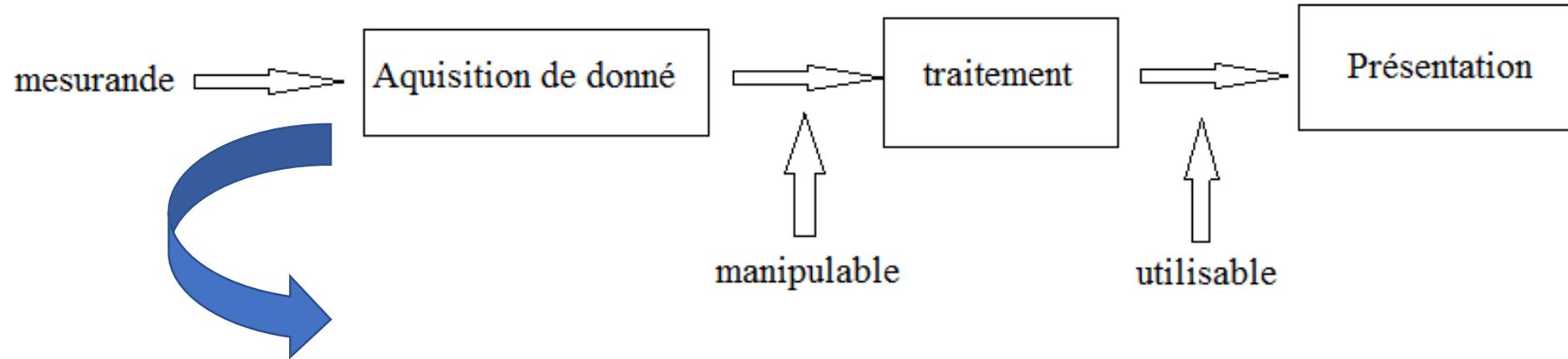




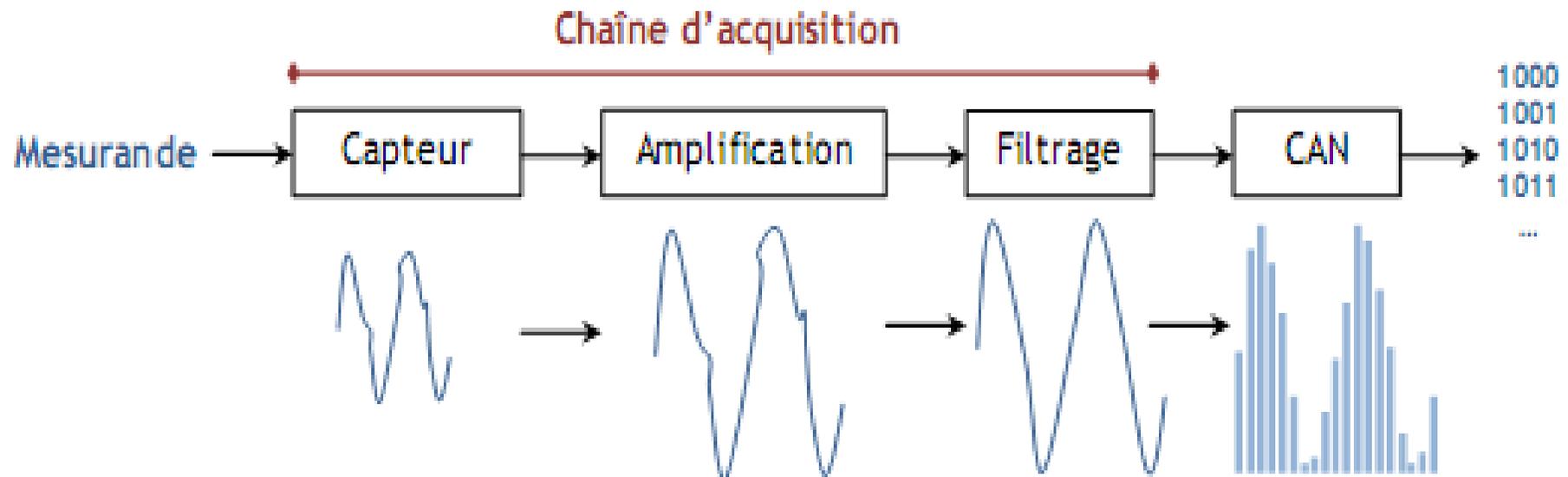
# *Chapitre 2*

## *Classification des capteurs*

# Chaîne de mesure



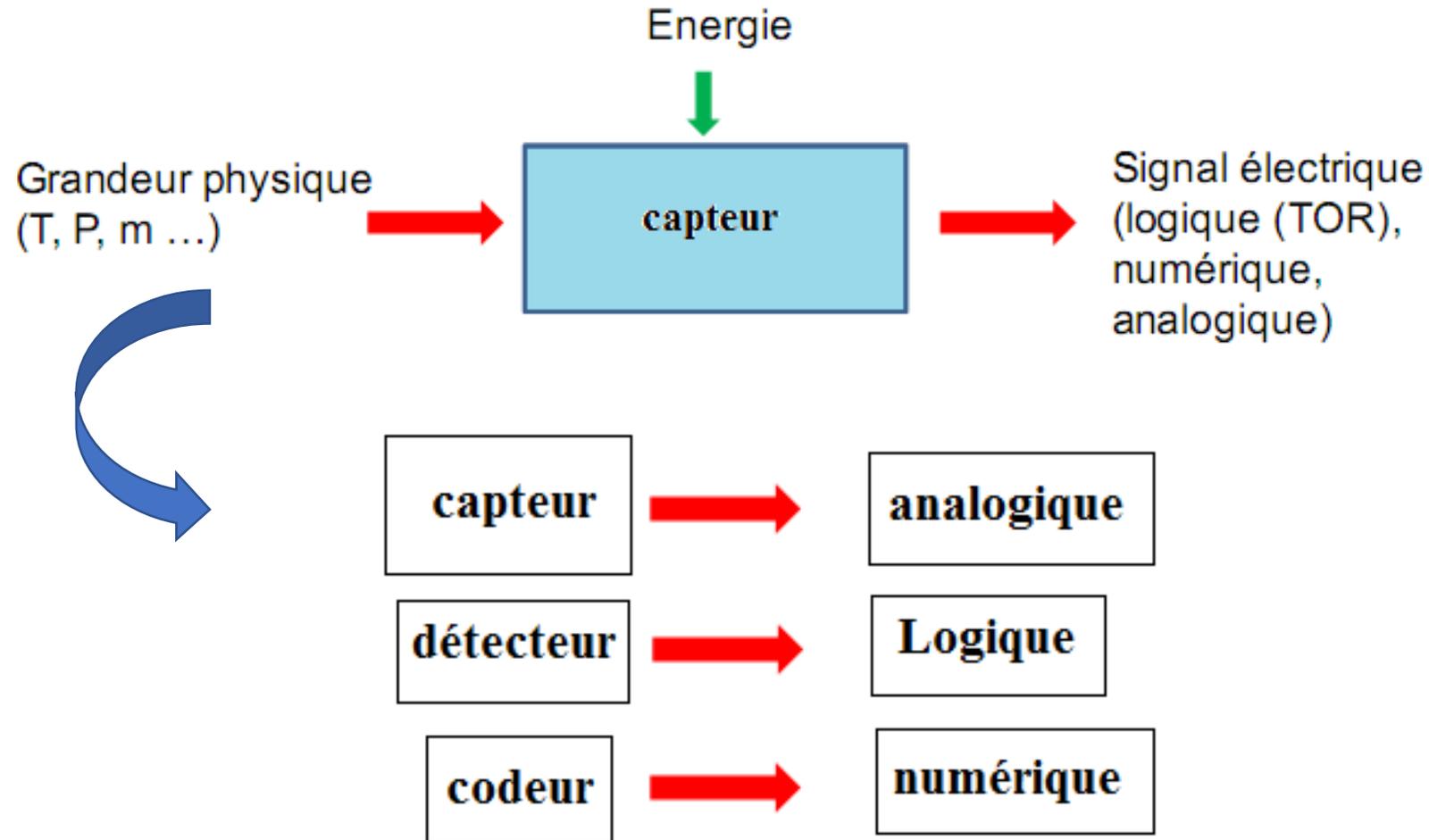
Un **capteur** est un dispositif de métrologie qui permet de traduire des variations d'un procédé physico-chimique en une grandeur exploitable.

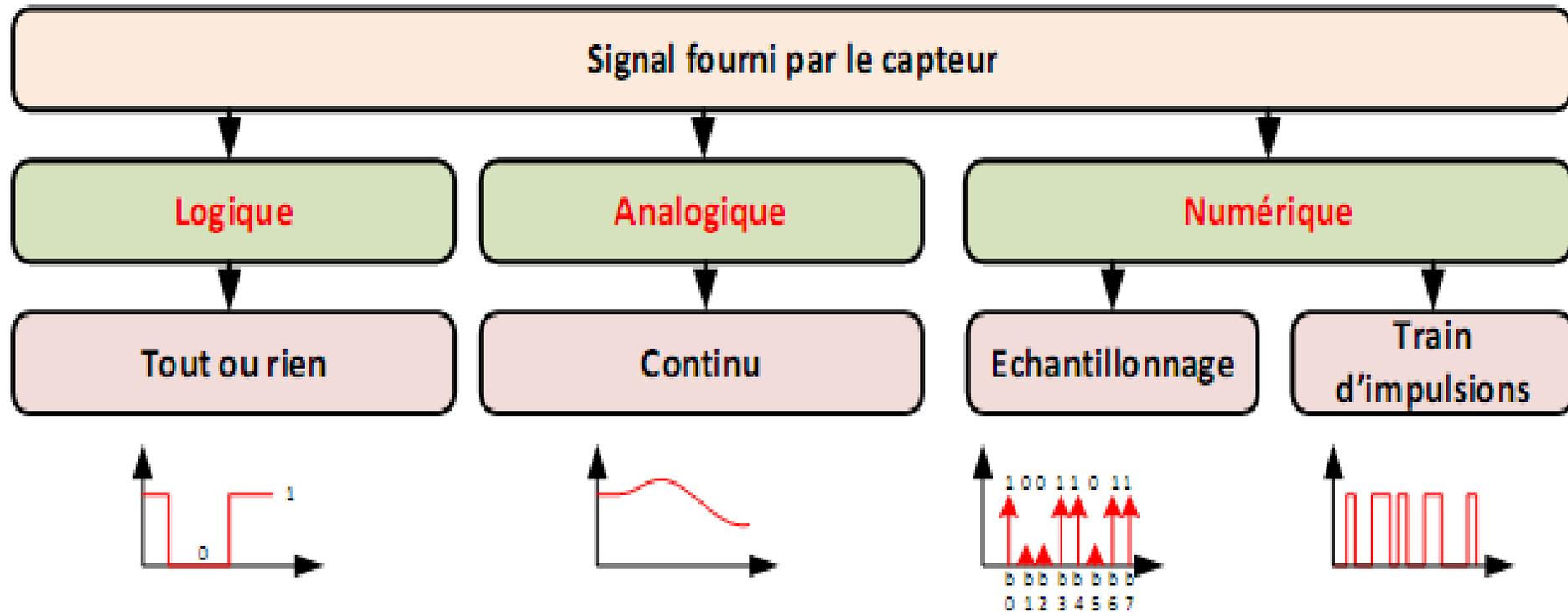


## 2.1 Définition

---

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique d'entrée, appelée mesurande [**m**], en une grandeur de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) appelée réponse[**s**].





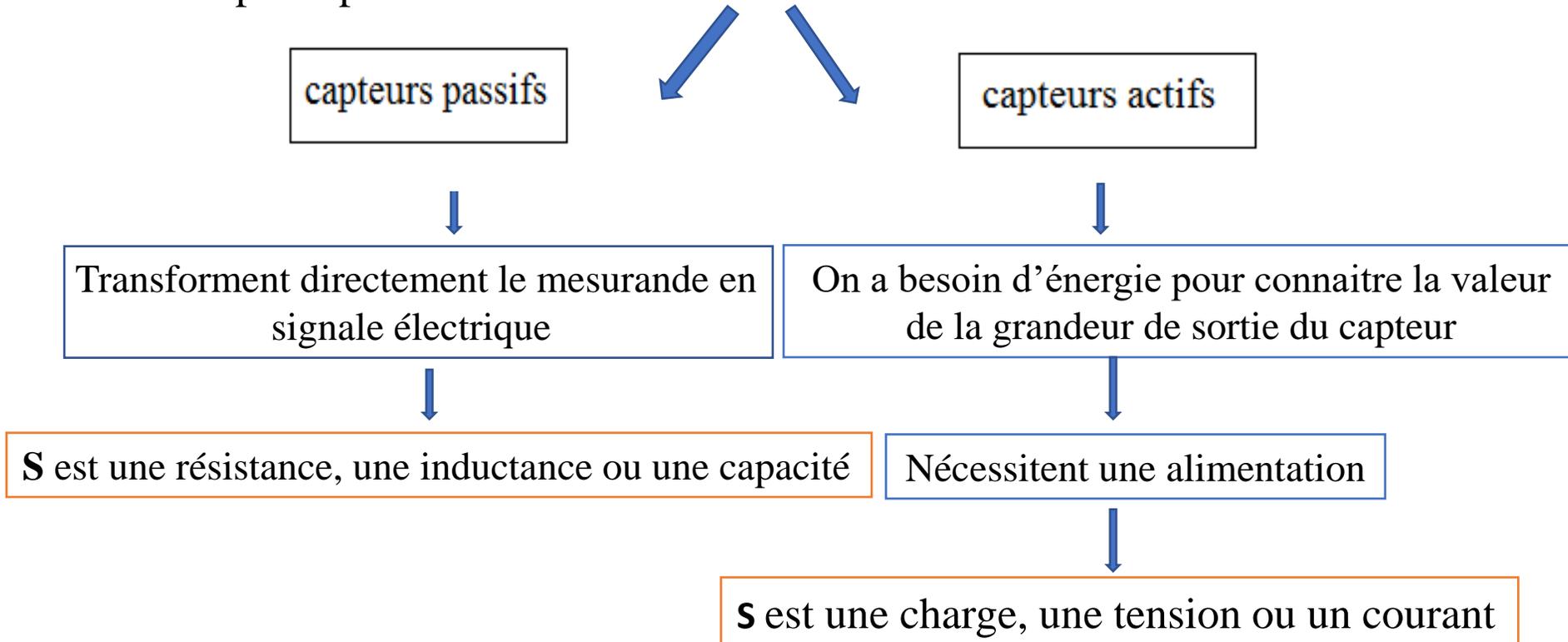
les types de signaux.

# Classification des capteurs

---

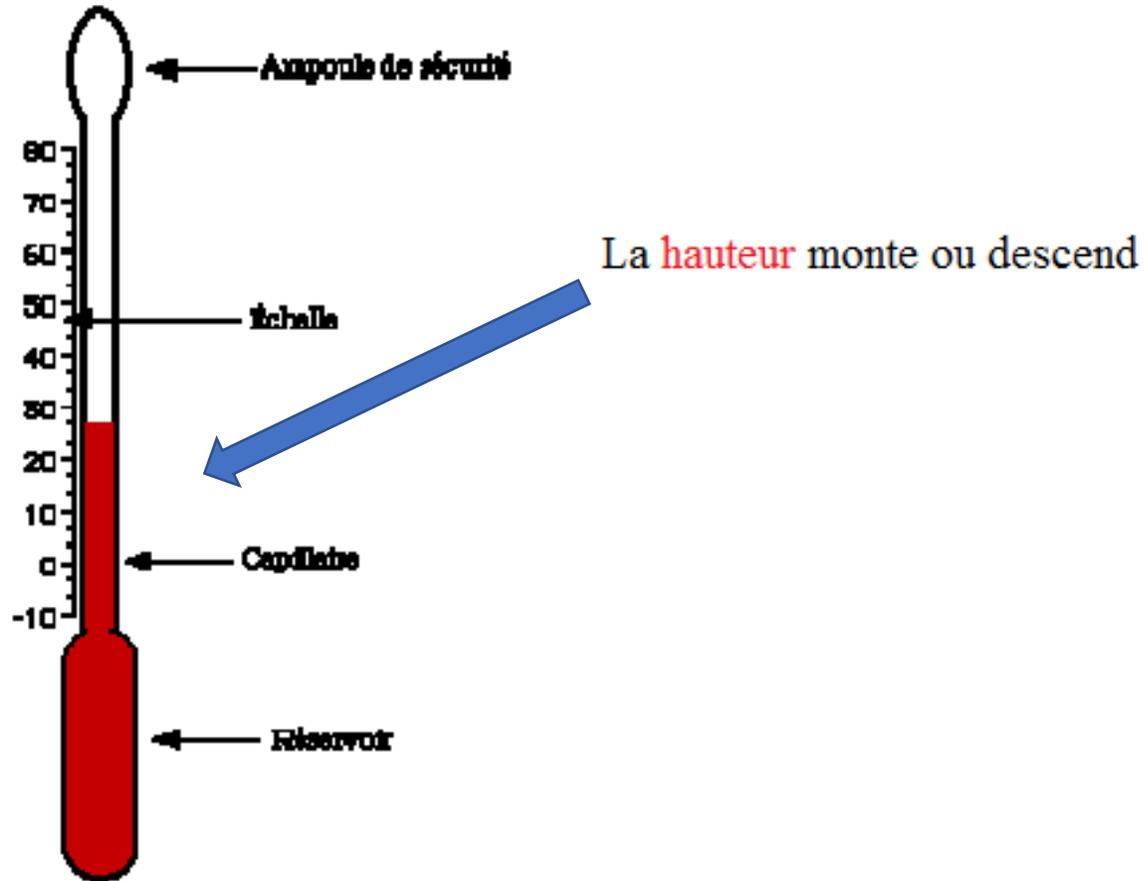
On peut classer les capteurs de plusieurs manières :

- Par le mesurande qu'il traduit (capteur de position, de température...)
- En fonction du caractère de l'information délivrée : on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.
- Par leurs principe de fonctionnement :



# Exemple capteur actif

## Thermomètre à mercure



Grandeur physique d'entrée

→  
température  $T$

Thermomètre à mercure

Grandeur physique de sortie

→  
hauteur  $h$

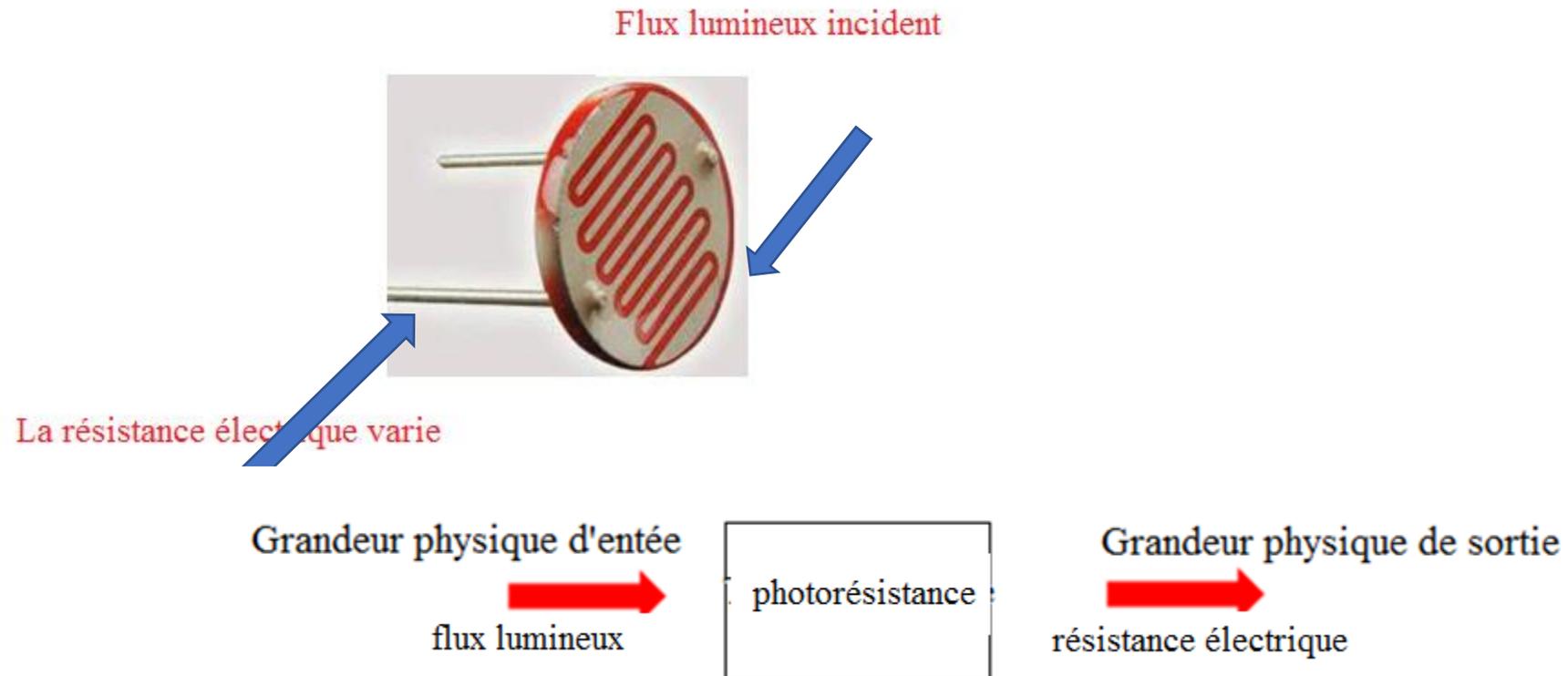
## Exemple capteur passif

---

Tous les capteurs dont la grandeur physique de sortie est une résistance électrique sont des capteurs passifs.

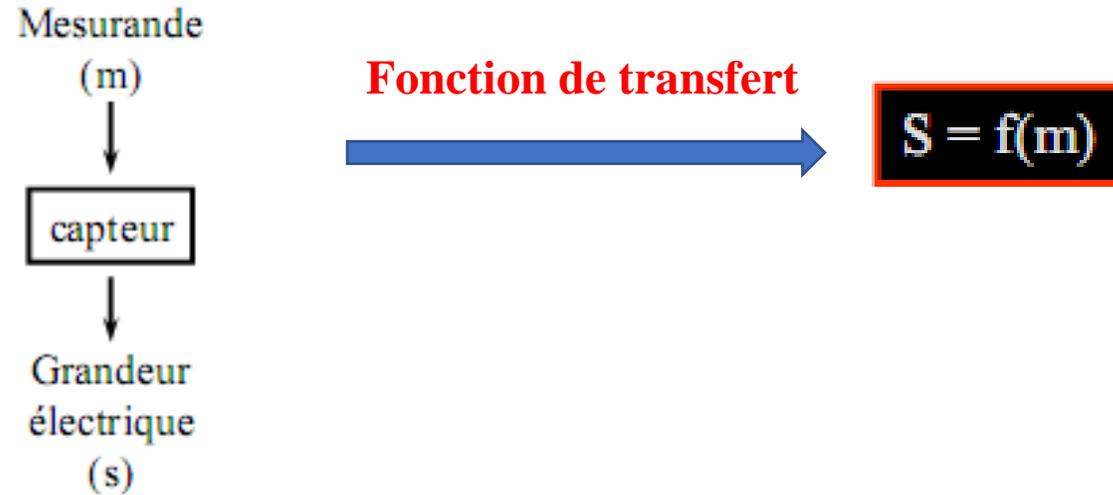
Exemple : *photorésistance*

- Une photorésistance est un composant électronique à base de semi-conducteurs dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière incidente : plus elle est éclairée, plus sa résistivité baisse.

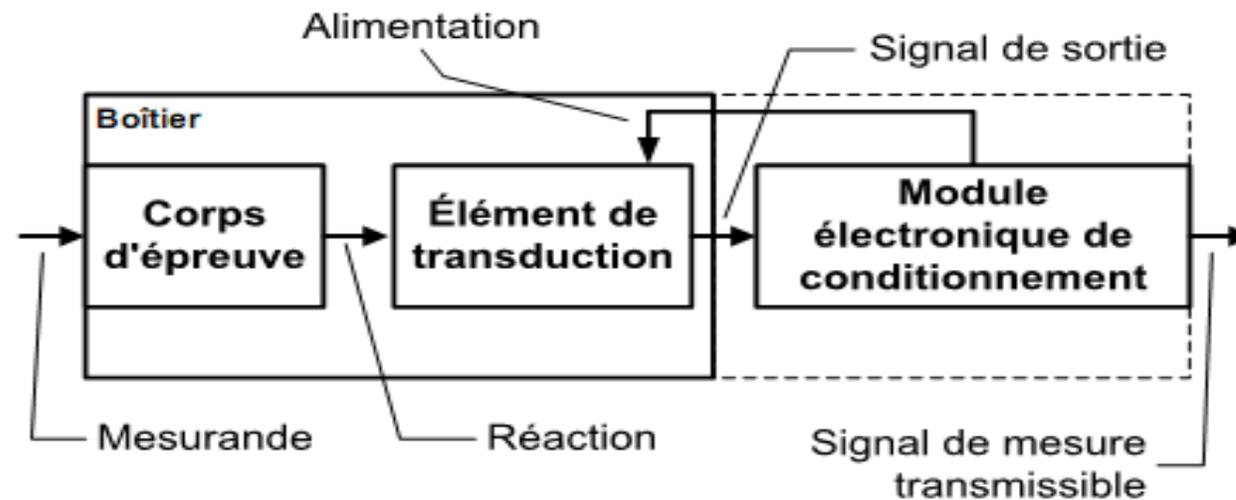


---

En résumé, pour tous capteur, on a:



Structure d'un capteur (qu'est ce qu'il contient à l'intérieur?)



---

- **Corps d'épreuve**

Réagit sélectivement à la grandeur à mesurer en fournissant une grandeur mesurable proportionnelle.

- **Élément de transduction** (transducteur)

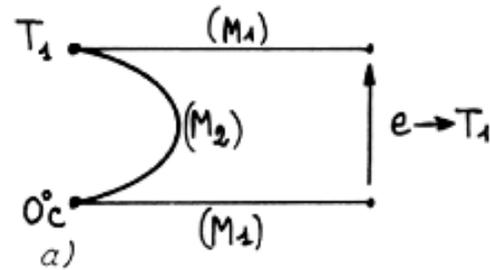
Transforme la réaction du corps d'épreuve en un signal compatible.

- **Module de conditionnement**

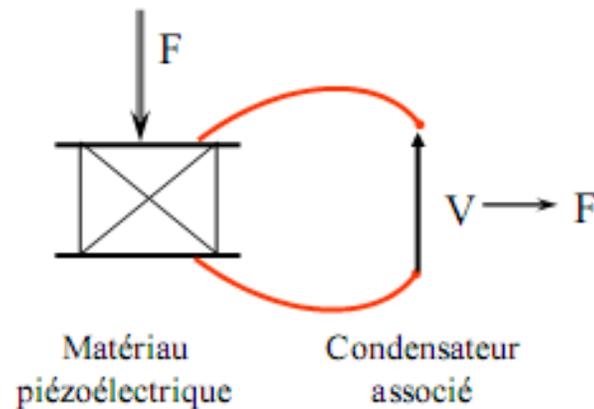
- Lorsque nécessaire, permet l'alimentation de l'élément de transduction (élément passif)
- Assure une mise en forme appropriée du signal de sortie
- Transmet le signal de mesure

## Les effets physiques d'un capteur

**Effet Thermoélectrique :** Deux conducteurs de nature chimique différente dont les jonctions sont à des températures différentes créent une force électromotrice.

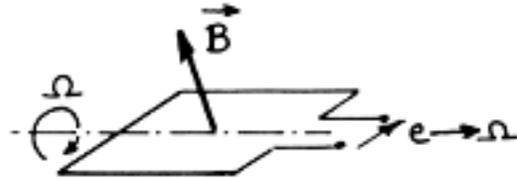


**Effet piézo-électrique :** L'application d'une contrainte mécanique sur les deux faces d'un matériau piézoélectrique (ex quartz) entraîne une déformation qui suscite l'apparition de charges électriques égales et de signes contraires.

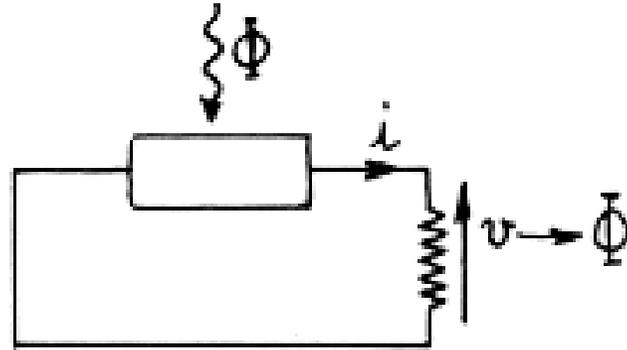


---

**Effet induction électromagnétique :** Force électromotrice créée lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ d'induction fixe et proportionnelle à la vitesse de déplacement.



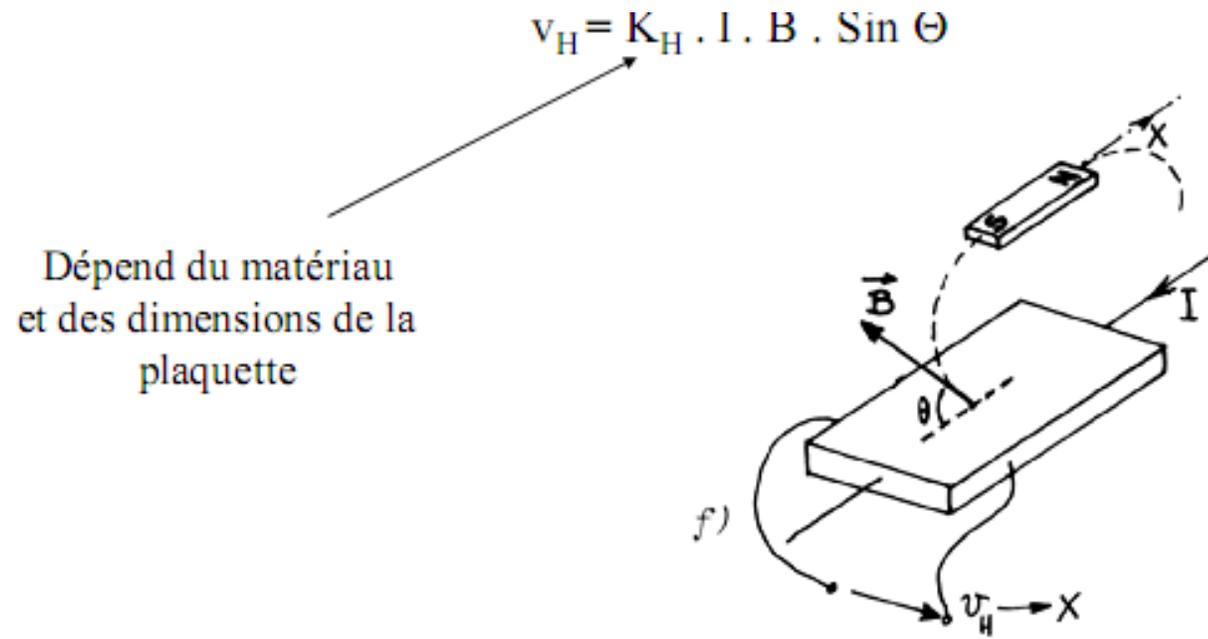
**Effet photoélectrique.** On en distingue plusieurs, qui diffèrent par leurs manifestations mais qui ont pour origine commune la libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure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



Effet photoélectrique

---

**Effet Hall** : Un matériau (semi conducteur en plaquette) parcouru par un courant I et soumis à une induction B faisant un angle Q avec le courant fait apparaître une tension  $v_H$  perpendiculaire à I et à B :



Effet Hall

# Capteur Passifs

## Caractéristiques :

- Impédance dont l'un des paramètres est sensible au mesurande.
- Ces variations ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique (à alimenter).

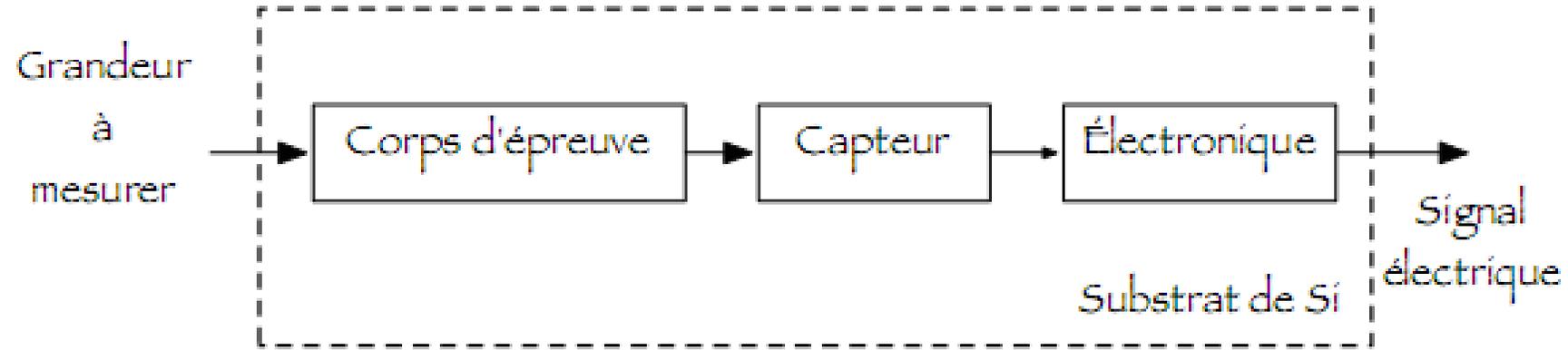
**Impédance :  $Z = f(\text{géométrie, dimensions, propriétés électriques des matériaux})$**

(( $[\rho]$  résistivité;  $[\mu]$  perméabilité magnétique ;  $[\epsilon]$  cte diélectrique))

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique sensible	Types de matériaux utilisés
Température	Résistivité électrique	Platine, Nickel, cuivre ...
Rayonnement optique	Résistivité électrique	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité électrique	Alliage de Ni, Si dopé
	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position	Résistivité électrique	Matériaux magnétorésistants (Bismuth, antimoine d'indium)
Humidité	Résistivité électrique	Chlorure de lithium

# Capteur intégré

---



L'intégration apporte de multiples avantages :

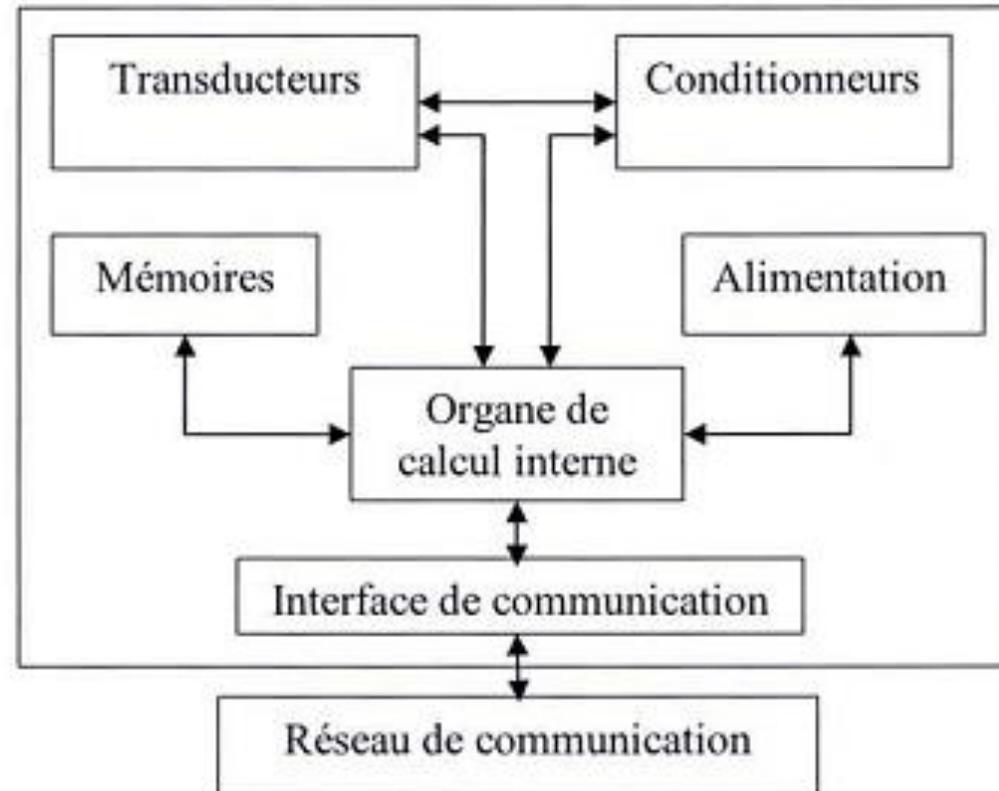
miniaturisation, diminution des coûts par la fabrication en grandes séries, accroissement de la fiabilité par suppression de nombreuses connexions soudées, meilleure protection vis à vis des parasites, le signal étant conditionné à sa source.

L'utilisation du silicium impose cependant une limitation de la plage d'emploi de  $-50\text{ C}^{\circ}$  à  $150\text{ C}^{\circ}$  environ.

## Capteurs intelligents

---

Le capteur intelligent correspond principalement à l'intégration dans le corps du capteur d'un organe de calcul interne (microprocesseur, micro-contrôleur), d'un système de conditionnement du signal (programmable ou contrôlé) et d'une interface de communication.



# Conditionneur associé

---

Le conditionnement de la mesure consiste à rendre exploitable la mesure issue du capteur. L'association capteur-conditionneur détermine le signal électrique et ses caractéristiques

## Conditionnement du signal

L'étage de conditionnement du signal des capteurs à un rôle très important :

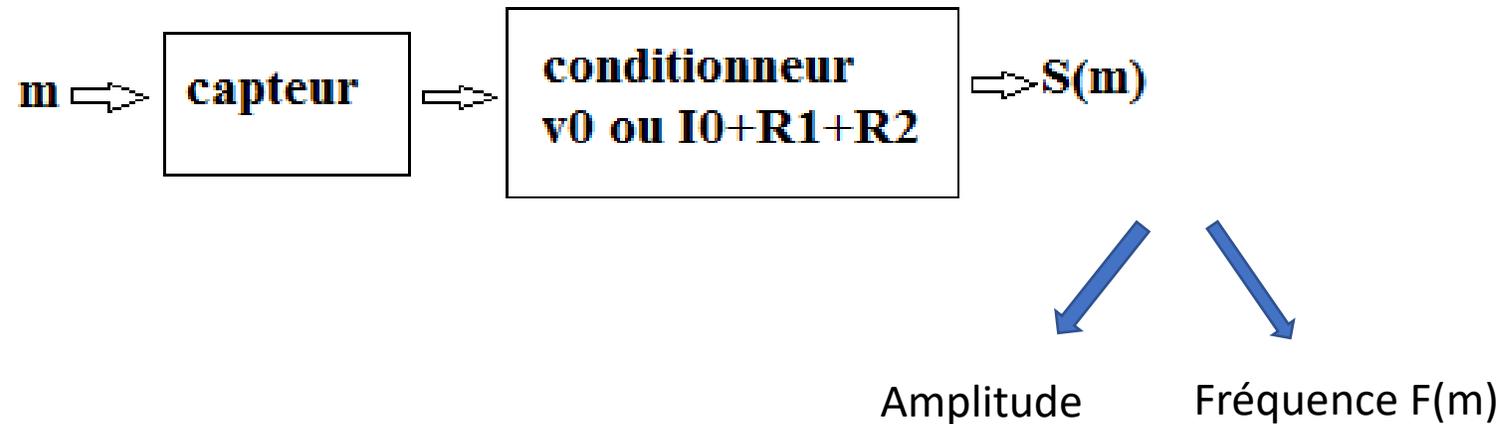
- Il converti en tension la grandeur de sortie du capteur,
- adapte l'impédance pour le capteur
- limite l'amplification en mode commun,
- élimine les bruits électromagnétiques.



---

## Capteurs passifs

Ce capteur donne une image du mesurande par l'intermédiaire d'une impédance. On associe donc toujours une source externe de tension ou de courant au capteur.



Deux grands principes de conditionneurs peuvent être employés :

**Montage potentiométriques et des pont** : on récupère alors une tension proportionnelle au mesurande.

**Montage oscillant** : la fréquence du signal de sortie est modulée par le mesurande.

# Montage potentiométrique (ponts diviseurs)

---

## Mesure de résistance avec une source de tension

Dans sa structure la plus simple, le conditionneur est constitué d'un simple pont diviseur alimenté par une source de tension continue  $V_0$ . une autre impédance  $R_1$ . Le capteur passif est modélisé par la résistance  $R_x$  qui dépend du mesurande.

Le but est de mesurer la tension  $V$  au borne du capteur



La relation qui lie la tension de sortie ( $V_0$ ) au paramètre image du mesurande ( $R_x$ ) n'est pas linéaire. La sensibilité du montage n'est donc pas constante.

## a. Linéarisation de la mesure

---

Pour linéariser la réponse du capteur . On peut utiliser les solutions suivantes :

\* **Solution N°1 (Fonctionnement en petits signaux):**

Une façon d'exprimer la résistance du capteur passif est de considérer :

$$R_x = R_0 \pm \Delta x \longrightarrow V = \frac{R_0 \pm \Delta x}{R_1 + R_0 \pm \Delta x} V_0$$

Dans ce cas on se place aux petites variations du mesurande:  $\Delta x \ll (R_1 + R_0)$

Alors on obtient :  $V = \frac{R_0 \pm \Delta x}{R_1 + R_0} V_0 \longrightarrow$  C'est une relation linéaire limitée à des petites Variations de  $\Delta x$

$$V = \frac{R_0}{R_1 + R_0} V_0$$

Composante statique

$$V = \frac{\pm \Delta x}{R_1 + R_0} V_0$$

Composante dynamique

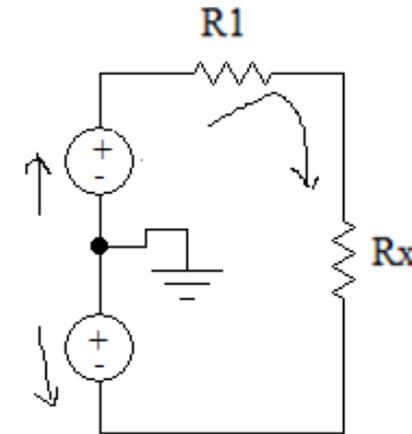
$$\longrightarrow V = V_1 \pm V_x \longrightarrow V - V_1 = \pm V_x$$

Quel est le circuit qui permet d'effectuer cette opération?

On dispose de deux sources de tension inverses  $v_0/2$  et  $-v_0/2$ .

Donc:  $V = V_A - V_{masse} = V_A$

Or:  $\frac{V_0}{2} = R_1 i + V$  et  $i = \frac{\frac{V_0}{2} - (-\frac{V_0}{2})}{R_1 + R_X} = \frac{V_0}{R_1 + R_X}$



Donc:

$$\frac{V_0}{2} = R_1 \frac{V_0}{R_1 + R_X} + V \quad d'ou \quad V = \frac{V_0}{2} - R_1 \frac{V_0}{R_1 + R_X} = \frac{V_0(R_1 + R_X) - 2R_1 V_0}{2(R_1 + R_X)}$$

$$V = \frac{V_0 R_X - R_1}{2 R_1 + R_X} = \frac{V_0 R_0 \pm \Delta x - R_1}{2 R_0 \pm \Delta x + R_1}$$

si on choisit  $R_1=R_0$  :  $\longrightarrow V = \frac{V_0}{2} \frac{\pm \Delta x}{R_0 \pm \Delta x} \xrightarrow{\Delta x \ll 2R_0} V = \frac{\pm \Delta x V_0}{4R_0}$

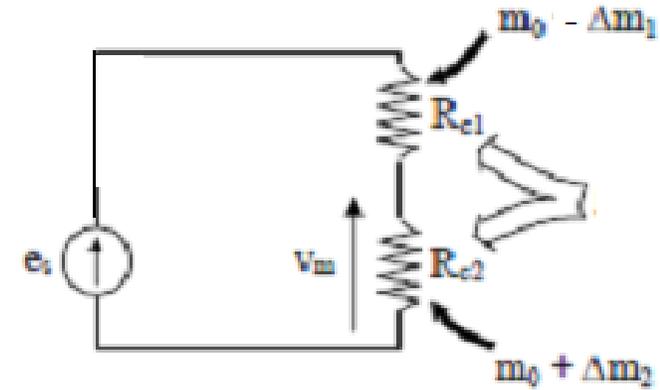
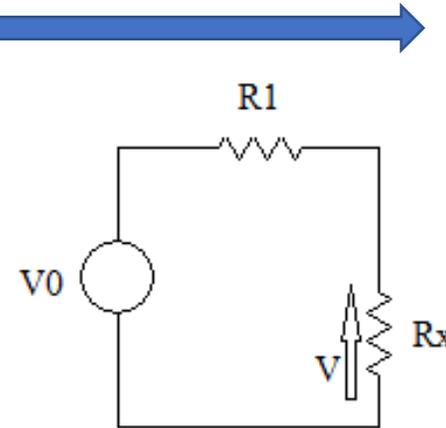
## Montage Push-Pull

Dans ce cas, on remplace la résistance fixe R1 par un second capteur résistif, identique au premier mais dont les variations sont de signe contraire.

$$R_x^- = R_0 - \Delta x$$

$$R_x^+ = R_0 + \Delta x$$

$$V = \frac{R_x}{R_1 + R_x} V_0$$



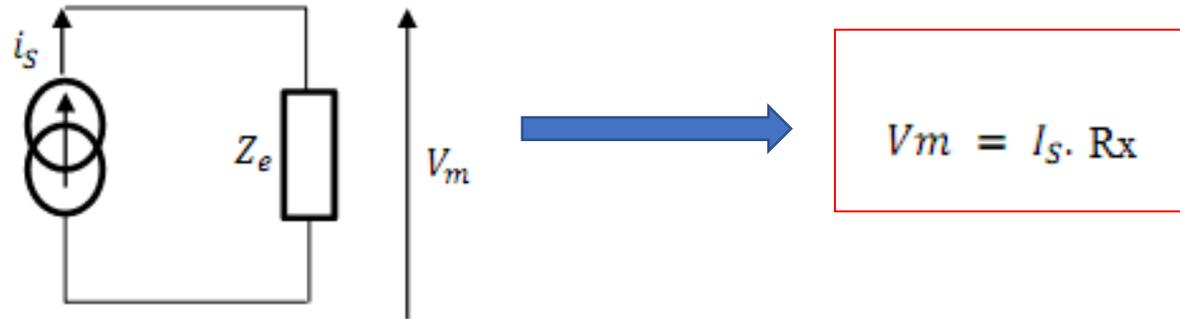
$$V = \frac{R_x^+}{R_x^+ + R_x^-} V_0 = \frac{R_0 + \Delta x}{R_0 + \Delta x + R_0 - \Delta x} V_0 = \frac{R_0 + \Delta x}{2R_0} V_0 = \frac{V_0}{2} \left( 1 + \frac{\Delta x}{R_0} \right)$$

**Inconvénients:** Utilisation de deux capteurs identiques qui doivent avoir des réponses symétriques

---

### Cas d'une source d'alimentation en courant:

L'utilisation d'une source de courant  $I_S$  rend le montage directement linéaire si l'on néglige l'impédance interne de la source, c'est à dire :



Capteur alimenté en courant

### Conclusion :

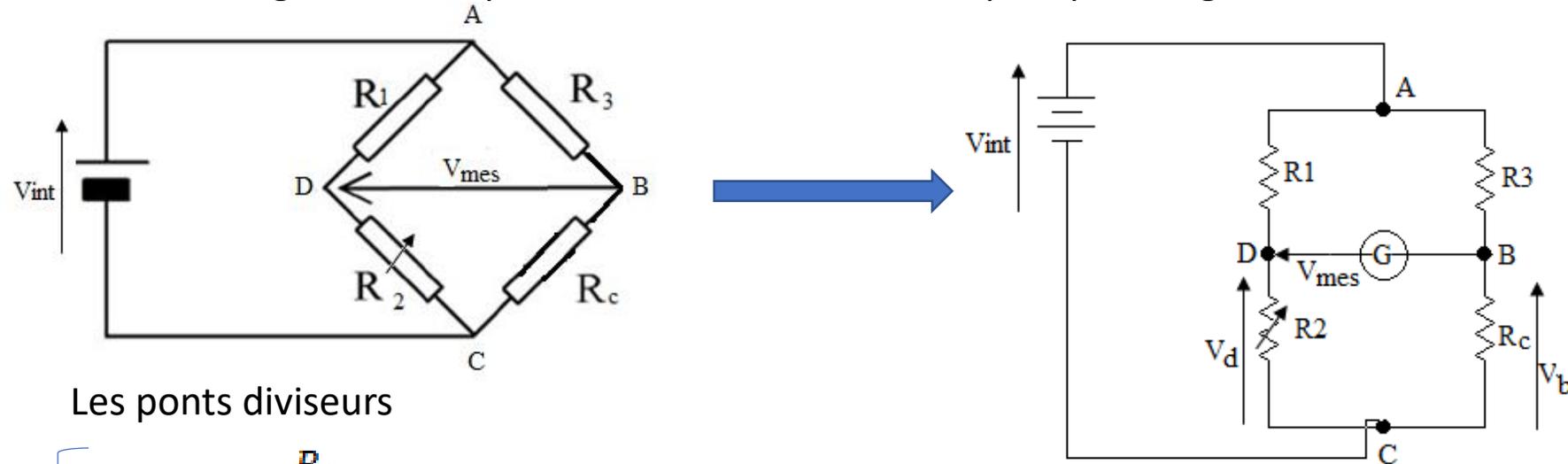
Ce montage donne une évolution linéaire de  $\Delta V_m$  en fonction de  $\Delta R_c/R$  mais il présente les inconvénients suivants :

- faible variation de la tension de sortie pour une variation  $\Delta R_c$  donnée,
- sensibilité de  $V_m$  par rapport à l'alimentation  $E$ .

## Montage en pont (pont de Wheatstone )

Le pont de Wheatstone est le circuit le mieux adapté pour la mesure de petites variations de résistances électriques (maximum 10%) telles que rencontrées lors de l'utilisation de jauges de déformation

La structure générale du pont de Wheatstone est indiquée par la figure:



Les ponts diviseurs

$$\left\{ \begin{array}{l} V_D = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ V_B = V_{in} \frac{R_c}{R_3 + R_c} \end{array} \right. \Rightarrow V_m = V_D - V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} - \frac{R_c}{R_3 + R_c} V_{in}$$

$$= V_{in} \frac{R_2(R_3 + R_c) - R_c(R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_c)}$$

$$V_m = V_{in} \frac{R_2 R_3 - R_1 R_c}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_c)}$$

---

## Condition d'équilibre du pont

Le pont est dit **équilibré** lorsque  $V_D = V_B$  ce qui implique que le courant dans la branche DB est nul.

$$V_D = V_B \longrightarrow \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{R_c}{(R_3 + R_c)} \longrightarrow R_c (R_1 + R_2) = R_2 (R_3 + R_c)$$

$$R_2 R_3 = R_1 R_c \longrightarrow R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

On remarque que la condition d'équilibre du pont ne dépend que des résistances du pont : elle est indépendante de la tension d'alimentation.

Applications



Il est utilisé comme jauge de déformation (de contraintes)