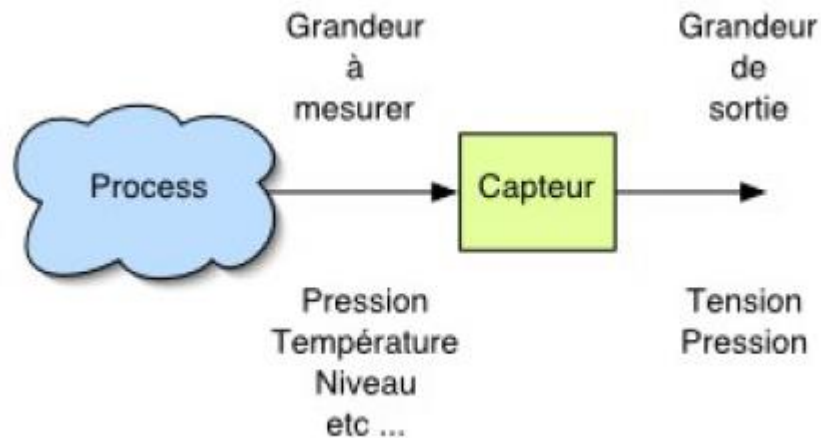


Master 1, Matériaux, Semestre 1  
UEM 1,1

Matière Instrumentation et mesures  
VH 45 H; Crédits 4; Coefficient 2

## Définition d'un capteur

Un capteur est un organe de prélèvement d'information d'une grandeur physique, qui permet de donner son image sous 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.



## Quelques définitions

- **La métrologie** : C'est la science de la mesure.
- **Le mesurage** : C'est l'ensemble des opérations expérimentales dont le but est de déterminer la valeur numérique d'une grandeur.
- **Le mesurande** : C'est la grandeur physique particulière qui fait l'objet du mesurage.
- **L'incertitude** : Le résultat de la mesure  $x$  d'une grandeur  $X$  ne peut pas être entièrement défini par un seul nombre. Il faut le caractériser par un couple  $(x, dx)$  où  $dx$  représente l'incertitude sur  $x$  due aux différentes erreurs liées au mesurage:  $x - dx < X < x + dx$ .
- **L'erreur absolue** : C'est la différence entre la vraie valeur du mesurande et sa valeur mesurée. Elle s'exprime en unité de la mesure.
- **L'erreur relative** : C'est le rapport de l'erreur absolue au résultat du mesurage. Elle s'exprime en pourcentage de la grandeur mesurée.

## Le système d'unités internationales (SI) et ses symboles

Le système d'unités internationales comporte 7 unités de base indépendantes du point de vue dimensionnel, des unités dérivées et des unités complémentaires. Les grandeurs les plus fréquemment utilisées, ainsi que leurs unités sont présentées dans le tableau suivant.

<u>Unités de base</u>		
Grandeur	Unité (SI)	Symbole
Longueur (notée l)	mètre	m
Masse (notée m)	Kilogramme	kg
Temps (noté t)	seconde	s
Courant électrique (noté i)	Ampère (André Marie Ampère, 1775-1836)	A
Température (notée T)	Kelvin (Lord Kelvin, Angleterre, 1824-1907)	K
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse (notée I)	la candela	cd

## Transmission du signal de mesure

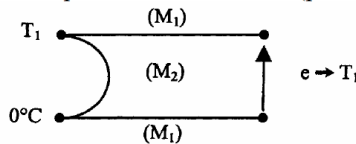
Selon le type de capteur, le signal électrique de mesure peut être de différentes natures : analogique, numérique ou logique.

- **signal de mesure analogique** : il est lié au mesurande par une loi continue, parfois linéaire, qui caractérise l'évolution des phénomènes physiques mesurés. Il peut être de toute nature :
  - courant 0 – 20 mA , 4 – 20 mA.
  - tension 0 – 10 V , 0 – 5 V.
- **signal de mesure numérique** : il se présente sous la forme d'impulsions électriques générées simultanément (mode parallèle, sur plusieurs fils) ou successivement (mode série, sur un seul fil). Cette transmission est compatible avec les systèmes informatiques de traitement.
- **signal de mesure logique** : il ne compte que deux valeurs possibles, c'est un signal tout ou rien,

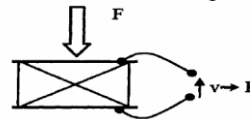
# Capteur actif

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 à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement. *Les plus classiques sont :*

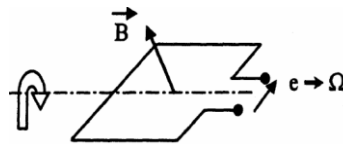
- **Effet thermoélectrique :** Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures  $T_1$  et  $T_2$ , est le siège d'une force électromotrice  $e(T_1, T_2)$ .



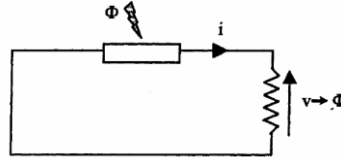
- **Effet piézo-électrique :** L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électrique (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.



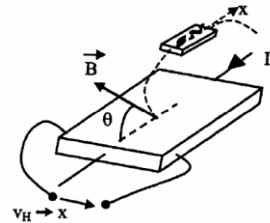
- **Effet d'induction électromagnétique :** La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique.



- **Effet photo-électrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à un seuil caractéristique du matériau.



- **Effet Hall** : Un champ  $B$  crée dans le matériau un champ électrique  $E$  dans une direction perpendiculaire.



- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes,

*Exemple d'application* : la mesure de la charge aux bornes d'un condensateur associé à un cristal pyro-électrique permet de déterminer le flux lumineux auquel il est soumis.

## Les capteurs passifs

Les capteurs passifs sont des impédances intégrées dans un circuit électrique (conditionneur), dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande. La variation d'impédance résulte de l'effet de la grandeur à mesurer sur :

- Soit les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles qui peuvent varier si le capteur comporte un élément mobile ou déformable. Dans le premier cas, à chaque position de l'élément mobile correspond une valeur de l'impédance dont la mesure permet de connaître la position (principe des capteurs de déplacement ou de position tel que le potentiomètre). Dans le second cas, la déformation appliquée au capteur entraîne une modification de l'impédance (principe des capteurs de déformation tels que les jauges de contraintes).
- Soit les propriétés électriques des matériaux (résistivité  $\rho$ , perméabilité magnétique  $\mu$ , constante diélectrique  $\epsilon$ ), qui peuvent être sensibles à différentes grandeurs physiques (température, humidité, éclairage ...). Si on fait varier une de ces grandeurs en maintenant les autres constantes, il s'établit une relation entre la valeur de cette grandeur et celle de l'impédance du capteur. La courbe d'étalonnage traduit cette relation et permet, à partir de la mesure de l'impédance, de déduire la valeur de la grandeur physique variable, qui est en fait le mesurande. Le tableau présente un aperçu des principaux mesurandes permettant de modifier les propriétés électriques des matériaux utilisés pour la fabrication des capteurs passifs.



**Les capteurs Actifs** Les principes physiques de base et les modes d'application de ces effets sont regroupés dans le tableau suivant :

Grandeur physique à mesurer	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermo-électrique	Tension
Flux par rayonnement	Photo-électrique	Tension
	Photovoltaïque	Tension
	Pyro-électrique	Charge
Force	Piézo-électrique	Charge
Pression	Piézo-électrique	Charge
Accélération	Piézo-électrique	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position	Hall	Tension

**Les capteurs passifs** Les principes physiques de base et les modes d'application de ces effets sont regroupés dans le tableau suivant :

Mesurande	Type de matériaux utilisés	Caractéristique électrique sensible
Température	Métaux, Semi-conducteurs	Résistivité
Flux par rayonnement	Semi-conducteurs	Résistivité
Déformation	Alliages de nickel	Résistivité
	Alliages ferromagnétiques	Perméabilité magnétique
Position	Matériaux magnéto-résistants	Résistivité
Humidité	Chlorure de Lithium	Résistivité
	Polymères	Constante diélectrique
Niveau	Liquides isolants	Constante diélectrique

## **Perturbations de mesure**

le capteur peut se trouver soumis non seulement à l'influence du mesurande, mais également à d'autres grandeurs physiques qui peuvent entraîner une variation de la grandeur électrique de sortie qu'il n'est pas possible de distinguer de l'action du mesurande. Ces grandeurs physiques « parasites » auxquelles la réponse du capteur peut être sensible représentent les grandeurs d'influence, dont les plus importantes sont :

- La température qui modifie les caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur.
- La pression, l'accélération et les vibrations qui peuvent provoquer des déformations et des contraintes qui altèrent la réponse du capteur.
- L'humidité qui peut modifier certaines propriétés électriques du capteur et qui peut dégrader l'isolation électrique entre ses composants ou entre le capteur et son environnement.
- Les champs magnétiques qui peuvent créer des f.e.m d'induction qui se superposent au signal utile.
- La tension d'alimentation dont la variation de l'amplitude ou de la fréquence peut perturber la grandeur électrique de sortie du capteur.
- La lumière ambiante qui peut s'ajouter au flux lumineux à mesurer.

Afin de pouvoir déduire de la valeur mesurée, les valeurs correspondant à ces grandeurs parasites, il faut :

- Réduire l'importance des grandeurs d'influence au niveau du capteur en le protégeant par un isolement adéquat.
- Stabiliser les grandeurs d'influence à des valeurs parfaitement connues et étalonner le capteur dans ces conditions de fonctionnement.
- Utiliser éventuellement des montages électriques permettant de compenser l'influence de ces grandeurs, comme par exemple un pont de Wheatstone avec un capteur identique placé dans une branche adjacente au capteur.

## La chaîne de mesure

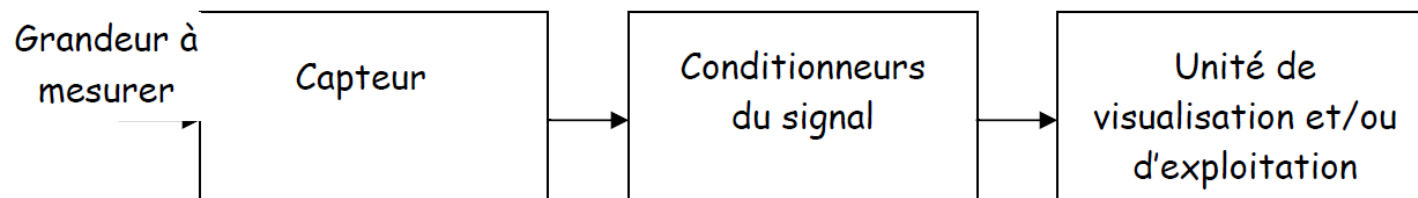
La chaîne de mesure est constituée d'un ensemble de dispositifs (y compris le capteur), permettant de déterminer, de la manière la plus précise que possible, la valeur du mesurande considéré.

A l'entrée de la chaîne de mesure, le capteur, soumis à l'action du mesurande, permet (de manière directe s'il est actif ou par le moyen de son conditionneur s'il est passif), d'injecter dans la chaîne le signal électrique qui est le support de l'information liée au mesurande.

A la sortie de la chaîne de mesure, les informations sont délivrées sous une forme appropriée à leur exploitation.

Sous sa forme la plus simple, la chaîne de mesure peut se réduire au capteur et à son conditionneur éventuel, associé à un appareil de lecture (par exemple, un thermocouple et un voltmètre). Mais de nos jours, compte tenu des possibilités importantes offertes par l'électronique et l'informatique, la quasi-totalité des chaînes de mesure sont des chaînes électroniques.

Dans sa structure de base, une chaîne de mesure doit pouvoir assurer, au moyen de dispositifs appropriés, les fonctions suivantes :



- L'extraction de l'information et la traduction de la grandeur physique à mesurer en signal électrique par le capteur.
- Le conditionnement du signal afin d'éviter sa dégradation par le bruit ou par des signaux parasites : amplification, filtrage.
- La conversion du signal sous forme numérique adaptée au calculateur chargé de l'exploiter : échantillonneur bloqueur, convertisseur analogique-digital.
- La visualisation et/ou l'utilisation des informations recueillies afin de lire la valeur de la grandeur mesurée et/ou de l'exploiter dans le cas d'un asservissement : microprocesseur, microcontrôleur.