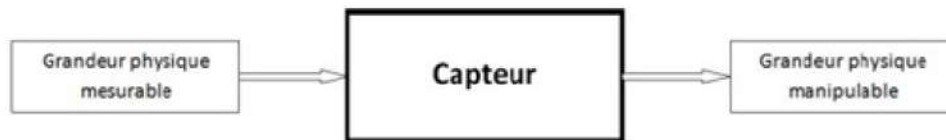


Chapitre1 : Généralité sur les capteurs conventionnels

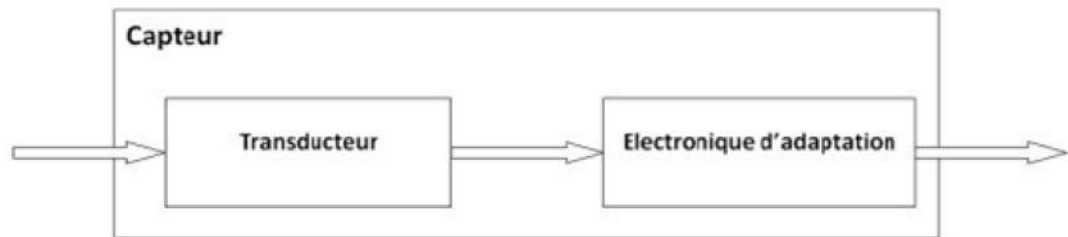
I. GÉNÉRALITÉS

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité, ...). Comme le capteur est l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques, Il est donc important de connaître les principes des phénomènes physiques liés aux différents types de capteurs.

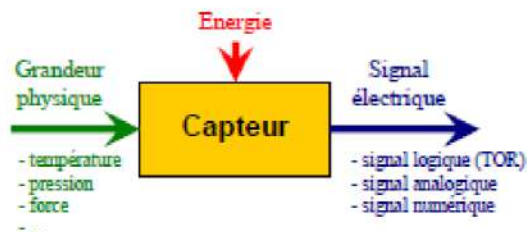


1. Définitions

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.

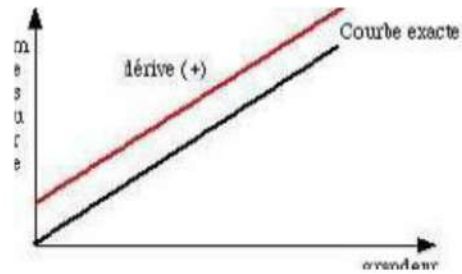
Sensibilité : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Exemple : Le capteur de température LM35 a une sensibilité de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

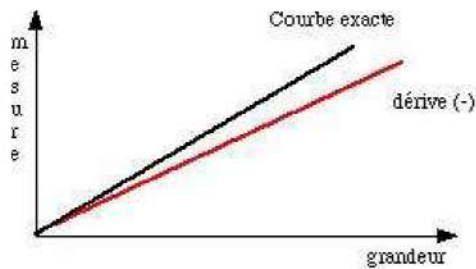
Exemple : Une erreur de 10 % sur une mesure de distance (10 % de la distance réelle).

3. Les types d'erreurs classiques

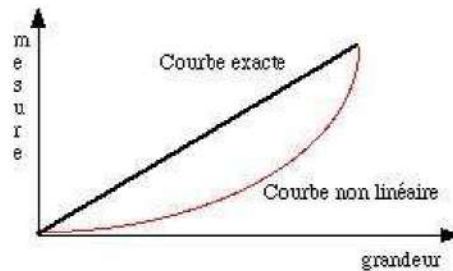
- L'erreur de zéro (offset)



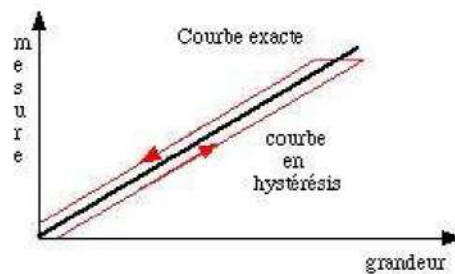
- L'erreur d'échelle (gain) : C'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée.



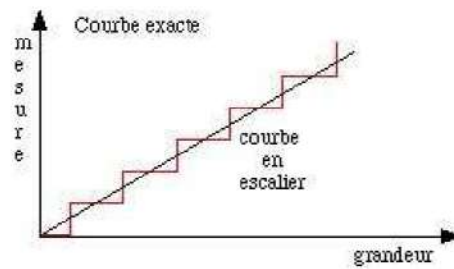
- L'erreur de linéarité : La caractéristique n'est pas une droite.



- L'erreur due au phénomène d'hystérésis : Il y a un 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 ²
Volume	V	mètre cube	m ³
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	g	mètre par seconde ²	m/s²
Accélération angulaire		radian par seconde ²	rad/s²
Energie - Travail	W	joule	J
Puissance	P	watt	Watt
Pression - Contrainte	P	pascal	Pa
Quantité de chaleur	Q	joule	J
Quantité d'électricité	Q	coulomb	C
Energie	W	joule	J
Puissance active	P	watt	W
Puissance apparente	S	volt-ampère	VA
Puissance réactive	Q	volt-ampère-réactif	VAR
Inductance	L	henry	H
Champ magnétique	H	ampère par mètre	A/m
Induction magnétique	B	tesla	T
Flux d'induction	Φ	weber	Wb
Luminance	L	candela par m ²	Cd/m²
Transmission		décibel	dB
Activité nucléaire	A	curie	Bq

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

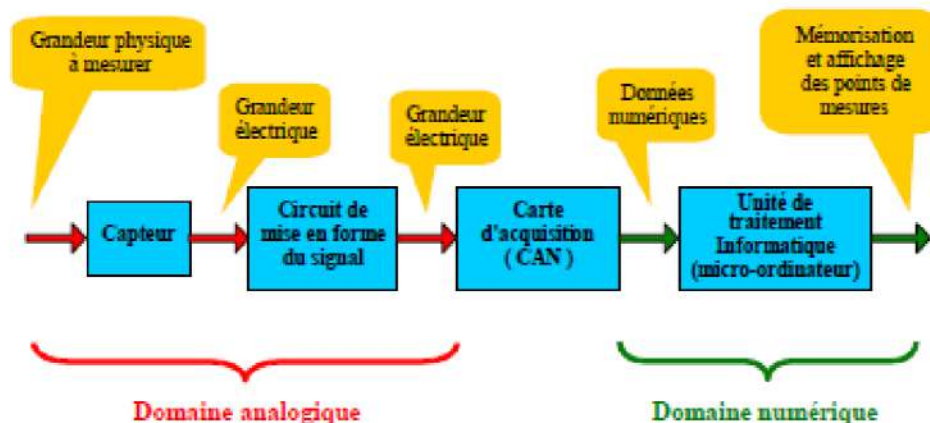
Puissance :

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

6. Formation des multiples et sous multiples des unités

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

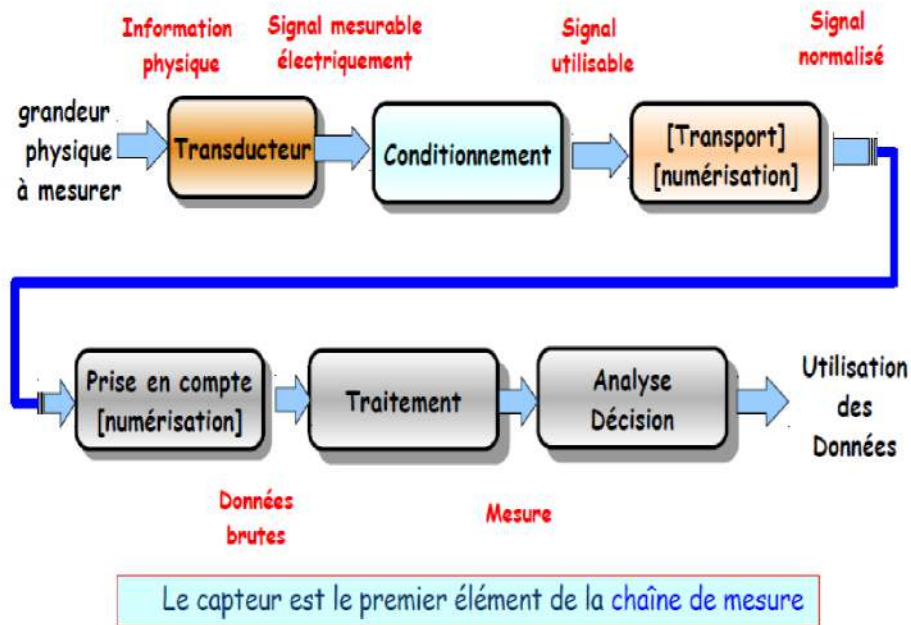
7. Caractéristiques d'une chaîne de mesure informatisée



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

- 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.

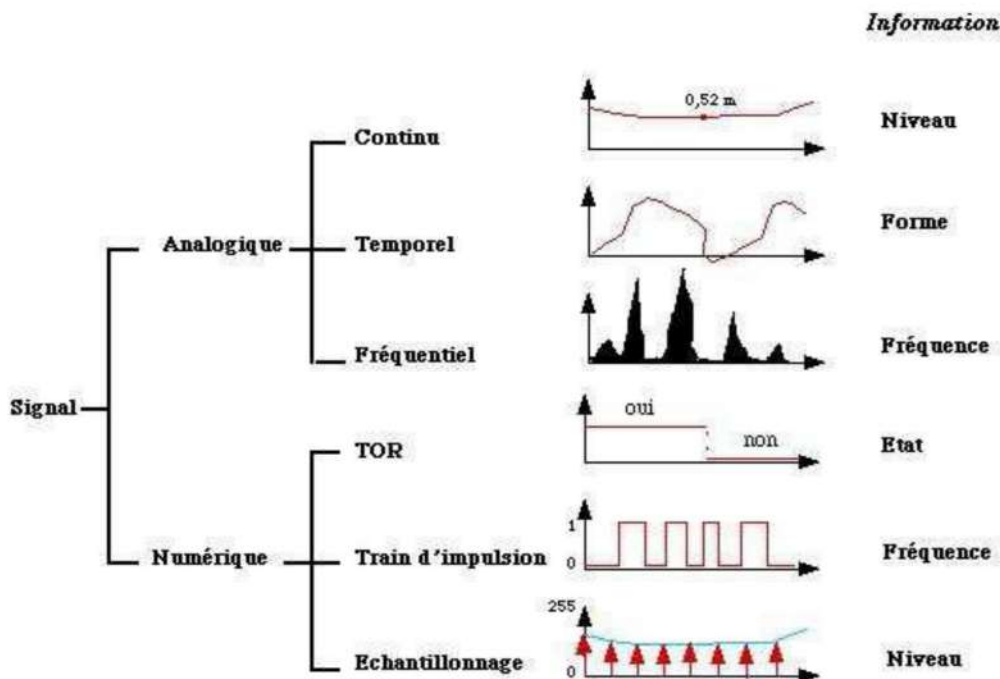
- L'unité de traitement informatique peut exploiter les mesures qui sont maintenant une suite de nombres (enregistrement, affichage de courbes, traitements Mathématiques, transmissions des données ...).



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 de 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

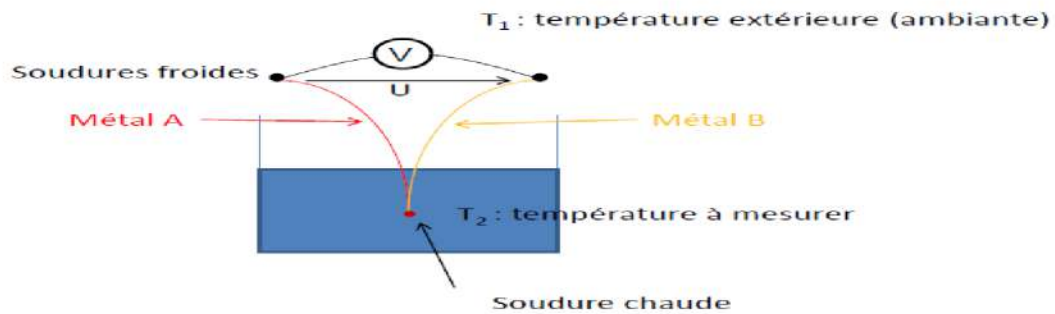
Si l'on s'intéresse aux phénomènes physiques mis en jeu dans les capteurs, on peut classer ces derniers en deux catégories.

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 T_1 et T_2 , est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique $e(T_1, T_2)$.



Utilisation d'un thermocouple

Type	Métaux utilisés (+) / (-) Couleurs fils	Plages de temp (°C)	Adaptés à : Inadaptés à
E	Chromel (Ni-Cr) / constantan (Ni-Cu) Violet / blanc	-270 à 1 100	Milieux oxydants et inertes Vide, milieux réducteurs
J	Fer / Constantan Noir / Blanc	0 à 750	Milieux réducteurs, inertes, vide Basse température
K	Chromel / Alumel (Ni-Al) Vert / Blanc	-250 à 1 250	Milieux oxydants et inertes Vide, milieux réducteurs
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si) / Nisil (Ni-Si) Mauve / blanc	-270 à 1 300	Milieux oxydants à haute température et dans le vide
T	Cu / Cu-Ni Marron / blanc	- 250 à 400	Bonne précision à basse température Limité en hautes températures

- **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	Thermoelectricité	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 : bisunth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

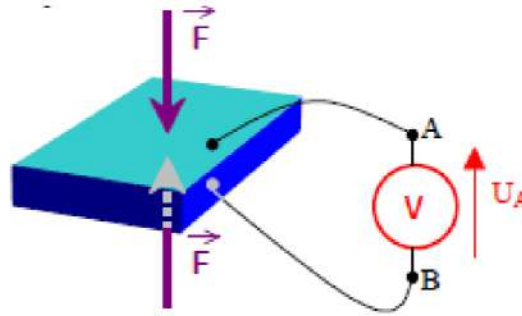
III. CAPTEURS À EFFET PIÉZOÉLECTRIQUE

1. Effet piézoélectrique

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



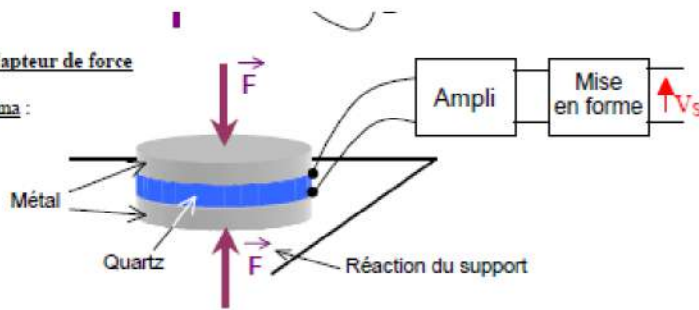
Éléments piézoélectriques de montre



2. Capteur de force

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 est une 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

$$P = \frac{F}{S}$$

avec les unités :

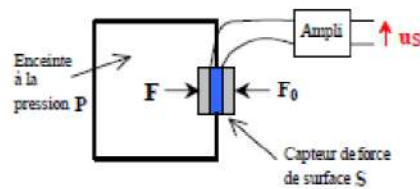
$$1 \text{ Pascal} = \frac{1 \text{ newton}}{1 \text{ m}^2}$$

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

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

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).

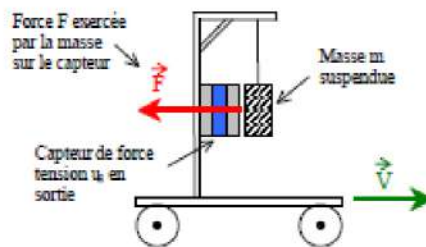


On a $F = P.S$; $F_0 = P_0.S$ et $u_s = k.(F+F_0)$ (capteur de force, $k =$ constante).

Donc $u_s = k.S (P + P_0) = k' (P + P_0)$ d'où $u_s = k' (P + P_0)$.

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 $u_s = 2k.m.a$

5. Récepteur à ultrason

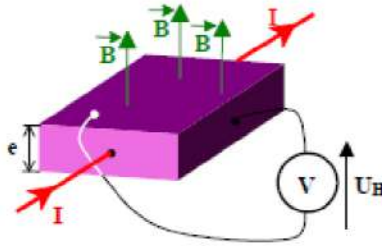
La réception d'un son engendre une variation de pression à la surface du récepteur.

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 :

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

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 : $U_H = k.B$ avec k constante égale à $\frac{R_H I}{e}$

2. Capteur de champ magnétique

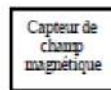
La structure typique d'un capteur de champ magnétique est la suivante :



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

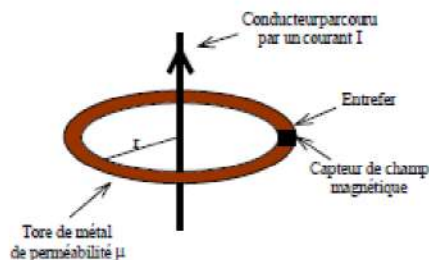
3. Autres applications

- Capteur de proximité



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 : $B = \frac{\mu I}{2\pi r}$

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.

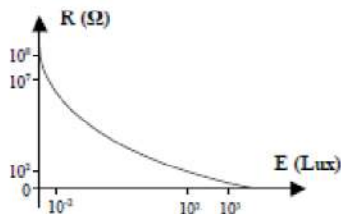
2. Les photorésistances

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 ® $R_1 \rightarrow 100 \text{ k}\Omega$ (500 lux)
- Lumière intense ® $R_2 \rightarrow 100 \Omega$ (10000 lux).

Courbe



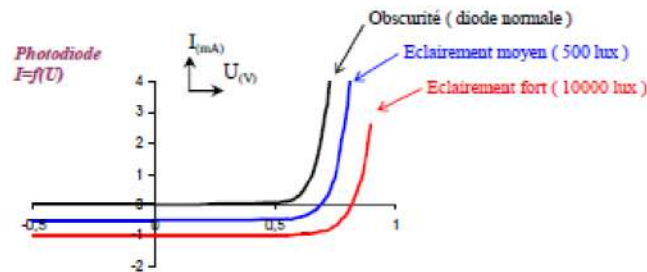
- Avantage :
 - ✓ bonne sensibilité
 - ✓ faible coût et robustesse.

- Inconvénients :
 - ✓ temps de réponse élevé
 - ✓ bande passante étroite
 - ✓ sensible à la chaleur.
- Utilisation :
 - ✓ détection des changements obscurité-lumière (éclairage public).

3. Les photodiodes

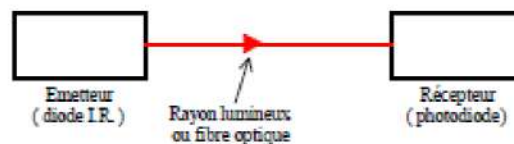
Une photodiode est une diode dont la jonction PN peut être soumise à un éclairage lumineux.

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

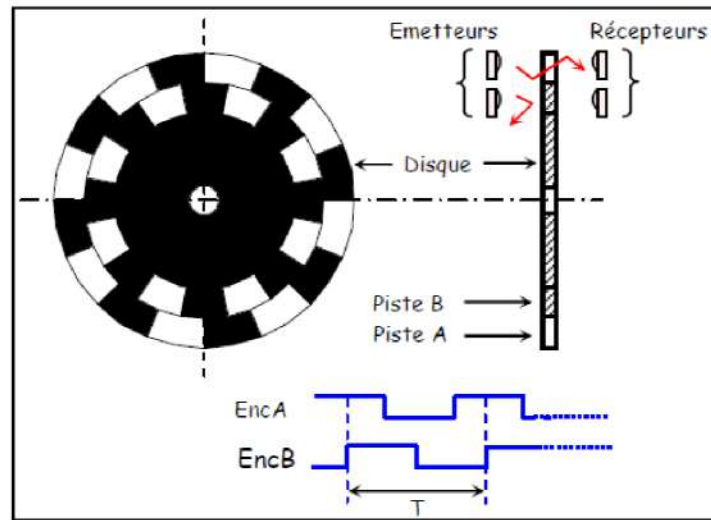


On constate que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter en générateur ($I = 0$, $U = 0,7V$ pour 1000lux). On a donc affaire à une photopile (effet photovoltaïque).

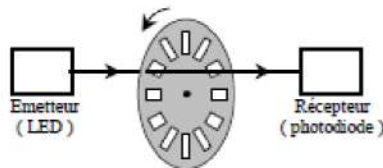
- Avantages :
 - ✓ bonne sensibilité
 - ✓ faible temps de réponse (bande passante élevée).
- Inconvénients :
 - ✓ coût plus élevé qu'une photorésistance
 - ✓ nécessite un circuit de polarisation précis.
- Utilisations :
 - ✓ Transmission de données



⇒ télécommande IR
 ⇒ transmission de données
 par fibre optique
 ⇒ détection de passage



✓ Roue codeuse



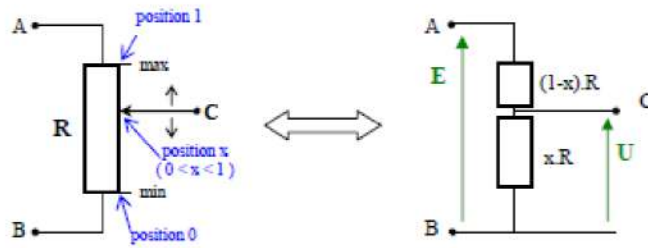
⇒ mesures d'angle et de vitesse
 ⇒ comptage d'impulsions
 (souris de PC)

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 : $U = E \frac{xR}{R} = Ex$

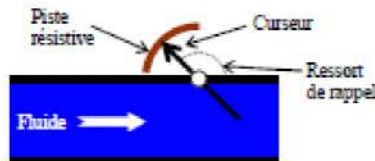
La tension U en sortie est donc proportionnelle à la position x du curseur.

- Avantages
 - ✓ simplicité d'utilisation
 - ✓ faible coût.
- Inconvénient
 - ✓ usure mécanique (utilisation déconseillée dans les asservissements très dynamiques)

b- Utilisations

-Mesures de déplacements rectilignes (potentiomètre rectiligne).

- ✓ Mesures d'angles de rotations (potentiomètre rotatif monotour ou mutitour).
- ✓ 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 : $R = \frac{\rho * l}{S}$

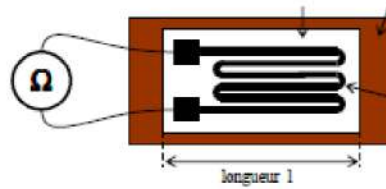
La déformation du conducteur (jauge) modifie la longueur l entraînant une variation de la résistance R.

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

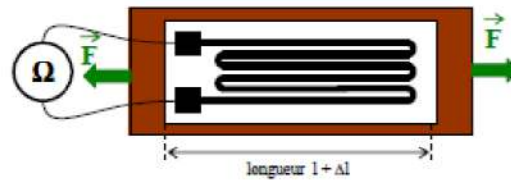
b- Fonctionnement d'une jauge simple

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) : Résistance mesurée R_0



2. Corps ayant subi un étirement : résistance mesurée $R_0 + \Delta R$.

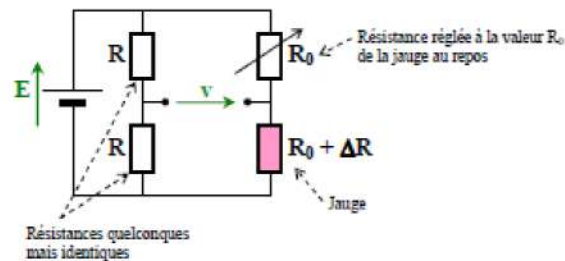


Remarque : Dans le cas d'une contraction, la résistance de la jauge serait $R_0 - \Delta R$.

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 DR est petite devant R0; la relation se simplifie alors pour devenir quasi-

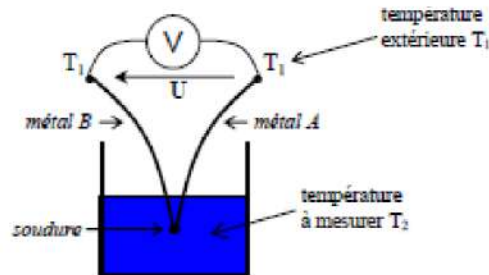
$$\text{linéaire : } v = E \frac{\Delta R}{4R_0}$$

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.

VII. CAPTEURS DE TEMPÉRATURE

1. Thermomètre à thermocouple



On constate que si la température T2 est différente de T1 alors il apparaît une tension U aux bornes des deux fils soumis à la température T1.

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

Les thermistances sont généralement des mélanges d'oxydes métalliques. Leur résistance décroît avec la t°selon une loi du type :

$$R(T) = R_0 \exp (B (1/T - 1/T_0))$$

avec T en K. (et B entre 3000 et 5000K).



Thermistance de précision à capsule de verre

La 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 est le coefficient de température.

Remarque :

si $a > 0$ alors on a une thermistance CTP (R augmente quand θ)

si $a < 0$ alors on a une thermistance CTN (R diminue quand θ).

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.

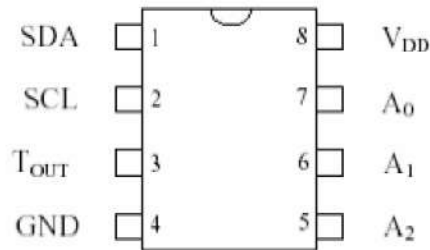
3. Capteurs à sortie numérique directe

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°C à 125°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).



DS1621 8-PIN DIP (300-MIL)

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 TOUT même lorsque le capteur est déconnecté du matériel informatique.

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

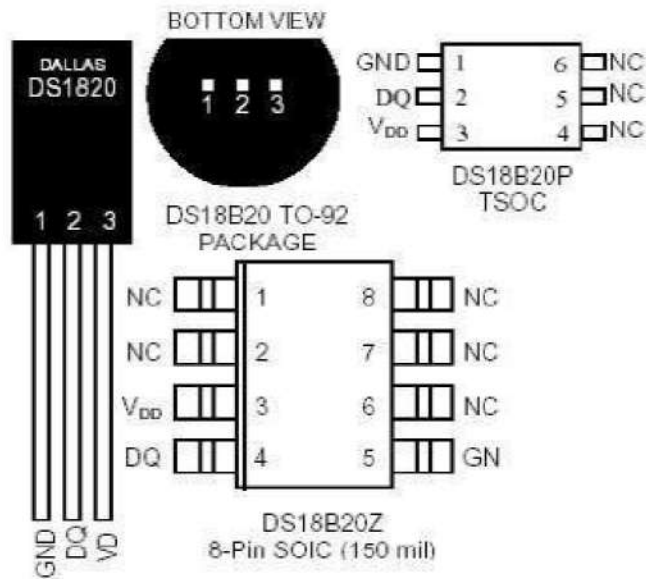
Ce capteur DS1820 peut mesurer une température variant de -55°C à 125°C avec une précision maximale de 0,125°C.

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.

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In/Out
V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

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).

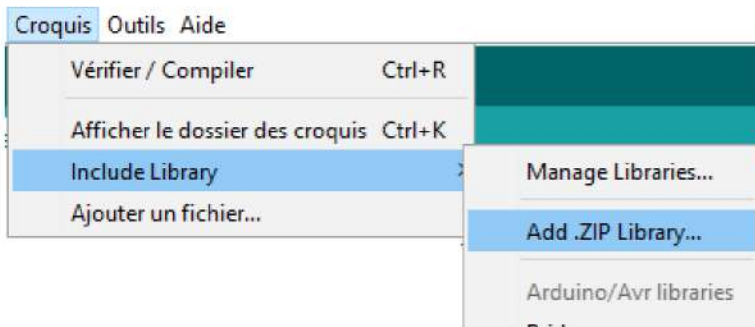
4.Exemple d'application du capteur ds18b20 utilisant arduino

Inclure la librairie onewire.

Lien de la librairie onewire: https://mega.nz/#!MFVgVaBR!Y-prjmlld8DGEb9FXdgW-wxR_c7y3wzO1U00Qt6B8wiY

OneWire est un protocole de communication permettant d'établir le contact avec plusieurs récepteurs sur un seul fils (1 wire). Afin de nous faciliter son utilisation, une librairie nommée « OneWire » est à notre disposition. Alors commençons par l'installer.

Son installation est très simple. Dans Arduino IDE, cliquez sur Croquis / Inclure Library / Add .zip library



Sélectionnez la librairie téléchargée au format .zip. Et voila.

Déroulement d'une séquence d'acquisition.

A la page 10 de la datasheet, on peut voir que l'acquisition de température se fait en 3 étapes:

1. Initialisation.
2. Commandes ROM.
3. Commandes du capteur.

L'initialisation: Elle permet à l'arduino de savoir quels recepteurs sont présent sur le Bus et s'ils sont prêt.

Commandes ROM: La mémoire ROM est la mémoire écrit en « dur » dans le capteur, c'est à dire que ces informations restent inscrite même après en avoir coupé l'alimentation. Il existe 5 commandes concernant la ROM: *search ROM*, *read ROM*, *match ROM*, *skip ROM* et *alarm search*.

Commandes du capteur: Apres avoir sélectionné le capteur adéquat, nous pouvons utiliser l'une des 6 commandes (et leur code hexadécimal)pour communiquer avec le DS18B20 qui sont: *convert T (44h)*, *write scratchpad (4Eh)*, *read scratchpad (BEh)*, *copy scratchpad (48h)*, *recall E² (B8h)* et *read supply power (B4h)*.

Fonctions de base.

Passons en revue les fonctions indispensable pour une première utilisation:

search(byte adresse[8]): A chaque appel de cette fonction, le programme va chercher le premier élément « non scruté » qu'il trouvera et stockera son adresse dans un tableau de 8 octets (figure 6 page 6).

Vous pouvez voir sur la datasheet que l'octet de poids faible (celui le plus à droite) nous renseigne sur la famille du capteur (lorsqu'il est égal à 28h, c'est que le capteur est un DS18B20, lorsqu'il vaut 10h c'est un DS18S20, lorsqu'il vaut 22h alors c'est un DS1822...). Puis les 6 octets suivante sont l'adresse unique du capteur. Enfin le dernier octet sert CRC sert à détecter les erreurs de transmission.

A chaque cycle du programme, la fonction cherchera un capteurs encore inconnu, et lorsqu'il n'y en aura plus, alors en retournera la valeur 0.

reset_search(): Lorsque la fonction search(add) ne trouve plus de nouvelles adresses (donc lorsque search(add)==0), il faut la réinitialiser avec cette fonction.

reset(): Différent de *reset_search()*, reset() sert à initialiser LE CAPTEUR avant de communiquer avec.

select(adresse[8]): Sert à sélectionner le capteur spécifié afin d'échanger avec.

write(byte commande): Sert à envoyer une commande au récepteur sélectionné précédemment via la fonction *select()* sous forme d'un octet (récapitulatif des commandes page12, tableau 3).

read(): Sert la lire octet par octet le « scratchpad » du capteur (description du scratchpad figure 7 page 7).

Passons au programme.

Commençons par le programme le plus simple qu'il soit, lire la température d'un seul capteur. Voilà le code:

```
1 #include <OneWire.h>
2
3 // ----- Initialisation des variables -----
4
5 // Variables propres au DS18B20
6 const int DS18B20_PIN=10;
7 const int DS18B20_ID=0x28;
8 // Déclaration de l'objet ds
9 OneWire ds(DS18B20_PIN); // on pin DS18B20_PIN (a 4.7K resistor is necessary)
10
11 // Variables générales
12 float DS18B20_temperature;
13 const int SERIAL_PORT=9600;
14
15 void setup() {
16 // Initialisation du port de communication avec le PC
17 Serial.begin(SERIAL_PORT);
18 Serial.println("Initialisation du programme");
19 }
20
21 void loop() {
22 DS18B20_temperature = getTemperatureDS18b20(); // On lance la fonction d'acquisition de
23 T°
24 // on affiche la T°
25 Serial.print("(DS18B20) =>\t temperature: ");
26 Serial.println(DS18B20_temperature);
27 }
28
```

```

29 /* ----- Acquisition de la température ----- */
30 float getTemperatureDS18b20(){
31 byte i;
32 byte data[12];
33 byte addr[8];
34 float temp =0.0;
35
36 //Il n'y a qu'un seul capteur, donc on charge l'unique adresse.
37 ds.search(addr);
38
39 // Cette fonction sert à surveiller si la transmission s'est bien passée
40 if (OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7]) {
41 Serial.println("getTemperatureDS18b20 : <!--> CRC is not valid! <!-->");
42 return false;
43 }
44
45 // On vérifie que l'élément trouvé est bien un DS18B20
46 if (addr[0] != DS18B20_ID) {
47 Serial.println("L'équipement trouvé n'est pas un DS18B20");
48 return false;
49 }
50
51 // Demander au capteur de mémoriser la température et lui laisser 850ms pour le faire (voir
52 datasheet)
53 ds.reset();
54 ds.select(addr);
55 ds.write(0x44);
56 delay(850);
57 // Demander au capteur de nous envoyer la température mémorisé
58 ds.reset();
59 ds.select(addr);
60 ds.write(0xBE);
61
62 // Le MOT reçu du capteur fait 9 octets, on les charge donc un par un dans le tableau data[]
63 for ( i = 0; i < 9; i++) {
64 data[i] = ds.read();
65 }
66 // Puis on converti la température (*0.0625 car la température est stockée sur 12 bits)
67 temp = ( (data[1] << 8) + data[0] ) *0.0625;
68
    return temp;
}

```

INTERPR2TATION DU CODE ARDUINO

Ligne 6: On nomme DS18B20_PIN la broche 10 sur laquelle sera branché le capteur

Ligne 7: Dans les informations que nous recevrons du capteur, il y aura un octet qui spécifiera la famille. Lorsque celui ci sera égal à 28 en valeur hexadécimal, c'est que ce sera un DS18B20.

Ligne 8: Nous créons un « objet » ds comme étant un élément onewire branché sur la pin 10.

Ligne 22: Nous exécutons la fonction getTemperatureDS18B20() dont nous stockons le résultat dans la variable DS18B20_temperature.

Ligne 29: Nous créons la fonction getTemperatureDS18B20() qui nous renverra un float (nombre à virgule).

Ligne 31: Nous déclarons un tableau de 12 octets nommé data qui nous servira à stocker les données reçus du capteur.

Ligne 32: Un tableau de 8 octets nommé addr qui stockera l'adresse (unique) du capteur.

Ligne 36: ds.search(addr): cette fonction va chercher l'adresse du capteur (rappelons que dans ce montage nous n'avons qu'un seul capteur) sur le réseau 1-wire et la stocker dans le tableau addr.

Lignes 39/40/41: Ces trois lignes servent à contrôler si la communication entre l'arduino et le capteur s'est bien passée. Si ce n'est pas le cas nous sortons de la fonction.

Lignes 45/46/47: Compare si le 1er octet du tableau addr est égal à la constante DS18B20_ID (initialisée à 0x28 au début du programme, page 6 de la datasheet) ce qui signifie que l'élément trouvé est bien un capteur DS18B20. Si ce n'est pas le cas nous sortons de la fonction.

Lignes 50 à 54: Initialisation d'une demande d'acquisition de température au capteur.

Chaque demande de communication commencera de la même façon, avec un reset, puis la sélection du capteur (qui correspondent au ds.reset() et ds.select(addr).

Puis nous envoyons le code 0x44, qui comme indiqué dans la page 12 de la datasheet, demande au capteur de faire la conversion de température (Attention, cela ne veut pas dire qu'il nous envoie la température, il en fait simplement l'acquisition et la garde dans sa mémoire).

Enfin nous faisons un delay(850) pour laisser 0.85 sec au capteur afin qu'il puisse avoir le temps de faire sa conversion (page 8 de la datasheet, notre conversion se fait sur 12 bit, il lui faut donc au minimum 750ms pour la faire).

Ligne 55 à 58: Nous demandons au capteur de nous envoyer la température qu'il vient de mémoriser.

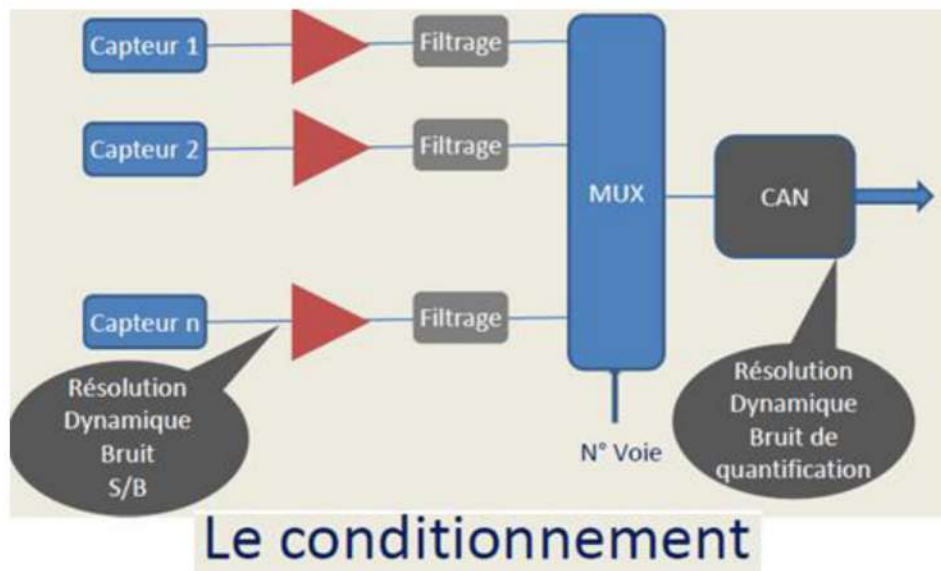
Pour cela on réinitialise la communication avec le reset() puis la sélection du capteur.

Puis on envoie la commande 0xBE qui demande l'envoi de la température (page 12).

Ligne 61 et 62: Le capteur nous envoie 9 octets (dont seul les deux premiers nous indiquent la température), donc nous utilisons une boucle for pour les stocker un par un dans le tableau Data[].

Ligne 65: La température étant sur 12 bits avec une résolution de 0.0625 (page 3), nous la calculons à cette ligne.

VIII Conditionneurs de capteur



8-1) Définition du conditionnement

C'est un dispositif qui assure la conversion de la grandeur électrique de sortie du capteur en une grandeur électrique exploitable par l'organe de Traitement. Cette définition nécessite la connaissance des capteurs. Le conditionneur est un montage électronique qui d'une manière plus générale englobe toute la chaîne instrumentale

Le processus physique : Que peut-on mesurer ?

- 1)-Grandeurs spatiales : déplacement linéaire ou angulaire
Epaisseur, présence / absence, distance, position/altitude
absolues, niveau, surface, volume, angle, vitesse, accélération/choc/vibration
- 2)-grandeurs temporelles : durée, fréquence, masse / poids, densité, allongement /
déformation, force / couple, puissance mécanique, etc.
- 3)-grandeurs mécaniques : (fluides) pression / vide, pression acoustique / son /
ultrasons, débit, vitesse, viscosité, tension de surface
- 4)-grandeurs thermiques : température, conductivité thermique, flux de chaleur, répartition de
température (thermographie)
- 5)-grandeurs électromagnétiques : potentiel / différence de potentiel, courant, énergie /
puissance électrique, charge électrique, champ électrique, -champ magnétique, résistance,
capacité, inductance, conductivité, permittivité, perméabilité, hystérésis, déphasage, facteur de
puissance, facteur de qualité
- 6)-grandeurs optiques (rayonnement non ionisant) : intensité lumineuse, polarisation, indice de
réfraction, couleur / spectre, image
- 7)-radioactivité (rayonnements ionisants) : quantité de rayonnement émis ou reçu, nature des
particules, énergie
- 8)-grandeurs chimiques : composition, pH, humidité, mesures environnementales
- 9)-grandeurs biomédicales : bio-potentiels, pression sanguine, flux
sanguin, ventilation, composition du sang, imagerie médicale

Les fonctions réalisées par le conditionneur :

-Amplification

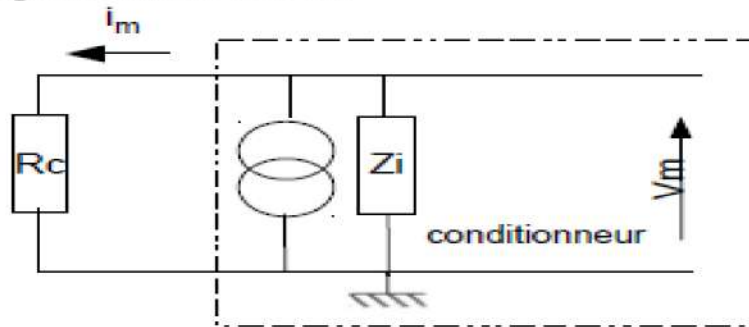
- Filtrage
- Alimentation d'un capteur passif
- Isolation galvanique (aucun courant entre 2 parties)
- Multiplexage
- Etc.

8-2) - Conditionneurs de capteurs passifs

But: Obtenir un signal électrique représentatif de la variation de l'impédance (Z_c) sous l'influence du mesurande.

➤ Capteur résistif (exemple : sonde température PT100)

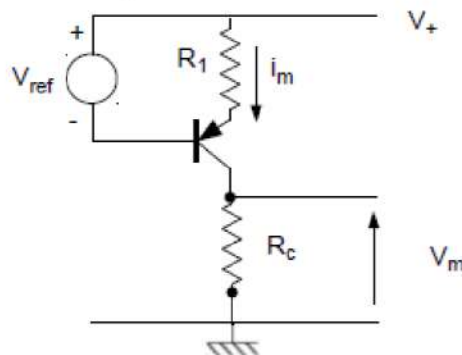
a) Mesure par générateur de courant



.....

- la mesure est directement proportionnelle à la valeur de résistance du capteur (linéarité intrinsèque de la mesure si $Z_i \rightarrow \dots\dots\dots$)
- la tension aux bornes de la résistance est non nulle , le générateur de courant travaille à tension variable (erreur de mesure si imparfait)

b) Montage élémentaire d'un générateur de courant



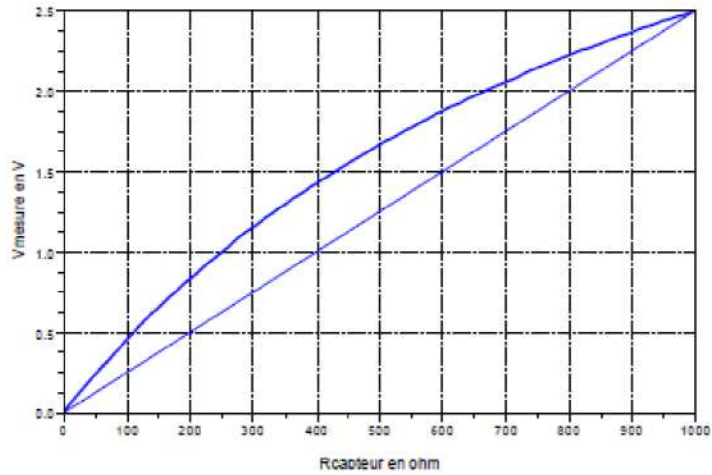
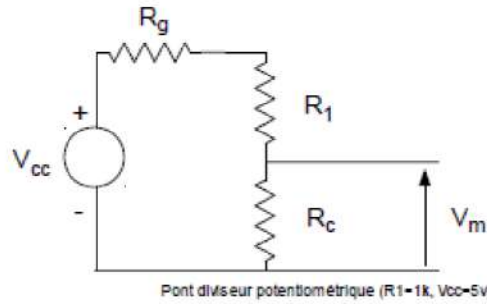
$V_{ref} = \dots\dots\dots$

- Le transistor se comporte en générateur de courant de valeur :

$$i_m = \dots\dots\dots$$

La mesure de R_c est directement référencé à la masse

c) Montage dit "potentiométrique" (diviseur de tension)



$V_m = \dots\dots\dots$ pour $\dots\dots\dots$

la mesure V_m est liée à la valeur de résistance R_m par une loi non-linéaire

➤ **sensibilité**

Rappel :

.....
.....

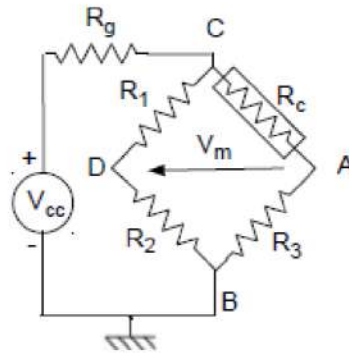
Pour le montage ci-dessus on a :

.....

La sensibilité est maximale pour $R_1=R_c$ Elle est alors :

.....

d) Montage en pont (double diviseur de tension)



➤ On suppose que R_g est négligeable (V_{cc} référence de tension stabilisée)

En A :..... **En D :**

$$V_m = V_D - V_A = \dots\dots\dots$$

- Le pont est dit équilibré lorsque $V_m = 0 \cdot R_1 R_c = R_2 R_3$ Pour cette valeur des résistances, les branches droites et gauches donnent le même rapport de division de V_{cc} .
- Pour simplifier la construction, on adopte souvent $R_1 = R_2 = R_3 = R_{c0}$ avec valeur de référence du capteur (point particulier).

$$V_m = \dots\dots\dots$$

➤ **Etude variationnelle**

on suppose que $R_c = R_{c0} + \Delta R$ d'où :

$$V_m = \dots\dots\dots$$

d'où : $V_m = \dots\dots\dots$

➤ **Pour des petites variations de résistance, la réponse est quasi-linéaire :**

$$V_m = \dots\dots\dots$$

➤ **Dans le cas général, la sensibilité peut s'exprimer en fonction de $\alpha = \Delta R / R_{c0}$:**

$$V_m = \dots\dots\dots$$

.....
.....
.....

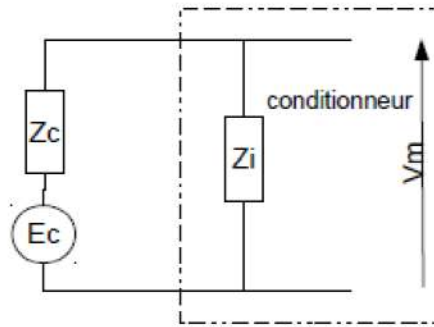
Conclusion :

.....
.....
.....

8-3) - Conditionneurs de capteurs actifs

a) Capteur source de tension (exemple : thermocouple)

- La fonction à réaliser par le conditionneur est une amplification de tension. La source E_c présente généralement une impédance de sortie Z_c . Le conditionneur charge cette source par sa propre impédance d'entrée. Par application de la règle du diviseur de tension, on obtient :



$V_m = \dots\dots\dots$

- Le conditionneur doit présenter une impédance d'entrée importante devant celle de la source. Le choix dépend de la précision souhaitée. Pour une précision 1/1000, il faut un rapport d'impédance de même valeur

Le montage à retenir est le suiveur avec gain

Montage proposé :

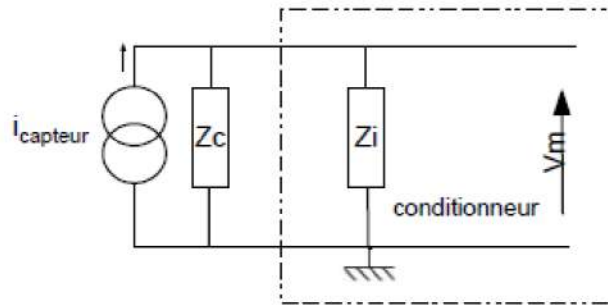




.....

b) Capteur source de courant(exemple :phototransistor)

➤ **Modèle du capteur à source de courant :**

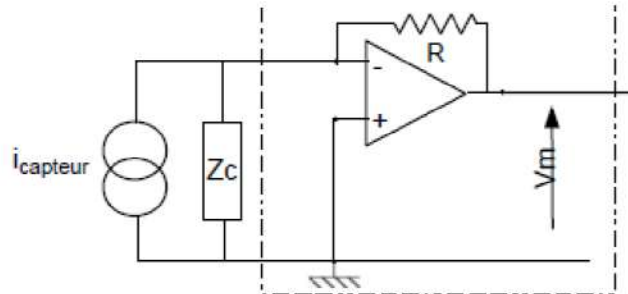


Le conditionnement peut se limiter à une simple résistance calibrée

$Z_i = R$.La tension mesurée est fonction de la résistance de mesure et de l'impédance parallèle du générateur de courant.

Solution acceptable pour un générateur de courant pur ($Z_c \rightarrow \infty$)

Solution :Convertisseur courant/tension :



➤ Le capteur devient source de courant à tension nulle (et constante). Sa conductance parallèle n'intervient pas dans la valeur mesurée. La bande passante est largement augmentée si le capteur présente une impédance fortement capacitive

$V_m = \dots\dots\dots$

c) Capteur source de charge (exemple : capteur piézo-électrique)

➤ **Modèle du capteur générateur de charges :**

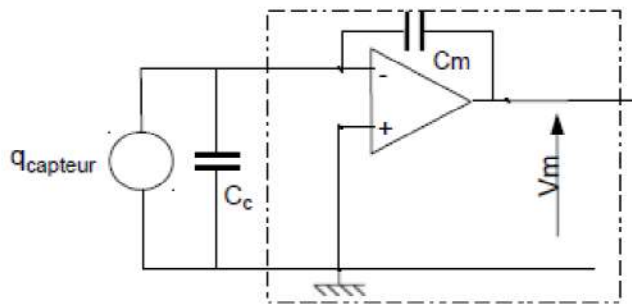
$$V_m = \dots\dots\dots$$

- la résistance interne d'entrée R_i introduit une décharge de la source (circuit du premier ordre) Si la décharge est trop rapide (constante de temps faible), la mesure est impossible.

$$V_m = \dots\dots\dots$$

- Un tel capteur n'est adapté que pour des mesures à valeur moyenne nulle (accélération/ vibration par exemple)

Solution : Convertisseur charge/tension : amplificateur de charges



- Le capteur devient source de charges à tension nulle (et constante). Sa capacité parallèle n'intervient pas dans la valeur mesurée. La bande passante est largement augmentée si le capteur présente une impédance fortement capacitive

$$V_m = \dots\dots\dots$$

- Un circuit auxiliaire est nécessaire pour assurer la compensation de la dérive de l'intégrateur

Montage proposé :

VIII. Conclusion

- Un capteur transforme généralement une grandeur physique en une grandeur électrique.
- La relation grandeur physique « 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.