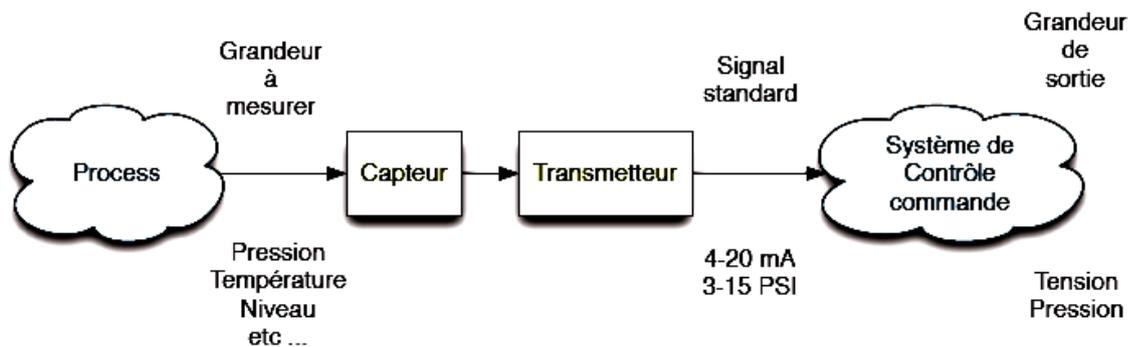


## Cours 2 Notions sur les capteurs

### I. Définitions

**I.1. Le capteur** : Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande



**I.2. Le mesurande  $m$**  : c'est la grandeur physique non électrique que l'on veut mesurer (température, déplacement, vitesse, pression..) c'est la grandeur d'entrée du capteur.

**I.3. Le mesurage**: c'est l'ensemble des opérations expérimentales qui conduisent à la connaissance de  $m$ .

**I.4. La réponse de sortie  $s$**  : c'est l'information délivrée par le capteur et qui dépend de  $m$ .

Toute valeur de  $s$  doit permettre de remonter à chaque instant à **une seule** valeur de  $m$  et inversement :  $s = F(m)$ . L'expression théorique reliant  $s$  à  $m$  est définie par les lois physiques mises en jeu dans le fonctionnement du capteur par ses caractéristiques propres (forme, matériau, ..) et par les caractéristiques de son environnement.

**I.5. L'étalonnage**: C'est l'ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons.

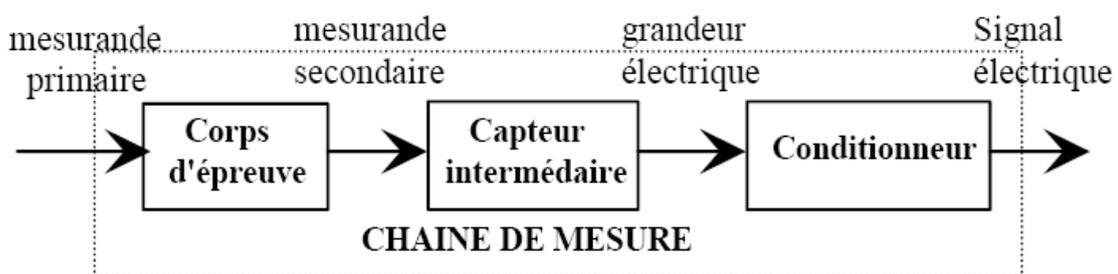
La métrologie détient les étalons de référence, et elle assure la surveillance qualitative à l'aide des étalons de référence qu'elle détient ou par recours à des organismes agréés ou habilités "chaîne d'étalonnage". On définit plusieurs types d'étalons :

- **L'étalon primaire:** Etalon qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur.
- **L'étalon de référence:** Etalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible en un lieu donné ou dans une organisation donnée, dont dérivent les mesurages qui y sont faits.
- **L'étalon de transfert:** Etalon utilisé comme intermédiaire pour comparer entre eux des étalons. Note : le terme dispositif de transfert doit être utilisé lorsque l'intermédiaire n'est pas un étalon.
- **L'étalon de travail:** Etalon qui est utilisé couramment pour étalonner ou contrôler des mesures matérialisées, des appareils de mesure ou des matériaux de référence.

**I.6. Chaîne de mesure :** Pour obtenir une image d'une grandeur physique, on fait appel à une chaîne de mesure qui peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents. Par exemple, la mesure d'un débit peut se faire en plusieurs étapes :

- transformation du débit en une pression différentielle,
- transformation de la pression différentielle en la déformation mécanique d'une membrane,
- transformation de la déformation mécanique en une grandeur électrique (à l'aide d'un piézo-électrique) via un circuit électronique associé.

L'ensemble de ces étapes constitue la chaîne de mesure.



De manière classique la sortie d'une chaîne de mesure est du type électrique. Si la chaîne de mesure fait intervenir plusieurs transducteurs, on appelle corps d'épreuve celui en contact direct avec le mesurande. Le dernier transducteur est associé à un conditionneur qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière exploitable. Le choix de ce conditionneur est une

étape importante dans le cadre de la chaîne de mesure car, associé au capteur, il détermine la nature finale du signal électrique et va influencer les performances de la mesure.

## II. Classification des capteurs

On classifie les capteurs en deux grandes familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie. Cette classification **influe sur le conditionneur qui lui est associé.**

### II.1. Capteurs passifs

Le capteur se comporte en sortie comme un **dipôle passif** qui peut être **résistif**, **capacitif** ou **inductif**.

Le tableau ci-dessous résume, en fonction du mesurande, les effets utilisés pour réaliser la mesure.

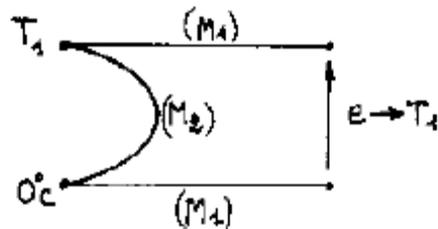
MESURANDE	EFFET UTILISE (Grandeur de sortie)	MATERIAUX
Température	Résistivité	Platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs
Très basse température	Cste diélectrique	Verre
Flux optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité	Alliages nickel Alliages ferromagnétiques
Position	Résistivité	Magnétorésistances : Bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

### II.2. Capteurs actifs

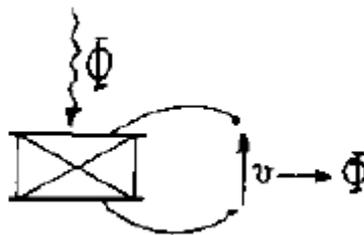
La réponse en sortie d'un capteur actif peut être un **tension**, un **courant**, ou une **charge**.

<i>Mesurande</i>	<i>Effet utilisé</i>	<i>Grandeurs de sortie</i>
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Pyroélectricité	Charge
	Photoémission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photoélectromagnétique	Tension
Force Pression Accélération	Piézo-électricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant)	Effet Hall	Tension

**Thermoélectricité** : c'est le principe de tout thermocouple. C'est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes  $T_1$  et  $T_2$ . Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température ( $T_1 - T_2$ ).

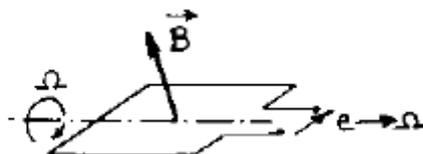
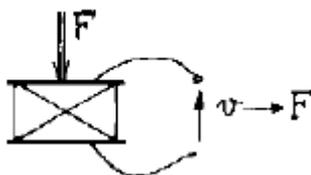


**Pyroélectricité** : certains cristaux présentent une polarisation électrique proportionnelle à leur température. Ainsi, en absorbant un flux de rayonnement, le cristal pyroélectrique va s'échauffer et ainsi sa polarisation va se modifier entraînant une variation de tension détectable.

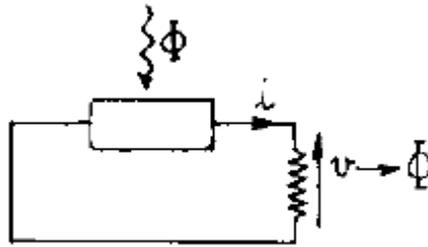


**Piézoélectricité** : l'application d'une force sur ce type de matériau engendre l'apparition de charges électriques créées par la déformation du matériau. C'est un phénomène réversible.

**Induction** : la variation d'un flux magnétique engendre l'apparition d'une force électromotrice.



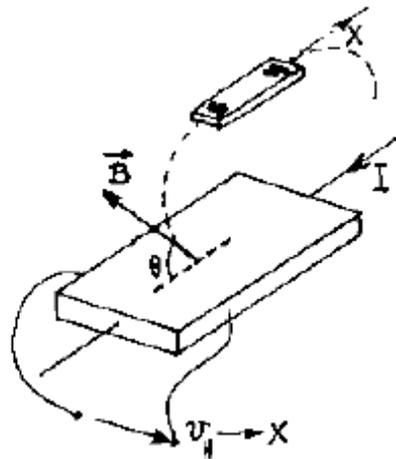
**Photoélectricité** : sous l'influence d'un rayonnement lumineux, le matériau libère des charges électriques et celles-ci en fonction du rayonnement.



**Effet Hall** : un semi-conducteur de type parallélépipède rectangle, placé dans une induction  $B$  et parcouru par un courant  $I$ , voit l'apparition, dans la direction perpendiculaire au courant et à l'induction, d'une différence de potentiel qui a pour expression :

$$U_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin\theta$$

$K_H$  est fonction du matériau,  $\theta$  est l'angle entre  $I$  et  $B$ .



### III. Caractéristiques générales des capteurs :

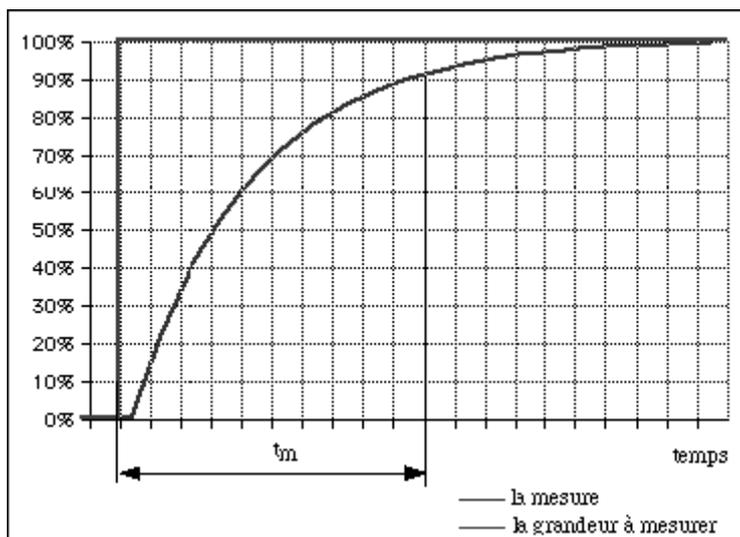
**III.1. L'étendue de mesure** : L'étendue de mesure, encore appelée parfois **intervalle de mesure** représente quant le module de la différence entre les Portées Limites Supérieure, soit PLS (en anglais « URL » pour Upper Range Limit) et Inférieure soit PLI (en anglais « LRL » pour Lower Range Limit) de l'échelle.

**III.2. La résolution** : elle correspond à la **plus petite variation du mesurande** que le capteur est susceptible de déceler : Lorsque l'appareil de mesure est un appareil numérique, on définit la résolution par la formule suivante :

$$\text{résolution} = \frac{\text{étendue\_de\_la\_mesure}}{\text{nombre\_de\_points\_de\_mesure}}$$

**III.3. Rapidité ; temps de réponse** : C'est l'aptitude d'un instrument à suivre les variations de la grandeur à mesurer. Dans le cas d'un échelon de la grandeur entraînant la croissance de la mesure on définit :

- **Le temps de réponse à la montée  $t_m$** , c'est le temps nécessaire pour que la mesure croisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à 90 % de sa variation totale.
- **Le temps de réponse à la descente,  $t_d$**  c'est le temps nécessaire pour que la mesure décroisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à 90 % de sa variation totale.



**III.4. La sensibilité** : elle détermine l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné. C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur :

$$\text{Sensibilité} = \left[ \frac{d(\text{grandeur\_de\_sortie})}{d(\text{mesurande})} \right]_{\text{POINT\_CONSIDERE}}$$

Dans le cas d'un capteur linéaire, **la sensibilité du capteur est constante**. Il faut noter que la **sensibilité d'un capteur peut être fonction du conditionneur auquel il est associé**.

**III.5. Finesse** : c'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure. On la définit non seulement vis à vis du capteur mais aussi vis à vis de l'environnement d'utilisation du capteur.

Exemple :

- dans le cas d'une mesure thermique, on cherchera un capteur à faible capacité calorifique vis à vis des grandeurs l'environnant.
- pour un capteur d'induction B, un capteur à forte perméabilité sera très sensible, par contre sa présence aura tendance à perturber les lignes de champ et la mesure de l'induction ne sera pas celle sans capteur, d'où une mauvaise finesse. Mais cette erreur peut être évaluée en vue d'une correction « post-mesure » et ainsi faire abstraction de la présence du capteur.

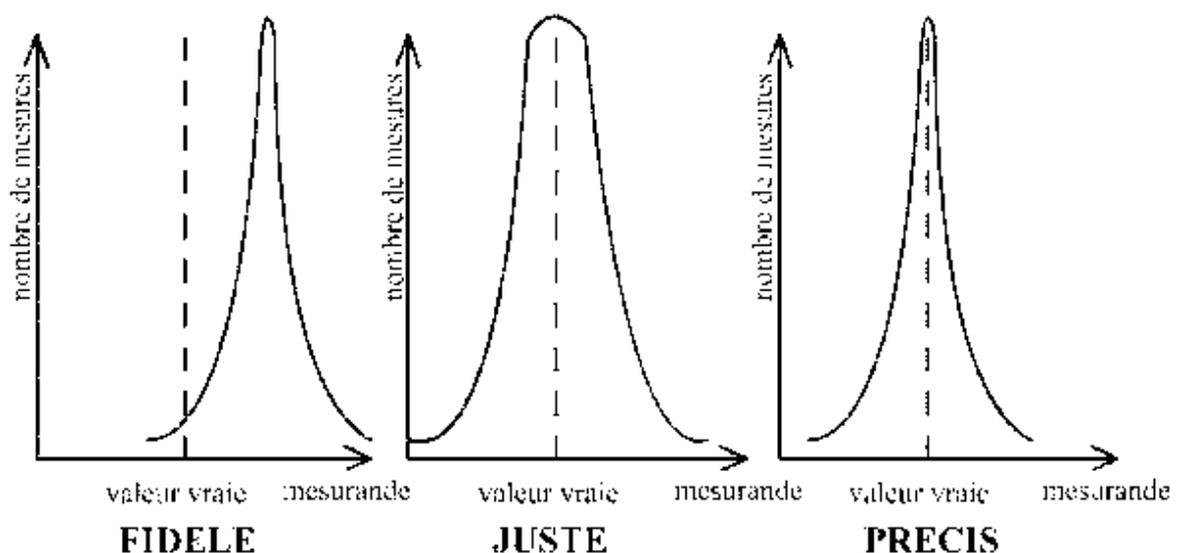
Finesse et sensibilité sont en général antagonistes.

### **III.6. Fidélité, justesse et précision :**

**La fidélité** est la qualité d'un appareillage de mesure dont les erreurs sont faibles. L'écart type est souvent considéré comme l'erreur de fidélité.

Un instrument est d'autant plus **juste** que la valeur moyenne est proche de la valeur vraie.

Un appareil **précis** est à la fois fidèle et juste.



### III.9. La linéarité :

Zone dans laquelle **la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande.**

Cette zone peut être déterminée à partir de la définition d'une droite obtenue comme approchant au mieux la caractéristique réelle du capteur. On définit à partir de cette droite l'écart de linéarité qui exprime en % l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite approchant la courbe.

