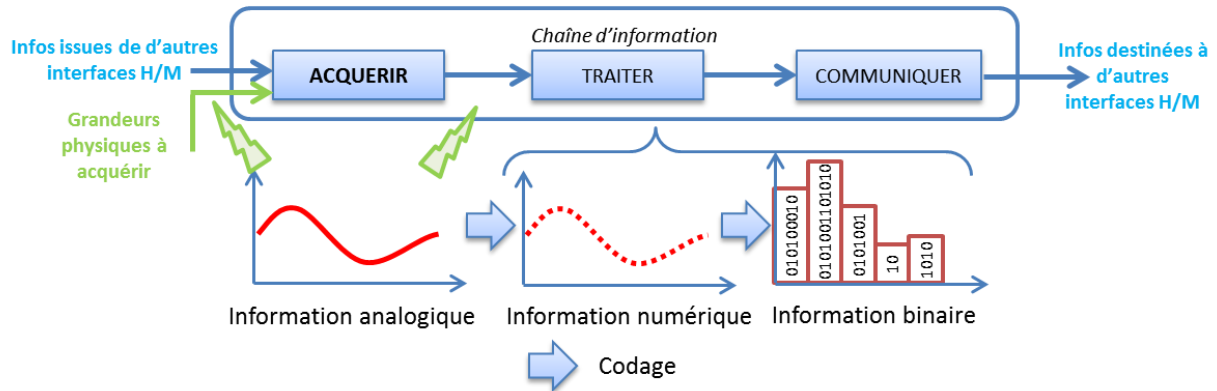


# Technologies associées à la chaîne d'acquisition

Dans la chaîne d'information, les informations peuvent être de trois natures différentes : analogique, numérique et binaire. Le capteur va acquérir une grandeur analogique et va la transformer en une tension, elle-même étant aussi une grandeur analogique. Pour pouvoir être traitée, elle va d'abord être convertie en information numérique grâce à un Convertisseur Analogique Numérique (CAN). L'information numérique est alors traitée et stockée sous forme binaire.



## 1. Signal dans un système numérique : échantillonnage et résolution

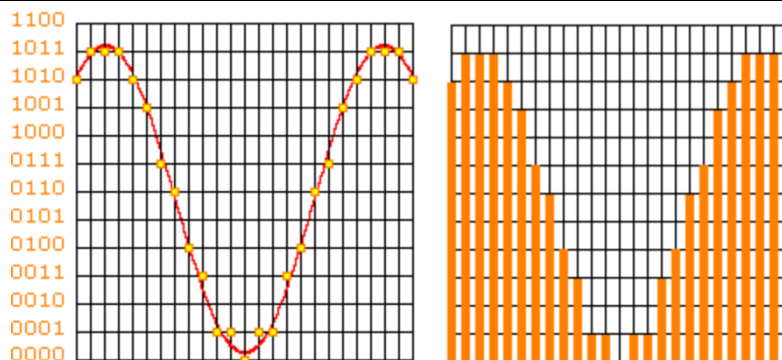
Lorsque l'on fait l'acquisition d'un signal de mesure sur un système numérique, celui-ci doit se conformer à deux contraintes : la **résolution** et l'**échantillonnage**. La résolution correspond à l'intervalle minimum entre deux mesures et l'échantillonnage au temps qui sépare deux prises de mesure. Ces contraintes font partis des facteurs qui limite la précision et la connaissance d'une mesure. En fonction de la gamme et du niveau d'intégration d'un capteur et de son système d'enregistrement ces paramètres varient fortement par exemple les résolutions usuelles sont comprises entre 8 et 20 bits soit entre 256 et 1047576 points de mesure.

*Exemple :* Mesure d'un angle à l'aide d'un potentiomètre rotatif sur un microcontrôleur.

1. Conversion analogique numérique à l'aide d'un module intégré au microcontrôleur. Le convertisseur dispose d'un *nombre de bits* permettant de traduire la valeur numériquement. Par exemple, sur un contrôleur Arduino Uno 8 bit permettent de coder les signaux analogiques. On obtient une résolution de  $2^8 = 256$  valeurs distinctes sur l'intervalle de mesure de 5V. Si le potentiomètre est monotour on la résolution est de  $\frac{360}{256} = 1,42^\circ$ . C'est l'intervalle minimum entre 2 mesures.

Attention la précision de la mesure est en général moins intéressante que cet intervalle. Par exemple si le potentiomètre présente un défaut de linéarité de 2 % la tension électrique de mesure n'est plus une mesure parfaite de l'angle avec un défaut de 2% soit l'équivalent de  $7,2^\circ$  !

2. Enregistrement de la valeur toute les 1ms (paramétrable dans une certaine mesure en fonction de la rapidité du système d'acquisition ou de la vitesse d'exécution du programme dans le cas du microcontrôleur.



## 2. Caractéristiques des capteurs

**Définition : Mesurande** – Grandeur physique à acquérir.

**Définition : Fidélité** – Capacité à donner des résultats répétables sur un échantillon de mesures. (Figure 1)

**Définition : Justesse** – Capacité à donner une valeur moyenne correcte sur un échantillon de mesures. (Figure 1)

**Définition : Précision/Exactitude** – Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie. Une combinaison de fidélité et de justesse permet de l’obtenir (Figure 1).

**Définition : Etalonnage/Calibration** – Opération permettant d’associer la valeur brute délivrée par un capteur à la mesure recherchée. Un étalonnage réussi doit permettre d’obtenir des mesures précises lorsqu’un capteur est fidèle.

**Définition : Étendue de la mesure** – Valeurs extrêmes pouvant être mesurées par le capteur.

**Définition : Résolution** – Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.

**Définition : Sensibilité** – Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d’entrée.

**Définition : Rapidité** – Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante du capteur.

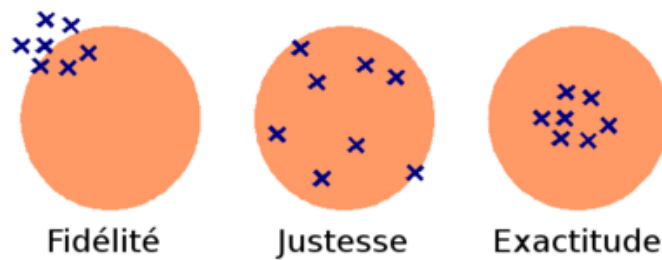
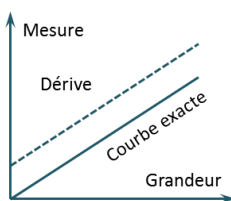


Figure 1 Fidélité Justesse Exactitude

## 3. Problèmes de mesure Offset, Gain, Linéarité

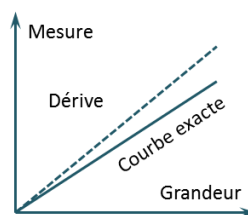
### Erreur de zéro (offset)

Erreur de décalage constant entre la valeur mesurée et la valeur réelle de la grandeur physique.



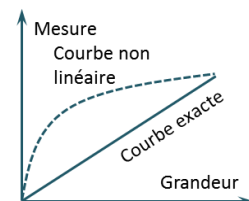
### Erreur d’échelle (gain)

C’est une erreur qui dépend de la façon linéaire à la grandeur mesurée.



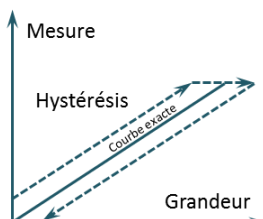
### Erreur de linéarité

La caractéristique du capteur n’est pas une droite



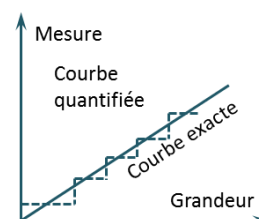
### Erreur d’hystérésis

Phénomène apparaissant lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente mesure.



### Erreur de quantification

La caractéristique est un « escalier ». Cette erreur est due à la conversion analogique – numérique.



### 4. Les détecteurs – Capteurs logiques

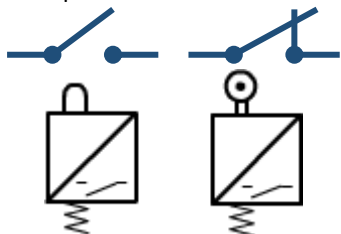
**Définition : Détecteurs** – Les détecteurs permettent de détecter la présence ou l'absence d'un objet ou d'un niveau prédéterminé. Ils délivrent une information booléenne (vrai/faux) sous forme électrique, pneumatique ou hydraulique.

#### Détecteurs à contact/Fin de course

**Nature de la grandeur détectée :** Contact

**Nature du signal délivré :** Signal électrique

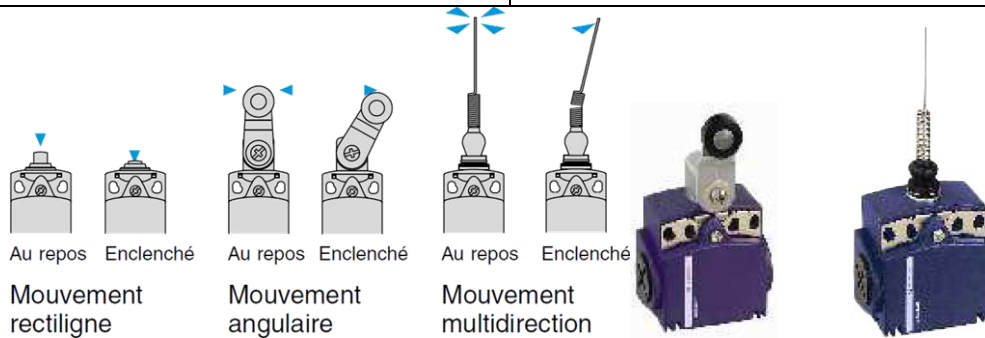
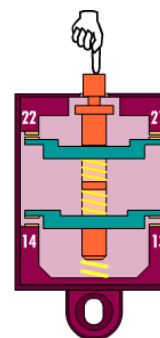
**Symbole :** interrupteurs normalement ouverts et fermés.



#### Principe de fonctionnement

Ce détecteur est un interrupteur de position permettant de délivrer une information « Tout ou rien » en fonction de la position d'un organe de commande.

Un tel détecteur est alimenté (par exemple en 5V – 2 fils). On mesure alors la tension sur une borne de sortie. (L'état de la tension mesurée correspond à l'état ouvert ou fermé de l'interrupteur.)



**Exemples :** Détecteur de présence de bocal capsuleuse, fin de course du mors de la cordeuse, ...

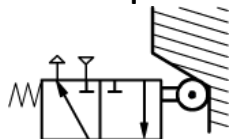
#### Capteur pneumatique

**Nature de la grandeur détectée :** Contact

Contact

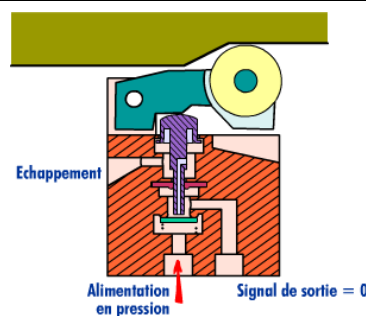
**Nature du signal délivré :** Signal pneumatique

**Symbole pneumatique**



#### Principe de fonctionnement

L'air arrive par l'orifice inférieur. Un orifice est relié à la sortie. Lorsqu'on presse sur le galet, de l'air peut alors passer par l'orifice de sortie. On détecte ainsi la présence d'un objet.



**Exemples :**  
Pas d'exemple dans notre laboratoire.



### Interrupteur à lame souples (ILS)

**Nature de la grandeur détectée :**

proximité

**Nature du signal délivré :** Signal

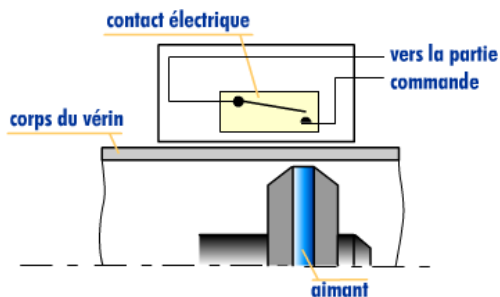
électrique

**Symbole :**



**Principe de fonctionnement**

Les détecteurs ILS équipent les vérins, permettant de détecter la présence de la tige aux extrémités du vérin. Ils sont formés de deux lames métalliques souples très proches l'une de l'autre. Si le capteur est placé dans un champ magnétique alors les deux lames souples se mettent en contact et un courant électrique peut circuler de l'une vers l'autre.



**Exemples :**

Vérins de la capsuleuse.



### Détecteur photoélectrique barrage, reflex/proximité

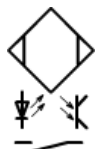
**Nature de la grandeur détectée :**

proximité

**Nature du signal délivré :** Signal

électrique

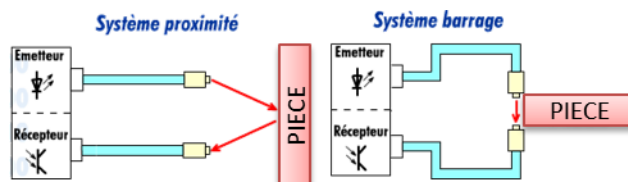
**Symbole :**



**Principe de fonctionnement**

Un détecteur photoélectrique est composé d'un émetteur (DEL) et d'un récepteur (phototransistor). Lorsque émetteur et récepteur sont dissociés, on parle de barrage. Sinon, on parle de reflex (existante d'une cible réfléchissante) ou de système proximité.

Dans le cas du barrage ou du reflex, on détecte une pièce lorsque le faisceau lumineux est coupé. Dans le cas du système proximité, la pièce réfléchit le faisceau.




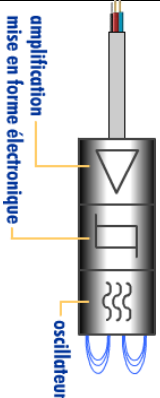
**Exemples :**

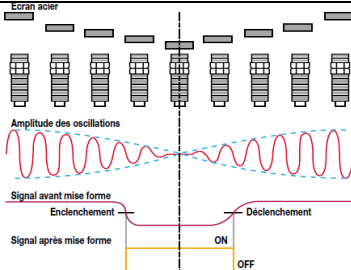

Ces détecteurs peuvent être utilisés dans les codeurs incrémentaux (Voir plus loin).

Ils permettent de détecter des objets transparents, opaques...

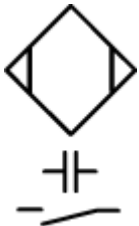



### Détecteur inductif

<p><b>Nature de la grandeur détectée :</b> proximité</p> <p><b>Nature du signal délivré :</b> Signal électrique</p> <p><b>Symbole :</b></p> 	<p><b>Principe de fonctionnement</b></p> <p>Ces détecteurs sont utilisés pour détecter la présence, l'absence ou le passage d'un <b>objet métallique</b>. Les capteurs inductifs produisent à l'extrémité leur tête de détection un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par une inductance et une capacité montée en parallèle. Lorsqu'un <b>objet métallique</b> pénètre dans ce champ, il y a perturbation de ce champ puis atténuation du champ magnétique oscillant. Cela provoque ainsi le changement d'état de sortie du détecteur (passage de l'état 0 à l'état 1).</p>	 <p>amplification mise en forme électronique oscillateur</p>
---	--	---


<p><b>Exemples :</b></p> <p>Sur la capsuleuse ils permettent de détecter l'état de serrage sur la capsule ou la présence du maneton avant que celui-ci n'entre dans la croix de Malte.</p>	 <p>Exemple acier</p> <p>Amplitude des oscillations</p> <p>Signal avant mise forme</p> <p>Enclenchement</p> <p>Déclenchement</p> <p>Signal après mise forme</p> <p>ON</p> <p>OFF</p>	
--	--	---

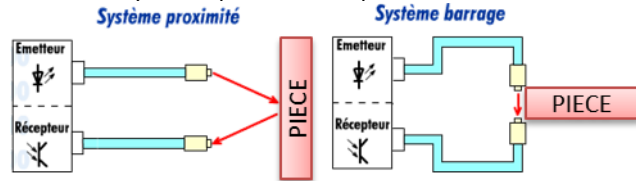

### Détecteur capacitif

<p><b>Nature de la grandeur détectée :</b> proximité</p> <p><b>Nature du signal délivré :</b> Signal électrique</p> <p><b>Symbole :</b></p> 	<p><b>Principe de fonctionnement</b></p> <p>Ces capteurs permettent de détecter <b>tous types de matériaux</b>. Lorsqu'un objet est à proximité du détecteur, il perturbe le champ électrique entre les deux électrodes.</p>
--	--

<p><b>Exemples :</b></p> <p>Absents sur nos systèmes de laboratoire. Ils sont utilisés lorsque les détecteurs inductifs ne peuvent pas être utilisés.</p> <p>La distance de détection est très faible.</p>	 <p>Photo Rechner</p>
--	---

### Détecteur photoélectrique barrage, reflex/proximité

<p><b>Nature de la grandeur détectée :</b> proximité</p> <p><b>Nature du signal délivré :</b> Signal électrique</p> <p><b>Symbole :</b></p> 	<p><b>Principe de fonctionnement</b></p> <p>Un détecteur photoélectrique est composé d'un émetteur (DEL) et d'un récepteur (phototransistor). Lorsque émetteur et récepteur sont dissociés, on parle de barrage. Sinon, on parle de reflex (existante d'une cible réfléchissante) ou de système proximité. Dans le cas du barrage ou du reflex, on détecte une pièce lorsque le faisceau lumineux est coupé. Dans le cas du système proximité, la pièce réfléchit le faisceau.</p>
---	--

<p><b>Exemples :</b></p> <p>Ces détecteurs peuvent être utilisés dans les codeurs incrémentaux (Voir plus loin).</p> <p>Ils permettent de détecter des objets transparents, opaques...</p>	 <p>Système proximité</p> <p>Système barrage</p> <p>Emetteur</p> <p>Récepteur</p> <p>PIECE</p>	
--	--	--

### Capteur à effet Hall simple

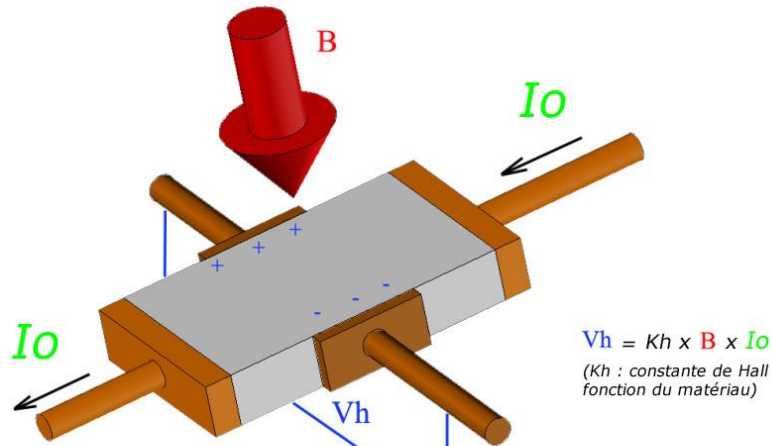
## PRINCIPE DU CAPTEUR A EFFET HALL

**Grandeurs détectées :**

Présence d'un champ magnétique, d'un aimant, angle ou vitesse de rotation à l'aide d'un disque à franges.

**Exemple :**

Capteur point mort haut moteur voiture.



Si un courant  $I_0$  traverse un barreau en matériau conducteur, et si on applique un champ magnétique  $B$  perpendiculaire au sens de passage du courant, il se produira une tension  $V_h$  proportionnelle au champ magnétique ainsi qu'à  $I_0$ . C'est la tension dite de Hall (Découverte en 1879 par M. HALL)

[www.velo-electrique.com](http://www.velo-electrique.com)

Ce capteur utilise l'effet d'induction afin de détecter la présence d'un champ magnétique.

Il permet en général de détecter le passage d'un aimant. C'est un capteur de présence sans contact très fiable. Par un montage adapté une vitesse ou un angle de rotation peuvent être mesurés par comptage.

### 5. Les capteurs analogiques

Ces capteurs permettent de mesurer une grandeur physique. Ils délivrent un signal continu.

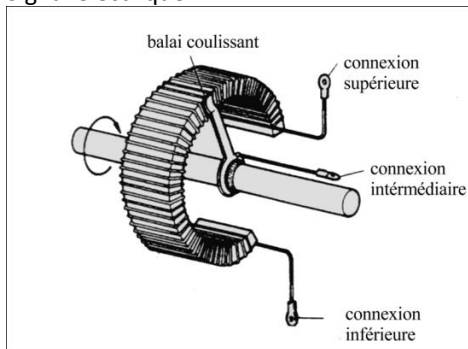
#### Mesures des longueurs et des angles – Potentiomètre linéaire et angulaires

**Nature de la grandeur détectée :**

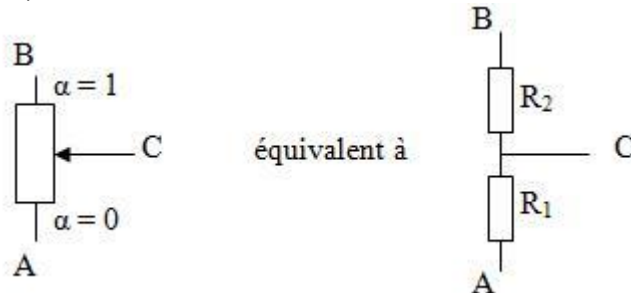
angle ou distance

**Nature du signal délivré :**

Signal électrique



**Principe de fonctionnement :** Ces capteurs fonctionnent comme un rhéostat : un curseur se déplace sur une piste (linéaire ou circulaire). Un pont diviseur de tension permet de déterminer la tension. Connaissant la course du capteur, on peut en déduire la correspondance entre tension et dimension. En plaçant une tension +Vcc en B et une masse en A, la tension mesurée entre C et la masse sera comprise entre 0V et +Vcc et proportionnelle à la grandeur mécanique que l'on souhaite mesurer (angle ou distance).




**Exemples :**

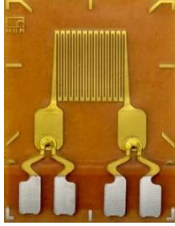

Position angulaire du bras du MaxPID, position angulaire des volants de la DAE et de la DIRAVI, position angulaire des roues de la DAE, mesure de l'écrasement du ressort de la cordeuse, position angulaire des vantaux du portail... On peut remarquer qu'un potentiomètre comporte 3 fils (alimentation, masse et mesure).




### Mesure de vitesse – Génératrice tachymétrique

<p><b>Nature de la grandeur détectée :</b> vitesse</p> <p><b>Nature du signal délivré :</b> Signal électrique</p>	<p><b>Principe de fonctionnement</b></p> <p>Une génératrice tachymétrique a la même structure qu'un moteur à courant continu. Lorsque l'axe du va tourner, il va générer une tension proportionnelle à sa fréquence de rotation.</p>
<p><b>Exemples :</b></p> <p>Mesure de la vitesse du moteur du MaxPID ou des vérins électriques de la plateforme 6 axes.</p>	

### Mesure de force et de couple – Jauges de contraintes (extenso métriques)

<p><b>Nature de la grandeur détectée :</b> effort ou couple</p> <p><b>Nature du signal délivré :</b> Signal électrique</p> 	<p><b>Principe de fonctionnement</b></p> <p>Un capteur d'effort est constitué d'un corps d'épreuve, déformable, sur lequel est collée une jauge. La jauge est constituée d'un fil réalisant des « aller-retour » (cf image). Lorsque le corps d'épreuve va être soumis à un effort, il va se déformer. Les fils vont alors s'allonger ou se rétracter, changeant ainsi sa résistance.</p> <p>La variation de résistance est proportionnelle à l'effort auquel est soumis le corps d'épreuve. La variation de résistance se mesure par une variation de tension mesurée elle-même par un pont de Wheatstone.</p> <p><math>F = E\varepsilon</math> et <math>\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}</math> (effort proportionnel à la déformation), <math>\frac{\delta R}{R} = K\varepsilon</math> (différentiel de résistance proportionnel à la déformation).</p>
<p><b>Exemples :</b></p> <p>Mesure de l'effort dans le portail, capteur d'effort relié à la corde sur la cordeuse...</p>	

### Mesure de force – Capteur piézo électrique

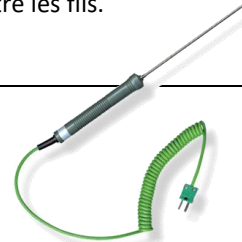
<p><b>Nature de la grandeur détectée :</b> effort</p> <p><b>Nature du signal délivré :</b> Signal électrique</p>	<p><b>Principe de fonctionnement</b></p> <p>Les matériaux piézoélectriques ont la propriété de se polariser sous l'action d'une contrainte mécanique</p>
<p><b>Exemples :</b></p> <p>Ces capteurs peuvent être utilisés dans plusieurs autres capteurs: capteurs d'efforts, d'accélération...</p>	

### Mesure de température – Thermocouple

**Nature de la grandeur détectée :** température  
**Nature du signal délivré :** Signal électrique

**Principe de fonctionnement**

Un thermocouple est constitué de deux fils de matériaux différents reliés entre eux. Sous l'effet d'un changement de température, on mesure peut alors mesurer une différence de potentiel entre les fils.

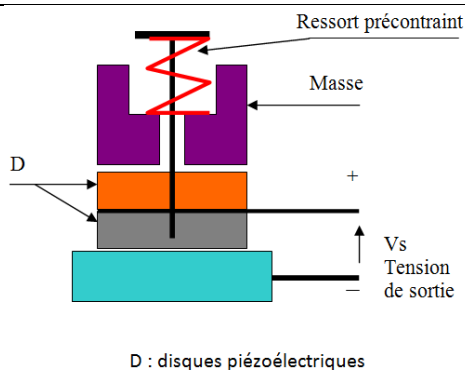


**Exemples :**

Absent dans nos systèmes de laboratoire.

### Mesure de l'accélération

**Nature de la grandeur détectée :** tension électrique  
**Nature du signal délivré :** Signal électrique



**Principe de fonctionnement**

Un accéléromètre est un dispositif destiné à mesurer l'accélération. Il est typiquement constitué de deux éléments : une masse et un capteur. L'accéléromètre utilisé est à détection piézoélectrique à compression. La tension de sortie  $V_s$  est proportionnelle à la charge exercée par le ressort et la masse sur les disques D.

**Exemples :**

Suspension de VTT didactisée.  
 Les systèmes de grandes diffusion (drone, smartphone) utilisent des accéléromètre miniaturisés gravés sur du silicium. On parle de capteur MEMS.



## 6. Les capteurs numériques

Ces capteurs permettent de mesurer une grandeur physique. Ils délivrent un signal échantillonné.

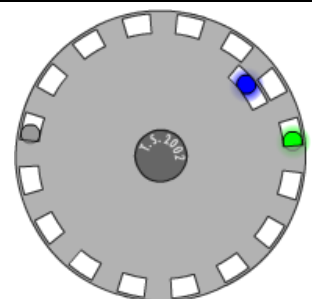
### Mesure de position (et de vitesse) – Codeur incrémental

**Nature de la grandeur détectée :** proximité  
**Nature du signal délivré :** Signal électrique

**Principe de fonctionnement**

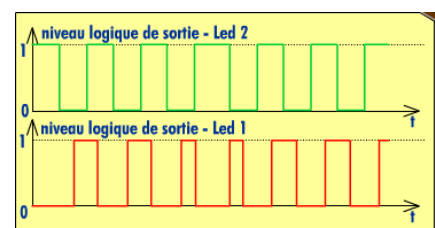
Un codeur absolu est composé d'un disque comportant :

- une piste composée de fentes espacés régulièrement sur sa périphérie ;
- une seconde piste composée d'une seule fente permettant de faire une remise à zéro ;
- 3 couples diode/photorésistances (ou technologie équivalente) :
  - deux repérant les fentes sur la périphérie (décalées d'un quart de fente) ;
  - une repérant la fente de la seconde piste.




En détectant les fentes sur la piste extérieure, il est possible de détecter la position angulaire et le sens de rotation.

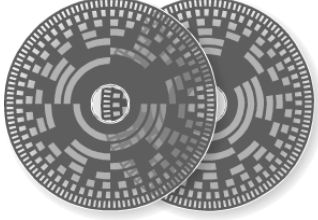
La piste intérieure facultative permet d'identifier une référence.

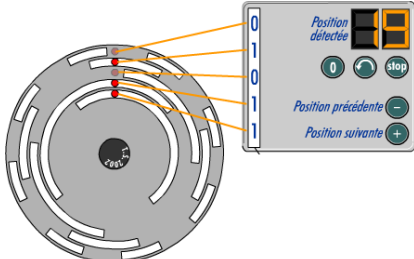





<p><b>Exemples :</b> Axe numérique, boîte de vitesse robotisée, axes de déplacement des machines-outils... La résolution angulaire du capteur dépend du nombre de fentes : <math>\frac{360^\circ}{n}</math>.</p>	
--	--

**Mesure de position – Codeur absolu**

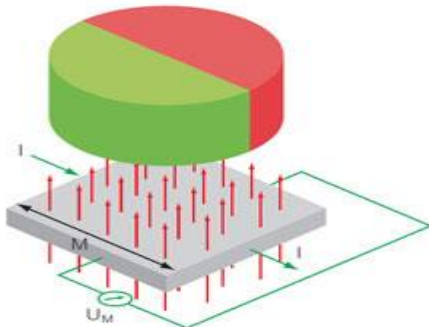
<p><b>Nature de la grandeur détectée :</b> proximité <b>Nature du signal délivré :</b> Signal électrique <b>Symbole :</b></p>	<p><b>Principe de fonctionnement</b> Un codeur absolu est composé d'un disque de <math>n</math> pistes. Les pistes présentes des fentes ou de la matière disposées selon le codage gray (binaire réfléchi). Une photorésistance permet d'identifier une séquence de fentes et. Cette séquence correspond à la position angulaire du disque.</p>	
---	---	---

<p><b>Exemples :</b> Installation de sureté ou la mise hors tension ne doit pas entrainer une prise d'origine Réacteur nucléaire</p>		
--	---	---

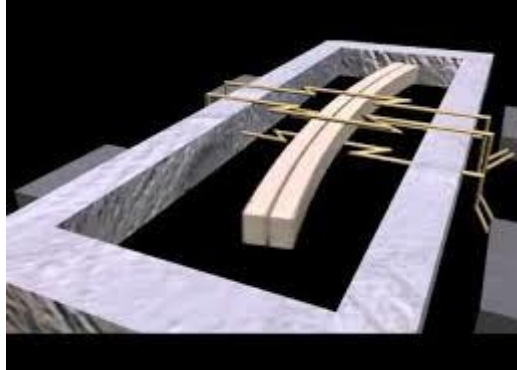
**7. Capteurs intelligents**

Ces capteurs modernes profitent des progrès de miniaturisation et dans le traitement de l'information pour mesurer des grandeurs plus efficacement.

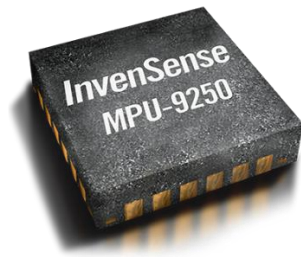
**Capteur de champ magnétique et d'angle de rotation à effet Hall**

	<p>Une grille de capteurs à effet Hall est utilisée afin de mesurer l'orientation et l'intensité d'un champ magnétique. Ils peuvent ainsi servir de boussole 3D. Associé à un aimant ils permettent de mesurer avec précision et de manière absolue un angle sans contact. <i>Exemple boussole : Drone</i> <i>Exemple mesure d'angle : Cheville du robot NAO.</i> Une unité de traitement de l'information est intégrée pour conditionner et traiter l'information des sous-capteurs de la grille et fournir des données facilement exploitables. Ces capteurs sont miniaturisés et mesurent quelque mm<sup>2</sup>.</p>
---	--

**Gyroscope/gyromètre numérique**

	<p>Ces capteurs miniaturisés MEMS permettent de mesurer des vitesses de rotation sans contact avec la référence (repère galiléen), ce qui est indispensable pour les véhicules par exemple. Un barreau oscille à grande vitesse, lorsque le support tourne les effets d'inertie génèrent des forces proportionnelles à la vitesse de rotation. Ainsi mesure ces forces permet d'obtenir une image de cette vitesse. Il existe aussi des modèles plus traditionnels qui utilisent un disque tournant à grande vitesse dont les angle restent fixe par effet d'inertie. Ces modèles présentent l'avantage de pouvoir mesurer directement les angles et non les vitesses de rotation. Ils présentent l'inconvénient d'être beaucoup plus onéreux et encombrant.</p>
---	--

## Capteur d'attitude / centrale inertielle / *Motion Processing Unit*.



En combinant les capteurs miniaturisés MEMS *gyroscope*, *accéléromètre* et *boussole* il est possible d'obtenir les angles d'orientation dans l'espace d'un objet sans système de mesure associé à la référence (caméra...) et sans contact. L'accéléromètre mesure en permanence l'accélération verticale, ce qui donne, en moyenne une orientation fiable de l'axe vertical. La boussole donne en moyenne une bonne direction du nord magnétique, permettant de s'orienter dans le plan horizontal. Le gyroscope numérique donne de bonnes mesures instantanées des angles et des vitesses de rotation, en général sa dérive empêche une mesure d'angle fiable dans le temps. Par combinaison des informations de ces 3 capteurs, par exemple avec les filtres de Kalman, on peut obtenir une information rapide et fiable de l'attitude (angles dans l'espace) du système. Cette fusion peut être gérée localement à l'aide d'une unité de traitement numérique intégrée au capteur. Ces capteurs se trouvent par exemple dans les **drones**, les **smartphones** et les voitures disposant du contrôle de trajectoire ESP.

## 8. Autres capteurs

### Capteurs de pression

Les capteurs de pressions sont de type tout ou rien ou analogique. En général ils fonctionnent par mesure de déformation d'un mécanisme sensible à la pression (membrane équipée d'un ressort par exemple).

- Les type TOR permettent de détecter un niveau choisi au préalable. *Exemple* : Détection de perte de pression d'huile dans un moteur automobile (voyant rouge en forme de burette d'huile).
- Les modèles analogiques permettent une mesure de la pression.

### Capteur de débit

Les capteurs de débit permettent de mesure un débit de fluide, ils peuvent utiliser un contact physique (hélice, pale) ou un système sans contact (ultrason par exemple).

### Capteurs à ultrason / sonar (SG)

Les capteurs émettent un son et mesure son temps de propagation/réflexion pour mesurer une distance à un objet, exemple : Aspirateur robot.

### Résolveur (SG)

Ce sont des capteurs d'angles absolu par mesure du champ électromagnétique par induction dans 2 bobines orientées à 90°.

### LIDAR

Ces capteurs utilisent des lasers afin de mesurer des distances. En disposant le laser sur une tourelle il est possible de cartographier un environnement (scanner laser).