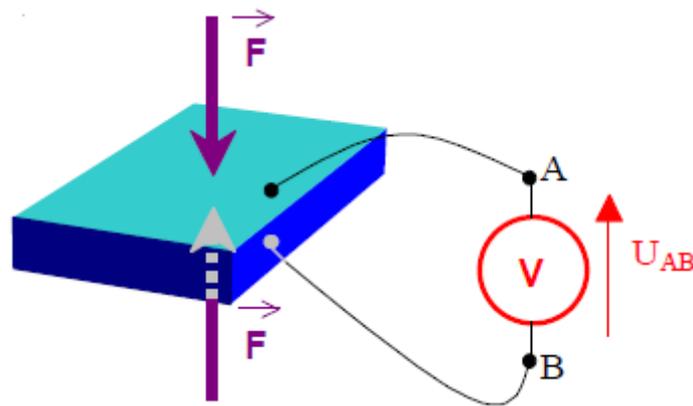


## Chapitre 3 : quelques types de capteurs

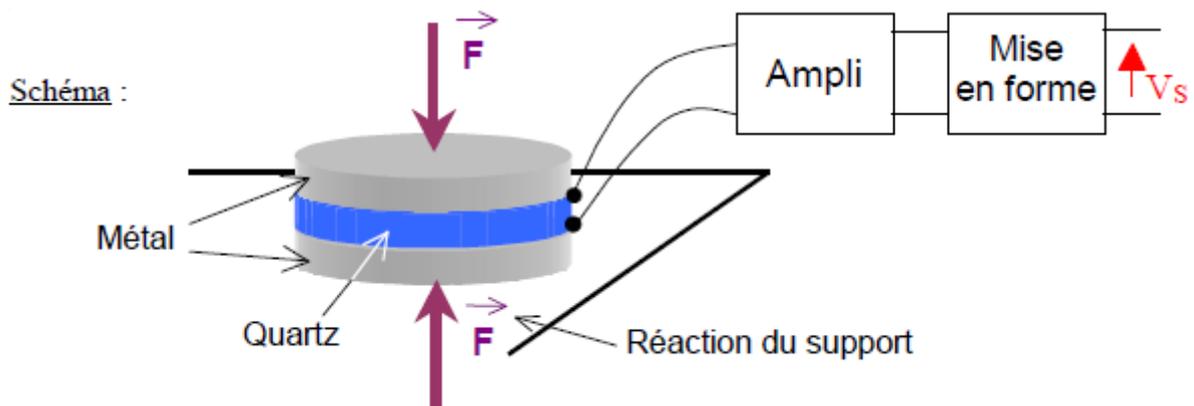
### 1- CAPTEURS À EFFET PIÉZOÉLECTRIQUE

#### a- Effet piézoélectrique

Une force appliquée à une lame de quartz induit une déformation qui donne naissance à une tension électrique.



#### b- Capteur de force



La tension  $V_S$  de sortie sera proportionnelle à la force  $F$  :  $V_S = k.(F+F) = 2k.F$  avec  $k$  constante.

#### c- Capteur de pression

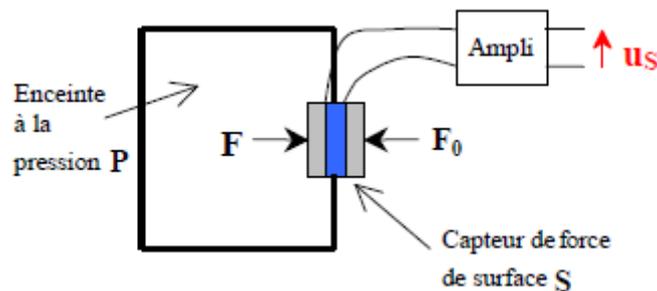
Définition : Lorsqu'un corps (gaz, liquide ou solide ) exerce une force  $F$  sur une paroi  $S$  (surface); on peut définir la pression  $P$  exercée par ce corps avec la relation ci-dessous :

$$\boxed{P = \frac{F}{S}} \text{ avec les unités : } 1\text{Pascal} = \frac{1\text{Newton}}{1\text{m}^2} \text{ ou } 1\text{Pa} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2}.$$

On rappelle que  $1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$ .

Unités :  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100\,000 \text{ N/m}^2 \approx 10\,000 \text{ kg/m}^2 \approx 1 \text{ kg/cm}^2$

Le capteur de force est inséré dans la paroi d'une enceinte où règne une pression  $P$ .  
 Une face du capteur est soumise à la force  $F$  (pression  $P$ ) et l'autre face est soumise à la force  $F_0$  (pression extérieure  $P_0$ ).

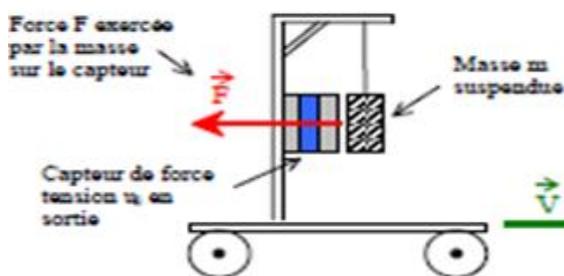


On a  $F = P.S$  ;  $F_0 = P_0.S$  et  $u_S = k.(F+F_0)$  ( capteur de force,  $k = \text{constante}$  ).

Donc  $u_S = k.S ( P + P_0 ) = k' ( P + P_0 ) \Rightarrow u_S = k' ( P + P_0 )$  .

Il s'agit ici d'un capteur de pression qui mesure la somme de la pression extérieure  $P_0$  et de la pression de l'enceinte  $P$ .

#### 4- 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.

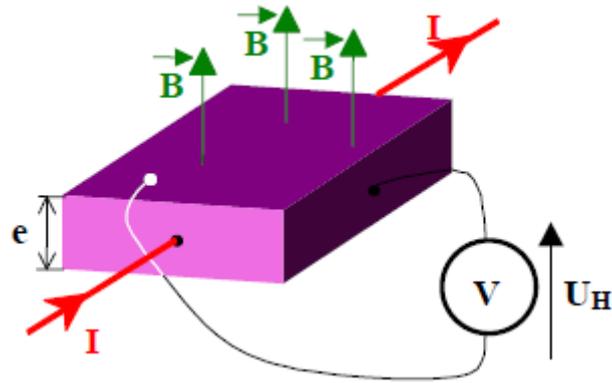
On a donc :  
 $F = m.a$  mais  $u_S = 2k.F$

donc  $\boxed{u_S = 2k m a}$

## 2- CAPTEURS À EFFET HALL

### a- L'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 :

$$U_H = R_H \frac{IB}{e}$$

avec : **RH** : constante de Hall ( dépend du semi-conducteur )

**I** : intensité de la source de courant (A)

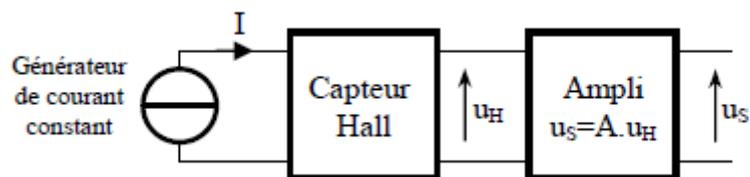
**B** : intensité du champ magnétique (T)

**e** : épaisseur du barreau de silicium.

Si on maintient le **courant I constant**, on a donc une tension **UH proportionnelle au champ magnétique B** :  $U_H = k \cdot B$  avec k constante égale à  $R_H \cdot I/e$

### b- Capteur de champ magnétique

La structure typique d'un capteur de champ magnétique est la suivante :



La sensibilité de ce capteur pourra être ajustée en agissant sur **I** et sur **A**.

### 3- CAPTEURS À EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

#### a- L'effet photoélectrique

Un semi-conducteur est un matériau pauvre en porteurs de charges électriques (isolant). Lorsqu'un photon d'énergie suffisante excite un atome du matériau, celui-ci libère plus facilement un électron qui participera à la conduction.

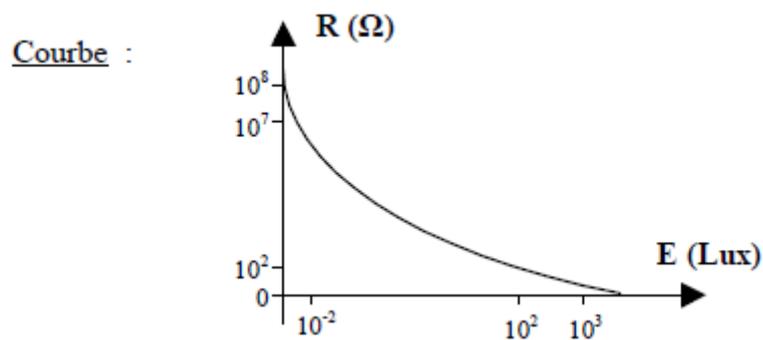
#### b- Les photorésistances

Une photorésistance est une résistance dont la valeur varie en fonction du flux lumineux qu'elle reçoit.

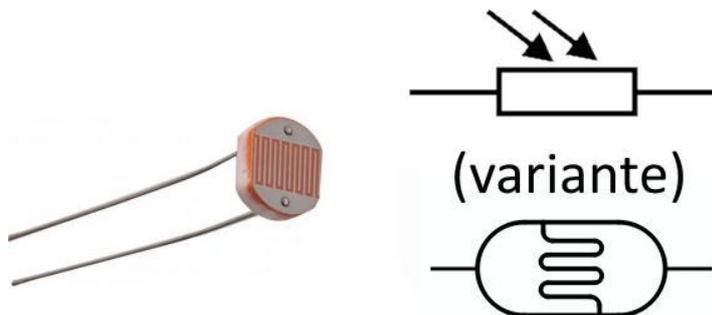
- Exemple : Obscurité  $\otimes$   $R_0 = 20 \text{ M}\Omega$  ( 0 lux )

Lumière naturelle  $\otimes$   $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$  ( 500 lux )

Lumière intense  $\otimes$   $R_2 = 100 \Omega$  ( 10000 lux ).



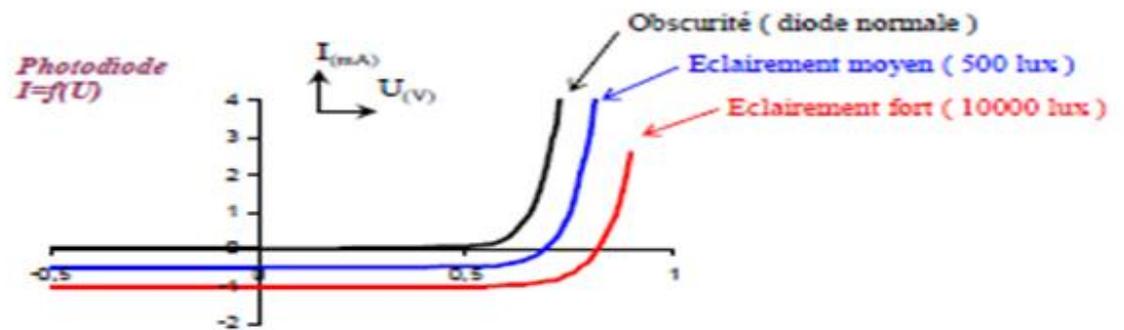
- Avantages : - bonne sensibilité
  - faible coût et robustesse.
- Inconvénients : - temps de réponse élevé
  - sensible à la chaleur.
- Utilisation : détection des changements obscurité-lumière ( éclairage public ).



### c- Les photodiodes

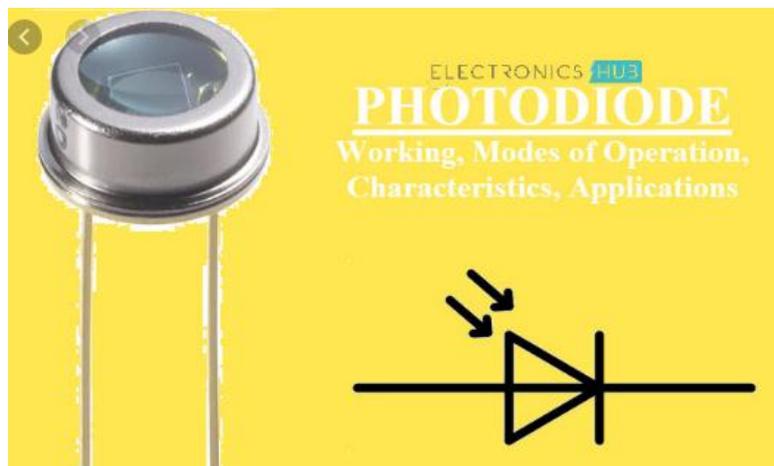
Une photodiode est une diode dont la jonction PN peut être soumise à un éclairement lumineux.

- Courbe : Le graphe  $I = f(U)$  pour une photodiode dépend de l'éclairement ( Lux ) de la jonction PN.



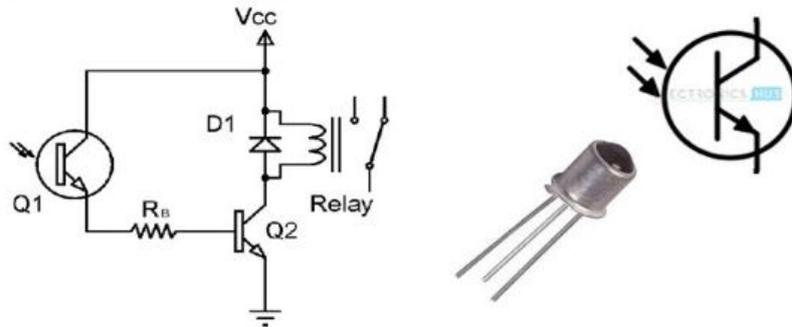
On constate que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter en générateur ( $I = 0 \Rightarrow U = 0,7V$  pour 1000lux ). On a donc affaire à une photopile (effet photovoltaïque).

- Avantages :
  - bonne sensibilité
  - faible temps de réponse (bande passante élevée).
- Inconvénients :
  - coût plus élevé qu'une photorésistance
  - nécessite un circuit de polarisation précis.



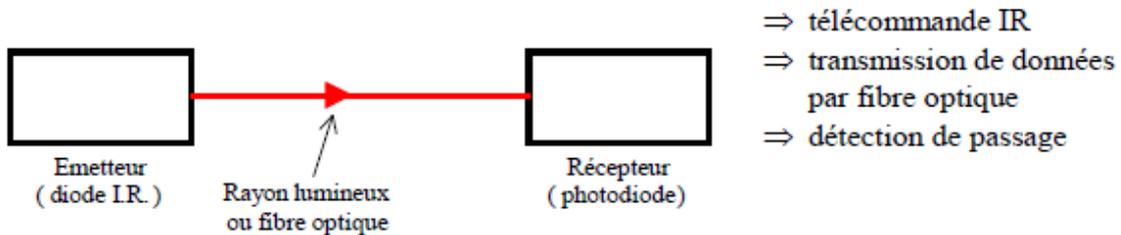
# PHOTOTRANSISTOR

Principle of Operation, Characteristics, Applications

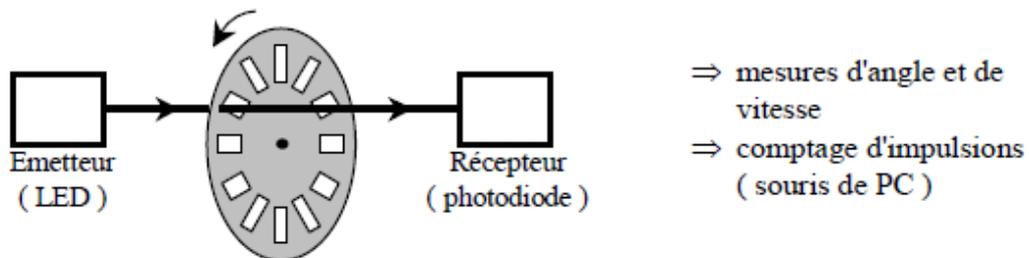


Utilisations :

Transmission de données



② Roue codeuse

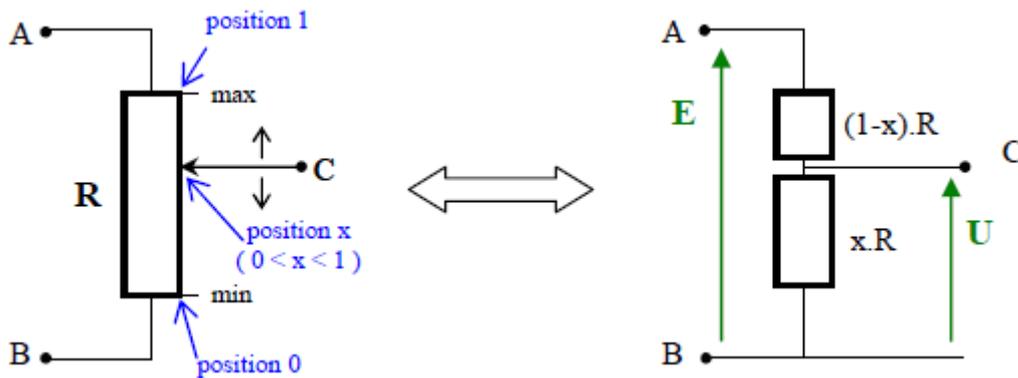


## 4- CAPTEURS À RÉSISTANCE VARIABLE PAR DÉFORMATION

### a- Capteurs potentiométriques de déplacement

a.1- Principe

Pour mesurer la position d'un objet, il suffit de le relier mécaniquement au curseur C d'un potentiomètre (schéma ci-dessous).



On applique une tension continue  $E$  entre les extrémités A et B du potentiomètre. La tension

$$U = E \frac{x.R}{R} = x.E$$

U en sortie aura l'expression suivante :

La tension U en sortie est donc proportionnelle à la position x du curseur.

- Avantages

- simplicité d'utilisation
- faible coût.

- Inconvénient

- usure mécanique (utilisation déconseillée dans les asservissements très dynamiques)

a.2- Utilisations

- Mesures de déplacements rectilignes (potentiomètre rectiligne).
- Mesures d'angles de rotations (potentiomètre rotatif monotour ou mutitour).

## b- Capteurs à jauges d'extensiométrie

b.1- Principe

La résistance d'un conducteur est donnée par la relation :

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

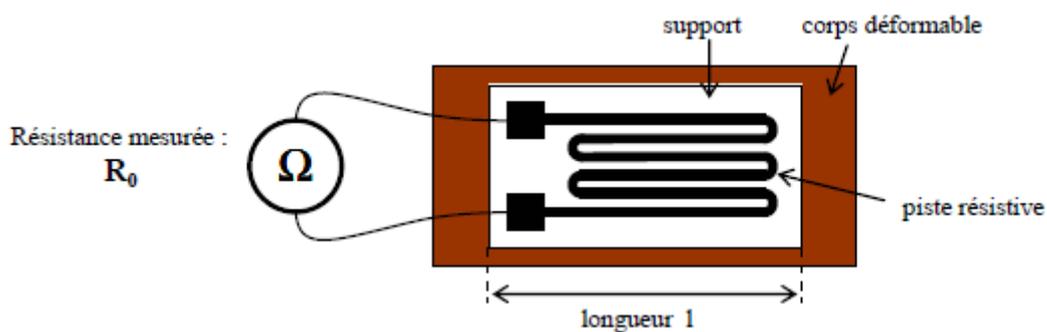
résistivité  
 $\Omega.m$ 
longueur  
m
surface  
 $m^2$

La déformation du conducteur (jauge) modifie la longueur  $l$  entraînant une variation de la résistance  $R$ .

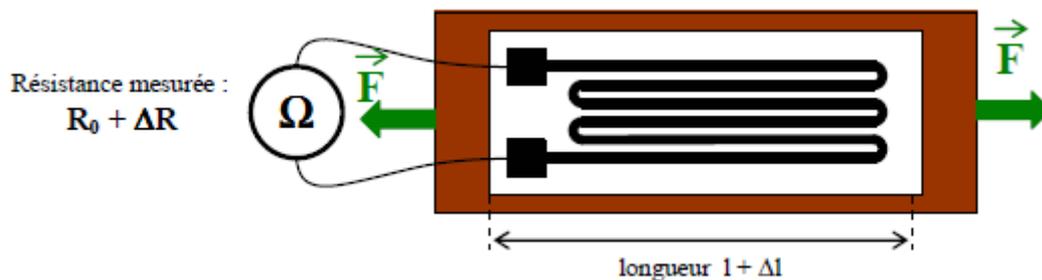
### b.2- Fonctionnement d'une jauge simple

La jauge est constituée d'une piste résistive collée sur un support en résine. Le tout est collé sur le corps dont on veut mesurer la déformation.

#### - Corps au repos (pas d'allongement)



#### - Corps ayant subi un étirement (effort de traction)

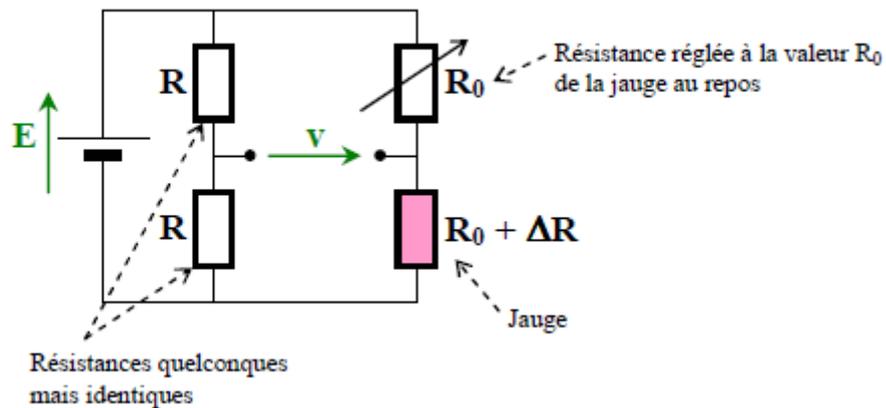


Remarque : Dans le cas d'une contraction, la résistance de la jauge serait  $R_0 - \Delta R$ .

### b.3- Conditionneur de signal (pont de Wheatstone)

La jauge étant un composant purement résistif, il faut l'associer à un circuit électrique pour obtenir une tension image de la déformation.

Le circuit souvent utilisé est appelé "pont de Wheatstone". Il est ici constitué d'un générateur de tension associé à 4 résistances dont une est la jauge (schéma ci-dessous) :



La tension de sortie  $v$  du pont à l'expression suivante :

$$v = E \left[ \frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + R_0 + \Delta R} - \frac{R}{R + R} \right] = E \left[ \frac{R_0 + \Delta R}{2R_0 + \Delta R} - \frac{1}{2} \right] = E \left[ \frac{2R_0 + 2\Delta R - 2R_0 - \Delta R}{4R_0 + 2\Delta R} \right]$$

$$\Rightarrow v = E \frac{\Delta R}{4R_0 + \Delta R}$$

En général, la variation  $\Delta R$  est petite devant  $R_0$ ; la relation se simplifie alors pour devenir quasi-linéaire :

$$v \approx E \frac{\Delta R}{4R_0}$$

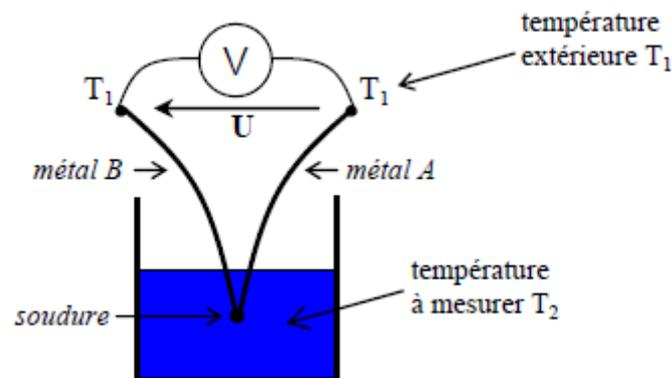
Remarque :

On peut améliorer la sensibilité et la linéarité du dispositif en utilisant un pont à 2 résistances et 2 jauges symétriques  $R_0 + \Delta R$  et  $R_0 - \Delta R$ .

Il est même possible d'utiliser un pont à 4 jauges symétriques pour avoir une parfaite linéarité.

## 5- CAPTEURS DE TEMPÉRATURE

### a. Thermomètre à thermocouple



On constate que si la température  $T_2$  est différente de  $T_1$  alors il apparaît une tension  $U$  aux bornes des deux fils soumis à la température  $T_1$ .

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).

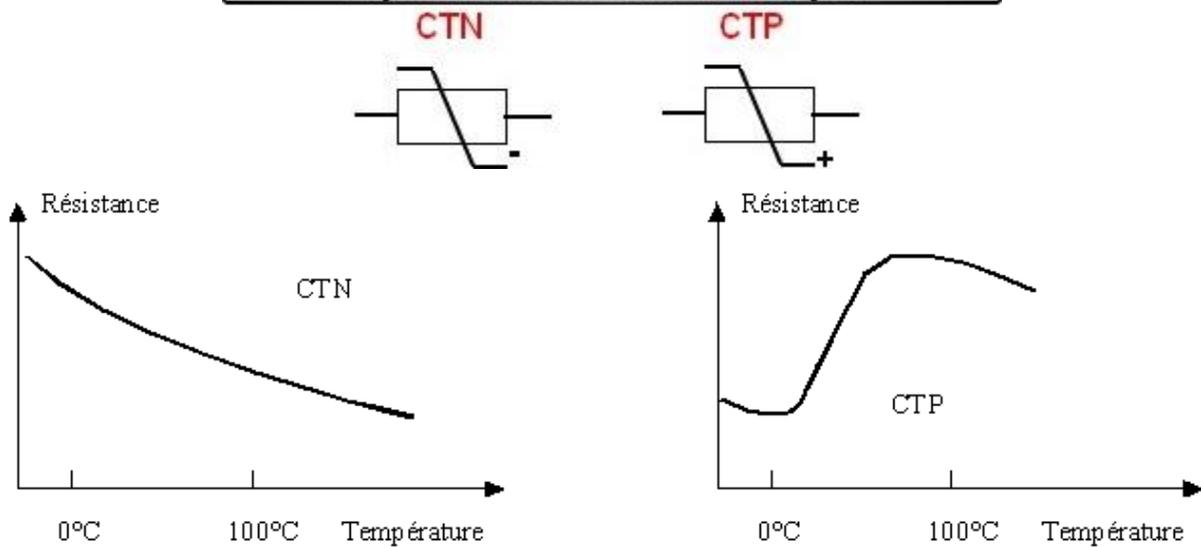
Application : Mesure des hautes températures ( 900 ° 1300°C ).

### b. thermistances

Les thermistances, comme *les capteurs de température* à résistance (**RTD**), sont des semi-conducteurs *thermosensibles* (sensible à la température) dont la résistance varie avec la température. Les thermistances sont constituées d'un matériau semi-conducteur d'oxyde métallique encapsulé dans une petite bille d'époxy ou de verre. En outre, les thermistances présentent généralement des valeurs de résistance nominale plus élevées que les **RTD** (de 2 000 à 10 000  $\Omega$ ) et peuvent être utilisées pour de plus faibles courants.



## Représentation schématique



Les **CTN** (*Coefficient de Température Négatif*, en **anglais** *NTC, Negative Temperature Coefficient*) sont des thermistances dont la résistance diminue de façon uniforme quand la température augmente et *vice-versa*.

Les (Coefficient de Température Positif, en anglais *PTC, Positive Temperature Coefficient*) sont des thermistances dont la résistance augmente avec la température.

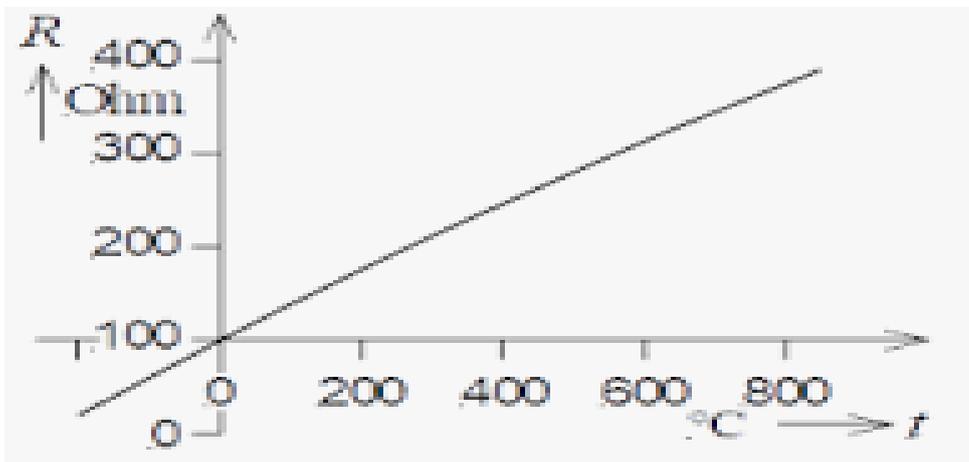
Les CTP peuvent être utilisées :

- comme **détecteur de température**, pour protéger des composants (moteurs, transformateurs) contre une élévation excessive de la température ;

### c. Sonde Pt100

Une sonde Pt100 est un type de capteurs de température aussi appelé RTD (détecteur de température à résistance) qui est fabriqué à partir de platine. L'élément Pt100 a une résistance de 100 ohms à 0 °C, et il est de loin le capteur Pt100 le plus utilisé. Le capteur Pt500 a une résistance de 500 ohms à 0 °C, et le capteur Pt1000 a une résistance de 1000 ohms à 0 °C. Normalement, ces capteurs sont équipés d'une gaine de protection ou de montage pour former une sonde de température, et ceux-ci sont couramment appelés des PRT (thermomètre à résistance de platine) ou des sondes Pt100. Comparativement aux thermocouples, ils présentent les avantages suivants :

1. Grande plage de températures de  $-200\text{ °C}$  à  $850\text{ °C}$
2. Courbe caractéristique quasi linéaire
3. Précision élevée



## 6. Capteur d'humidité

Il existe des capteurs d'humidité (ou hygromètres) capacitifs et des sondes d'humidité (ou hygromètres) résistives.

Une sonde capacitive joue sur la sensibilité à l'humidité relative de l'air ambiant de la constante diélectrique de matériaux tels que l'alumine -- ou l'oxyde d'aluminium -- ou parfois de polymères. Au cœur du système donc, un condensateur dont la capacité varie en fonction de l'humidité. La sensibilité de ce type d'instrument est de l'ordre de 3 % et sa plage de mesure est large.

Un capteur résistif, quant à lui, joue sur la sensibilité à l'humidité de la résistivité de certains matériaux, le chlorure de lithium par exemple. Ce dernier présente, en effet, une résistance élevée lorsqu'il est sec et une résistance faible lorsqu'il est humide. L'ennui, c'est que ce type de sonde ne fonctionne que sur une plage d'humidité réduite. Attention

également aux résistances de matériaux qui peuvent parallèlement varier avec la température.