

Expérimenter

Chaine d'information

Communication et information

Les capteurs



1.	LA CHAÎNE D'INFORMATION	4
2.	LES CAPTEURS : GENERALITES	5
	2.1. Principes utilisés	5
	2.1.1. L'effet thermoélectrique	5
	2.1.2. L'effet pyroélectrique	5
	2.1.3. L'effet piézo électrique	5
	2.1.4. L'effet d'induction électromagnétique	5
	2.1.5. L'effet photoélectrique	6
	2.1.6. L'effet Hall	6
	2.1.7. Les effets physico-résistifs	6
	2.2. La chaîne de mesure	6
3.	TYPE DE CAPTEURS	7
	3.1. Les capteurs de déplacement	7
	3.1.1. Les principes fondamentaux	7
	3.1.2. Les capteurs résistifs	7
	3.1.3. Les capteurs capacitifs	8
	3.1.4. Les capteurs inductifs	9
	3.1.5. Les capteurs inductifs à transformateurs différentiels	10
	3.1.6. Les inductosyn ou synchro-resolvers	10
	3.1.7. Les codeurs optiques	11
	3.2. Les capteurs de proximité et de position	12
	3.2.1. Les capteurs de proximité inductifs	12
	3.2.2. Les capteurs de proximité à effet Hall	12
	3.2.3. Les capteurs de proximité magnéto-résistifs	13
	3.2.4. Capteurs de proximité capacitifs	14
	3.2.5. Capteur de proximité photo-électrique	14
	3.2.6. Capteurs de proximité ultra-sonique	14
	3.3. Les capteurs de pression	14
	3.3.1. Les capsules anéroïdes	15
	3.3.2. Les soufflets	15
	3.3.3. Le tube borgne	15
	3.3.4. La membrane	15
	3.3.5. Le tube de Bourdon	16
	3.3.6. Le tube en spirale :	16
	3.3.7. Le tube en hélice :	16
	3.3.8. Les jauges de contraintes : Généralités	16
	3.3.9. Les jauges métalliques	17
	3.3.10. Les jauges à semi-conducteurs	18
	3.4. Les capteurs de températures	19
	3.4.1. Capteurs à conversion thermo-dimensionnelle	20
	3.4.2. Capteur à conversion électrique : les thermistances	21
	3.4.3. Les thermocouples	21

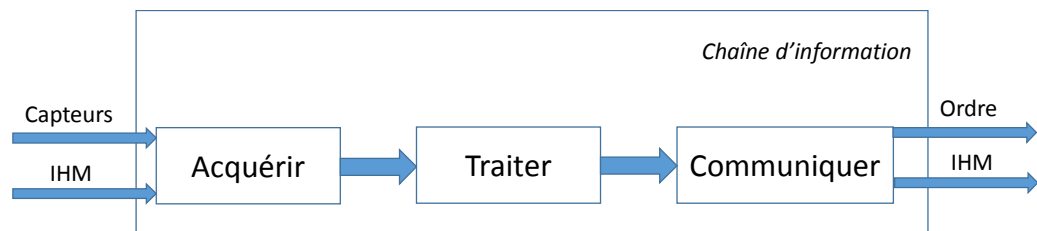
4. CHOIX D'UN CAPTEUR

22

1. La chaîne d'information

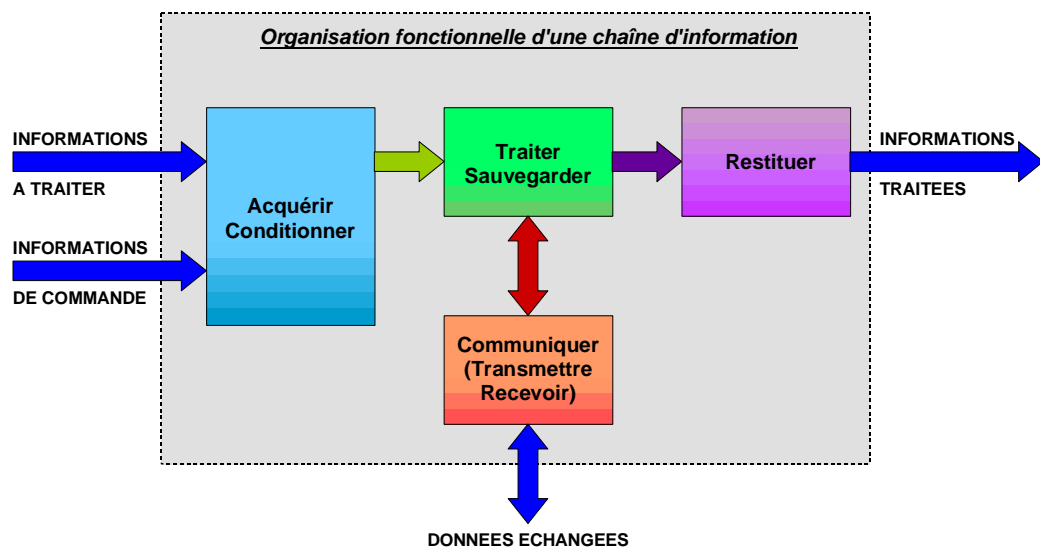
La fonction **ACQUERIR** est chargée de mettre en forme des informations issues du système piloté, de l'opérateur ou d'une autre chaîne d'information, afin d'effectuer le traitement adapté.

Le système fait l'« *acquisition* » de l'ensemble des informations, à l'aide de **capteurs**, dont le rôle consiste à **convertir les grandeurs** associées aux informations d'entrée, en signaux électriques.



Les caractéristiques des signaux électriques issus des capteurs nécessitent souvent des dispositifs assurant une adaptation en courant ou en tension. Les signaux électriques issus des capteurs sont très souvent entachés de bruit (dans les systèmes fonctionnant en environnement parasite, notamment), qu'il est nécessaire d'éliminer.

Ces différentes opérations d'amplification, atténuation ou filtrage sont regroupées dans le terme générique « **conditionnement** ».



2. Les capteurs : Généralités

A partir d'une grandeur physique à mesurer, le capteur délivre un signal, souvent électrique, utilisable après adaptation (conditionnement) pour le traitement.

Si nous voulons étudier les différents capteurs par les informations traitées (température, vitesse, etc. ...), nous serons obligés de reprendre à chaque fois le principe physique utilisé.

Afin d'éviter toutes répétitions, et dans un but de compréhension rapide nous dirigeant vers l'essentiel, le début de notre étude portera sur **les principes physiques fondamentaux utilisés dans les capteurs.**

2.1. Principes utilisés

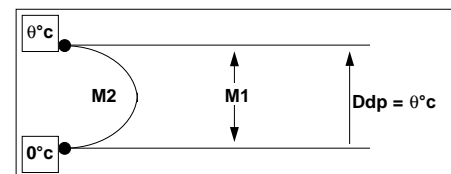
2.1.1. L'effet thermoélectrique

Cet effet est essentiellement utilisé par *les thermocouples*.

Un thermocouple est constitué de deux matériaux différents reliés à leurs extrémités.

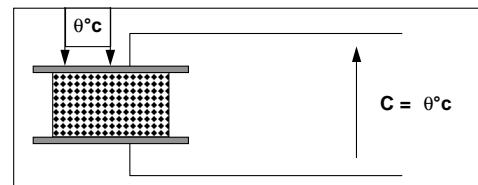
En portant une extrémité à une température θ_1 il apparaît aux autres extrémités une *différence de potentiel*.

$$\theta^\circ = f(U \text{ volt})$$



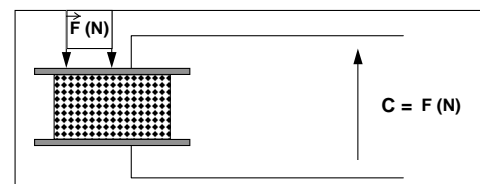
2.1.2. L'effet pyroélectrique

Cet effet utilise la particularité de certains cristaux qui changent spontanément de polarité en fonction de la température.



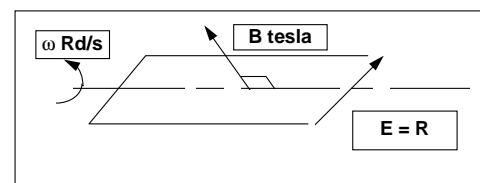
2.1.3. L'effet piézo électrique

Cet effet utilise la particularité de certains cristaux qui, soumis à un effort mécanique, génèrent des charges électriques



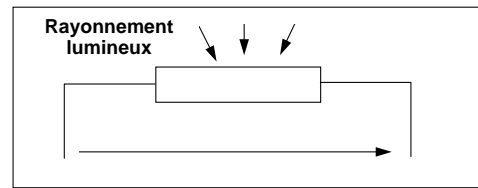
2.1.4. L'effet d'induction électromagnétique

Un bobinage, ou conducteur, parcouru par un courant électrique est le siège d'un courant induit provoquant un champ magnétique et inversement.



2.1.5. L'effet photoélectrique

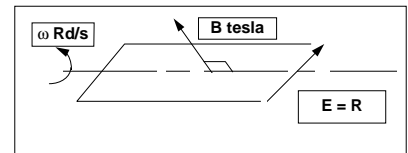
Certains matériaux soumis à un rayonnement lumineux libèrent une charge électrique.



On inclut les effets photoémissifs, photo voltaïque, photo-électromagnétique.

2.1.6. L'effet Hall

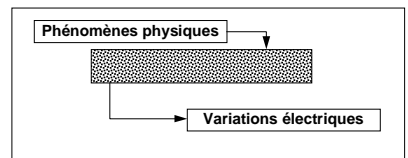
Un semi-conducteur parcouru par un courant et soumis à un champ magnétique, génère une différence de potentiel.



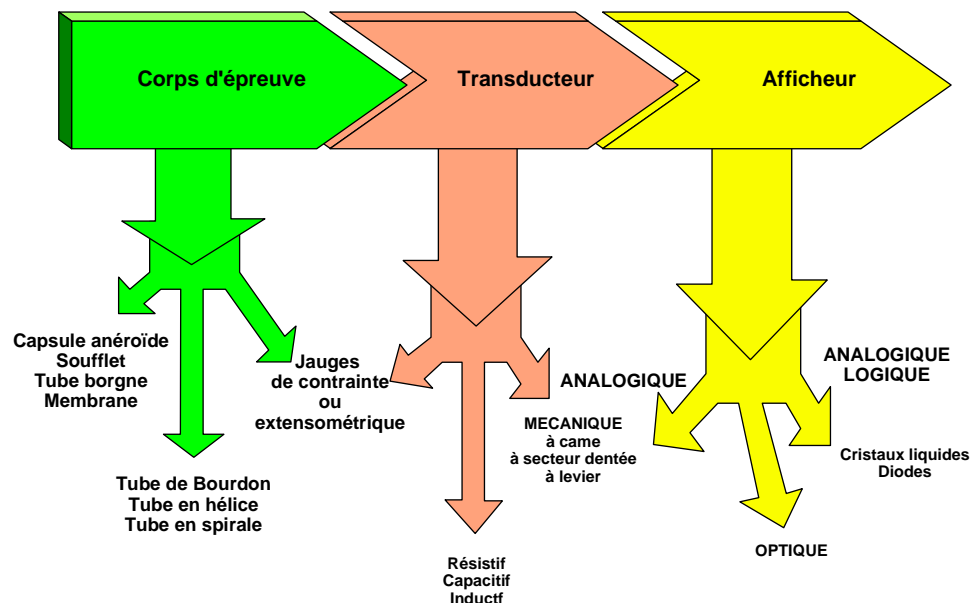
2.1.7. Les effets physico-résistifs

Il existe différents composants qui permettent de transformer une information en valeurs résistives.

C'est le cas des semi-conducteurs, des thermistances, des photo-couples, etc. ...



2.2. La chaîne de mesure



3. Type de capteurs

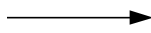
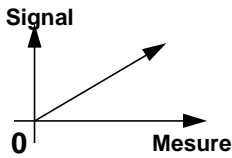
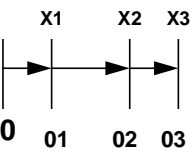
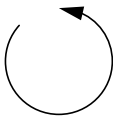
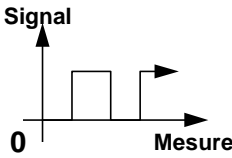
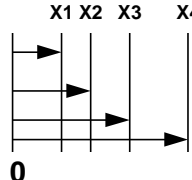
3.1. Les capteurs de déplacement

Le déplacement est l'action d'aller d'un point à un autre dans le même plan ou dans des plans différents, la rotation et la translation sont deux déplacements.

Bon nombre de grandeurs physiques **sont mesurables par le déplacement** qu'elles imposent :

- l'accélération,
- les forces,
- les pressions,
- les températures.

Les techniques actuelles permettent à partir de capteurs de mesurer des **déplacements linéaires ou rotatifs** en coordonnées **relatives ou absolues** à partir de signaux **analogiques ou numériques**.

		
DEPLACEMENT LINEAIRE	Signal Analogique	Données Relatives
		
DEPLACEMENT ROTATIF	Signal Logique	Données Absolues

3.1.1. Les principes fondamentaux

	RÉSISTIF	CAPACITIF	INDUCTIF	OPTIQUE	MECANIQUE
ANALOGIQUE					
NUMERIQUE					
RECTILIGNE					
ANGULAIRE					

3.1.2. Les capteurs résistifs

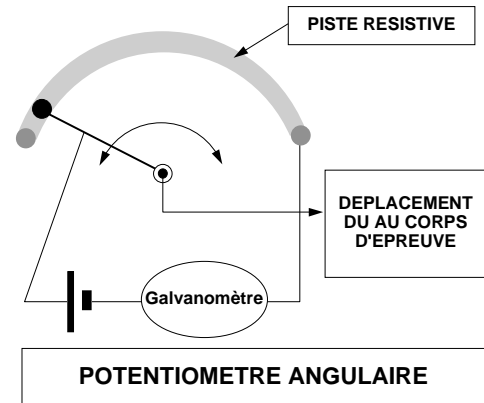
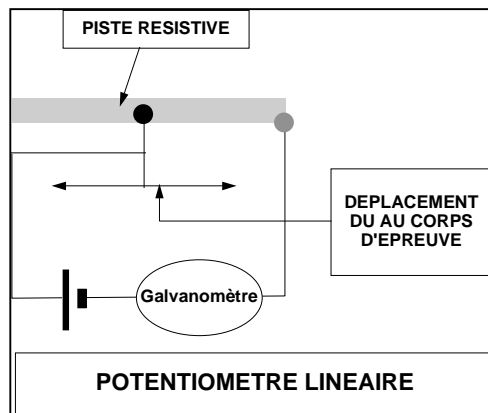
Leur principe est celui de la résistance variable dont la valeur fluctue en fonction du déplacement linéaire ou rotatif. **On les appelle aussi rhéostat.** Cette catégorie comporte les potentiomètres résistifs rotatifs et linéaires. (Voir schémas page suivante)

Ils sont constitués d'une piste résistive et d'un curseur dont le déplacement dépend du mouvement à capter. Ces capteurs permettent des mesures de **déplacements linéaires et angulaires** (un tour) **ou hélicoïdaux** (multi-tours). **La position du curseur définit une valeur de résistance** et donc détermine le déplacement du mobile.

Les pistes sont réalisées à partir de matière plastique chargée de poudre de carbone, de poudre métallique, ou de Cermet (mélange de Céramique et de

métal) dont la durée de vie est la meilleure. Ces matières composées peuvent être déposés par sérigraphie.

La durée de vie est de 10 à 50 millions de manœuvres.



3.1.3. Les capteurs capacitifs

Ils sont constitués de condensateurs variables plans ou cylindriques dont l'une des armatures est liée au déplacement de l'élément à mesurer amenant ainsi une variation de capacité.

Le diélectrique est le plus souvent l'air, les armatures présentant un très faible coefficient de dilatation ceci assurant une grande stabilité de mesure.

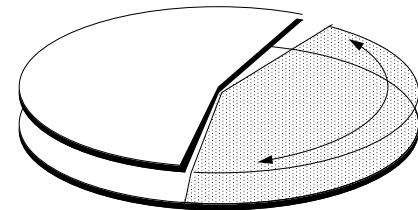
Ils sont robustes et fiables car leur constitution est très simple.

S'ils sont dans un environnement protégé, leur durée de vie est presque infinie.

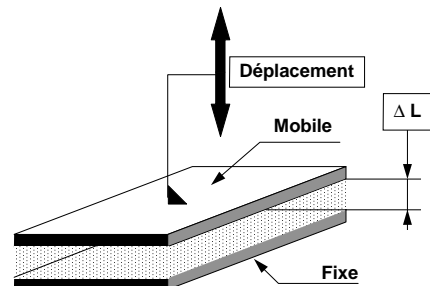
Etendue de mesure :

- condensateur à écartement variable : 1 mm
- condensateur à surface variable 10 cm

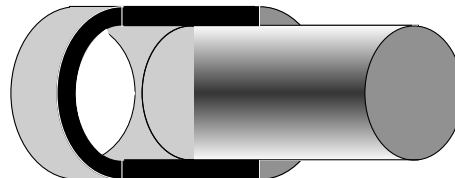
Sensibilité : 0,5 mV / μm



Surface variable : Mesures angulaires



Ecartement variable : Mesures rectilignes



Surface variable : Mesures rectilignes

3.1.4. Les capteurs inductifs

Un aimant (noyau : inducteur) introduit dans une bobine (induit) délivre un courant électrique induit proportionnel à la vitesse de déplacement du noyau, dont le sens influe sur le sens du courant (+ ou -).

Le mouvement à contrôler est lié soit à la bobine, soit au noyau, entraînant ainsi une variation de flux dans l'enroulement de mesure.

Leur inconvénient est qu'ils sont très **sensibles aux champs magnétiques parasites**, d'où la nécessité de pratiquer un blindage de la zone de mesure ou du capteur.

On rencontre deux grandes familles de capteurs inductifs :

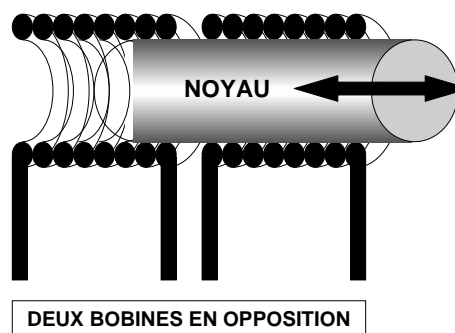
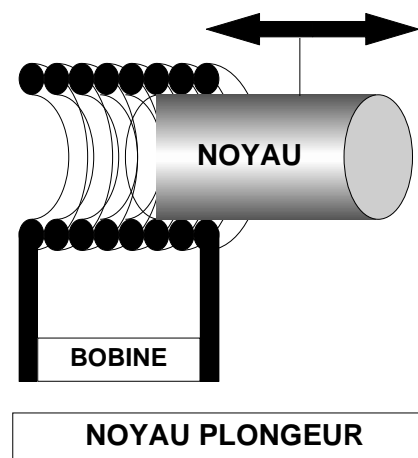
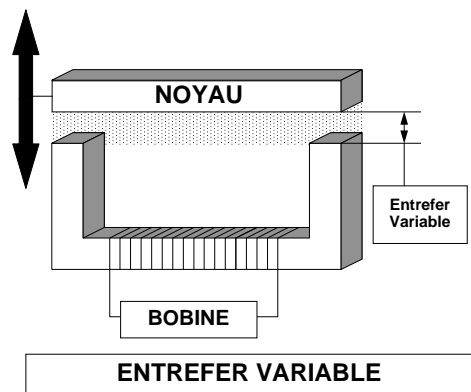
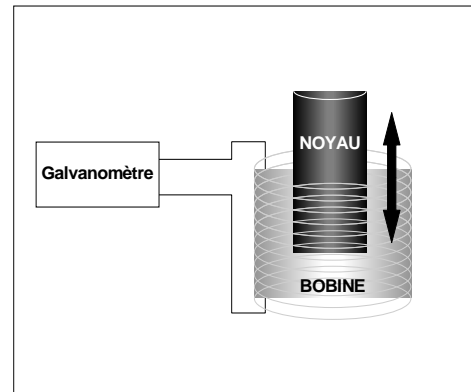
- à entrefer variable,
- à noyau plongeur.

Avec un noyau plongeur la linéarité est médiocre, alors on pratique des montages appelés "**push-pull**" associant deux bobines en opposition *améliorant ainsi la linéarité et la sensibilité*.

L'étendue de mesure est de $\pm 0,5$ mm à ± 300 mm.

La linéarité est de 0,3% à 2% de l'étendue de mesure.

La température d'emploi est de -60°C à $+125^{\circ}\text{C}$.

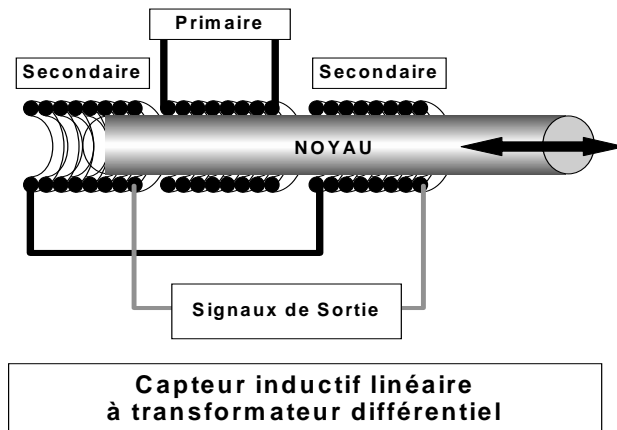


MONTAGE " PUSH-PULL "

3.1.5. Les capteurs inductifs à transformateurs différentiels

Ces capteurs sont constitués comme des transformateurs. Ils possèdent **un primaire** (alimenté en alternatif) et **deux secondaires** en opposition (principe push-pull) et symétrique au primaire. Le déplacement du noyau modifie le couplage entre primaire et secondaires. Ils ont une meilleure linéarité, ainsi qu'une résolution plus fine.

L'étendue de mesure rectiligne est de 0,1 mm à 1 mètre.



Il existe des capteurs angulaires utilisant ce principe mais ils n'ont que 90° d'étendue de mesure.

3.1.6. Les inductosyn ou synchro-resolvers

Ce type de capteur possède deux circuits magnétiques, un bobinage inducteur (alimenté en alternatif), et un bobinage induit. Le bobinage inducteur produit un flux alternatif (comme un transformateur) provoquant dans l'induit une f.e.m. induite.

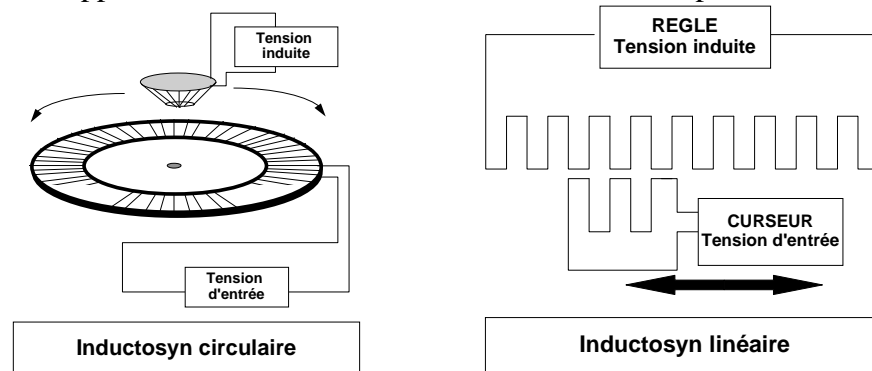
Les bobines sont fabriquées comme les circuits imprimés (photogravure ou sérigraphie) que l'on fixe par la suite sur l'élément mobile.

Ce sont des systèmes permettant **une précision** extrême ($\pm 1\mu\text{m}$) sur des **étendues de mesure** importantes (plusieurs mètres).

Températures d'utilisation :

- 55°C à + 125°C.

Ils supportent très bien les chocs, les vibrations, et la pollution.



3.1.7. Les codeurs optiques¹

*Tous les capteurs étudiés précédemment sont du type **analogique**, c'est à dire que le signal de sortie est une fonction continue de la grandeur d'entrée.*

*Il est tout de même possible de convertir ce signal en code digital avec des **convertisseurs CAN** (Convertisseur Analogique Numérique).*

Ces systèmes influent négativement sur la précision et le temps de réponse.

Avec des capteurs optiques il est possible d'avoir directement **une sortie numérique ou logique**.

Ils sont généralement composés de :

- codeur,
- émetteur / récepteur de lumière.

Les codeurs incrémentaux

Ce type de codeur comporte une piste (circulaire ou linéaire) composée de divisions opaques et transparentes à espacements réguliers.

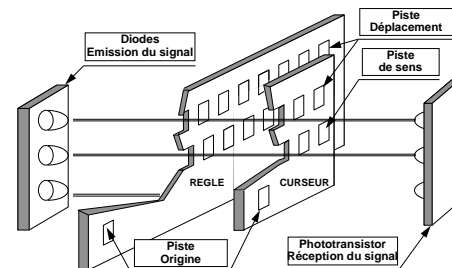
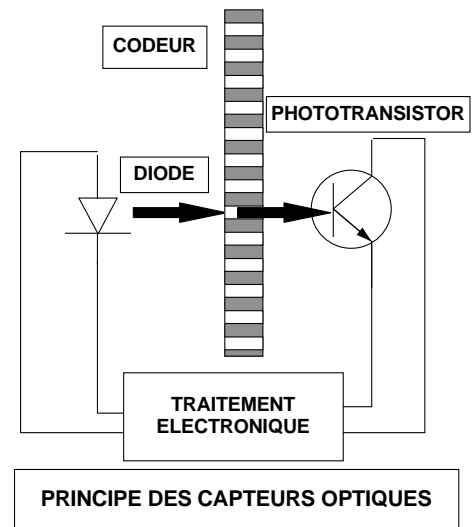
Afin de déterminer le sens on joint une deuxième piste décalée de 1/4 de pas et une troisième peut éventuellement servir à la mise à zéro ou au comptage du nombre de tour.

Un curseur est positionné face à la règle et possède le même nombre de pistes, on joint à l'ensemble règle/curseur un couple optoélectronique par piste permettant ainsi le comptage et décomptage des informations.

Les codeurs absolus.

Ces codeurs conservent l'origine du déplacement hors alimentation Ce type de codeur est divisé en N surfaces égales dans lesquelles est matérialisé le codage binaire.

De ce fait, il est utilisable directement par un ordinateur.

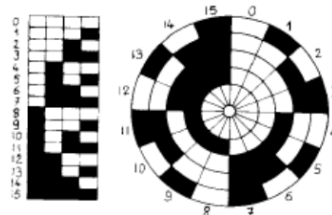


¹ Voir SI-S2-E1-Les codeurs.pdf

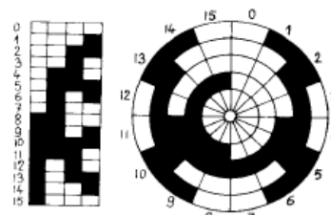
Chaque piste possède son couple optoélectronique.
Ces codeurs se trouvent sous formes de règles ou de disques.

L'inconvénient est que ce type de codage influe directement sur plusieurs critères (bits) d'où d'éventuelles erreurs de lecture.

Codeurs « binaire naturel »



Codeurs « binaire réfléchi »



□ : bit 0 ■ : bit 1

Il existe plusieurs types de codes :

- le binaire naturel,
- le binaire décimal (BCD),
- le binaire réfléchi (Code Gray),
- le binaire décimal réfléchi (BDR).

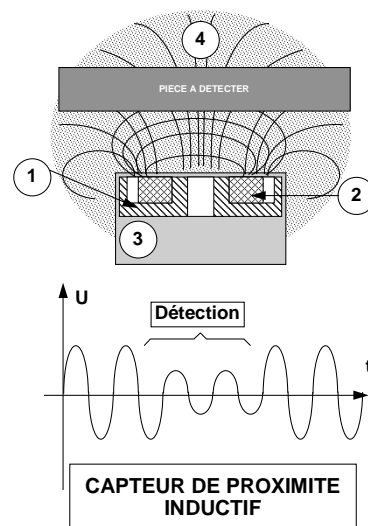
3.2. Les capteurs de proximité et de position

3.2.1. Les capteurs de proximité inductifs

Ces capteurs utilisent l'amortissement d'oscillation d'une pièce passant dans un champ magnétique. Lorsqu'un objet métallique traverse la zone de champ il provoque un amortissement car il induit des courants de Foucault.

La variation de courant est exploitée pour changer l'état du circuit de sortie du capteur.

- 1 - Ferrite
- 2 - Bobinage
- 3 - Boîtier
- 4 - Champ magnétique



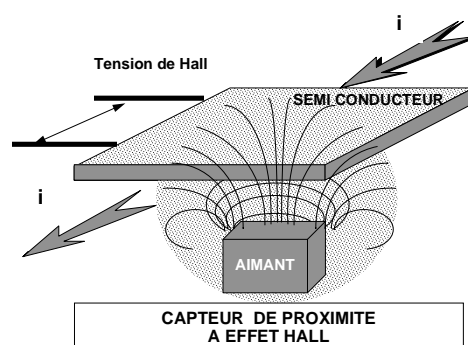
3.2.2. Les capteurs de proximité à effet Hall

Ils se présentent généralement sous la forme de composants semi-conducteurs sensibles aux champs magnétiques.

Ces composants délivrent une différence de potentiel proportionnelle aux champs magnétiques pour un courant d'alimentation constant. La tension de Hall mesure l'intensité du champ magnétique.

Cette tension est relativement faible (5 mV à 30 mV) d'où la nécessaire utilisation d'un amplificateur.

Ce type de capteur permet des mesures au travers de parois non magnétiques. Ils possèdent une étendue de mesure de 1 mm.



3.2.3. Les capteurs de proximité magnéto-résistifs

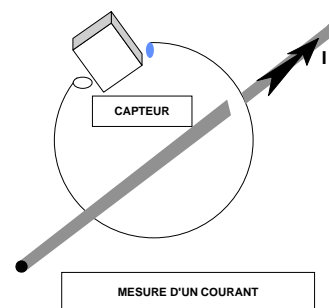
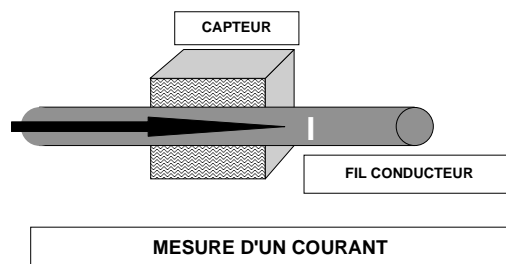
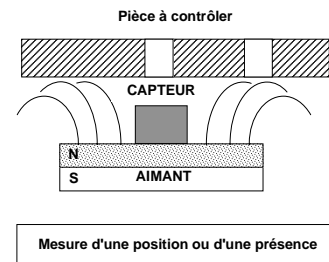
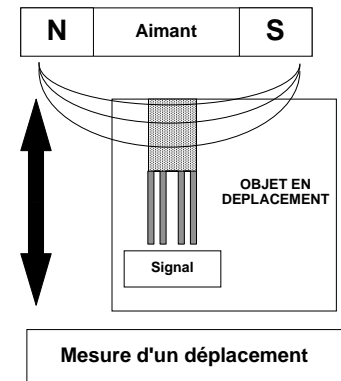
Ils sont constitués d'un résistor dont la valeur de résistance dépend du champ magnétique dans lesquels ils sont placés. Lorsque cet élément se trouve ou non dans un champ magnétique il provoque l'ouverture ou la fermeture d'un transistor interne au capteur.

Le matériau des résistances composé de nickel (80%) et de fer (20%) (appellation : permalloy) est déposé par sérigraphie sur un support en céramique.

Les variations de température n'influent pas sur la linéarité du capteur par contre la sensibilité est moins bonne.

L'utilisation de ces capteurs se fait en général avec **un aimant associé**, le capteur étant lié à la pièce mobile.

Ils sont aussi utilisés pour des mesures de courant étant donné qu'un conducteur traversé par un courant induit un champ magnétique.



3.2.4. Capteurs de proximité capacitifs

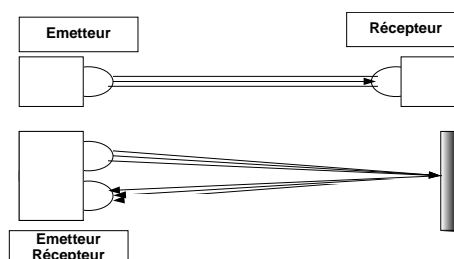
Ils utilisent un circuit oscillant dont la capacité varie lorsqu'un élément métallique ou non est à proximité. Leur avantage est donc de détecter n'importe quels matériaux.

Ces capteurs sont très sensibles aux éléments extérieurs, car c'est l'air ambiant qui sert de diélectrique. Toutes variations de température ou d'hygrométrie modifient de manière importante les performances.

3.2.5. Capteur de proximité photo-électrique

Ils sont constitués d'un élément lumineux et d'un récepteur.

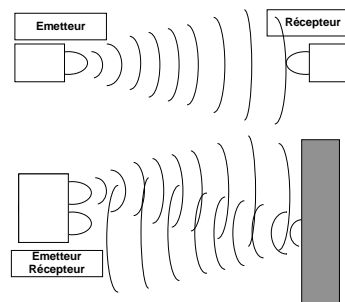
Le passage d'un élément dans le faisceau interrompt le message électrique.



3.2.6. Capteurs de proximité ultra-sonique

Leur principe est le même que les capteurs photoélectriques mais la source est ultrasonique (40 kHz).

Les facteurs ambiants tels que fumées, humidité et les poussières n'ont aucune influence sur leurs performances.



3.3. Les capteurs de pression

Pression absolue :

C'est une pression mesurée par rapport au vide absolu.

Pression relative :

C'est une pression mesurée par rapport à la pression ambiante.

Pression différentielle :

C'est une différence entre deux pressions.

Pression ambiante :

C'est la pression exercée par une colonne de 760 mm de mercure à 0°C sous l'action gravitationnelle de la terre (accélération normale de la pesanteur : 9,81 m/s²)

Ils seront différenciés par les caractéristiques dimensionnelles et de formes des corps d'épreuve.

$P = \frac{dF}{ds}$	
PASCAL : Pa UNITE LEGALE	BAR UNITE AUTORISEE
1 Pa = 1 N / m² 1 MPa = 1 N / mm²	1 bar = 0,1 MPa 1 h bar = 1 da N / mm²

3.3.1. Les capsules anéroïdes

Invention de **Lucien Vidie** en 1844.

C'est une boîte métallique, composée de parois minces et ondulées, où règne le vide.

Ces parois sont liées par soudage Laser.

Cette conception permet à l'ensemble de se déformer en fonction des variations de pression.

Elle permet des mesures de pression absolue (pression atmosphérique), mais aussi **de pression relative**.

Etendue de mesure de 0 à 60 kPa (600 mbar)



3.3.2. Les soufflets

Le soufflet utilise le même principe que la capsule anéroïde, mais il est réalisé à partir de deux flasques liées à un cylindre plissé.

Il permet des mesures de pression relative.

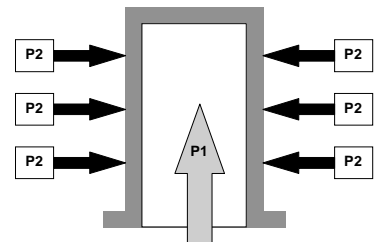
Etendue de mesure de 0 à 60 kPa (600 mbar)



3.3.3. Le tube borgne

C'est un tube soumis intérieurement et/ou extérieurement à la ou les pressions à mesurer.

Les déformations sont aussi bien axiales que radiales.



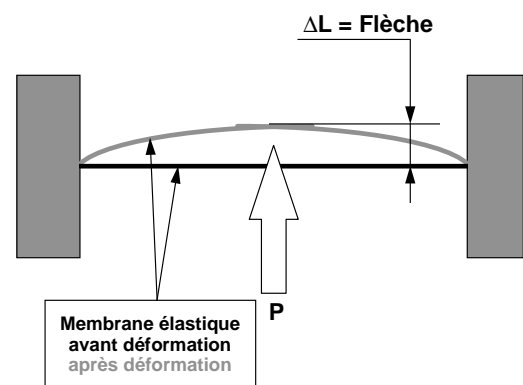
Il permet des mesures de pression différentielle

3.3.4. La membrane

C'est un élément élastique (caoutchoucs, matières plastiques ou métalliques) qui se déforme sous l'action de la pression.

Il permet des mesures de pression différentielle (pressions différentes sur les deux faces de la membrane) ou de pression relative (sur une seule face).

C'est la solution adoptée pour des fonctions de sécurité ou de régulation (pressostat).



3.3.5. Le tube de Bourdon

Le tube de Bourdon :

Invention d'Eugène Bourdon en 1849.

C'est un élément sensible constitué d'un tube métallique cintré en forme de C.

Ce tube est fixe à une extrémité, et libre à l'autre. La pression évoluant dans ce tube le déforme et tend à le décintrer.



Etendue de mesure de 60 kPa (600 mbar) à 6 MPa (60 bars).

3.3.6. Le tube en spirale :

C'est le même principe que le tube de Bourdon, mais le tube est enroulé en spirale permettant ainsi d'avoir **une plus grande amplitude de déformation**.

Ce principe est utilisé dans les thermomètres à dilatation de gaz

3.3.7. Le tube en hélice :

C'est toujours le principe du tube de Bourdon, mais l'enroulement des spires est cylindrique permettant ainsi d'avoir une répartition uniforme des contraintes donc **une meilleure tenue en fatigue**.

Elément réalisable en quartz qui présente de très bonnes caractéristiques métrologiques.

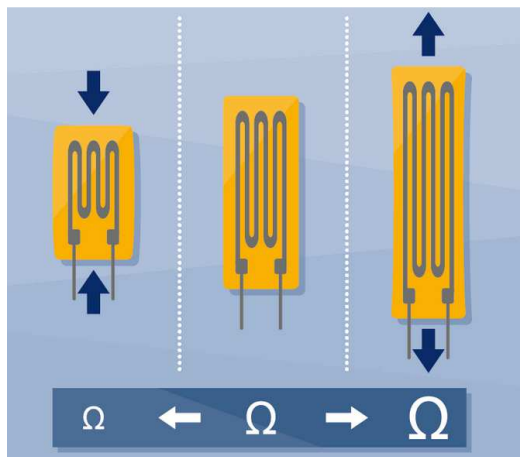
Etendue de mesure de 6 MPa (60 bars) à 300 MPa (3000 bars).

3.3.8. Les jauges de contraintes : Généralités

La jauge de contrainte est un élément résistif dont la variation de résistance est proportionnelle à la déformation.

Les jauges de contrainte sont caractérisées par un *facteur de jauge* k .

La *variation de résistance*, dR , correspond à une *variation de longueur*, dL , due à la contrainte.



$$k = \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dL}{L}}$$

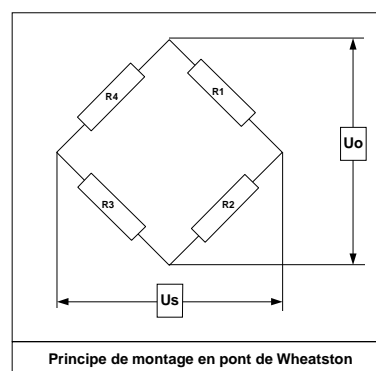
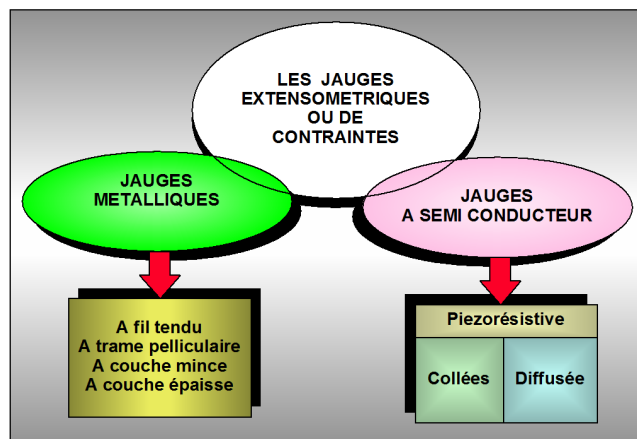
Les jauges sont issues de deux technologies différentes :

Les jauges métalliques ont un facteur de jauge faible lié aux variations dimensionnelles de la jauge.

Les jauges semi-conducteur ont un facteur de jauge élevé lié aux variations de résistivité du semi-conducteur fonction des déformations.

Elles sont fixées sur un élément déformable, corps d'épreuve ou élément dont la déformation est à contrôler, par **collage, soudage ou sérigraphie**.

Elles sont généralement disposées en pont de Wheatstone sur l'élément dont la déformation modifie l'équilibre : $R1 \times R2 = R3 \times R4$



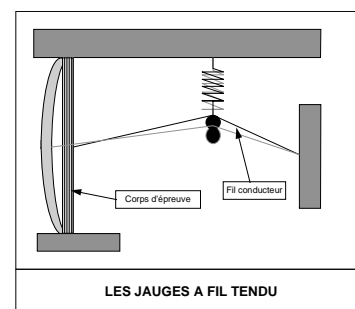
3.3.9. Les jauges métalliques

a- Les jauges à fil tendu :

Ce sont de loin les plus anciennes et ne sont plus guère utilisées.

Un fil conducteur très mince est tendu entre deux points, d'une part le corps d'épreuve, d'autre part un point fixe.

Facteur de jauge : $3 < k < 5$



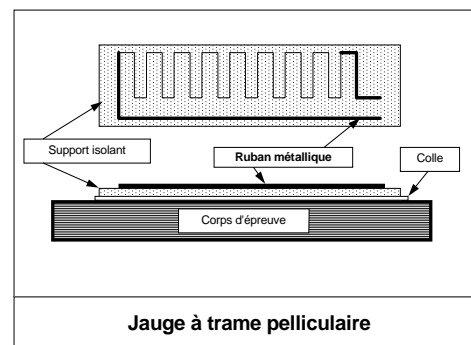
b- Les jauges à trame pelliculaire :

Elles sont constituées d'un ruban métallique (platine, cupronickel, nickel-chrome) monté sur un support isolant (céramique, résine époxy).

Le tout est fixé sur le corps d'épreuve.

Mesure entre - 100°C et + 200°C.

Facteur de jauge : $2 < k < 4$



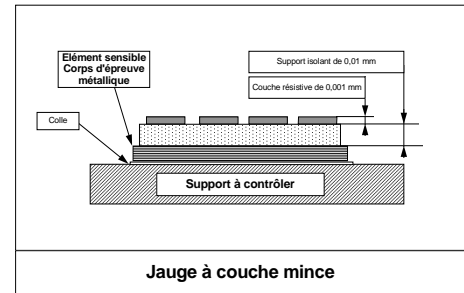
c- Les jauges à couches minces

Ces jauges possèdent un élément sensible déposé par évaporation sous vide en couches minces, l'isolant (céramique), 10 μm , et l'élément résistif, 1 μm .

L'élément résistif est gravé par photogravure.

Ces jauges ont une bonne tenue en fatigue, une bonne compensation en température et une excellente stabilité de mesure.

Facteur de jauge : $2 < k < 5$



d- Les jauges à couches épaisses :

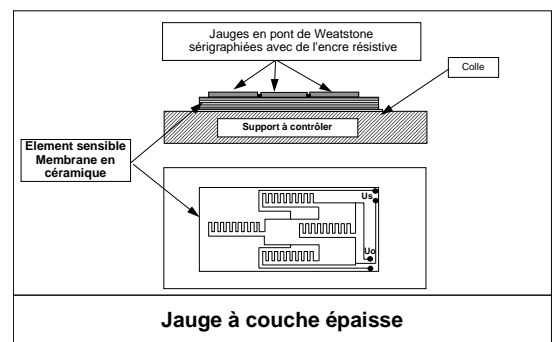
Le corps d'épreuve est en céramique, et l'élément résistif est déposé en couche épaisse d'encre résistive par sérigraphie et est disposé en pont de Wheatstone.

Mesure entre - 40°C et + 125°C.

Etendue de mesure de 50 kPa à 60 MPa

Durée de vie 10 millions de cycles

Facteur de jauge : $10 < k < 15$



3.3.10. Les jauges à semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un corps dont la résistivité se classe entre les conducteurs et les isolants à 25°C.

Les principaux semi-conducteurs sont :

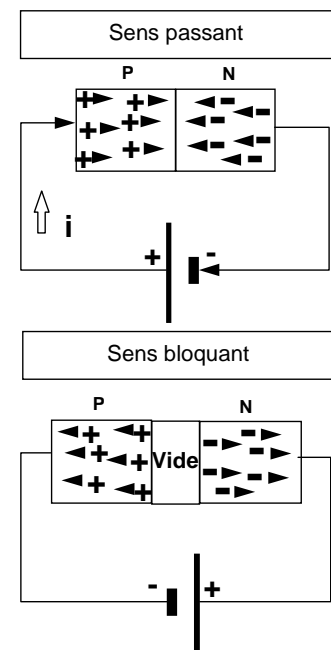
- Le germanium (Ge),
- le silicium (Si),
- le gallium (Ga).

Il y a deux familles de semi-conducteurs, les **types P** (manque d'électrons) dopés avec du bore ou de l'aluminium, et les **types N** (excédant d'électrons) dopés avec du phosphore ou de l'arsenic.

Mais il existe aussi des **types PN**, moitié P, moitié N, fabriqués par le **procédé alliage-diffusion-épitaxie**.

Cette jonction PN peut être polarisée dans le sens passant, ou le sens bloquant.

POLARISATION D'UNE JONCTION PN



Les jauges à semi-conducteurs sont composées d'une capsule manométrique réalisée à partir de micro plaquettes de silicium entre lesquelles on a eu soin de laisser une cavité où on a pratiqué un vide poussé. Ces plaquettes sont pourvues de quatre résistances piézo-électriques montées en pont de Wheatstone. Sous l'influence d'une pression extérieure, la membrane supérieure se déforme entraînant un déséquilibre du pont.

Ces jauges ont une très grande précision, pas d'hystérésis et une bonne stabilité dans le temps, mais sont très sensibles aux variations de température. Elles ont de très faibles dimensions.

a- Les jauges piézo-résistives collées :

Elles sont constituées de barrettes de silicium collées sur un corps d'épreuve et raccordées entre elles par des fils d'or.

Mesure entre - 20°C et + 100°C.

Etendue de mesure de 0,2 MPa à 50 MPa

Facteur de jauge : $50 < k < 300$

b- Les jauges piézo-résistives diffusées :

Les résistances sont réalisées par diffusion (procédé utilisé pour les circuits intégrés) de silicium dopé P sur une membrane de silicium dopée N.

Mesure entre - 40°C et + 125°C.

Etendue de mesure de 30 kPa à 50 MPa

Facteur de jauge : $50 < k < 350$

3.4. Les capteurs de températures

Nous trouvons deux grandes familles de capteurs (comme dans toutes mesures), les capteurs passifs, et les capteurs actifs. Un capteur passif est sensible aux variations de sa géométrie, de ses dimensions, et ses propriétés électriques.

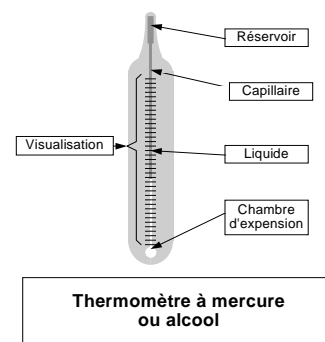
Un capteur actif réalise une conversion, c'est à dire qu'il transforme les variations de températures en variation de tension par exemple.

<p>Pour mesurer une température, ou des variations de températures, il existe différents moyens :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le thermomètre (à mercure, ou alcool), - les bilames, - le calorstat, - les capsules à tension de vapeur, - les thermistances, - les thermocouples, - la dilatation des matériaux (capteurs à cire) - les capteurs au silicium - etc. 	<p>L'utilisation d'un capteur est motivé par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la précision, - le lieu à mesurer, - la variation à mesurer, - le mode de lecture attendue.
---	---

3.4.1. Capteurs à conversion thermo-dimensionnelle

Tous ces types de capteurs peuvent être des systèmes à seuil (bilames), ou bien des systèmes de contrôles en continu (thermistances).

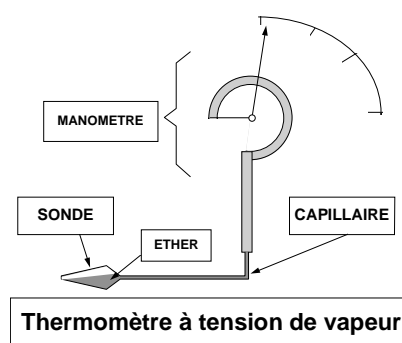
Que ce soit pour **les thermomètres** (mercure ou alcool), pour les bilames, les capsules à tension de vapeur, les capteurs à cire, les "cloquants", l'effet utilisé est **la dilatation** des matériaux suivant différentes températures



Les thermomètres à liquide mercure ou alcool utilisent la dilatation apparente des matériaux. On utilise le mercure, l'alcool, le pentane, le toluène et autres dérivés selon la précision désirée.

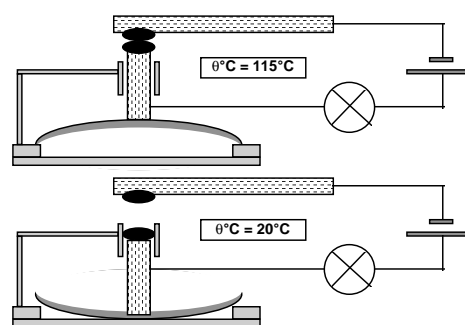
La précision de lecture est donnée par le diamètre du capillaire.

Un thermomètre est gradué par rapport à la plage de mesure.



Les capteurs à cire, **les capsules à tension de vapeur**, et les thermomètres utilisent la dilatation des matériaux proportionnelle à la température afin de restituer les valeurs de température, soit en limite, soit en contrôle asservi.

Le système représenté ci-contre schématise l'effet de la chaleur sur certains alliages de matériaux dit « cloquants » car, lorsqu'ils sont portés à une certaine température, ils changent radicalement de courbure (matériau à mémoire de forme).

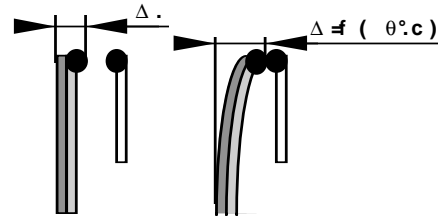


La précision est $\pm 2^\circ\text{C}$ à la montée, et de $\pm 5^\circ\text{C}$ à la descente.

L'utilisation se trouve sur machines thermiques de toutes sortes, mais surtout sur moteurs pour la température d'eau.

Rondelles d'épaisseur 0,5mm à 0,8 mm.

Le bilame utilise le même phénomène que précédemment, mais il peut être couplé à un rhéostat, ce qui peut lui permettre de donner une valeur limite (schéma ci-contre), ou alors de faire un contrôle continu.



Il est utilisé sur moteur, radiateur électrique, chauffe-eau, etc.

3.4.2. Capteur à conversion électrique : les thermistances

Que ce soit pour les thermistances ou pour toutes autres résistances, on utilise la loi suivante :

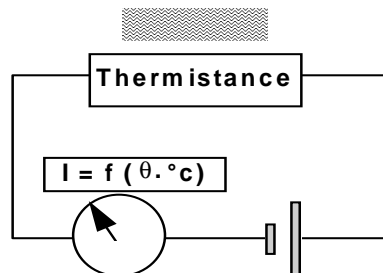
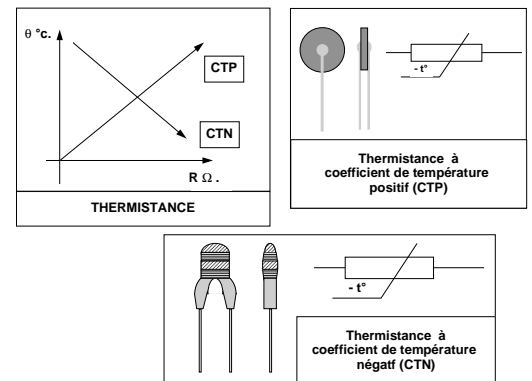
$$R(\theta) = R(0) (1 + \alpha(0) \theta)$$

$R(\theta)$ résistance à la température $\theta^\circ\text{C}$

$R(0)$ résistance à 0°C

$\alpha(0)$ coefficient de température

θ température en $^\circ\text{C}$



3.4.3. Les thermocouples

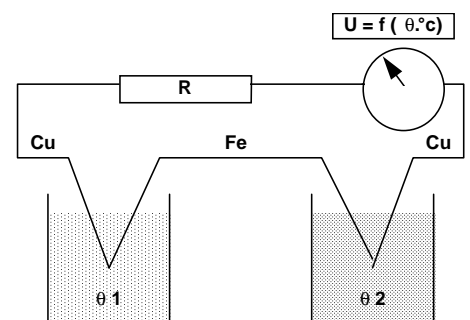
La conversion thermoélectrique par thermocouple est la plus utilisée car c'est de loin la plus précise, et de plus elle ne demande quasiment pas d'alimentation (il suffit de le brancher sur un millivoltmètre).

De plus il est utilisable directement sur une table traçante ayant au moins deux entrées (une pour la mesure et une pour la température ambiante).

On sait que chaque matériaux à son propre potentiel, il suffit donc de réaliser une soudure entre ces matériaux et de brancher les extrémités sur :

- un millivoltmètre,
 - une table traçante,
 - un lecteur direct de thermocouple,
- afin d'obtenir une lecture des variations de température

Par convention on nomme **soudure chaude** la jonction de mesure, et **soudure froide** la jonction de référence, bien qu'il n'y ait pas de contact.



Si la soudure chaude est portée à une température T_{χ} et la soudure froide à T_{α} la f.e.m. délivrée par le thermocouple est de :

$$U = C \times (T_{\chi} - T_{\alpha})$$

"C" est le coefficient de Seebeck et dépend du couple de matériaux (Cf tableau).

	Températures	TYPE DE COUPLE	COULEUR	C
T	-270°C à 370°C	Cuivre / Cuivre Nickel (ancien : Cuivre / Constantan)	Bleu	42,8
J	-270°C à 800°C	Fer / Cuivre Nickel (ancien : Fer / Constantan)	Noir	52,3
E	-270°C à 870°C	Nickel Chrome / Cuivre Nickel (ancien : Nickel / Chrome / Constantan)	Rouge	40,8
K	- 270°C à 1250°C	Nickel Chrome / Nickel Aluminium (ancien "N" : Nickel / Chrome / Nickel allié)	Vert	6,4
	0°C à 2760°C	Tungstène / Rhénium		
S	- 50°C à 1700 °C	Platine 10% Rhodium / Platine (ancien : Platine rhodiée 10% / Platine)	Vert	6,4
R	- 50°C à 1700 °C	Platine 13% Rhodium / Platine (ancien : Platine rhodiée 13% / Platine)		
B	- 50°C à 1700 °C	Platine 30% Rhodium / Platine 6% Rhodium		

4. Choix d'un capteur

Il est nécessaire de connaître :

- **la grandeur physique** à mesurer
- le type de signal délivré
- le type de capteur, passif ou actif
- l'hystérésis du capteur
- *l'étendue de mesure* désirée
- *la précision de mesure* désirée
- *l'incertitude de mesure* désirée
- *l'exactitude de la mesure* désirée
- *la fidélité* de la mesure
- *la répétabilité* de la mesure désirée
- *la reproductibilité* de la mesure
- les *grandeurs d'influence* qui agissent sur la mesure

Ensemble de paramètres que doit nous indiquer la fiche technique d'un capteur. Chaque terme employé est défini dans le V.I.M. (Vocabulaire International de la Métrologie)²

² Voir SI-S2-E1- Le système d'unité.pdf