

SOURCE

Ce cours est extrait du livre :

Terminale STI2D

Spécialité 212D SIN

Edition 2020 Ellipses

Chapitre 9

Les capteurs



CONTEXTE

Dans des domaines variés comme l'industrie, la recherche, les services, on a besoin de contrôler et prendre en compte certaines grandeurs physiques (température, force, position, vitesse, luminosité...).

Les capteurs sont les composants permettant la mesure de ces grandeurs.

Ils sont utilisés dans l'industrie comme dans la vie quotidienne (régulateur de vitesse de voiture, thermostat de chauffage, température d'un four...).

PROBLÉMATIQUES ?

Comment acquérir des grandeurs physiques ?

Comment restituer ces informations pour être traitées facilement ?

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

- 2.4. - Approche fonctionnelle et structurelle d'une chaîne d'information
 - 2.4.2. - Acquisition et restitution de l'information
 - Acquisition d'une grandeur physique (principe, démarches et méthodes, notions requises)
 - Conditionnement d'une grandeur électrique (mise en forme, amplification, filtrage...)
- 3.4. - Comportement informationnel des produits
 - 3.4.1. - Nature et représentation de l'information
 - Nature d'une information
 - Représentation temporelle d'une information
 - Représentation fréquentielle d'une information



1. Définitions des grandeurs caractéristiques

Étendue de mesure : valeurs extrêmes pouvant être mesurées par le capteur. Elle est donnée par le constructeur.

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.

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

Rapidité : temps de réaction du capteur, elle est liée à la bande passante.

L'incertitude : elle provient des différentes erreurs liées à la mesure. C'est une incertitude relative.

Exemple : $3 \text{ cm} \pm 10\%$, ou $3 \text{ cm} \pm 3 \text{ mm}$.

L'erreur absolue : elle s'exprime dans l'unité de la mesure.

Exemple : une erreur de 10 cm sur une mesure de distance quelle que soit cette dernière.

2. Les effets physiques utilisés pour les capteurs

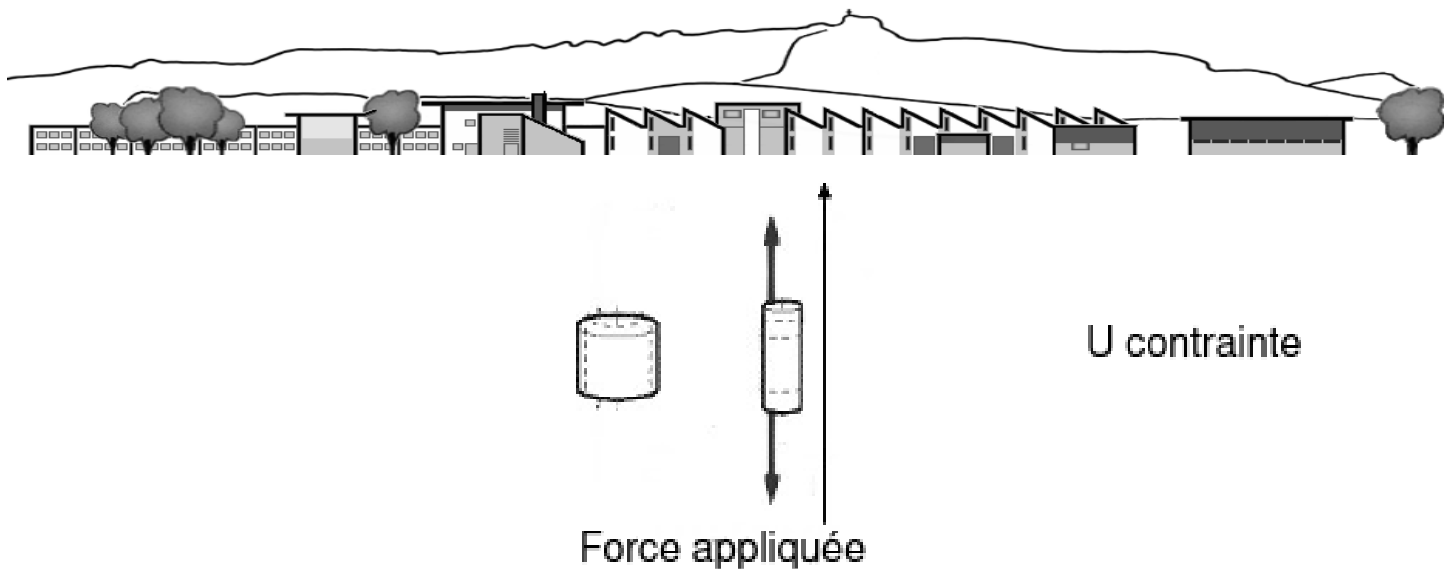
Les effets physiques les plus utilisés sont :

Effet thermoélectrique : phénomène électrique créé par des variations de température entre deux matériaux conducteurs d'électricité.

Application : mesure de température

Effet piézo-électrique : un élément piézo-électrique se charge électriquement lorsqu'il est soumis à une contrainte mécanique.

Inversement, une tension électrique appliquée sur cet élément provoque une déformation du cristal. *Exemple* : le quartz.



Après déformation du cristal, il apparaît une tension U contrainte à ses bornes.
Application : mesure de force

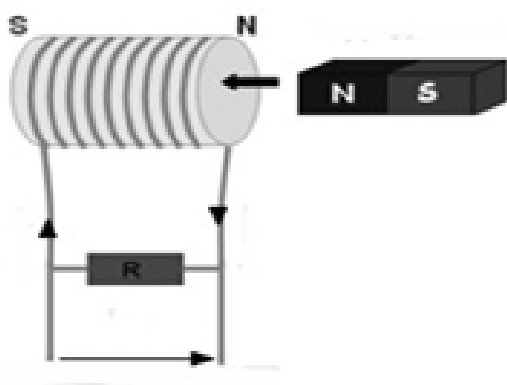
Effet d'induction électromagnétique : on parle d'induction lorsque l'on constate un transfert d'énergie entre une source électrique et un objet en l'absence de tout contact physique.

Ce phénomène est provoqué par l'exposition d'un matériau conducteur à un champ électromagnétique variable (aimant qui se déplace par exemple).

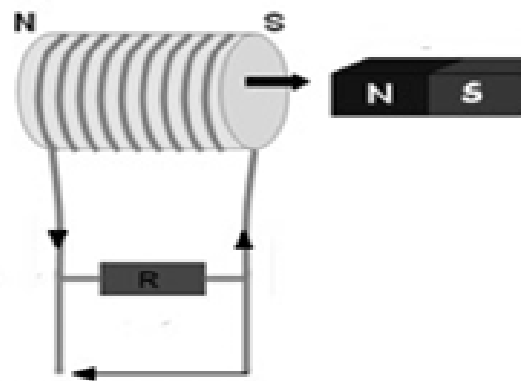
Exemple :

L'aimant se rapproche de la bobine, il apparaît une tension U_1

L'aimant s'éloigne de la bobine, il apparaît une tension U_2



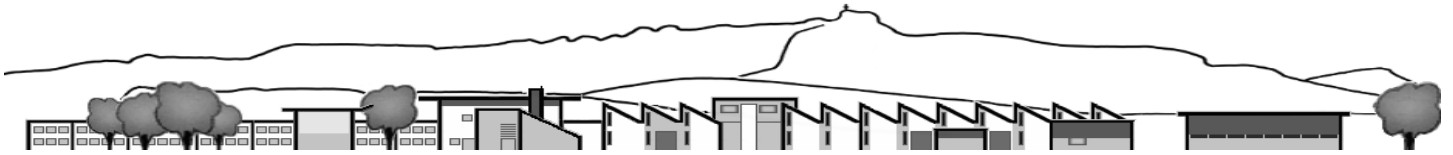
U_1



U_2

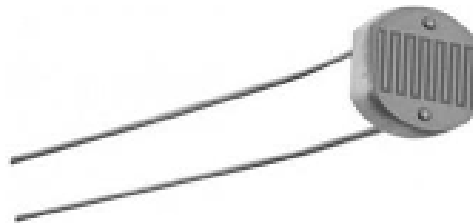
Applications :

- capteur de proximité qui détecte l'approche de l'aimant placé au préalable sur un objet),
- chargeur de téléphone sans contact.



Effet photoélectrique : phénomène qui transforme la lumière en courant électrique.

Exemple : les photorésistances



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

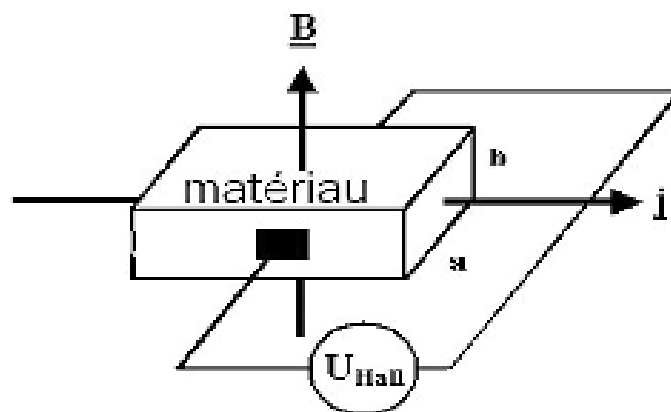
Obscurité : $R_0 = 20 \text{ M } \Omega$ (0 lux)

Lumière naturelle : $R_1 = 100 \text{ k } \Omega$ (500 lux)

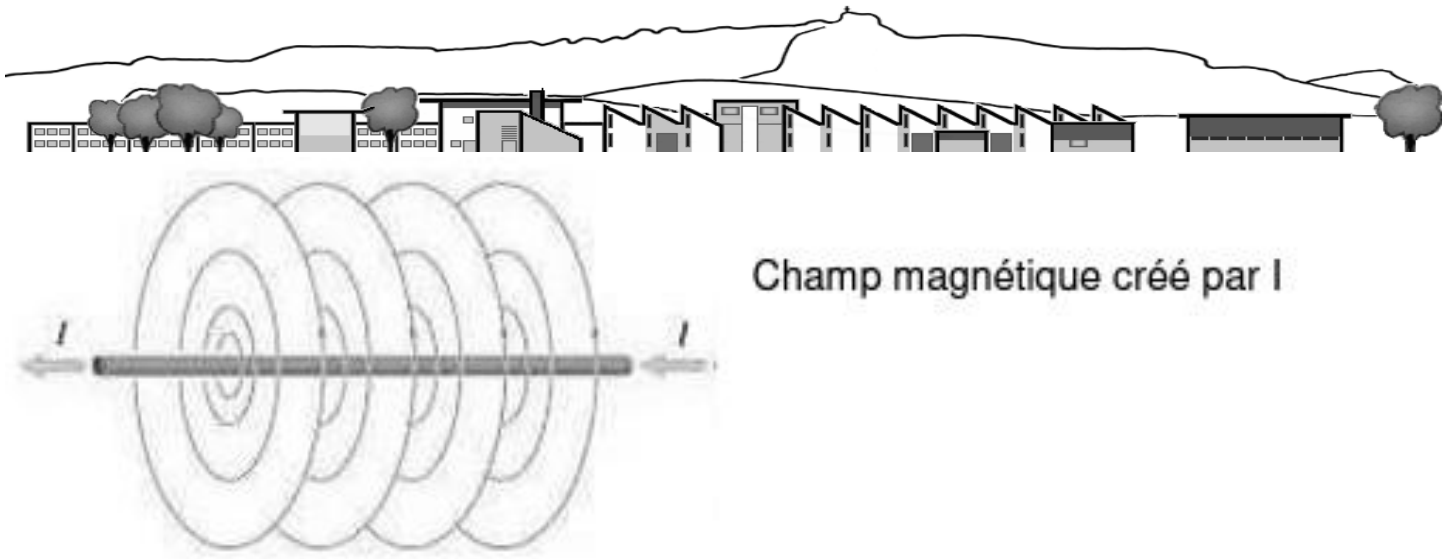
Lumière intense : $R_2 = 100 \text{ } \Omega$ (10000 lux)

Application : détection des changements obscurité-lumière (éclairage public).

Effet Hall : un champ magnétique B et un courant électrique i créent dans le matériau une différence de potentiel U_{Hall} .



Application : mesure de l'intensité d'un courant sans « ouvrir » le circuit :



Champ magnétique créé par I

Le courant I crée un champ magnétique (modélisé par les cercles concentriques sur le schéma ci-dessus) proportionnel à ce courant.

Le capteur donne une tension proportionnelle à l'intensité I à partir de l'intensité du champ magnétique.

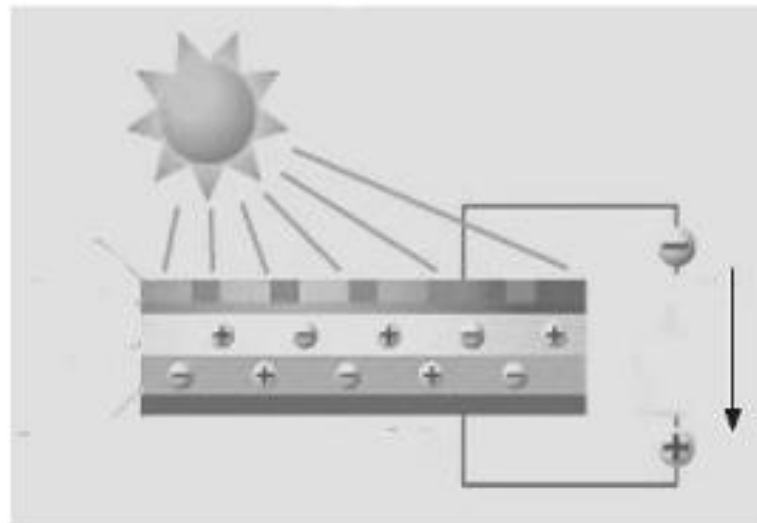
C'est le principe des pinces ampèremétriques (mesure de très forts courants de 1000 A et plus). Ces pinces enserrant le fil dans lequel on veut mesurer le courant sans contact physique.





Effet photovoltaïque : phénomène physique propre à certains matériaux qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière.

Panneau photovoltaïque



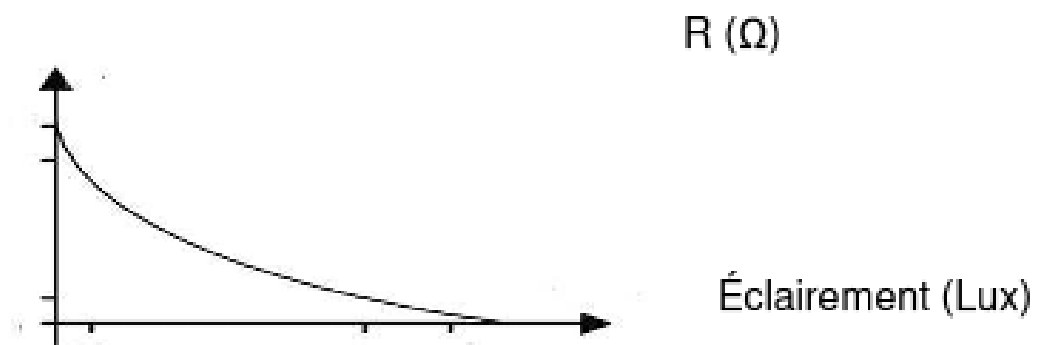
Tension générée par le flux lumineux

3. Capteurs à effet photoélectrique

3.1 Les photorésistances

LDR Light Dependant Resistor

Allure de la caractéristique de la valeur ohmique de la photorésistance en fonction de l'éclairement :

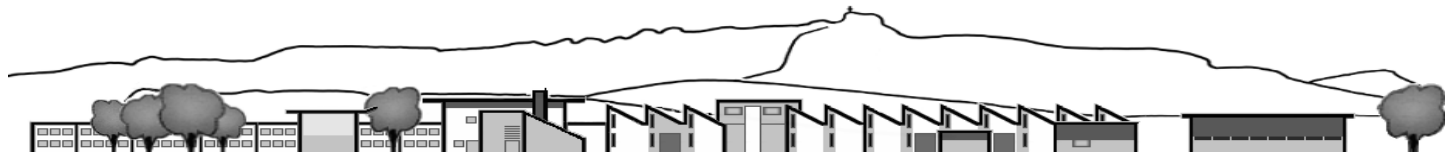


Avantages :

- bonne sensibilité,
- simplicité d'utilisation,
- faible coût et robustesse.

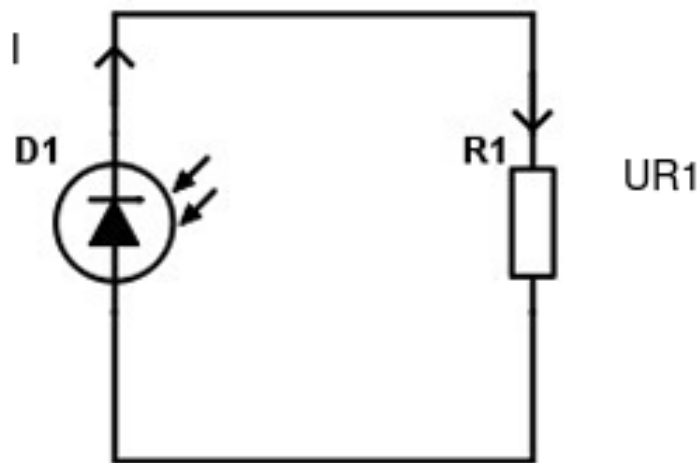
Inconvénients :

- temps de réponse élevé,
- bande passante étroite (peu de fréquences transmises),
- sensible à la chaleur.



3.2 Les photodiodes

La photodiode D1 est représentée sur le schéma ci-dessous :



Une photodiode est une diode qui fournit un courant quand elle est soumise à un éclairement lumineux. Elle se comporte comme un générateur quand elle est éclairée (voir schéma ci-dessus pour le sens du courant).

Avantages :

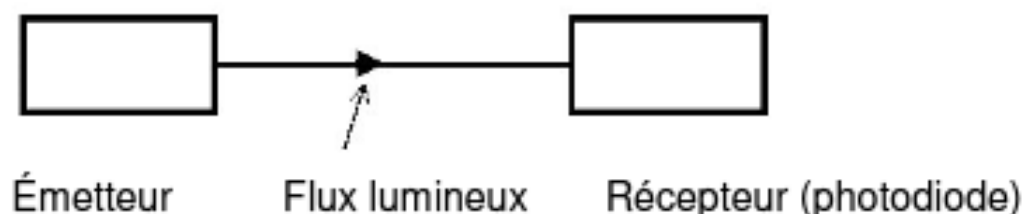
- bonne sensibilité,
- faible temps de réponse (bande passante élevée).

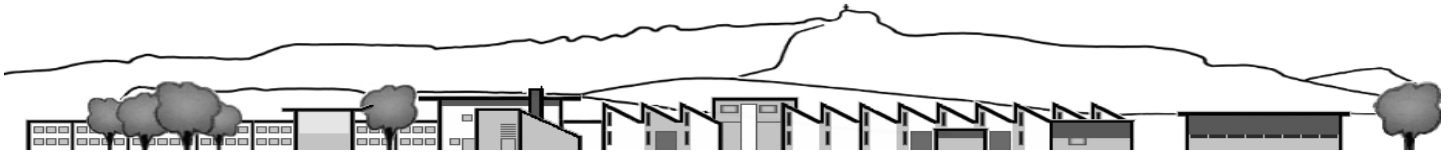
Inconvénient :

- coût plus élevé qu'une photorésistance.

Applications typiques :

La transmission de données :





Le récepteur reçoit un faisceau lumineux qui peut être modulé et contenir des informations.

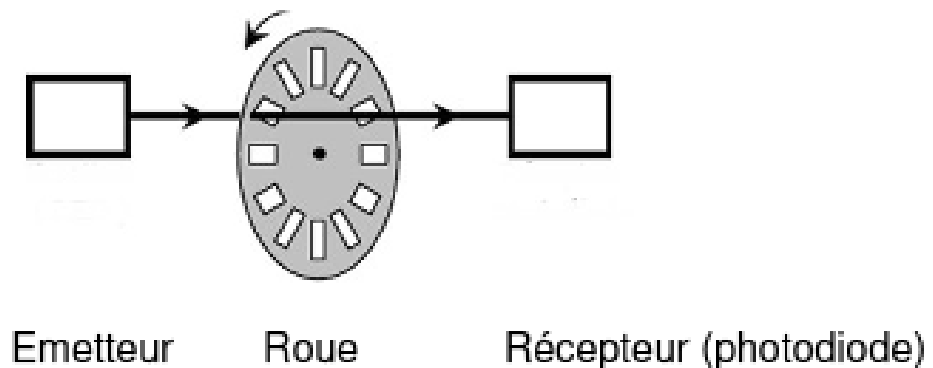
Si ce faisceau est coupé par un obstacle physique, le récepteur ne reçoit plus d'information.

Ce type de transmission est utilisé pour :

- les télécommandes infrarouge à technologie infrarouge,
- la transmission de données par fibre optique,
- la détection de passage.

Inconvénient : un obstacle opaque placé entre émetteur et récepteur bloque la transmission.

La roue codeuse :



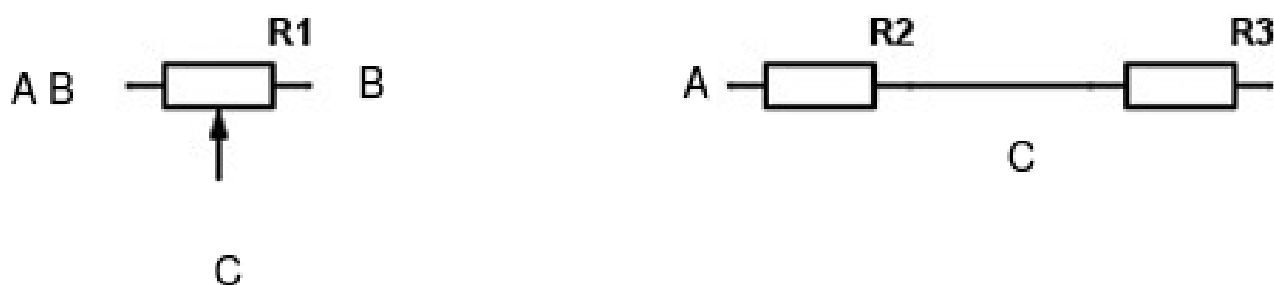
La roue codeuse est un capteur de position angulaire.

Une lumière émise par une diode électroluminescente traverse les fentes d'un disque lors de la rotation de la roue.

Cette lumière est captée par la photodiode réceptrice et le signal est ensuite traité par l'électronique pour en tirer les informations position et vitesse.

4. Capteurs à résistance variable

4.1 Capteurs potentiométriques de déplacement





Les deux schémas ci-dessus sont équivalents.

La valeur de la résistance entre A et B est fixe et donnée par le constructeur.

La valeur de la résistance entre A et C dépend de la position du curseur C.

La valeur de la résistance entre C et B dépend de la position du curseur C.

On fixe comme variable x (comprise entre 0 et 1) la position du curseur, ce qui donne les relations suivantes :

$$R_2 = x * R_1$$

$$R_3 = (1-x) * R_1$$

La valeur ohmique de R_2 est donc l'image du déplacement du curseur.

On remarque que $R_2 + R_3 = R_1$.

Applications :

- mesure de déplacements rectilignes (potentiomètre rectiligne),
- mesure d'angle (potentiomètre rotatif).

4.2 Capteurs à jauges d'extensiométrie

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

$$R = \rho * L / S$$

R est la résistance en Ω , ρ la résistivité en $\Omega.m$, L la longueur en m et S surface en m^2 .

La valeur ohmique d'une résistance dépend donc de sa longueur et de sa section (la résistivité est une constante qui dépend du matériau).

Résistivité du cuivre : $\rho = 1,7.10^{-8} \Omega.m$ (matériau conducteur)

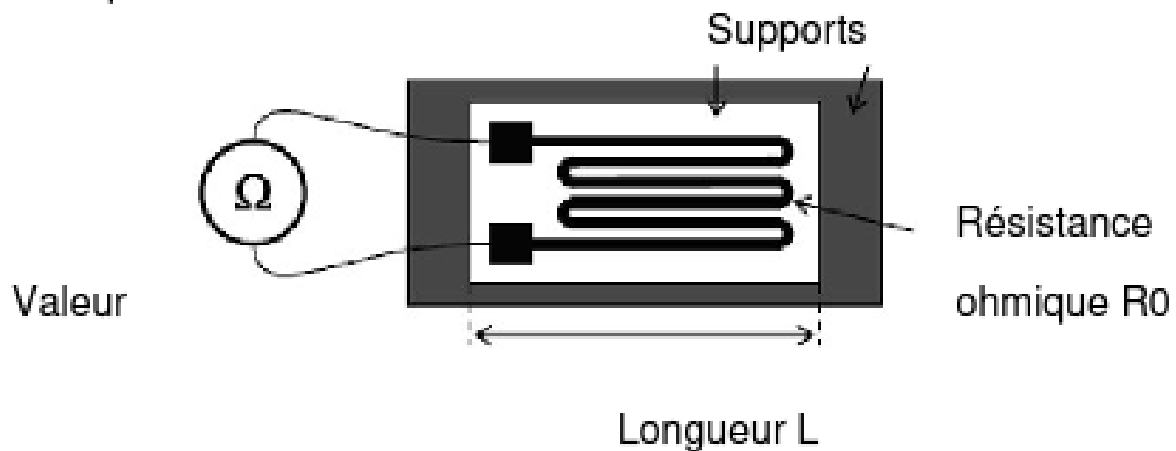
Résistivité du verre : $\rho = 10^{17} \Omega.m$ (matériau isolant)

La jauge est constituée d'une piste de résistance fixe collée sur un support. Le tout est collé sur le corps dont on veut mesurer la déformation.

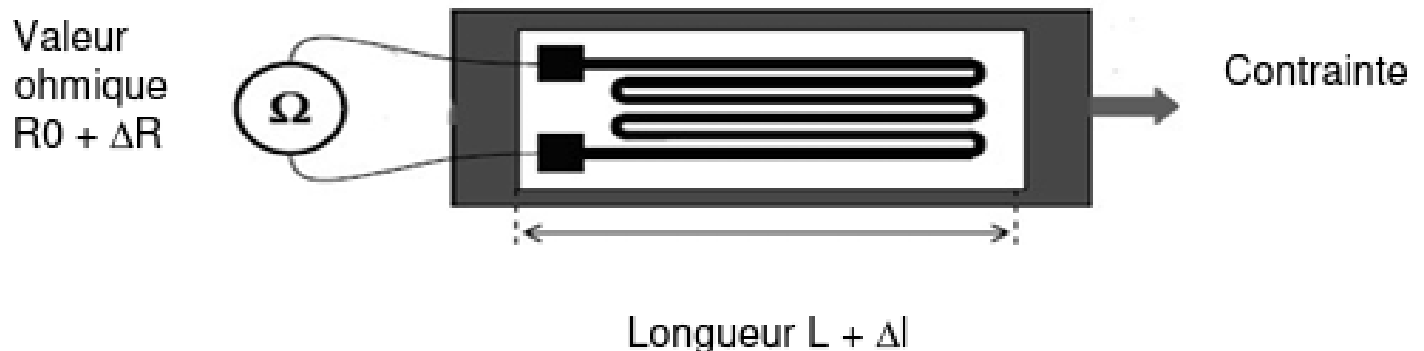


Principe d'une jauge simple :

Jauge au repos :



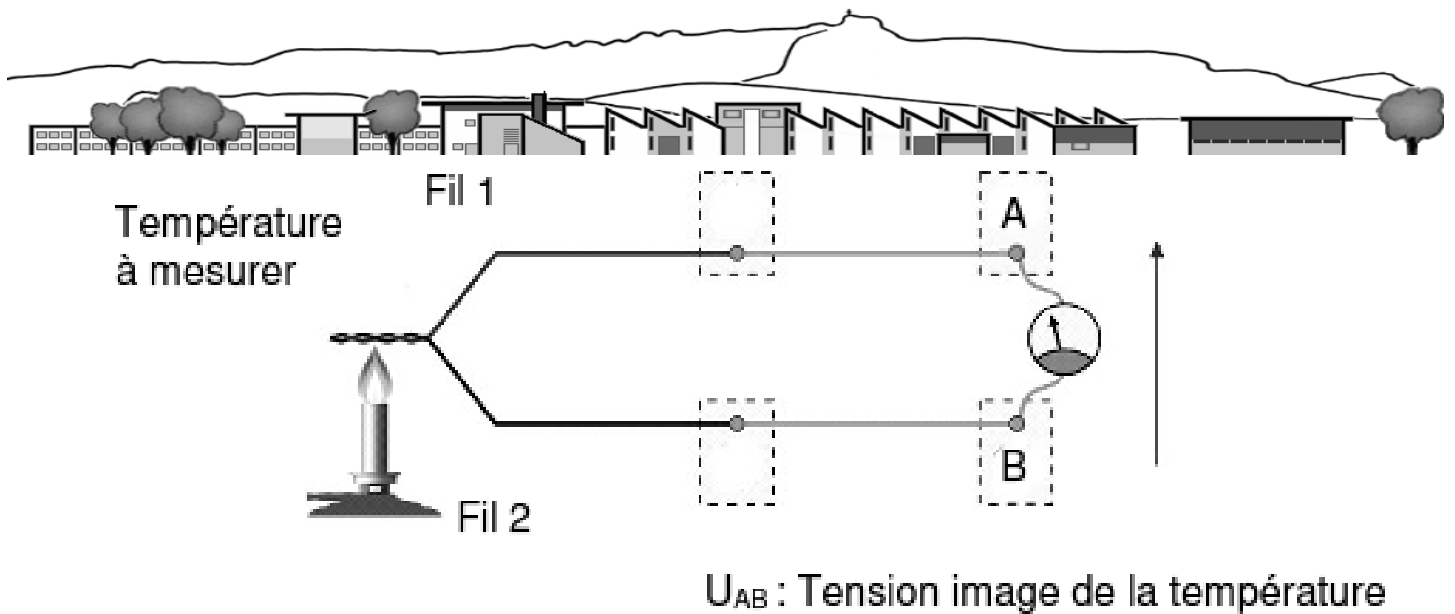
Jauge soumise à une contrainte :



5. Capteurs de température

5.1 Thermomètre à thermocouple

Si on réunit à une extrémité deux fils métalliques de natures différentes et que l'on élève la température de cette extrémité, il apparaît une tension entre A et B. Il est possible de déterminer la température de l'extrémité chauffée à partir de la mesure de cette tension.

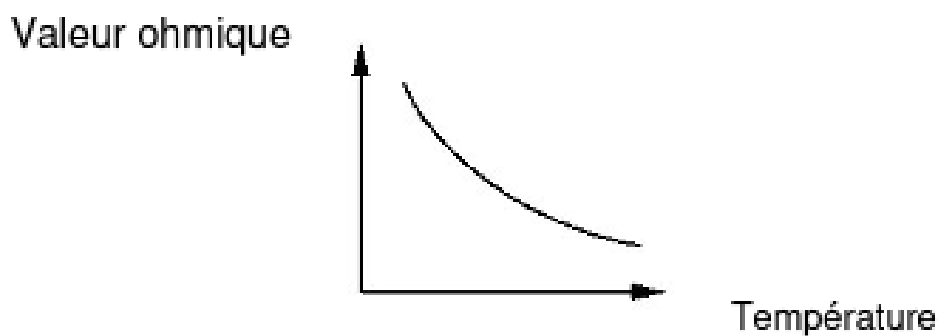


5.2 Thermistances

Une thermistance est une résistance dont la valeur varie en fonction de la température.

On distingue les thermistances CTP (coefficient de température positif) dont la résistance augmente quand la température augmente et les thermistances CTN (coefficient de température négatif) dont la résistance diminue quand la température augmente.

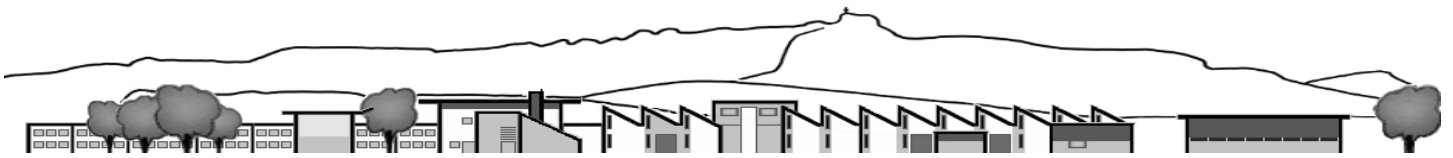
Allure de la caractéristique d'une CTN :



6. Capteurs à sortie numérique

Il existe des capteurs à sortie numérique directe.

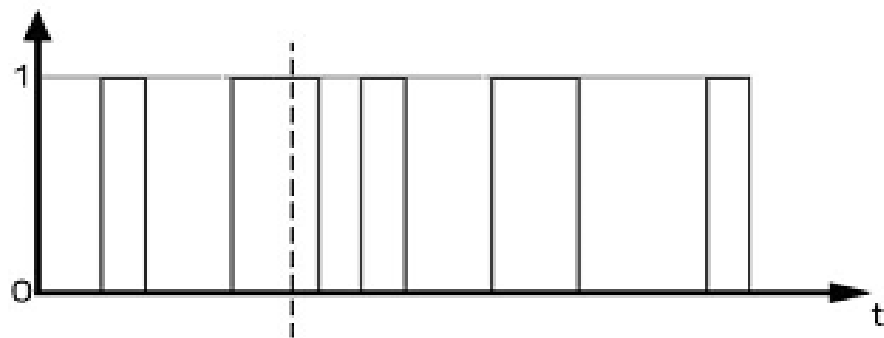




Le signal numérique est l'image de la grandeur physique mesurée. Elle est codée sur un certain nombre de bits qui sont ensuite traités par le microcontrôleur.

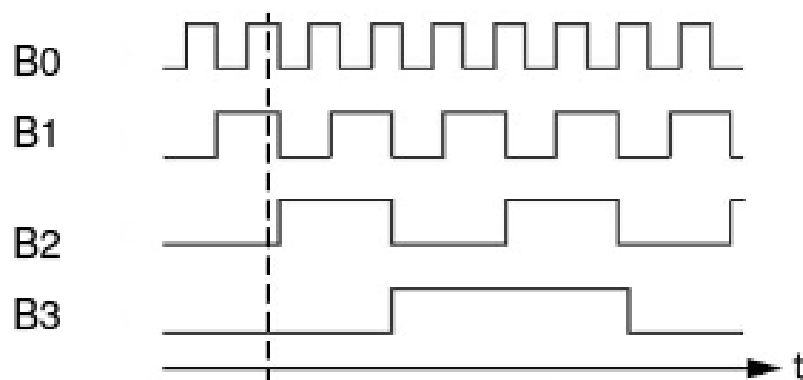
Le signal en sortie de ce type de capteur peut être transmis :

- sur un bit en série :



Valeur numérique du signal : 1

- sur plusieurs bits en parallèle



Valeur numérique du signal : 0011

Exemple : capteur numérique de température et d'humidité





Le capteur a deux bornes d'alimentation (V_{cc} et la masse) et une sortie, les données sont donc transmises en série suivant un protocole défini par le fabricant.