetteur**

Pour élaborer un signal normalisé à partir du signal généré par le capteur, le **transmetteur** comprend globalement un **amplificateur**, un **filtre**, et un **traitement du signal**.

Il complète ainsi la chaîne de mesurage du capteur.

Prenons l'exemple d'un transmetteur de pression délivrant un signal de sortie 4-20 mA :



# Transmetteurs

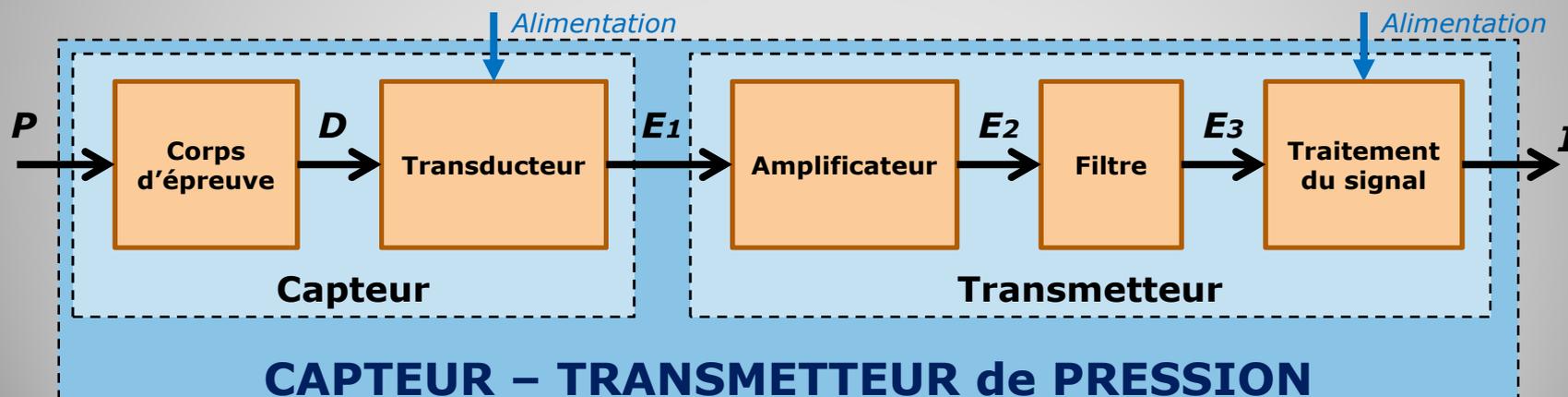
## • Constitution d'un transmetteur

L'**amplificateur**, en augmentant le niveau du signal électrique  $E_1$  délivré par le capteur, et en réduisant le rapport « bruit de fond / signal », il améliore ainsi la qualité du signal  $E_2$  transmis.

Le **filtre** élimine ou atténue les signaux parasites dans la limite de certaines fréquences pour garantir un signal de mesure  $E_3$  convenable.

Le **traitement du signal** réalise la fonction finale désirée, généralement linéaire, entre le mesurande  $P$  et la mesure  $I$ , et détermine la nature (tension ou courant), et l'intensité du signal de mesure.

Dans le cas du capteur-transmetteur de pression de notre exemple, le signal délivré est un courant  $I$  tel que :  $I = a \cdot P + b$  avec  $a$  et  $b$  dépendants du réglage effectué.



# Transmetteurs

- **Transmetteur universel intégré ou déporté**

Le capteur est fixé sur le procédé et il délivre un signal de mesure de faible intensité, qui ne peut être transmis sur de grandes longueurs.

La solution consiste à faire appel à un **transmetteur universel**, soit **intégré** dans le boîtier de raccordement du capteur, soit **déporté** dans un boîtier ou monté sur rail dans un **coffret d'instrumentation** distant jusqu'à quelques dizaines de mètres du capteur.

**Intégré****Déporté**

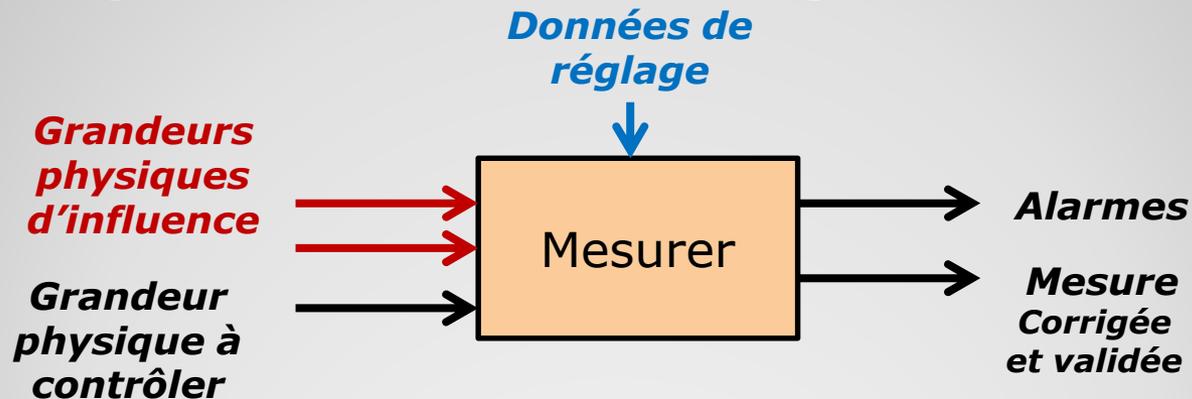
# Transmetteurs

- Schéma fonctionnel d'un transmetteur

### Capteur transmetteur analogique



### Capteur transmetteur intelligent ou « smart »



# Transmetteurs

## • Structure interne d'un transmetteur intelligent

On désigne par transmetteur intelligent un instrument de mesure constitué de :

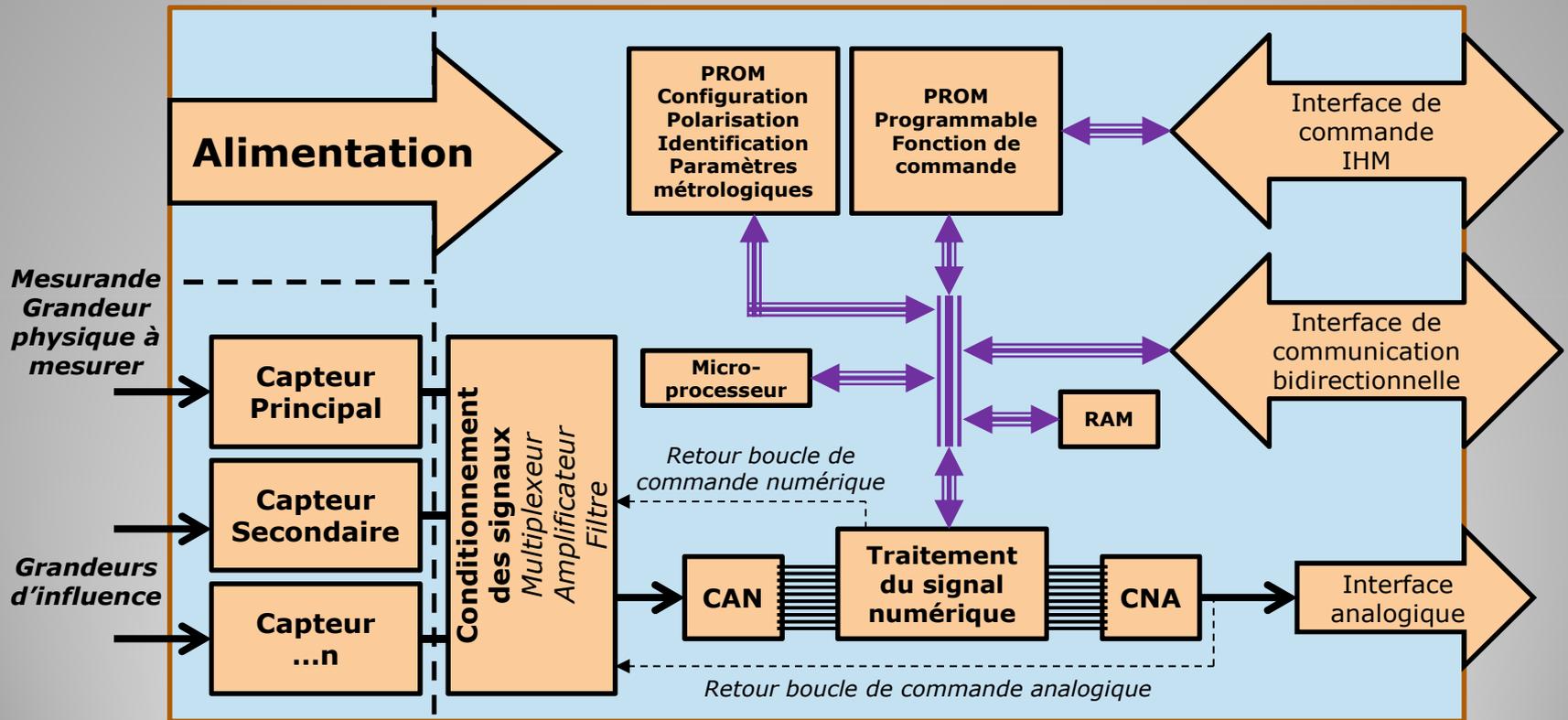
- **une chaîne de mesure pilotée par microprocesseur**
- **une interface de communication bidirectionnelle**

**La chaîne de mesure** comporte :

- Le capteur principal (spécifique au mesurande) et identifiable.
  - Les capteurs secondaires propres aux grandeurs d'influence.
  - Les dispositifs classiques de numérisation de la réponse de chaque capteur : conditionneur, multiplexeur, amplificateur, filtre, échantillonneur bloqueur, convertisseur analogique/numérique.
  - Un microprocesseur pour la gestion de l'acquisition, la correction des effets des grandeurs d'influence au moyen de paramètres stockés en PROM et des données fournies par les capteurs secondaires, la linéarisation, le paramétrage, le diagnostic.
- **L'interface de communication** bidirectionnelle assure la liaison du capteur à un calculateur central (unité de supervision, ordinateur PC, console de communication, ...) via un bus qui peut être partagé entre plusieurs transmetteurs intelligents.
  - **Les avantages** : configuration à distance, diagnostic, maintenance (alarmes).

# Transmetteurs

## • Structure interne d'un transmetteur intelligent



# Transmetteurs

## • Signaux universels

Un capteur délivre un signal de faible intensité désigné par l'appellation « **signal de bas niveau** ». Pour l'étendue de mesure du capteur, les signaux « bas niveaux » sont :

potentiométrique, thermocouple, tension, courant  
par exemple : -20mV à +20mV, 0 à 100 mV

Malgré un signal « bas niveau », un capteur peut être relié à l'entrée de mesure d'un dispositif de contrôle tel qu'un automate programmable industriel (API) ou un régulateur. Dans ce cas, la carte d'entrée se substitue au transmetteur absent et réalise l'amplification et le traitement de linéarisation du signal délivré par un thermocouple ou une sonde pt100 par exemple.

Un transmetteur délivre un signal appelé « **signal haut niveau** » puisque son énergie permet la transmission de la mesure à une grande distance (plusieurs centaines de mètres) du point de mesure.

Ces signaux « haut niveau » sont :

**0 - 5 V , 1 - 5 V , 0 - 10 V , 0 - 20 mA , 4 - 20 mA**

## Signaux utilisés

## • Le standard 4-20 mA

**Les avantages** du signal analogique en courant 4-20 mA :

- il n'est pas affecté par les chutes ohmiques de tension,
- les tensions parasites ne l'influencent pas, grâce à l'impédance interne du générateur de courant en série dans la boucle,
- il autorise la transmission de la mesure sur une distance supérieure à 1 km,
- il possède une bonne immunité aux parasites de type magnétique,
- il est économique, puisque deux fils par instrument suffisent pour l'alimentation en tension et la transmission de la mesure,
- la valeur 4 mA permet de différencier le zéro de mesure de la rupture de la transmission, et d'alimenter le transmetteur dans le cas d'un « 2 fils »,
- il admet la superposition d'un signal numérique de communication HART.

En instrumentation industrielle, le signal 4-20 mA est maintenant un standard, et tous les fabricants d'instrumentation proposent ce signal.

**L'inconvénient** du signal en courant analogique 4-20 mA, est qu'une vérification du transmetteur conduit à couper la transmission, puisque tous les instruments sont montés en **série** dans **une boucle de courant**.

Certains constructeurs conditionnent leurs transmetteurs afin de pouvoir effectuer un test du signal sans couper la transmission, et le « **signal HART** » détourne également en partie cet inconvénient.

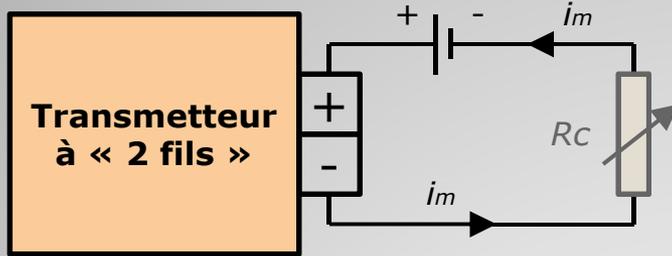
# Signaux utilisés

- Le Raccordement électrique d'un transmetteur** au dispositif d'exploitation de la mesure, dépend de la nature du signal de mesure et de son alimentation.
- Il existe des transmetteurs à « **2 fils** », à « **3 fils** » ou à « **4 fils** ».
- En instrumentation industrielle, par soucis d'économie et de standardisation, les transmetteurs à « 2 fils » en signal 4-20 mA sont les plus répandus.***

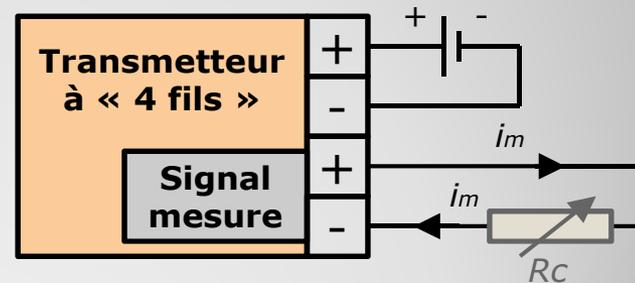
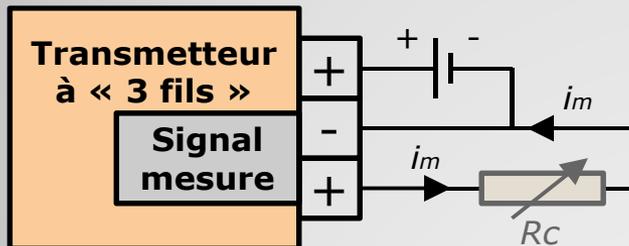
	Signal courant		Signal tension	Alimentation en tension continue	Alimentation en tension alternative
Transmetteur	4-20 mA	0-20 mA	0-5 V 1-5 V 0-10 V	10 Vdc à 48 Vdc en fonction de la charge	24 Vac 48 Vac 230 Vac
à « 2 fils »	oui	non	non	oui	non
à « 3 fils »	oui	oui	oui	oui	non
à « 4 fils »	oui	oui	oui	oui	oui

## Raccordement électrique

- Raccordement des transmetteurs à signal 4-20 mA avec alimentation en tension continue**



La résistance de charge  $R_c$  correspond à la résistance comprenant celle du ou des récepteurs (entrée API, régulateur, indicateur ou bien centrale d'acquisition) et de la ligne de transmission.



## Raccordement électrique

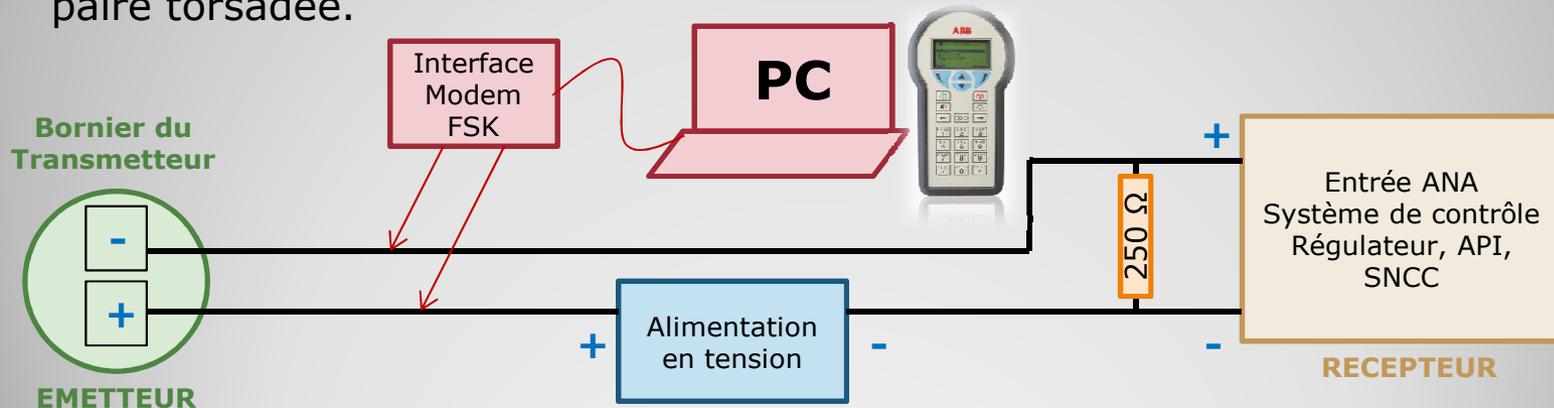
## • Protocole de Communication HART

**Le transmetteur option HART**, repéré par son adresse, est configurable par un ordinateur équipé d'un modem FSK, ou via une console de configuration portative (Pocket HART), branché en parallèle sur la boucle de courant avec une résistance minimale de  $250\ \Omega$  en série.

L'expert peut alors régler l'étendue de mesure avec son unité, le temps de réponse, les valeurs d'alarmes, la validation d'une racine carrée sur le signal de mesure, bloquer le signal ou le simuler.

Pour la maintenance préventive, interroger l'état du transmetteur, de la mesure, de la température du fluide mesuré ou encore du boîtier.

La longueur maximale de cette transmission est de 3000 m avec un câblage en paire torsadée.



## Signaux utilisés

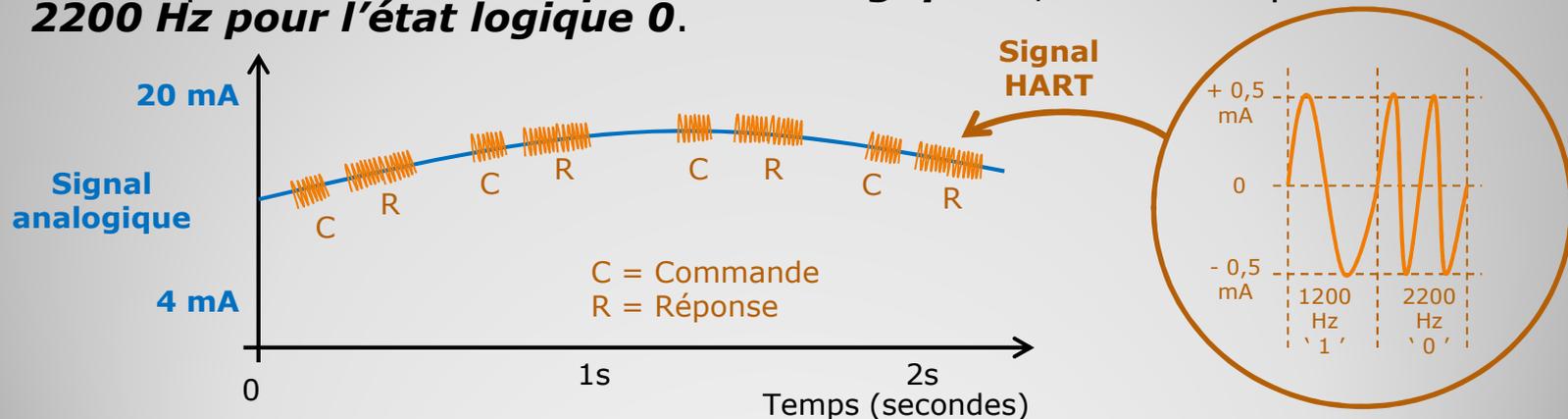
## • Protocole de communication HART

Le **protocole HART** (*Highway Addressable Remote Transducteur*) permet la communication **simultanée** de **données analogiques** et **numériques**.

Ce protocole de communication de type série est spécifique au contrôle industriel et compatible avec les boucles de courant analogique 4-20 mA.

La communication effectuée sous forme **digitale** utilise un **courant alternatif** modulé en fréquence qui est **superposé** au courant analogique 4-20 mA sans l'altérer puisque sa valeur moyenne est **nulle**.

Le protocole est basé sur un système de modulation Bell 202 et du procédé **FSK** (*Fréquence Shift Key*), les données numériques sont transmises en série avec une fréquence de **1200 Hz pour l'état logique 1**, et une fréquence de **2200 Hz pour l'état logique 0**.

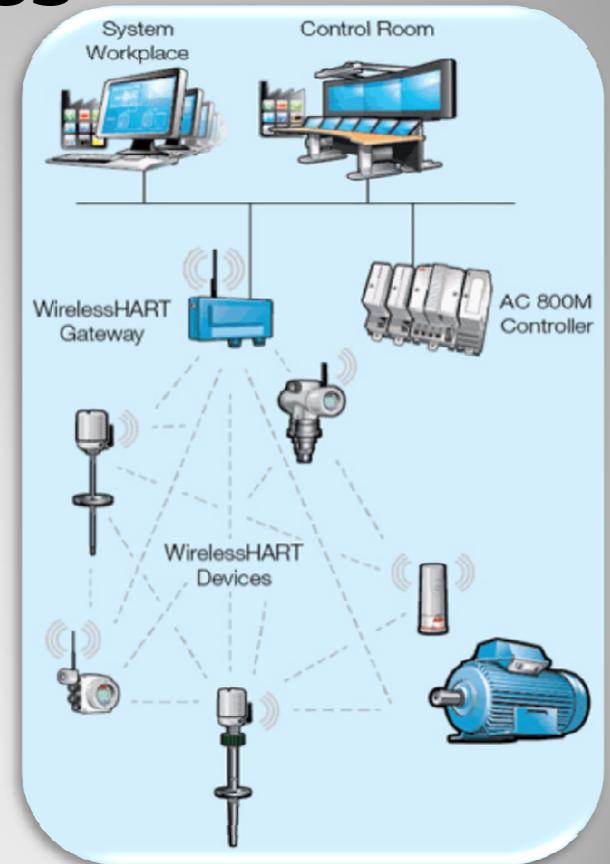


## Signaux utilisés

## • Réseau sans fil « Wireless »

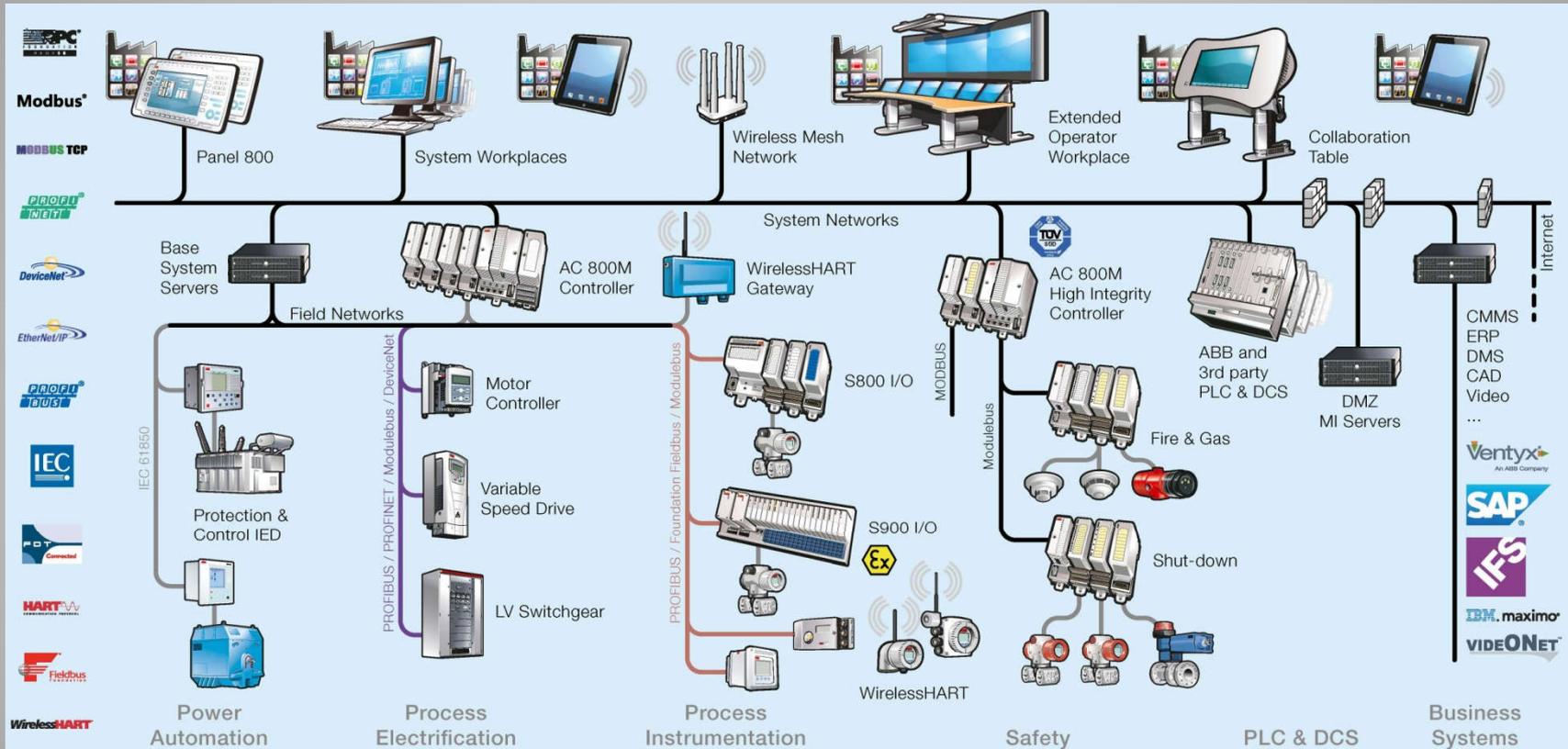
### Protocole de communication HART Wireless

#### Transmetteurs sans fil



## Transmission sans fil

## Architecture d'un système industriel



# Architecture système industriel