

Chapitre I : Caractéristiques d'un système de mesure

I.1. Grandeur physique

La **grandeur physique** objet de la mesure : déplacement, température, pression, etc... est désignée comme le mesurande et représentée par **m** ; l'ensemble des opérations expérimentales qui concourent à la connaissance de la valeur numérique du mesurande constitue son-mesurage.

Lorsque le mesurage utilise des moyens électroniques de traitement du signal, il est nécessaire de produire à partir du mesurande une grandeur électrique qui en soit une représentation aussi exacte que possible : ceci signifie que la grandeur électrique et ses variations apportent toute l'information nécessaire à la connaissance du mesurande. Le capteur est le dispositif qui soumis à l'action d'un mesurande non électrique présente une caractéristique de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) désignée par **s** et qui est fonction du mesurande.

$$S = F(m) \quad (I.1)$$

S est la grandeur de sortie ou réponse du capteur, m est la grandeur d'entrée ou excitation. La mesure de s doit permettre de connaître la valeur de m **Figure (I.1)**.

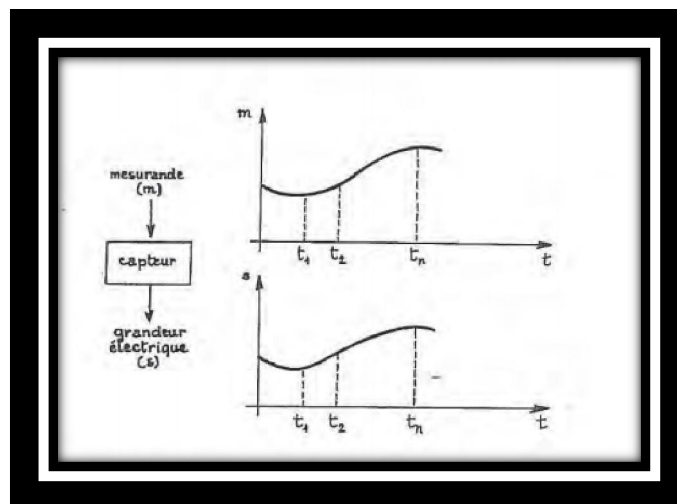


Fig.I.1. Exemple d'évolution d'un mesurande m et de la réponse s correspondante du capteur.

I.2. Capteurs

Le capteur, premier élément de la chaîne de mesure est la source déterminante du signal électrique que le reste de la chaîne doit traiter et exploiter.

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique (température, vitesse, force...) en une grandeur électrique exploitable (résistance, tension, courant...) qui en est l'image.

Autrement dit un capteur est un dispositif qui permet la mesure d'un paramètre physique ou chimique. Il fournit une grandeur électrique qui en est la représentation aussi exacte que possible. En général cette grandeur électrique varie proportionnellement avec le paramètre mesuré. Ainsi, pour une variation Δm de la grandeur à mesurer, la grandeur de sortie varie de Δs de telle sorte que

$$S \Delta m = \Delta s \quad (I.2)$$

Ou S est la sensibilité du capteur. Elle doit dépendre le moins possible de son vieillissement et de son environnement, (c. a. d. de la variation des autres grandeurs).

Afin qu'un capteur soit facilement exploité, on s'efforce, dans la mesure du possible, de le réaliser de façon à ce qu'il délivre une relation linéaire :

$$\Delta s / \Delta m = S = \text{constante} \quad (I.3)$$

L'adaptation du capteur et de la chaîne de mesure implique que celle-ci n'ajoute pas au signal initial des incertitudes ou limitations supérieures à celles apportées par le capteur.

De la qualité du capteur dépendent en premier lieu d'une part, la plus ou moins bonne concordance entre valeur mesurée et valeur vraie du mesurande, et d'autre part, les limites de l'incertitude sur la valeur mesurée.

I.3. Linéarité

La linéarité d'un capteur caractérise son aptitude à délivrer une grandeur de sortie dont la valeur est proportionnelle à celle du mesurande. Elle s'apprécie par le degré de concordance entre le diagramme d'étalonnage statique et une droite choisie comme référence (la droite des moindres carrés ou sinon la droite joignant les points extrêmes de l'étendue de mesure).

L'écart de linéarité correspond alors à l'écart maximum entre la caractéristique réelle et la droite de référence.

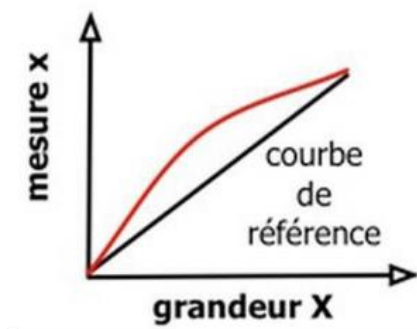


Fig.I.2. Ecart de linéarité

I.4. Résolution

Plus petite variation de la grandeur mesurée qui produit une variation perceptible de l'indication correspondante.

$$\text{Résolution} = \frac{\text{Etendue de mesure du capteur}}{\text{Nombre de points de mesure réalisés sur le capteur}}$$

I.5. Précision

La précision est le degré de concordance entre le résultat de mesure et la véritable valeur pour la grandeur de mesure. Cette caractéristique va souvent être exprimée à partir de multiples mesures, c'est-à-dire qu'elle va faire appel à quelques notions statistiques pour quantifier les incertitudes. Ainsi si l'on considère n mesures effectuées sur un mesurande, on va définir à partir de ces n mesures deux notions fondamentales:

- La valeur moyenne

$$\langle m \rangle = \sum m_i / n \quad (I.3)$$

- L'écart type (dispersion des résultats autour de la valeur moyenne)

$$\sigma = (\sum (m_i - \langle m \rangle)^2 / (n-1))^{1/2} \quad (I.4)$$

La Précision est la qualité qui caractérise l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée. La fidélité est l'aptitude à donner pour une même valeur de la grandeur mesurée, des indications concordant entre elles, tandis que la justesse est l'aptitude à donner des indications égales à la grandeur mesurée.

I.5. Rapidité, temps de réponse

C'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande. C'est aussi l'aptitude d'un capteur 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 plus ou moins 10%, c'est le temps nécessaire pour que la mesure croisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à rester entre 90% et 110% de sa variation totale **Figure (I.3)**.

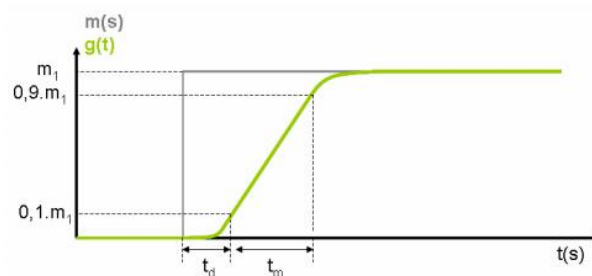


Fig.I.3. Temps de réponse d'un capteur

I.6. Bande passante

La bande passante est la bande de fréquence pour laquelle le gain du capteur est compris entre deux valeurs. Le gain du capteur est le rapport x/X généralement exprimé en dB **Figure (I.4)**.

$$\text{Gain dB} = 20 \log(x/X) \quad (\text{I.5})$$

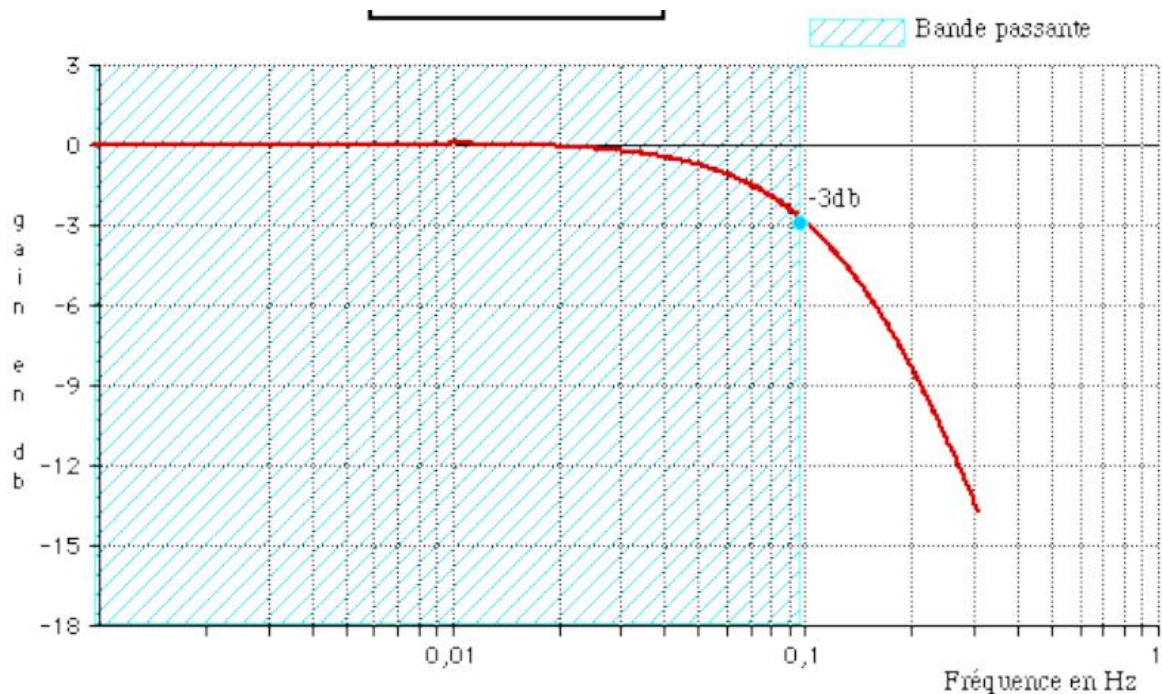


Fig.I.4. Bande passante d'un capteur

Dans le cas ci-dessus on peut estimer le temps de réponse par la formule :

$$T = 0,16/F_{\max} \quad (\text{I.6})$$

, avec $F_{\max} = 0,1$ Hz.

I.7. Etalonnage-étendue de mesure

L'étalonnage d'un capteur consiste à établir la relation qui existe entre la grandeur à mesurer et la grandeur électrique de sortie. Cette relation peut être graphique : c'est la courbe d'étalonnage ; ou algébrique : c'est l'équation caractéristique du capteur.

L'étalonnage d'un capteur peut être :

- simple ou multiple ;
- absolu ou relatif ;

L'étalonnage simple consiste à fixer tous les paramètres d'influence et ne faire varier que la seule grandeur à mesurer ;

L'étalonnage multiple tient compte de toutes les grandeurs d'influence, il s'agit d'un ensemble d'étalonnages successifs qui détermine la dépendance de la grandeur principale vis-à-vis des grandeurs d'influence.

L'étalonnage absolu ou direct consiste à fournir les valeurs de la grandeur à mesurer par des étalons ou par des éléments de référence de très grande précision.

L'étalonnage relatif ou indirect est l'utilisation d'un capteur dont on connaît la courbe d'étalonnage et dont la stabilité est assez grande.

Le capteur à étalonner et le capteur étalonné sont soumis les deux aux mêmes contraintes et dans les mêmes conditions.

C'est alors par comparaison qu'on établit la courbe d'étalonnage du capteur.

Un capteur de qualité présente une courbe d'étalonnage reproductible : c'est la répétabilité.

L'interchangeabilité est la qualité que présente une série de capteur de même type pour être interchangeables en fournissant des résultats identiques.

L'étendue de mesure correspond à la différence entre les valeurs extrêmes d'utilisation (Valeur supérieure – Valeur inférieure) **Figure (I.5)**. Cette plage est souvent confondue avec le domaine nominal d'emploi, mais elle peut être réduite ou plus étendue selon les critères d'utilisation retenus.

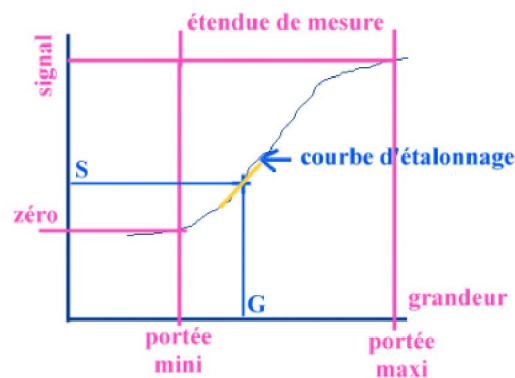


Fig.I.5. Courbe d'étalonnage d'un capteur

I.8. Caractéristiques statiques des Capteurs

Fidélité

La fidélité est l'aptitude à donner, pour une même valeur de la grandeur mesurée, des indications voisines entre elles, même si la valeur moyenne de cette réponse est éloignée de la vraie valeur.

Un capteur est fidèle si l'écart-type sur les réponses à une même valeur du mesurande est faible **Figure(I.6)**.

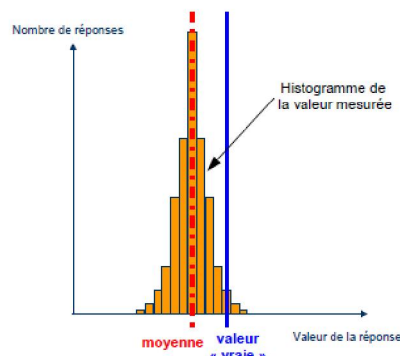


Fig.I.6. Fidélité d'un capteur

Justesse

Un capteur est juste si l'écart entre la moyenne des résultats et la vraie valeur est faible, même si l'écart-type est grand **Figure(I.7)**.

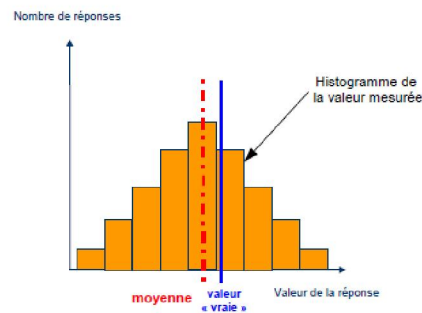


Fig.I.7. Un capteur juste

Précision

Un capteur est précis s'il est juste et fidèle **Figure (I.8)**.

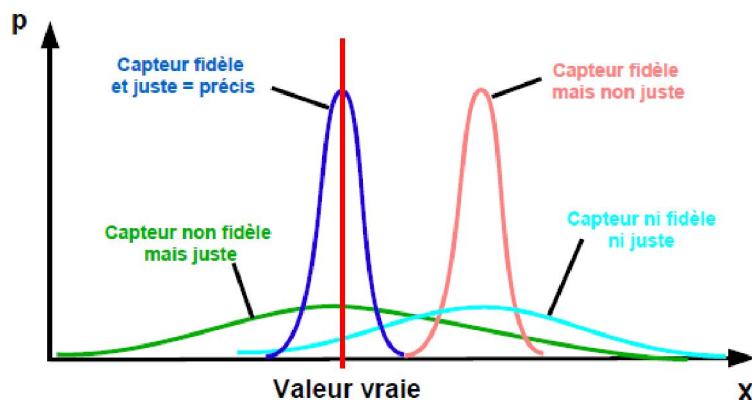


Fig.I.8. capteur précis

Un capteur juste présente des erreurs systématiques faibles.

Un capteur fidèle présente des erreurs accidentelles faibles.

I.9. Erreurs de mesures

En pratique, une mesure peut être éloignée de la valeur attendue. 2 mesures réalisées pour une même valeur du mesurande peuvent être différentes, dû aux erreurs de mesures.

Classification : Il y'a 2 catégories d'erreurs :

Erreurs systématiques : Décalage constant entre la moyenne des mesures et la valeur attendue.

Erreurs accidentelles : Décalage de nature aléatoire entre les mesures **Figure(I.9)**.

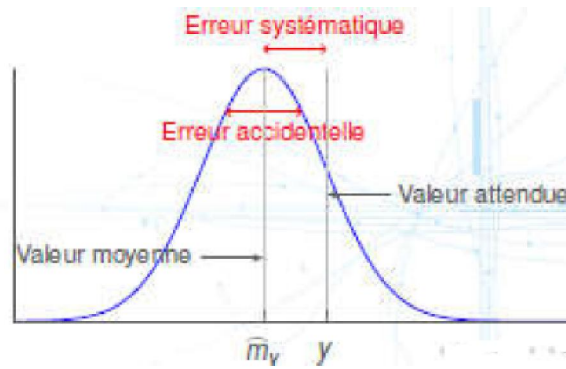


Fig.1.9. Erreurs systématiques et erreurs accidentelles

I° Erreurs systématiques : dues au fait que la valeur moyenne des valeurs mesurées, $\bar{m}_y$, est différente de la valeur attendue, y :

$$\epsilon_s^2 = \left(y - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \bar{y}_n \right)^2 = (y - \bar{m}_y)^2 \neq 0$$

II° Les erreurs accidentelles : Les valeurs mesurées s'écartent significativement de leur valeur moyenne, $\bar{m}_y$:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (y_n - \bar{m}_y)^2$$