

## ACQUISITION D'UNE GRANDEUR PHYSIQUE ( Capteurs )

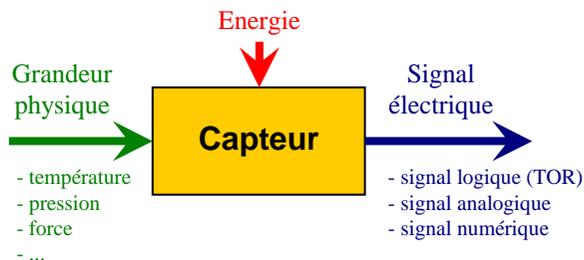
### I- GÉNÉRALITÉS

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité, ...).

Le capteur est l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques.

#### 1- Définitions

**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.



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

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

**Sensibilité** : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.  
*Exemple* : Le capteur de température LM35 a une sensibilité de  $10\text{mV} / ^\circ\text{C}$ .

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

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

### 2- Éléments de métrologie (définitions)

**Le mesurage** : C'est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.

**La mesure (x)** : C'est l'évaluation d'une grandeur par comparaison avec une autre grandeur de même nature prise pour unité.  
*Exemple* : 2 mètres, 400 grammes, 6 secondes.

**La grandeur (X)** : Paramètre qui doit être contrôlé lors de l'élaboration d'un produit ou de son transfert.  
*Exemple* : pression, température, niveau.  
On effectue des mesures pour connaître la valeur instantanée et l'évolution de certaines grandeurs. Renseignements sur l'état et l'évolution d'un phénomène physique, chimique, industriel.

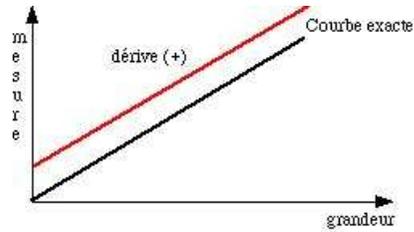
**L'incertitude (dx)** : Le résultat de la mesure x d'une grandeur X n'est pas complètement défini par un seul nombre. Il faut au moins la caractériser par un couple (x, dx) et une unité de mesure. dx est l'incertitude sur x. Les incertitudes proviennent des différentes erreurs liées à la mesure.  
Ainsi, on a :  $x - dx < X < x + dx$   
*Exemple* :  $3\text{ cm} \pm 10\%$ , ou  $3\text{ cm} \pm 3\text{ mm}$ .

**Erreur absolue (e)** : Résultat d'un mesurage moins la valeur vraie du mesurande. Une erreur absolue s'exprime dans l'unité de la mesure.  
 $e = x - X$   
*Exemple* : Une erreur de 10 cm sur une mesure de distance.

**Erreur relative (e<sub>r</sub>)** : Rapport de l'erreur de mesure à une valeur vraie de mesurande. Une erreur relative s'exprime généralement en pourcentage de la grandeur mesurée.  
 $e_r = e/X$  ;  $e_{r\%} = 100 e_r$   
*Exemple* : Une erreur de 10 % sur une mesure de distance (10 % de la distance réelle).

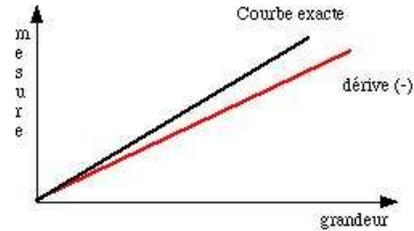
### 3- Les types d'erreurs classiques

#### ■ L'erreur de zéro (offset)



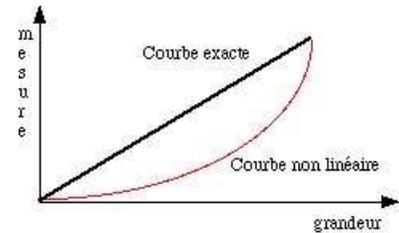
#### ■ L'erreur d'échelle (gain)

C'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée.



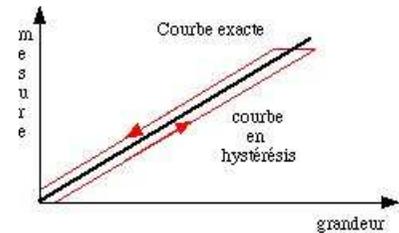
#### ■ L'erreur de linéarité

La caractéristique n'est pas une droite.



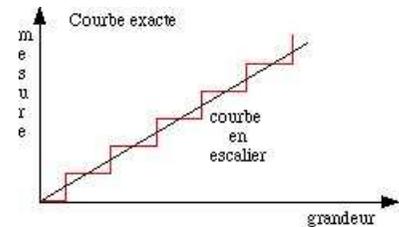
#### ■ L'erreur due au phénomène d'hystérésis

Il y a phénomène d'hystérésis lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente mesure.



#### ■ L'erreur de quantification

La caractéristique est en escalier, cette erreur est souvent due à une numérisation du signal.



### 4- Le système d'unités internationales et ses symboles

Grandeur		Unité	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
<i>Unités de base</i>			
Longueur	l	mètre	m
Masse	m	kilogramme	Kg
Temps	t	seconde	s
Courant électrique	i	ampère	A
Température	T	kelvin	K
Quantité de matière		mole	mol
Intensité lumineuse	I	candela	cd
<i>Unités complémentaires</i>			
Angle plan		radian	rad
Angle solide		stéradian	Sr
<i>Unités dérivées</i>			
Aire ou superficie	A, S	mètre carré	m <sup>2</sup>
Volume	V	mètre cube	m <sup>3</sup>
Fréquence	f	hertz	Hz
Vitesse	v	mètre par seconde	m/s
Force	F	newton	N
Moment d'une force	T	mètre-newton	mN
Tension - ddp	U	volt	V
Force électromotrice	E	volt	V
Résistance	R	ohm	Ω
Réactance	X	ohm	Ω
Impédance	Z	ohm	Ω
Résistivité	ρ	ohm-mètre	Ω.m
Capacité	C	farad	F
Permittivité	ε	farad par mètre	F/m
Perméabilité	μ	henry par mètre	H/m
Champ électrique	E	volt par mètre	V/m
Flux lumineux		lumen	lm
Eclairement	E	lux	lx
Longueur d'onde	λ	mètre	m
Quant. de rayonn.		roentgen	R
Vitesse angulaire	ω	radian par seconde	rad/s

Accélération linéaire	<b>g</b>	mètre par seconde <sup>2</sup>	<b>m/s<sup>2</sup></b>
Accélération angulaire		radian par seconde <sup>2</sup>	<b>rad/s<sup>2</sup></b>
Energie - Travail	<b>W</b>	joule	<b>J</b>
Puissance	<b>P</b>	watt	<b>Watt</b>
Pression - Contrainte	<b>P</b>	pascal	<b>Pa</b>
Quantité de chaleur	<b>Q</b>	joule	<b>J</b>
Quantité d'électricité	<b>Q</b>	coulomb	<b>C</b>
Energie	<b>W</b>	joule	<b>J</b>
Puissance active	<b>P</b>	watt	<b>W</b>
Puissance apparente	<b>S</b>	volt-ampère	<b>VA</b>
Puissance réactive	<b>Q</b>	volt-ampère-réactif	<b>VAR</b>
Inductance	<b>L</b>	henry	<b>H</b>
Champ magnétique	<b>H</b>	ampère par mètre	<b>A/m</b>
Induction magnétique	<b>B</b>	tesla	<b>T</b>
Flux d'induction	<b>Φ</b>	weber	<b>Wb</b>
Luminance	<b>L</b>	candela par m <sup>2</sup>	<b>Cd/m<sup>2</sup></b>
Transmission		décibel	<b>dB</b>
Activité nucléaire	<b>A</b>	curie	<b>Bq</b>

### 5- Liens entre les unités S.I. et celles employées dans d'autres pays (USA)

- Distances :
- pouce (inch) : 1 in. = 2,54 cm
  - pied (foot) : 1 ft = 12 in = 30,48 cm
  - mile (miles) = 5280 ft = 1,609 km

- Volume :
- pinte (pint) = 0,568 l
  - gallon (US gallon) : 1 USgal = 4 pintes = 3,786 l
  - baril (US barrel) : 1 bbi = 42 USgal = 159 l

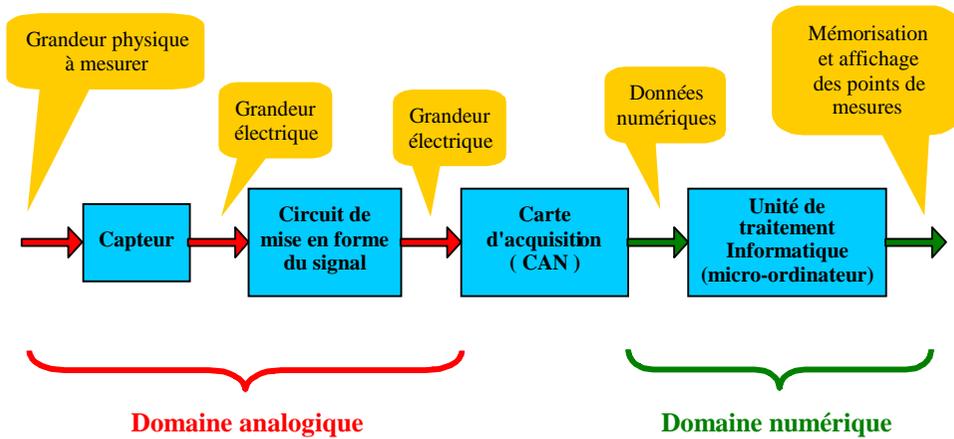
- Masse :
- once (ounce) : 1 oz = 28,35 g
  - livre (pound) : 1 lb = 0,454 kg

- Puissance :
- cheval vapeur (horsepower) : 1 hp = 0,746 kW.

### 6- Formation des multiples et sous multiples des unités

10 <sup>N</sup>	Préfixe	Symbole	Nombre
10 <sup>100</sup>	googol	?	?
10 <sup>24</sup>	yotta	Y	Quadrillion
10 <sup>21</sup>	zetta	Z	Trilliard
10 <sup>18</sup>	exa	E	Trillion
10 <sup>15</sup>	péta	P	Billiard
10 <sup>12</sup>	téra	T	Billion
10 <sup>9</sup>	giga	G	Milliard
10 <sup>6</sup>	méga	M	Million
10 <sup>3</sup>	kilo	k	Mille
10 <sup>2</sup>	hecto	h	Cent
10 <sup>1</sup>	déca	da	Dix
10 <sup>0</sup>	unité	–	Un, une
10 <sup>-1</sup>	déci	d	Dixième
10 <sup>-2</sup>	centi	c	Centième
10 <sup>-3</sup>	milli	m	Millième
10 <sup>-6</sup>	micro	μ	Millionième
10 <sup>-9</sup>	nano	n	Milliardième
10 <sup>-12</sup>	pico	p	Billionième
10 <sup>-15</sup>	femto	f	Billiardième
10 <sup>-18</sup>	atto	a	Trillionième
10 <sup>-21</sup>	zepto	z	Trilliardième
10 <sup>-24</sup>	yocto	y	Quadrillionième

## 7- Caractéristiques d'une chaîne de mesure informatisée



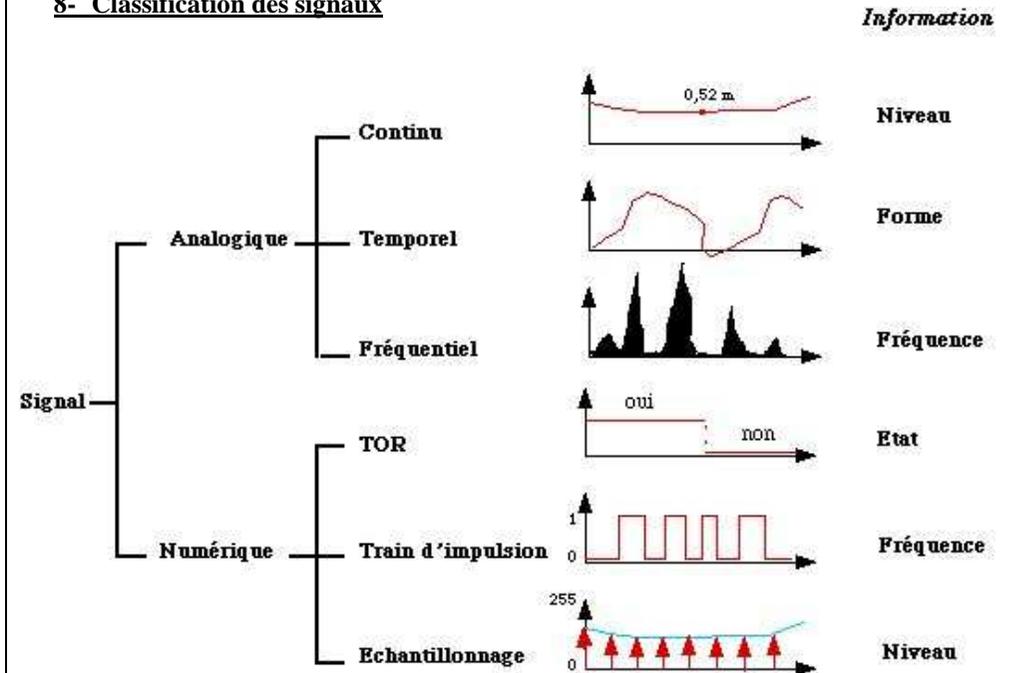
La structure de base d'une chaîne de mesure comprend au minimum quatre étapes :

- Un capteur sensible aux variations d'une grandeur physique et qui, à partir de ces variations, délivre un signal électrique.
- Un conditionneur de signal dont le rôle principal est l'amplification du signal délivré par le capteur pour lui donner un niveau compatible avec l'unité de numérisation; cet étage peut parfois intégrer un filtre qui réduit les perturbations présentes sur le signal.
- Une unité de numérisation qui va échantillonner le signal à intervalles réguliers et affecter un nombre (image de la tension) à chaque point d'échantillonnage.
- L'unité de traitement informatique peut exploiter les mesures qui sont maintenant une suite de nombres (enregistrement, affichage de courbes, traitements Mathématiques, transmissions des données ...).

De nos jours, compte tenu des possibilités offertes par l'électronique et l'informatique, les capteurs délivrent un signal électrique et la quasi-totalité des chaînes de mesure sont des chaînes électroniques et informatiques.

Certains capteurs, par exemple le thermomètre DALLAS DS1621, délivrent directement un mot binaire, image de la température, en leur sortie. Ils intègrent, dans un seul boîtier (DIL 08) le capteur + le circuit de mise en forme + le CAN.

## 8- Classification des signaux



Un signal est dit analogique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant peut prendre une **infinité** de valeurs dans un intervalle donné.

- **Signal continu :** C'est un signal qui varie 'lentement' dans le temps : température, débit, niveau.
- **Forme :** C'est la forme de ce signal qui est importante : pression cardiaque, chromatographie, impact.
- **Fréquentiel :** C'est le spectre fréquentiel qui transporte l'information désirée : analyse vocale, sonar, spectrographie.

Un signal est dit numérique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant ne peut prendre qu'un nombre **fini** de valeurs. En général ce nombre fini de valeurs est une puissance de 2.

- **Tout ou rien (TOR) :** Il informe sur l'état bivalent d'un système.  
*Exemple : une vanne ouverte ou fermée.*
- **Train d'impulsion :** Chaque impulsion est l'image d'un changement d'état. Exemple : un codeur incrémental donne un nombre fini et connu d'impulsion par tour.
- **Echantillonnage :** C'est l'image numérique d'un signal analogique.  
*Exemple : température, débit, niveau, son (pression)...*

## II- LES DIFFÉRENTES FAMILLES DE CAPTEURS

Si l'on s'intéresse aux phénomènes physiques mis en jeu dans les capteurs, on peut classer ces derniers en deux catégories.

### 1- Capteurs actifs

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

Les effets physique les plus classiques sont :

- **Effet thermoélectrique :** Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures T1 et T2, est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique  $e(T1, T2)$ .
- **Effet piézo-électrique :** L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.
- **Effet d'induction électromagnétique :** La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).
- **Effet photo-électrique :** La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique.
- **Effet Hall :** Un champ magnétique B et un courant électrique I créent dans le matériau une différence de potentiel  $U_H$ .
- **Effet photovoltaïque :** Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes.

Grandeur physique mesurée	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Photo-émission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photo-électrique	Tension
Force	Piézo-électricité	Charge électrique
Pression		
Accélération	Induction électromagnétique	Tension
Vitesse		
Position (Aimant)	Effet Hall	Tension
Courant		

### 2- Capteurs passifs

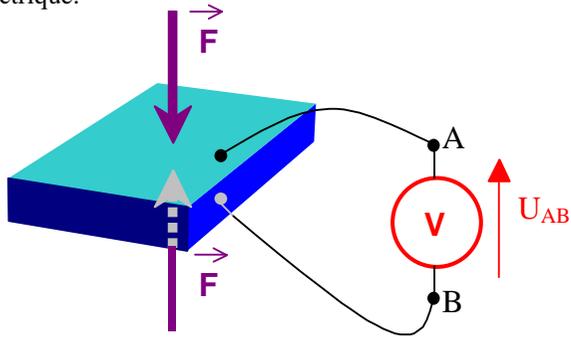
Il s'agit généralement d'**impédance** dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :  
 Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance 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'extensomètre liée à une structure déformable).

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique sensible	Type de matériau utilisé
Température	Résistivité	Métaux : platine, nickel, cuivre ...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de Nickel, silicium dopé
	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants : bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

### III- CAPTEURS À EFFET PIÉZOÉLECTRIQUE

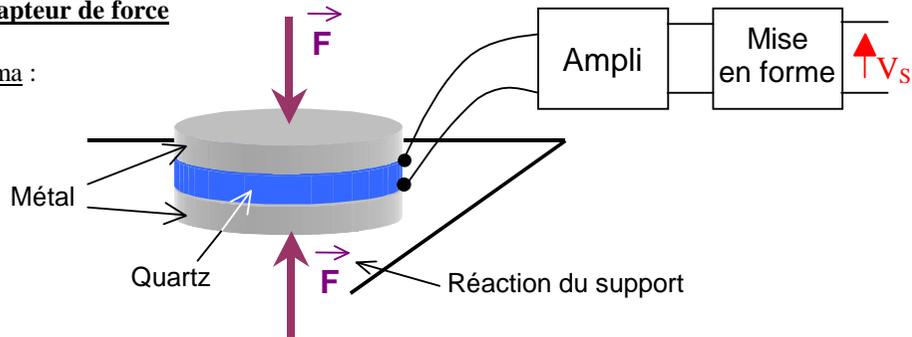
#### 1- Effet piézoélectrique

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



#### 2- Capteur de force

Schéma :



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

#### 3- Capteur de pression

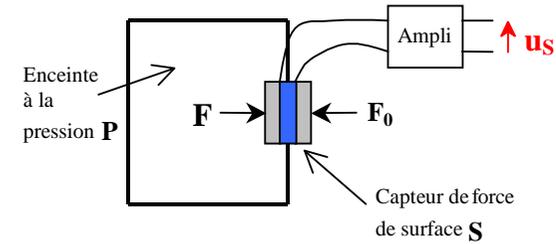
**Définition** : Lorsqu'un corps (gaz, liquide ou solide) exerce une force  $F$  sur une paroi  $S$  (surface); on peut définir la pression  $P$  exercée par ce corps avec la relation ci-dessous :

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

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

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

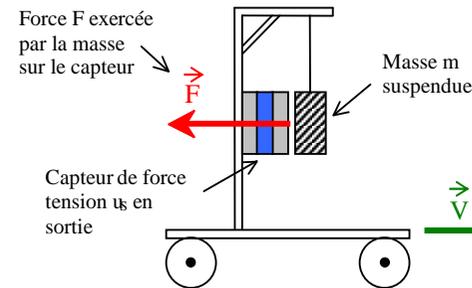
Le capteur de force est inséré dans la paroi d'une enceinte où règne une pression  $P$ . Une face du capteur est soumise à la force  $F$  (pression  $P$ ) et l'autre face est soumise à la force  $F_0$  (pression extérieure  $P_0$ ).



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

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

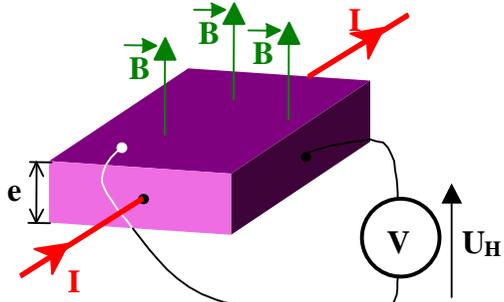
#### 5- Récepteur à ultrason

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.

## IV- CAPTEURS À EFFET HALL

### 1- 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 :

$$U_H = R_H \frac{I \cdot B}{e} \quad \text{avec : } R_H : \text{constante de Hall ( dépend du semi-conducteur )}$$

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

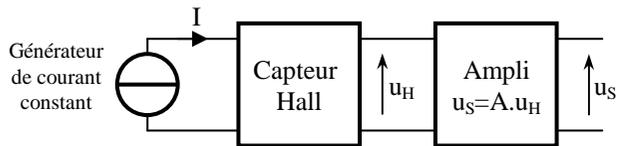
$B$  : intensité du champ magnétique (T)

$e$  : épaisseur du barreau de silicium.

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

### 2- 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- Autres applications

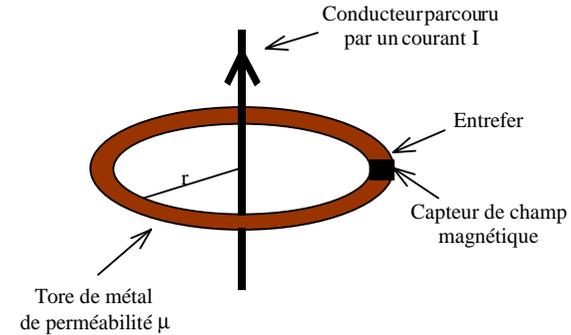
#### ■ Capteur de proximité

Capteur de champ magnétique



Le capteur détecte l'approche de l'aimant placé au préalable sur un objet.

#### ■ Mesure de l'intensité d'un courant électrique sans "ouvrir" le circuit



Le courant  $I$  crée un champ magnétique proportionnel à ce courant :  $B = \frac{\mu}{2\pi r} I$ .

Le capteur donne une tension  $U_S = k \cdot B = k' \cdot I$  avec  $k$  et  $k'$  constantes.

C'est le principe des pinces ampèremétriques (mesure de forts courants de 1000A et plus).

#### Avantages :

- plus de détérioration des ampèremètres "classiques".
- pas de danger car le fil reste isolé (pas besoin d'ouvrir le circuit).
- rapidité d'intervention.

# V- CAPTEURS À EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

## 1- L'effet photoélectrique

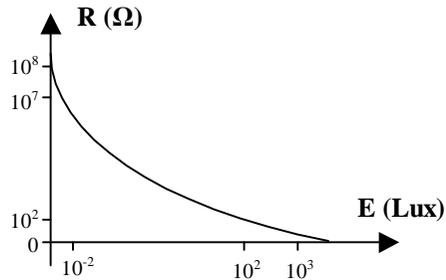
Un semi-conducteur est un matériau pauvre en porteurs de charges électriques (isolant). Lorsqu'un photon d'énergie suffisante excite un atome du matériau, celui-ci libère plus facilement un électron qui participera à la conduction.

## 2- Les photorésistances

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

- Exemple : Obscurité →  $R_0 = 20 \text{ M}\Omega$  ( 0 lux )
- Lumière naturelle →  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$  ( 500 lux )
- Lumière intense →  $R_2 = 100 \Omega$  ( 10000 lux ).

Courbe :

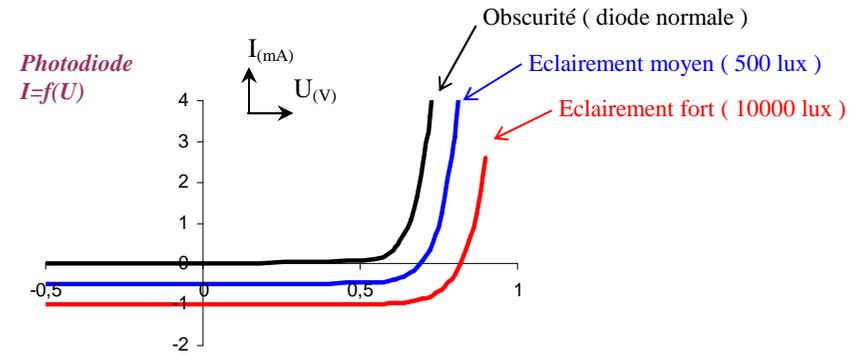


- Avantages :
  - bonne sensibilité
  - faible coût et robustesse.
- Inconvénients :
  - temps de réponse élevé
  - bande passante étroite
  - sensible à la chaleur.
- Utilisation : détection des changements obscurité-lumière ( éclairage public ).

## 3- Les photodiodes

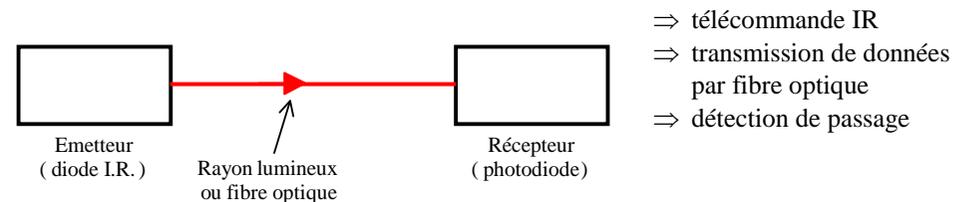
Une photodiode est une diode dont la jonction PN peut être soumise à un éclairage lumineux.

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

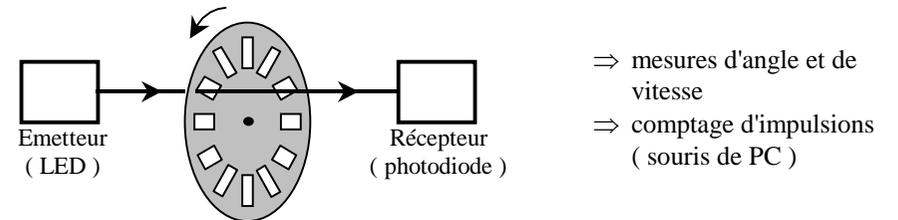


On constate que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter en générateur ( $I = 0 \Rightarrow U \approx 0,7V$  pour 1000lux ). On a donc affaire à une photopile (effet photovoltaïque).

- Avantages :
  - bonne sensibilité
  - faible temps de réponse (bande passante élevée).
- Inconvénients :
  - coût plus élevé qu'une photorésistance
  - nécessite un circuit de polarisation précis.
- Utilisations :
  - ① Transmission de données



### ② Roue codeuse

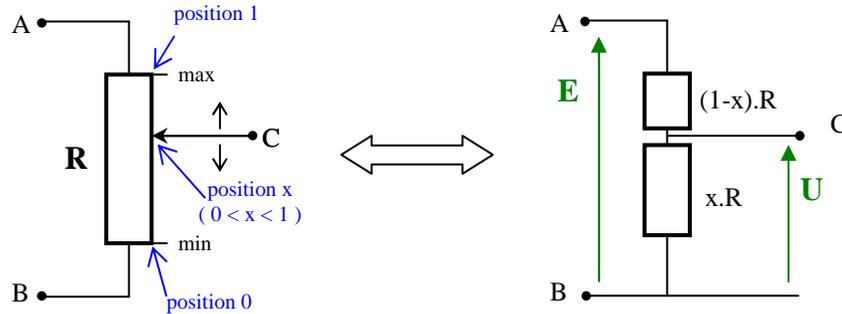


## VI- CAPTEURS À RÉSISTANCE VARIABLE PAR DÉFORMATION

### 1- Capteurs potentiométriques de déplacement

#### a- 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 en sortie aura l'expression suivante : 
$$U = E \frac{x.R}{R} = x.E$$

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

#### ■ Avantages

- simplicité d'utilisation
- faible coût.

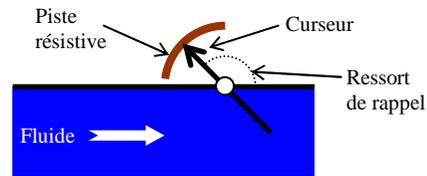
#### ■ Inconvénient

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

#### b- Utilisations

- ① Mesures de déplacements rectilignes (potentiomètre rectiligne).
- ② Mesures d'angles de rotations (potentiomètre rotatif monotour ou mutitour).
- ③ Mesure de débit de fluide :

Le débit du fluide exerce une force sur un clapet relié au curseur d'un potentiomètre. La tension en sortie du potentiomètre augmente avec la vitesse d'écoulement.



### 2- Capteurs à jauges d'extensiométrie

#### a- Principe

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

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

Labels:  $\rho$  (résistivité  $\Omega.m$ ),  $l$  (longueur m),  $S$  (surface  $m^2$ )

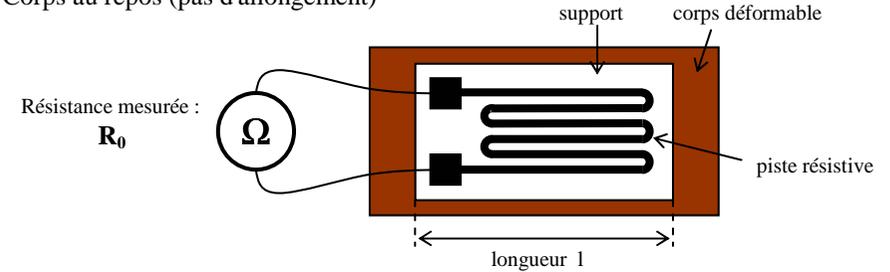
La déformation du conducteur (jauge) modifie la longueur l entraînant une variation de la résistance R.

La relation générale pour les jauges est 
$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \frac{\Delta l}{l}$$
 où K est le facteur de jauge.

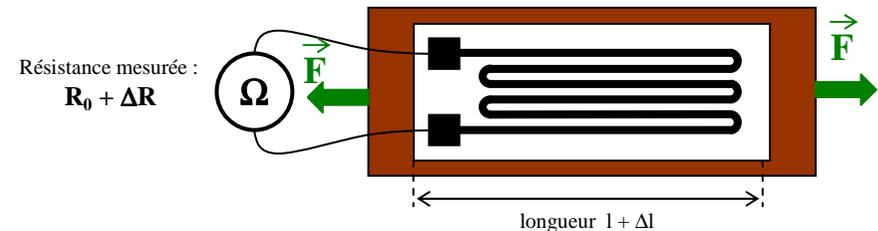
#### b- Fonctionnement d'une jauge simple

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.

##### ① Corps au repos (pas d'allongement)



##### ② Corps ayant subi un étirement (effort de traction)

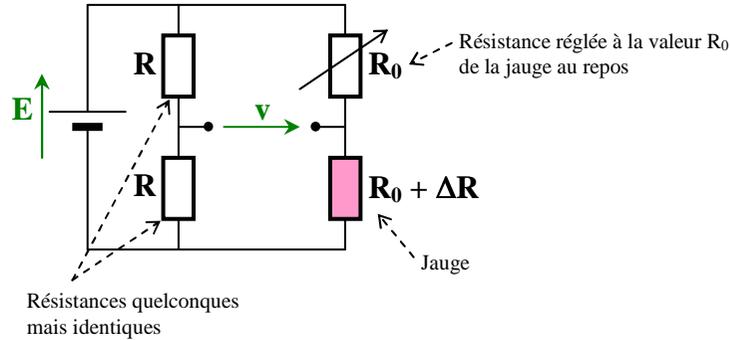


Remarque : Dans le cas d'une contraction, la résistance de la jauge serait  $R_0 - \Delta R$ .

### c- 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 a 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

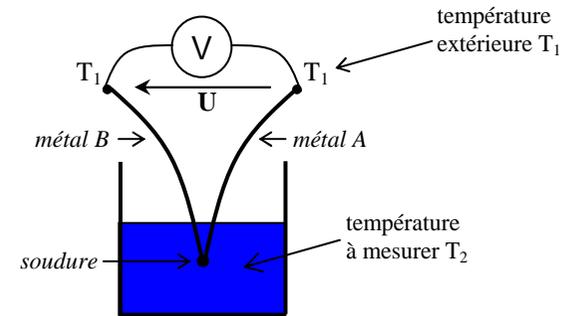
quasi-linéaire :

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

**Remarque** ① : 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.

## VII- CAPTEURS DE TEMPÉRATURE

### 1- 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 ).

### 2- Thermistance

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 :

$$R_\theta = R_0 ( 1 + a\theta )$$

$R_\theta$  est la résistance à la température  $\theta$

$R_0$  est la résistance à la température  $0^\circ\text{C}$

$a$  est le coefficient de température.

**Remarque** : si  $a > 0$  alors on a une thermistance CTP (  $R \nearrow$  quand  $\theta \nearrow$  )  
si  $a < 0$  alors on a une thermistance CTN (  $R \searrow$  quand  $\theta \nearrow$  ).

**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  $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ , on obtient  $V = k \cdot \theta$ .

On peut aussi alimenter la thermistance avec un générateur de courant. La tension à ses bornes sera donc proportionnelle à la résistance.

### 3- Capteurs à sortie numérique directe

On trouve actuellement sur le marché, des capteurs de température à sortie numérique directe de type série. Il s'agit notamment des capteurs *DALLAS* qui sont classés en deux catégories :

#### a- Les capteurs à sortie I2C ( 2 fils ) DS1621

Ce capteur DS1621 peut mesurer une température variant de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $125^{\circ}\text{C}$  avec une précision de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Pour transmettre la mesure ( 9 bits ), il utilise la norme I2C qui consiste à transmettre en série les bits de mesure sur la ligne SDA en synchronisation avec la ligne SCL ( horloge ).

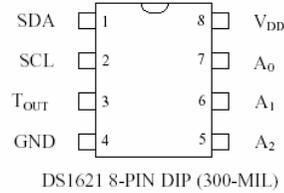


Table 2. TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIPS

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	01111101 00000000	7D00h
+25°C	00011001 00000000	1900h
+½°C	00000000 10000000	0080h
+0°C	00000000 00000000	0000h
-½°C	11111111 10000000	FF80h
-25°C	11100111 00000000	E700h
-55°C	11001001 00000000	C900h

Le DS1621 possède aussi d'autres fonctions :

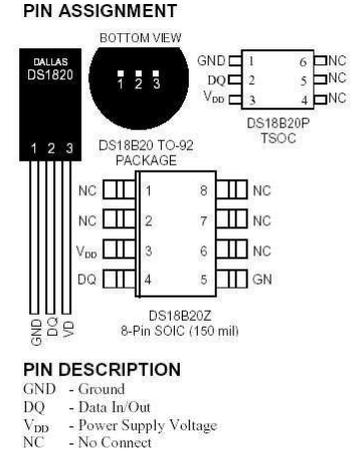
- Il est adressable physiquement sur 3 bits (A0, A1 et A2), ce qui permet d'en utiliser 8 sur la même ligne SDA-SCL.
- Il possède une fonction thermostat qui permet de commander un chauffage (températures TH et TL) par l'intermédiaire de la ligne T<sub>OUT</sub> même lorsque le capteur est déconnecté du matériel informatique.

#### b- Les capteurs 1 Wire ou i-button ( 1 fil ) DS1820

Ce capteur DS1820 peut mesurer une température variant de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $125^{\circ}\text{C}$  avec une précision maximale de  $0,25^{\circ}\text{C}$ .

Pour transmettre la mesure ( résolution réglable de 9 à 12 bits ), il utilise la norme i-button qui consiste à transmettre en série sur un seul fil, le résultat de la mesure.

La ligne VD peut être connectée à la masse GND et la ligne DQ supportera à la fois l'alimentation et la transmission des données, d'où l'appellation 1 Wire. Il suffit donc de deux fils (DQ et GND) pour alimenter et communiquer avec ce capteur.



TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h*
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FF6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

\*The power on reset register value is +85°C.

Le DS1621 possède aussi d'autres fonctions :

- Il est doté d'une adresse (numéro de série) affectée en usine et définitive. Elle est codée sur 8 octets ce qui permet d'utiliser, en théorie, un très grand nombre de DS1820 sur la même ligne.
- Une alarme de température peut être paramétrée et la consultation de celle-ci se fait par lecture d'une zone mémoire (adresse – donnée).

## RÉCAPITULATIF

- Un capteur transforme généralement une grandeur physique en une grandeur électrique.
- La relation *grandeur physique*  $\leftrightarrow$  *grandeur électrique* est souvent linéaire.
- Les capteurs résistifs sont souvent utilisés de deux façons :
  - alimentés à courant constant (tension proportionnelle à la résistance)
  - placés dans un pont de jauge (tension quasi-proportionnelle à la résistance).
- On trouve de plus en plus des capteurs à sortie numérique directe.

**Remarque** : Il est important de connaître les principes des phénomènes physiques liés aux capteurs.