Fiche de synthèse n°5
Un capteur pour mesurer

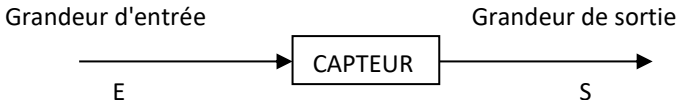
1. Qu'est-ce qu'un capteur ?

1.1. Définition :

Un **capteur** est un des éléments d'un système de mesure. C'est l'élément qui est directement soumis à l'action du phénomène ou du corps qui porte la **grandeur** à mesurer.
Un capteur est un élément dont une des propriétés physiques dépend de la grandeur à mesurer

1.2. Grandeur d'entrée – Grandeur de sortie

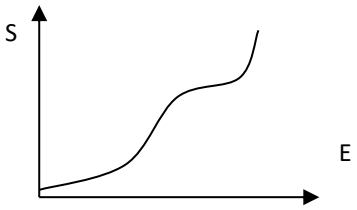
Un capteur soumis à une grandeur d'entrée (température, pression, humidité, pH, ….) fournit une grandeur de sortie, souvent électrique (tension, intensité, résistance, capacité) qui sera l'image de la grandeur d'entrée. Cela veut dire que la grandeur de sortie varie avec la grandeur d'entrée et qu'il existe une relation entre elles.



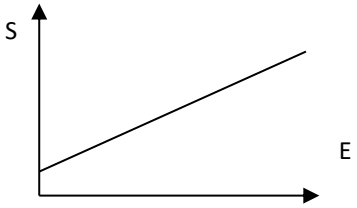
Remarque : Une grandeur électrique en sortie présente l'intérêt de pouvoir être traitée par un système électronique et ainsi être mise en forme pour être lue par exemple par un afficheur numérique ou un système informatique (voir plus loin)

1.3. Relation Entrée / Sortie

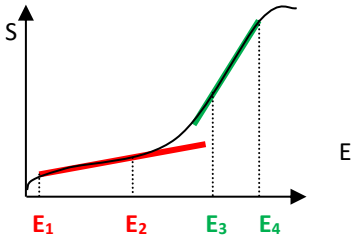
Il existe une relation entre la grandeur d'entrée et la grandeur de sortie du capteur. Cette relation peut être quelconque comme c'est le cas ci-contre.
La courbe qui représente la relation entre l'entrée et la sortie doit pouvoir être modélisée par une fonction mathématique simple.



Dans la plupart des cas, la fonction entre l'entrée et la sortie est une fonction affine. C'est l'équation d'une droite.
$S = a \times E + b$

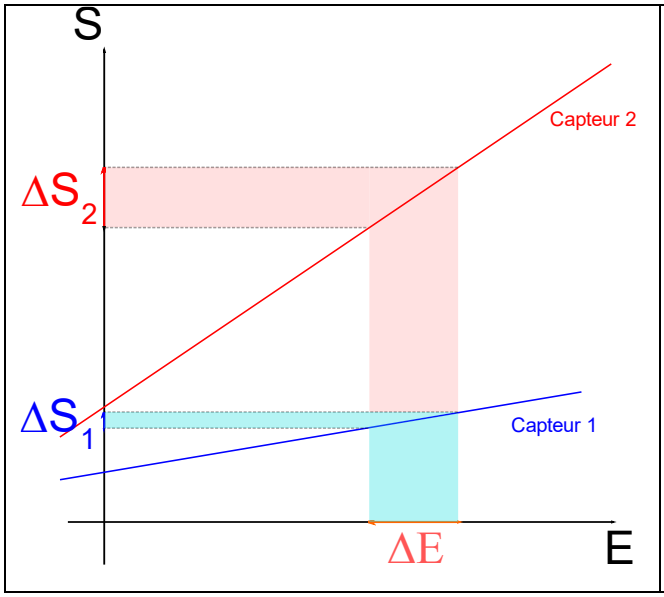


Parfois, la relation entre l'entrée et la sortie n'est pas une droite sur l'ensemble du domaine d'utilisation du capteur.
Dans ce cas, on peut la modéliser par une droite ou des droites sur une ou des portions de la courbe. Par exemple :
Entre E_1 et E_2 : **$S = a \times E + b$**
Entre E_3 et E_4 : **$S = c \times E + d$**



1.4. Sensibilité d'un capteur

Un capteur est d'autant plus sensible qu'il permet de détecter des petites variations de la grandeur d'entrée.



Dans cet exemple deux capteurs ont une sensibilité différente. Pour une même variation de la grandeur d'entrée, le capteur 1 a une variation de la grandeur de sortie plus faible que celle du capteur 2.
Si la variation de la grandeur électrique ΔS est trop faible, elle ne sera pas détectable par l'instrument de mesure.

La sensibilité est définie par la variation de la grandeur de sortie lorsque la grandeur d'entrée a varié de 1×[unité].
Si S = a×E + b alors la sensibilité est :

$$sensibilité = a$$

Remarque : la sensibilité est donc égale coefficient directeur a de la droite. Elle a une unité.

Exemple : un thermocouple a une sensibilité de 40 µV.°C^{-1}. Cela signifie que la tension (grandeur de sortie) varie de 40 µV lorsque la température (grandeur d'entrée) varie de 1°C.

2. Quelques exemples de capteurs :

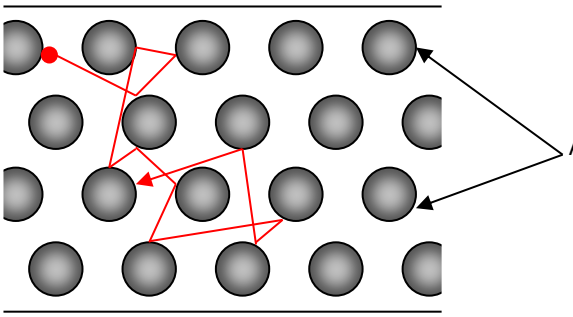
2.1. Un capteur de température : la PT 100

Le capteur de température nommé PT100 est très utilisé dans l'industrie. Son principe est simple si l'on s'attarde un moment sur une propriété d'un métal qu'est la résistance électrique.

Dans un métal, les atomes sont disposés régulièrement et ne se déplacent pas. Néanmoins, ces atomes libèrent facilement un ou deux de leurs électrons périphériques qui peuvent se déplacer dans le métal, d'un atome à un autre. En l'absence de tension, ces électrons se déplacent aléatoirement. Il n'y a pas de mouvement d'ensemble.

Métal non soumis à une tension électrique

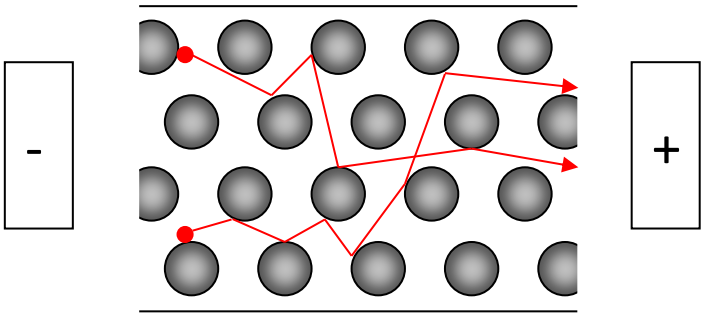
Mouvement aléatoire d'un électron libre subissant des chocs avec les atomes immobiles dans un métal



Si on applique une tension aux bornes du fil métallique, les électrons libres se mettent en mouvement dans le même sens. Il y a un mouvement d'ensemble des électrons. C'est un courant électrique.

Métal soumis à une tension électrique

Mouvements de deux électrons libres dans le métal lorsqu'il est soumis à une tension électrique
Les deux électrons se déplacent vers la borne +



Mais ces électrons libres se heurtent continuellement contre les atomes immobiles qui se trouvent sur leur chemin. Les électrons se déplacent donc mais avec une certaine difficulté.
La résistance électrique est la propriété des conducteurs électriques (donc des métaux) de s'opposer au passage des électrons.

La résistance électrique d'un fil métallique dépend de la nature du métal et des dimensions du conducteur.
Pour un fil métallique de longueur L et de section S, la résistance est égale à :

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

R = résistance électrique en ohm (Ω)
L = longueur en m (plus le fil est long, plus la résistance est grande)
S = section en m² (plus la section du fil est importante, plus la résistance est faible)
ρ = résistivité électrique en Ω.m

La résistivité électrique ρ dépend du métal utilisé. C'est en gros la capacité du métal à s'opposer au déplacement des électrons. Cette résistivité dépend du métal utilisé MAIS aussi de la température du métal. En effet si la température du métal augmente, les atomes vont s'agiter et les électrons auront plus de mal à se déplacer à travers le conducteur. La résistivité augmente avec la température et donc la résistance du fil métallique va augmenter avec la température.
C'est cette propriété qui est mise en œuvre dans un capteur de température tel qu'une PT 100

Le capteur PT 100 est constitué d'un fil de platine de dimensions très précises de manière à ce que la résistance de ce fil soit égale à 100,00 Ω lorsque la température est égale à 0°C. Ce capteur est placé dans une gaine qui le protège du milieu extérieur mais qui permet le transfert thermique vers le capteur.



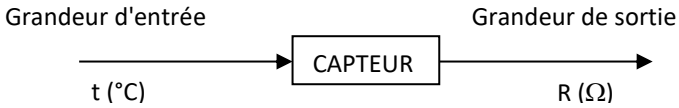
Variation de la résistance avec la température sur la plage 0°C à 850 °C : $R_t = R_0 (1 + A.t + B.t^2)$
Avec: $R_0 = 100\ \Omega$

$A = 3.9083 .10^{-3} °C^{-1}$

$B = -5.7758 .10^{-7} C^{-2}$

La relation entre R et t n'est pas une droite. Néanmoins, entre 0 et 100°C, on peut estimer que la relation entre la résistance de la PT 100 et sa température, peut être simplifiée par la relation affine suivante :

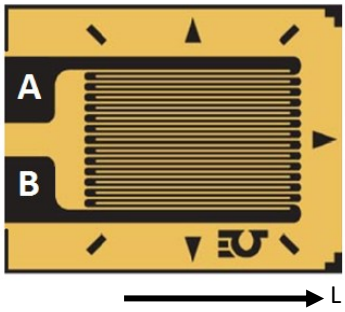
$$R_t = R_0 (1 + A.t)$$



2.2. Un capteur de force : la jauge de contrainte

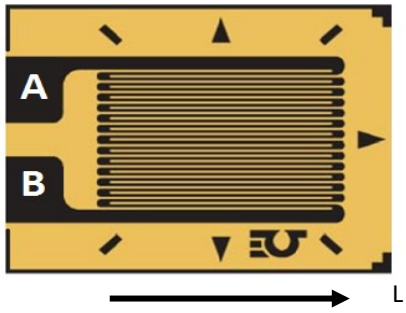
En restant dans le domaine des capteurs conçus autour d'une variation de résistance liée à la variation d'une grandeur physique à mesurer, la jauge de contrainte est un bon exemple de capteur de force.

.



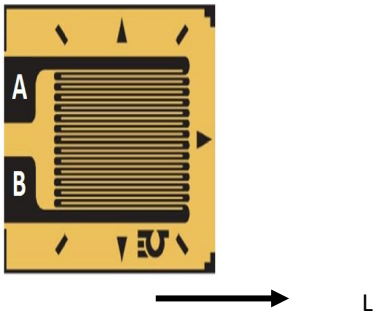
Jauge au repos

Une jauge de contrainte est constituée d'un long fil métallique dont la longueur peut varier.
Entre A et B, un mince fil métallique fait des allers retours nombreux.
La longueur du fil est égale à la longueur L de la jauge multipliée par le nombre d'allers et retours du fil.



Jauge étirée

Un étirement de la jauge provoque un allongement du fil égal à l'allongement de la jauge multiplié par le nombre d'allers et retours du fil. La variation de la résistance sera donc importante

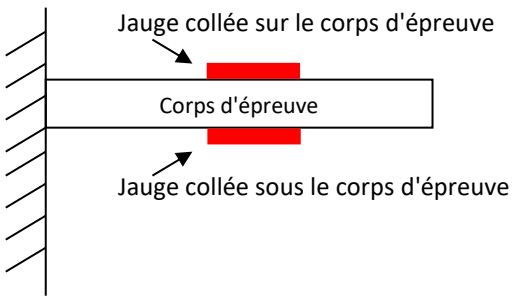


Jauge comprimée

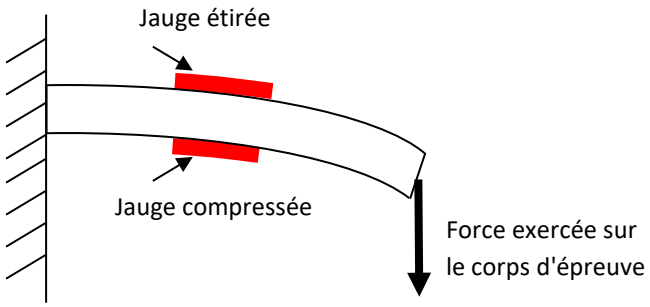
Une compression de la jauge provoque un rétrécissement du fil égal au rétrécissement de la jauge multiplié par le nombre d'allers et retours du fil. La variation de la résistance sera donc importante

Cette jauge est collée sur un support (le corps d'épreuve) qui, lorsqu'il est soumis à une force, va se déformer. La jauge de contrainte va s'allonger ou se raccourcir. Ainsi, la force dont on cherche à connaitre la valeur déforme le corps

d'épreuve qui provoque l'allongement ou le rétrécissement de la jauge et donc la variation de la valeur de résistance. La variation de la valeur de la résistance est donc liée à la variation de la valeur de la force appliquée



Corps d'épreuve au repos

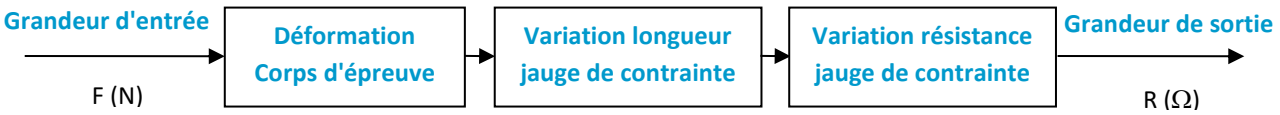


Corps d'épreuve soumis à une contrainte



Exemple de capteur de force
Corps d'épreuve + jauges de contrainte collée.

En résumé:



Soit

