

Chapitre 1. Notions de chaîne de mesure

1.1 Chaîne de mesure

Une chaîne de mesure (ou une chaîne d'acquisition) représente tous les éléments servant à recueillir des grandeurs physiques ou chimiques correspondantes à un système, puis délivrer ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

1.1.1 Les éléments d'une chaîne de mesure

Afin de mesurer une grandeur physique la chaîne de mesure doit être constituée des éléments suivants

- **Grandeur à mesurer** : appelée le mesurande (grandeurs physiques ou chimiques)
- **Capteur** : Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique d'entrée, appelée le mesurande [m], en un signal électrique (en général) appelée la réponse [s].
- **Conditionneur** : Le signal de la réponse est généralement un signal électrique sous forme d'un signal basse tension qui peut se mettre sous différentes formes (tension, courant, etc.) et qui n'est pas directement exploitable. Le conditionnement du signal consiste à transformer et adapter le signal de départ afin de lui donner la forme la plus appropriée pour son traitement. Plusieurs fonctions contribuent ce conditionnement tels que l'amplification, le filtrage, etc
- **Carte d'acquisition** : elle permet une mise en forme qui consiste la modification de la nature du signal électrique. Exemple, la mise en forme du signal électrique peut être une transformation :
 - d'un courant en une tension et inversement ;
 - d'un signal analogique en un signal logique ou numérique ;
- **Unité de traitement des données** : elle permet d'enregistrer, tracer, traiter mathématiquement et la transmission des données issues du capteur.

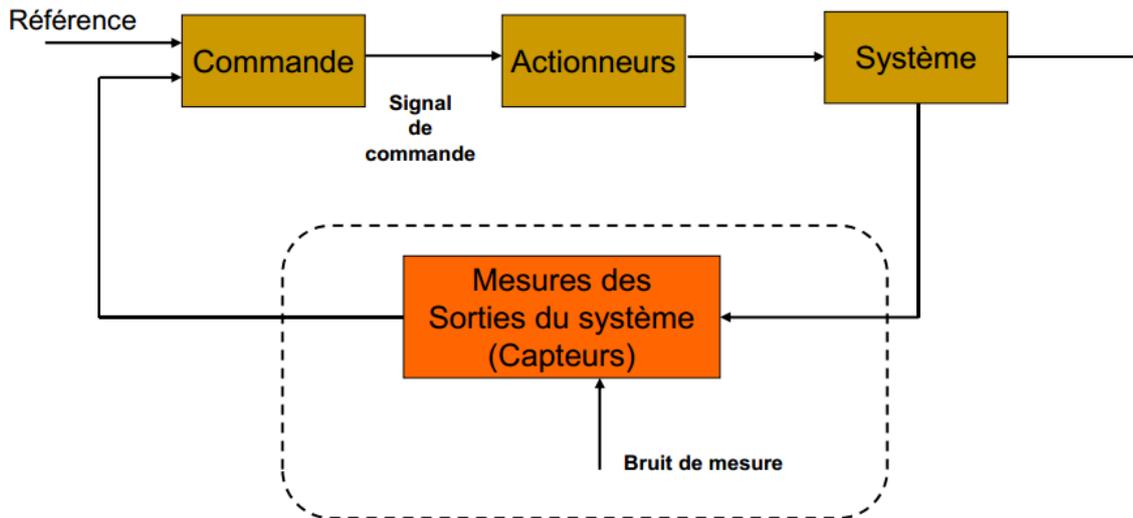
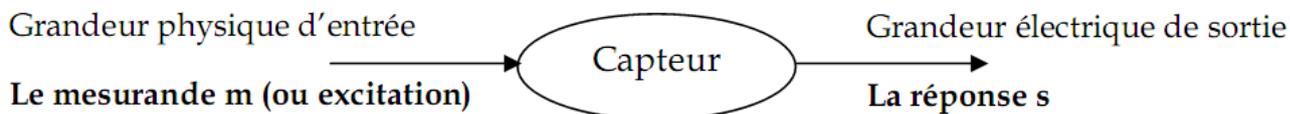


Figure : Synoptique d'une chaîne de régulation industrielle

1.2 Les capteurs

Comme nous l'avons défini au paragraphe précédent un capteur est un dispositif permettant la transformation de l'état d'une grandeur physique ou chimique physique d'entrée (le mesurande) en une grandeur exploitable, exemple : un courant ou une tension électrique, une hauteur de mercure, etc. En général le capteur transforme la grandeur physique (ou chimique) en une grandeur électrique.

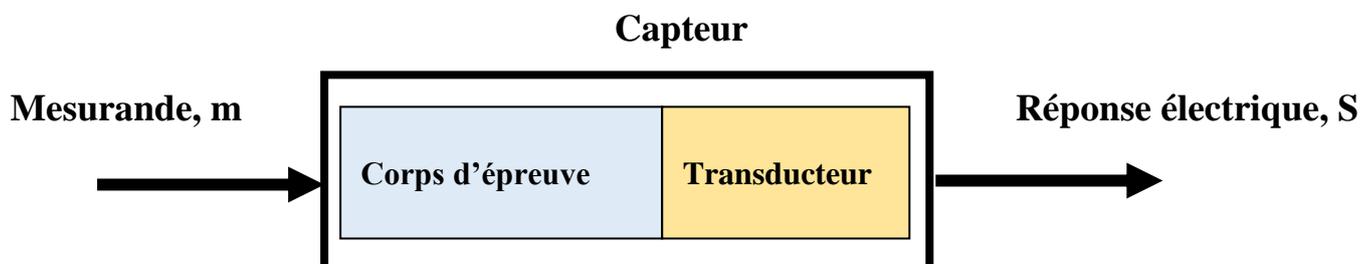


1.2.1 Constitution d'un capteur

Les capteurs contiennent habituellement deux composantes de base connectées en série :

Le corps d'épreuve : il permet la détection de la grandeur à mesurer et qui réagit selon une loi connue aux variations de cette grandeur.

Un transducteur : qui traduit les variations de la grandeur en signal électrique



1.3 Caractéristiques métrologiques d'un capteur

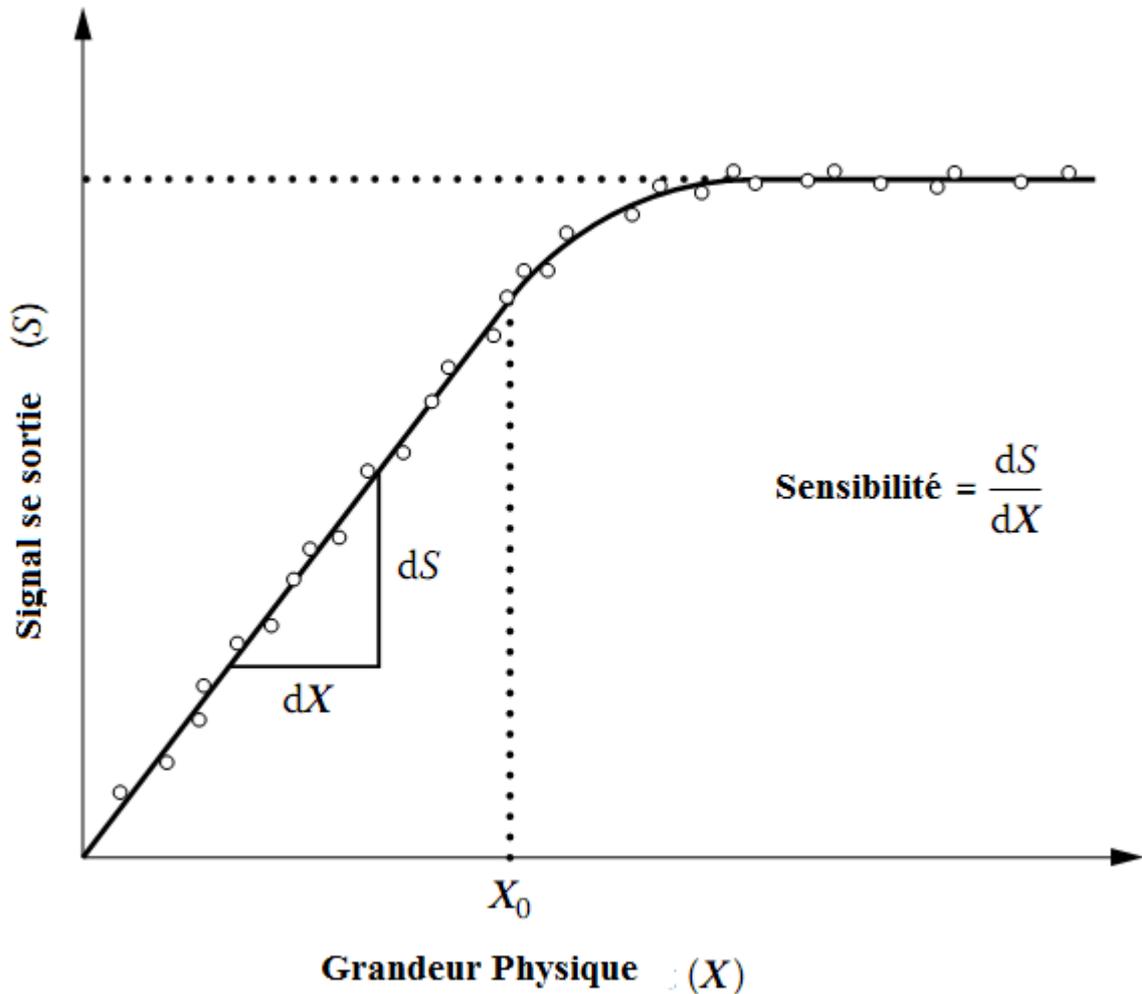
On choisit un capteur en fonction de ses attributs ou caractéristiques métrologiques.

Ces caractéristiques font référence à des étalonnages réalisés en laboratoire

- ❖ **La sensibilité** : ce paramètre caractérise la capacité du capteur à détecter la plus petite variation de la grandeur à mesurer donc cette caractéristique est déterminante dans le choix d'un capteur. C'est le rapport entre la variation du signal électrique de sortie pour une variation donnée de la grandeur physique d'entrée. Ceci autour d'une valeur constante du mesurande.

$$S(m) = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_m \quad \text{unité de } S = \frac{\text{unité grandeur électrique}}{\text{unité mesurande}}$$

- ❖ **La fidélité** : Un capteur est dit fidèle si le signal qu'il délivre en sortie ne varie pas dans le temps pour une série de mesures concernant la même valeur de la grandeur physique d'entrée. Il caractérise l'influence du vieillissement.
- ❖ **Le temps de réponse** : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande.
- ❖ **Etendue de mesure** : Elle est la plage de valeurs du mesurande pour lesquelles le capteur répond aux spécifications du constructeur. $E.M = m_{\max} - m_{\min}$
- ❖ **Fonction de transfert** : C'est la relation fonctionnelle qui relie le mesurande en entrée et la grandeur électrique en sortie du capteur. Elle est définie soit par un graphe, soit par une relation formelle (linéaire, exponentielle, logarithmique...).
- ❖ **Linéarité** : Définit la constance du rapport entre le signal de sortie et celui d'entrée.
- ❖ **Précision** : Aptitude d'un capteur à donner une valeur mesurée proche de la valeur vraie d'un mesurande. Un capteur précis est juste et fidèle.
- ❖ **Etalonnage d'un capteur** : La relation entre l'entrée de la variable de mesure physique et la variable de signal (sortie) pour un capteur spécifique est appelé étalonnage du capteur. Généralement, un capteur (ou un instrument entier système) est étalonné en fournissant une entrée physique connue au système et en enregistrant la sortie les données sont tracées sur une courbe d'étalonnage telle que l'exemple illustré à la figure ci-dessous. Dans cet exemple, le capteur a une réponse linéaire pour les valeurs de l'entrée physique inférieures à X_0 . La sensibilité de l'appareil est déterminée par la pente de la courbe d'étalonnage. Cependant, pour des valeurs de l'entrée physique plus que X_0 , la courbe d'étalonnage devient moins sensible jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur limite du signal de sortie. Ce comportement est appelé la saturation, c'est-à-dire, le capteur ne peut pas être utilisé pour des mesures plus que sa valeur de saturation. Dans certains cas, le capteur ne répondra pas à de très petites valeurs du variable d'entrée. La différence entre les entrées physiques les plus petites et les plus grandes qui peuvent être mesurée par un instrument déterminant la plage dynamique de l'appareil.



1.4 Classification des capteurs

1.4.1 classification selon leur principe de base de fonctionnement

1.4.1.1 Les capteurs actifs

Les capteurs actifs fonctionnent en générateur en convertissant la forme d'énergie propre au mesurande en énergie électrique. L'énergie électrique peut être une tension, un courant ou une quantité de charges électrique.

MESURANDE	EFFET UTILISE	GRANDEUR DE SORTIE
Température	Thermoélectricité	Tension
Vitesse	Induction	Tension
Flux optique	Photoémission	Courant
	Pyroélectricité	Charge
Force, pression, accélération	Piézoélectricité	Tension
Position	Effet Hall	Tension

1.4.1.2 Les capteurs passifs

Dans ce cas, la réponse du capteur est une impédance où l'un de ses paramètres (la résistance, la capacité ou l'inductance) est sensible au mesurande.

Mesurande	Propriété électrique sensible	Types de matériaux utilisés
température	résistivité	métaux (platine, nickel, cuivre) &S/Cs
très basse température	constante diélectrique	verres
flux optique	résistivité	semi-conducteurs
déformation	résistivité	alliages de nickel, silicium dopé
	perméabilité magnétique	alliages ferromagnétiques
position (aimant)	résistivité	matériaux magnéto-résistants : bismuth, antimoniure d'indium
humidité	résistivité	chlorure de lithium

1.4.2 Classification selon le signal de sortie

La réponse du capteur peut avoir trois états :

- ✓ Un signal analogique : où la variation est continue
- ✓ Un signal Tout ou Rien (Logique) : où l'information peut prendre deux états fausse ou vraie
- ✓ Un signal numérique : ici l'information est constituée d'une trame de données (plusieurs bits)

1.5 Circuits conditionneurs des capteurs

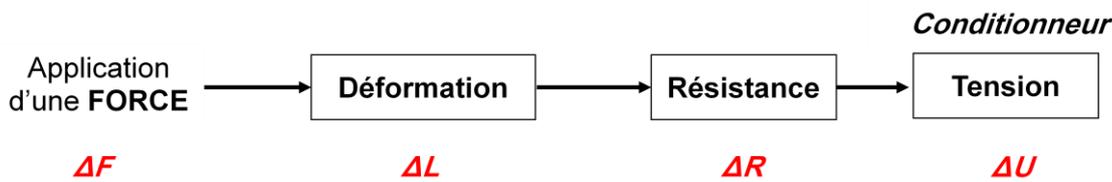
Définition

Le rôle du conditionneur est de convertir, lorsqu'elle n'est pas une tension, la grandeur électrique de sortie du capteur, ou ses variations par rapport à un état d'origine, en une tension dont l'amplitude ou (et) la fréquence sont déterminées par la sortie du capteur.

Il existe deux types de circuits conditionneurs des capteurs répartis selon le principe de base de fonctionnement des capteurs : capteurs actifs et capteurs passifs.



Exemple :



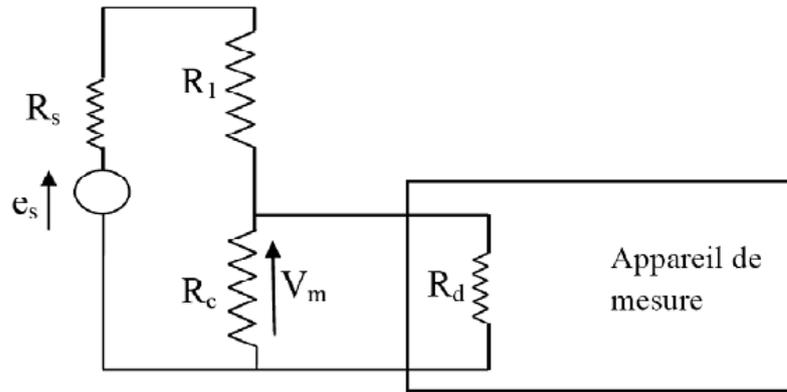
1.5.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Comme nous l'avons évoqué au paragraphe précédent, la mesure de l'impédance du capteur Z_C permet d'en déduire la valeur du mesurande. Cette mesure n'est pas possible seulement si en associant au capteur une source de tension e_s (ou une source de courant i_s) avec d'autres impédances constituant alors le conditionneur du capteur. On peut regrouper les circuits conditionneurs des capteurs passifs selon les paramètres étudiés du signal conditionné.

- Soit sur l'amplitude du signal de mesure, c'est le cas des montages potentiométriques et des ponts.
- Soit sur la fréquence du signal de mesure, il s'agit alors d'oscillateurs.

1.5.1.1 Montage potentiométrique (montage diviseur)

Le capteur de résistance R_c monté en série avec une résistance R_1 est alimenté par une source de tension e_s de résistance interne R_s (voir la figure ci-dessous). La tension V_m est mesurée aux bornes du capteur par un appareil de résistance interne R_d .



Mesure de la tension aux bornes d'un capteur résistif dans un montage potentiométrique.

On peut écrire :

$$V_m = \frac{R_c}{R_s + R_1 + R_c} \cdot e_s$$

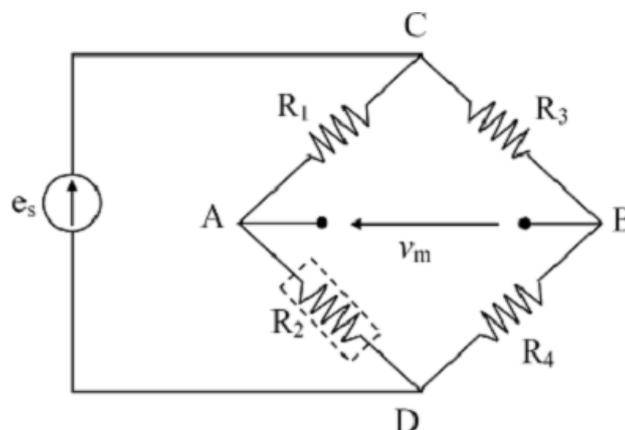
Comme R_s est négligeable car en réalité c'est une résistance interne de la source, la formule de la tension s'écrit comme suit :

$$V_m = \frac{R_c}{R_1 + R_c} \cdot e_s$$

1.5.1.2 Montage en pont

L'utilisation d'un montage potentiométrique présente le défaut d'avoir en sortie la présence d'une tension continue, et ceci en l'absence de variations du mesurande. L'emploi d'un montage en pont présente l'avantage de s'affranchir de cette tension continue.

Le montage ci-dessous représente un montage quart de pont, où la résistance $R_2 = R_c$ est la résistance du capteur et trois résistances fixes



Montage en pont

$V_m = V_A - V_B$ avec :

$$V_A = \frac{R_C}{R_1 + R_C} \cdot e_s \quad \text{et} \quad V_B = \frac{R_4}{R_4 + R_3} \cdot e_s$$

donc :

$$V_m = e_s \cdot \left(\frac{R_C \cdot R_3 - R_4 \cdot R_1}{(R_1 + R_C) \cdot (R_3 + R_4)} \right)$$

Si on veut avoir une tension nulle en absence de mesurande (on dit que le pont est en équilibre), il faut avoir : $R_C \cdot R_3 = R_4 \cdot R_1$

1.5.2 Conditionneurs des capteurs actifs

Il existe 3 types de capteurs actifs :

- ✓ Capteur générateur de f.é.m : il s'agit d'une amplification et une adaptation d'impédance.
- ✓ Capteur générateur de courant : le circuit de conditionnement consiste à produire une transformation du courant en tension
- ✓ capteur générateur de charge : le circuit conditionneur consiste à produire une transformation de la charge en tension

1.5.3 Conditionneur du signal

1.5.3.1 Adaptation d'impédance

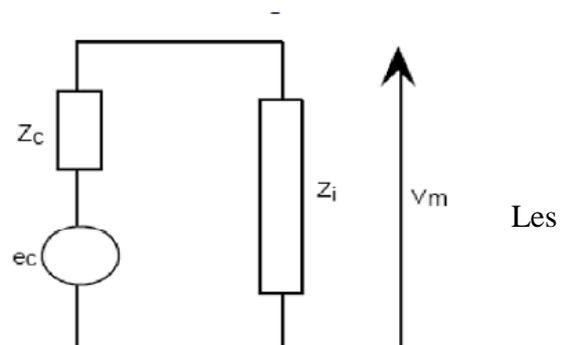
Le capteur, associé à son conditionneur, lorsqu'il est passif est équivalent à un générateur réel constitué d'une source et d'une impédance interne délivrant le signal au circuit de charge. Et afin que le signal soit obtenu dans les meilleures conditions de sensibilité et de stabilité vis-à-vis les variations éventuelles de l'impédance interne, le générateur équivalent doit être chargé par une impédance bien appropriée.

- Cas d'un capteur considéré comme source de tension

Lorsqu'un capteur délivre une tension $e_c(m)$, sous l'influence de mesurande, cette tension est en série avec une impédance Z_c du capteur (voir figure ci-dessous). Pour minimiser l'influence de cette dernière, le dispositif de mesure doit avoir une impédance d'entrée, Z_i , très grande devant Z_c .

$$V_m = e_c(m) \cdot \frac{Z_i}{Z_i + Z_c}$$

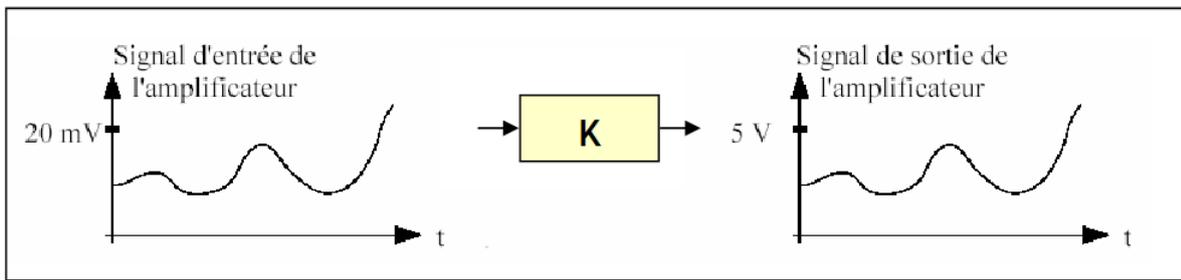
Si $Z_i \gg Z_c$ on a alors : $V_m = e_c(m)$



1.5.3.2 Les amplificateurs opérationnels

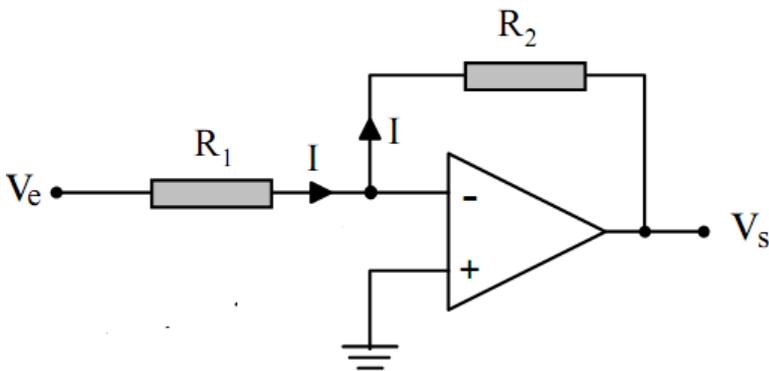
Les amplificateurs opérationnels, en plus de l'adaptation d'impédance qu'ils peuvent garantir, ils permettent aussi en plus de l'amplification du signal, de convertir les signaux de sorties, quand ils sont un courant ou une charge, à un signal de sortie tension.

L'amplification se résume par une simple multiplication du signal d'entrée par un coefficient K comme le montre la figure ci-dessous. L'amplification se justifie dans les cas où le signal est très faible. Par exemple, un capteur fournit quelques millivolts, alors que l'on a besoin de plusieurs volts.



On rappelle ici les principaux montages utilisés dans le conditionnement des signaux.

Montage inverseur



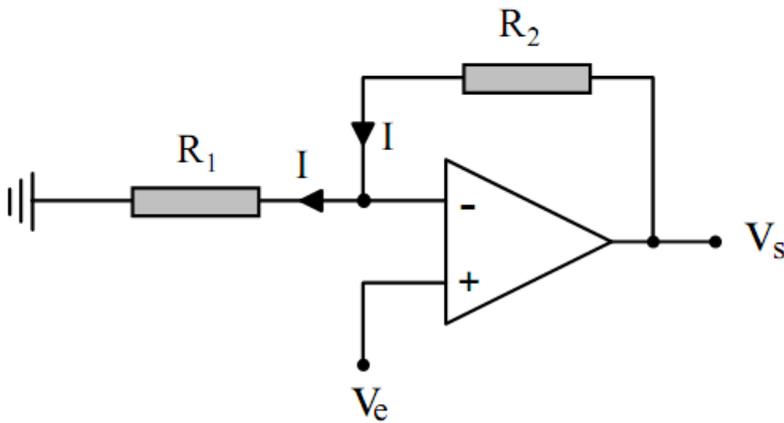
$$V_e = R_1 I ,$$

$$V_s = - R_2 I \quad \text{D'où}$$

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = - \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_s = - \frac{R_2}{R_1} V_e$$

Montage non inverseur



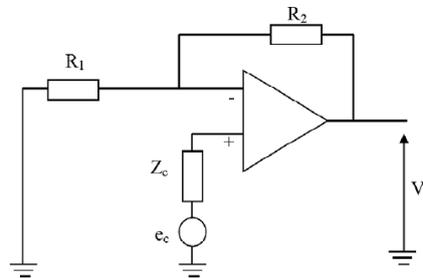
$$V_e = R_1 I$$

$$V_s - V_e = R_2 I \text{ D'où}$$

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

* Cas d'un capteur source de tension

Le capteur est équivalent à une source de tension e_c en série avec une impédance Z_c .



L'utilisation d'un amplificateur opérationnel avec le montage ci-dessus permet, avec l'approximation de l'amplificateur opérationnel idéal, d'écrire :

$$\frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

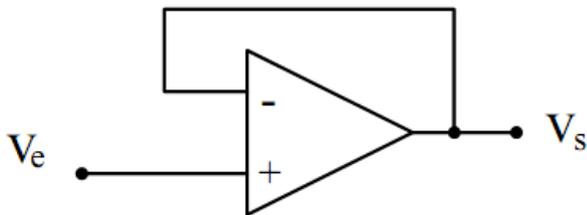
On remarque

- Que le capteur ne débite pas un courant ($i_+ = i_- = 0$ dans l'amplificateur idéal) ou encore qu'il débite sur une impédance infinie. La condition de non influence de l'impédance interne Z_c du capteur sur la mesure est réalisée.
- qu'en sortie, V_s est indépendant du courant débité dans la charge. La tension V_s débitée par l'amplificateur se comporte comme une source de tension d'impédance interne nulle.

- Que le choix de R_1 et R_2 permet de régler le gain G désiré.

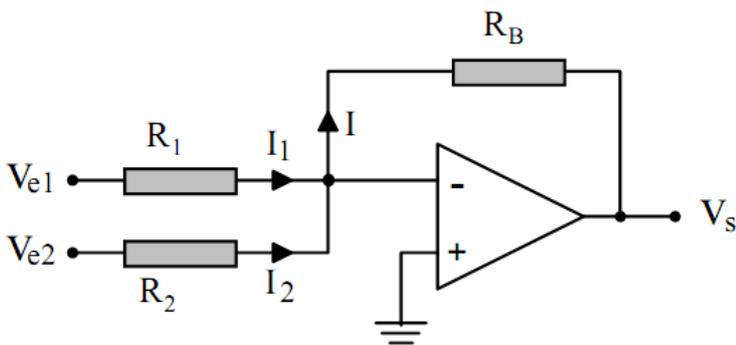
Ce montage permet, donc, d'adapter l'impédance au signal du capteur ainsi d'amplifier la sortie de ce dernier.

Montage suiveur



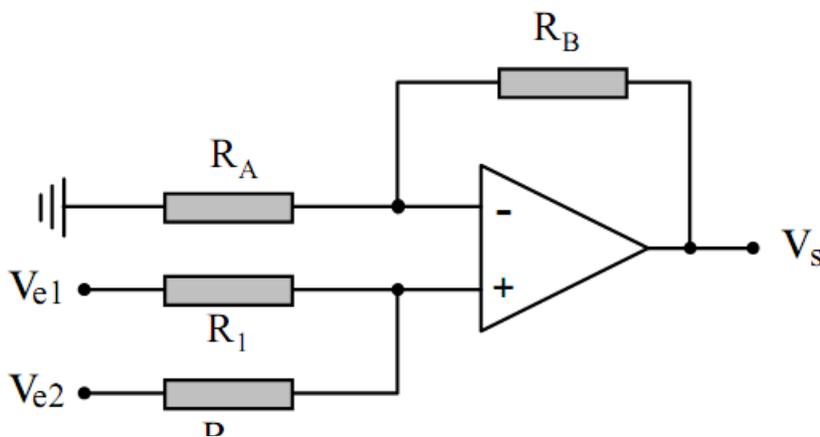
$$V_s = V_e$$

Montage sommateur inverseur



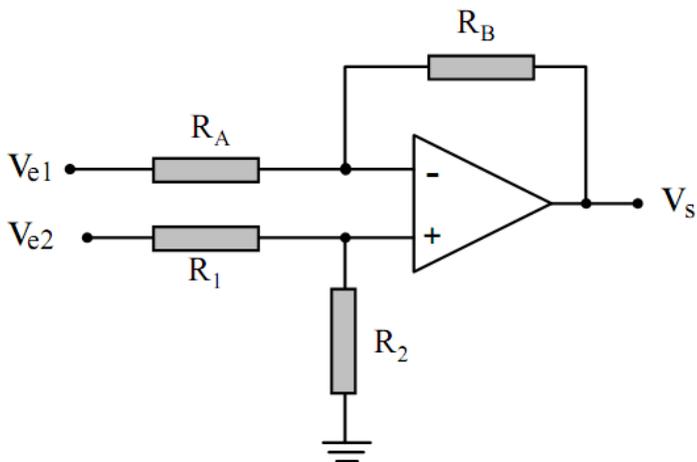
$$V_s = -R_B \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

Montage sommateur non inverseur



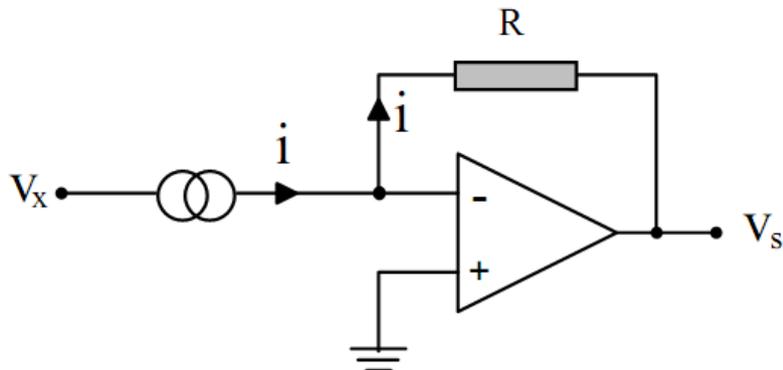
$$V_s = \frac{R_A + R_B}{R_A (R_1 + R_2)} (R_2 V_1 + R_1 V_2)$$

Montage différentiel



$$V_s = \frac{R_A + R_B}{R_A} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 - \frac{R_B}{R_A + R_B} V_1 \right)$$

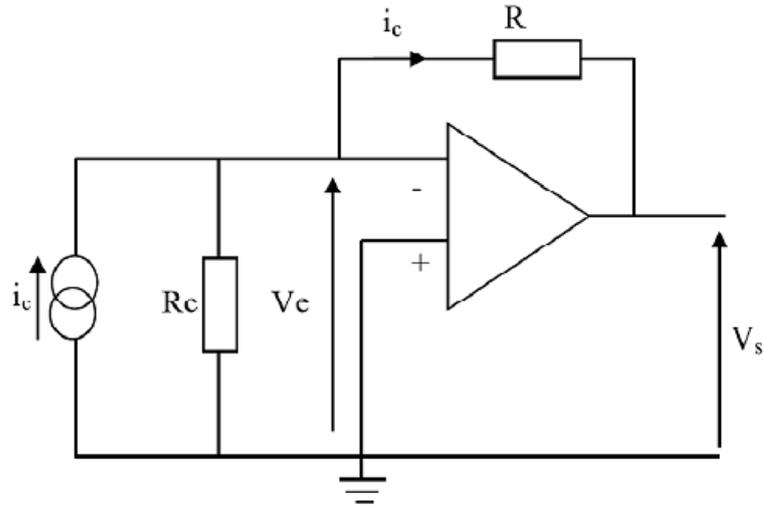
Montage convertisseur courant tension



$$V_s = -Ri$$

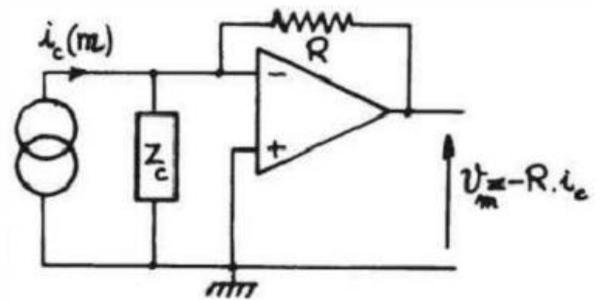
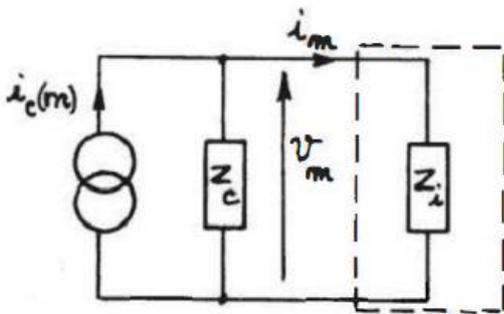
* *Cas d'un capteur source de courant*

Le capteur, cette fois, est équivalent à une source de courant placée en parallèle sur une résistance R_c , on peut alors utiliser le montage de la figure ci-dessous :

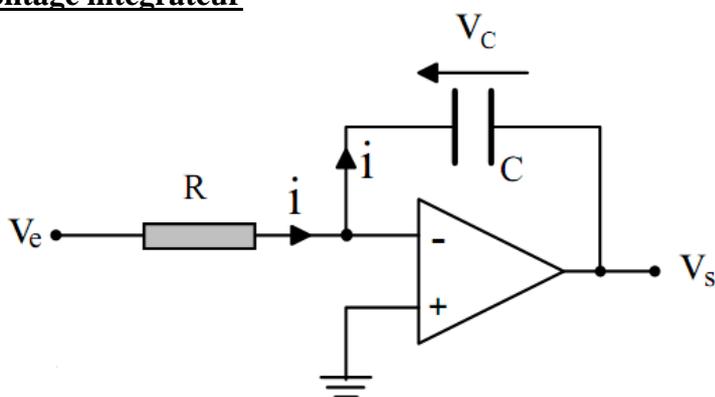


Quand le capteur est électriquement équivalent à une source de courant i_c (m) en parallèle avec une impédance interne Z_c (photodiode ou photomultiplicateur par exemple), il faut que l'impédance d'entrée Z_i du circuit de mesure soit très inférieure à Z_c pour que le signal recueilli, i_m , soit pratiquement égal à i_c et indépendant de Z_c :

$$i_m = i_c \cdot \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} \cong i_c \quad \text{pour } Z_i \ll Z_c.$$



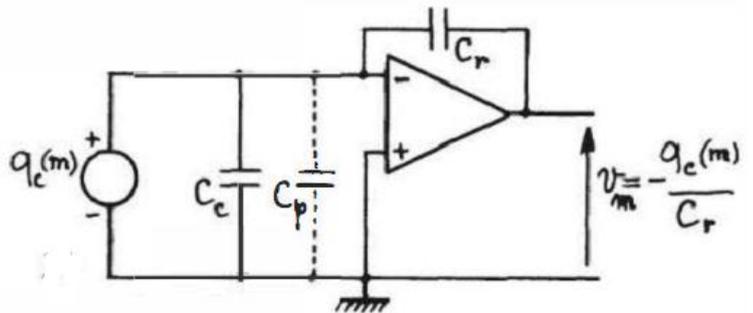
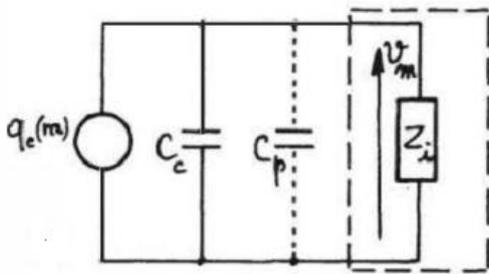
Montage intégrateur



$$V_s = -\frac{1}{CR} \int v_e(t) dt$$

*** Cas d'un capteur source de charge**

Dans le cas, où le capteur est un générateur de charge $q_c(m)$, d'impédance interne capacitive (C_c , cristal piézoélectrique par exemple, il n'est en général pas possible de placer à ses bornes un circuit dont l'impédance d'entrée serait résistive : en effet, d'une part la décharge de la capacité risquerait d'être trop rapide pour permettre l'exploitation du signal et d'autre part, la tension recueillie qui dépend de l'ensemble des capacités (C_p) du montage, capacités des câbles par exemple, serait sensible à leurs variations erratiques. Le dispositif à utiliser dans ce cas est l'amplificateur de charge qui délivre une tension proportionnelle à la charge et indépendante de la capacité du capteur et des câbles de liaison.



Chapitre 2 : les capteurs de température

2.1 Introduction

La mesure de température a lieu avec des éléments qui varient en fonction de la température : thermistances (la résistance de l'élément varie proportionnellement ou suivant une loi logarithmique avec la température), thermocouples (basés sur l'effet Seebeck qui est un effet thermoélectrique où la tension de type f.é.m. dépend de la température).

On décompose les capteurs de température en deux sous-catégories :

- Les capteurs passifs, à résistance ou thermistance ;
- Les capteurs actifs, à couple thermoélectrique.

2.2 Echelle des températures

Il existe plusieurs échelles de température à savoir :

Échelle de Kelvin

L'unité est le Kelvin (K). Cette échelle se base sur la valeur de la température du point triple de l'eau étant fixé à 273,16. Le point triple de l'eau est la température d'équilibre entre la phase solide, liquide et vapeur.

Échelle de Rankin

L'unité est le degré Rankin (°R) qui est égal à 9/5 de kelvin ; la température du point triple de l'eau est donc de 491,69 °R.

Échelle de Celsius

L'unité est le degré Celsius (°C). Cette échelle se base sur l'échelle de Kelvin :

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273,15$$

Échelle de Fahrenheit

L'unité est le degré Fahrenheit (°F). Cette échelle s'obtient par décalage de l'échelle absolue de Rankin :

$$T(^{\circ}F) = T(^{\circ}R) - 459,67$$

La relation de conversion entre l'échelle de Celsius et celle de Fahrenheit est comme suit :

$$T(^{\circ}C) = (T(^{\circ}F) - 32) \cdot \frac{5}{9}$$

Le tableau suivant présente l'équivalence entre les différents échelles :

	Kelvin (K)	Celsius (°C)	Rankin (°R)	Fahrenheit (°F)
Zéro absolu	0	-273,15	0	-459,67
Équilibre eau glace à 101325 Pa	273,15	0	491,67	32
Ébullition de l'eau à 101325 Pa	373,15	100	671,67	212

2.3 Thermométrie par résistance

Dans ce type de capteurs la température dépend directement de la variation de la résistance du matériau. Les lois de variation de résistances sont différentes suivant qu'il s'agit d'un métal ou d'un semiconducteur constitué d'oxydes métallique. Donc, on peut classer les capteurs de température par résistance en deux types :

- Les résistances métalliques.
- Les thermistances.

2.3.1 Capteur de température à base d'une sonde thermométrique (résistance métallique)

Une formule de base permet de calculer la résistivité d'un métal ou d'un alliage à une température définie :

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha(T - T_0))$$

Où :

ρ : résistivité à la température T ($\Omega.m$)

ρ_0 : résistivité à la température T_0

α : coefficient de température (positif ou négatif)

T : température finale

Nous avons :

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

Donc, on peut écrire.

$$R(T) = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

La nature du matériau, sa pureté, sa conductivité ainsi que le domaine (la plage) de température exploré jouent un rôle important dans la variation de R(T).

Dans le cas d'un matériau en PLATINE, sa résistance électrique varie selon la relation suivante :

$$R(T) = R(T_0). (1 + A.T + B.T^2 + C.T^3)$$

$R(T_0)$: résistance à T_0 ;

A, B, C sont des constantes caractéristiques du matériau.

Exemple : la sonde Pt100 : Les métaux utilisés sont (Cuivre, Nickel et Platine). Le platine est le matériau le plus utilisé.

Sensibilité thermique d'une résistance métallique

Si on admet que la température varie sur un petit domaine autour de la température T, la relation de R(T) peut être linéarisée suivant l'expression :

$$R(T + \Delta T) = R(T_0). (1 + \alpha_R \cdot \Delta T)$$

Où :

$$\alpha_R = \frac{1}{R(T)} \cdot \frac{dR}{dT}$$

α_R : est le coefficient de température de la résistance ou sensibilité thermique à la température T; α_R dépend évidemment de la température et du matériau. Pour le platine : $\alpha_R = 3,9 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$, le tableau en dessous représente les valeurs du coefficient de température de quels que matériaux :

Matériau	Coefficient de température α à 25 °C
Evaohm	$\pm 0,00001 (10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Kazma	$\pm 0,00002 (20 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Manganin	$\pm 0,00004 (40 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Cuivre - Manganèse	$0,00004 (40 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Nickel - Chrome - V	$+ 0,0001 (100 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Nickel - Chrome	$0,0003 (300 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Argent	$0,00377 (3\,770 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Cuivre	$0,00428 (4\,280 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$

Exemple : une résistance composée de fil d'argent a une résistance de 150 nominale. Calculer sa résistance ohmique à 80°C, 200°C et -10°C.

Avantages :

- simplicité de la mise en œuvre
- mesure de températures élevées et très basses (-220°C à 780 °C)
- Précision

Inconvénients :

- sujet à l'auto-échauffement

2.3.2 Capteur de température à base d'une Thermistance

La propriété primordiale de ce type de résistance est une sensibilité thermique très supérieure, de l'ordre de 10 fois, à celle des résistances métalliques ; en outre leur coefficient de température est généralement négatif et dépend fortement de T.

Elles sont constituées à partir de mélanges d'oxydes métalliques semi-conducteurs polycristallins tels que :

Fe_2O_3 (oxyde ferrique) ; MgAl_2O_4 (aluminat de magnésium) ; Zn_2TiO_4 (titane de zinc).

Les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à la température du milieu où il est plongé. Donc, une thermistance est un composant électronique dont la résistance électrique est très sensible à la température où l'expression de sa résistance est donnée par la relation suivante :

$$R(T) = R(T_0) \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

$R(T_0)$: est la résistance de la thermistance à $T=T_0$.

B : une constante caractéristique du matériau formant la thermistance, généralement comprise entre 3000K et 5000K.

T : la température à mesurer en Kelvin.

La sensibilité thermique de la thermistance s'écrit comme suit :

$$\alpha_R = -\frac{B}{T^2}$$

Caractéristiques

- faible encombrement
- deux types de thermistances :
 - à coefficient de température positif (PTC)
 - à coefficient de température négatif (NTC)

Capteur de température à base d'une Thermistance CTN (coefficient de température négatif)

Avantages :

- simplicité de la mise en œuvre
- très économique (prix bas).

Inconvénients :

- La variation n'est pas très linéaire
- La température ne doit pas excéder 120°C à 150°C

Capteur de température à base d'une Thermistance CTP (coefficient de température positif)

Sa courbe de variation n'est absolument pas linéaire et présente un seuil marqué. On l'utilise pour détecter le seuil de température pour lequel il est fabriqué.

Avantages :

- très économique (prix bas).

Inconvénients :

- on ne peut pas faire de mesure mais seulement de la détection
- la température ne doit pas excéder 150°C à 170°C.

2. 3.4 Méthodes de mesure

Comme il s'agit de capteurs passifs, on emploie les montages associés à ce type de capteurs :

- les circuits potentiométriques.
- les ponts de mesure.

2. 3.5 Autres méthodes.

Comme dans les cas précédents, on ne mesure pas la température mais une grandeur qui évolue avec la température et dont on connaît la variation en fonction de la température.

- a. Méthodes optiques.

Elles ne nécessitent pas de contact direct avec l'objet. Comme elles sont difficiles à mettre en œuvre, leur emploi est limité. Elles sont utilisées pour la mesure de températures élevées. On mesure un rayonnement (infra rouge ou visible), on utilise des capteurs optiques.

b. Méthodes mécaniques.

C'est la mesure de la dilatation d'un solide, d'un liquide, d'un gaz à pression constante. Dans ce cas, on se ramène à une mesure de dimension et à un contrôle de pression.

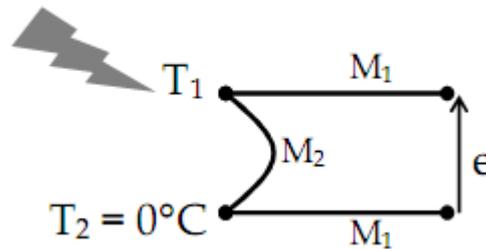
c. Mesure de bruit de fond.

L'agitation thermique provoque des fluctuations des tensions et des courants de bruit sur une résistance. Ces fluctuations dépendent de la température. Il faut veiller à ce que les autres bruits (installation de mesure, parasites, ...) soient maintenus à un niveau très faible pour ne pas fausser la mesure.

2.4 Capteur Actif, à couple thermoélectrique

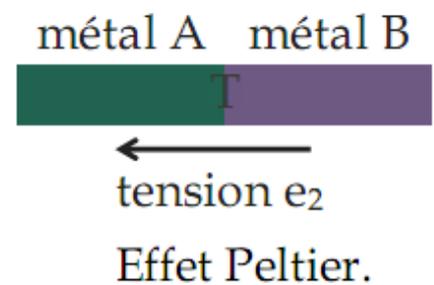
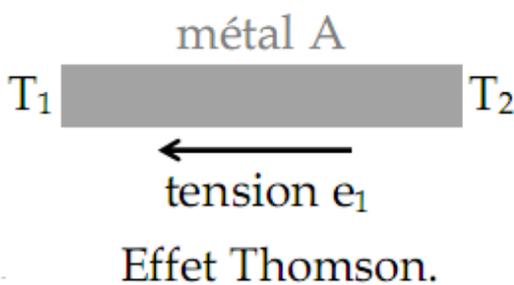
Effet thermoélectrique : Basés sur la création d'une tension à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température. Exemple : principe du thermocouple.

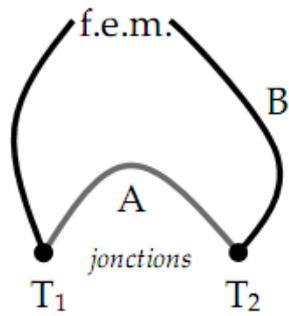
Principe



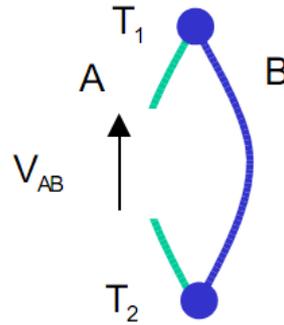
Un thermocouple est constitué de deux conducteurs en métaux de caractéristiques thermoélectriques différents. Ces deux conducteurs placés dans un gradient de température, selon l'effet Seebeck, vont générer une F.e.m (V) en rapport avec la température.

Effet SEEBECK : Un circuit constitué de deux conducteurs A et B dont la jonction est à une température (T) constitue un couple thermoélectrique qui est le siège d'une f.é.m. résultant des effets Peltier et Thomson.





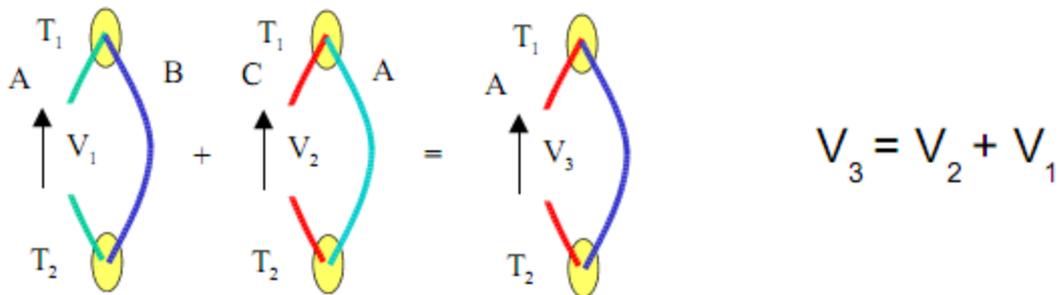
Effet Seebeck.



V_{AB} dépend de la nature des deux conducteurs et des températures T_1 et T_2 .

En général, la température de l'une des jonctions est fixe, connue et sert de référence ($T_1=T_{ref}$) ; celle T_2 de l'autre jonction est la température du capteur T_c .

Les pouvoirs thermoélectriques des métaux et alliages (relation $V = f(T)$) sont définis dans des tables par rapport à un métal de référence (Pb ou Pt) et par rapport à 0°C .



→La relation force électromotrice/température de n'importe quel couple peut être déterminée.

Avantages :

- les températures peuvent être très élevées 1100°C à 2320°C
- Prix

Inconvénients :

- non linéaire
- amplitude très faible de la tension à pleine échelle
- sensibilité très faible

Thermocouples	Plage de température	E mV(1)	Précision (2)
Cuivre/Constantan Type T (diamètre 1,63 mm)	- 270 °C à 370 °C	- 6,258 à 19,027	± 2 % de - 100 °C à - 40 °C ± 0,8 % de - 40 °C à 100 °C ± 0,75 % de 100 °C à 350 °C
Fer/Constantan Type J (diamètre 3,25 mm)	- 210 °C à 800 °C	- 8,096 à 45,498	± 3 °C de 0 °C à 400 °C ± 0,75 % de 400 à 800 °C
Chromel/Alumel Type K (diamètre 3,25 mm)	- 270 °C à 1 250 °C	- 5,354 à 50,633	± 3 °C de 0 °C à 400 °C ± 0,75 % de 400 °C à 1 250 °C
Chromel/Constantan Type E (diamètre 3,25 mm)	- 270 °C à 870 °C	- 9,835 à 66,473	± 3 °C de 0 °C à 400 °C ± 0,75 % de 400 °C à 1 250 °C
Platine-Rhodium (10 %)/Platine Type S (diamètre 0,51 mm)	- 50 °C à 1 500 °C	- 0,236 à 15,576	± 2,5 °C de 0 °C à 600 °C ± 0,4 % de 600 °C à 1 600 °C
Platine-Rhodium (13 %)/Platine Type R (diamètre 0,51 mm)	- 50 °C à 1 500 °C	- 0,226 à 17,445	± 1,4 °C de 0 °C à 538 °C (3) ± 0,25 % de 538 °C à 1 500 °C
Platine-Rhodium (30 %)/ Platine-Rhodium (6 %) Type B (diamètre 0,51 mm)	0 °C à 1 700 °C	0 à 12,426	± 0,5 % de 870 °C à 1 700 °C (3)
Tungstène-Rhénium (5 %)/ Tungstène-Rhénium (26 %)	0 °C à 2 760 °C	0 à 38,45	

Principaux type de thermocouples et leurs limites d'emplois

Montage de Mesure

Le montage généralement utilisé est schématisé dans la figure en-dessous.

À condition que soient deux à deux à la même température :

- Les jonctions de référence du thermocouple (A/M1 et B/ M1) ;
- Les jonctions des métaux intermédiaires faisant partie de l'ensemble de liaison et de mesure (M1/M2 ; M2 /M3),

Le circuit n'est le siège que de la f.é.m. de Seebeck du thermocouple.

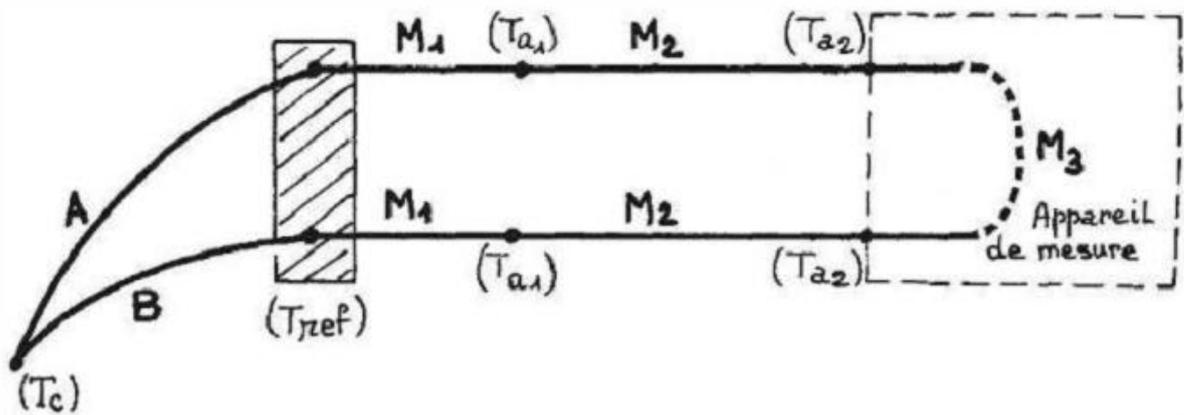


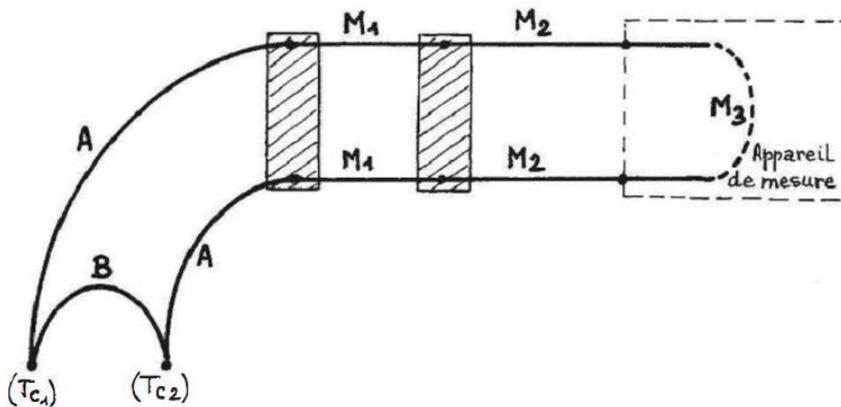
Schéma de principe de la liaison d'un thermocouple à un appareil de mesure.

Montage différentiel

Ce montage est utilisé lorsqu'il s'agit de mesurer la différence des températures en deux points où se trouvent placées les deux jonctions A/B du thermocouple.

$$E_{A/B}^{T_{c1} T_{c2}} = s(T_{c1} - T_{c2})$$

$$s(T_c) = \frac{d E_{A/B}^{T_c, 0^{\circ}\text{C}}}{d T_c}$$



2.5 Capteur de température électronique

a- Thermométrie par diode et transistor

C'est la mesure de la tension aux bornes d'une jonction traversée par un courant qui donne une information sur la température. En effet en polarisation directe, on peut écrire :

$$I = I_0 \cdot \exp\left(\frac{q \cdot V}{k \cdot T}\right)$$

- I_0 , courant inverse de saturation (dépendant de T).

- q, charge élémentaire.
- k, constante de Boltzmann.
- T, température (en K).
- V, tension appliquée à la jonction.

Montages utilisés

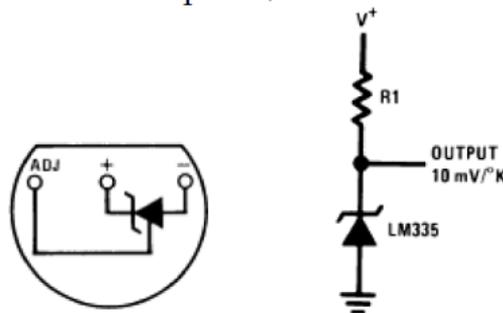
On utilise :

- des diodes.
- des transistors montés en diodes.
- Des transistors appariés (fabriqués sur la même "puce") montés en diodes. Dans ce cas, le capteur fonctionne de façon quasi linéaire.

Les capteurs doivent être associés à une source de courant constante. Ils peuvent être utilisés de -50°C à $+150^{\circ}\text{C}$. Ils existent souvent sous forme de circuit intégré.

b- Capteurs à variation Zener (LM335)

La tension Zener est proportionnelle à la température. En polarisant correctement le composant électronique qui sert donc de capteur, on obtient un fonctionnement très correct.



Avantages :

- simplicité de mise en œuvre.
- linéarité.
- amplitude relativement importante.

Inconvénients :

- la température ne doit pas excéder 150°C à 170°C .
- on ne peut pas faire de mesure mais seulement de la détection

Chapitre 3 : Capteur de pression

Chapitre 3 : Capteur de pression

Les capteurs de pression permettent de mesurer la pression d'un gaz ou d'un fluide dans des conditions très variables (haute pression, vide, autres paramètres physiques, ...). C'est pour cela qu'il existe une grande diversité de capteurs.

La pression est donnée par la force dF exercée perpendiculairement à un élément de surface ds d'une paroi.

$$p = \frac{dF}{dS}$$

3.1 Définition des pressions

La pression absolue : C'est la pression réelle, dont on tient compte dans les calculs sur les gaz. Elle représente la pression du vide

La pression atmosphérique ou pression barométrique : La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, à 15°C, est d'environ 1013 mbar. Elle peut varier, de ± 25 mbar, avec la pluie ou le beau temps. Elle est fonction de l'altitude (hydrostatique).

La pression relative : C'est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique. Elle est le plus souvent utilisée, car la plupart des capteurs, sont soumis à la pression atmosphérique. Pour mesurer une pression absolue, il faut faire un vide poussé dans une chambre dite de référence.

Pression différentielle : C'est une différence entre deux pressions, dont l'une sert de référence. Une pression différentielle peut prendre une valeur négative.

3.2 Mesure de la pression

La mesure de la pression se ramène à la mesure de la force F s'exerçant sur la paroi de séparation de deux milieux.

L'information obtenue est convertie en une grandeur exploitable, qui peut être :

- un déplacement.
- une grandeur électrique (le plus souvent, une résistance).

Le capteur étant en général une membrane, il faut veiller à ce que des grandeurs d'influence (vibration, chocs, température, ...) n'altèrent pas le résultat des mesures et les qualités du capteur. Tout ceci a une incidence sur la durée de vie du capteur.

3.3 Mesure piezorésistif

3.3.1 Conversion par potentiomètre

La résistance d'un conducteur s'écrit :

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

où :

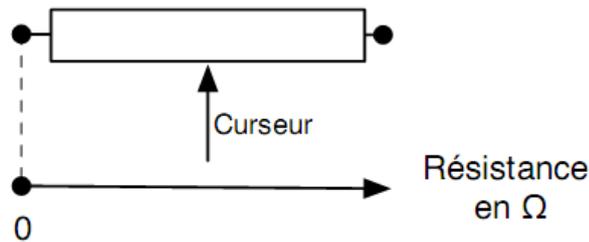
R : la résistance ;

ρ : la résistivité du matériau ;

l : la longueur du conducteur ;

S : la section du conducteur.

Le curseur d'un potentiomètre est lié, avec ou sans démultiplication, à une membrane. Le déplacement de la membrane entraîne le curseur. Le potentiomètre est relié à une source électrique et la mesure de la tension au niveau du curseur donne une image de la pression.



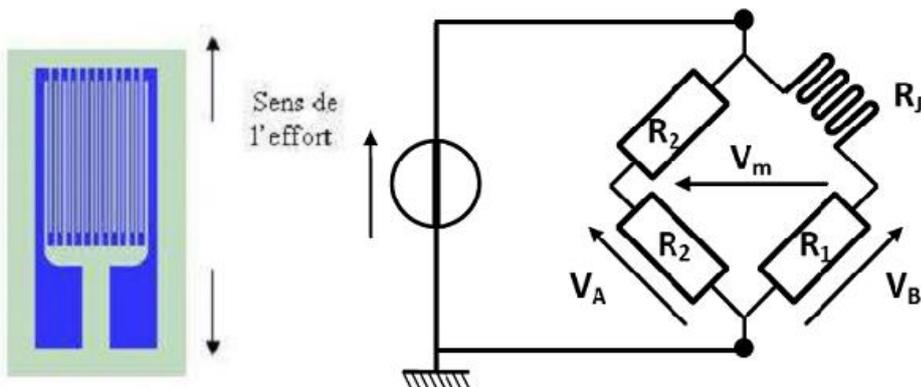
3.3.2 Mesure par jauge d'extensométrie (de contrainte)

La résistance d'un fil métallique est donnée par la loi :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Les jauges d'extensométrie sont basées sur la modification de la résistance sous l'effet d'une déformation mécanique liée à un effort (flexion, torsion, ...) ou à une pression :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$



Les jauges de contraintes peuvent être classées en deux grands groupes. Cela dépend de leur mode de montage.

Il y a :

- les jauges collées sur la membrane ou sur un élément subissant la déformation. C'est le cas des jauges de contrainte métalliques ou des jauges de contrainte découpées dans du semi conducteur.
- les jauges de contrainte faisant corps avec la membrane (la jauge de contrainte est diffusée dans ou bien déposée sur la membrane). C'est le cas pour les jauges de contrainte:
 - à semi conducteur (diffusion).
 - métalliques à couche mince (dépôt).

Il existe des jauges de contraintes (appelées rosettes à cause du dessin fait par le fil métallique) qui permettent de mesurer des déformations dans plusieurs directions.