

CHAPITRE 3 : PERFORMANCES DES SYSTEMES DE MESURE

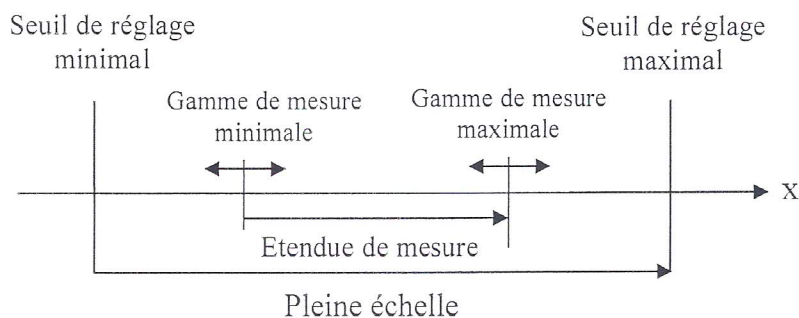
3.1 LES CARACTERISTIQUES STATIQUES D'UN CAPTEUR

3.1.1 Gamme de mesure - Etendue de mesure

La **gamme de mesure** est l'ensemble des valeurs du mesurande pour lesquelles un instrument de mesure est supposé fournir une mesure correcte.

L'**étendue de mesure** correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure.

Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée **pleine échelle**.



3.1.2 La courbe d'étalonnage ou l'étalonnage statique (Static calibration)

Elle est propre à chaque appareil de mesure et permet de transformer la mesure brute en une mesure corrigée. Elle est obtenue en soumettant le capteur à une série de valeurs connues et constantes de la grandeur à mesurer, et à relever avec précision les valeurs correspondantes des grandeurs électriques de sortie, lorsque le régime permanent est atteint. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux ou de graphiques (courbes, abaques ...).

3.1.3 La précision (Accuracy)

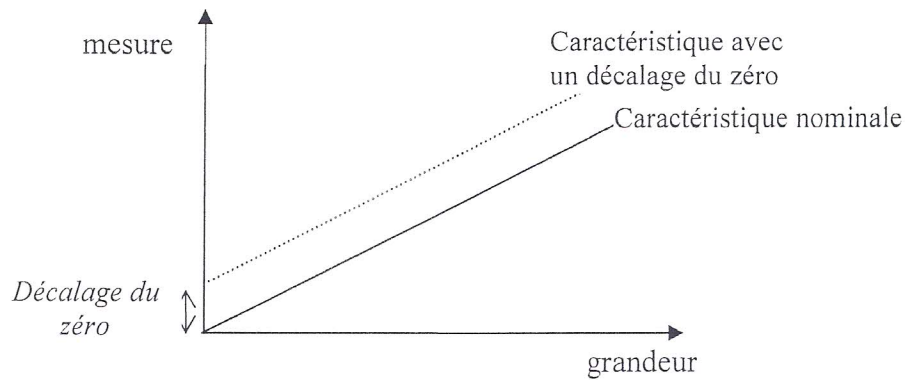
C'est la différence entre la valeur mesurée et la vraie valeur. Elle peut être définie par rapport à la valeur vraie ou par rapport à la pleine échelle, et elle s'exprime en % :

$$\text{précision (par rapport à la valeur vraie)} = \frac{\text{valeur mesurée} - \text{valeur vraie}}{\text{valeur vraie}} \times 100$$

$$\text{précision (par rapport à la pleine échelle)} = \frac{\text{valeur mesurée} - \text{valeur vraie}}{\text{pleine échelle}} \times 100$$

3.1.4 Le décalage du zéro (Bias, Zero-drift)

C'est une variation constante de la sortie après une période de temps, elle peut être due à la variation des conditions climatiques, au changement des conditions électriques, au vieillissement du capteur ...



3.1.5 La linéarité

C'est la déviation maximale de la sortie d'un appareil de mesure par rapport à la courbe d'étalonnage. Dans ce cas, la caractéristique du capteur n'est pas une droite.

3.1.6 La sensibilité (sensitivity)

La sensibilité est une caractéristique déterminante dans le choix d'un capteur, elle est définie par le rapport de la variation de la grandeur de sortie à la variation de la grandeur d'entrée à mesurer, autour d'une valeur constante du mesurande considéré.

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 et de choisir le capteur afin que l'ensemble de la chaîne de mesure satisfasse aux conditions de mesure adéquates.

Soit m la valeur à mesurer et s l'indication ou le signal fourni par le capteur. A chaque valeur de m appartenant à l'étendue de mesure, correspond une valeur de s : $s=f(m)$.

La sensibilité autour d'une valeur de m est le rapport S :

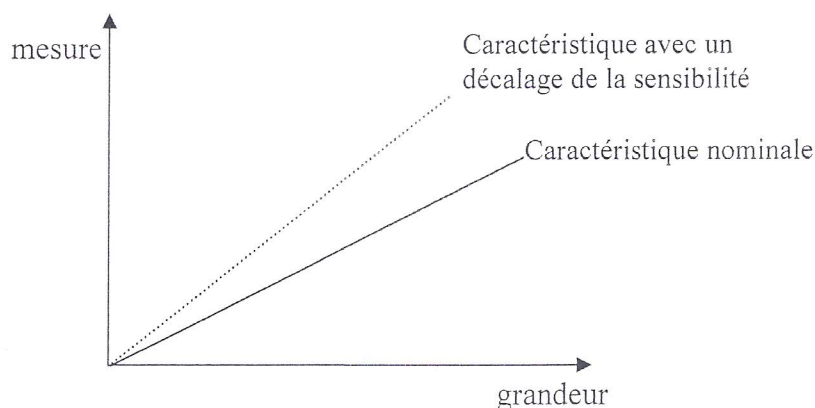
$$S = \left(\frac{ds}{dm} \right)_{m=\text{constante}}$$

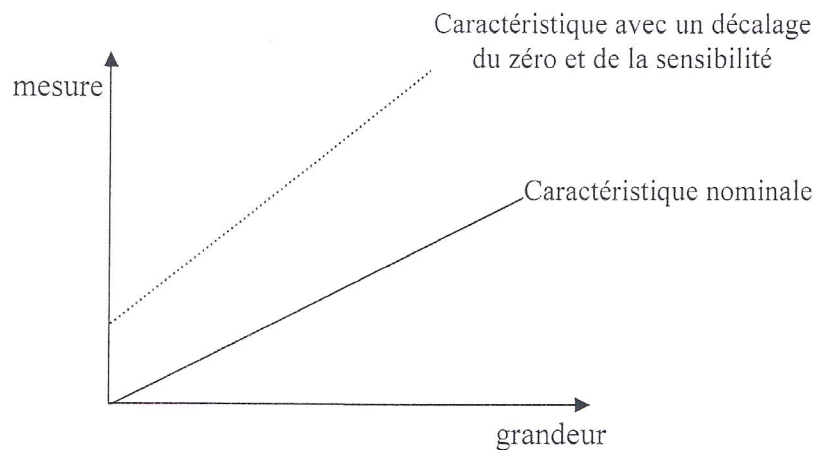
Si la fonction est linéaire, la sensibilité du capteur est constante : $S = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)$

Dans ce cas, la sensibilité en régime statique est égale à la pente de la courbe d'étalonnage du capteur.

3.1.7 Le décalage de la sensibilité (sensitivity drift)

C'est la variation de la sensibilité d'un capteur avec les conditions ambiantes, elle dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée. Un appareil de mesure peut présenter un décalage du zéro, un décalage de la sensibilité ou les deux en même temps.





3.1.8 La résolution

La résolution d'un appareil de mesure est la plus faible variation du mesurande qui provoque une variation de la grandeur de sortie du capteur considéré, elle représente la plus petite variation de la grandeur d'entrée que le système de mesure sera capable d'identifier..

3.1.9 La répétabilité (Precision)

La répétabilité est l'étroitesse de l'accord entre les résultats de mesure d'une même grandeur effectuée selon la même procédure, avec le même appareillage, par la même personne, en un même lieu et pendant une durée de temps courte vis à vis de la durée de la mesure.

Attention : Une bonne répétabilité ne signifie pas que le capteur est satisfaisant mais que le processus est répétitif. Par contre, la non-répétabilité est généralement significative d'une mauvaise qualité du capteur.

3.1.10 La reproductibilité

C'est une notion qu'il ne faut pas confondre avec la répétabilité. Elle correspond à l'étroitesse de l'accord entre les résultats de mesures d'une même grandeur effectuées avec plusieurs appareils de mesure identiques, par des opérateurs distincts, en des temps et des lieux différents.

La notion de reproductibilité est beaucoup plus significative que celle de répétabilité et représente une des garanties de qualité d'un capteur car les essais de reproductibilité permettent de s'affranchir de plusieurs risques d'erreurs qui peuvent être liés à un dérèglement de l'appareil de mesure, à l'habilité de l'opérateur

3.2 LES CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES D' UN CAPTEUR

Les caractéristiques dynamiques d'un instrument de mesure décrivent son comportement en régime transitoire. Les performances dynamiques d'un tel système sont évaluées à partir de sa réponse à des signaux d'entrée types qui sont le signal échelon, le signal rampe et le signal sinusoïdal.

3.2.1 Le système d'ordre zéro

C'est un système de mesure idéal dont la sortie est proportionnelle à l'entrée. Il est régi par la relation mathématique : $s = K.m$

avec K : la sensibilité du système, s : la grandeur de sortie et m : le mesurande.

Dans la réalité, le capteur dont le comportement s'approche du système d'ordre zéro est le potentiomètre qui fournit en sortie une tension proportionnelle au déplacement du curseur.

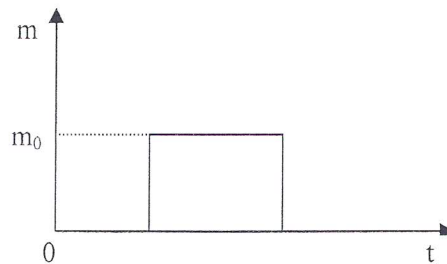
3.2.2 Le système du premier ordre

Son comportement est régi par une équation différentielle du premier ordre de la forme :

$$A \frac{ds}{dt} + B.s = m(t)$$

où A et B sont des constantes et m(t) la valeur du mesurande à un instant t.
Le thermomètre à mercure et le circuit RC sont des systèmes du 1^{er} ordre.

Réponse à un signal échelon Lorsque le mesurande subit une variation brusque (échelon), l'établissement du régime permanent est précédé d'un régime transitoire qui doit être caractérisé afin de réaliser des mesures correctes. La réponse d'un système du 1^{er} ordre à un signal échelon permet d'obtenir la constante de temps du système.

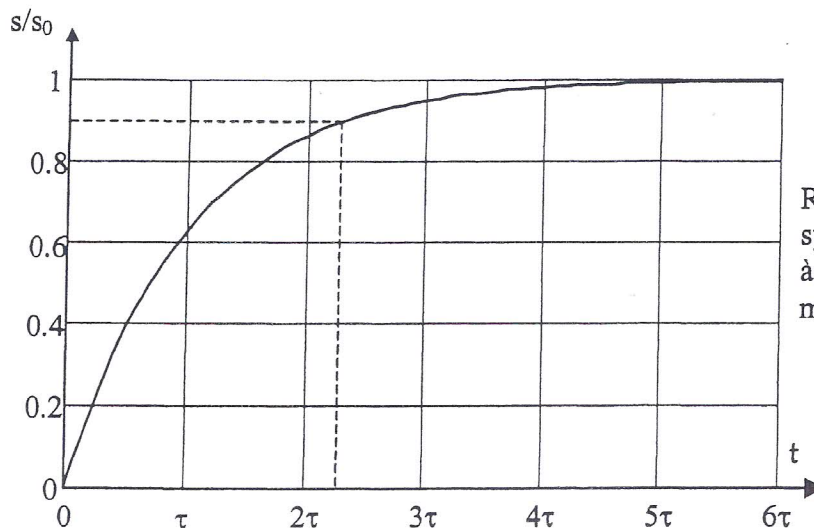


Pour un échelon du mesurande et en supposant que $s=0$ à $t=0$, la solution de l'équation

différentielle précédente s'écrit: $s = s_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right)$

avec : - $s_0 = \frac{m_0}{B}$ la sensibilité du système en régime permanent

- $\tau = \frac{A}{B}$ la constante de temps du système



La grandeur utilisée pour caractériser la rapidité d'un système est le temps de réponse t_r , c'est l'intervalle de temps qui s'écoule après une variation brusque du mesurande (échelon) jusqu'à ce que la variation de sortie ne diffère plus de sa valeur finale d'un écart supérieur à une

limite $\varepsilon(\%)$ fixée conventionnellement. Un temps de réponse doit donc toujours être spécifié avec l'écart $\varepsilon(\%)$ auquel il correspond.

Le temps de réponse t_r du système peut être déterminé soit par la représentation graphique ci-dessus, soit à partir de son expression mathématique : $t_r(\varepsilon) = 2.3(2 - \log \varepsilon)\tau$

L'expression du temps de réponse pour différentes valeurs de $\varepsilon(\%)$ est indiquée dans le tableau ci-dessous :

$\varepsilon(\%)$	$t_r(\varepsilon)$
10	2.3τ
5	3.0τ
2	3.9τ
1	4.6τ
0.1	6.9τ

3.2.3 Le système du deuxième ordre

Son comportement est régi par une équation différentielle du deuxième ordre de la forme :

$$A \frac{d^2s}{dt^2} + B \frac{ds}{dt} + C.s = m(t)$$

où A, B et C sont des constantes.

Cette équation peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{B}{A} \frac{ds}{dt} + \frac{C}{A} s = \frac{1}{A} m(t)$$

ou encore : $\frac{d^2s}{dt^2} + 2\omega_0\zeta \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = K' m(t)$

avec :

$$\zeta = \frac{B}{2\sqrt{CA}} \text{ le coefficient d'amortissement du système}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{A}} \text{ la pulsation propre du système}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \text{ la fréquence propre du système}$$