

Capteurs en Instrumentation Industrielle

Pr. LASSIOUI Abdellah

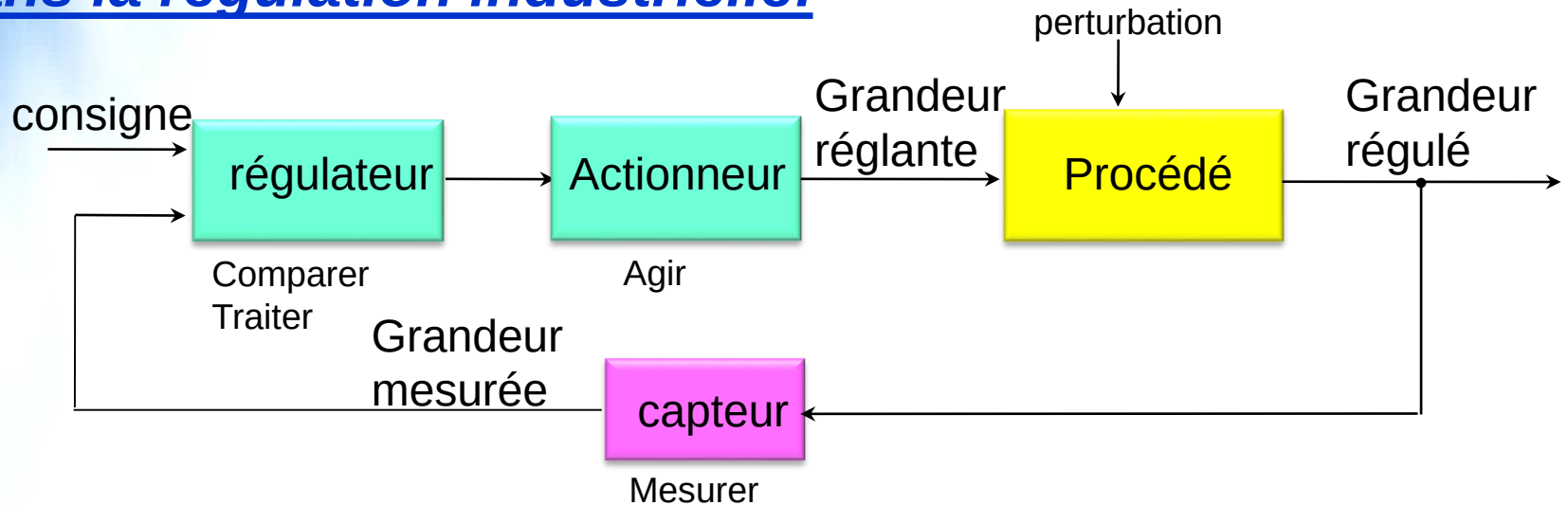
Ch.1: Introduction à l'étude des capteurs en instrumentation industrielle

1. Définition de l'instrumentation:

- **l'instrumentation** est une technique de mise en œuvre d'instruments de mesure, d'actionneurs, de capteurs, de régulateurs, en vue de créer un système d'acquisition de données ou de commande.

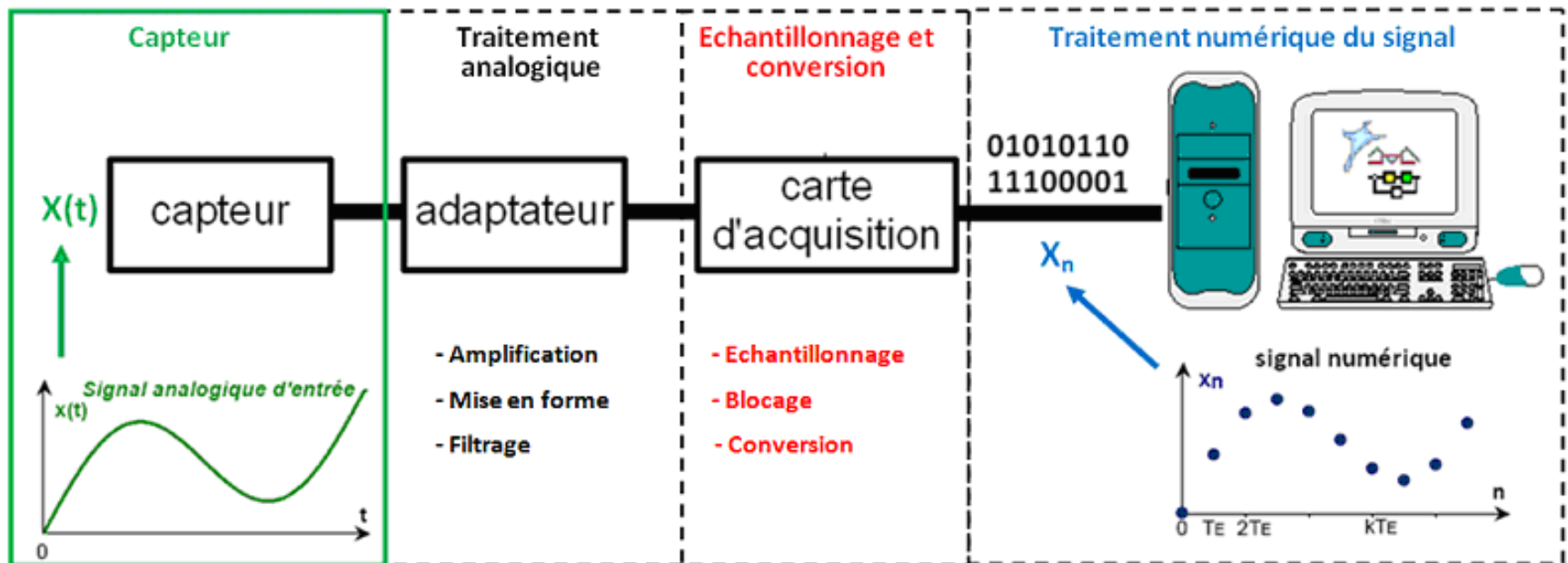
2. Domaines d'application de l'instrumentation

Dans la régulation industrielle:

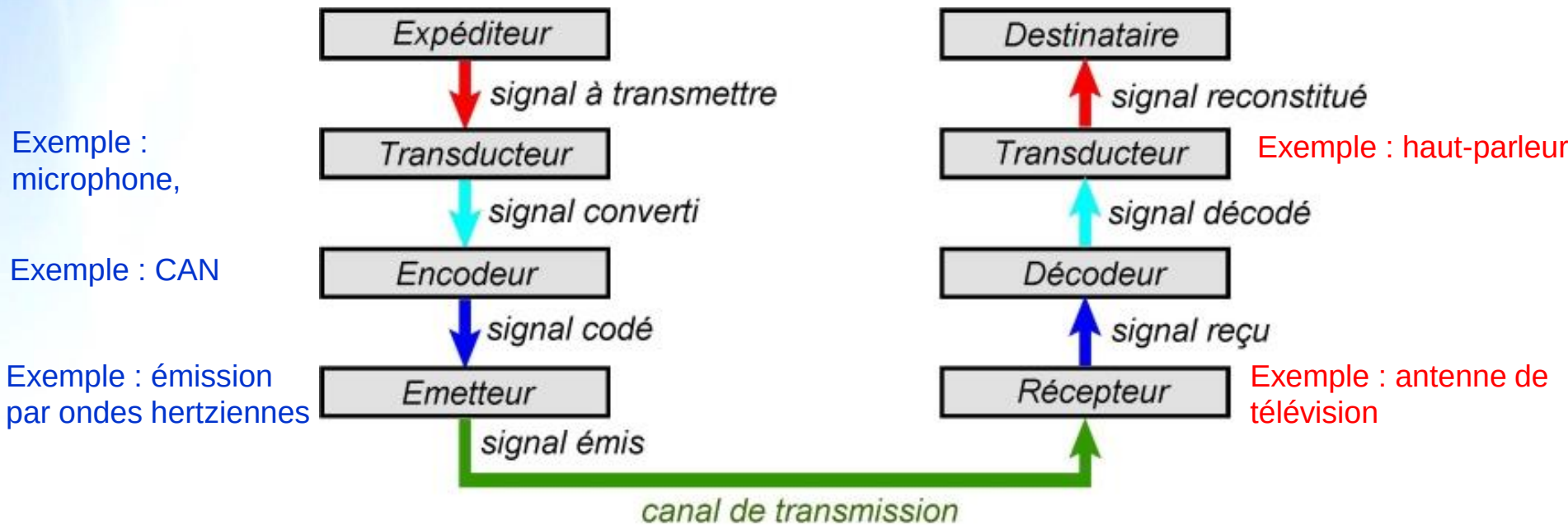


- Régulation de niveau:
- Régulation de pression, régulation de débit,
- Régulation de température,
- Asservissement de position et de vitesse
- ...

Dans l'acquisition numérique du signal:



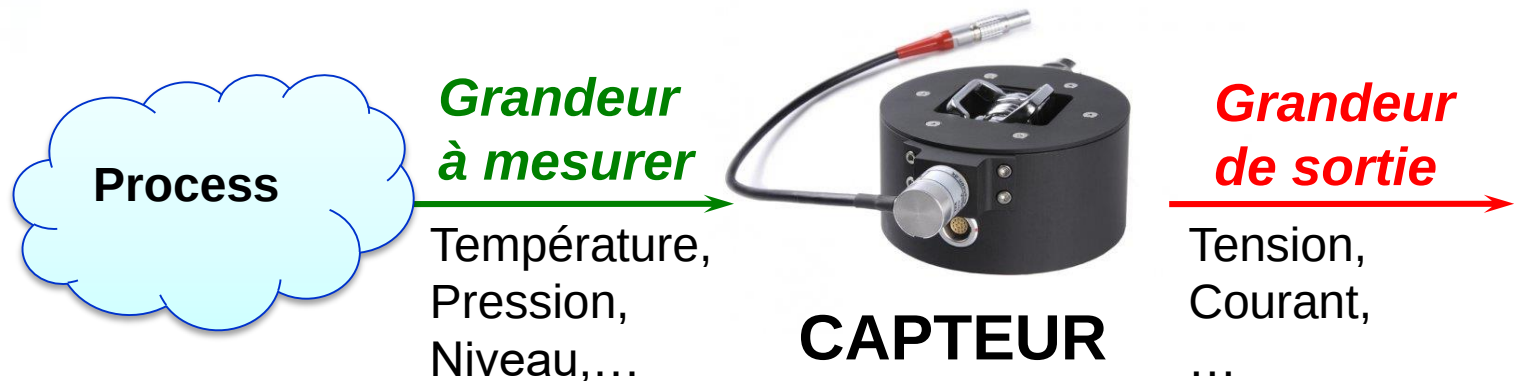
Dans la transmission analogique ou
numérique de l'information:



3. Définition et terminologie:

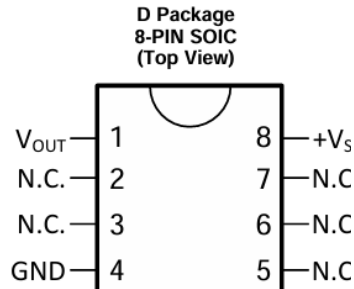
3.1. Définition:

- *Un capteur*: est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique).
- Cette grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.



3.2. Nature des signaux mesurés:

- Selon le type de capteur, le signal électrique de mesure peut être de différentes natures:
 - **Signal de mesure analogique**: il est lié au mesurande par une loi continue, parfois linéaire:
 - ▶ Courant: 0-20mA, 4-20mA
 - ▶ Tension 0-10V, 0-5V
 - **Signal de mesure numérique**: 2 modes: mode parallèle ou mode série.
 - **Signal de mesure logique**: il ne comporte que deux valeurs possibles, c'est un tout ou rien.

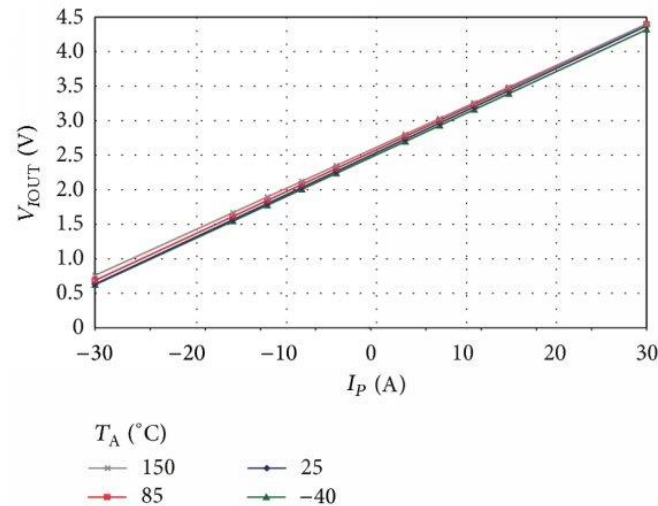


NEB Package
3-Pin TO-220
(Top View)

LM
35DT

1 2 3

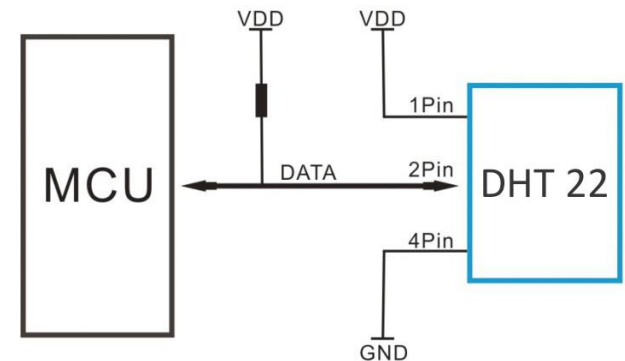
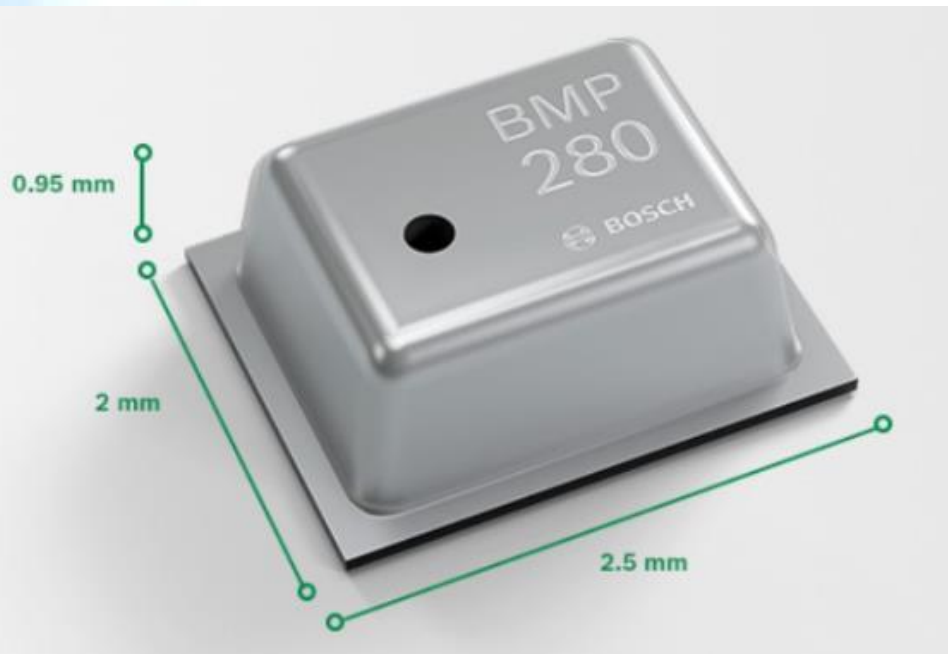
+V_S GND V_{OUT}



3.2. Nature des signaux mesurés:

Digital-output relative humidity & temperature
sensor/module: **Signal de sortie de type numérique I2C**

Capteur de pression BMP280
I2C ou SPI

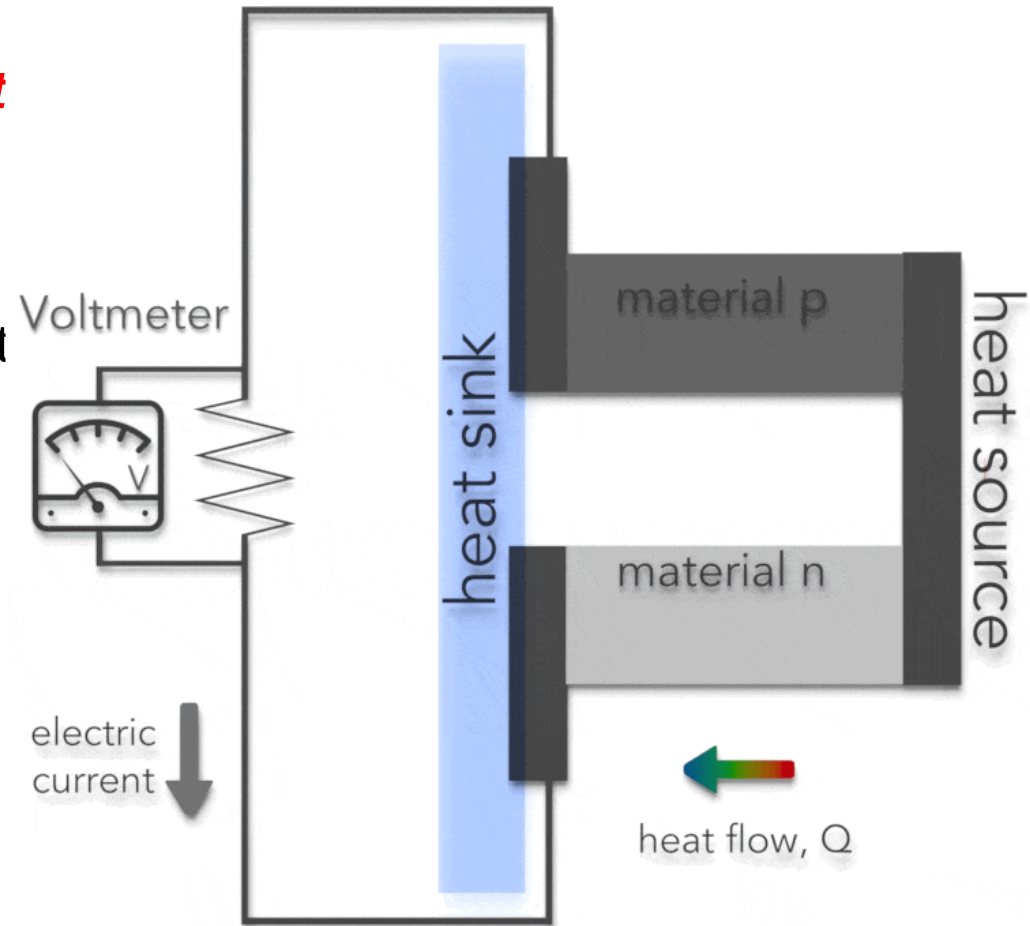


3.3. Capteur actif

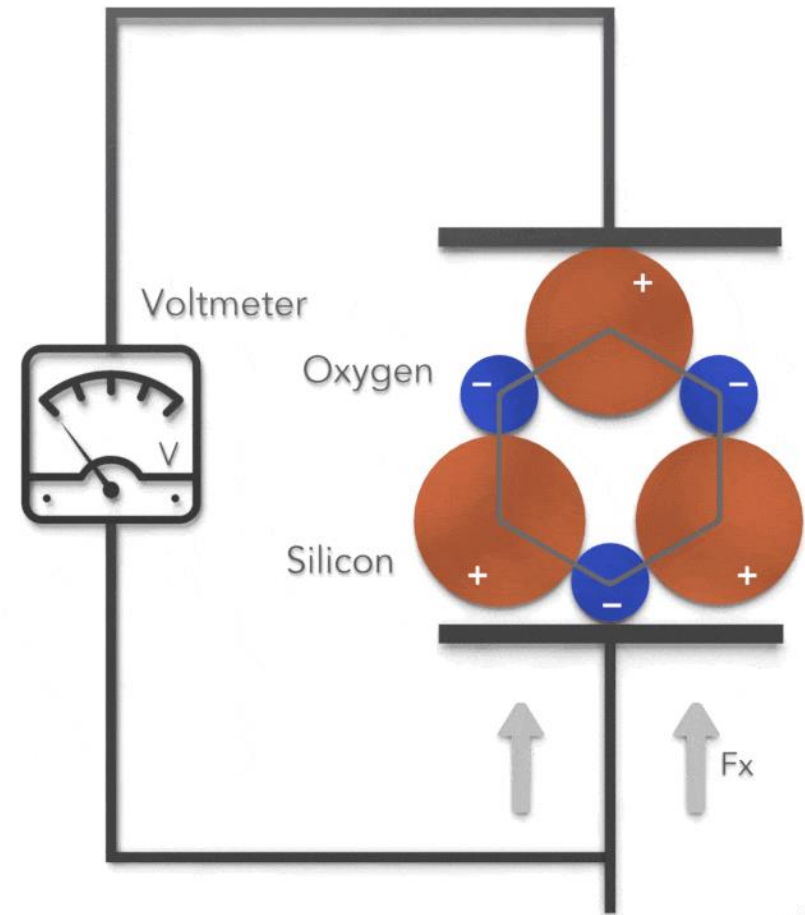
- Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé sur *un effet physique* qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur à prélever, *énergie thermique, mécanique ou de rayonnement*.
- Les plus classiques sont:
 - *Effet thermoélectrique*: deux conducteurs de natures chimique différentes. Ils sont reliés l'un à l'autre en deux points. Si cette jonction est exposée à une source de chaleur, une tension est générée en raison de l'effet thermoélectrique qui reflète le changement de température.

3.3. Capteur actif

- **Effet thermoélectrique:** Effet thermoélectrique: deux conducteurs de natures chimique différentes. Ils sont reliés l'un à l'autre en deux points. Si cette jonction est exposée à une source de chaleur, une tension est générée en raison de l'effet thermoélectrique qui reflète le changement de température.

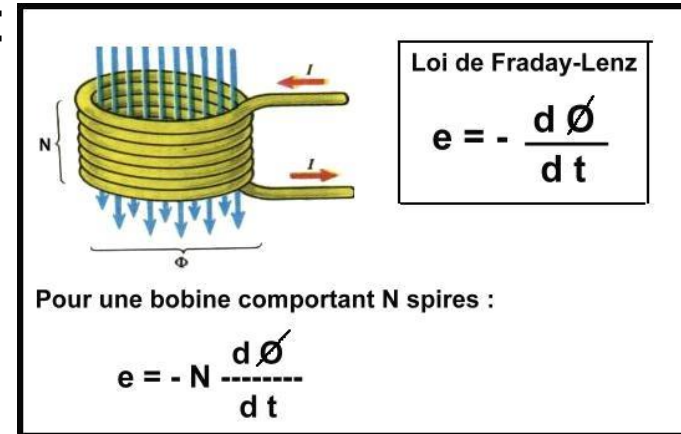
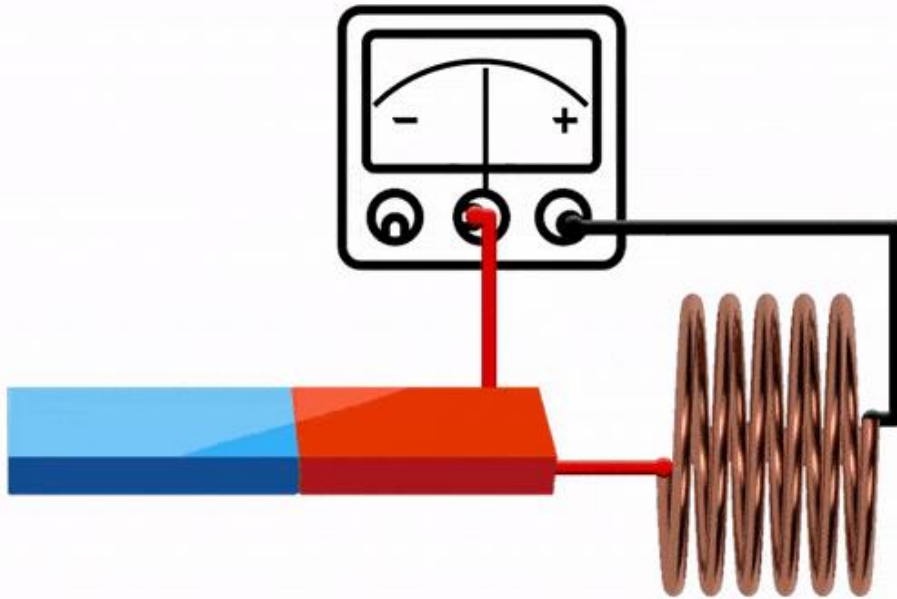


- **Effet piézo-électrique:** L'effet piézoélectrique est la propriété que possèdent certains matériaux de se polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique et réciproquement de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique.

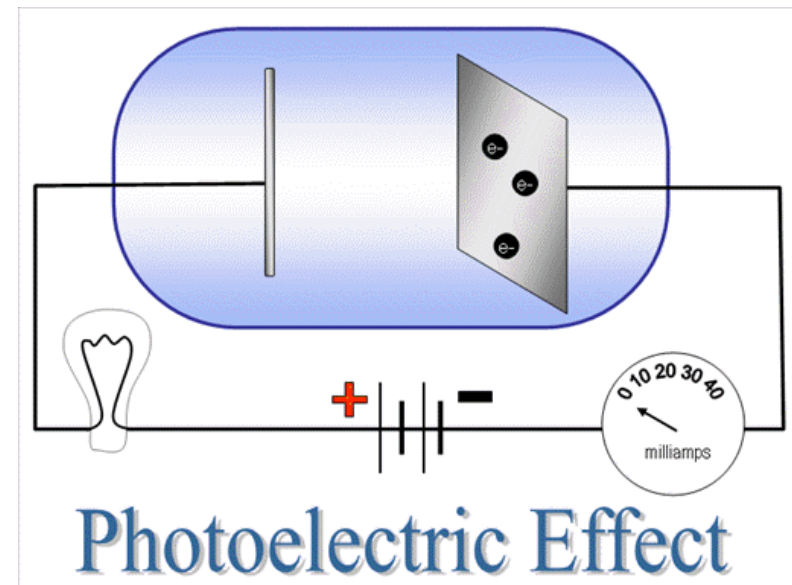
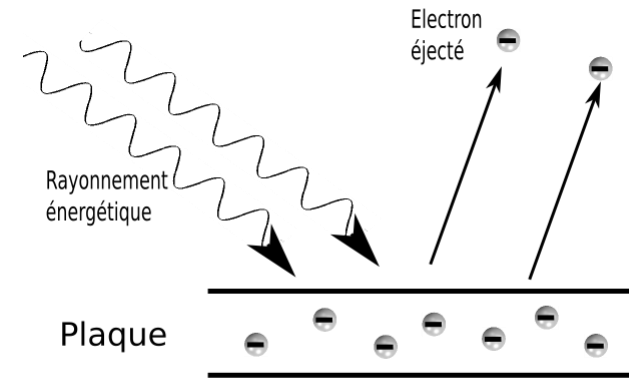


● **Effet d'induction électromagnétique:**

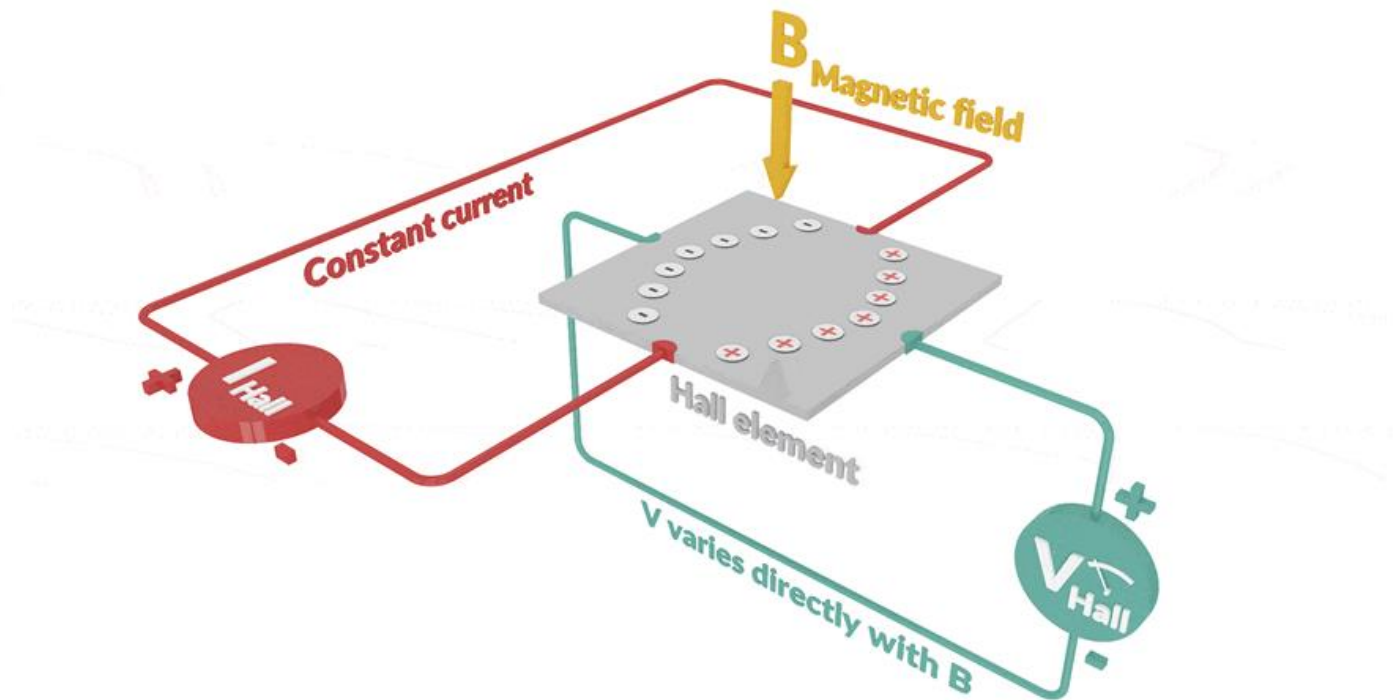
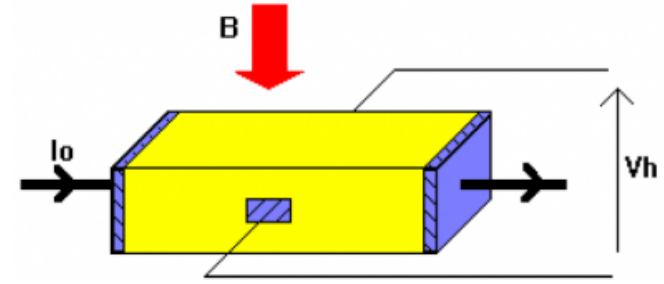
la variation du flux d'induction
magnétique dans un circuit électrique
induit une tension électrique



- **Effet photo-électrique**: la libération de charge électriques dans la matière sous l'influence d'un **rayonnement lumineux** ou plus généralement d'une onde électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à un seuil caractéristique du matériau .



- **Effet Hall**: Un champs B crée dans le matériau un champ électrique E dans une direction perpendiculaire.

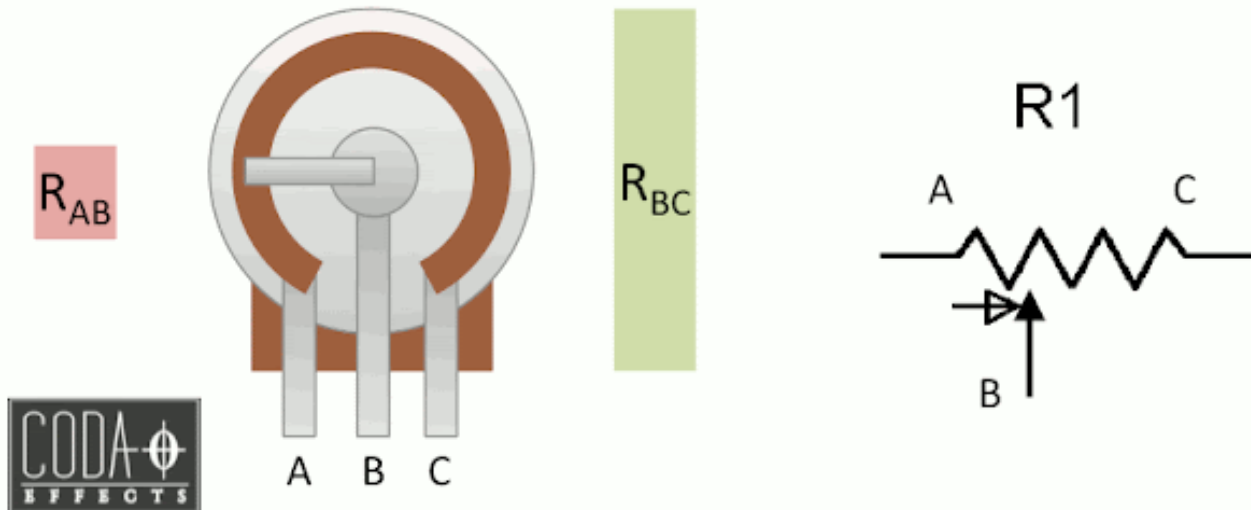


3.4. Capteur passif

- Il s'agit d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.
- La variation d'impédance résulte :
 - *Soit d'une variation de dimension de capteur*, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position (potentiomètre, inductance à noyau mobile, condensateur à armature mobile).

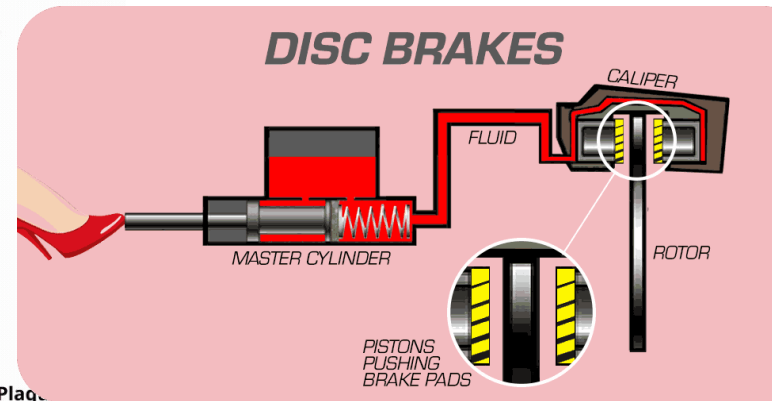
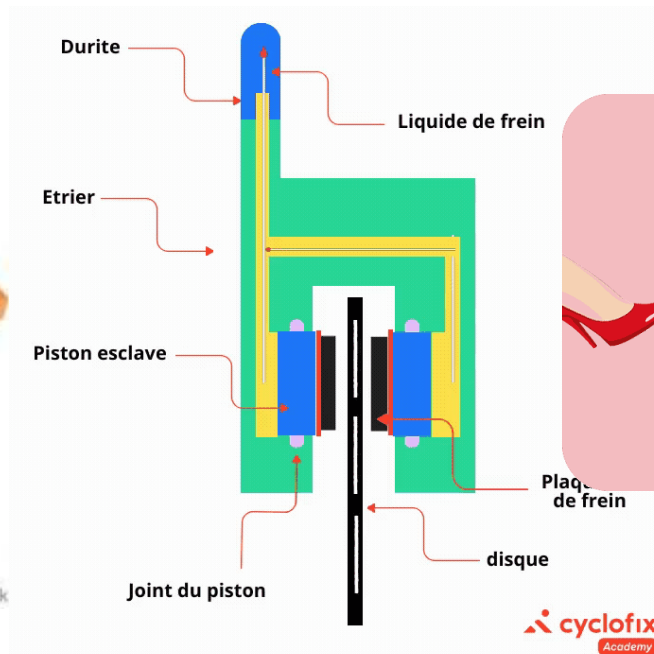
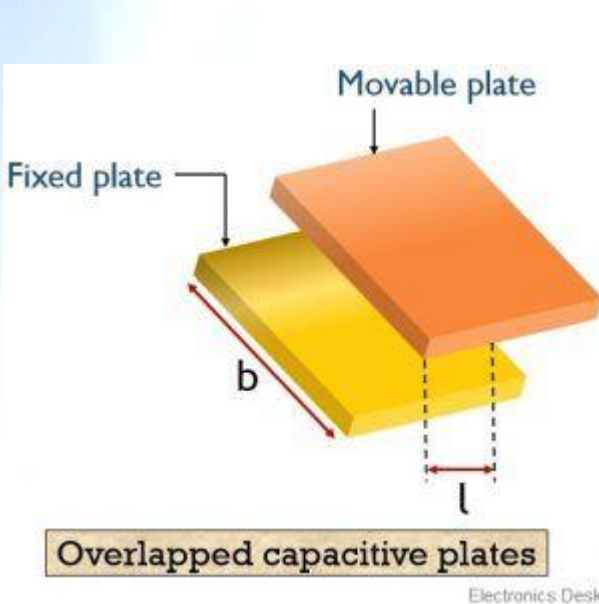
3.4. Capteur passif

- Il s'agit d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.
- Résistance variable (pédale d'accélération)



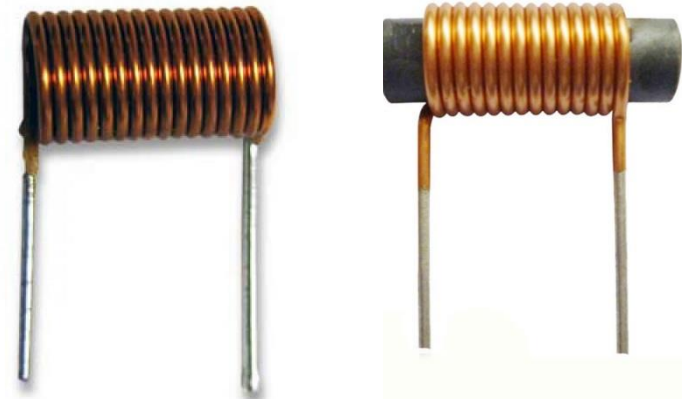
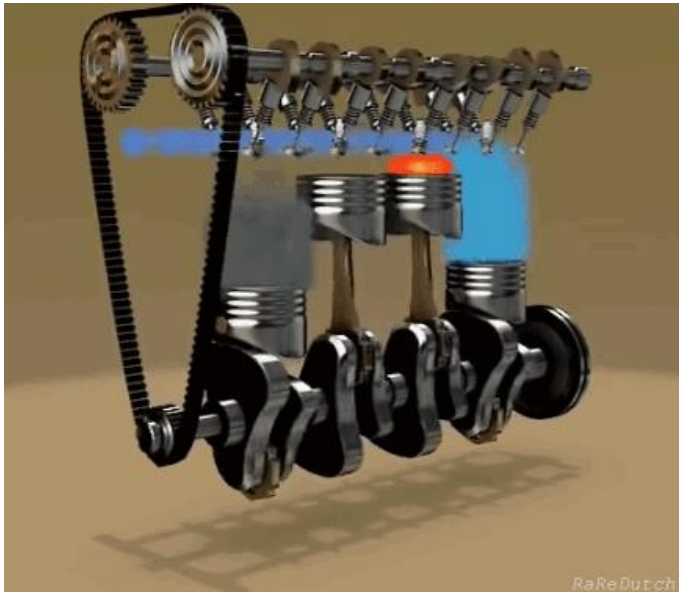
3.4. Capteur passif

- Il s'agit d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.
- Variation de la capacité: (plaquette des freins)



3.4. Capteur passif

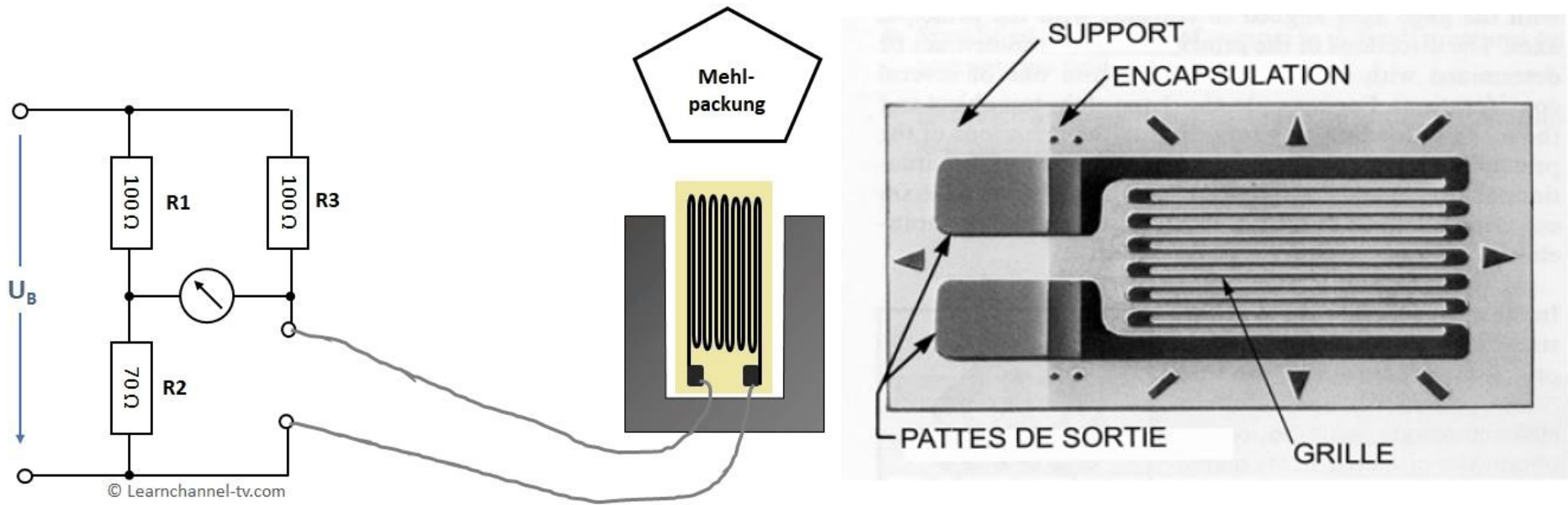
- Il s'agit d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.
- Variation de l'inductance: (utilisation dans les capteurs de vilebrequin)



3.4. Capteur passif

- Il s'agit d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.
- La variation d'impédance résulte :
 - *Soit d'une variation de dimension de capteur*, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position (potentiomètre, inductance à noyau mobile, condensateur à armature mobile).
 - *Soit d'une déformation résultant de force* ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensométrie liée à une structure déformable).

Exemple de jauge d'extensométrie ou jauge de contrainte



5. Les caractéristiques générales des capteurs

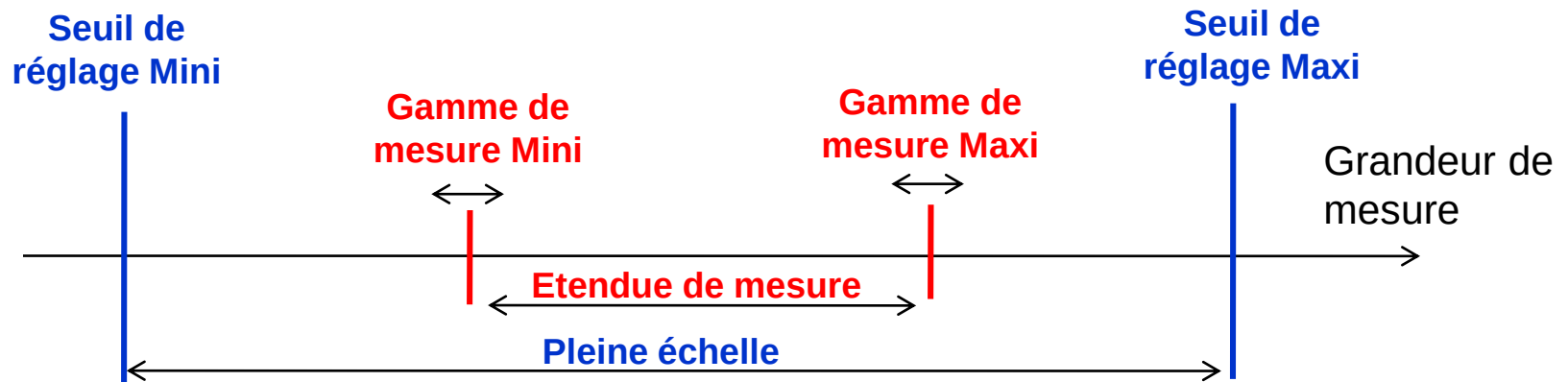
- Les caractéristiques usuelles permettant de spécifier un capteur sont:
 - Limite d'utilisation,
 - Étendue de mesure,
 - Sensibilité,
 - Linéarité,
 - Précision,
 - Hystérésis,
 - Finesse,
 - Temps de réponse.

5.1. Les limites d'utilisation:

- Les limites d'utilisation définissent les limites extrêmes (**inférieure et supérieure**) de la grandeur physique que l'on peut reproduire **sans détériorer ou modifier** les caractéristiques métrologiques du capteur.
- C'est une caractéristique **nominale** fournie par le fabricant du capteur.
- La gamme de mesure de la chaîne de mesure ne doit jamais excéder les limites d'utilisation du capteur.

5.2. L'étendue de mesure:

- En anglais « **span** », c'est la **différence** algébrique entre les valeurs extrêmes (**minimale et maximale**) pouvant être mesuré par la chaîne de mesure.
- L'étendue de mesure doit être obtenue à **l'intérieur** des limites d'utilisation du capteur.
- Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée **pleine échelle** (**Full scale**)



a) Erreurs absolue:

- L'erreur absolue est la valeur de l'erreur directement liée à la mesure.
- Par exemple, si le capteur a une valeur nominale de **100Ω**, et que l'on spécifie une incertitude de **0,2Ω**, on notera l'erreur absolue:
±0,2Ω

b) Erreurs relative:

- L'erreur relative est le rapport entre l'erreur absolue sur le résultat de la mesure. Pour le capteur précédent nous avons une erreur relative de

$$\frac{0.2\Omega}{100\Omega} \times 100 = 0.2\%$$

c) Erreur systématique:

- L'erreur systématique pour une valeur donnée, exprime l'écart entre la valeur mesurée et la valeur recherchée (valeur nominale) en **pourcentage par rapport à l'étendue de mesure**.
- Par exemple, pour une chaîne de mesure dont l'étendue de mesure est de **200°C**, on mesure, dans des conditions données, une température de **+50.2°C** comparée à une valeur nominale ou de référence de **+50°C**. L'erreur systématique (souvent appelée **l'erreur de précision d'échelle**) est donc de:

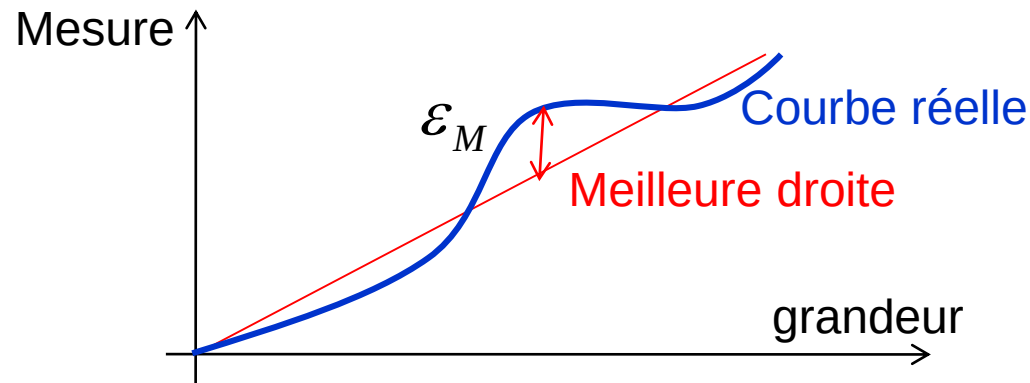
$$\frac{0.2}{200} \times 100 = 0.1\%$$

5.4. La sensibilité:

- Cette caractéristique traduit le rapport entre la variation du signal de sortie et la variation du signal d'entrée pour une plage d'utilisation donnée. **Exemples:**
 - Mesure de température: **10mV/°C**;
 - Mesure de débit: **1mA/Litre/sec**;
 - Mesure de vitesse: **1000 tr/min**

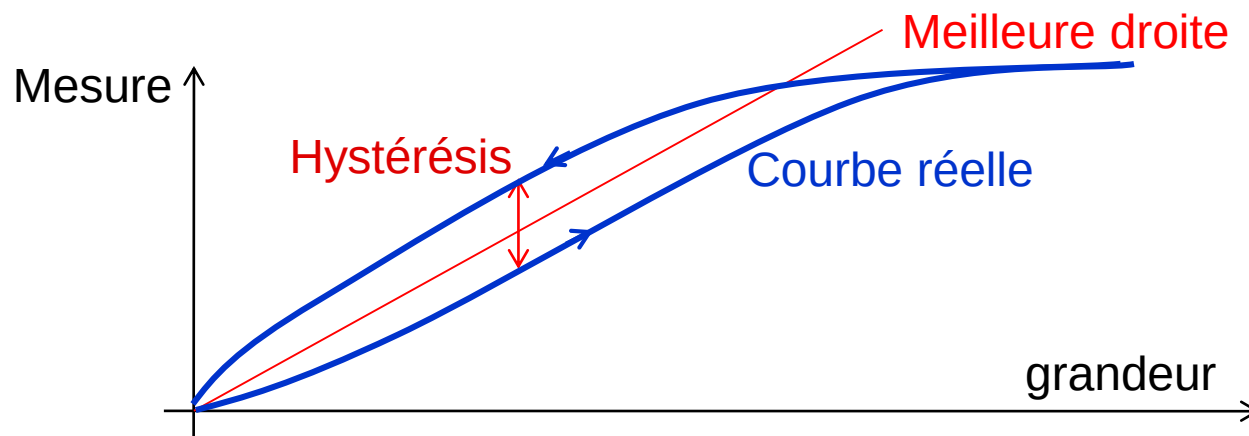
5.6. La linéarité

- L'erreur de linéarité spécifie le **plus grand écart** entre la courbe réelle et une ligne droite (appelée « meilleure droite »).
- L'écart de linéarité s'exprime en % de l'étendue de mesure.



5.8. Hystérésis ou réversibilité

- L'hystérésis caractérise l'aptitude du capteur à fournir la même indication lorsqu'on atteint une même valeur du mesurande **soit par variation croissante ou décroissante**.
- L'hystérésis est la différence maximale entre les deux grandeurs de sortie obtenues pour un même mesurande.
- L'hystérésis est souvent donnée **en %** de l'étendue de mesure.



5.9. La finesse:

- Qualité exprimant l'aptitude d'un capteur à donner la valeur de la grandeur à mesurer sans modifier celle-ci par sa présence.

5.10. Temps de réponse

- Le temps de réponse ($t_r(5\%)$) est la durée qui s'écoule après une variation brusque du mesurande jusqu'à ce que la variation de la sortie du capteur ne diffère plus que de 5 % de la valeur finale.

