

Chapitre 1

Caractéristiques d'un système de mesure

Chapitre 1. Caractéristiques d'un système de mesure

- **Introduction**
- **Définitions de base**
- **Types de mesures**
- **Différentes erreurs possibles**

Chapitre 1. Caractéristiques d'un système de mesure

Introduction

La métrologie est l'ensemble des techniques et des savoir-faire qui permettent d'effectuer des mesures et d'avoir une confiance suffisante dans leurs résultats.

La mesure est nécessaire à toute connaissance, à toute prise de décision et à toute action.

La logique de toute activité est :

- observer/mesurer,
- comprendre,
- prévoir/agir,
- mesurer/vérifier.

- **Mesurande** : La grandeur physique particulière soumise au mesurage.

- Méthode directe: la valeur du mesurande est obtenue directement par lecture d'un appareil.

- Méthode indirecte: la valeur du mesurande est fonction d'autres mesures

- **Mesure (x)** : C'est l'évaluation d'une grandeur physique par comparaison avec une autre grandeur de même nature prise pour unité.

- **Mesurage** : ensemble des opérations permettant de mesurer une grandeur physique (mesurande).

- **L'incertitude (dx)** : Le résultat de la mesure x d'une grandeur X n'est pas complètement défini par un seul nombre. Il faut au moins la caractériser par un couple (x, dx) et une unité de mesure. Ainsi, on a :
 $x-dx < X < x+dx$

Exemple : 3 cm \pm 10%, ou 5 cm \pm 1 cm.

Unité:

❖ Dans un ensemble de grandeurs, c'est une grandeur particulière choisie comme référence à laquelle toutes les autres sont comparées.

❖ Les longueurs sont mesurées en les comparant au mètre. Chaque unité est nommée et un symbole lui est attribué.

Valeur numérique ou Mesure d'une grandeur

La Valeur numérique d'une grandeur n'a de sens qu'accompagnée de l'unité à laquelle elle a été comparée pour obtenir cette valeur :

MESURE = VALEUR * Unité

$l = 5.5 \text{ m}$ $F = 10.1 \text{ N}$

L'unité doit toujours être placée à droite : $18,5^\circ$

Un nombre limité d'unités de base

- ❖ Dans un effort d'unification, la plupart des unités faisant double emploi ont été éliminées.
- ❖ Après des années de travail patient, la plus part des unités en usage ont été ramenées à des fonctions de 7 unités de base.
Ces 7 unités de base sont indépendantes les unes des autres.
Les autres unités du SI sont appelées "unités dérivées".



mètre



kilogramme



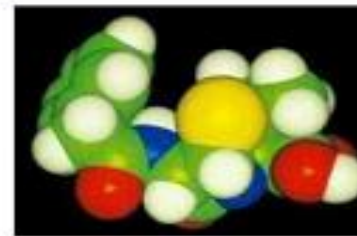
seconde



ampère



kelvin



mole



candela

Différentes erreurs possibles:

Les erreurs de mesure sont liées à la nature et à la répartition probabiliste et fréquentielle des perturbations possibles de la mesure.

- **Erreur systématique** : décalage entre la valeur vraie et la valeur mesurée.
 - décalage constant ou lentement variable
 - erreur de très basse fréquence (vieillesse, dérive en température).
- **Erreur aléatoire** : ensemble des perturbations dont le signe et l'amplitude est aléatoire
 - dispersion des mesures successives d'une même grandeur

Erreur systématique

- se produit toujours de la même façon, avec pour origine :
 - l'opérateur,
→ maîtrise la mesure, rigueur et soin
 - l'appareil (mauvais étalonnage)
→ étalonnage
 - la méthode (principe de mesure)
→ facile à prendre en compte = facile à corriger

les erreurs systématiques peuvent être corrigées

Erreur aléatoire

- L'origine de ces erreurs est multiple:

- Erreur de lecture (position de l'aiguille d'un appareil,...)

- division entre deux graduations successives voisines

- Erreur d'appareils, conditions expérimentales (variation dans le temps, usure)

- étalonner

- Erreur de montage (fil trop long, mauvaise masse,)

- soigner le montage

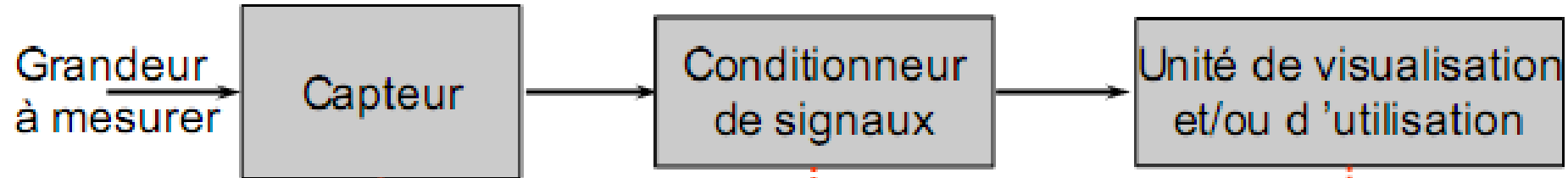
- Erreur de conditions de mesure (température, pression, humidité,...)

- prendre en compte les grandeurs d'influences

les erreurs aléatoires ne peuvent être qu'estimées

Capteur- chaîne de mesure

1. Généralité



- Élément sensible aux variations d'une grandeur physique et qui, à partir de ces variations délivre un signal.
- Amplificateur du signal délivré par le capteur pour lui donner un niveau compatible avec l'unité de visualisation et d'utilisation
- Unité qui permet de lire la valeur de la grandeur et/ou de l'exploiter dans le cas d'un asservissement.

1. Rôle de la chaîne de mesure

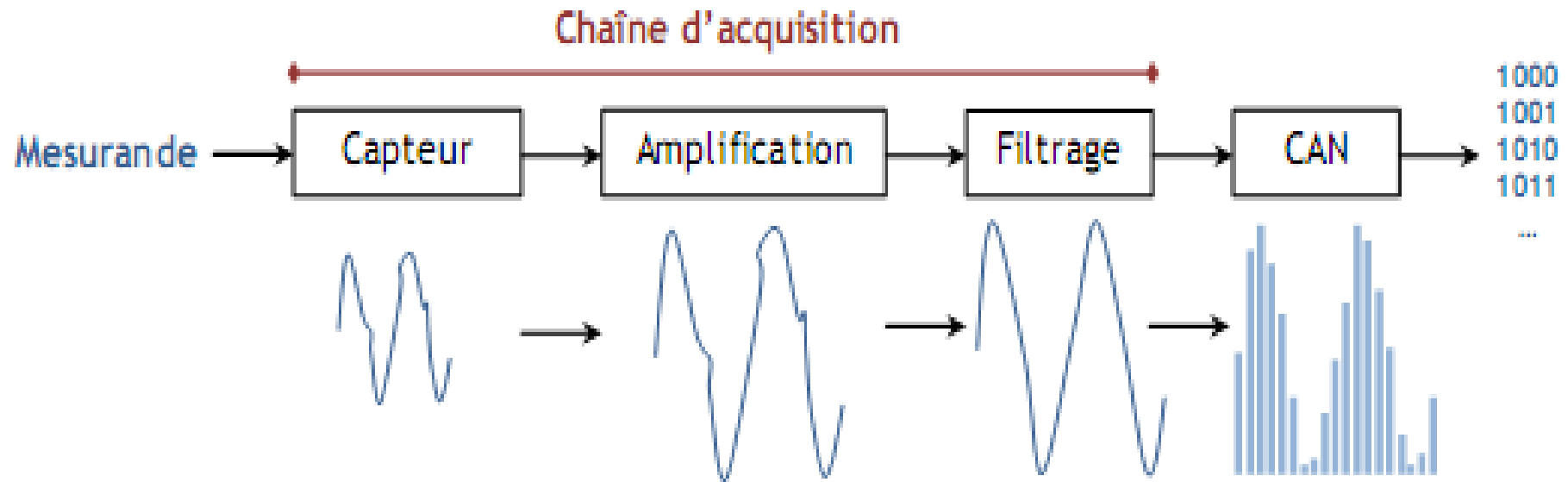
1 - Une chaîne de mesure recueille les informations nécessaires à la connaissance de l'état d'un système.

2 - L'état d'un système est caractérisé par des grandeurs physiques ou chimiques appelées : mesurande .

3 - La chaîne délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

4 - le but de la chaîne de mesure est d'assigner une valeur à un mesurande

Constitution de la chaîne



Principe de fonctionnement d'une chaîne de mesure

Généralement, elle est constituée de 3 parties :

- acquisition des données (analogique)
capteurs, conditionneurs, amplificateurs, multiplexage.
- transformation des données CAN
- traitement des données (calculateur)



Mesure de la vitesse du vent, du taux de CO₂, de l'ensoleillement

Capteur à ultrasons



Détection de la présence d'obstacles

Capteur de présence

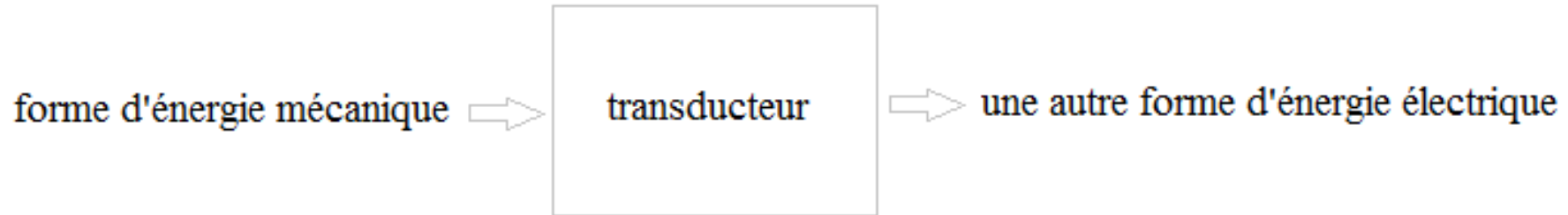


Détection de la présence d'une personne

Exemples de systèmes de mesures

C'est quoi un capteur

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique d'entrée, appelée mesurande [m], en une grandeur de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) appelée réponse[s].



Le capteur idéal est celui pour lequel :

- on dispose d'une relation linéaire connue entre la grandeur à mesurer et le signal de sortie du capteur $S = f(m)$

- les conditions d'emploi sont telles qu'aucune grandeur d'influence ne perturbe son fonctionnement

- aucun bruit parasite se superpose au signal utile

Perturbation parasite

Grandeur physique dont les variations influent sur le fonctionnement du capteur ou la qualité de la mesure: Température, vibrations, humidité, alimentation électrique, perturbations électromagnétiques, ...

❖ La conception du capteur doit chercher à minimiser l'influence indésirable de ces grandeurs ou prévoir un dispositif de compensation.

Domaines d'utilisation des capteurs :

Tous les domaines d'activité nécessitent l'emploi de capteurs

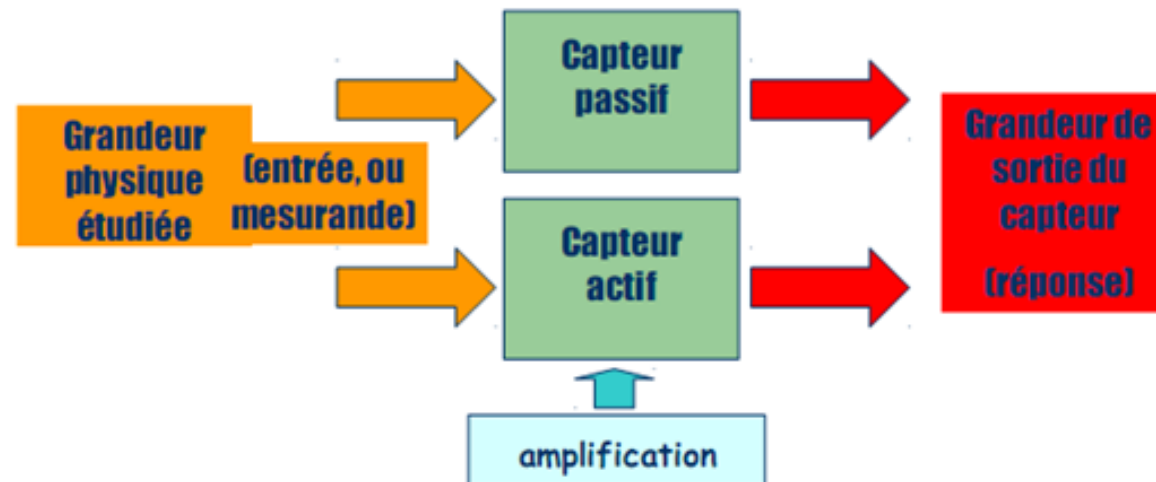
Exemples :

- automobile : domaine principal, contrôle de la production, agriculture, médical (domaine du micro capteur)
- électroménager

Classification des capteurs

Classification en fonction :

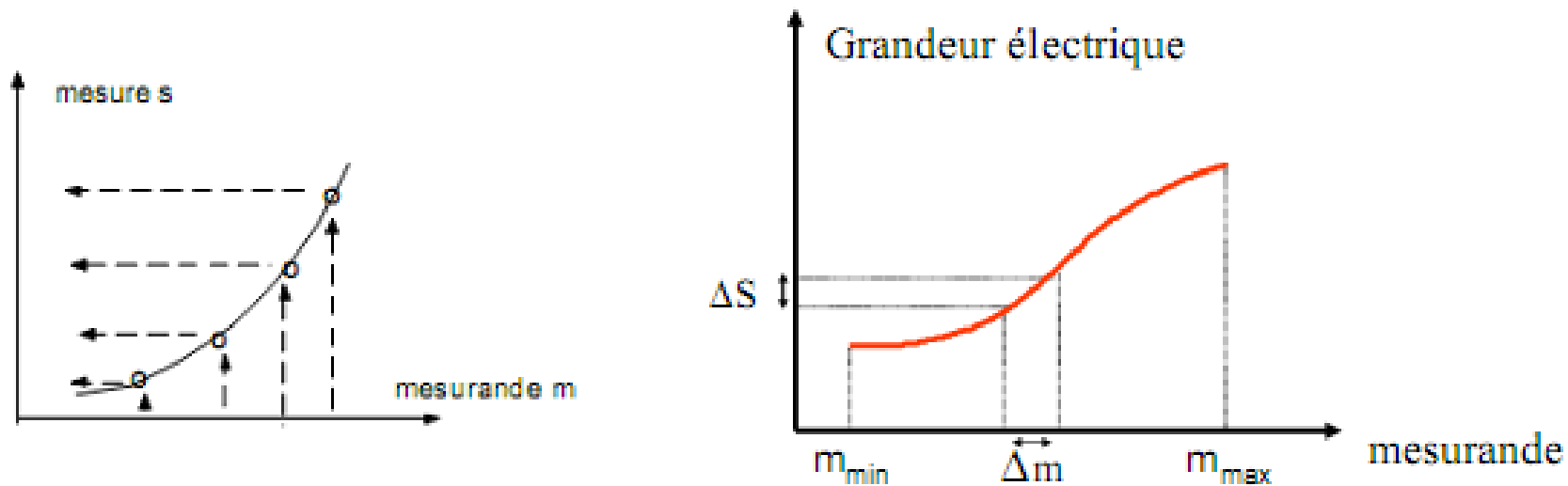
- du mesurande qu'il traduit (capteur de température, de pression, ...)
- du signal qu'ils fournissent
- capteurs analogiques (catégorie la plus importante), capteurs logiques (*key sensor*)
- capteurs digitaux
- de leur principe de fonctionnement (capteur actif, passif)



Les caractéristiques métrologiques

1. Sensibilité

La sensibilité $S(m)$ d'un capteur, pour une valeur donnée du mesurande, est égale au rapport de la variation du signal électrique sur la variation du signal physique.



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

$$\text{Unité typique} = \frac{\text{Unité Grandeur Electrique}}{\text{Unité Mesurande}}$$

Pour un capteur linéaire , la sensibilité S est une constante

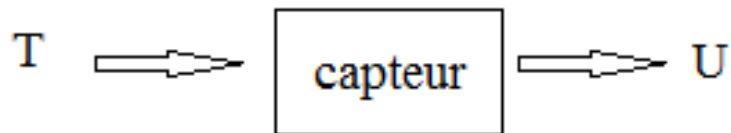
$$S_{lin} = \frac{ax_j + b - (ax_i + b)}{x_j - x_i} = a$$

Pente du droite qui caractérise la linéarité du capteur

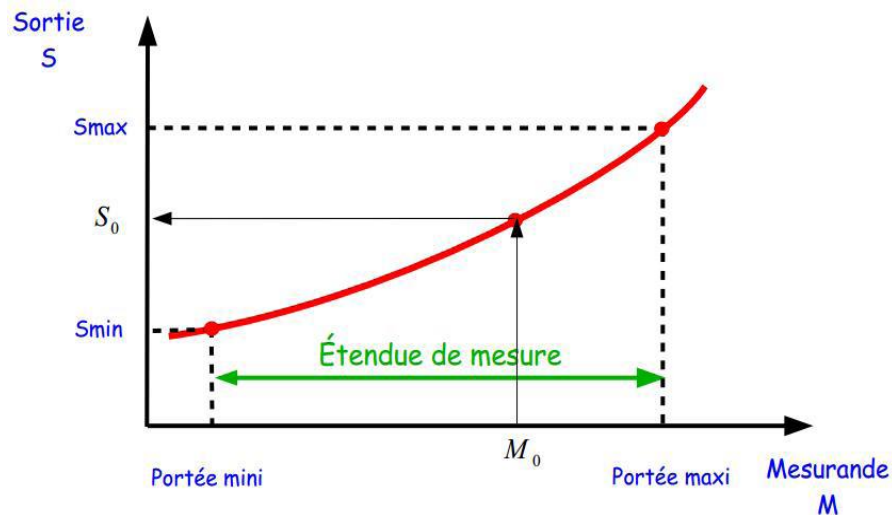
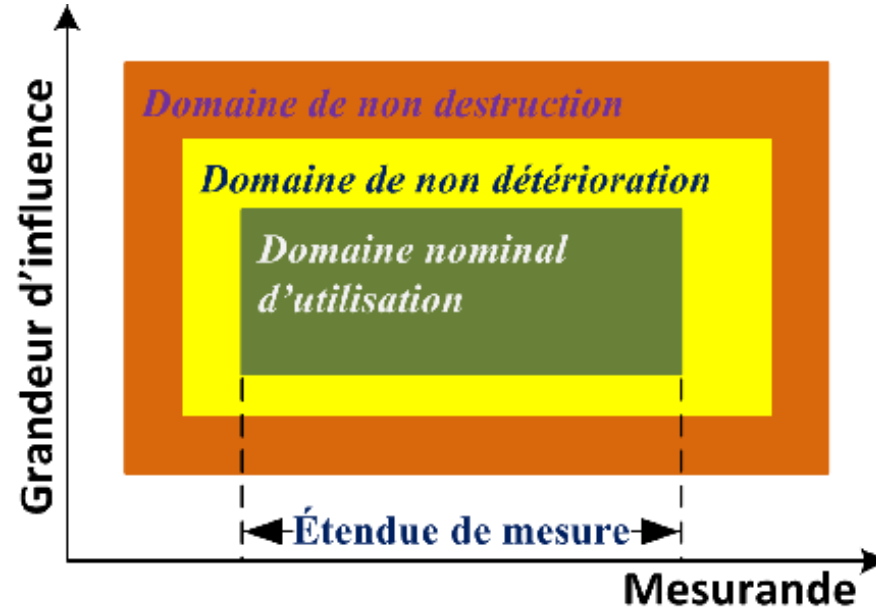
Exemple: Un capteur présente la fonction suivante: $U=1.55 T-20$

S =? →

S =pente=a=1.55 v/degré Celsius



2. Les domaines d'utilisations



Étendue de mesure:

L'étendue de mesure est la zone nominale d'emploi, zone dans laquelle les caractéristiques du capteur correspondent aux spécifications de fonctionnement normal ; elle est bornée par la limite inférieure et la limite supérieure (portées).

3. La précision

l'erreur de précision = erreur de justesse + erreur de fidélité.

La valeur moyenne $\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$

L'écart type

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}$$

la dispersion d'une série de mesures autour de leur valeur moyenne

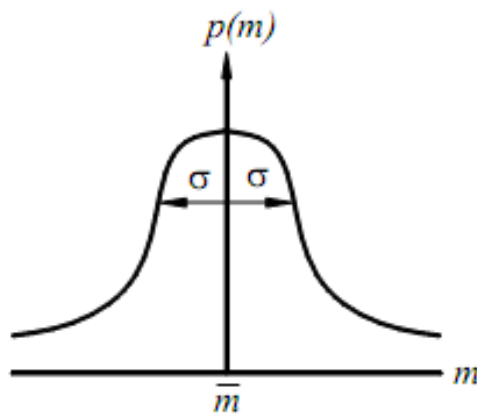
La fidélité

Elle caractérise l'aptitude d'un capteur à donner, pour une même valeur de la grandeur mesurée, des mesures concordant entre elles.

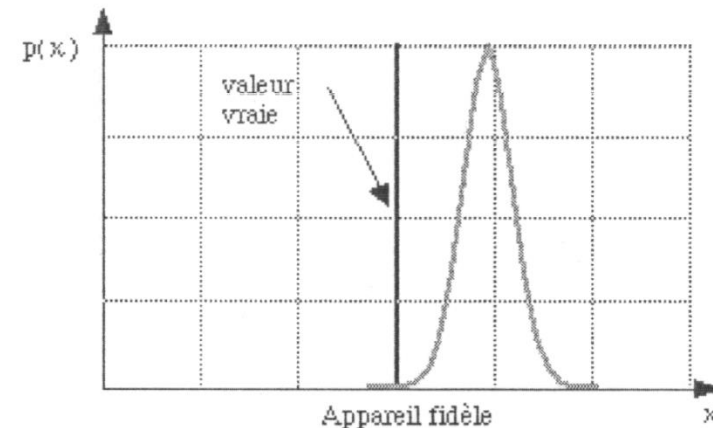


La fidélité est souvent caractérisée par l'écart type

Les résultats de mesures répétées d'une même valeur de mesurande restent groupés autour d'une valeur moyenne.



$P(\bar{m} \pm \sigma)$	----->	68.3 %
$P(\bar{m} \pm 2\sigma)$	----->	95.5 %
$P(\bar{m} \pm 3\sigma)$	----->	99.7 %



La Justesse

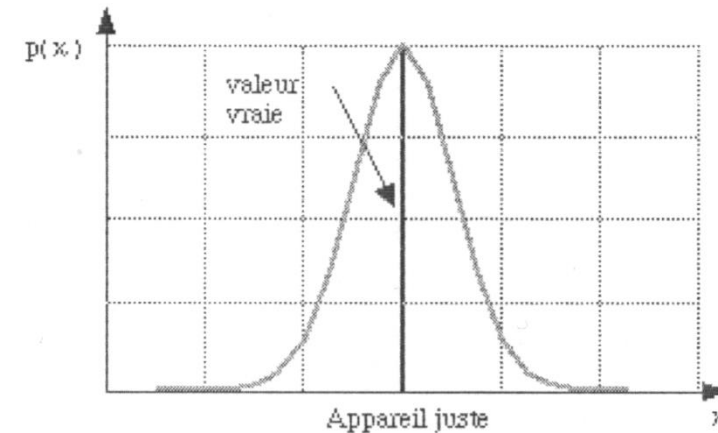
Elle caractérise l'aptitude d'un capteur à donner des mesures proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée, les erreurs de fidélité n'étant pas prise en compte.



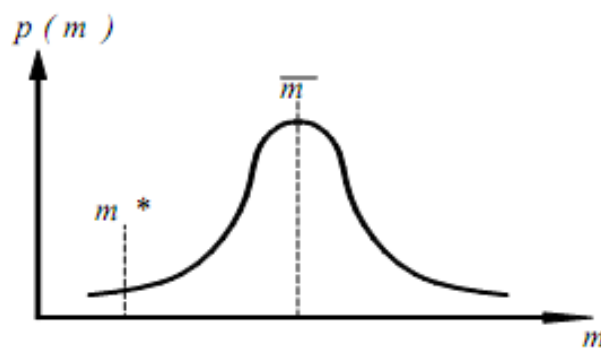
La valeur la plus probable du mesurande est très proche de la valeur vraie

valeur moyenne \approx valeur vraie

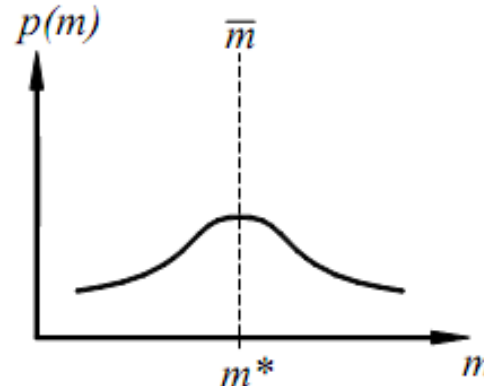
❖ Un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse.



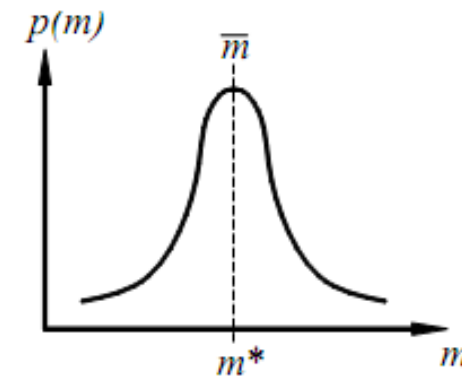
(m^* est la valeur vraie)



Ex. d'appareil fidèle mais pas juste



Ex. d'appareil juste mais pas fidèle



Ex. d'appareil fidèle et juste, donc précis

La précision est spécifiée par l'erreur de précision qui délimite un intervalle autour de la valeur mesurée, à l'intérieur duquel on est assuré de trouver la valeur vraie du mesurande. Cette erreur de précision peut être représentée de trois façons :

* Par l'erreur absolue e_a qui exprime l'erreur de précision dans l'unité de mesure du mesurande ;

* Par l'erreur relative e_r qui exprime l'erreur de précision en pourcentage par rapport à la valeur mesurée M :

$$e_r = \frac{e_a}{M} \times 100\%;$$

Par la classe de précision C_p , qui exprime l'erreur de précision en pourcentage par rapport à l'étendue de mesure EM .

$$C_p = \frac{e_a}{EM} \times 100\%$$

4. La finesse

Elle qualifie l'incidence de l'instrument de mesure sur le phénomène mesuré. C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure.

Moins un capteur influence son environnement, meilleure est sa finesse.

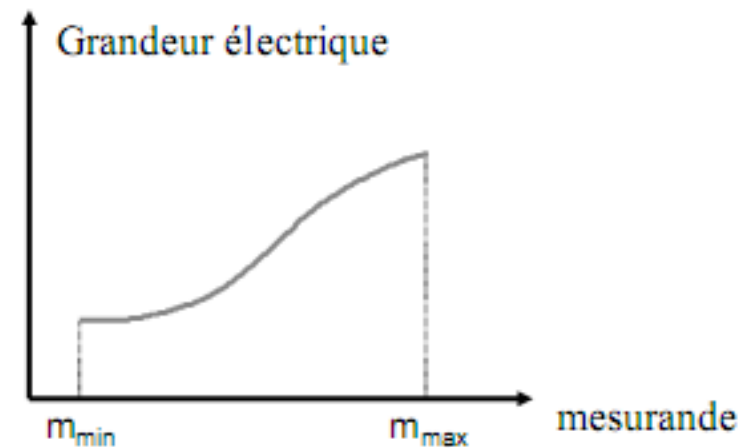
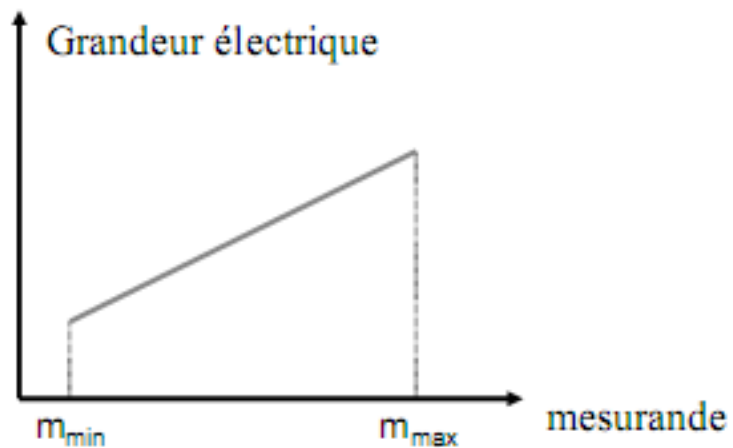
On peut utiliser à titre d'exemple une résistance pour mesurer une température. Toutefois, pour mesurer la valeur de la résistance, il faut qu'un courant électrique y circule.

5. Courbe d'étalonnage

Permet de définir une relation fonctionnelle reliant le mesurande en entrée et la grandeur électrique en sortie du capteur.

Elle est définie soit par un graphe, soit par une relation formelle (linéaire, exponentielle, logarithmique...).

Exemples



6. La résolution

$$\text{Résolution} = \frac{\text{Etendue de mesure}}{\text{nombre de points de mesure } N}$$

Conversion analogique/ numérique \longrightarrow Erreurs provoquées

ce qui permet de définir l'erreur de résolution e_r . Elle dépend de deux paramètres :

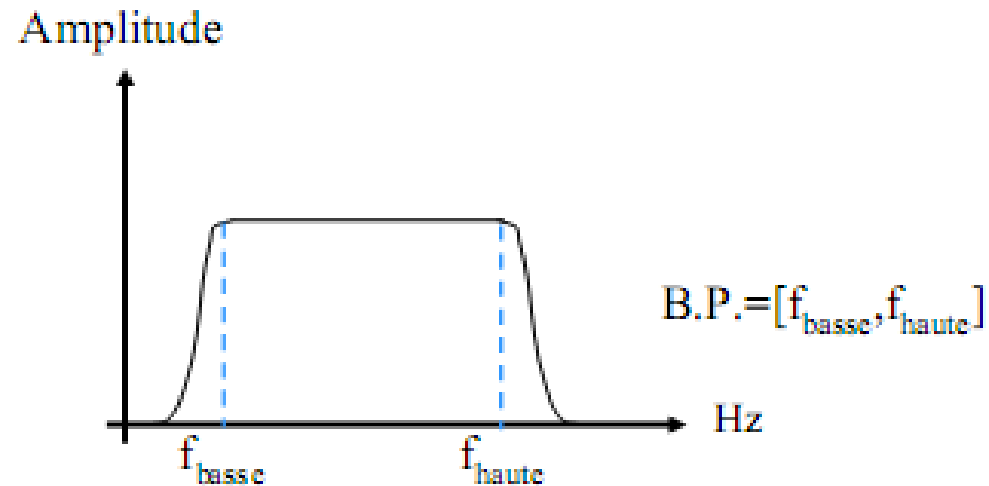
- 1) du nombre de bits de la conversion : pour n bits, on a 2^n valeurs différentes.
- 2) de l'étendue de mesure EM . on a alors :

$$Q = \frac{EM}{2^n} \implies e_r = \frac{Q}{2}$$

7. Bande passante

Elle est définie comme étant la plage de fréquence de variation du mesurande où les caractéristiques du capteur spécifiées par le constructeur sont respectées.

Si la fréquence du mesurande est comprise entre f (basse) et F (haute), l'amplitude du signal de sortie sera conforme aux spécifications du constructeur.



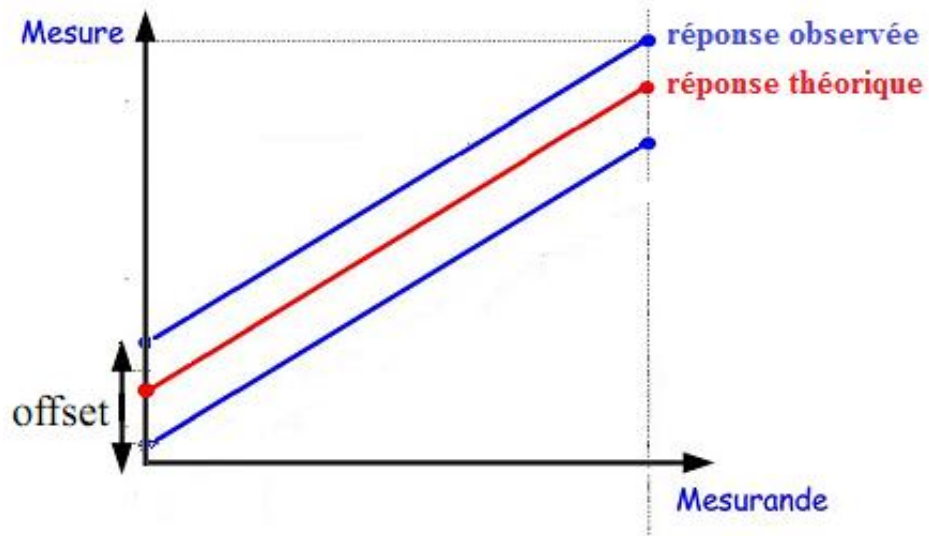
8. La dérive

C'est la variation lente de la grandeur de sortie indépendante de la valeur de la grandeur d'entrée.

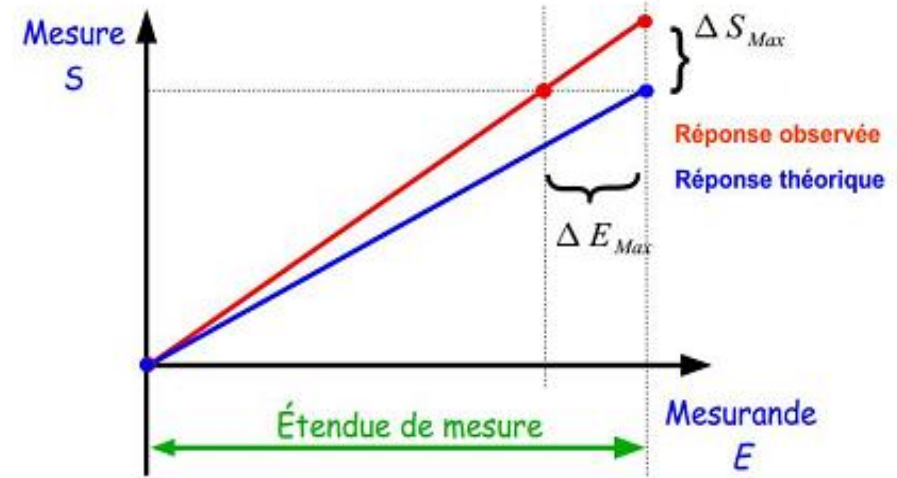
Exemple : soit un capteur linéaire caractérisé par sa fonction de sortie : $y_i = ax_i + b$.

Soit la pente **a** qui représente la sensibilité \longrightarrow la dérive de la **sensibilité**.

Soit **b** qui est l'ordonnée à l'origine \longrightarrow la dérive du **zéro (offset)**.



Dérive du zéro.



Dérive de sensibilité.

8. Hystérisis

Certains capteurs ne retournent pas la même valeur de sortie, pour une même valeur du mesurande, selon la façon où cette valeur est obtenue (cycle croissant ou décroissant).

on remarque qu'on a deux séries de mesure :

- * une série qui est obtenue lorsque la valeur du mesurande est croissante.
- * l'autre est obtenue lorsque la valeur du mesurande est décroissante.

On peut estimer l'erreur d'hystérésis de cette manière :
$$e_H = \max_{i=1}^n e_{Hi}$$

