

CAPTEURS

Cours 1 : fondements

dimitriplaneta.fr

1- Définitions

2- Caractéristiques générales

❑ Capteur est traduit en anglais par sensor

- ❑ Dispositif qui, en extrayant une petite énergie associée à une grandeur physique et en la convertissant sous une autre forme, fournit un signal qui véhicule une information sur la grandeur tout en la perturbant le moins possible.
- ❑ On parle par exemple de capteur de pression, de position, d'accélération, de température, d'humidité, de niveau, de force, de couple, de déformation, pour des dispositifs sensibles à ces grandeurs.
- ❑ Les capteurs sont à la base des instruments de mesure, le signal étant alors interprété quantitativement pour estimer la grandeur initiale.

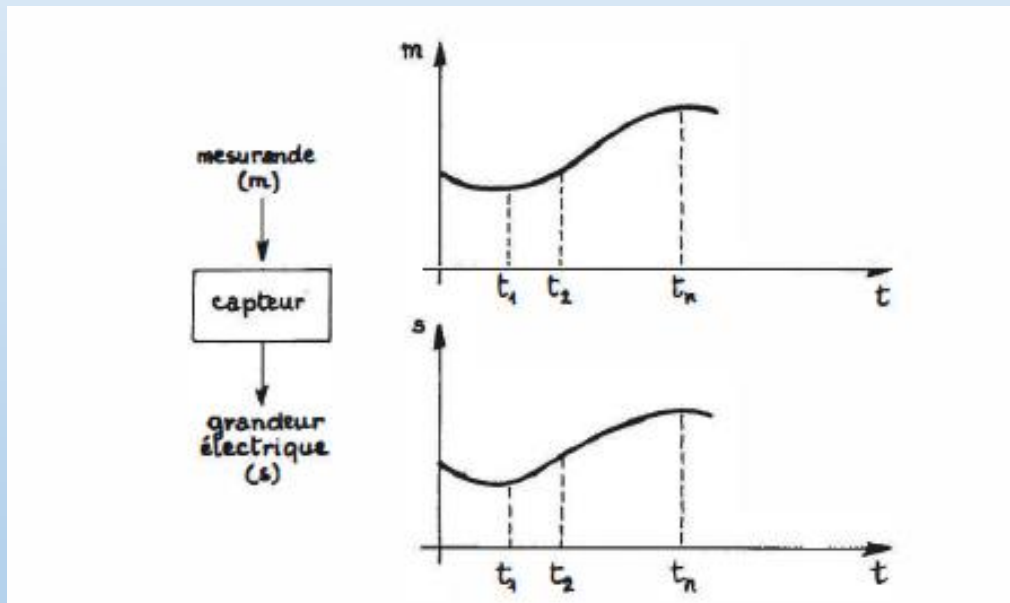
- ❑ La grandeur physique objet de la mesure: déplacement, température, pression, etc. est désignée comme la **mesurande** et représenté par m.
- ❑ L'ensemble des opérations expérimentales qui concourent à la connaissance de la valeur numérique du mesurande constitue son **mesurage**.
- ❑ Le **capteur** est le dispositif qui soumis à l'action d'un mesurande non électrique présente une caractéristique de nature électrique désignée par s.
- ❑ Ce qui nous donne la relation :
$$s = F(m)$$

Avec

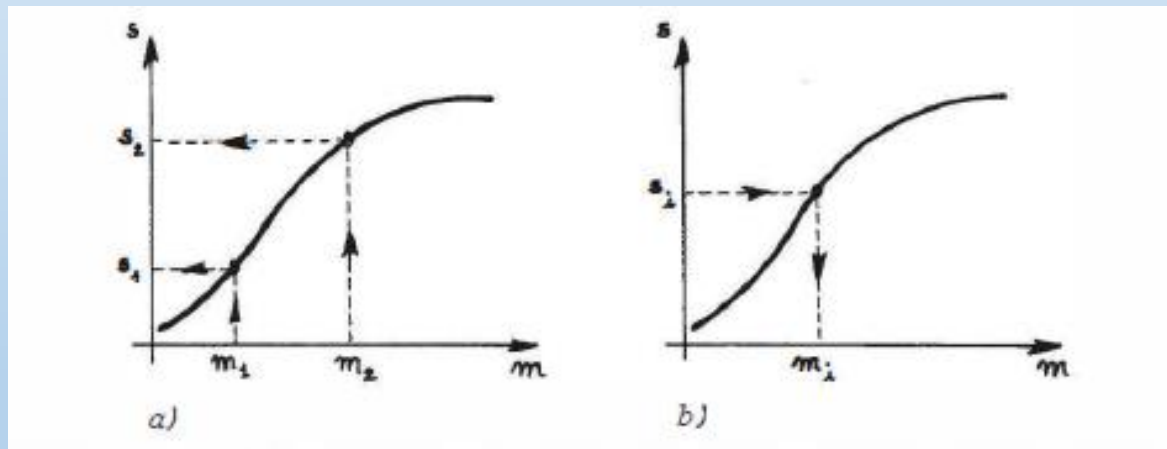
s : grandeur de sortie ou réponse du capteur

m : grandeur d'entrée ou excitation

Exemple d'évolution d'un mesurande m et de la réponse correspondante du capteur.



- Pour tout capteur la relation $s = F(m)$ sous la forme numériquement exploitable est explicitée par **étalonnage** : pour un ensemble de valeurs de m connues avec précision, on mesure les valeurs correspondantes de s ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage(a), cette dernière, à toute valeur mesurée de s , permet d'associer la valeur de m qui la détermine (b).



1- Définitions

2- Caractéristiques générales

- ❑ L'étendue de mesure (E.M.) d'un capteur définit la plage de valeurs du mesurande pour lesquelles le capteur répond aux spécifications du constructeur. Les limites de cette plage étant m_{\min} et m_{\max} . On pose:

$$E.M. = m_{\max} - m_{\min}$$

- La sensibilité est noté $S(m)$ d'un capteur, pour une valeur donnée m de mesurande, est égale au quotient de la variation de la sortie électrique par la variation correspondante du mesurande:

$$S(m) = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_m$$

Un capteur est dit linéaire si, dans, l'étendu de mesure, $s(m)$ est fonction linéaire de m , sa sensibilité est alors constante dans cette plage de fonctionnement.

La valeur de la sensibilité, dans des conditions d'emploi spécifiées est généralement fournie par le constructeur ; elle permet à l'utilisateur :

- d'estimer l'ordre de grandeur de la réponse du capteur, connaissant l'ordre de grandeur des variations du mesurande ;
- de choisir le capteur de façon que la chaîne de mesure dans son ensemble satisfasse aux conditions de mesure imposées .

L'unité en laquelle est exprimée S résulte du principe qui est à la base du capteur et des ordres de grandeur mis en jeu :

- $\Omega/^{\circ}\text{C}$ pour une résistance thermométrique ;
- $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ pour un couple thermoélectrique, par exemple.

□ Un des problèmes importants dans la conception et l'utilisation d'un capteur est la constance de sa sensibilité S qui doit dépendre aussi peu que possible:

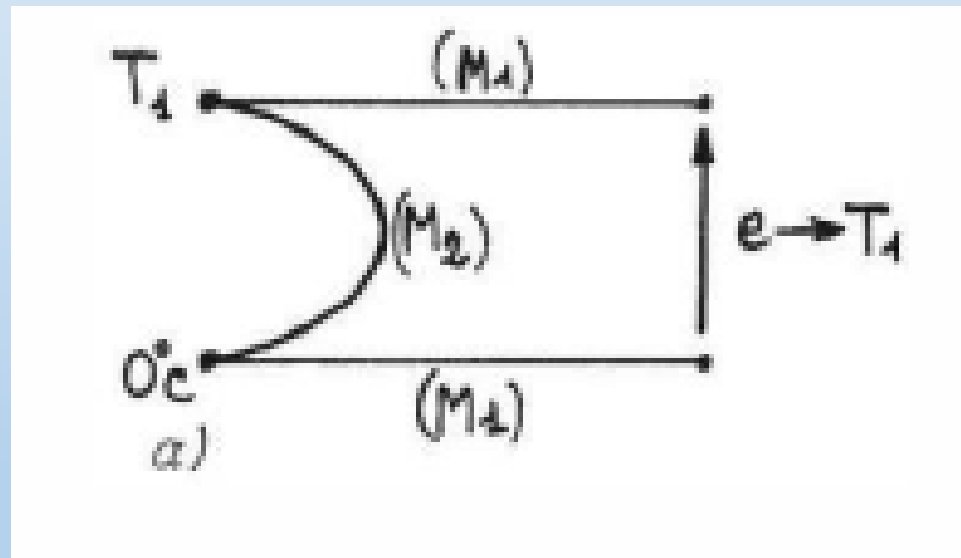
- De la valeur de m (**linéarité**) et de sa fréquence de variation (**bande passante**);
- Du temps (**vieillessement**) ;
- De l'action d'autres grandeurs physiques de son environnement qui ne sont pas l'objet de la mesure et que l'on désigne comme **grandeurs d'influences**.

❑ En tant qu'élément de circuit électrique, le capteur se présente, vu de sa sortie:

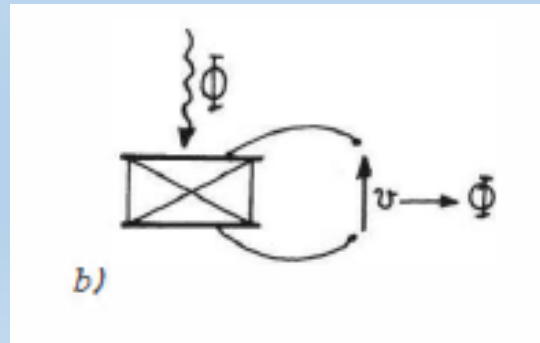
- Soit comme un générateur, s'étant une charge, une tension ou un courant et il s'agit alors d'un **capteur actif**;
- Soit comme une impédance, s'étant alors une résistance, une inductance ou une capacité: la **capteur est alors dit passif**.

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
	Pyroélectricité	Charge
Flux de rayonnement optique	Photoémission Effet photovoltaïque Effet photoélectromagnétique	Courant Tension Tension
Force Pression Accélération	Piézoélectricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position(aimant)	Effet Hall	Tension

- **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 $e(T_1, T_2)$.

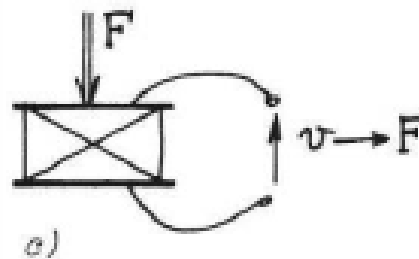


- **Effet pyroélectrique:** Certains cristaux dits pyroélectriques, le sulfate de triglycine par exemple, ont une polarisation électrique spontanée qui dépend de leur température; ils portent en surface des charges électriques proportionnelles à cette polarisation et de signes contraires sur les faces opposées.
- **Application :** un flux de rayonnement lumineux absorbé par un cristal pyroélectrique élève sa température ce qui entraîne une modification de sa polarisation qui est mesurable par la variation de tension aux bornes d'un condensateur associé.



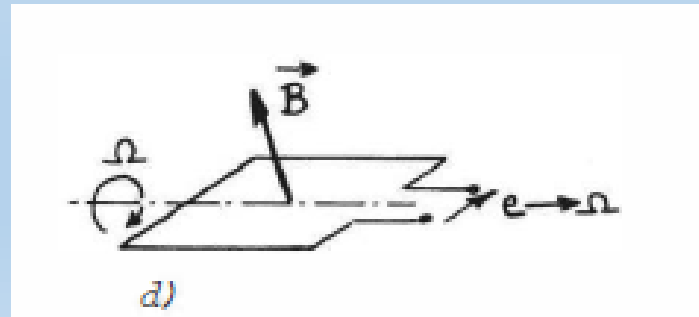
- **Effet piézoélectrique:** l'application d'une force et plus généralement d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézoélectriques, le quartz par exemple, entraîne une déformation qui suscite l'apparition de charges électriques égales et de signes contraires sur les faces opposées.

- **Application :** mesure de forces ou de grandeurs s'y ramenant à partir de la tension que provoquent aux bornes d'un condensateur associé à l'élément piézoélectrique les variations de sa charge.

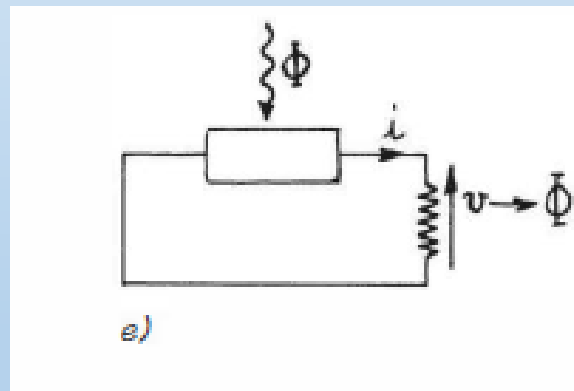


- **Effet d'induction électromagnétique:** lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ d'induction fixe, il est le siège d'une f.é.m. proportionnelle au flux coupé par unité de temps, donc à sa vitesse de déplacement.
- De même, lorsqu'un circuit fermé est soumis à un flux d'induction variable du fait de son déplacement ou de celui de la source de l'induction (aimant par exemple), la f.é.m. dont il est siège est égale (et de signe contraire) à la vitesse de variation du flux d'induction.

- **Application :** mesure de la f.é.m. d'induction permet de connaître la vitesse du déplacement qui est à son origine.



- **Effet photoélectriques:** 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, ont la longueur d'onde est inférieure à une valeur seuil, caractéristique du matériau.



- **Effet photoémissif:** les électrons libérés sont émis hors de la cible éclairée et forment au courant collecté par application d'un champ électrique.

- **Effet photovoltaïque:** des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction de semiconducteurs P et N illuminée; leurs déplacement dans le champ électrique de la jonction modifie la tension à ses bornes.
- **Effet photoélectromagnétique:** l'application d'un champ magnétique perpendiculaire au rayonnement provoque dans le matériau éclairé l'apparition d'une tension électrique dans la direction normale au champ et au rayonnement.

- **Effet photo voltaïque:** un matériau, généralement semi-conducteur et sous forme de plaquette, est parcouru par un courant I et soumis à une induction B faisant un angle θ avec le courant. Il apparaît, dans une direction perpendiculaire à l'induction et au courant une tension v_H qui a pour expression suivante:

$$v_h = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin(\theta)$$

où K_H dépend du matériau et des dimensions de la plaquette

Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Types de matériaux utilisées
Température	Résistivité	Métaux : platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs
Très basse température	Constante diélectrique	Verres
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité	Alliage de nickel, silicium dopé
	Perméabilité magnétique	Alliages ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto-résistants: bismuth, antimoniure d'indium
Humidité	Résistivité Constante diélectrique	Chlorure de lithium Alumine: polymères
Niveau	Constante diélectrique	Liquides isolants

1- Définitions

2- Caractéristiques générales

3- Caractéristiques métrologiques

On écrit l'équation différentielle de 1^{er} ordre suivant:

$$a \frac{ds}{dt} + bs = m(t) \text{ avec } a \text{ et } b \text{ étant des constantes}$$

Pour un mesurande est sinusoidal $m(t) = m_1 \cos(\omega t)$, la réponse en régime électrique permanent est aussi sinusoidale: $s(t) = s_1 \cos(\omega t +$

On en déduit, en posant $f_c = \frac{b}{2\pi a}$, fréquence de coupure:

Recherchons s_1 de $j\omega a s_1 e^{j\psi} + b s_1 e^{j\psi} = m_1$:

$$s_1(j\omega a e^{j\psi} + b e^{j\psi}) = m_1$$

$$s_1 e^{j\psi} = \frac{m_1}{j\omega a + b}$$

$$s_1 e^{j\psi} = \frac{m_1}{j\omega a + b}$$

$$s_1 e^{j\psi} = \frac{m_1}{b} \frac{1}{\frac{j\omega a}{b} + 1}$$

On sait que $\omega = 2\pi f$.

On remplace ω et f_c qui nous donne:

$$s_1 e^{j\psi} = \frac{m_1}{b} \frac{1}{\left(1 + j \frac{f}{f_c}\right)}$$

$$s_1 e^{j\psi} = \frac{m_1}{b} \frac{1}{(1+j\frac{f}{f_c})}$$

On recherche le module de s_1 . Je rappelle la formule complexe en coordonnée polaire $z = r(\cos \theta + j\sin \theta) = r e^{j\theta}$.

La formule générale de complexe est égale à $z = a + bj$

Son module est égale à $\sqrt{a^2 + b^2}$.

Ce qui nous donne que $s_1 = \frac{m_1}{b} \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{f}{f_c})^2}}$

Le conjugué est égale $\theta \begin{cases} \arctan\left(\frac{b}{a}\right) & \text{si } a > 0 \\ \arctan\left(\frac{b}{a}\right) + \pi & \text{si } a < 0 \end{cases}$

Ici $\psi = -\arctan\left(\frac{f}{f_c}\right)$

On écrit l'équation différentielle de 2^{ème} ordre suivant:

$$a \frac{d^2s}{dt^2} + b \frac{ds}{dt} + cs = m(t) \text{ avec } a, b, c \text{ étant des constants}$$

Pour un mesurande est sinusoïdal $m(t) = m_1 \cos(\omega t)$, la réponse électrique en régime permanent est aussi sinusoïdale: $s(t) = s_1 \cos(\omega t + \psi)$.

Associant à chacun des termes la forme complexe correspondante:

$$m(t) \rightarrow m_1 e^{j\omega t} \quad s(t) \rightarrow s_1 e^{j(\omega t + \psi)} \text{ où } m_1 \text{ et } s_1 \text{ sont réels.}$$

L' équation du système devient :

$$-\omega a^2 s_1 e^{j\psi} + j\omega b s_1 e^{j\psi} + c s_1 e^{j\psi} = m_1$$

En posant $f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{a}}$, fréquence propre du système non amorti,

$\zeta = \frac{b}{2\sqrt{c \cdot a}}$ coefficient d'amortissement du système

On obtient :

$$s_1 = \frac{m_1}{c \sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

$$\Psi = -\text{Arctan} \left(\frac{2\zeta}{\frac{f_0}{f} \left(1 - \left(\frac{f_0}{f}\right)^2\right)} \right)$$