

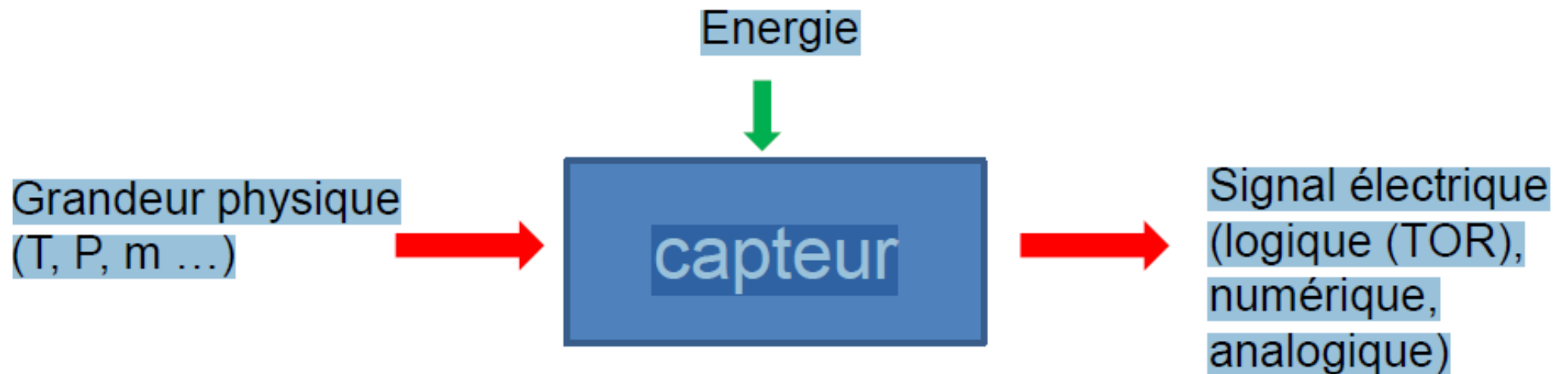


# Capteurs

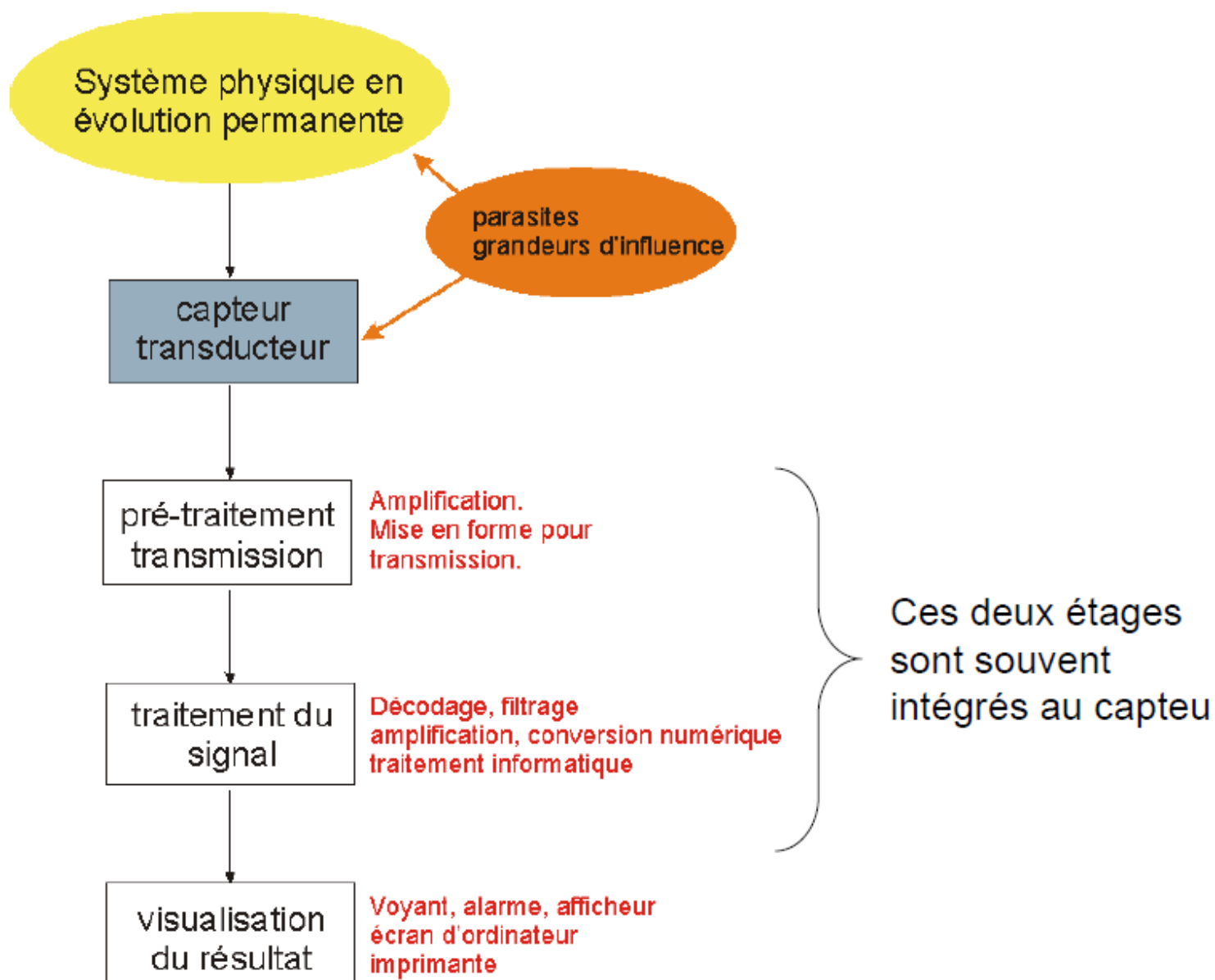
Dr. ELAMINE Hatem

## Qu'est ce qu'un capteur ?

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande.



# Le capteur dans la chaîne de mesure



# 1- Généralités :

## 1.1 Définition et caractéristiques

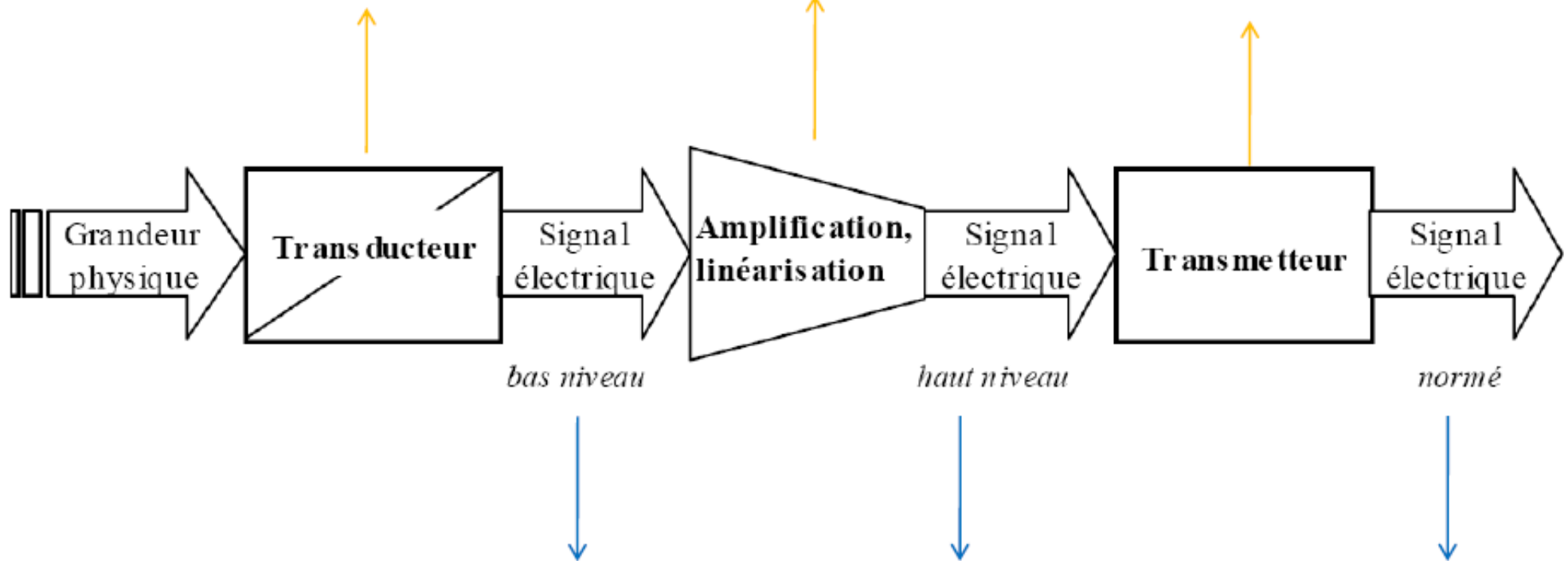
Un **capteur** est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité ou la déviation d'une aiguille. On fait souvent (à tort) la confusion entre capteur et transducteur : le capteur est au minimum constitué d'un transducteur. Le capteur se distingue de l'instrument de mesure par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique et une information manipulable. Par opposition, l'instrument de mesure est un appareil autonome se suffisant à lui-même, disposant d'un affichage ou d'un système de stockage des données. Le capteur, lui, en est dépourvu. Les capteurs sont les éléments de base des systèmes d'acquisition de données. Leur mise en œuvre est du domaine de l'instrumentation.

# Schéma de principe d'un capteur industriel

Exploite un effet physique de la modification des propriétés d'un corps

Traitement numérique par microprocesseur

Circuit électrique d'interface



Signal électrique de l'ordre du mV ou du  $\mu$ A

Signal électrique de l'ordre du V ou du mA

Signal électrique normé (+/- 10V, 0..20 mA, 4..20 mA) interprétable par le circuit de contrôle commande

## Quelles sont les caractéristiques d'un capteur ?

**Etendue de mesure** : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.

**Résolution** : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.

**Sensibilité** : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

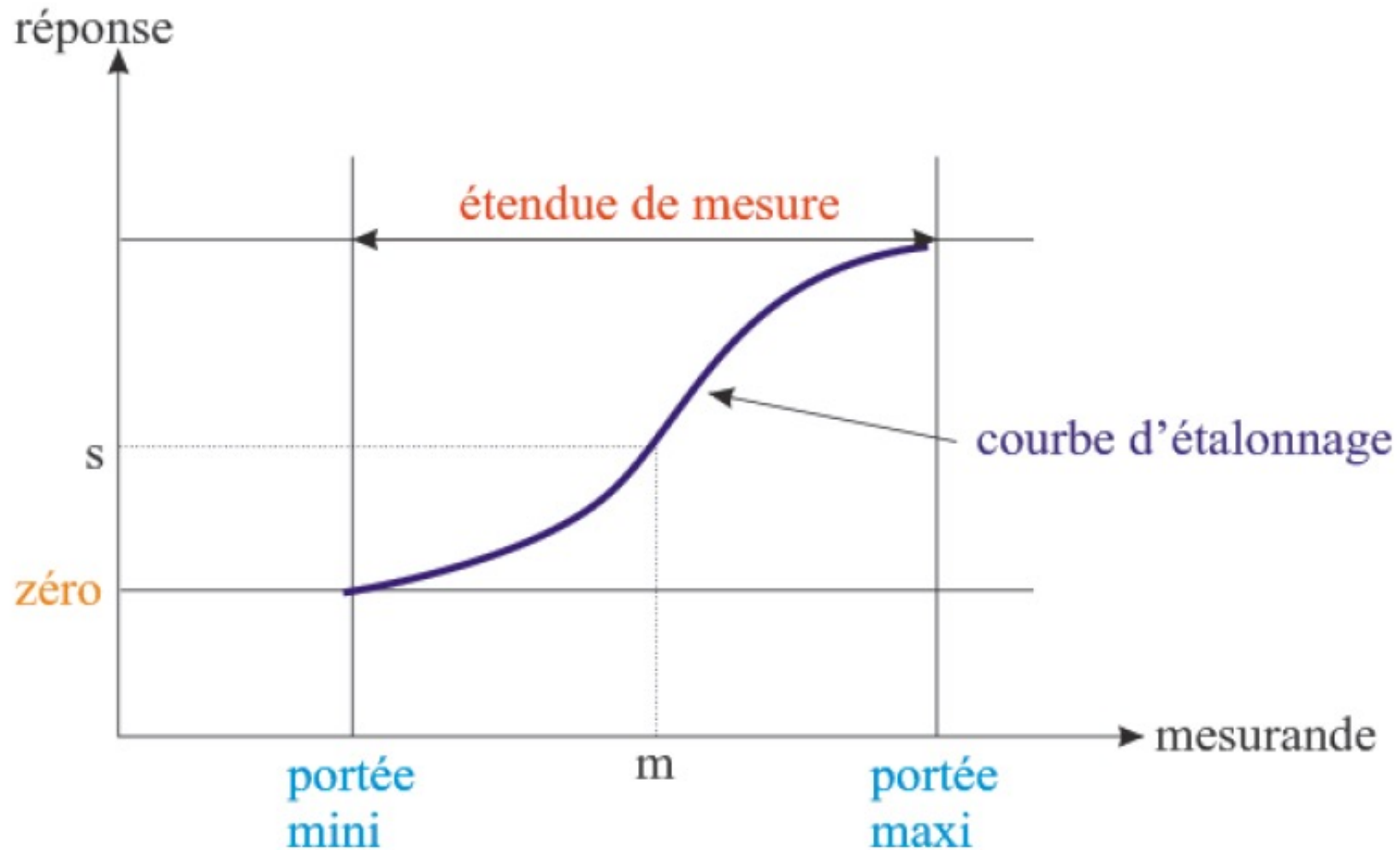
**Précision** : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.

**Rapidité** : Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.

**Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure

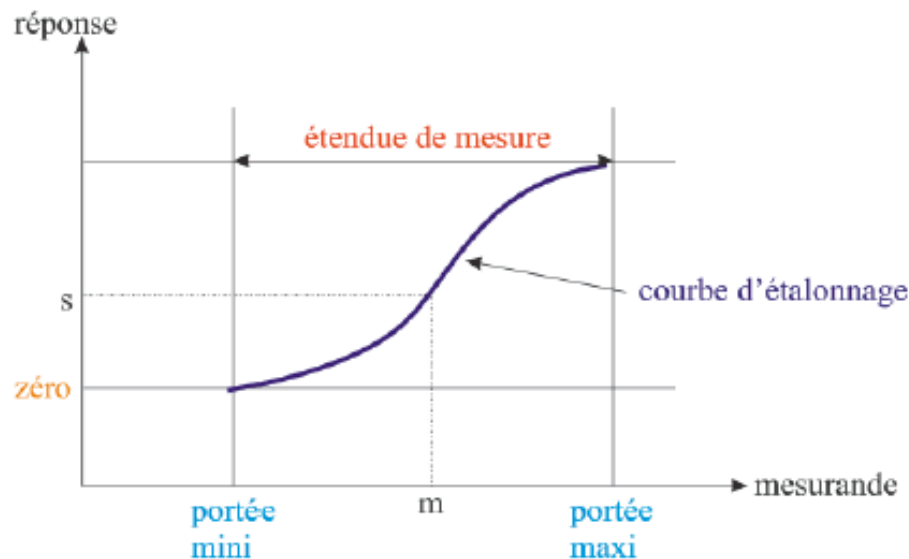
# Quelles sont les caractéristiques d'un capteur ?

Etendue de mesure et courbe d'étalonnage



# Quelles sont les caractéristiques d'un capteur ?

## Sensibilité $S$ du capteur



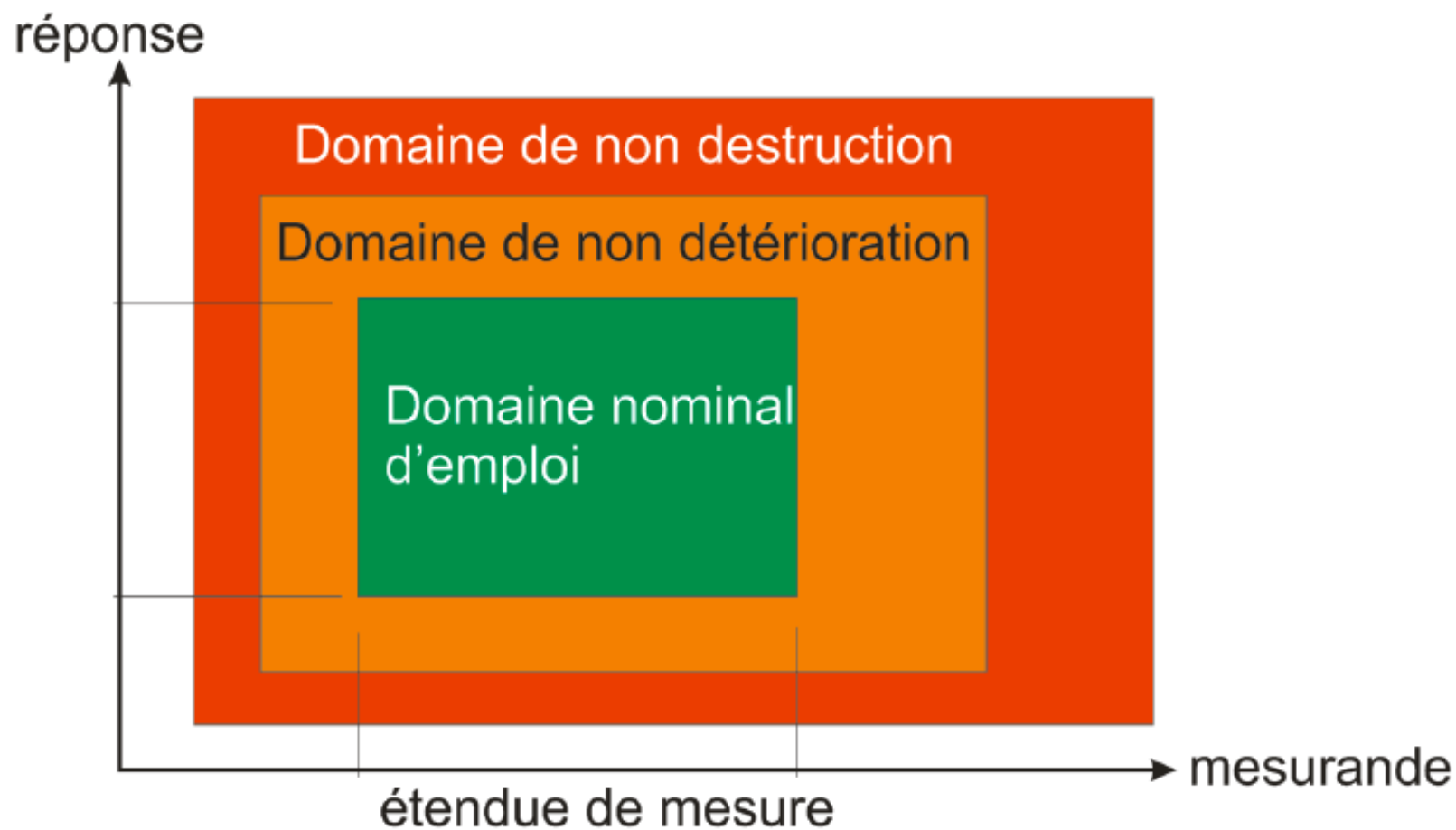
$$\Delta s = S \Delta m$$

Conception d'un capteur :  $S$  doit dépendre le moins possible de :

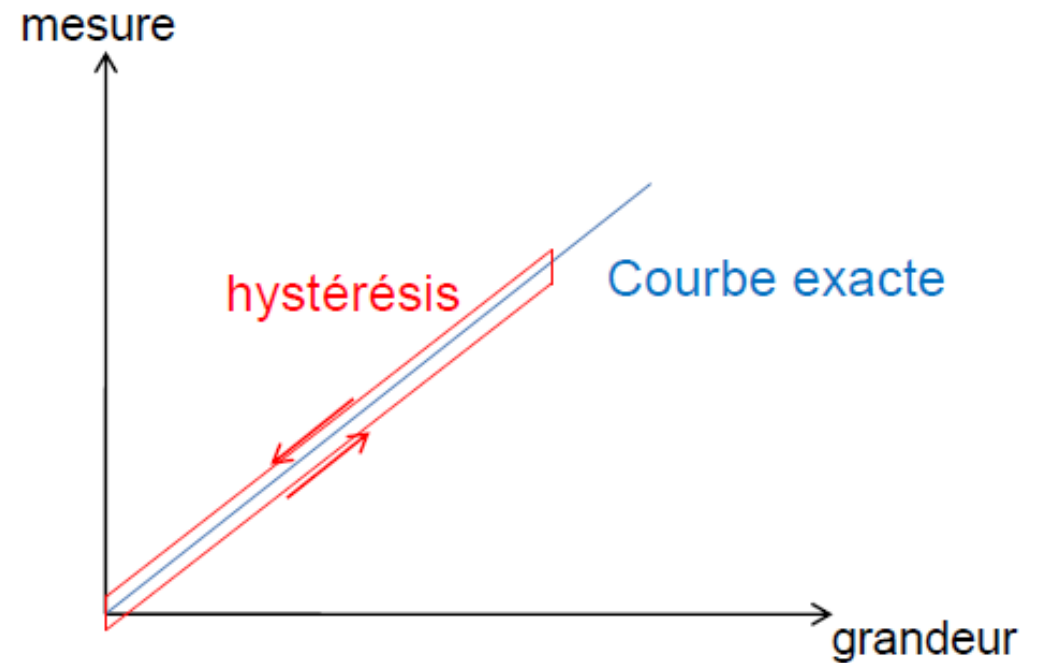
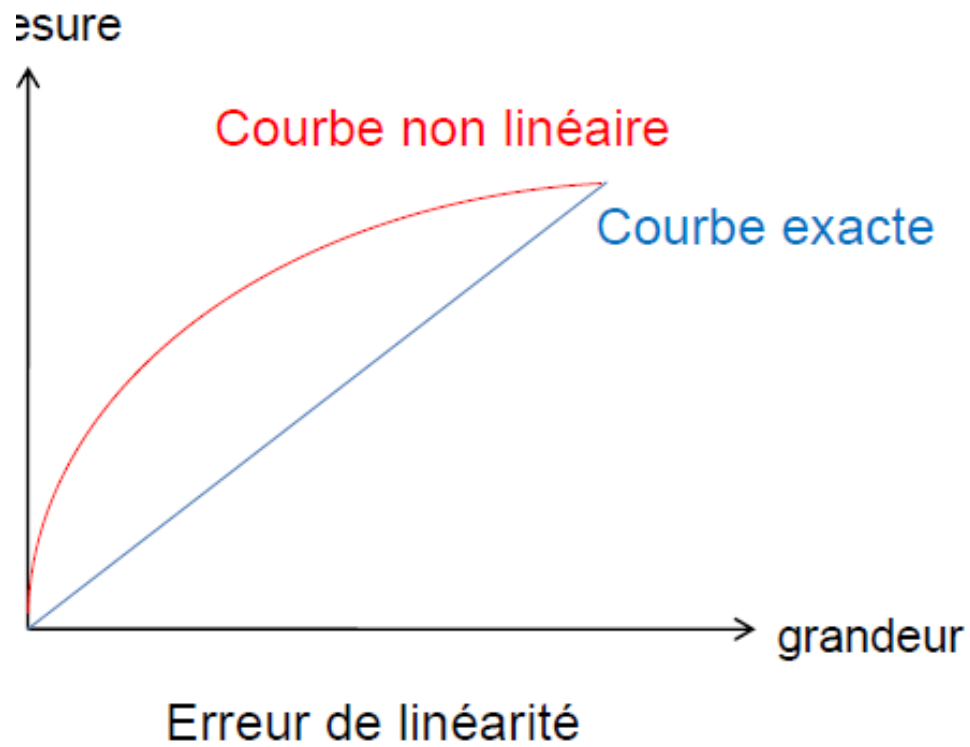
- La valeur de  $m$  (linéarité)
- la fréquence de variation (bande passante)
- du temps (vieillesse)
- d'actions extérieures (grandeurs d'influence)

# Quelles sont les caractéristiques d'un capteur ?

Domaines d'utilisation

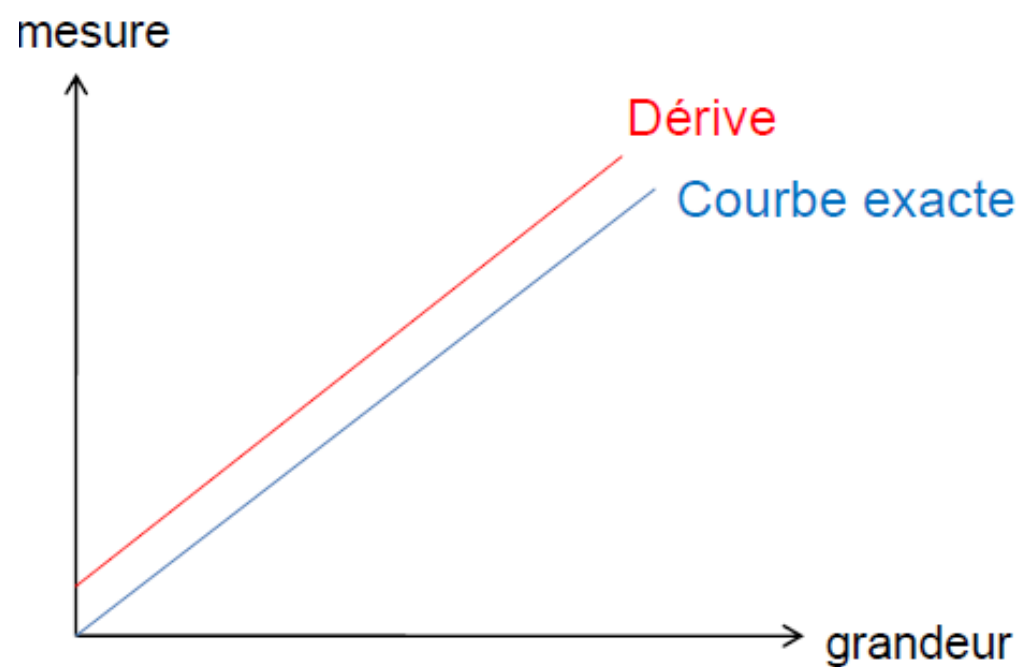


# Types d'erreur d'un capteur

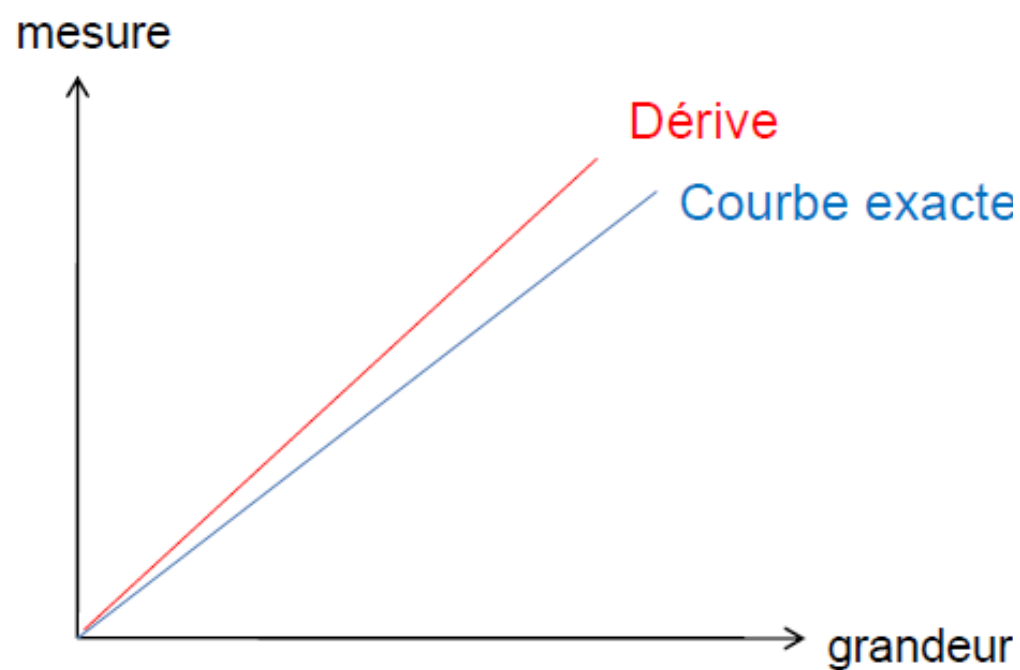


Erreur d'hystérésis : le résultat dépend de la mesure précédente

## Types d'erreur d'un capteur

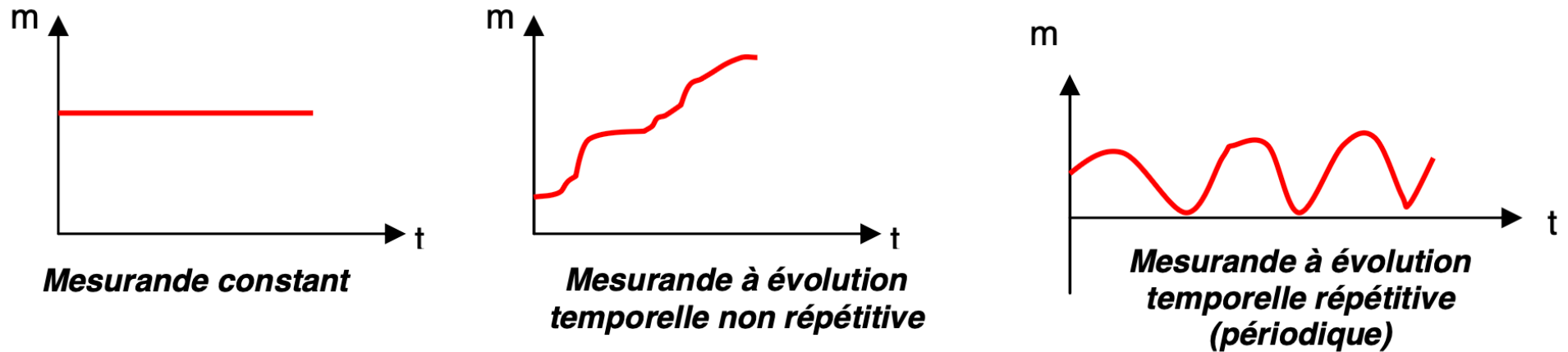


Erreur de zéro ou « offset »



Erreur d'échelle ou de gain

**Mesurande (m)** : c'est la grandeur physique en général non électrique que l'on veut mesurer (déplacement, température, pression,...). On peut distinguer plusieurs types de mesurandes :

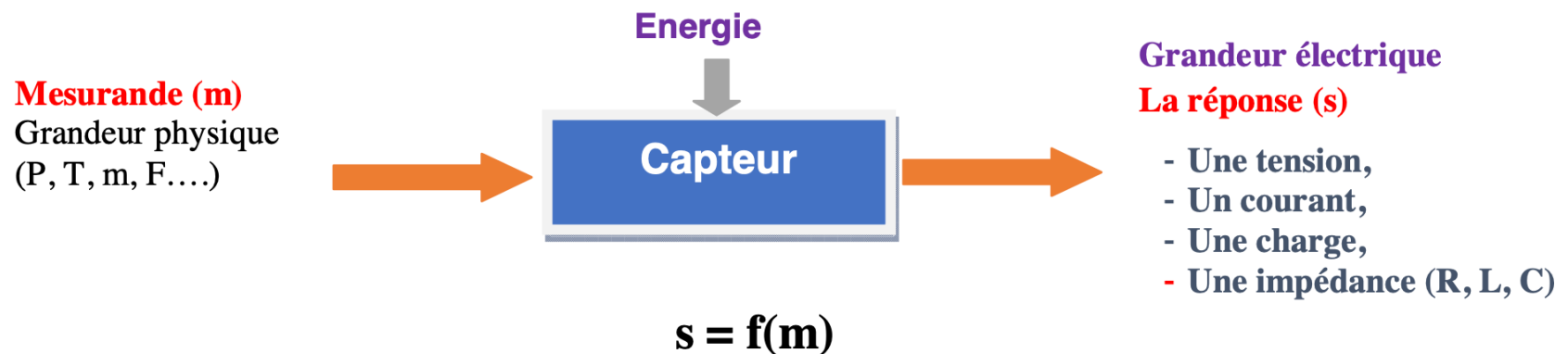


*Fig: Les types de mesurande*

**Types de grandeur physique (Mesurande) :** On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles :

- **Mécanique** : déplacement, force, masse, débit etc.
- **Thermique** : température, capacité thermique, flux thermique etc.
- **Electrique** : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc.
- **Magnétique** : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc.
- **Radiatif** : lumière visible, rayons X, etc.
- **(Bio) Chimique** : humidité, gaz, etc.

**Capteur :** Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique d'entrée, appelée mesurande (m), en une grandeur de nature électrique (en général) appelée réponse (s).



*Fig: Structure d'un capteur*

Toute valeur de  $s$  doit permettre de remonter à chaque instant à une seule valeur de  $m$  et inversement (Fig).

La relation  $s = f(m)$  résulte dans sa forme théorique :

- des lois physiques qui régissent le fonctionnement du capteur,
- dans son expression numérique de sa construction « géométrie, dimension »,
- des matériaux qui le constituent,
- les caractéristiques de son environnement et son mode d'emploi (température, alimentation...).

Pour tout capteur la relation  $s = f(m)$  sous sa 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 (Fig) ; cette dernière, à toute valeur mesurée de  $s$ , permet d'associer la valeur de  $m$  qui la détermine (Fig).

Pour des raisons de facilité d'exploitation on s'efforce de réaliser le capteur, ou du moins de l'utiliser, en sorte qu'il établisse une relation linéaire entre les variations  $\Delta S$  de la grandeur de sortie et celles  $\Delta m$  de la grandeur d'entrée :

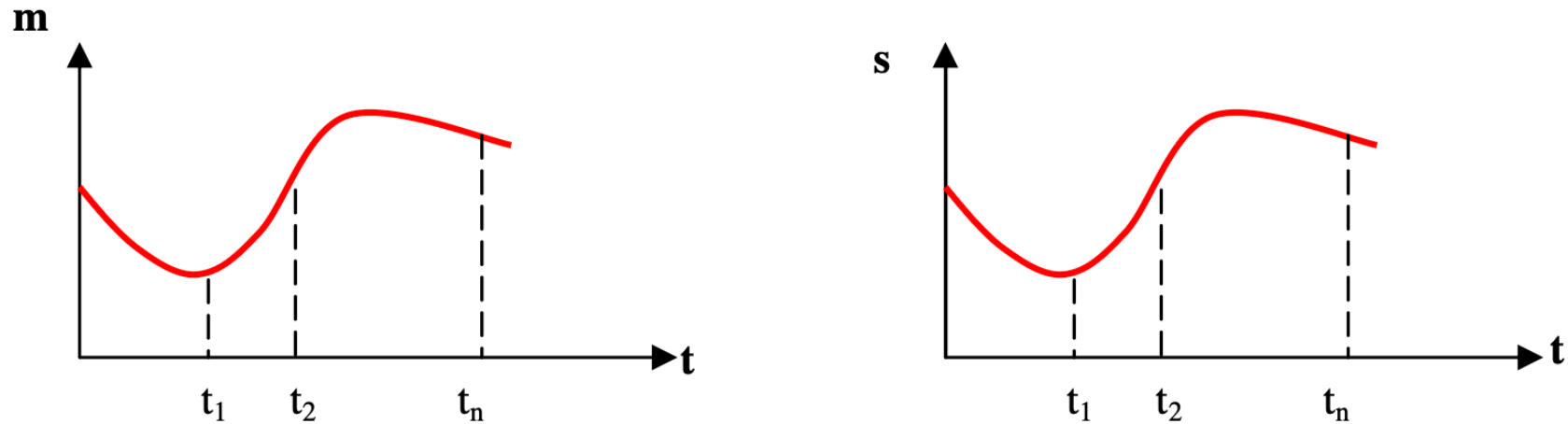
$$\Delta S = S \cdot \Delta m$$

$S$  est la sensibilité du capteur.

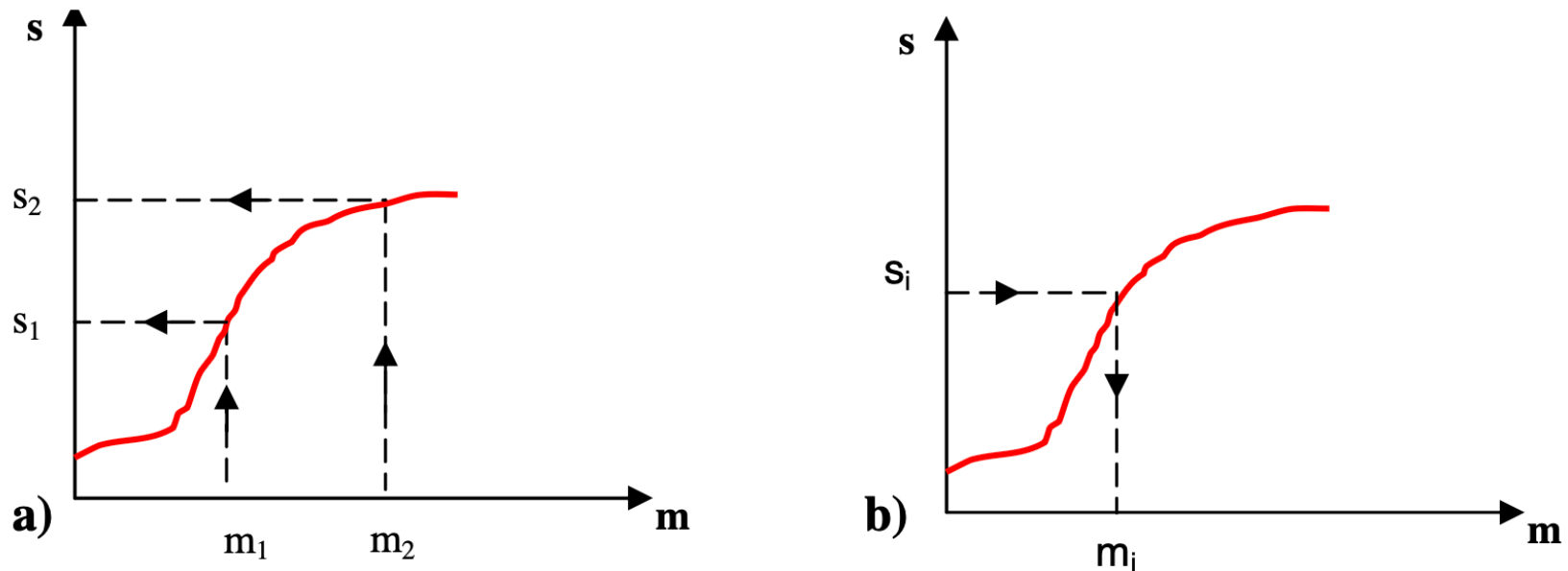
**N.B** : Un des problèmes importants dans la conception et l'utilisation d'un capteur est la constance de sa sensibilité  $S$  qui doit dépendre aussi peu que possible :

- 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'influence.



*Fig: Exemple d'évolution d'un mesurande  $m$  de la réponse  $s$  correspondante du capteur.*



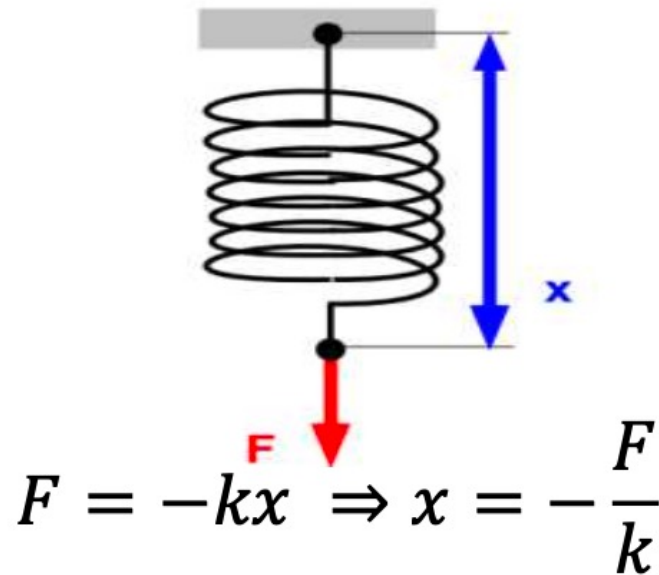
*Fig: Courbe d'étalonnage d'un capteur : a) son établissement à partir de valeurs connues du mesurande  $m$  ; b) son exploitation, à partir de valeurs mesurées de la réponse  $s$  du capteur.*

## *Exemple simple 1 : Mesure d'une force mécanique*

On utilise comme corps d'épreuve un élément élastique, respectant la loi linéaire (raideur constante) .

Le mesurande **force** est transformé en mesurande **déplacement**.

Le capteur de force utilise ainsi les technologies du capteur de déplacement.

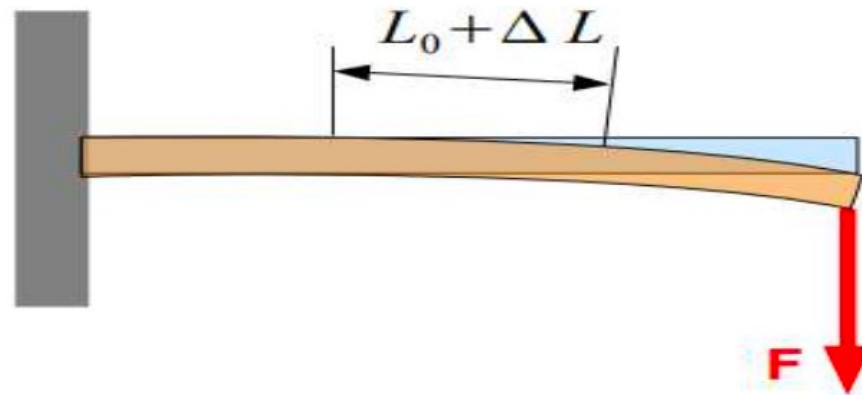


## *Exemple simple 2 : Mesure d'une force mécanique*

On utilise comme corps d'épreuve un élément élastique en flexion.

Le mesurande **force** est transformé en mesurande **élongation**.

Le capteur de force utilise ainsi les technologies des capteurs de d'élongation (jauges de contraintes)



## 1.2 Capteurs passifs et capteurs actifs.

### **Capteurs passifs:**

Ils ont besoin dans la plupart des cas d'apport d'énergie extérieure pour fonctionner (ex. : thermistance, photorésistance, potentiomètre, jauge d'extensométrie appelée aussi jauge de contrainte). Une variation du phénomène physique étudié (mesuré) engendre une variation de la sortie . Il faut leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie.

### **Capteurs actifs (ou capteurs directs)**

On parle de capteur actif lorsque le phénomène physique qui est utilisé pour la détermination du mesurande effectue directement la transformation en grandeur électrique. C'est la loi physique elle-même qui relie mesurande et grandeur électrique de sortie.

Un capteur actif fonctionne assez souvent en électromoteur et dans ce cas, la grandeur de sortie est une différence de potentiel.

Le nombre des lois physiques permettant une telle transformation est évidemment limité, on peut donc recenser facilement les capteurs actifs (dont le nombre est fini). Toutefois, les domaines d'application sont eux très étendus.

## Les capteurs actifs

Fonctionnant en **générateur**, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à mesurer (énergie thermique, mécanique ou de rayonnement)

**Effet thermoélectrique (ou effet Seebeck)** : 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 d'origine thermique  $e(T_1, T_2)$ .

**Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.

**Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).

## Les capteurs actifs

**Effet photo-électrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique

**Effet Hall** : Un champ magnétique  $B$  (aimant, angle  $\theta$ /surface du matériau) et un courant électrique  $I$  créent dans le matériau une différence de potentiel  $U_H = K_H B I \sin \theta$

**Effet pyroélectrique** : certains matériaux ont une polarisation spontanée en l'absence de champ électrique extérieur. Une variation de température induit une variation de cette polarisation et donc l'apparition de charges électriques à la surface du matériau

## Les capteurs passifs

Il s'agit généralement d'impédances (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.

La variation d'impédance résulte :

- d'une variation de dimension du capteur (capteurs de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile)
- d'une déformation résultant d'une force ou d'une grandeur s'y ramenant (pression, accélération). Exemples : armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable

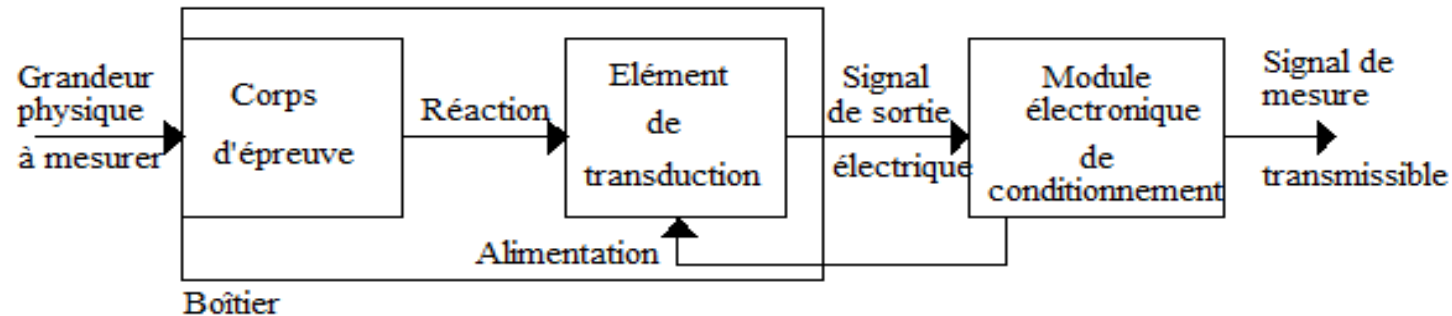
## Les capteurs passifs

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique sensible	Types de matériaux utilisés
Température	Résistivité électrique	Platine, Nickel, cuivre ...
Rayonnement optique	Résistivité électrique	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité électrique	Alliage de Ni, Si dopé
	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position	Résistivité électrique	Matériaux magnétorésistants (Bismuth, antimoine d'indium)
Humidité	Résistivité électrique	Chlorure de lithium

# Corps d'épreuve



## Constitution d'un capteur



- **Corps d'épreuve** : élément mécanique qui réagit sélectivement à la grandeur à mesurer (appelée aussi mesurande).

But : transformer la grandeur à mesurer en une autre grandeur physique dite mesurable.

- **Elément de transduction** : élément sensible lié au corps d'épreuve. Il traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie.

- **Boîtier** : élément mécanique de protection, de maintien et de fixation du capteur.

- **Module électronique de fonctionnement** : il a, selon les cas, les fonctions suivantes :

- alimentation électrique du capteur (si nécessaire)
- mise en forme et amplification du signal de sortie
- filtrage, amplification
- conversion du signal (CAN,...)

# Grandeurs d'influence

Grandeur physique autre que le mesurande dont la variation peut modifier la réponse du capteur :

- **Température** : modifications des caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles
- **Pression, vibrations** : déformations et contraintes pouvant altérer la réponse
- **Humidité** : modification des propriétés électriques (constante diélectrique ou résistivité). Dégradation de l'isolation électrique
- **Champs magnétiques** : création de fém d'induction pour les champs variables ou modifications électriques (résistivité) pour les champs statiques
- **Tension d'alimentation** : lorsque la grandeur de sortie du capteur dépend de celle-ci directement (amplitude ou fréquence)

Nécessité de :

- **Réduire** les grandeurs d'influence (tables anti-vibration, blindages magnétiques...)
- **Stabiliser** les grandeurs d'influence à des valeurs parfaitement connues
- **Compenser** l'influence des grandeurs parasites par des montages adaptés (pont de Wheastone)

Le choix d'un capteur approprié s'effectue en vérifiant que ses caractéristiques métrologiques sont compatibles avec les conditions imposées par le cahier des charges. Ces conditions sont de deux types :

- conditions sur la mesurande
- conditions sur l'environnement de mesure.

**Exemple de conditions à prendre en compte :**



<b>MESURANDE</b> Conditions imposées	<b>CAPTEUR</b> Caractéristiques métrologiques
Plage de variation	Etendue de mesure
Variation minimale à mesurer	Résolution
Spectre de fréquence ou vitesse de rotation	Bande passante
Précision de mesure	Erreur de linéarité Erreur d'hystérésis
Plage de température de fonctionnement	Dérive thermique du zéro Tenue en température
Localisation	Encombrement
Composition de l'atmosphère	Inertie chimique Protection
Parasites	Blindage Isolement ou non par rapport à la masse