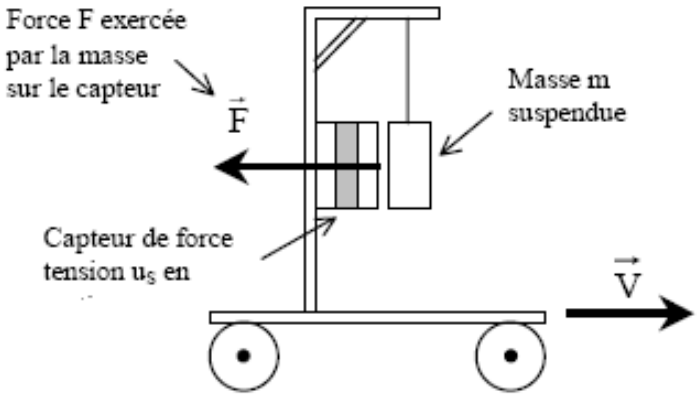
Capteurs à effet piézoélectrique (5)

Dépt. MIME

- Capteur d'accélération
  - L'augmentation de vitesse **V** du véhicule donne une accélération **a** qui induit une force **F** exercée par la masse sur le capteur.
  - On a donc : F = m.a mais $u_S = k.F$ donc $u_S = k.m.a$



Capteurs à effet piézoélectrique (6)

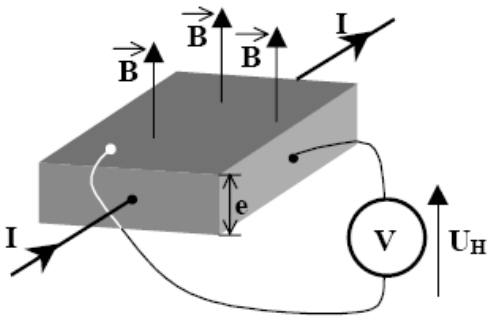
Dépt. MIME

- Récepteur à ultrason
  - La réception d'un son engendre une variation de pression à la surface du récepteur.
  - Un capteur de pression sur cette surface donnera donc une tension image du signal ultrasonore.

Capteurs à effet Hall (1)

Dépt. MIME

- Effet Hall
  - Un barreau de semi-conducteur soumis à un champ magnétique uniforme B et traversé par un courant I, est le siège d'une force électromotrice U_H sur deux de ses faces.

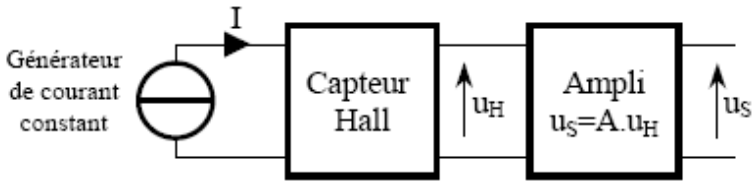


  - La tension de Hall U_H est définie par la relation ci-dessous :
  - $U_H = R_H(I.B/e)$ avec
    - R_H : constante de Hall (dépend du semi-conducteur)
    - I : intensité de la source de courant (A)
    - B : intensité du champ magnétique (en Tesla : T)
    - e : épaisseur du barreau de silicium
  - Si on maintient le **courant I constant**, on a donc une tension U_H **proportionnelle au champ magnétique B** : $U_H = k.B.I$ avec k constante.

Capteurs à effet Hall (2)

Dépt. MIME

- Capteur de champ magnétique
  - schéma typique :

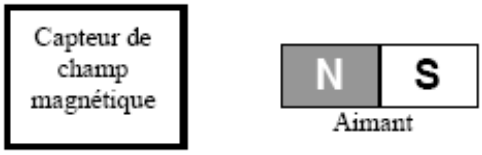


  - La sensibilité de ce capteur pourra être ajustée en agissant sur l'intensité du courant **I** et sur le coefficient d'amplification **A**

Capteurs à effet Hall (3)

Dépt. MIME

- Pour ce type de capteurs, plusieurs utilisations sont possibles:
  - Utilisation en capteur de proximité

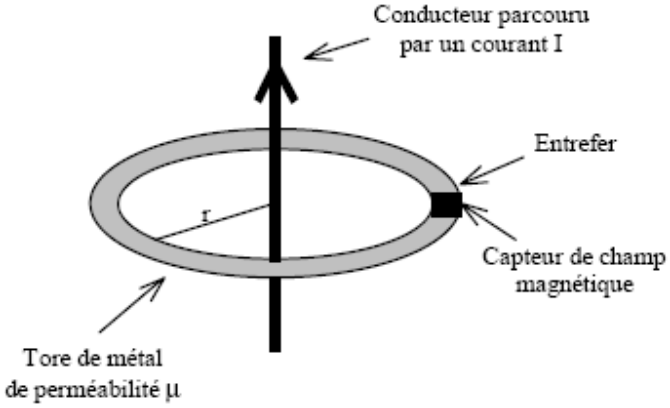


    - Le capteur détecte l'approche de l'aimant

Capteurs à effet Hall (4)

Dépt. MIME

- Utilisation pour mesurer l'intensité d'un courant électrique sans "ouvrir" (= s'insérer dans) le circuit
  - courant I crée un champ magnétique proportionnel à ce courant : $B = (\mu.I)/(2\pi\ r)$
  - Le capteur donne une tension $U_S = k.B = k'.I$ avec k et k' cstes
  - C'est le principe des pinces ampèremétriques (mesure de forts courants de 1000A et plus).



Capteurs à effet photoélectrique (1)

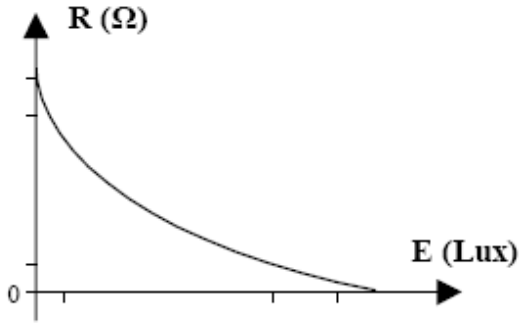
Dépt. MIME

- L'effet photoélectrique
  - Rappel: Un semi-conducteur est un matériau pauvre en porteurs de charges électriques (isolant).
  - Lorsqu'un photon d'énergie suffisante excite un atome d'un matériau semi-conducteur, celui-ci libère plus facilement un électron qui participera à la conduction
- Les photorésistances
  - Une photorésistance est une résistance dont la valeur varie en fonction du flux lumineux qu'elle reçoit. Par exemple,
    - Obscurité → R_0 = 25 kΩ (0 lux)
    - Lumière naturelle → R_1 = 5 kΩ (100 lux)
    - Lumière intense → R_2 = 500 Ω (2000 lux).

Capteurs à effet photoélectrique (2)

Dépt. MIME

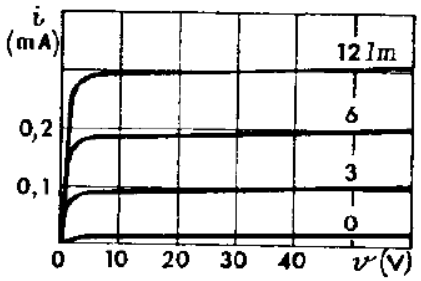
- Avantages : faible coût et robustesse.
- Inconvénients :
  - temps de réponse élevé
  - sensible à la chaleur
  - …
- Utilisation : détection des changements obscurité-lumière (éclairage public)



Capteurs à effet photoélectrique (3)

Dépt. MIME

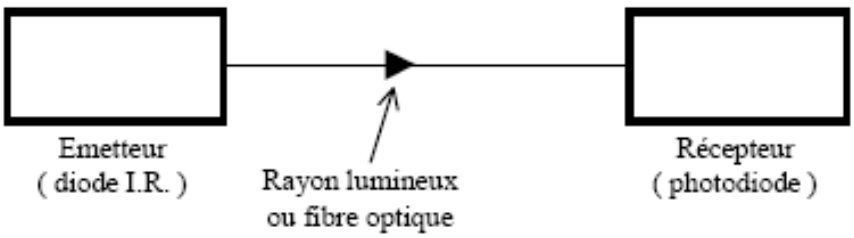
- Les photodiodes
  - Une photodiode est une diode dont la jonction PN peut être soumise à un éclairement lumineux.
  - Ci-dessous, le graphe I = f(U) pour une photodiode dépend de l'éclairement (en lux) de la jonction PN



Capteurs à effet photoélectrique (4)

Dépt. MIME

- On constate que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter en générateur => On a affaire à une *photopile*
- Applications :
  - Transmission de données
    - => télécommande IR
    - => transmission de données par fibre optique
    - => détection de passage



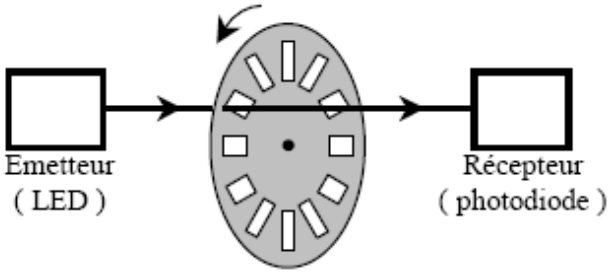
Capteurs à effet photoélectrique (5)

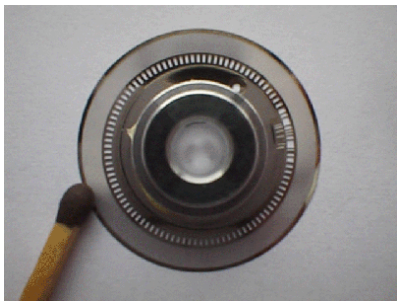
Dépt. MIME

- Roue codeuse

  => mesures d'angle et de vitesse

  => comptage d'impulsions (souris de PC)



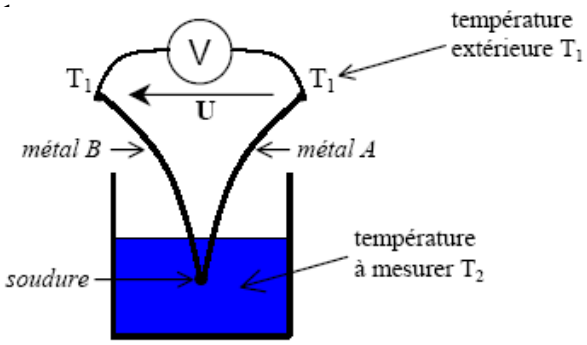


Roue codeuse d'une souris

Capteurs de température (1)

Dépt. MIME

- Thermomètre à thermocouple (Effet thermoélectrique)
  - Seebeck : On constate que si la température T2 est différente de T1 alors il apparaît une tension U aux bornes des 2 fils soumis à la température T´



  - Le phénomène inverse est aussi vrai : si on applique une tension, alors il y aura un échauffement ou un refroidissement au point de liaison des deux conducteurs (modules à effet Peltier).
  - Application : Mesure des hautes températures (900 → 1300°C)

Capteurs de température (2)

Dépt. MIME

- Thermistance (*capteur passif*)
  - Une thermistance est un composant dont la résistance varie en fonction de la température.
  - En première approximation, la relation entre résistance et température est la suivante : $R_\theta = R_0 (1 + a_\theta)$
    - R_θ est la résistance à la température θ
    - R_0 est la résistance à la température 0°C
    - a_θ est un coefficient dépendant de θ et de la thermistance.
  - Remarques :
    - si $a_\theta > 0$ alors on a une thermistance CTP (R augmente quand θ augm.)
    - si $a_\theta < 0$ alors on a une thermistance CTN (R diminue quand θ augm.)
  - Utilisation : On insère la thermistance dans un pont de jauge. On obtient ainsi une tension V en sortie du pont $V = k(\theta - \theta_0)$
  - Si on prend $\theta_0 = 0°C$, on obtient $V = k.\theta$

Récapitulatif

Dépt. MIME

- 2 familles de capteurs:
  - capteurs actifs (c. a.)
  - capteurs passifs (c. p.)
- Les c. a. transforment directement l'énergie de la grandeur physique en énergie électrique (ex. thermomètre, micro simple, etc.)
- Les c. p. doivent être intégrés ds un circuit électrique pour que l'on puisse mesurer leur impédance (qui est donc l'image de la grandeur physique à mesurer) (ex. thermostat, micro avec alimentation fantôme (48V), etc.)
- cf. aussi plus loin, dans la section « mesure » (chaîne d'instrumentation)

Grandeurs d'influence (1)

Dépt. MIME

- Comme on l'a vu, le capteur est un dispositif physique sensible à une grandeur physique principale (mesurande)
- Or, bien sûr, toutes les lois de la physique interagissent au sein des matériaux
- Dc le capteur est obligatoirement sensible à d'autres grandeurs physiques secondaires, appelées ***grandeurs d'influence***
- La relation $s = F(m)$ devient alors $s = F(m, g_1, g_2...)$ avec g_1, g_2, … des grandeurs d'influence

Grandeurs d'influence (2)

Dépt. MIME

- Principales grandeurs d'influence:
  - *température* qui modifie les caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur
  - *pression*, *accélération* et *vibrations* qui créent des déformations et des contraintes dans certains éléments du capteur et altèrent ainsi sa réponse
  - *humidité* qui modifie certaines des propriétés électriques du capteur (résistivité, constante diélectrique) ou dégrade l'isolation électrique entre celui-ci et son environnement
  - *champs magnétiques* qui modifient certaines des propriétés du capteur (résistivité d'un matériau magnétorésistant) ou créent des fém induites qui se superposent au signal utile

Grandeurs d'influence (3)

Dépt. MIME

- Comment gérer l'influence de ces grandeurs ?
  - Ds certains cas, on peut réduire l'influence de ces grandeurs parasites par une construction appropriée du capteur (blindage, isolation thermique ou mécanique, montage différentiel en pont de Wheatstone…)
  - Mais ds la plupart des cas, il faut prendre en compte ces grandeurs parasites en procédant à des étalonnages, courbes de correction…

La mesure

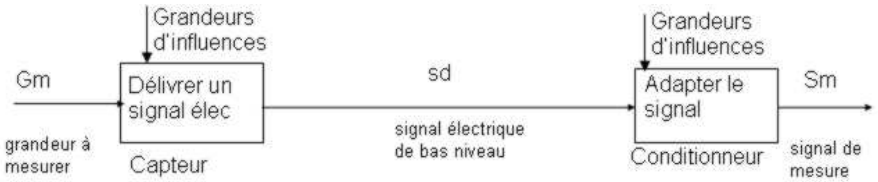
Dépt. MIME

- *Métrologie*: Etude des moyens et des méthodes qui permettent de déterminer la valeur numérique d'une grandeur physique, c'est-à-dire de déterminer une mesure
- Pour procéder à la mesure, nécessité d'avoir une chaîne d'instrumentation

Chaîne d'instrumentation (1)

Dépt. MIME

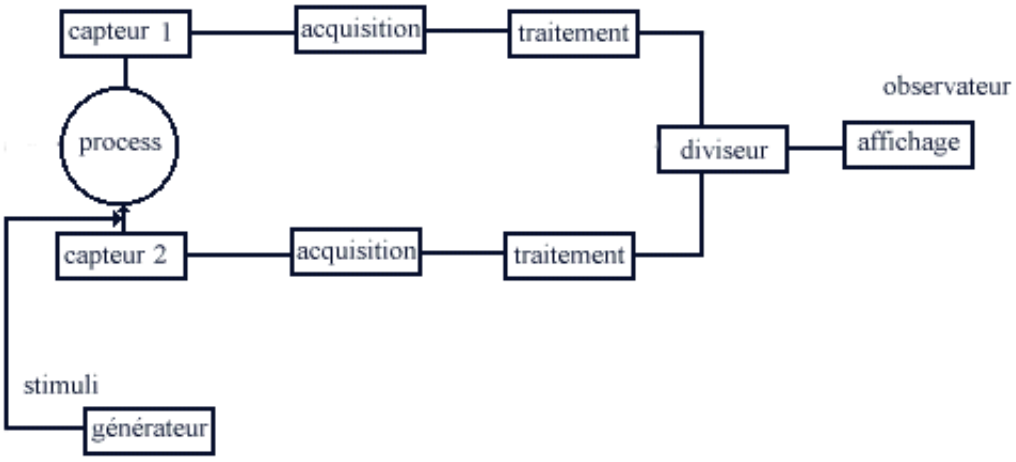
- Cas du capteur actif
  - la chaîne d'instrumentation est simplement linéaire

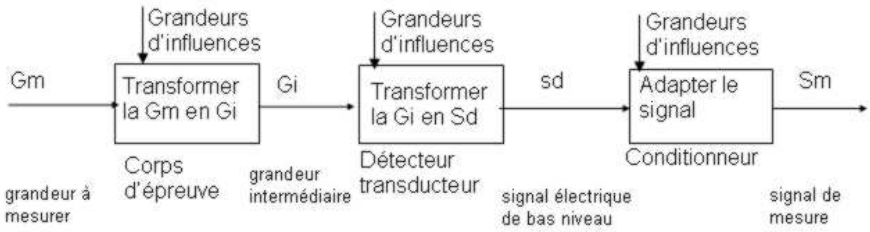


- Cas du capteur passif
  - on doit disposer d'un générateur de signal (qu'il convient de mesurer via la chaîne 2) pour produire une action sur l'élément passif (**process**) qu'il conviendra de déterminer (à l'aide du capteur 1) et ce n'est qu'à l'aide d'un calcul ultérieur qu'on pourra obtenir l'information recherchée
  - Cf. schéma diapo suivante

Chaîne d'instrumentation (2)

Dépt. MIME





Chaîne d'instrumentation (3)

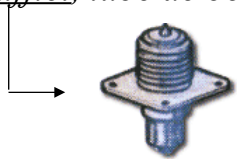
Dépt. MIME

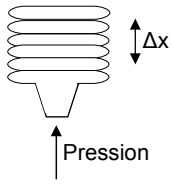
- Ds le 2eme cas notamment, la chaîne d'instrumentation comprend un conditionneur (cf. plus loin) et un capteur de mesure physique qui comprend deux éléments fondamentaux:
  - un élément mécanique, appelé **corps d'épreuve**, qui réagit au phénomène physique (en voyant sa résistivité se modifier)
  - auquel est associé solidairement un **transducteur,** par ex. un pont de jauges de contrainte collé sur la membrane, qui est chargé de générer un signal électrique lié, selon une relation supposée connue, à cette déformation.

Chaîne d'instrumentation (4)

Dépt. MIME

- Corps d'épreuve
  - Dispositif qui, soumis au mesurande, en assure une traduction en un signal non électrique.
  - On peut être amené à mesurer non pas directement le mesurande, mais une grandeur physique qui lui est liée.
- *Exemples de corps d'épreuve :*
  - Mesure d'un débit par la mesure d'un écart de pression. *Diaphragme: Le débit est fonction des pertes de charge. (Cf. plus loin)*
  - Mesure d'une température par la mesure d'une pression. *Manomètre : La température est fonction de la pression de vapeur saturante.*
  - Mesure d'une pression par l'intermédiaire d'un déplacement. *Soufflet, tube de bourdon d'un manomètre...*





Débit (1)

Dépt. MIME

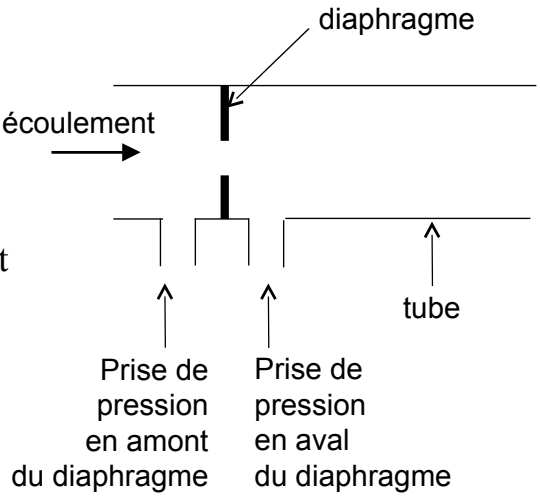
- Le débit est habituellement mesuré par déduction, en mesurant la vitesse moyenne à travers une section connue. Le débit mesuré par cette méthode indirecte est le débit volumique Qv : Qv = S.V
  - S est la surface de section de la conduite en m²
  - V est la vitesse moyenne du fluide en m/s
- Le débit volumique Qv est le volume de fluide écoulé pendant l'unité de temps (en m^3/s)
- Le débit massique Qm est la masse de fluide écoulée pendant l'unité de temps (en kg/s)

Soit la masse volumique du fluide (en kg/m^3), Qm = .Qv
Pour l'eau douce, = 1000 kg/m^3

Débit (2)

Dépt. MIME

- Diaphragme
  - Il s'agit d'un disque percé en son centre
  - Le diaphragme concentrique comprime l'écoulement du fluide, ce qui engendre une pression différentielle de part et d'autre de celui-ci
  - Il en résulte une haute pression en amont et une basse pression en aval, proportionnelle au carré de la vitesse d'écoulement
  - => dispositif simple, peu encombrant et peu coûteux



La chaîne d'instrumentation (5)

Dépt. MIME

- En + du capteur, la chaîne d'instrumentation, dans les cas passif ou actif, contient un *conditionneur*
- **conditionneur**:

ou

  - Génère le signal des *capteurs passifs* en leur fournissant une source d'énergie
  - Capte le signal des *capteurs actifs*

  - Traite ce signal : linéarise, filtre, convertit, amplifie... (grâce à un multiplexeur, amplificateur, échantillonneur/bloqueur, filtre, CAN, etc.)

La chaîne d'instrumentation (6)

Dépt. MIME

- Les types de conditionneurs les plus utilisés sont :
  - **montage potentiométrique** : Association en série d'une source, du capteur et d'une impédance qui peut être ou non du même type.
  - **pont d'impédances** dont l'équilibre permet de déterminer l'impédance du capteur ou dont le déséquilibre est une mesure de la variation de cette impédance (cf. pont de jauges)
  - **circuit oscillant** qui contient l'impédance du capteur, sachant que le capteur fixe la fréquence de l'oscillateur.
  - **amplificateur opérationnel** dont l'impédance du capteur est l'un des éléments déterminants de son gain.
- Le choix d'un conditionneur est une étape importante dans la réalisation d'un ensemble de mesure.

La mesure (2)

Dépt. MIME

- Les erreurs de mesure
  - elles sont inévitables
  - mais il est souvent possible de les limiter à une portion acceptable
  - les principales sont:
    - erreur absolue
    - erreur relative
    - erreur admissible
    - erreur systématique
    - autres erreurs (erreur de lecture, erreur accidentelle, personnelle...)

Les erreurs de mesure (2)

Dépt. MIME

- erreur absolue
  - C'est l'écart entre la valeur vraie du mesurande et la valeur donnée par la chaîne de mesure:
    - $E_{abs} = | X - X' |$
  - Elle ne suffit pas pour caractériser la qualité d'une mesure
  - Il est en effet plus difficile de peser un objet *d'une tonne* qu'un objet *d'un kilogramme* avec la même erreur d'un gramme.

Les erreurs de mesure (3)

Dépt. MIME

- erreur relative
  - traduit la qualité d'une mesure
  - C'est le rapport de l'erreur absolue à la valeur vraie exprimé en %
  - Exemple :
    - *Valeur vraie d'une masse : 100 g. Valeur mesurée : 99 g*
      => Erreur absolue E_{abs} *= 1 g*
      => Erreur relative E_r *= (100 – 99) /100 * 100 = 1%*
    - *Valeur vraie d'une masse : 10 kg. Valeur mesurée : 9.999 kg*
      => Erreur absolue E_{abs} *=1 g*
      => Erreur relative E_{abs} *= (10 – 9.999) /10 *100 = 0.01%*
    - *=> très différent !*

Les erreurs de mesure (4)

Dépt. MIME

- erreur admissible
  - erreur déterminée par l'utilisation des mesures.
  - Exemple : *On cherche la puissance d'une batterie chaude. On mesure les températures d'entrée et de sortie de l'eau. On obtient les résultats suivants :*
    - T_{Sortie} = 89.3°C au lieu de **88.8°C**
    - T_{Entree} = 77.1°C au lieu de **77.9°C**
    - Sur T_{Sortie} , E_{abs} = 0.5°C, E_r = 0.5/88.8*100 = 0.56%
    - Sur T_{Entree} , E_{abs} = 0.8°C, E_r = 0.8/77.9*100 = 1%
    - Sur ΔT, E_{abs} = 1.3°C, E_r = 1.3/10.9*100 = 11.9%
    - En commettant une erreur de 1% et 0.56% sur les températures, on aboutit à une erreur de 11,9 % sur la puissance, sans même considérer d'autres erreurs ds la mesure !

Les erreurs de mesure (5)

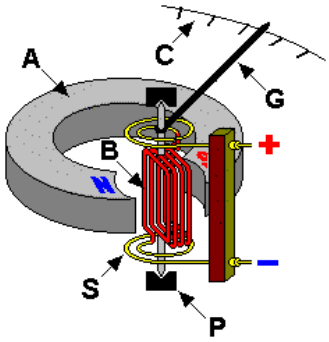
Dépt. MIME

- Erreurs systématiques
  - elles sont *sensiblement constantes* pour chaque valeur du mesurande ou bien leurs *variations sont lentes* par rapport à la *durée* de la mesure
  - elles se reproduisent chaque fois que l'on refait la mesure dans les mêmes conditions.
  - Exemple *:*
    - $T_{réelle}$ = 88.8°C, $T_{mesurées}$ = 85.7°C / 85.9°C / 85.5°C / 86.0°C
    - On rencontre une erreur systématique d'environ 3°C
  - **Principales erreurs systématiques**
    - **Décalage du zéro :** *Balance qui n'est pas de niveau, galvanomètre dont l'aiguille n'indique pas le zéro...*

NB : Principe du galva à cadre mobile

Dépt. MIME

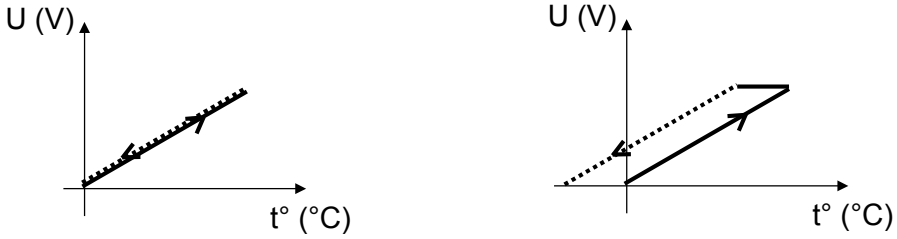
- Une bobine **B** en forme de cadre est soutenue par deux pivots **P**. Elle peut tourner autour de son axe mais deux ressorts **S** en forme de spirale la ramènent à une position de repos. Cette position de repos est celle de l'aiguille **G** indiquant le zéro sur le cadran **C**.
- La bobine est placée dans l'entrefer d'un aimant **A**. Lorsqu'une différence de potentiel est appliquée aux bornes + et - le courant qui traverse la bobine provoque la rotation de cette dernière d'un angle proportionnel à l'intensité du courant.
- L'inversion du sens de passage du courant provoque une déviation de l'aiguille en sens inverse. Le déplacement de l'aiguille est limitée dans les deux sens par deux butées non représentées sur le dessin. Un courant trop élevé dans le cadre peut le détruire ; l'ordre de grandeur du courant provoquant une déviation complète de l'aiguille est de 25 à 1000 µA



Les erreurs de mesure (6)

Dépt. MIME

- **Hystérésis :** *Écart constaté lorsque la grandeur mesurée croît ou décroît.* (phénomène constaté sur la majorité des appareils de mesure). Exple:



- **Modification des caractéristiques du capteur** (dérive) : *Le vieillissement, l'usure, les altérations chimiques modifient les réactions du capteur*
- **Mauvaises conditions d'emploi**. Exemple : *Une sonde de température d'air est influencée par le rayonnement d'un émetteur de chaleur.*

Les erreurs de mesure (7)

Dépt. MIME

- Pour pallier ces erreurs, plusieurs solutions:
  - achat matériel plus fiable (!)
  - prise en compte des erreurs ds les calculs
    - moyens numériques classiques
    - techniques d'Intelligence Artificielle pour gérer les imprécisions (par ex. logique floue, cf. plus loin)
- il existe des capteurs qui intègrent notamment des techniques de palliation des erreurs de mesure => capteurs intelligents, cf. plus loin

La mesure (3)

Dépt. MIME

- Qualités d'un appareil de mesure
  - on l'a vu, lors de la mesure d'une grandeur physique, l'appareil commet des erreurs systématiques
  - d'où besoin d'avoir un certain nombre de qualités pour l'appareil:
    - fidélité
    - justesse
    - précision
    - finesse
    - sensibilité
    - linéarité
    - etc.

Qualités d'un appareil de mesure (2)

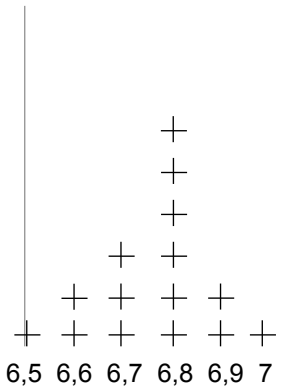
Dépt. MIME

- fidélité
  - aptitude d'un appareil à donner des indications identiques pour une même grandeur mesurée :
    - la dispersion des résultats de mesure est faible, mais la moyenne peut être éloignée de la valeur vraie
  - Exemple : *Masse = constante = 6,5 Kg*

    Valeurs de sortie :

    6,7 / 6,8 / 6,5 / 6,6 / 6,7 / 6,8 / 6,9 / 6,6 / 6,8 / 6,7 / 6,8 / 6,8 / 6,9 / 7,0 / 6,8

    => Cette balance est plutôt fidèle



Qualités d'un appareil de mesure (3)

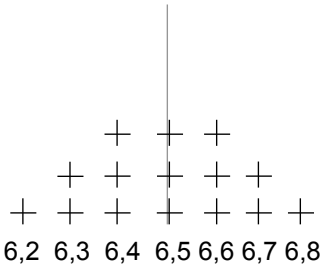
Dépt. MIME

- justesse
  - aptitude d'un appareil à fournir des valeurs dont la moyenne est très proche de la valeur vraie, mais la dispersion peut être importante.
  - Exemple : *Masse = constante = 6,5 Kg*

    Valeurs de sortie :

    6,2 / 6,4 / 6,8 / 6,7 / 6,5 / 6,3 / 6,5 / 6,6 / 6,7 / 6,5 / 6,6 / 6,3 / 6,6 / 6,4 / 6,4

    => balance juste mais infidèle



Qualités d'un appareil de mesure (4)

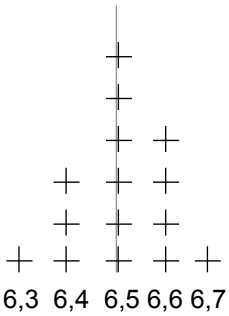
Dépt. MIME

- précision
  - aptitude d'un appareil qui est juste et fidèle
  - valeur moyenne est très proche de la valeur vraie et la dispersion est faible
  - Exemple : *Masse = constante = 6,5 Kg*

    Valeurs de sortie :

    6,5 / 6,4 / 6,7 / 6,4 / 6,6 / 6,5 / 6,5 / 6,3 / 6,5 / 6,6 / 6,6 / 6,4 / 6,5 / 6,5 / 6,6

    => balance précise



Qualités d'un appareil de mesure (5)

Dépt. MIME

- Classe de précision
  - définit l'erreur imputable à l'appareil de mesure
  - notée C, elle correspond à l'erreur en pourcentage d'une valeur conventionnelle (ou incertitude relative sur une mesure égale au calibre)
  - Ainsi, suite à une mesure, on cherchera l'incertitude absolue qui dépend :
    - du plus grand nombre ***M*** de la graduation, pour les graduations commençant à un nombre positif ou nul
      => l'incertitude absolue Ia vaut: Ia = (*M*/100)*C
    - de l'écart entre les valeurs extrêmes ***M*** et ***m*** (la + petite graduation) de la graduation, pour les graduations commençant par un nombre négatif.
      => l'incertitude absolue Ia vaut: Ia = ((*M*-*m*)/100)*C
  - *Exemples*
    - *balance de classe 1: M = 0,5 kg; m = 0,2 kg;* Ia=(0,5/100)*1=5g
    - *thermomètre de classe 1,5: M = 100°C; m = -50°C kg;* Ia=(0,5/100)*1=5g

Qualités d'un appareil de mesure (6)

Dépt. MIME

- finesse
  - qualité d'un appareil de mesure à perturber au minimum le phénomène dont on veut déterminer la valeur du mesurande.
  - Exemple: *La pose d'un voltmètre diminue la tension que l'on désire mesurer*
- sensibilité
  - C'est la variation de l'information fournie par un capteur par unité de la grandeur physique à mesurer.
  - Exemple : *sensibilité d'un capteur résistif : **0,21 ohm / °C** environ dans la plage de **0** à **100 °C***
- Linéarité
  - Se dit de l'information (inf° linéaire) fournie par le capteur lorsque sa sensibilité est constante sur sa plage d'utilisation
- Pouvoir de résolution
  - La résolution est la plus petite variation que l'appareil de mesure est capable de mettre en évidence

Qualités d'un appareil de mesure (7)

Dépt. MIME

- Constante de temps
  - C'est le temps correspondant à la valeur indiquée par l'appareil de mesure lorsque le mesurande atteint 63 % de sa valeur vraie.
  - *A titre indicatif, ce temps est de l'ordre de la milliseconde (voire moins) à une dizaine de secondes selon les appareils…*