

Chapitre2 : Caractéristiques Métrologiques

- 1.1 *Les Erreurs de mesure*
- 1.2 *Etalonnage du capteur*
- 1.3 *Limites d'utilisation du capteur*
- 1.4 *Sensibilité*
- 1.5 *Rapidité – temps de réponse*
- 1.6 *Finesse*

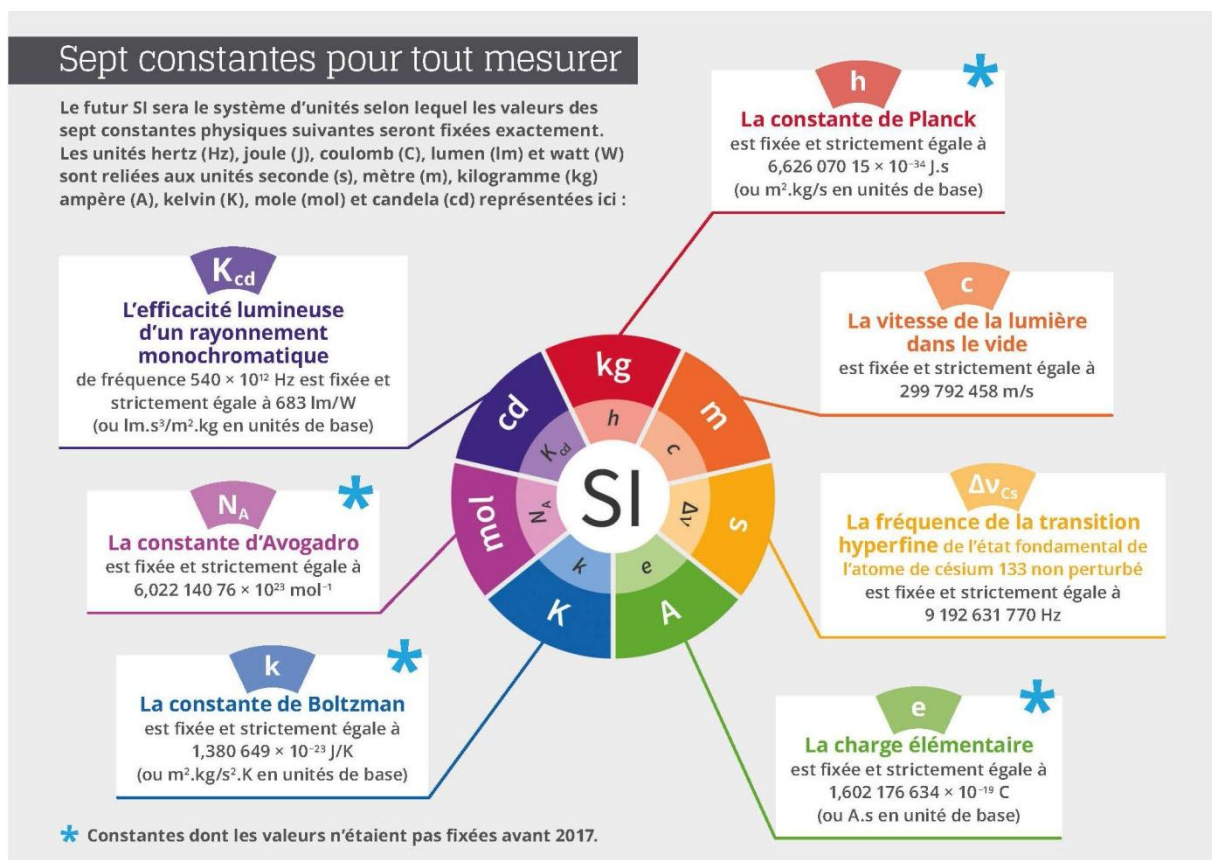
2.1 Les Erreurs de Mesure

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.

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.

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

Les seuls mesurandes dont la valeur est parfaitement connue sont les grandeurs étalons puisque leur valeur est fixée par convention.



L'écart entre **valeur mesurée** et **valeur vraie** est **l'erreur de mesure**.

L'erreur de mesure ne peut être qu'estimée :

La valeur du mesurande ne peut être connue. Cependant, **une conception rigoureuse** de la chaîne de mesure permet de réduire l'erreur de mesure et donc l'incertitude sur la valeur vraie.

2.1.1 Erreurs Systématiques

*Les erreurs systématiques ont généralement pour cause **une connaissance erronée ou incomplète** de l'installation de mesure ou **sa mauvaise utilisation**.*

Parmi les causes d'erreurs systématiques on peut citer :

- erreurs sur la valeur d'une grandeur de référence (*ex : valeur inexacte de la tension d'alimentation d'un pont*).
- erreurs sur les caractéristiques du capteur (*ex : erreur sur la sensibilité ou courbe d'étalonnage*).
- erreurs dues au mode ou aux conditions d'emploi (*erreur de rapidité ou vitesse de réponse*).
- erreurs dans l'exploitation des données brutes de mesure (*ex : auto échauffement d'une résistance thermoélectrique*).

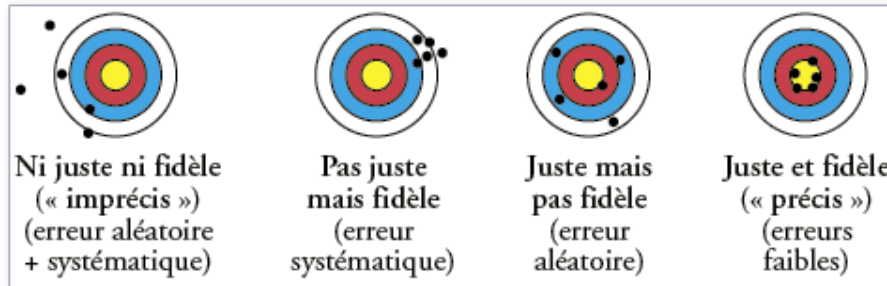
2.1.2 Erreurs Accidentelles (fortuites)

*L'apparition de ces erreurs comme leur amplitude et leur signe sont considérés comme **aléatoires**. Certaines des causes peuvent être connues mais les valeurs des erreurs qu'elles entraînent au moment de l'expérience **sont inconnues**.*

Diverses causes possibles d'erreurs accidentelles sont indiquées ci-après :

- erreurs liées aux indéterminations intrinsèques des caractéristiques instrumentales (*ex : erreur de mobilité en dessous d'une certaine valeur*).
- erreurs dues à la prise en compte par la chaîne de mesure de signaux parasites de caractère aléatoire (*ex : bruit de fond*).

- erreurs dues a des grandeurs d'influences (*ex : un appareillage ayant été élaboré à 20°C, toute variation de température de part et d'autre de 20°C entraine des erreurs*).



2.2 Etalonnage du Capteur

*L'étalonnage du capteur comprend l'ensemble des opérations qui permettent d'explicitier, sous **forme graphique** ou **algébrique**, la relation entre les valeurs du mesurande et celles de la grandeur électrique de sortie et ceci, **compte tenu de tous les paramètres additionnels susceptibles de modifier la réponse du capteur.***

Les paramètres additionnels peuvent être :

- soit des **grandeurs physiques liées** au mesurande et auxquelles le capteur **est sensible** (*sens et vitesse de variation du mesurande, propriétés physiques du support matériel du mesurande*) ;
- soit sur **des grandeurs physiques, indépendantes** du mesurande, auxquelles le capteur est soumis pendant son utilisation et qui peuvent modifier sa réponse :
 - **grandeurs d'influence d'ambiance** (*température, humidité*).
 - **grandeurs d'influence d'alimentation** (*amplitude, fréquence des tensions nécessaires au fonctionnement du capteur*).

2.2.1 Etalonnage simple

Il s'applique à un mesurande défini par **une grandeur physique unique** et à un capteur non-sensible à des grandeurs d'influence.

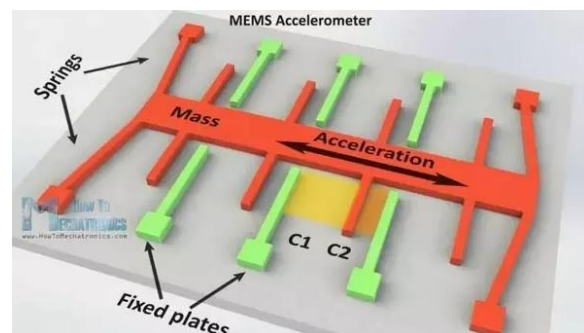
Il s'agit en particulier de **mesures statiques**, c'est adire à **valeurs constantes** :

- mesure de distances fixes à l'aide d'un **capteur potentiométrique** dont l'indication ne dépend pas de la température (*grandeur d'influence*).
- mesure d'une température à l'aide d'un **thermocouple**.

Dans ces conditions l'étalonnage consiste à **associer** à **des valeurs parfaitement déterminées** du mesurande les valeurs correspondantes de la grandeur électrique de sortie ; l'étalonnage s'effectue par un seul type d'expériences et par l'une ou l'autre procédure décrite ci-après :

Etalonnage direct ou absolu

Les diverses valeurs du mesurande sont fournies soit par des étalons soit par des éléments de référence dont la valeur est connue avec **une précision de l'ordre de 100 fois supérieure** à celles recherché par le capteur.



Exemple : **Interféromètre Laser** pour le capteur de déplacement ou mouvement rectiligne (fig.1 étalonnage absolu d'un accéléromètre).

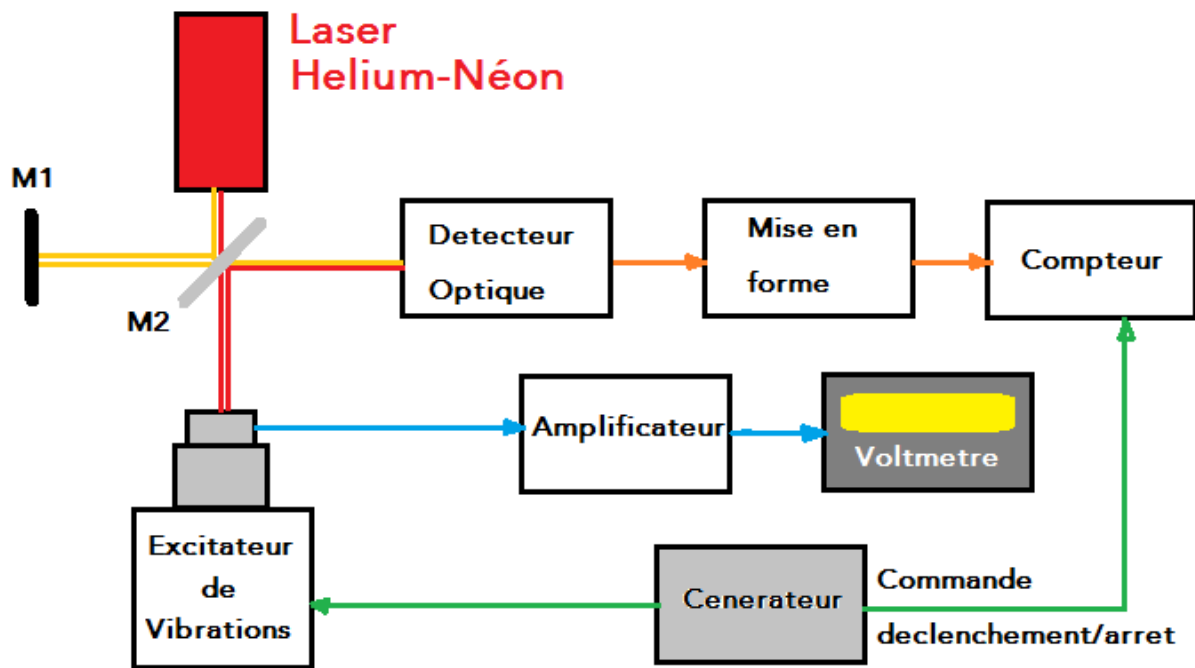


Fig.1 : Etalonnage absolu d'un accéléromètre.

L'accéléromètre est soumis à une vibration sinusoïdale de fréquence f connue ; en fonction de l'amplitude X_1 du déplacement, l'accélération a pour amplitude

$$A_1 = 4\pi^2 f^2 X_1$$

La valeur de X_1 est déduite de nombre de franges d'interférence défilant devant un détecteur optique pendant une période d'excitation : pour chaque valeur de A_1 le signal de sortie de l'accéléromètre est déduit de l'indication d'un voltmètre de précision.



Franges d'interférences

Étalonnage indirect ou par comparaison

On utilise un **capteur de référence** dont on possède la **courbe d'étalonnage** et dont on est assuré de la **stabilité** (fig.2).

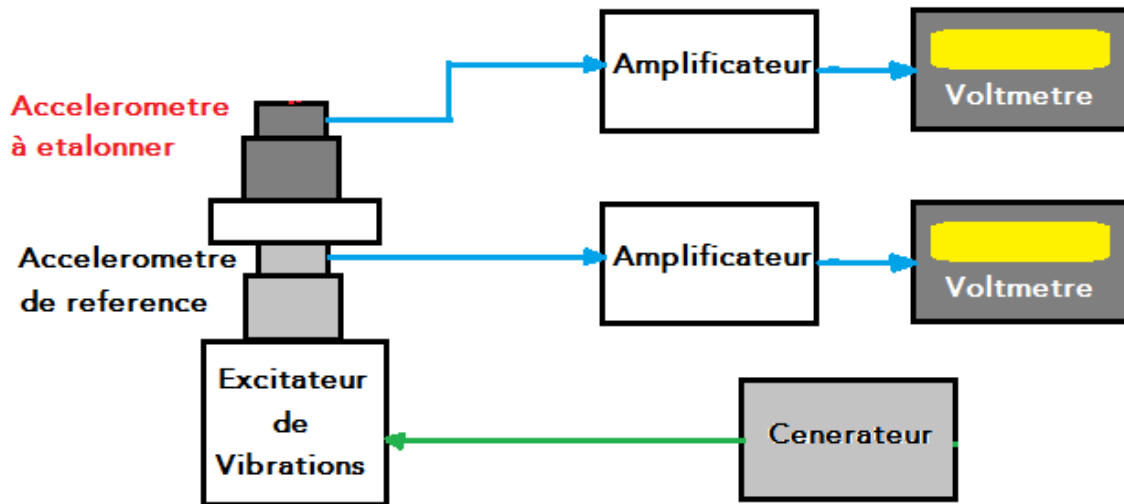
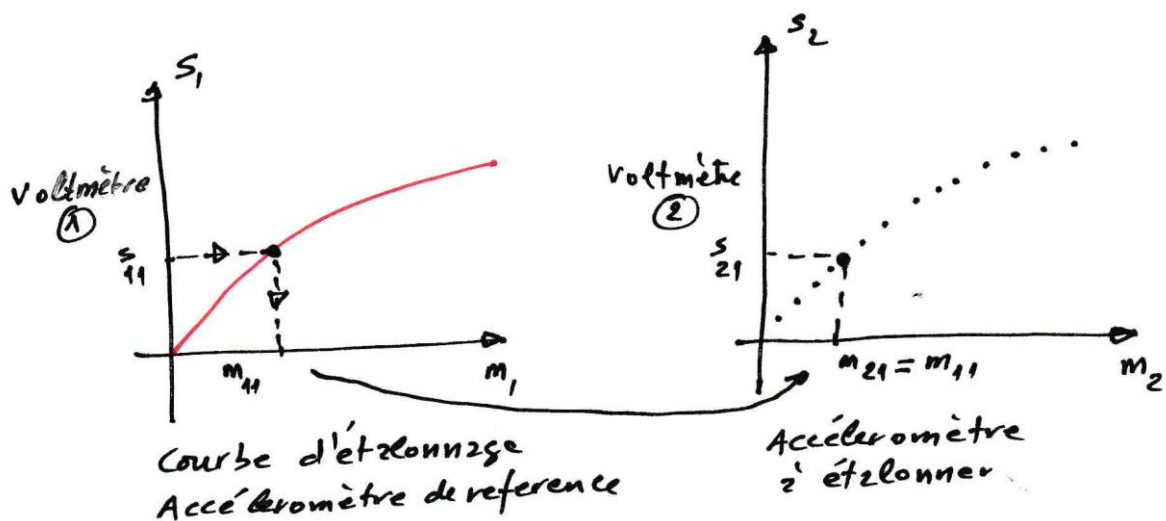


Fig.2 : étalonnage d'un accéléromètre par comparaison avec un accéléromètre de référence.



Remarque : la relation entre mesurande et grandeur de sortie peut être **sous forme graphique** (la courbe d'étalonnage), ou **sous forme algébrique** (équation caractéristique du capteur).

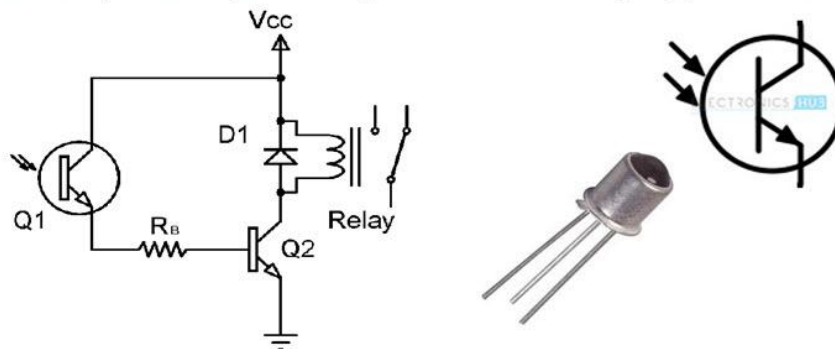
2.2.2 Etalonnage multiple

Lorsque le mesurande à lui seul ne permet pas de définir la réponse du capteur, il faut que soit précisée, par **une série d'étalonnages successifs** l'influence de chacun des paramètres actifs additionnels.

Ex : Le Phototransistor

PHOTOTRANSISTOR

Principle of Operation, Characteristics, Applications



Il s'agit d'un capteur optique dont la grandeur de sortie, **le courant collecteur I_c** dépend :

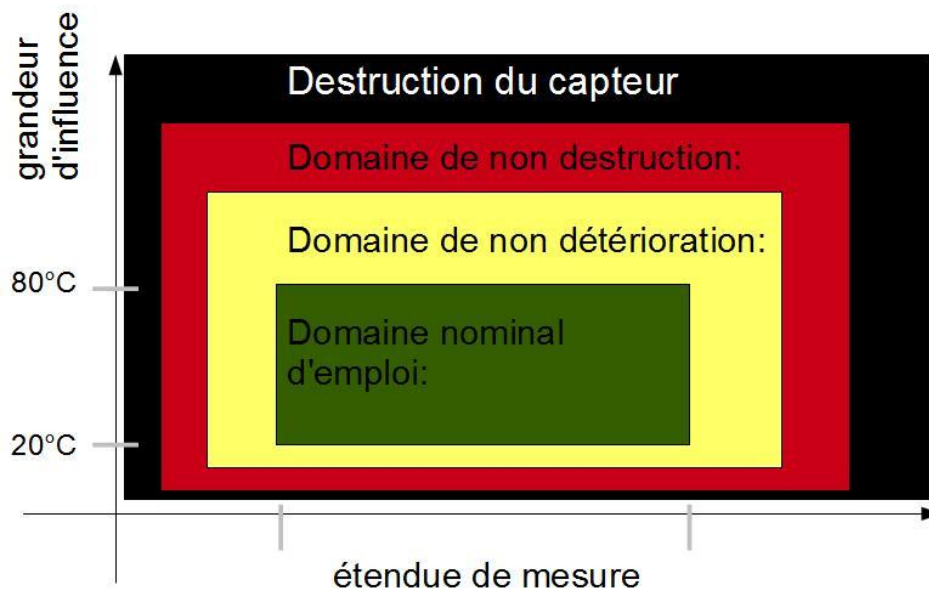
- du **flux de rayonnement incident ϕ** , ainsi que sa **longueur d'onde λ** , de **l'angle α** entre le rayonnement incident et la normale à la surface éclairée ;
- de **la tension collecteur-émetteur V_{CE}** ;
- de **la résistance de charge R_m** ;
- et de **la température**.

Pour chacun des paramètres indiqués, le constructeur fournit l'étalonnage correspondant, obtenu en relevant l'influence sur I_c du paramètre considéré.

A partir de ces courbes, l'utilisateur peut, dans les conditions expérimentales qui lui sont propres, déterminer par interpolation la réponse du capteur.

2.3 Limites d'utilisation du capteur

Les contraintes **mécaniques**, **thermiques** ou **électriques** auxquelles un capteur est soumis entraînent, lorsque leurs niveaux dépassent **des seuils définis**, une **modification des caractéristiques** du capteur, telles qu'elles étaient connues par étalonnage préalable ou spécifications du constructeur.



- **Domaine nominal d'emploi :** Il correspond aux conditions normales d'utilisation du capteur.
- **Domaine de non-détérioration :** Lorsque les valeurs du mesurande ou des grandeurs d'influence dépassent les limites du domaine nominal d'emploi mais restent inférieures aux bornes du domaine de non-détérioration les caractéristiques métrologiques du capteur risquent d'être modifiées.
- **Domaine de non-destruction :** Lorsque les valeurs du mesurande ou des grandeurs d'influence dépassent les limites du domaine de non-détérioration tout en restant inférieures aux bornes du domaine de non-destruction, les caractéristiques du capteur sont modifiées de façon irréversible. La réutilisation nécessite un nouvel étalonnage.
- **Etendue de mesure (EM) :** Elle est définie par la différence des valeurs extrêmes de la plage du mesurande dans laquelle le fonctionnement du capteur satisfait à des spécifications données (domaine nominal en général).

2.4 Sensibilité

C'est une spécification déterminante dans le choix du capteur ; de façon générale la sensibilité S est définie, autour d'une valeur m_i constante du mesurande, par le rapport Δs de la grandeur de sortie à la variation Δm du mesurande qui lui a donné naissance :

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

La valeur de la sensibilité est fournie par le constructeur ; elle permet à l'utilisateur :

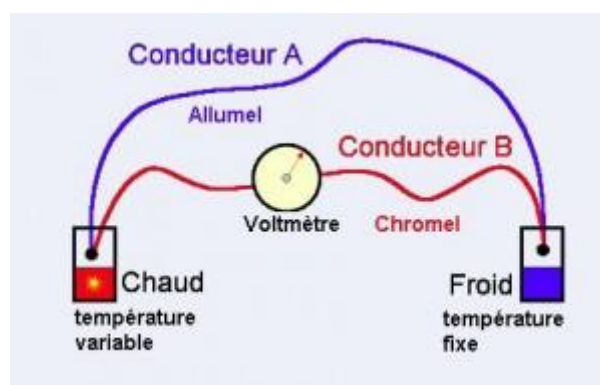
- D'estimer l'ordre de grandeur de la réponse du capteur, connaissant l'ordre de grandeur des variations du mesurande.
- De choisir le capteur de façon que la chaîne de mesure dans son ensemble satisfasse aux conditions de mesure imposées.

L'unité de S résulte du principe qui est à la base du capteur et des ordres de grandeurs mis en jeu, exemple :

$\Omega/^\circ\text{C}$ pour une résistance thermométrique ;

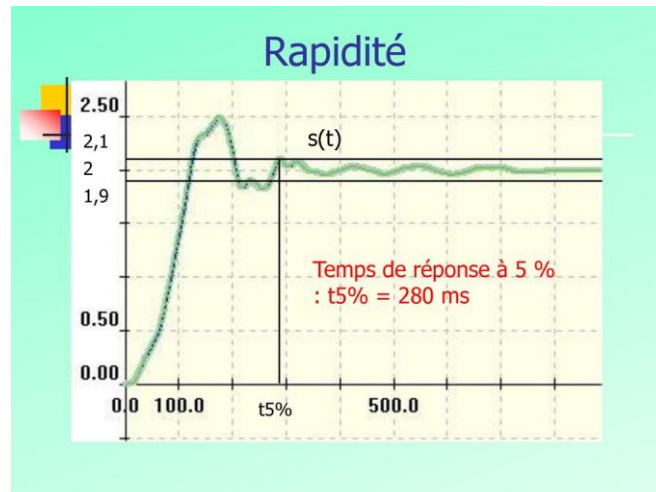


$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pour un couple thermoélectrique.



2.5 Rapidité – Temps de réponse

La réponse en fréquence d'un capteur s'applique au **régime permanent** de la grandeur de sortie en présence d'un **mesurande périodique**.



Dés l'instant où le mesurande se trouve appliqué au capteur ou bien subit une variation brusque, l'établissement du **régime permanent** est précédé d'un **régime transitoire** dont l'importance doit pouvoir être appréciée pour une réalisation correcte des mesures.

La fonction du temps qui détermine ce **régime transitoire** découle de **l'équation différentielle du système** : elle est la solution générale de l'équation sans second membre.

2.6 Finesse

C'est une spécification qui permet à l'utilisateur d'estimer l'influence que **la présence du capteur** et de **ses liaisons** peut avoir sur la valeur du mesurande.

La finesse est définie par la valeur d'une grandeur physique qui dépend de la **nature du capteur** et qui détermine **sa réaction** sur le mesurande.

Le tableau suivant indique les grandeurs définissant la finesse de quelques types de capteurs.

CAPTEUR	GRANDEUR DÉFINISSANT LA FINESSE ET À MINIMISER SI POSSIBLE	
Capteur de déplacement linéaire LVDT (transfo. différentiel)	masse de la partie mobile (g) et effort de déplacement (N)	faibles par rapport à l'objet en déplacement
Capteur de déplacement angulaire (potentiomètre circulaire)	moment d'inertie (m^4) et couple résistant (N.m)	faibles p/r à l'objet en déplacement
Cellule de force (dynamomètre)	raideur (N/m)	
Capteur de pression (manomètre)	volume mort (cm^3) et volume de respiration (cm^3)	petits par rapport au volume de l'enceinte où on mesure la pression
Capteur température (résistance thermométrique, thermocouple)	capacité calorifique ($J/^\circ C$) et conductance thermique des fils de liaison vers l'extérieur ($W/^\circ C$)	faible par rapport à celle du milieu où on mesure la température

LVDT : Linear Variable Differentai Transformer. Unité moment d'inertie : $kg.m^2$

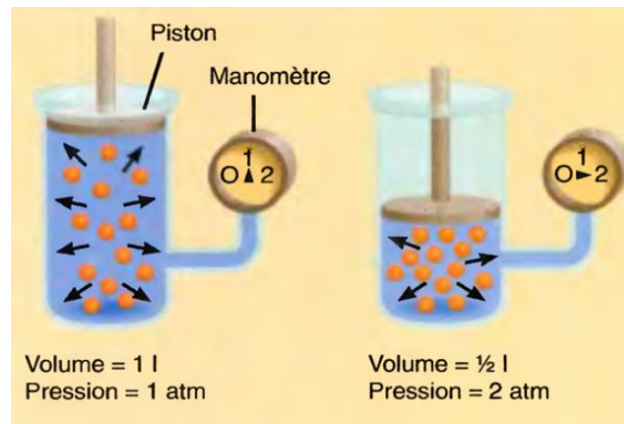
L'influence du capteur sur le mesurande dépend non seulement des caractéristiques du capteur mais aussi de celles du milieu ou de la structure qui sont le support du mesurande.

Exemples :

- Un **capteur de déplacement** linéaire a une finesse d'autant **plus grande** que sa masse mobile et l'effort nécessaire à son déplacement sont plus Par rapport à la masse de l'objet en déplacement et aux forces qui lui sont appliquées.



- La finesse d'un **capteur de pression** est d'autant **plus grande** que son *volume mort* et son *volume de respiration* sont plus par rapport au volume de l'enceinte dont la pression doit être mesurée.



Faibles, réduits

