

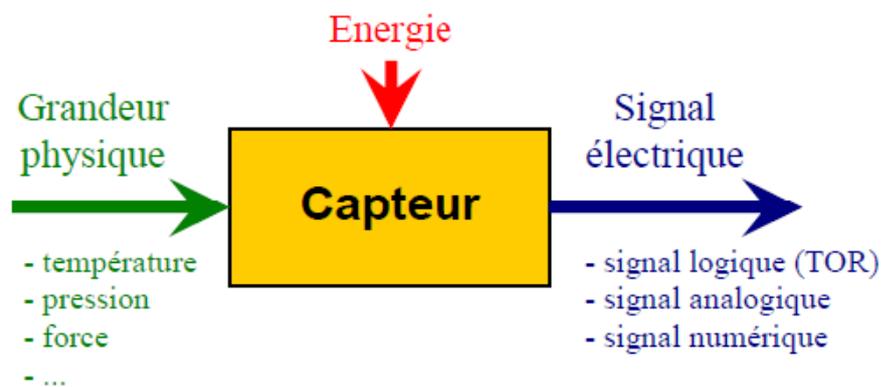
## Chapitre II : Différents types de mesures des grandeurs physiques

### Introduction

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs...), on a besoin de contrôler des paramètres et des grandeurs physiques (température, force, position, vitesse, luminosité...). Le capteur est l'élément indispensable à la détection de ces grandeurs physiques.

### II.1 Définition de Capteur

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 représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.



### II.2 Classifications des capteurs

Les capteurs peuvent être classés de multiples manières. L'une d'elles consiste par exemple à discerner ceux des capteurs qui se contentent de modifier la grandeur électrique qui leur est appliquée (capteurs passifs) de ceux qui sont capables de générer une grandeur électrique (capteurs actifs). Un autre mode de classement consiste à considérer le type de sortie délivrée par le capteur : numérique ou analogique. La nature de la liaison entre la partie fixe et la partie mobile peut également servir de critère, c'est alors le principe de mesure (avec ou sans contact) qui est considéré. L'étendue de mesure ou la résolution du capteur ne sont généralement pas admissibles comme critères de classification, bien que ce soient généralement les premiers critères de choix pour un capteur, car ces paramètres peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur pour une même gamme de capteurs. En général on peut classer les capteurs de plusieurs manières :

- Par le mesurande qu'il traduit (position, de température, de pression, ...),
- Par la nature du signal qu'il fournit en sortie (numérique, logique ou analogique),

- Par son rôle dans le processus industriel (contrôle de produit finis, de sécurité, etc)
- Par leur principe physique (résistif, piézoélectrique, ...),
- Par leur principe de fonctionnement (actif ou passif).

Toutes ces classifications permettent d'avoir une vue d'ensemble des capteurs et bien sur aucune des méthodes de classification n'est meilleure que l'autre car toutes présentent des avantages et des inconvénients.

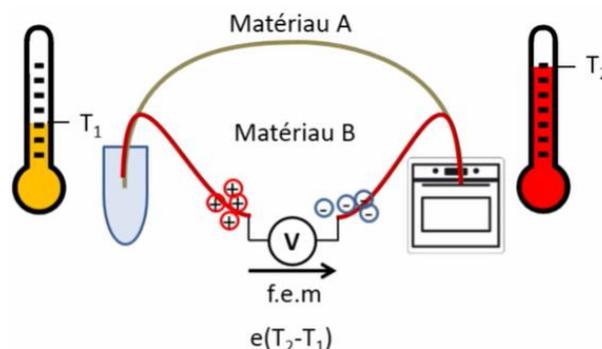
Dans la suite de notre cours, nous avons décidé de classer les différents capteurs par le mesurande qu'il traduit. Nous aurions très bien pu faire d'une autre manière mais celle-ci nous paraissait être la plus avantageuse pour nous.

Bien que nous ayons décidé de classer les capteurs par mesurande, il est important de connaître ce qu'est un capteur actif ou passif ainsi que d'avoir des notions de métrologie.

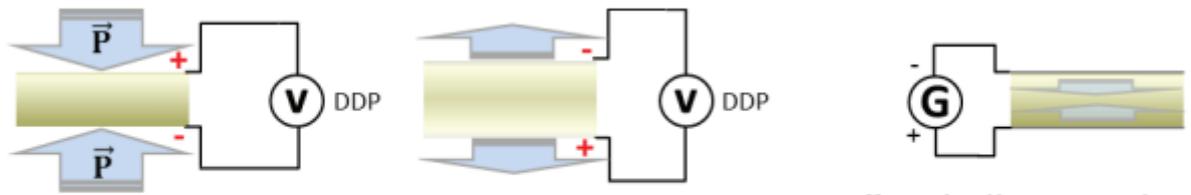
## II.2.1 Capteur actif

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 prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement. Les plus classiques sont :

- **Effet thermoélectrique :** 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  $e(T_1, T_2)$ .



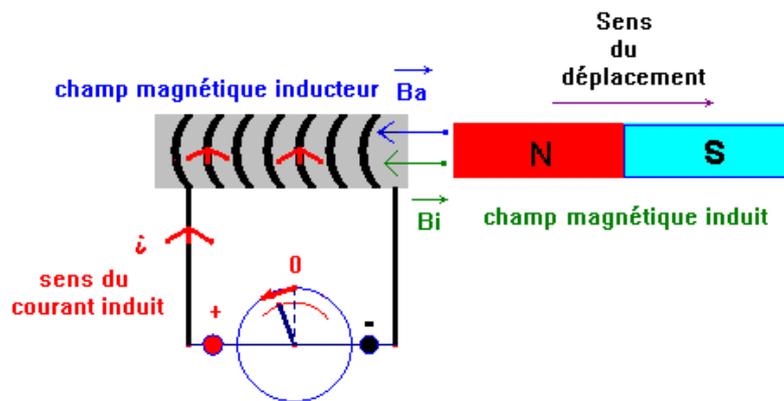
- **Effet piézo-électrique :** L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électrique (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation se traduit par l'apparition d'une différence de potentiel électrique et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées. et inversement, l'application d'une tension provoque la déformation du matériau.



**Effet piézoélectrique direct :**  
De la déformation naît une différence de potentiel

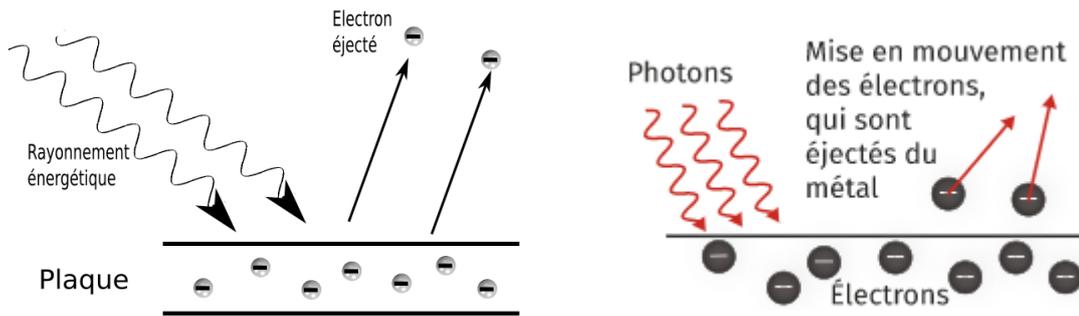
**Effet piézoélectrique indirect :**  
A l'application d'une tension, le matériau se déforme

- **Effet d'induction électromagnétique :** La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique.



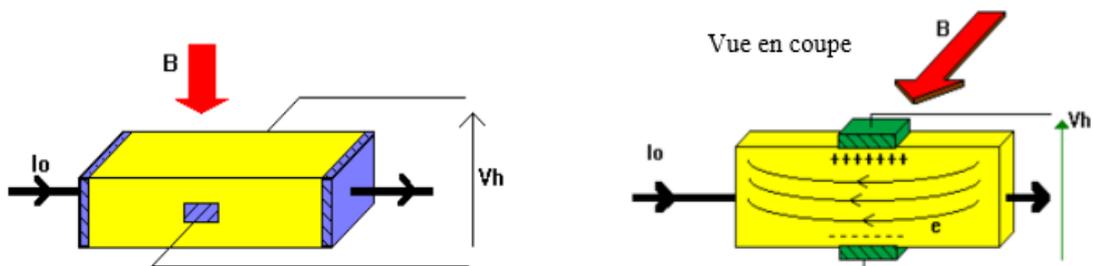
D'après le schéma, les extrémités d'une bobine sont reliées aux deux pôles d'un voltmètre à courant continu, lorsqu'on introduit le pôle Nord d'un aimant dans cette bobine (**direction 1**), l'aiguille du voltmètre dévie à gauche, puis revient à 0 quand le mouvement cesse. quand on retire (**direction 2**) le Nord de l'aimant, l'aiguille dévie à droite et revient à 0 quand le mouvement cesse. Avec le pôle Sud les déviations sont inversées. Plus le mouvement est rapide, plus la déviation de l'aiguille est importante.

- **Effet photo-électrique :** Phénomène d'interaction entre le rayonnement et la matière, caractérisé par l'absorption des photons et la libération consécutive d'électrons. La libération de charges 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.

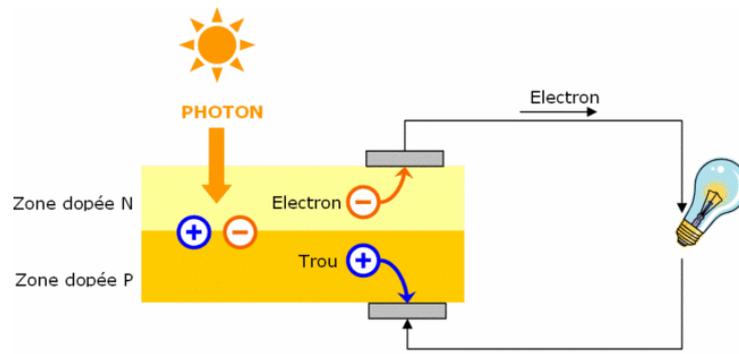


Lorsqu'un photon entre en collision avec un électron présent dans un métal, il lui transmet toute son énergie. Si cette énergie est suffisante, alors l'électron est arraché. L'énergie minimale nécessaire pour arracher un électron est appelé travail d'extraction. Si l'énergie est supérieure au travail d'extraction, alors le surplus d'énergie fourni est converti en énergie cinétique.

- **Effet Hall** : Lorsqu'un courant traverse un barreau en matériau semi-conducteur (ou conducteur), et si un champ magnétique d'induction  $\mathbf{B}$  est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension, appelée **tension Hall**, proportionnelle au champ magnétique et au courant apparaît sur les faces latérales du barreau. Les électrons sont déviés par le champ magnétique, créant une différence de potentiel appelée tension de Hall



- **Effet photovoltaïque** : C'est la transformation de la lumière en électricité, qui se produit dans les cellules solaires composées d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. La cellule photovoltaïque contient des charges électriques du fait du dopage : négatives dans le type n (excès d'électrons), positives dans le type p (déficit d'électrons). Ces charges créent un champ électrique au niveau de la jonction. Les photons de la lumière solaire arrachent des électrons aux atomes de silicium et créent des charges positives et négatives. Les charges sont mises en mouvement par le champ électrique créé par la jonction, ce qui produit un courant électrique.



## II.2.2 Capteur passif

Il s'agit généralement 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 du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux 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'extensiométrie liée à une structure déformable).

## II.3 Mesure des grandeurs mécaniques

### II.3.1 Mesure de déplacement

Un déplacement pouvant être défini comme la variation, en fonction du temps, d'une position, la dérivée première par rapport au temps du déplacement donne la vitesse, la dérivée seconde donne l'accélération. Ces deux grandeurs sont certes accessibles à partir du signal fourni par un capteur de déplacement ; il est toutefois à noter que le rapport signal sur bruit est diminué lors d'une dérivation par rapport au temps. Il est donc plus intéressant d'utiliser les capteurs spécifiques au mesurage de ces grandeurs : cinémomètres linéaires ou angulaires pour les vitesses, accéléromètres ou gyromètres pour les accélérations.

Les capteurs de position et de déplacement regroupent de nombreux dispositifs électriques, optiques, électroniques ou autres qui délivrent un courant électrique à ses bornes lorsqu'une action prédéterminée se présente. Il existe de nombreux types de capteurs de position et de déplacement selon leur mode de conception. Parmi ces capteurs, il y a les capteurs de proximité, les capteurs de position optiques, les capteurs de déplacement à câble, les capteurs de position magnétiques, etc. (figure II. 1).



Figure II. 1 : Capteurs de déplacement linéaire.

### II.3.2 Mesure de vitesse

Les mesures de vitesses regroupent de nombreux pièces et appareils qui sont conçus pour déterminer la vitesse d'un objet. Par définition, la vitesse linéaire est la distance parcourue d'un point par unité de temps. Il existe différentes techniques pour déterminer cette vitesse telle que l'utilisation de matériel optique, mécanique, électrique, etc. Les capteurs de vitesses linéaires (figure II.2) sont généralement utilisés dans différents endroits comme sur les machines de production industrielle, les engins, etc.



Figure II. 2 : Capteurs de vitesse.

### II.3.3 Mesure d'accélération

Les capteurs d'accélération (figure II. 3) regroupent différents appareils de mesure qui servent à déterminer l'accélération d'un point ou d'un assemble de points. Selon les modèles, les capteurs d'accélération peuvent être des capteurs monodimensionnels, bidimensionnels ou tridimensionnels. De plus, il existe différents types de matériels qui permettent de déterminer l'accélération de point tels que les accéléromètres asservis, piézoélectriques, capacitifs, etc.



Figure II. 3 : Capteurs d'accélération.

### II.3.4 Mesure des forces

Une force permet de modéliser l'action d'un corps sur un autre. Elle est susceptible de modifier la vitesse d'un corps (éventuellement de le mettre en mouvement ou le stopper), de modifier la trajectoire d'un corps (forces qui se compensent), de déformer ce corps. Selon ces situations, la force peut produire l'un de ces effets, deux d'entre eux ou les trois simultanément. L'effet obtenu dépend de l'orientation de la force, de sa direction, de sa valeur et de la nature du corps qui subit cette force.

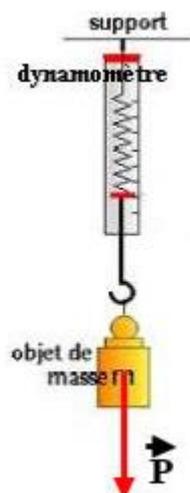
Une force peut être définie à partir de différents éléments qui permettent de caractériser un vecteur : sa direction, son sens, sa valeur ou norme calculé en newton et qui peut parfois être appelée intensité et son point d'application.

Les forces peuvent être distinguées selon deux catégories : les forces à distance et les forces de contact :

➤ **Les forces à distances** : peuvent s'exercer sans contact entre les objets. Les principales forces sont :

- 1) **La force de gravitation** : c'est est une force fondamentale qui correspond à l'attraction mutuelle s'exerçant entre deux corps de masse non négligeables.
- 2) **La force magnétique** : c'est la force qui permet à un aimant d'attirer un morceau de fer ou qui oriente l'aiguille d'une boussole vers le nord. Les forces magnétiques agissent soit par attraction soit par répulsion.

- 3) **La force électrique** : c'est la force qui attire des morceaux de papier vers une baguette en plastique qui a été frottée ou qui met les électrons en mouvement dans un circuit électrique. Ainsi deux corps chargés électriquement exercent l'un sur l'autre des forces qui augmentent quand la distance qui les sépare diminue.
  - 4) **Les forces nucléaires** : ce sont des forces qui maintiennent ensemble les nucléons et assurent la stabilité du noyau des atomes. Les forces nucléaires sont parfois appelées forces fortes résiduelles.
- **Les forces de contact** : se manifestent lorsqu'un corps est en contact avec un autre corps (solide, liquide et gazeux). Les principales forces de contact sont :
- 1) **La force de réaction d'une surface (sol, table ou autre)** : Cette force est en général verticale et orientée vers le haut et compense souvent le poids. L'ensemble des forces de contact est équivalent à une force unique appelée réaction du support.
  - 2) **Les forces de pressions exercées par un gaz ou un liquide** : les fluides exercent sur les corps en contact avec eux des forces qui sont dites délocalisées. Exemple : la poussée d'Archimède.
  - 3) **Les forces de frottement exercées par une surface ou par l'air sur un objet en mouvement** : ce sont des forces qui s'opposent aux mouvements relatifs entre deux systèmes en contact. Les forces de frottements dépendent de la nature de la surface et de la normale et sont indépendantes de l'aire de contact et de la vitesse. Tous les appareils servant à mesurer une force reposent dans leur principe de fonctionnement sur la troisième loi de Newton (loi de l'action et de la réaction) : l'idée est de déterminer l'effort nécessaire qu'il faut opposer à la force à mesurer pour atteindre l'équilibre. On utilise généralement un dynamomètre. Il s'agit d'un appareil dont la déformation est proportionnelle à la force de tension (appelée  $T$ ) qu'il exerce ou bien la force  $F$  qu'il subit (figure II. 4).



**Figure II.4 :** Schéma de principe de mesure de force par un dynamomètre.

Ainsi le dynamomètre mécanique est constitué d'un ressort qui s'allonge en fonction de la force. Selon la raideur du ressort utilisé il peut évaluer des forces plus ou moins importantes. L'allongement maximal (calibre) est toujours donné par le constructeur. Il faut donc utiliser des dynamomètres adaptés aux forces que l'on mesure. Par exemple, pour mesurer des forces d'ordre de 3N on va utiliser plutôt un dynamomètre de calibre 5N que 10N ou plus car un mauvais choix de calibre implique des erreurs importantes dans les résultats. A chaque mesure il faut faire attention à ce que l'appareil revienne à zéro pour que toutes les mesures suivantes soit reproductibles.

Il existe d'autres types de mesureurs de forces représentés sur la figure II.5 :



**Figure II.5 :** Différents types de mesureurs de forces.

## II.4 Mesure des grandeurs dimensionnelles

Les systèmes de mesures dimensionnelles servent à contrôler le dimensionnement de pièces industrielles (contrôle de cales étalons), ou encore à contrôler des distances (distances inter-véhicules). Ces systèmes de mesure peuvent trouver des applications dans quasiment tous les secteurs industriels ainsi qu'en laboratoire.

### II.4.1 Règles et mètre rubans

Ils existent plusieurs types de règles et mètre rubans (figure II.6)

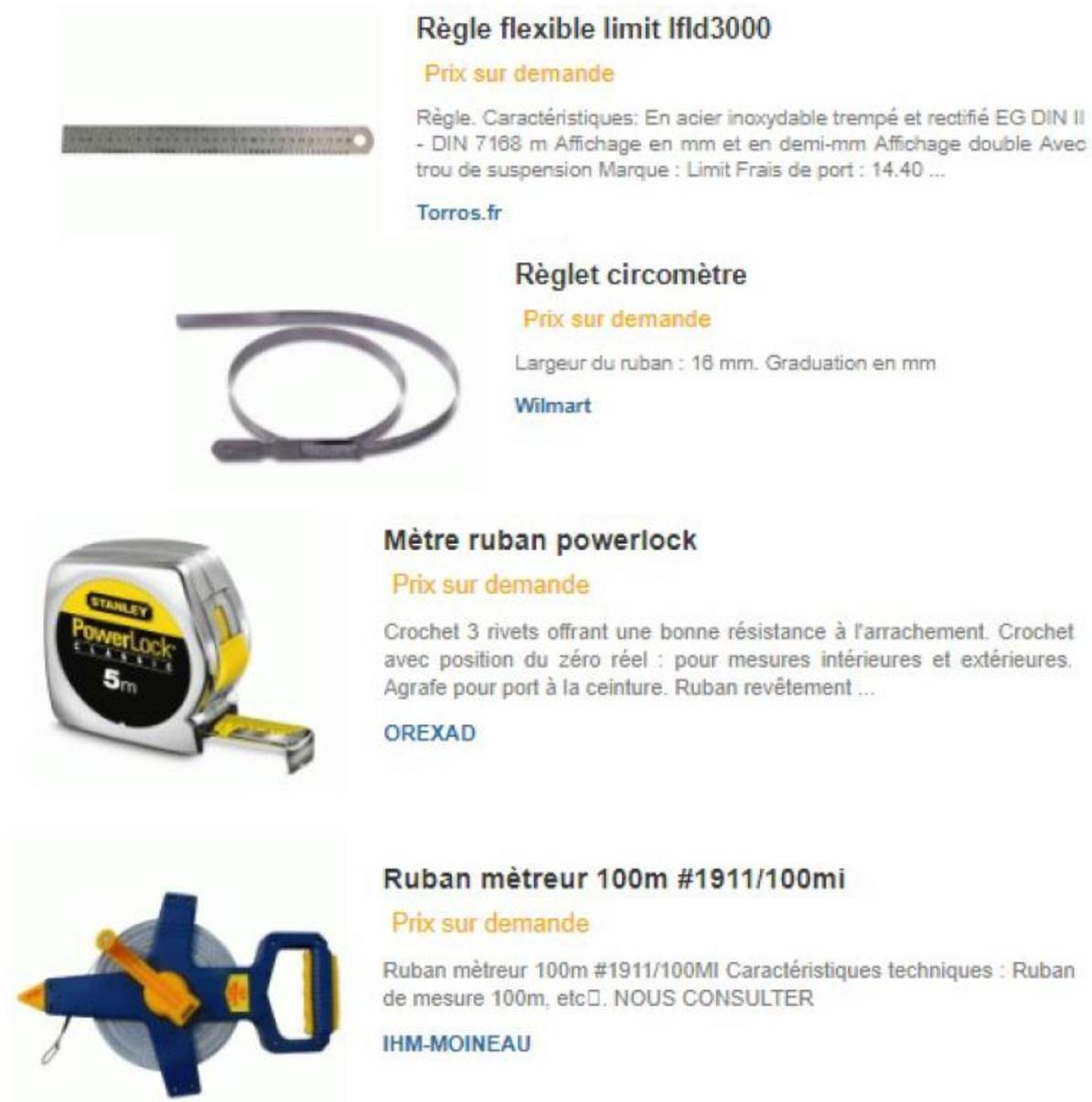


Figure II.6 : Différents types de règles et de mètre rubans.

#### II.4.2 Pied à coulisse

Le pied à coulisse est un instrument de mesure grandement utilisé en plomberie et en mécanique. Sa fonction est de réaliser différentes sortes de mesures, aussi bien les dimensions intérieures (profondeur de volumes, diamètre de gorges,...), qu'extérieures (épaisseurs, longueurs, hauteurs,...). On l'utilise aussi parfois pour mesurer les profondeurs, accomplir des mesures comparatives ou encore pour mesurer le support.

Il se compose essentiellement d'une règle graduée, d'un bec mobile, ainsi que d'un bec fixe. Il se décline dans différents modèles, variant selon le type de lecture dimensionnelle. Sur certains modèles, elle s'effectue par un vernier tandis que pour d'autres elle s'effectue par un afficheur à cristaux liquides ou une montre (figure II.7).



### Pied à coulisse

Prix sur demande

Conforme DIN 862 forme A 2 Avec becs pour prise de mesures intérieures et jauge de profondeur. Blocage automatique Graduation et vernier en mm et pouces, précision 1/20 et 1/128" Dans une pochette ...

GEDORE-KLANN FRANCE



### Pied à coulisse à cadran, à double becs, et jauge de profondeur mib cald200

Prix sur demande

Pied à coulisse à cadran, à double becs, et jauge de profondeur Avantages: DIN 862 Acier inoxydable trempé et rectifié Finition mate Avec cadran de mesure antichoc ø 38 avec réglage fin ...

Torros.fr



### Pieds à coulisse digitaux - lecture au micron

Prix sur demande

LECTURE AU MICRON, Résolution 0,005 mm. Sortie RS232. Capacité 150 mm

FEKU FRANCE

Figure II.7 : Différents types de pieds à coulisse.

### II.4.3 Micromètre ou palmer

Le micromètre, ou palmer, est un appareil de mesure des longueurs. Il est très utilisé en mécanique pour mesurer des épaisseurs, des diamètres de portées cylindriques ou des diamètres de perçage ou d'alésage (figure II.8).



Micromètre d'intérieur 5 - 30 mm helios



Micromètre d'extérieur à friction 806.f facom



Micromètre à affichage digital 25 mm facom

Figure II.8 : Différents types de micromètres.

### II.4.4 Comparateur à cadran

Le comparateur à cadran est un instrument permettant de mesurer le parallélisme entre deux surfaces. On l'utilise le plus souvent pour la quantification de l'état de surface d'une pièce. Deux grands types de comparateurs à cadran existent dont

- **Le comparateur à cadran à aiguille** : Il se compose de plusieurs éléments dont un palpeur, un canon, une vis de blocage, un ou plusieurs index mobiles, un totaliseur, une lunette, un cadran de lecture gradué, ainsi qu'une aiguille pivotant en son centre. Les index ont pour fonction de matérialiser le point zéro tandis que le totaliseur permet d'afficher le nombre de tours réalisés par l'aiguille (figure II.9).

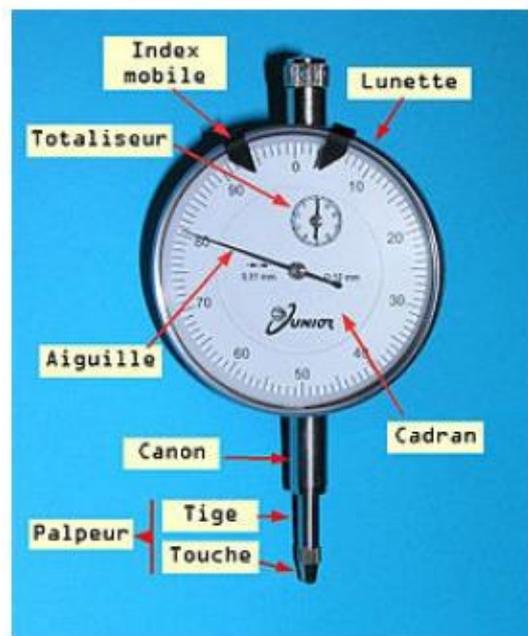


Figure II.9 : Comparateur à cadran à aiguille.

- **Le comparateur à cadran numérique** : Pour sélectionner le type de mesure, il suffit d'appuyer sur le bouton de gauche, affichant ainsi directement la mesure. Le bouton le plus à droite permet plutôt de l'étalonner en le mettant à zéro (figure II.10).



Figure II.10 : Comparateur à cadran numérique.

## II.4.5 Mesureurs d'épaisseur

Un mesureur d'épaisseur sert à mesurer différentes épaisseurs qui sont en générale de petite taille. Les applications les plus courantes sont la mesure d'épaisseur de revêtement, de paroi, et de couche fine. On peut remarquer de plus que les techniques les plus utilisées sont la détection par ultrasons, les jauges, mais aussi la détection laser (figure II.11).



Figure II.11 : Mesureurs d'épaisseur.

## II.5 Mesure de volume, masse, temps

### II.5.1 Mesure de volume

Le volume correspond à la place prise par une substance qu'elle soit liquide, solide ou gazeuse. L'unité légale de volume est le mètre cube ( $m^3$ ), mais pour les liquides, on utilise couramment une autre unité : le litre (L). Pour mesurer un volume il faut utiliser un appareil de mesure. Il en existe plusieurs.

#### II.5.1.1 Mesure du volume d'un liquide

Pour mesurer le volume d'un liquide, on utilise une éprouvette graduée. On pose l'éprouvette à plat sur la table. On remarque que la surface libre du liquide n'est pas plane ; elle forme un ménisque (la partie courbe de la surface d'un liquide qui apparaît au voisinage de la surface du contenant ou d'un autre objet). On détermine correctement le volume en faisant correspondre le bas du ménisque avec la graduation voulue. Pour lire le volume d'un liquide, il faut placer l'oeil au bas du ménisque (figure II.12-a).

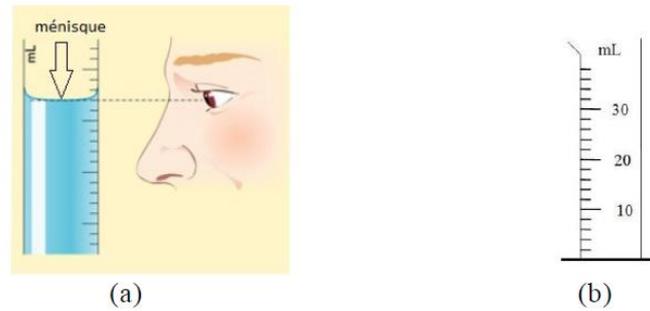


Figure II. 12 : Mesure d'un volume avec une éprouvette graduée.

### Remarques importantes :

- Ne pas oublier de noter le résultat avec son unité. Dans notre cas l'unité est mL.
- Pour effectuer une mesure correcte, il faut toujours commencer par regarder le volume correspondant à l'intervalle entre 2 petites graduations. Pour cela, on choisit deux graduations inscrites sur l'éprouvette : 20mL et 30mL par exemple (figure II.12-b). Puis, on fait la différence entre ces deux graduations : ici 10mL. On regarde ensuite le nombre d'intervalles qu'il y a entre ces deux graduations : ici 5 intervalles. On peut alors déterminer la valeur d'un intervalle : ici  $10\text{mL} \div 5 = 2\text{mL}$ . Donc pour l'éprouvette ci-contre, chaque intervalle représente 2mL.

### II.5.1.2 Mesure du volume d'un solide

Le volume d'un solide se mesure directement par déplacement de liquide ou se calcule à partir d'une formule mathématique.

#### ➤ Mesure du volume d'un solide par déplacement d'eau :

- On met un certain volume d'eau dans une éprouvette graduée (figure II. 13).
- On relève alors le volume  $V_1$  d'eau dans l'éprouvette :  $V_1 = 26\text{mL}$  d'après la figure II.13
- On met ensuite l'objet solide dont on veut connaître le volume dans l'éprouvette.
- Le niveau de l'eau monte et on relève alors le volume  $V_2$  qu'indique l'éprouvette :  $V_2=32\text{mL}$  d'après la figure II.13.
- On peut alors en déduire le volume du solide  $V_S$  grâce au calcul suivant :  $V_S = V_2 - V_1$ .

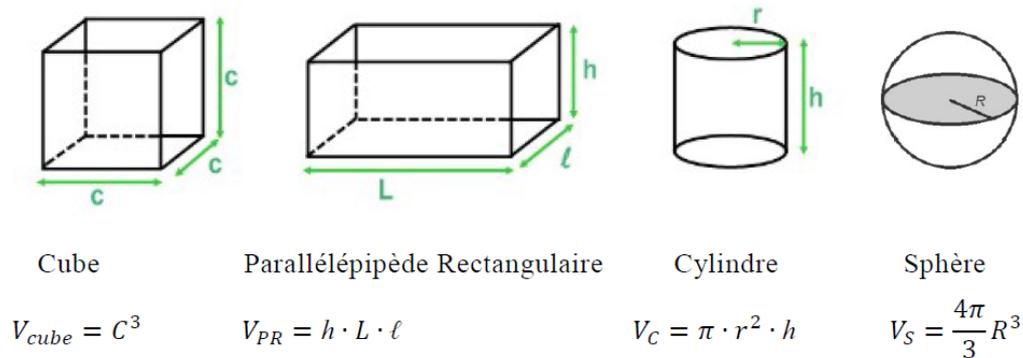
$V_S = 32\text{mL} - 26\text{mL} = 6\text{mL}$  d'après la figure II.13.



Figure II. 13 : Mesure du volume d'un solide par déplacement d'eau.

➤ **Calcul du volume d'un solide régulier :**

On mesure les côtés de l'objet solide à l'aide des instruments de mesure des longueurs puis on utilise des formules mathématiques pour calculer son volume (figure II.14).



**Figure II. 14 :** Calcul du volume de quelques solides réguliers.

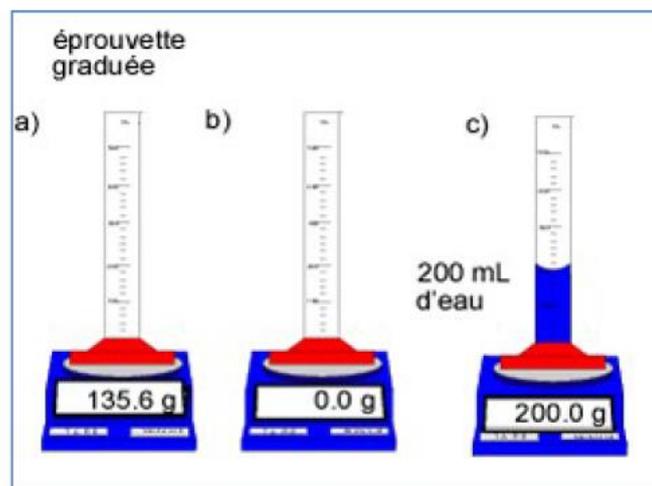
**II.5.2 Mesure de masse**

L'unité légale de la masse dans le système CGS est le gramme et dans le système (SI) est le kilogramme (Kg). Pour mesurer une masse, il faut utiliser une balance.

**II.5.2.1 Mesure de la masse d'un liquide**

**Protocole :** dans un premier temps, le récipient vide est placé sur la balance. Puis on remet la balance à zéro : c'est la tare. On verse ensuite dans le récipient 200 mL d'eau. La masse de ce volume d'eau se lit directement sur la balance (figure II.15). On obtient comme résultat une masse de 200 g, ce qui signifie que 1000 mL =1 litre d'eau correspond à une masse de 1000 g =1Kg ou encore que 1 mL (1 cm<sup>3</sup>) a une masse égale à 1 g. On dit alors que la masse volumique de l'eau est de 1 g/cm<sup>3</sup>.

- ❖ **N.B :** il ne faut pas confondre les notions de masse et de poids : la masse ne dépend que de la quantité de matière alors que le poids dépend de l'attraction terrestre.



**Figure II. 15 :** Mesure de la masse d'un liquide.

### II.5.2.2 Mesure de la masse d'un solide

La masse d'un corps se mesure à l'aide d'une balance (électronique, de Roberval,...). Les instruments de mesures diffèrent par leurs précisions (du gramme au microgramme), leurs domaines d'application (en industrie, en laboratoire, en magasin, dans les établissements scolaires), ou leurs formats respectifs (compactes, portables). On y distingue également des accessoires souvent indispensables associés aux opérations de pesage (masses étalons, poids, terminaux de pesées) (figure II.16).



#### Balance compacte emb-600-2

Prix sur demande

Utilisation très simple - Grand écran LCD 16 mm - Auto-OFF après 3 min - Dimensions : 170 x 240 x 38 mm - Poids : environ 600 g - 4 piles 1,5V AA incluses

AllCat instruments



#### Balance poche + calculatrice - capacité 1 kg / lecture 1 g #0249ke

Prix sur demande

Balance poche + calculatrice - Capacité 1 kg / Lecture 1 g #0249KE Caractéristiques techniques : Balance de poche avec calculatrice, etc. NOUS CONSULTER

IHM-MOINEAU



#### Balances industrielles de précision série 490k

Prix sur demande

SCS (Système de Calibrage Intégré), programmable par cycle de 24h ou automatique, en fonction des écarts de température, - Sortie de données RS232/V24 bidirectionnelle, - Clavier avec date ...

Precisa France



#### Balance ohaus harvard trip - 1450-sd

Prix sur demande

Fonctions spéciales La balance Ohaus Harvard Trip (1450-SD) utilise deux plates-formes selon le principe traditionnel de la Roberval. Les balances Ohaus Harvard Trip disposent d'avantages ...

Ohaus

Figure II. 16 : Différents types de balances.

### II.5.3 Mesure du temps

Les mesures du temps s'effectuent dans le système international en **seconde**. La seconde est la seule unité du système international dont l'usage conserve une référence au système de comptage sexagésimal, possédant des unités dérivées d'ordre supérieur qui sont multiples de 60 (**minute**, **heure**), puis de 24 (**jour**), etc.

Les mesures temporelles regroupent de nombreux appareils qui sont conçus pour déterminer les temps écoulés, pour faire un décompte, pour indiquer l'heure à chaque moment donné, etc. Les mesures temporelles peuvent être des appareils mécaniques, électriques ou électroniques. Parmi les appareils ou les équipements de mesures temporelles, il y a les chronomètres, les sabliers, les compteurs horaires, les horloges à fonction réveils, les horloges numériques, les horloges à aiguilles... Afin d'optimiser le bon fonctionnement de ces appareils, il existe aussi différents accessoires pour horloges (figure II.17).



#### Chronomètres de précision a aiguilles double protection

Prix sur demande

Robustes et économiques 2 fonctions : - Mise en marche et arrêt par la couronne avec fonction addition. - Remise à zéro par poussoir latéral. Deux modèles 1/5ème et 1/10ème de seconde. ...

VWR International



#### Chronomètre avec cumul

Prix sur demande

1/100 seconde avec cumul. - Comptage 23h 59mn 59s - Dimensions : 78x65x25 mm - Affichage: gros chiffres de 10 mm - Structure Anti-chocs, Etanche à l'eau - Livré avec pile et bandoulière.

AllCat instruments



#### Réveil électronique - solaire #9871t

Prix sur demande

Réveil électronique - Solaire #9871T Caractéristiques techniques : Horloge (12/24h) / Calendrier, Alarme snooze / 5 langues, etc. NOUS CONSULTER

IHM-MOINEAU



PHYWE Compteur universel



PHYWE Chronomètre 2-1



PHYWE Chronomètre 4-4

Figure II. 17 : Différents types de mesureurs de temps.

## II.6 Mesure des grandeurs électriques

La mesure joue un rôle de plus en plus important dans les domaines électriques et électroniques. On mesure avec pour but la vérification expérimentale d'un circuit, la modélisation, la mise au point ou le dépannage d'un montage, la certification d'un procédé ou d'un produit, dans le domaine industriel et la maintenance ou la réparation d'un dispositif électrique ou électronique. Dans le domaine électrique et électronique, on utilise plusieurs types d'appareils de mesure, tels que les voltmètres pour mesurer des tensions, les ampèremètres pour mesurer des intensités, les wattmètres pour mesurer des puissances et les ohmmètres pour mesurer des résistances etc.

### II.6.1 Les grandeurs électriques et leurs unités de base dans le système SI

Les principales grandeurs électriques sont les suivants :

- La tension ou différence de potentiel (ddp) entre deux points,
- L'intensité d'un courant dans une branche,
- La résistance d'un récepteur,
- La capacité d'un condensateur,
- La puissance dissipée dans un circuit,
- La fréquence et la période d'un signal.

Les grandeurs électriques et leurs unités de base dans le système international (SI) sont données par les tableaux suivants :

**Tableau II. 1** : Grandeurs électriques et leurs unités de base.

Grandeur	Symbole	Unité	Symbole	Appareil de mesure
Tension	U	Volt	V	Voltmètre
Intensité	I	Ampère	A	Ampèremètre
Puissance	P	Watt	W	Wattmètre
Résistance	R	Ohm	W	Ohmmètre
Capacité	C	Farad	F	Capacimètre
Inductance	L	Henry	H	Henry mètre
Période	T	Seconde	S	Période mètre
Fréquence	F	Hertz	Hz	Fréquencemètre

### II.6.2 Méthodes de mesure

Pour mesurer une grandeur, on doit le comparer à une autre grandeur ayant la même unité. Les méthodes principales de mesure sont :

#### II.6.2.1 Méthode directe

On détermine la valeur de la grandeur mesurée directement de l'appareil de mesure. Par exemple : le courant I est mesuré directement par un ampèremètre.

### II.6.2.2 Méthode indirecte

Les déviations de plusieurs appareils de mesure permettent de déterminer la valeur inconnue. En effet, on mesure les grandeurs inconnues par l'application de certaines lois physiques. Par exemple : la valeur d'une résistance est déterminée par la mesure de la tension et du courant qui la traverse et l'application de la loi d'Ohm.

### II.6.2.3 Appareils de mesure

La mesure reste bien souvent, le seul moyen de vérifier le fonctionnement ou les performances d'un procédé industriel, grâce à des appareils de mesure très performants. Dans le domaine électrique et électronique, on utilise plusieurs types d'appareils de mesure, tels que (figure II. 18) :

- Le voltmètre pour mesurer des tensions,
- L'ampèremètre pour mesurer des intensités,
- L'ohmmètre pour mesurer des résistances,
- Le wattmètre pour mesurer des puissances,
- L'oscilloscope pour visualiser la forme d'une onde et d'obtenir de nombreux renseignements (amplitude, période...).

Le voltmètre, ampèremètre, et ohmmètre sont généralement regroupés en un seul appareil qui s'appelle multimètre.

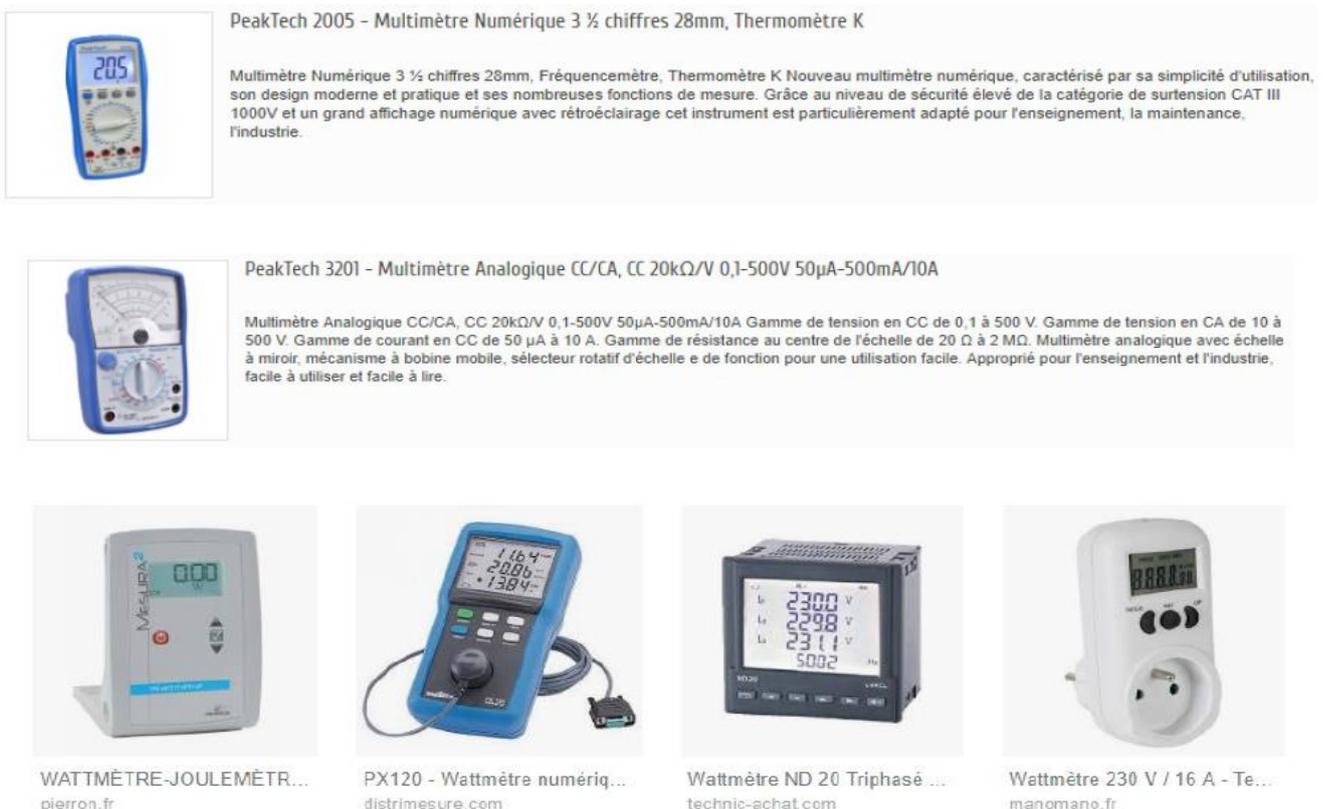


Figure II. 18 : Différents types de mesureurs électriques.

## II.7 Mesure des grandeurs thermiques

Les mesures de température sont essentielles à de nombreux domaines et applications de l'industrie, du secteur de la santé de l'environnement...etc.

### II.7.1 Les échelles de température

La plus ancienne est l'échelle centésimale (1742), attribuant arbitrairement les valeurs 0 et 100 degrés à la glace fondante et à l'eau bouillante respectivement sous la pression atmosphérique normale. L'échelle Celsius, définie à partir de l'échelle Kelvin est donnée par :

$$T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15 \quad (\text{II.1})$$

Cette dernière échelle (Kelvin) qui est celle du système international, ne dépend d'aucun phénomène particulier et définit donc des températures absolues (figure II.19).

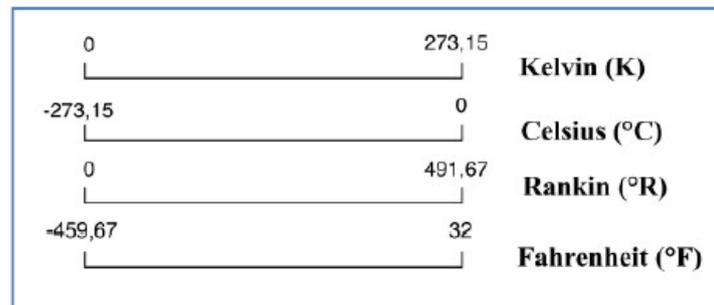


Figure II. 19 : Echelles de température.

### II.7.2 Thermomètres

Un thermomètre est un appareil qui permet de mesurer ainsi qu'à afficher la valeur des températures. La mesure des températures peut être fondée sur la dilatation et la pression des corps, ou toute autre propriété physique (variations électriques dans le cas du thermocouple) qui fluctue selon la température. Ce principe général est mis en application de façons particulièrement diverses selon les besoins. Les thermomètres à liquide usuels sont les thermomètres à mercure et les thermomètres à alcool. Les applications des thermomètres sont multiples, en météorologie, en médecine, en cuisine etc. (figure II.20).



Figure II. 20 : Différents types de thermomètres.

### II.7.3 Thermocouples

En physique, les thermocouples sont utilisés pour la mesure de températures. Ils permettent la mesure dans une grande gamme de températures. Leur principal défaut est leur précision : il est relativement difficile d'obtenir des mesures avec une erreur inférieure à 0,1 - 0,2 °C. La mesure de température par des thermocouples est basée sur l'effet Seebeck.

#### II.7.3.1 Phénomènes thermoélectriques

Dans un circuit fermé constitué de deux conducteurs de nature différente, il circule un courant lorsqu'une différence de température entre les deux jonctions est maintenue (figure II.21).

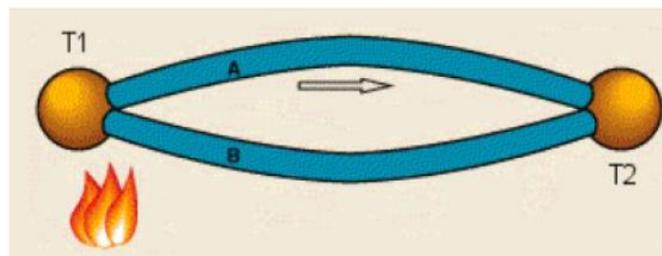


Figure II. 21 : Circuit thermocouple fermé et chauffé.

Ce phénomène est en relation avec les trois effets thermoélectriques dans les métaux :

➤ **Effet Seebeck :**

Thomas Johann Seebeck (1770-1831) est le premier à avoir mis en évidence les effets thermoélectriques de production de courants qui se manifestent dans un circuit constitué de deux métaux différents dont les deux soudures se trouvent à des températures différentes.

➤ **L'effet Peltier :**

Jean Charles Athanase Peltier, physicien français (1785-1845) est connu pour sa découverte en 1834 par l'effet Peltier : à la jonction entre deux conducteurs A et B différents, mais à même température T, apparaît une force électromotrice qui ne dépend que de la nature de A et B ; c'est la force électromotrice PELTIER (figure II. 22).

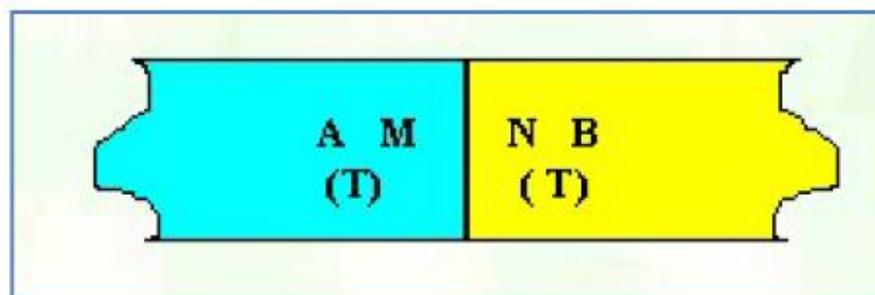


Figure II. 22 : L'effet Peltier.

➤ **L'effet Thomson :**

L'effet Thomson se rapporte à la production ou à l'absorption de chaleur provoquée par le passage d'un courant dans une portion de conducteur, en présence d'une différence de température entre les extrémités du tronçon (figure II.23).

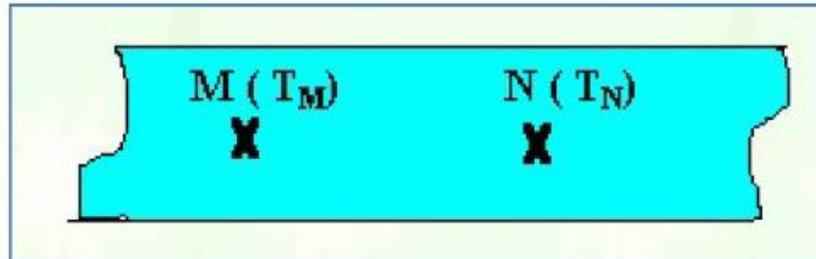


Figure II. 23 : L'effet Thomson.

**II.7.3.2 Principe de fonctionnement**

Si on réunit à une extrémité de deux fils métalliques de natures différentes et que l'on augmente la température de cette extrémité, il apparaît une tension  $e_{AB}$  aux extrémités restées libres (figure II. 24).

Il est possible de déterminer la température de l'extrémité chauffée à partir de la mesure de la tension  $e_{AB}$ .

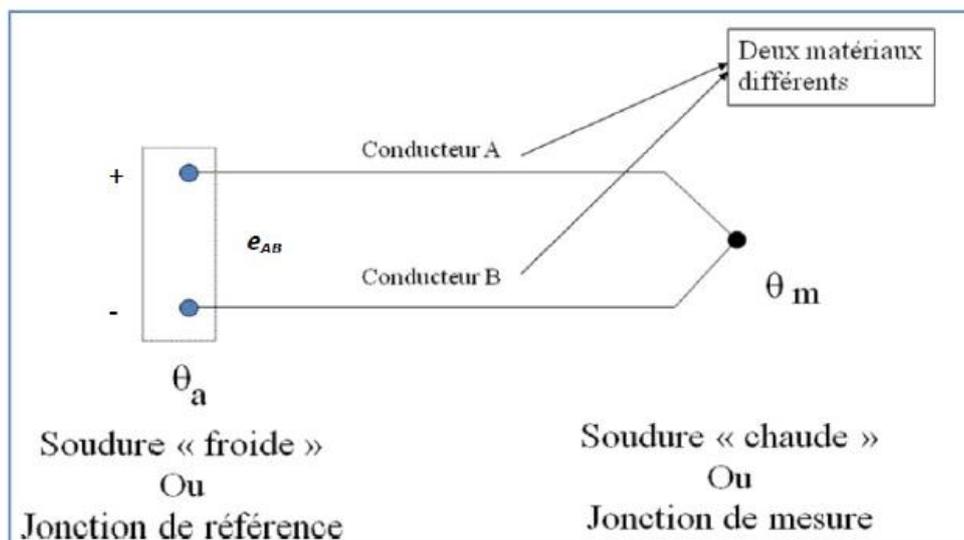


Figure II. 24 : Principe de fonctionnement d'un thermocouple.

On appelle :

- **Soudure chaude** : Jonction de l'ensemble thermocouple soumis à la température à mesurer : c'est la jonction Capteur.
- **Soudure froide** : Jonction de l'ensemble thermocouple maintenu à une température connue ou à 0 °C : c'est la jonction Référence.

### II.7.3.3 Différents types de thermocouples

Le prix et le domaine d'utilisation d'un thermocouple dépendent des deux métaux utilisés. A chaque couple de métaux, on associe une lettre normalisée (tableau II. 2).

**Tableau II. 2 :** Désignations correspondant aux principaux thermocouples utilisés dans l'industrie.

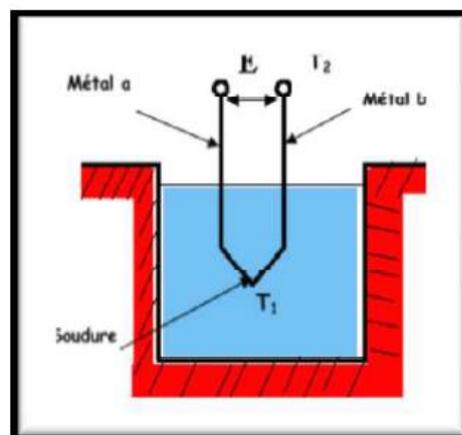
Type	Métal A(+)	Métal B(+)	Plages utilisation	Coef. Seebeck $a(\mu V/^\circ C)$	Erreur standard
<i>J</i>	<i>Fer</i>	<i>Constantan</i>	-40 à +750 °C	50.38 $\mu V/^\circ C$ à 0°C	2.2% à 0.75%
<i>K</i>	<i>Chromel</i>	<i>Alumel</i>	-40 à +1200 °C	39.45 $\mu V/^\circ C$ à 0°C	2.2% à 0.75%
<i>S</i>	<i>Platine 10% Rhodium</i>	<i>Platine</i>	0 à +1600 °C	10.21 $\mu V/^\circ C$ à 600°C	1.5% à 0.25%
<i>T</i>	<i>Cuivre</i>	<i>Constantan</i>	-40 à +350 °C	38.75 $\mu V/^\circ C$ à 0°C	1% à 0.75%

#### Remarques :

- **Constantan** : alliage nickel + cuivre,
- **Chromel** : alliage nickel + chrome,
- **Alumel** : alliage nickel + aluminium (5%) + silicium.

### II.7.3.4 Principe de mesure

Les deux métaux a et b, de natures différentes, sont reliés par deux jonctions (formant ainsi un thermocouple) aux températures  $T_1$  et  $T_2$  (figure II.25).



**Figure II. 25 :** Principe d'une mesure par un thermocouple.

Par effet Seebeck, le thermocouple génère une différence de potentiel qui dépend de la différence de température entre les jonctions,  $T_e = T_1 - T_2$ . La mesure de température est donc une mesure indirecte, puisque les thermocouples mesurent en fait une différence de potentiel électrique. Pour mesurer une température inconnue, l'une des deux jonctions doit être maintenue à une température connue, par exemple celle de la glace fondante (0 °C).