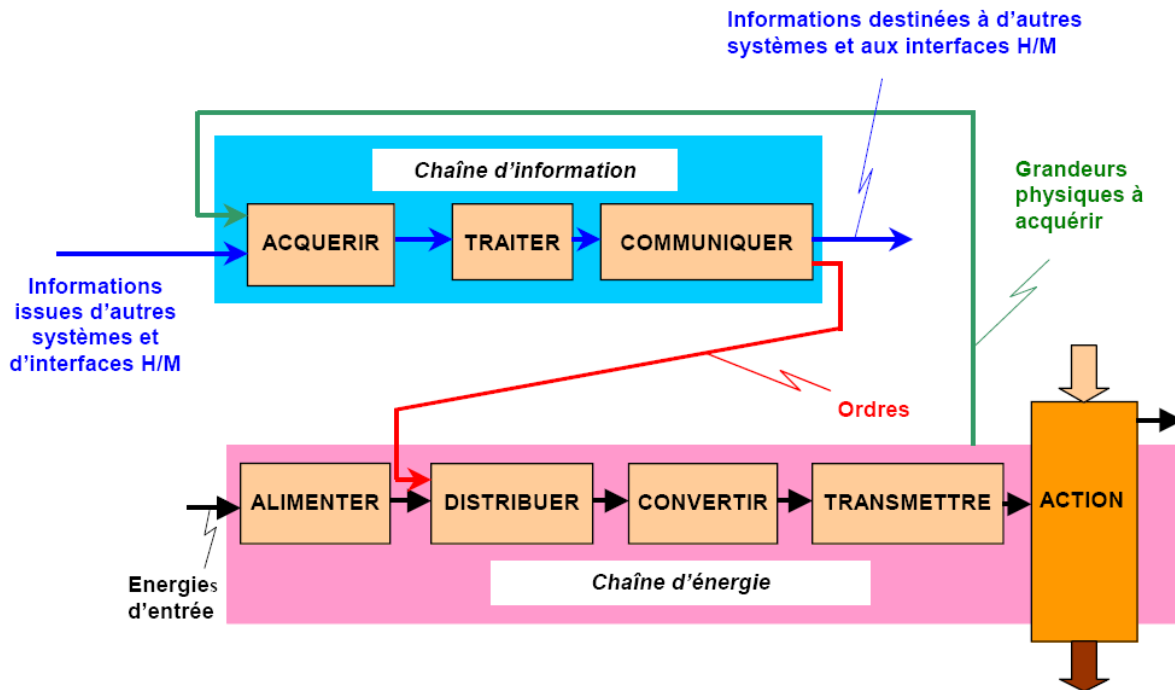


Technologie des capteurs

PSI - MP : Lycée Rabelais



Un capteur est un dispositif transformant une grandeur physique (température, pression, position, concentration, etc.) en un signal (souvent électrique) qui renseigne sur cette grandeur. Il est indispensable dans le bloc "Acquérir" de la chaîne d'information. On appellera :

- **Le mesurande** : c'est l'objet de la mesure ou plus simplement la grandeur à mesurer.
- **Le mesurage** : c'est l'ensemble des opérations pour déterminer la valeur du mesurande.
- **La mesure** : c'est le résultat du mesurage. Autrement dit c'est la valeur du mesurande.

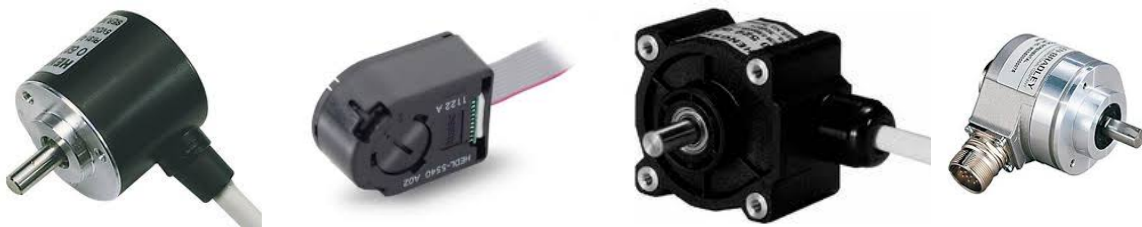


1 Codeurs

Un codeur est un capteur de position ou de vitesse (la plupart du temps angulaire). Les codeurs s'appuient souvent sur des technologies optiques. La méthode utilisée pour la mesure peut, bien évidemment, être étendue à d'autres technologies.

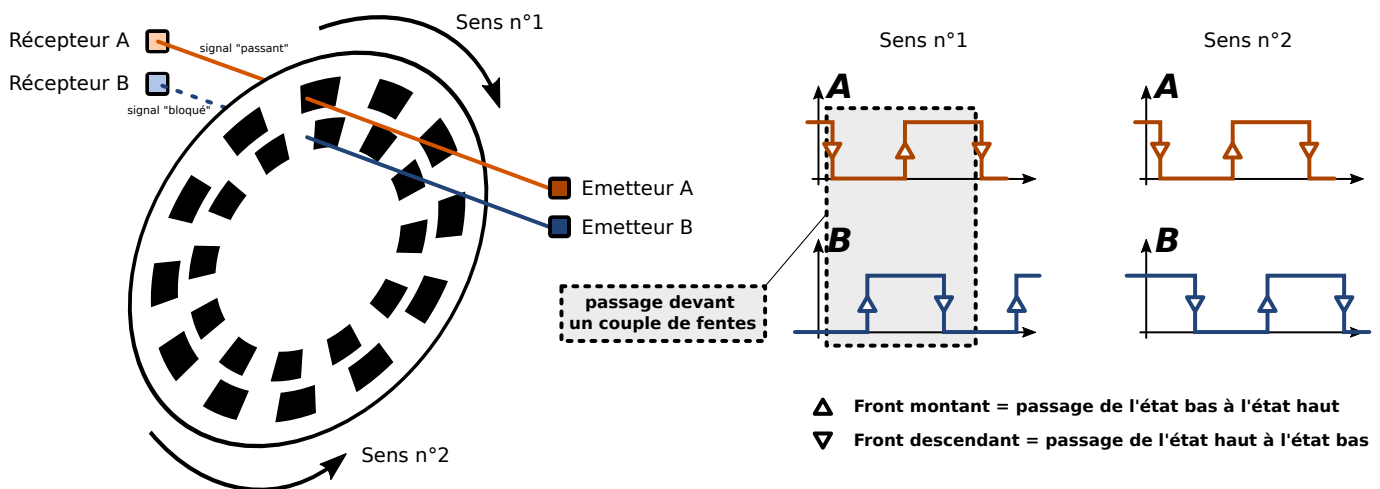
- Ce capteur est lié mécaniquement à un arbre qui l'entraîne. Son axe fait tourner un disque qui lui est solidaire. Le disque comporte une succession de parties opaques et transparentes.
- Une lumière est émise par des Diodes Electroluminescentes (DEL), la lumière traverse les fentes de ce disque créant sur les photodiodes réceptrices un signal analogique.

La technologie du capteur dépend ensuite essentiellement du disque et des fentes utilisés.



1.1 Codeur incrémental

Un codeur incrémental est constitué d'un disque possédant un certain nombre de fentes réparties équitablement sur le pourtour. Ce disque est lié à l'arbre tournant dont on souhaite connaître la position. Le passage lumineux (ou non) génère alors un signal en créneaux.



Ci-dessus, on présente un codeur, utilisé pour mesurer un angle θ , qui possède 2 pistes de 12 fentes et 2 détecteurs décalés d'une demi-fente. Il est aussi possible d'avoir une seule piste en décalant les détecteurs.

On notera A et B les variables logiques associées à ces 2 détecteurs. D'une manière générale, on peut avoir un ou deux détecteurs et n fentes.

Une mesure peut être réalisée sur chaque front montant et front descendant. Cette détection des fronts montants ou descendants dépend de la situation.

À retenir

- La **résolution du codeur** (en radians) (plus petit angle que l'on peut mesurer avec ce capteur) est :

$$\Delta\theta = \frac{2 \cdot \pi}{\text{nombre d'information mesurées par tour}}$$
$$= \frac{2 \cdot \pi}{\text{nombre de fentes} \times \text{nombre de détecteurs} \times \text{nombre de fronts détectés par fente et par détecteur}}$$

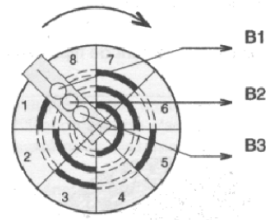
- Avantage du codeur incrémental** : il est peu onéreux et simple à utiliser. Il permet d'obtenir une bonne résolution en augmentant le nombre de fentes et cette augmentation ne change pas la complexité de la mesure parce que le nombre de détecteur reste inchangé.
- Inconvénient du codeur incrémental** : comme toutes les fentes sont identiques, il est impossible de les distinguer à partir des mesures. Au démarrage de la machine, il faut donc chercher une position de référence - avec un autre capteur - pour connaître la position réelle et pas seulement des variations d'angle. Ce problème disparaît si l'on souhaite simplement la vitesse (calcul de la dérivée).

1.2 Codeur absolu

Ce concept a été développé pour pallier les contraintes associées au codeur incrémental. Le disque des codeurs absolus comporte un nombre « n » de pistes concentriques divisées en segments égaux alternativement opaques et transparents. Chaque piste est équipée par une LED et un phototransistor.



Disque avec codage absolu 12 pistes



Disque avec codage absolu 3 pistes

On remarquera, avec l'exemple du codeur absolu à 3 pistes ci-dessus, que pour chaque position 1,2,3...8, le triplet (B1,B2,B3) est unique. Pour un triplet donné, on connaît donc la position angulaire **de manière absolue**.

À retenir

- La **résolution du codeur** (en radians) (plus petit angle que l'on peut mesurer avec ce capteur) est :

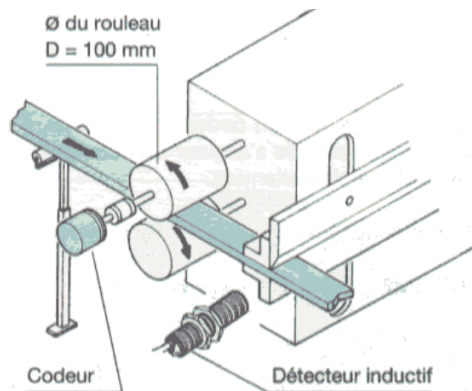
$$\Delta\theta = \frac{2 \cdot \pi}{\text{nombre d'information mesurées par tour}}$$
$$= \frac{2 \cdot \pi}{2^N} \text{ où } N \text{ est le nombre de pistes}$$

- Avantage du codeur absolu** : permet de connaître l'angle "de manière absolue" et donc sans initialisation.
- Inconvénient du codeur absolu** : pour améliorer la résolution, il faut augmenter le nombre de pistes et donc le nombre d'émetteurs et de détecteurs. Cela nécessite donc un système d'acquisition complexe et plus onéreux pour mesurer tous ces signaux.

1.3 Application



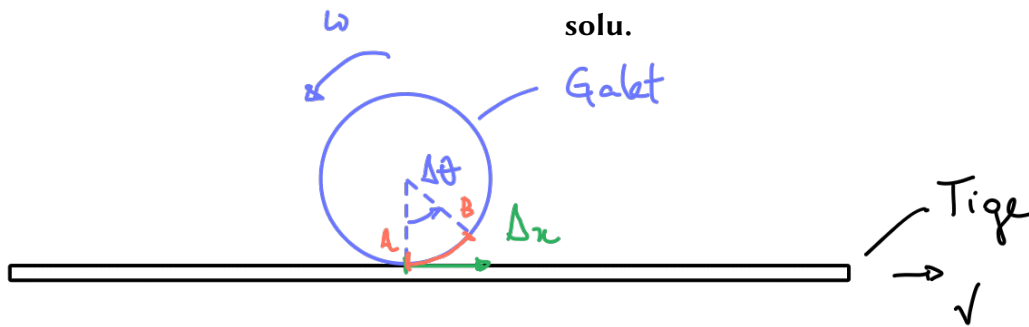
Résolution codeur



Une tige métallique est ici entraînée par deux galets. Un de ces galets est équipé d'un codeur dont le disque est solidaire du galet.

On considère que le codeur est un codeur incrémental possédant une seule voie de mesure associée à un disque de 512 fentes et qu'il y a détection des fronts montants et descendants.

Déterminer quelle est la plus petite distance d'avance de la tige détectable avec ce codeur. Combien de pistes seraient nécessaires pour avoir la même précision avec un codeur absolu.



• Résolut du codeur:
$$\Delta\theta = \frac{2 \cdot \pi}{512 \times 1 \times 2} \approx 6,14 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

• Lien entre $\Delta\theta$ et Δx :

méthode 1: Δx est la longueur de l'arc $\widehat{AB}$

$$\text{donc } \Delta x = \Delta\theta \cdot \frac{D}{2}$$

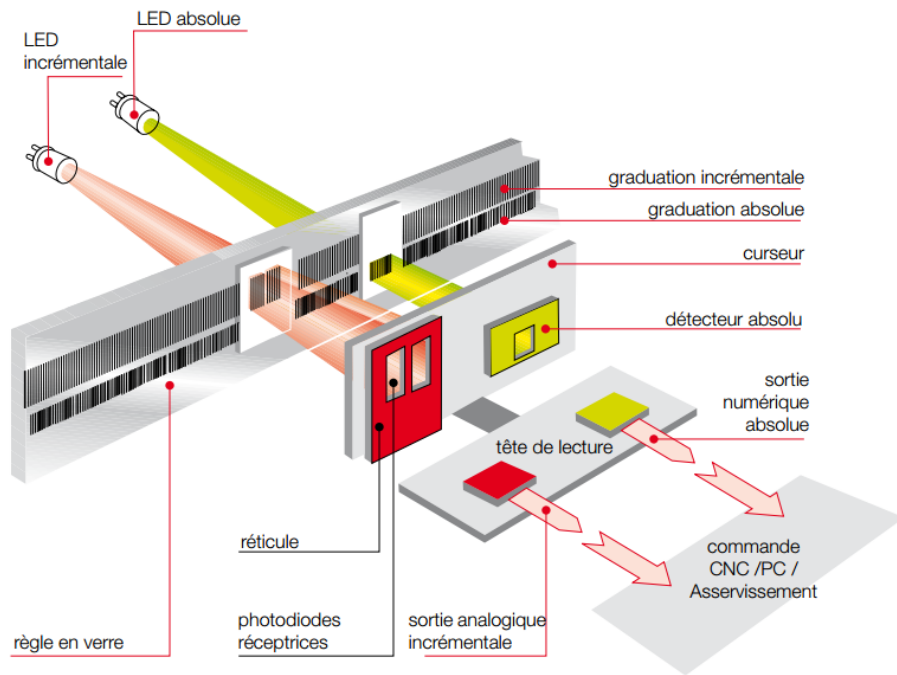
méthode 2: $v = R \cdot \omega = \frac{D}{2} \cdot \omega$ donc $\int |v(t)| \cdot dt = \int \frac{D}{2} \cdot \omega(t) \cdot dt$

$$\text{donc } \Delta x = \frac{D}{2} \cdot \Delta\theta$$

$$\text{AN: } \Delta x \approx 0,3 \text{ mm}$$

1.4 Codeur linéaire

Il est également possible d'utiliser le même principe pour mesurer un déplacement linéaire. Dans ce cas-là, le disque est remplacé par une règle graduée.



2 Capteurs potentiométriques

Les capteurs potentiométriques permettent également de mesurer un déplacement (angulaire ou linéaire). Ces capteurs sont basés sur la variation de résistance du composant. Ils possèdent trois fils :

- un pour la masse ;
- un pour l'alimentation ;
- le dernier pour "récupérer le signal".



Potentiomètre linéaire



Potentiomètre rotatif

3 Génératrice tachymétrique

Ce capteur fonctionne exactement comme un moteur électrique à courant continu : la tension qu'il délivre est proportionnelle à sa vitesse de rotation. La démonstration de ce résultat s'obtient en regardant les équations du moteur à courant continu, pour une résistance et une inductance négligeables.



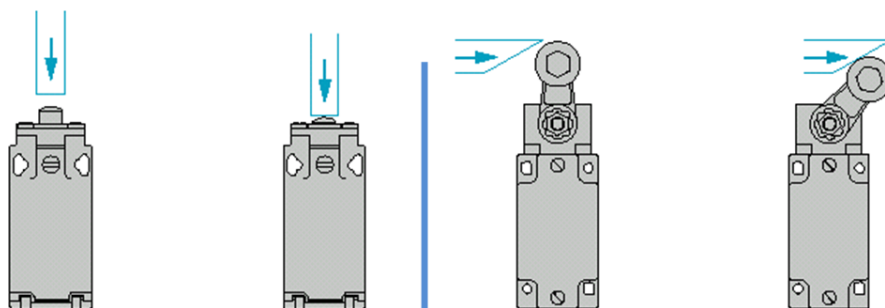
Équations "classiques" d'un moteur à courant continu et donc d'une génératrice tachymétrique

$$\begin{aligned} \text{Électrique : } U(t) &= R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + e(t) \\ \text{Mécanique : } J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} &= C_m(t) - C_r(t) - f \cdot \omega(t) & \text{donc} & & U(t) = K_e \omega(t) \\ \text{Couplage couple/intensité : } C_m(t) &= K_i \cdot i(t) \\ \text{Couplage vitesse/tension : } e(t) &= K_e \cdot \omega(t) \end{aligned}$$

4 Capteurs Tout ou Rien (TOR)

4.1 Capteurs mécaniques

Ils sont en contact direct avec la pièce en mouvement qu'il faut détecter. L'action mécanique sur la partie mobile du capteur permet d'établir ou d'interrompre un contact électrique. Ce n'est rien de plus qu'un interrupteur ! Ils transmettent au système de traitement les informations de présence, d'absence, de passage, de positionnement ou de fin de course.



4.2 Capteurs de proximité

4.2.1 Capteurs inductifs

Les détecteurs de proximité **inductifs** permettent de détecter sans contact des objets **métalliques** à une distance de 0 à 60 mm. Ils se retrouvent dans des applications très variées telles que la détection de position des pièces de machines (cames, butées, ...), le comptage de présence d'objets métalliques, ...



4.2.2 Capteurs capacitifs

Cette technologie permet la détection de **tous les types de matériaux** conducteurs et isolants tels que verre, huile, bois, plastique, etc... Mais aussi les liquides. Visuellement, il est difficile de différencier capteur capacitif et inductif.



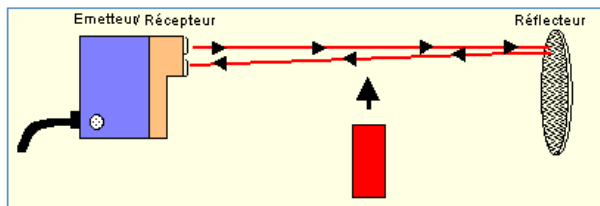
4.3 Capteurs photoélectriques

Un détecteur photoélectrique réalise la détection d'une cible, qui peut être un objet ou une personne, au moyen d'un faisceau lumineux. Les détecteurs photoélectriques se composent essentiellement d'un émetteur de lumière associé à un récepteur photosensible.

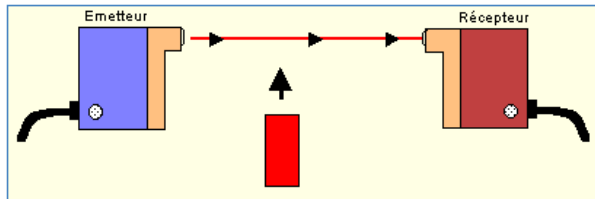
La détection est effective quand l'objet pénètre dans le faisceau lumineux et modifie suffisamment la quantité de lumière reçue par le récepteur pour provoquer un changement d'état de la sortie. C'est exactement le même principe de fonctionnement que les codeurs.

Trois types de montage sont principalement utilisés :

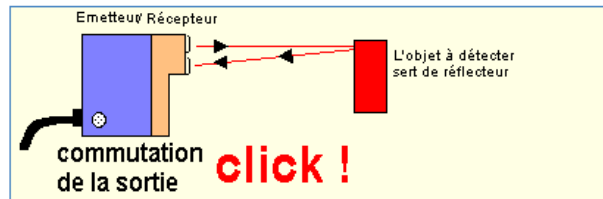
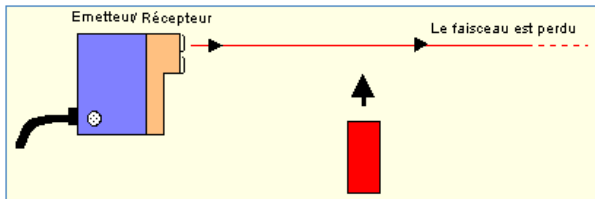
Montage en réflex :



Montage en barrage :

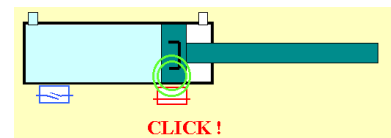
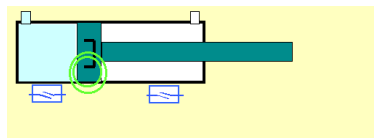
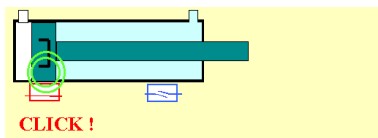


Montage de proximité :



4.4 Interrupteur à lames souples (ILS)

Il permet de détecter tout objet magnétique qui se trouve à proximité de la tête de détection. Un détecteur magnétique se compose essentiellement de 2 lames conductrices. Le passage d'un matériau aimanté entraîne la déformation de ces lames. Celles-ci entrent en contact et permettent le passage du courant. Ce type de capteurs est très souvent utilisé pour détecter la fin de course de vérins.



ILS sous verre



ILS équipant un vérin

5 Capteur à effet Hall

Un capteur à effet hall permet d'obtenir un signal lorsqu'il **détecte un champ magnétique**. Les détecteurs à effet Hall peuvent être utilisés comme capteur de position et/ou de vitesse angulaire. Il est souvent utilisé comme un codeur. Dans ce cas, on utilise un solide qui lors de sa rotation fera varier le champ magnétique à proximité du capteur.



Capteur à effet Hall seul

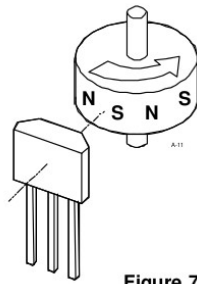


Figure 7A

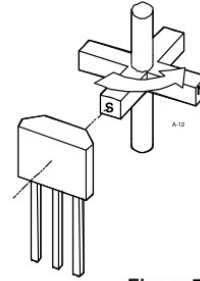


Figure 7B

Montage permettant de mesurer une position
ou une vitesse angulaire

6 Capteurs d'efforts

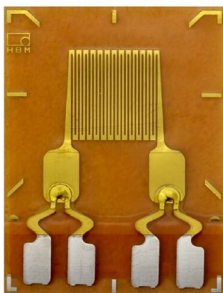
Il n'y a pas de capteur permettant de mesurer directement un effort. Ce qui est mesuré, c'est la déformation (ou le déplacement) d'un élément. Le lien entre la déformation et l'effort appliqué est donné par le constructeur. Les capteurs de force utilisent donc généralement un **"corps d'épreuve"** déformable afin de déterminer la force appliquée. La déformation du corps d'épreuve détermine la force appliquée.

Il en existe essentiellement deux types :

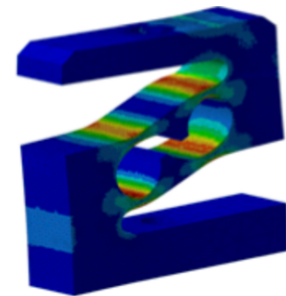
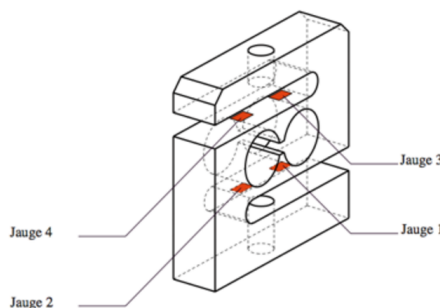
- les capteurs de force à jauges d'extensométrie ;
- les capteurs de force à effet piezoélectrique.

6.1 Capteurs à jauges d'extensométrie

Une jauge d'extensométrie est un fil en serpentin qui est collée sur le corps d'épreuve. Lorsqu'un effort est appliqué, le corps d'épreuve se déforme et donc le fil également. Sa longueur varie et donc sa résistance varie également. Connaissant le lien entre tous ces phénomènes, on lie bien effort appliqué sur le corps d'épreuve et résistance du capteur.



Jauge d'extensométrie seule



Corps d'épreuve (non déformé (gauche), déformé droite)

6.2 Capteurs piézoélectriques

De nombreux cristaux génèrent une charge électrique lorsqu'on les soumet à une charge mécanique. Ce phénomène physique est connu dans le monde entier sous le nom d'effet piézoélectrique.

C'est ce phénomène qui est utilisé pour mesurer un effort.

