

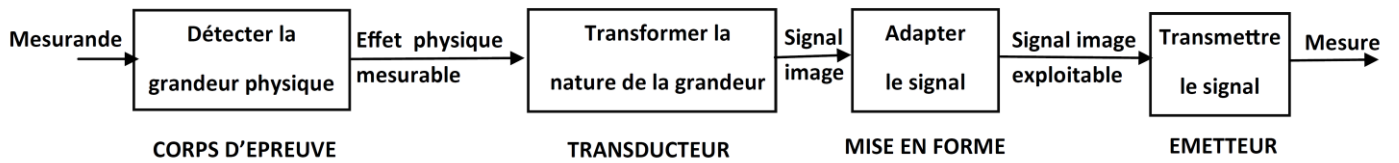
TECHNOLOGIE DES CAPTEURS

1. Contenu

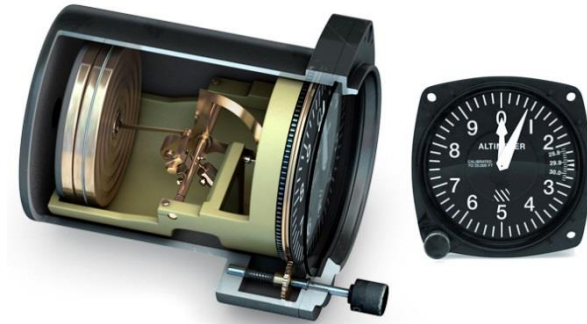
1	RAPPEL DE VOCABULAIRE ET EXEMPLES	2
1.1	VOCABULAIRE.....	2
1.2	EXEMPLE 1 : L'ALTIMETRE.....	2
1.3	EXEMPLE 2 : LE PESON SP4C3-MR DE HBM	3
1.4	EXEMPLE 3 : LE TPMS (TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM).....	4
2	CARACTERISATION DES CAPTEURS	5
2.1	CARACTERISTIQUES.....	5
2.2	ERREURS	5
2.3	ETALONNAGE	5
2.4	LIMITES D'UTILISATION.....	5
3	PANORAMA DES PRINCIPAUX CAPTEURS	6
3.1	DETECTEURS DE POSITION	6
3.1.1	<i>Capteur mécanique fin de course</i>	6
3.1.2	<i>Capteur de proximité inductif, capacitif</i>	6
3.1.3	<i>Fourche optique</i>	6
3.1.4	<i>Capteur de proximité à ultrasons</i>	6
3.2	CODEURS DE POSITION	7
3.2.1	<i>Codeur incrémental de position angulaire</i>	8
3.2.2	<i>Codeur absolu de position</i>	9
3.3	CAPTEURS DE VITESSE	11
3.4	ACCELEROMETRES	12
3.5	CAPTEUR D'EFFORT	13
3.5.1	<i>Capteurs à jauges de contrainte</i>	13
3.5.2	<i>Capteur piézoélectrique</i>	13
3.6	CAPTEUR DE TEMPERATURE.....	14
3.6.1	<i>Thermistance</i>	14
3.6.2	<i>Le thermomètre à résistance de platine</i>	14
3.6.3	<i>Thermocouple</i>	14

1 RAPPEL DE VOCABULAIRE ET EXEMPLES

1.1 Vocabulaire



1.2 Exemple 1 : L'altimètre


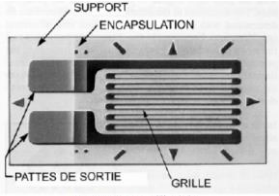
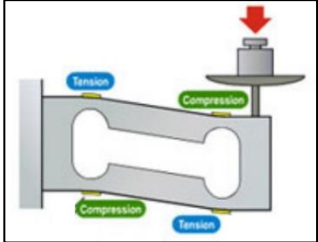
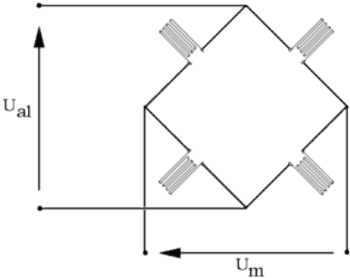

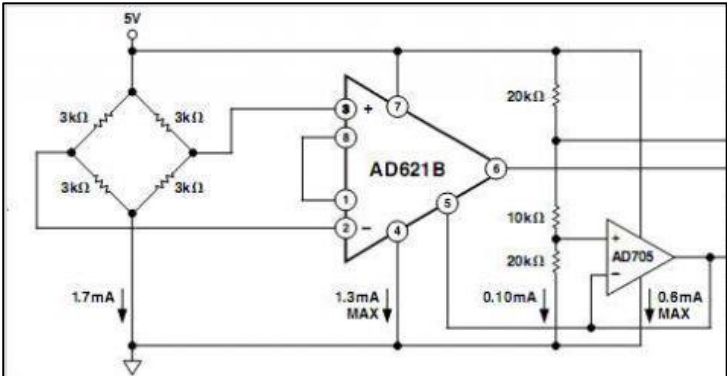


<p>DETECTER</p>	<p>CORPS D'EPREUVE</p>		<p>La capsule anéroïde Reliée par une tubulure à une prise de pression statique située sur le fuselage.</p> 
<p>TRANSFORMER</p>	<p>TRANSDUCTEUR</p>		<p>La capsule anéroïde est reliée mécaniquement à un système d'engrenages de grande précision qui entraîne l'indicateur d'altitude.</p>

1.3 Exemple 2 : Le Peson SP4C3-MR de HBM

capteur de poids du système Gravitec.
 portée max 3kg
 précision 0,1%
 matériau aluminium



<p>DETECTER</p>	<p>CORPS D'EPREUVE</p>	<p>La poutre parallèle</p> 
<p>TRANSFORMER</p>	<p>TRANSDUCTEUR</p> <p>Jauge d'extensiométrie</p> 	<p>4 jauges de contraintes colées sur le corps d'éprouve</p>  <p>Les 4 jauges (résistances) sont montées en Pont complet. La tension U_{a1} est une tension de référence La sortie du capteur est la tension de mesure U_m</p> 
<p>ADAPTER</p>	<p>AMPLIFICATEUR</p> 	<p>Le signal U_m n'est pas directement utilisable car de très faible valeur. Il nécessite un amplificateur.</p> <p>RM4220 Amplificateur de mesure pour jauges avec sortie 4...20 mA</p> <p>La tension d'alimentation du pont est réglable sur 5 ou 10 V. Le signal de sortie est 0/10 V ou +/- 10 V et 4/20 mA.</p> 

1.4 Exemple 3 : Le TPMS (Tire Pressure Monitoring System)

Le contrôle automatique de la pression des pneus est un système électronique conçu pour contrôler la pression des pneumatiques (obligatoire sur tous les véhicules neufs depuis octobre 2012).

Ce système renvoie la pression des pneus en temps réel au conducteur du véhicule par un indicateur, un pictogramme ou par un simple témoin de sous-gonflage.



<p>DETECTER</p>	<p>CORPS D'EPREUVE</p>	
<p>TRANSFORMER</p>	<p>TRANSDUCTEUR</p>	<p>Les transducteurs de pression piézoélectriques tirent parti des propriétés électriques de cristaux naturels comme le quartz. Ces cristaux génèrent une charge électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte. La pression à mesurer est appliquée au résonateur à quartz d'un circuit oscillant. Les variations de la pression font varier la fréquence de résonance du circuit oscillant.</p>
<p>ADAPTER</p>	<p>AMPLIFICATEUR</p>	<p>Ces capteurs piézoélectriques ne demandent pas de source d'excitation extérieure et sont particulièrement robustes, ils requièrent en revanche un amplificateur de charge.</p>
<p>TRANSMETTRE</p>	<p>EMETTEUR</p>	<p>les données sont codées par un signal radio basse fréquence (315 Mhz ou 434 Mhz) et transmise selon le protocole CAN au calculateur. Les débits autorisés vont jusqu'à 1Mbit/s.</p>

2 CARACTERISATION DES CAPTEURS

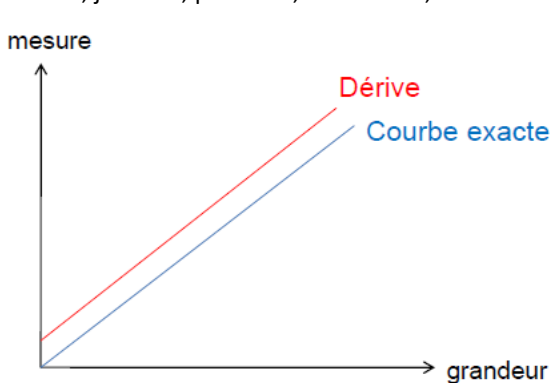
2.1 Caractéristiques

- Etendue de mesure : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.
- 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 : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.
- Rapidité : Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
- Linéarité : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure

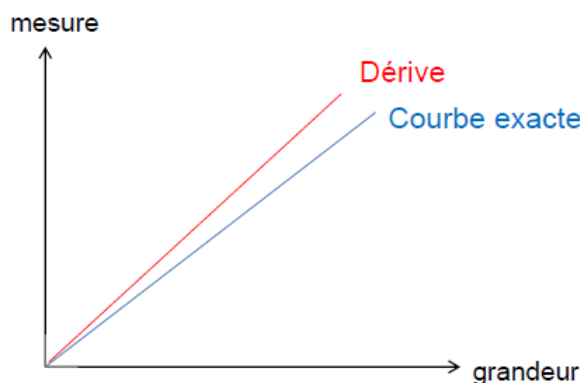
2.2 Erreurs

Le capteur et toute la chaîne de traitement de la mesure introduisent des erreurs : bruit, décalage, référence, linéarité... L'erreur globale de mesure ne peut être qu'estimée.

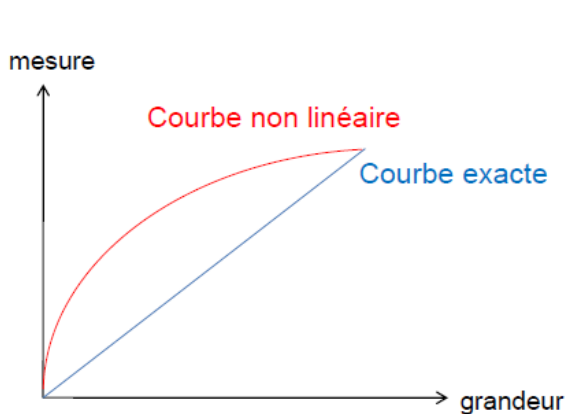
Une conception rigoureuse de la chaîne de mesure permet de réduire les erreurs et donc l'incertitude sur le résultat. On parle de : fidélité, justesse, précision, incertitude, linéarité.



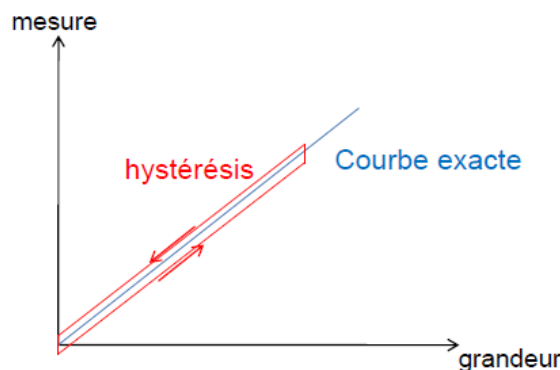
Erreur de zéro ou « offset »



Erreur d'échelle ou de gain



Erreur de linéarité



Erreur d'hystérésis : le résultat dépend de la mesure précédente

2.3 Etalonnage

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique ou algébrique, la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Très souvent l'étalonnage n'est valable que pour une seule situation d'utilisation du capteur.

2.4 Limites d'utilisation

Les contraintes mécaniques, thermiques ou électriques auxquelles un capteur est soumis entraînent, lorsque leurs niveaux dépassent des seuils définis, une modification des caractéristiques du capteur. Au-dessus d'un certain seuil, l'étalonnage n'est plus valable. Au-dessus d'un autre plus grand le capteur risque d'être détruit.

3 PANORAMA DES PRINCIPAUX CAPTEURS

Les capteurs utilisent une grande variété de solutions technologiques, dont vouloir dresser un catalogue exhaustif serait vain. Chaque phénomène physique pouvant donner naissance à une famille de capteurs. On retiendra les technologies associées aux mesures plus courantes : Position, Vitesse, Accélération, Force, Température.

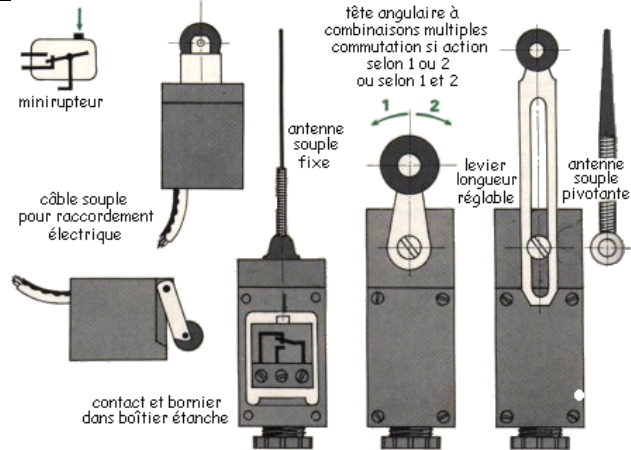
3.1 DETECTEURS de POSITION

La détection de la position est souvent réalisée par un capteur TOR ; les technologies sans contacts sont plus robustes dans les environnements industriels et les détecteurs à ultrasons tendent à remplacer les détecteurs inductifs.

3.1.1 Capteur mécanique fin de course

Sortie par commutation d'un contact

L'information est récupérée sur un « contact sec » qui est câblé soit directement dans un schéma de commande, soit relié à une entrée d'automate.

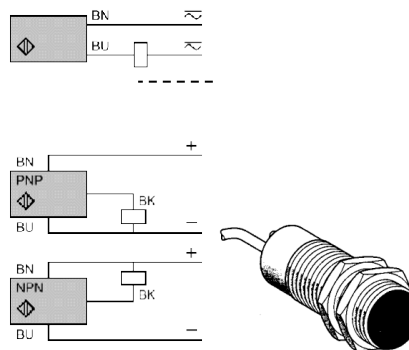


3.1.2 Capteur de proximité inductif, capacitif.

Sortie par commutation d'un transistor. (bloqué ou saturé).

L'information correspond à un niveau de tension récupérée en sortie de transistor, qui est interprétée comme étant un 0 ou un 1 par l'entrée d'automate.

Sortie 2 fils ou 3 fils.



3.1.3 Fourche optique

Sortie par commutation d'un transistor. (bloqué ou saturé).

Comme avec les barrages photoélectriques, l'émetteur et le récepteur sont face-à-face.



3.1.4 Capteur de proximité à ultrasons

La technologie ultrason permet de s'affranchir pour l'objet à détecter, du type de matériau, de sa couleur, de sa forme ainsi que des conditions d'ambiances.

Le détecteur ultrason est « Plug and Play », pas de réglage, pas d'apprentissage, pas d'ajustement dans le temps.



3.2 CODEURS de POSITION

Pour de nombreux systèmes, on a besoin de connaître le déplacement, la position ou la vitesse d'une partie mobile.

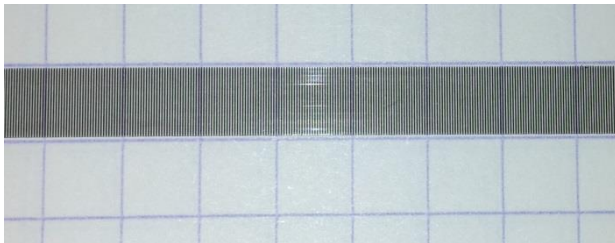
On peut citer dans le domaine industriel :

- articulations de robots pour la connaissance des angles de rotation et de leur vitesse,
- machines outils pour la connaissance de la position vitesse des outils



Dans le domaine grand public :

- Imprimante et scanner pour la position de la tête d'impression/lecture et l'avance du papier;

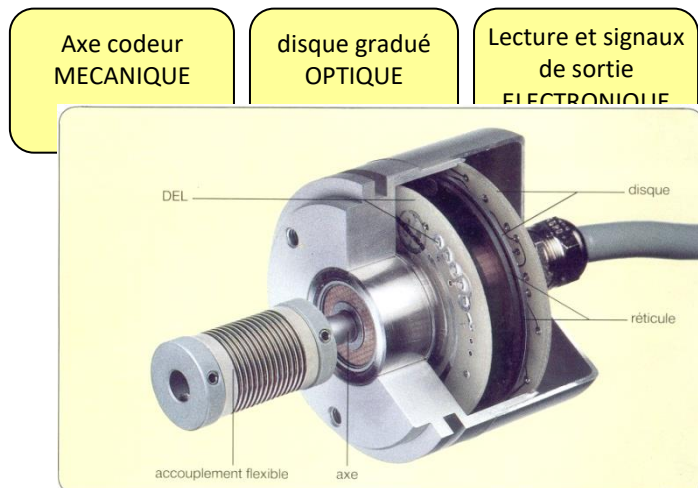
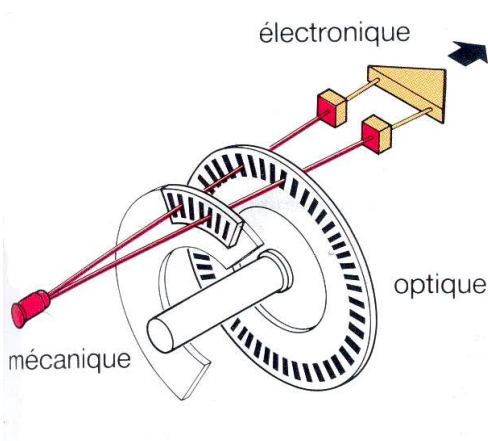


Règle incrémentale, position de la tête d'impression



Les systèmes de détection "TOUT OU RIEN", interrupteurs et détecteurs de positions, ne peuvent fournir des informations suffisamment précises tout au long du déplacement.

On utilise alors des capteurs permettant de coder et numériser la position sur un certain nombre de bits, c'est à dire avec une résolution, une "précision", prédéfinie.

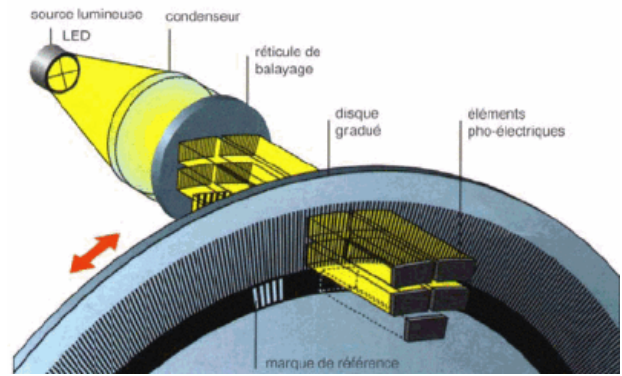
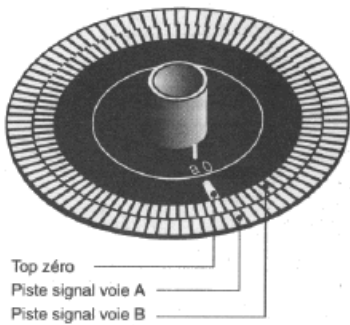


Il existe deux types de codage :

- le codage incrémental, pour lequel le déplacement génère des impulsions qui sont alors comptées. Il s'agit d'un codage relatif au début du comptage,
- le codage absolu, qui définit directement le code de la position sur n bits, dans la plage de codage du codeur (monotour ou multitours).

3.2.1 Codeur incrémental de position angulaire

Un disque imprimé solidaire de l'axe est associé à une détection optique qui délivre en général 5 ou 6 signaux.



Le disque du codeur incrémental comporte :

- 2 pistes extérieures A et B
- 1 piste intérieure Z

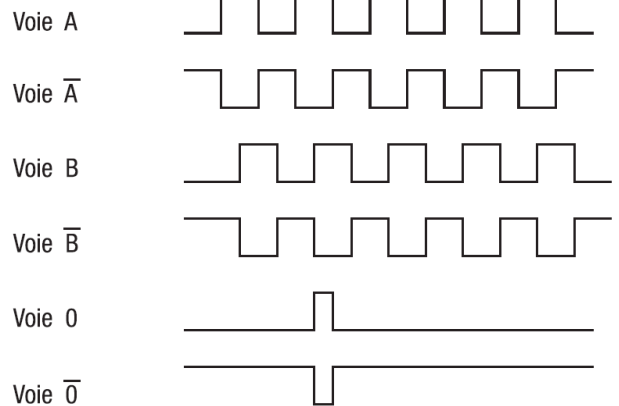
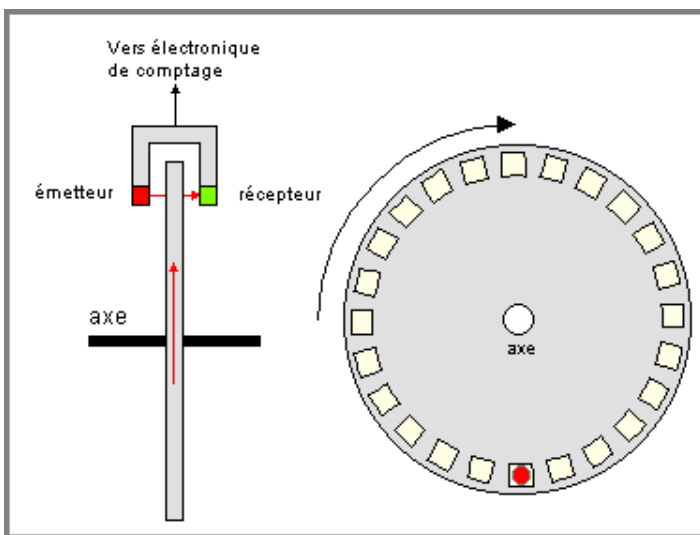
Le comptage des impulsions donne au déplacement une valeur relative.

La combinaison des voies A et B permet de discriminer le sens de rotation.

Les pistes extérieures sont décalées d'un quart de période (90°) et divisées en N intervalles égaux alternativement opaques et transparents.

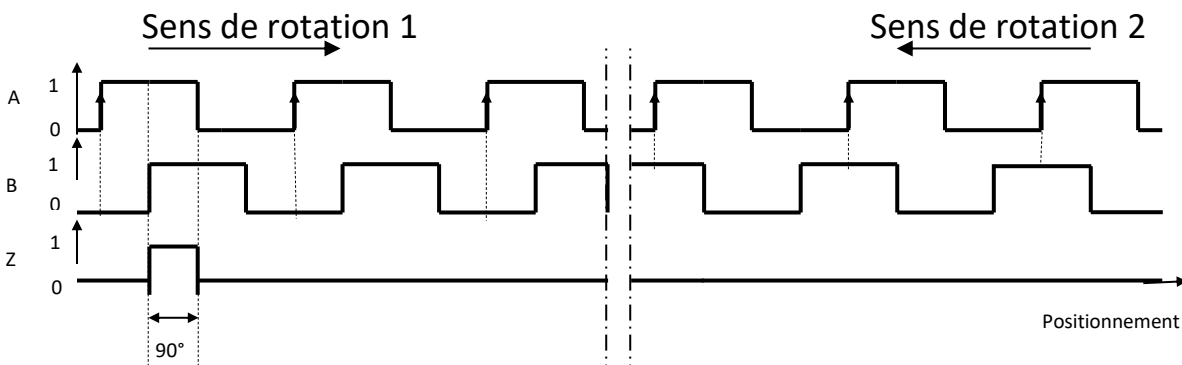
En un tour complet, le faisceau est interrompu N fois et délivre donc N signaux consécutifs.

Derrière les pistes, deux phototransistors délivrent deux signaux A et B déphasés de 90°.



Ce décalage permet de déterminer le sens de rotation :

- dans le sens de rotation 1, B = 0 au front montant de A.
- dans le sens de rotation 2, B = 1 au front montant de A.



La piste intérieure comporte une seule fenêtre transparente et délivre un signal par tour. Ce signal Z de durée électrique 90° et appelé « top zéro » est synchrone avec A et B. Il définit une position de référence et permet une réinitialisation à chaque tour.

Important : A la mise sous tension, la position est inconnue, il faut un point de référence connu (capteur TOR de fin de course par exemple) pour ensuite connaître le déplacement par comptage des impulsions.

3.2.2 Codeur absolu de position

Les codeurs absolus sont destinés à des contrôles de déplacement et de positionnement d'un mobile par codage.

Le disque comporte « n » pistes concentriques divisées en segments égaux.

Chaque piste est représentative d'un bit.

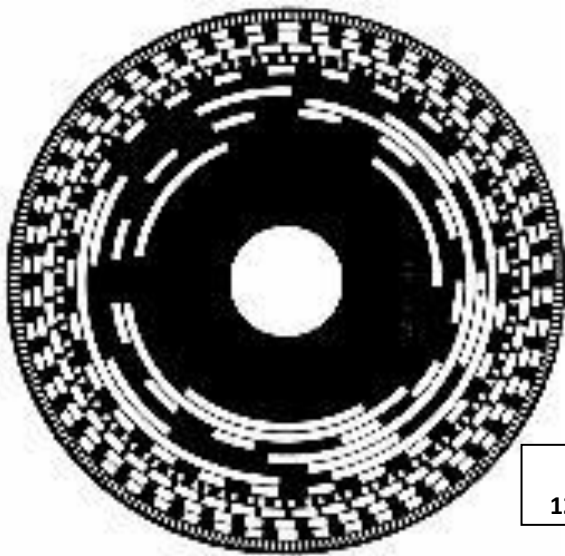
La lecture de la position se fait de manière optique. Codée sur n bits, la position est obtenue directement sous forme numérique.

Le disque fournit un code pour chaque position angulaire de l'axe.

Le codage devant s'affranchir des problèmes d'aléas, un seul bit du code doit évoluer entre 2 positions successives.

Solution 1 : On utilise le code GRAY ou binaire réfléchi, ce qui nécessite une conversion en binaire naturel pour être exploitable par un microcontrôleur.

Solution 2 : Une piste supplémentaire (ci-dessous la piste extérieure) autorise la lecture du code de position seulement dans son axe, le code binaire naturel peut alors être utilisé pour imprimer le disque.



Disque de codeur absolu
12 pistes soit 4096 positions

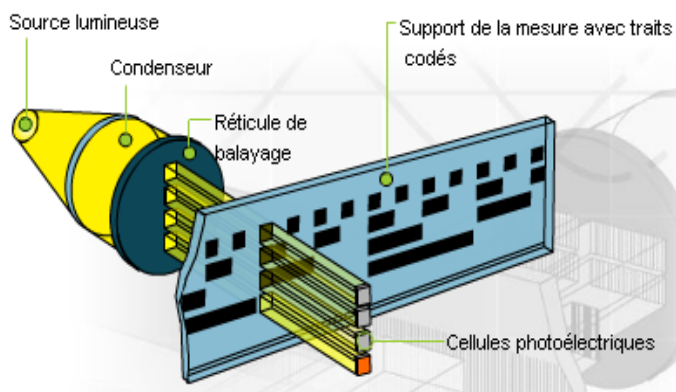
Décimal	Binaire	Code Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

La piste intérieure correspond au MSB (Most signifiant fort) et la piste extérieure au LSB (Least signifiant faible).

Intérêt :

Dès la première mise sous tension ou après une coupure de tension, l'information délivrée correspond à la position réelle du mobile. Il est inutile de refaire une prise d'origine.

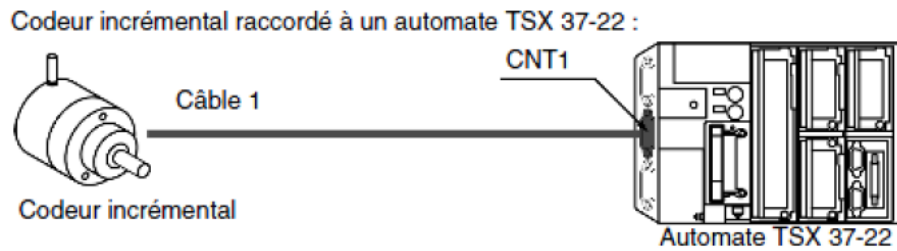
Il existe également des codeurs linéaires absolus :



Important : A la mise sous tension, la position est connue, le code lu sur le codeur correspond directement à une position dans le domaine d'emploi ou la course possible.

3.2.3 RACCORDEMENT CODEUR - AUTOMATE

Codeur incrémental

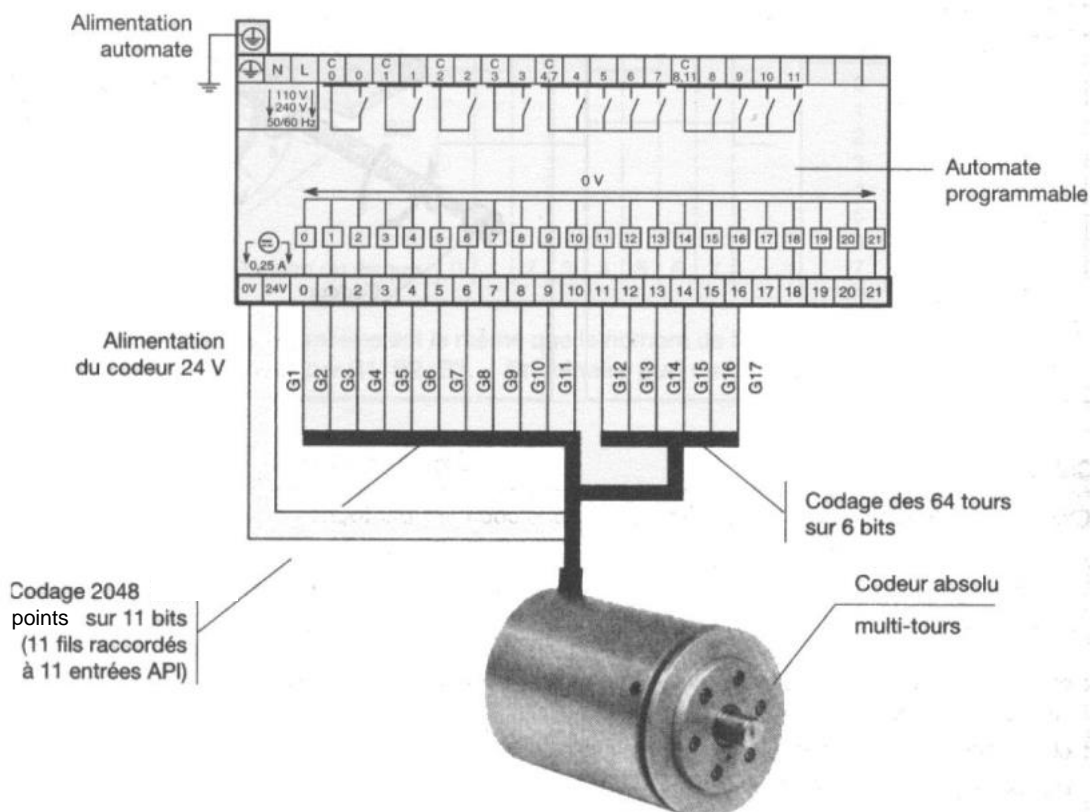


On relie en général les voies A, B et Z par rapport à 0V. Il y a donc 4 fils quel que soit le nombre de points par tour.

On utilise soit :

- 3 entrées tout ou rien (TOR) avec des capacités de comptage, mais la fréquence des signaux est alors limitée à environ 500 Hz maximum.
- Un module spécifique de comptage avec une fréquence acceptable de 20kHz environ.

Codeur absolu



Les **n bits** sont directement reliés en parallèle à **n entrées** d'une carte classique d'entrée sortie TOR d'automate.

L'exemple ci-dessus correspond à un codeur absolu multi tours utilisant 17 entrées ;

- 11 pour coder la position à l'intérieur du tour (2048 points/tour);
- 6 pour coder le numéro du tour (64 tours codables).

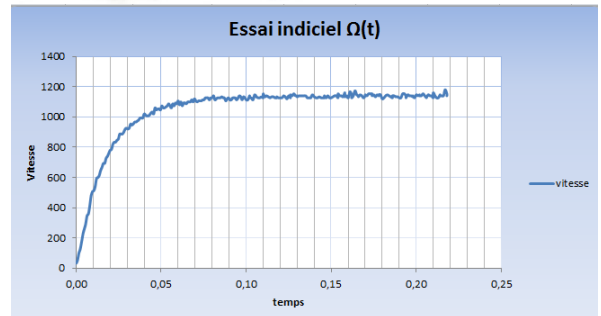
3.3 Capteurs de VITESSE

Dynamo tachymétrique

Machine à courant continu utilisée en génératrice (à vide).
La mesure utilise la relation de couplage $E=k\Omega$

Ex :
fem à 1000tr/min = 6V
Vitesse maximum : 5000 tr/min

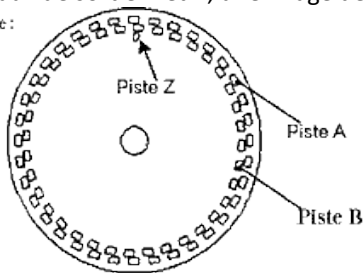
Nécessite en général d'un filtrage du signal.



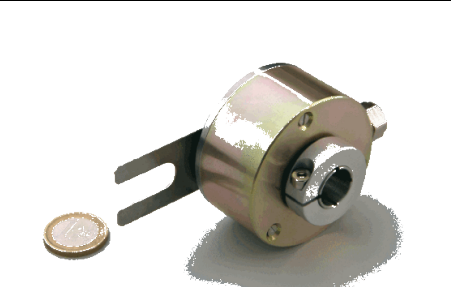
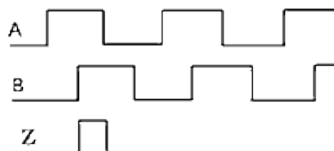
Codeur incrémental

Un codeur incrémental peut donner, par mesure de la fréquence des signaux de sortie A et B, une image de la vitesse angulaire.

Disque :



Signaux délivrés :



Capteur de vitesse et déplacement embarqué

Technologie IR LEDs (Infrarouge à diode électroluminescente)
Le capteur LFIIP mesure la vitesse entre 0,3 et 400 Km/h et la distance parcourue.
Sa précision est de 0,1 km/h et 0,1% en mesure de distance.
Très robuste et léger, 250g –
le LFIIP fournit les données par les sorties analogiques, numériques (USB et RS232) et CAN. Installation discrète sous châssis ou sous nez de Formule 1. Les parties optiques sont faces à la route, le cylindre vers l'avant.



3.4 ACCELEROMETRES

$$\vec{F} = M \cdot \vec{\gamma}$$

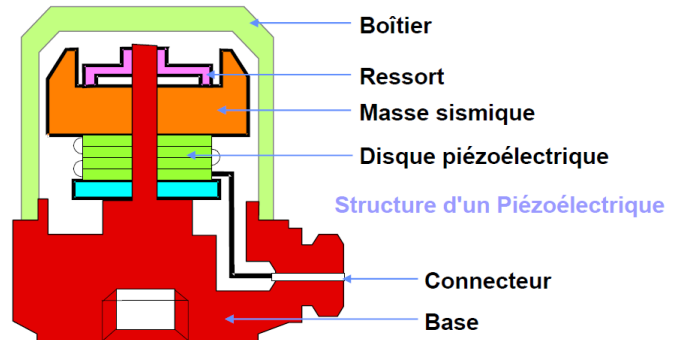
Le principe de tous les accéléromètres est basé sur la loi fondamentale de la dynamique

Plus précisément, il consiste en l'égalité entre la force d'inertie de la masse sismique du capteur et une force de rappel appliquée à cette masse.

Ce principe de base peut être décliné par un système masse/ressort ou un système pendulaire. Un accéléromètre est toujours composé d'une masse sismique qui lorsqu'elle est soumise à une accélération va se déplacer. Un élément sensible utilisant des technologies très différentes suivant les cas permet de mesurer ce déplacement et d'en déduire l'accélération galiléenne à laquelle est soumis le capteur.

Il existe un grand nombre d'accéléromètres non asservis différents :

- à détection piézoélectrique
- à détection piézorésistive
- à jauge de contrainte
- à détection capacitive (à diélectrique gaz)
- à détection inductive
- à détection optique
- à poutre vibrante
- à ondes de surface



Accéléromètre Kistler 1 axe 1000g

Applications : automobile, avionique
Technologie piézoélectrique

Hautes températures (up to 245 °C),
étendue : 0-1000 g
Fréquence : 5... 4000 Hz
Seuil : 1 mg
Mass: 44.5 grammes



Accéléromètre Polar S1

Pour des mesures de vitesse/allure et distance en course à pied.

Précision constructeur : +/-3%

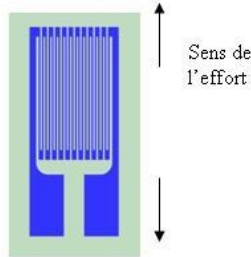


3.5 Capteur d'EFFORT

Historiquement, les capteurs à jauges de contraintes sont les plus simples à fabriquer, donc les plus répandus, mais la maîtrise de la cristallisation a permis la fabrication de capteur piézoélectriques qui sont des solutions plus fiables et plus faciles à mettre en œuvre pour l'utilisateur.

3.5.1 Capteurs à jauges de contrainte

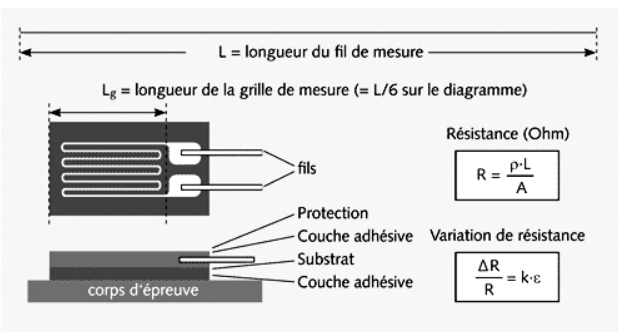
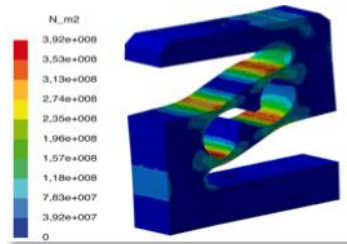
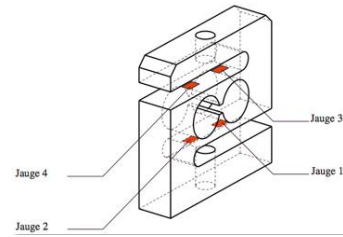
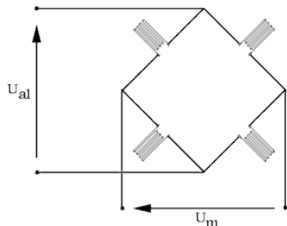
De son vrai nom :
 Capteur à jauges d'extensiométrie
 Colées sur un corps d'épreuve, la jauge subit une déformation qui fait varier la valeur de sa résistance.



La contrainte (en N/m^2) correspond au degré de déformation du corps d'épreuve suite à l'application d'une force. De façon plus précise, la contrainte se définit comme la variation relative de longueur.

En pratique, les mesures de déformation impliquent rarement des variations relatives supérieures typiquement à 10^{-6} . Par conséquent, le fait de mesurer une déformation nécessite la mesure précise de très petites variations de la résistance.

Les jauges de contrainte sont presque toujours utilisées dans une configuration en pont avec une source d'excitation de tension. Le pont de Wheatstone se compose de quatre branches résistives avec une tension d'excitation, U_{a1} , appliquée sur le pont. Les jauges en diagonale sont sur la même face.

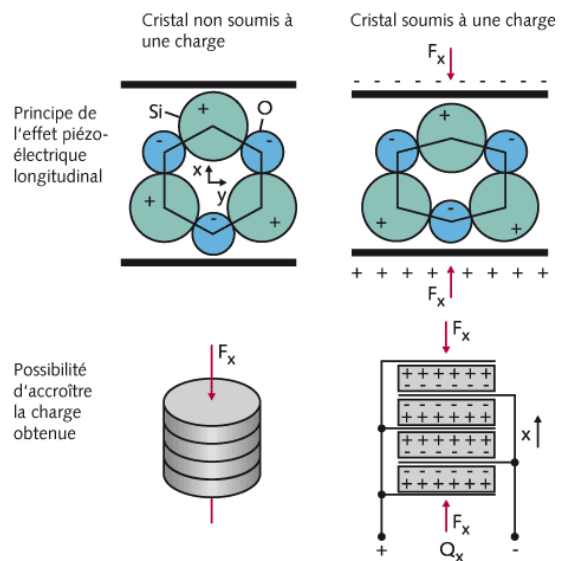


3.5.2 Capteur piézoélectrique

La piézoélectricité est la propriété que possèdent certains corps de se polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique et réciproquement de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique.



De façon simple, on peut retenir que la charge électrique Q (Coulomb) qui apparait sur les électrodes du capteur est proportionnelle à l'effort F.
 Soit $Q = k \cdot F$ avec k de l'ordre de 10^{-10} C/N



3.6 Capteur de TEMPERATURE

3.6.1 Thermistance

Une thermistance est un dispositif semi-conducteur composé d'oxydes métalliques compressés à hautes températures pour leur donner la forme d'une petite bille, d'un disque, d'une plaque ou toute autre forme. Enfin, elles sont recouvertes d'époxy ou de verre.

La valeur de leur résistance est une fonction de la température, croissante (**CTP** coefficient de température positif) ou décroissante (**CTN**).



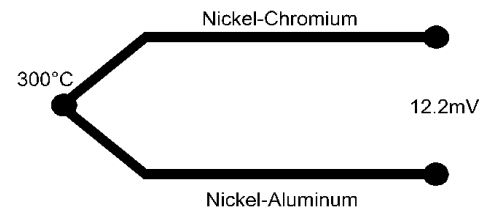
3.6.2 Le thermomètre à résistance de platine

plus connu sous le nom **PT100** (100Ω à 0°C) est une thermistance. Le platine permet une bonne reproductibilité du comportement du capteur et permet son échange sans réétalonnage.



3.6.3 Thermocouple

Les thermocouples sont les capteurs les plus souvent utilisés pour la mesure de températures, car ils sont relativement peu onéreux, tout en étant précis, et peuvent fonctionner sur une large gamme de températures. Un thermocouple est créé lorsque deux métaux différents entrent en contact, ce qui produit, au point de contact, une faible tension en circuit ouvert qui correspond à la température. Vous pouvez utiliser cette tension thermoélectrique, communément appelée tension Seebeck, pour calculer la température. Pour de petites variations de température, la tension est approximativement linéaire.



Thermomètre infrarouge

Un thermomètre infrarouge est un instrument de mesure de la température de surface d'un objet à partir de l'émission de lumière de type corps noir qu'il produit. Un thermomètre est parfois appelé à tort thermomètre laser s'il est aidé d'un laser pour viser, ou encore thermomètre sans-contact pour illustrer sa capacité à mesurer la température à distance. On utilise également le terme de **pyromètre** de manière à exprimer la différence avec un thermomètre à contact classique puisqu'il mesure le rayonnement thermique émis et non la température elle-même. En connaissant la quantité d'énergie émise par un objet, et son émissivité, sa température peut être déterminée.

La mesure IR est une mesure de surface : le point laser de cet appareil compact indique le point central de la zone circulaire de mesure.

Schématiquement, le procédé consiste à mesurer l'énergie lumineuse (située dans l'infrarouge) sur un détecteur permettant de la convertir en un signal électrique. Cette méthode permet de mesurer la température à distance, contrairement aux autres types de thermomètres comme les thermocouples

