

# COURS – CI6

## *Capter et mettre en forme un signal électrique*

### *Partie 1 - Les capteurs : généralités et technologie.*

***Je dois être capable de :***

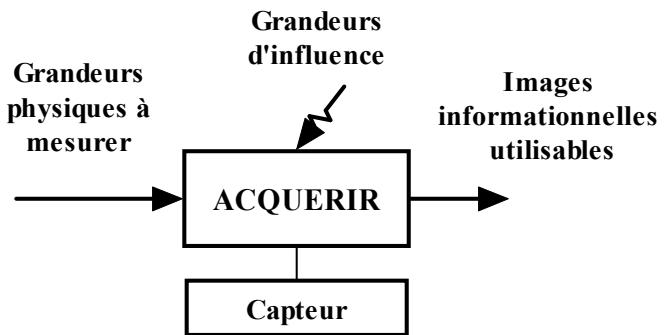
- *Extraire des informations fournies sur le capteur ses caractéristiques principales*
- *Savoir déterminer la sensibilité d'un capteur*
- *Identifier les erreurs potentielles liées à l'utilisation d'un capteur*
- *Connaître les différentes technologies de capteurs*

1.	Généralités des capteurs.....	3
a.	Rôle d'un capteur .....	3
b.	Nature des informations .....	3
c.	Fonction de transfert.....	3
2.	Les différents capteurs .....	4
a.	Capteur thermo-électrique ou thermocouple .....	4
b.	Thermomètres à résistance métallique (résistances thermométriques ou thermorésistances) .....	5
c.	Thermomètres à semi-conducteur, les thermistances (thermistors) .....	5
d.	Capteur de déplacement résistif et montage potentiométrique.....	6
e.	Capter la force ou le couple mécanique.....	7
f.	Capteur LVDT (Linear Variable Differential Transformer).....	8
g.	Capteur magnétostrictif (à effet Wiedmann).....	8
h.	Differential Transformer .....	9
i.	Capteur à effet Hall .....	10
j.	Génératrice tachymétrique analogique .....	11
	Génératrices tachymétriques à courant continu .....	11
	Génératrices tachymétriques à courant alternatif (synchrone) .....	11

# 1. Généralités des capteurs

## a. Rôle d'un capteur

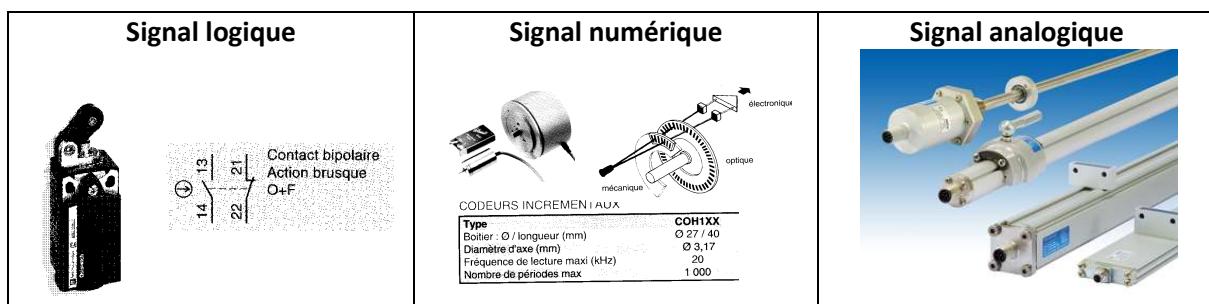
Un **capteur** est un objet technique de prélèvement d'informations sur un processus. Il réalise la **conversion d'une grandeur physique mesurée (grandeur d'entrée) en une grandeur physique (grandeur de sortie)** exploitable par un élément de la chaîne de traitement de l'information.



## b. Nature des informations

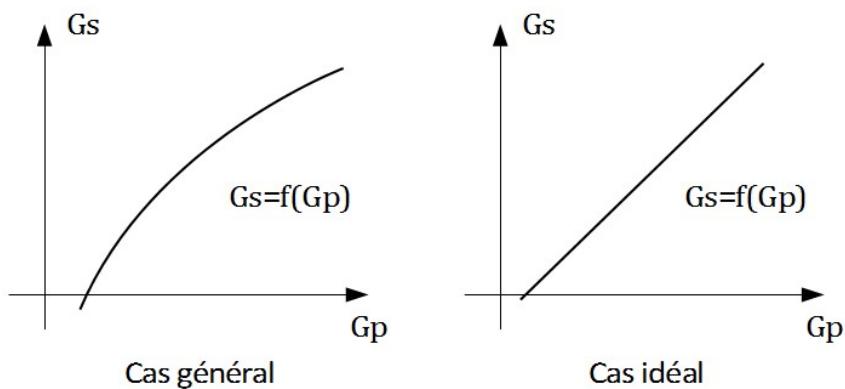
L'image informationnelle en sortie de capteur peut être suivant la technologie utilisée de type particulier. On distinguera :

- les informations de type **logique** (vraie ou fausse), (exemple : position haute d'une barrière),
- les informations de type **numérique** (exemple : position d'un chariot de machine-outil à commande numérique avec un codeur fixé sur la vis),
- les informations de type **analogique** (exemple : position de la tige d'un vérin).



## c. Fonction de transfert

Capteur sont souvent utilisé en statique : la valeur d'un **mesurande** ne dépend pas du temps. Un capteur convertit l'effet d'une grandeur physique ( $G_p$ ) en une grandeur de sortie, souvent électrique ( $G_s$ ). La grandeur de sortie est l'image par  $f$  de la grandeur physique.



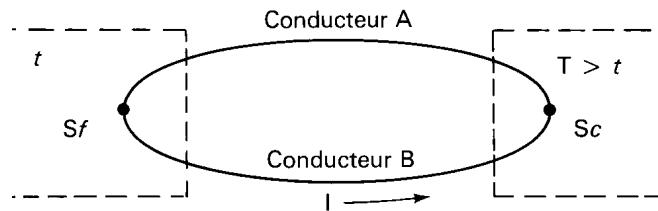
$f$  est appelée **fonction de transfert** du capteur ou **courbe d'étalonnage**. Elle peut être donnée sous forme de tableau ou d'une fonction (une droite, un polynôme...).

## 2. Les différents capteurs

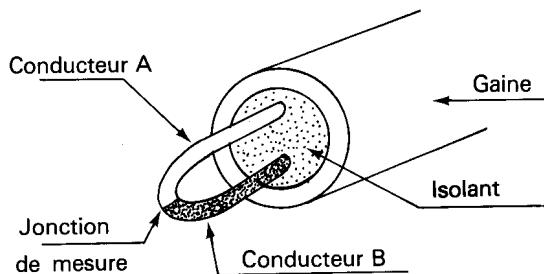
Les trois aspects à étudier pour choisir ou concevoir un capteur sont :

- Les caractéristiques du **mesurande** (la grandeur physique) et son accessibilité,
- L'utilisation du capteur (gestion, décision, contrôle) et les performances minimales attendues,
- Son insertion dans une chaîne de mesure (ou chaîne d'informations).

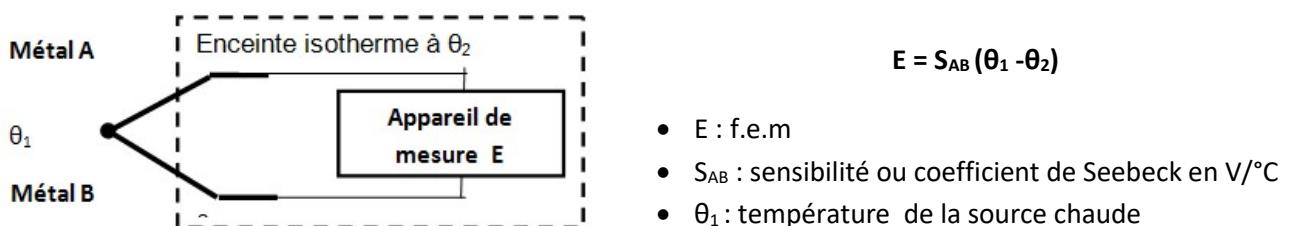
### a. Capteur thermo-électrique ou thermocouple



Un thermocouple est constitué par deux jonctions (ou soudures) reliant chacune deux métaux ou alliages différents. L'une des jonctions, placée au point de mesure, constitue la soudure chaude (Sc). L'autre jonction, appelée soudure froide (Sf) et dont la température est connue, sert de point de référence.

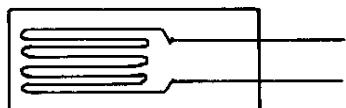


Le principe de fonctionnement de ce dispositif repose sur l'effet Seebeck : une **différence de température entre les deux jonctions produit une force électromotrice de faible niveau mais mesurable**. Cette force électromotrice dépend de la nature des matériaux.



## b. Thermomètres à résistance métallique (résistances thermométriques ou thermorésistances)

Ce type de capteur utilise comme principe la **variation de la résistance électrique d'un conducteur métallique avec la température**. Cette variation est parfaitement réversible. Elle est due à la variation de résistivité des métaux en fonction de la température selon les relations simplifiées suivantes :



- R = résistance électrique du conducteur,
- $\rho$  = résistivité électrique du métal ( $\rho_0$  à 0 °C),
- l = longueur du conducteur,
- s = section droite du conducteur,
- T = température,
- $\alpha$  = coefficient de température.

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

Et

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha T)$$

Les conducteurs généralement utilisés sont le cuivre, le nickel et surtout le platine (**PT 100**). Le cuivre présente l'avantage d'avoir une variation de résistance quasiment linéaire avec la température. Par contre, il possède une très faible résistivité. De plus, son emploi est limité à 150 °C en raison des effets d'oxydation.

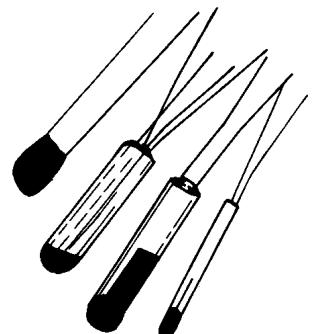
Actuellement, l'élément en platine présentant une résistance de 100Ω à 0°C (**PT 100**) est le plus répandu du fait de la fidélité de sa réponse et de l'interchangeabilité absolue entre les sondes d'un même modèle. Par contre, sa loi de variation n'est pas linéaire en fonction de la température.

## c. Thermomètres à semi-conducteur, les thermistances (thermistors)

Le principe de la mesure de la température par thermistance est fondé sur la variation de la résistivité d'un semi-conducteur avec la température. Plusieurs types sont disponibles de thermistances.

### CTP : thermistances à coefficient de température positif (PTC thermistor)

Ce sont des céramiques à base de titane de baryum dopé. Elles sont souvent utilisées comme éléments chauffants.



### CTN : thermistances à coefficient de température négatif (NTC thermistor)

Ce sont des céramiques composées d'oxydes semi-conducteurs à base de silicium, germanium, carbone.

Le type de capteur de température dépend essentiellement de l'application. A la base, vous pouvez choisir entre thermocouples, capteurs à résistance (Pt100 et CTN) et thermomètres à rayonnement (capteurs à infrarouge). En règle approximative on peut dire que :

- les thermocouples sont très rapides et possèdent une grande étendue de mesure ;
- les capteurs à résistance sont plus lents, mais plus précis ;
- les capteurs CTN sont rapides, précis, mais ont une étendue de mesure limitée ;
- les capteurs à infrarouge n'entrent pas en contact avec l'objet de mesure, ont de très petites constantes de temps mais sont dépendants de l'émissivité.

## Critères de sélection

- Plage de mesure
- Précision
- Temps de réponse
- Résistance à l'environnement

## Differentes technologies

Capteur à sonde libre pour les mesures dans l'air et les gaz

Capteur de surface à extrémité plate pour les mesures sur les bons conducteurs thermiques, sur surfaces planes et lisses

Capteur de surface à bande thermocouple à ressort pour des mesures rapides même sur des surfaces non planes

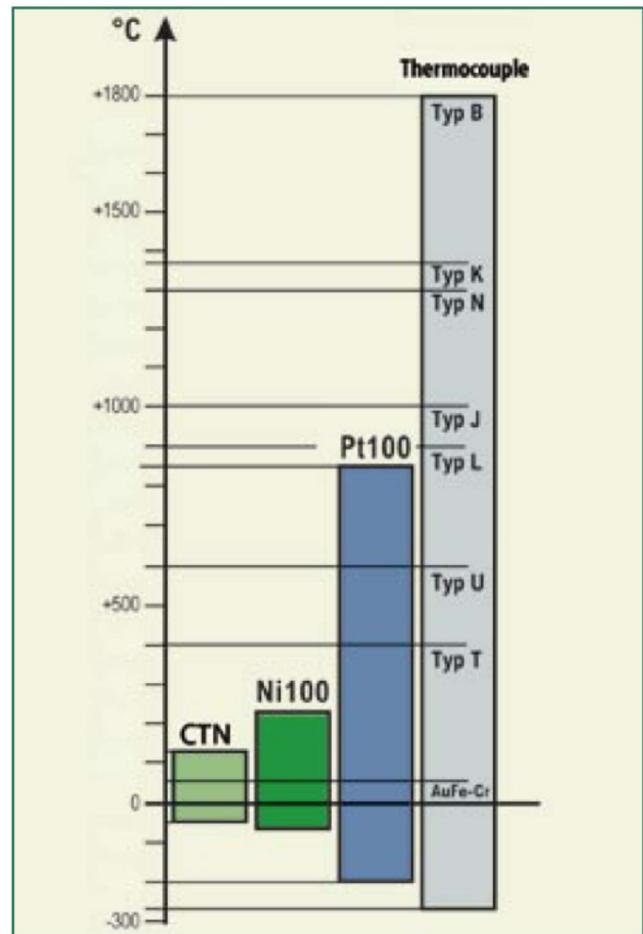
Capteur plongeur pour les mesures dans les liquides et pulvérulents, l'air et les gaz

Capteur à aiguille pour les mesures dans les milieux plastiques et pâteux

Capteur à pointe réfractaire pour les mesures à très hautes températures

Capteur épée pour mesurer les piles de papier, carton, tabac et textile

## Une sonde par application

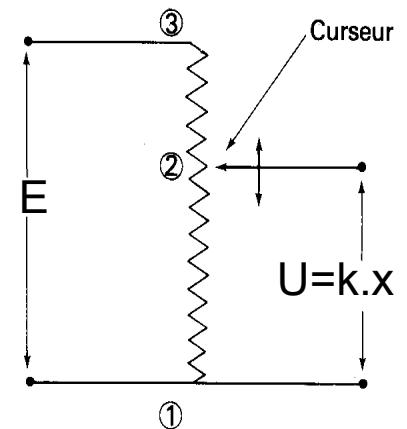


## d. Capteur de déplacement résistif et montage potentiométrique

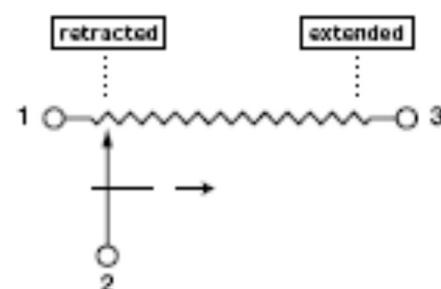
Un potentiomètre est constitué d'une résistance fixe sur laquelle peut se déplacer un contact électrique : le curseur. Celui-ci est solidaire mécaniquement de la pièce dont on veut traduire le déplacement.

La valeur de la résistance entre le curseur et l'une des extrémités du potentiomètre est fonction :

- de la position du curseur, et donc de la position de la pièce mobile étudiée,
- du mode de réalisation de la résistance fixe, constituée soit par un fil bobiné, soit par une piste conductrice, soit de l'association de ces deux techniques (dite technologie **hybride**) offrant une résolution pratiquement infinie.



### Exemple : transducteur rectiligne de position



## e. Capter la force ou le couple mécanique

Les capteurs de force sont divisés en 2 familles

- **Unidirectionnel:** capteur apte à la mesure d'une force appliquée selon l'axe de mesure du **capteur**.
- **Multidirectionnel:** capteur apte à la mesure de forces suivant plusieurs directions données. De ces mesures l'opérateur pourra déduire l'intensité et la direction de la résultante du système de force.

Les capteurs de force existent en 6 types différents :

- |                           |                |
|---------------------------|----------------|
| * Compression             | * Flexion      |
| * Traction                | * Cisaillement |
| * Traction et compression | * Torsion      |

### Corps d'épreuve :

Les **corps d'épreuve** les plus utilisés dans les capteurs de force et de poids à sortie électrique sont:

- barreau ou cylindre
- anneau dynamométrique (circulaire ou plat)
- lame (rectangulaire ou triangulaire) encastrée
- membrane
- étrier (simple ou double)
- potence
- ressort hélicoïdal.



### Mode de transduction :

#### Jauge extensométriques (ou de contraintes)

Ces éléments de transduction sont les plus utilisés. Ils sont constitués d'un pont de Wheatstone dont les résistances sont liées au corps d'épreuve de diverses façons. Les déformations du corps d'épreuve provoquent l'allongement des jauge et par suite un déséquilibre du pont: d'où un signal de sortie.

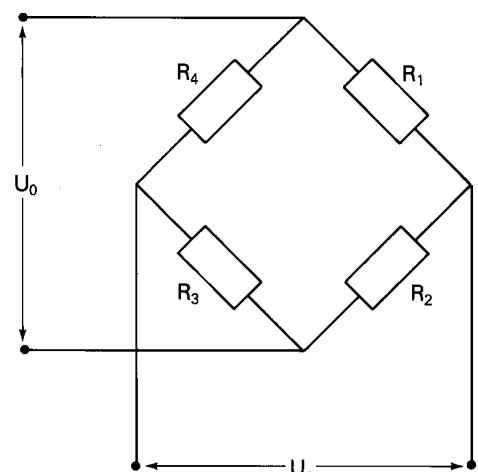
La sensibilité d'une jauge est caractérisée par le facteur de jauge  $k$ .

##### • A l'équilibre $R_1.R_3 = R_2.R_4$

La pression de part et d'autre du corps d'épreuve supportant les jauge, sont égales. Le signal de sortie  $U_s$  est nul.

##### • Déséquilibre $R_1.R_3 \neq R_2.R_4$

Lorsque la pression appliquée sur le corps d'épreuve devient différente de la pression de référence située de l'autre côté, celui-ci se déforme ainsi que les jauge  $R_1, R_2, R_3, R_4$  générant un signal  $U_s$  linéairement proportionnel à la pression appliquée.



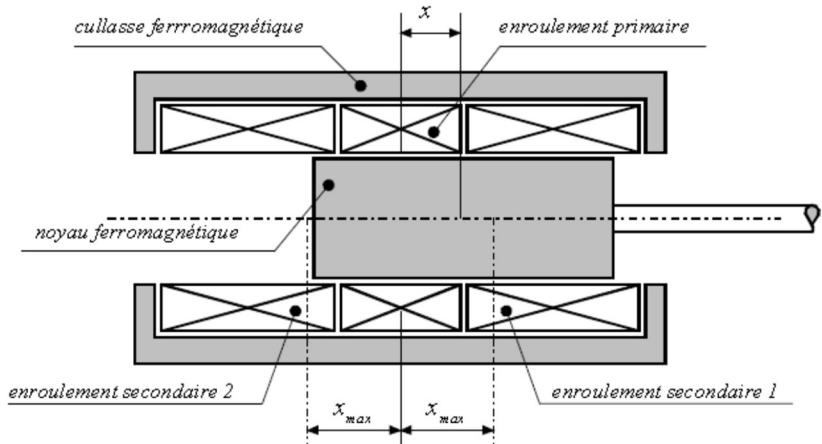
$U_0$  : tension d'alimentation

$U_s$  : tension de sortie

$R_1, R_2, R_3, R_4$  : résistances

## f. Capteur LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

Une tension alternative de haute fréquence étant appliquée au primaire, le déplacement du noyau ferromagnétique induit une tension croissante dans l'un des secondaires, décroissante dans l'autre. C'est un **capteur de position** délivrant une **tension image de cette position**. Le signal est linéaire dans l'étendue de mesure.



### Caractéristiques

Ce capteur requiert une électronique de traitement complexe avec deux fonctions distinctes :

- Alimenter le circuit primaire du capteur en courant alternatif,
- Traiter le signal issu des enroulements secondaires afin d'obtenir un signal analogique en tension ou en courant représentatif de la position du noyau (démodulateur et amplificateur).

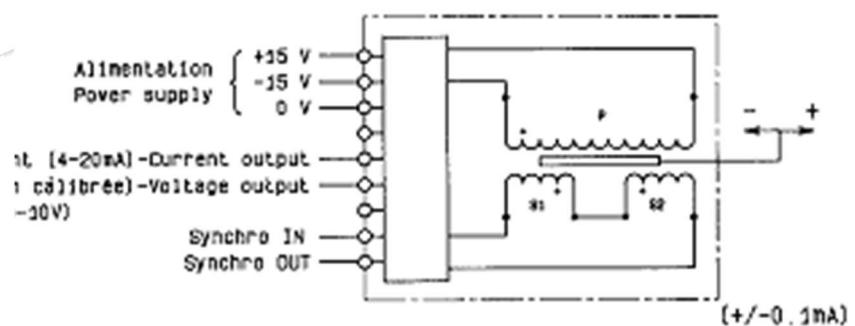
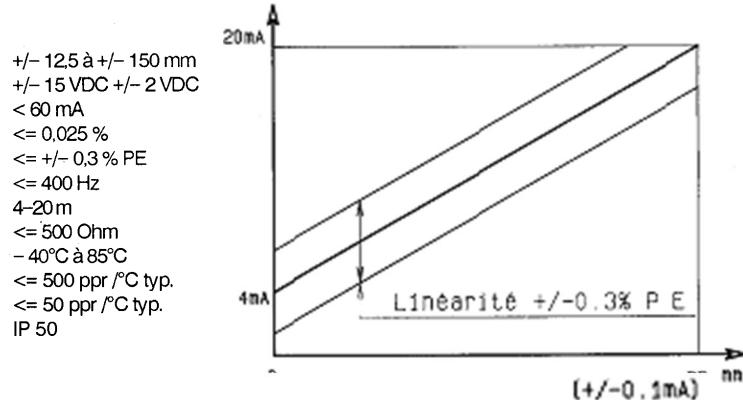
### Pourquoi choisir un capteur LVDT ?

- Mesure sans contact : Il n'existe aucun contact physique entre le noyau et les bobinages, cette absence de frottement permet aussi bien des mesures de vibrations que des mesures sur matériaux fragiles,
- L'absence de contact permet au capteur d'avoir une durée de vie quasi-illimitée et une fiabilité exceptionnelle. Ces critères permettent des utilisations en fatigue ou pour des domaines sévères et exigeants (spatial, militaire, aéronautique...).

### Exemple : Capteur LVDT à électronique intégré Sensorex série SX 12 EE xx

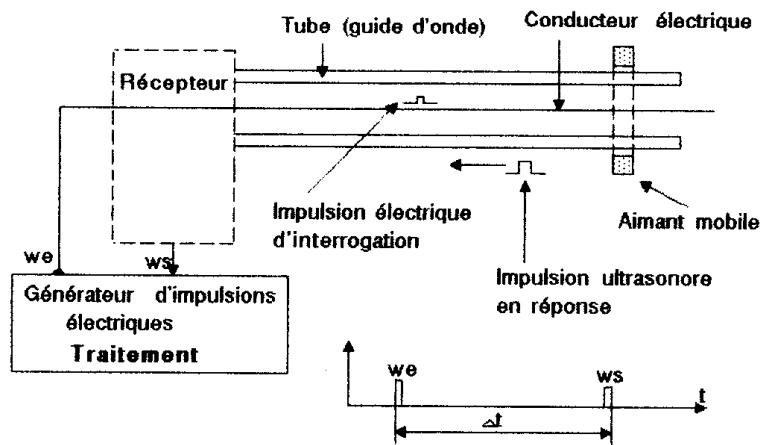
#### SPECIFICATIONS GENERALES

- Course électrique nominale
- Alimentation
- Consommation
- Bruit
- Erreur de linéarité
- Bande passante à -3 dB
- Sortie (calibrée à +/- 0,1 mA)
- Charge admissible sur la sortie
- Domaine d'utilisation en température
- Dérive de sensibilité en température
- Dérive de zéro en température
- Protection
- Sortie tension non calibrée (env. 0-10V sur PE)



## g. Capteur magnétostrictif (à effet Wiedmann)

Le capteur comporte un tube en matériau magnétique, dont l'axe est un conducteur électrique et un aimant mobile. Le passage d'une impulsion électrique engendre, dans le champ de l'aimant, une onde de contrainte de torsion du tube magnétique, onde détectée en bout de tube après un temps  $\Delta t$  proportionnel à la course de l'aimant.



### Caractéristiques

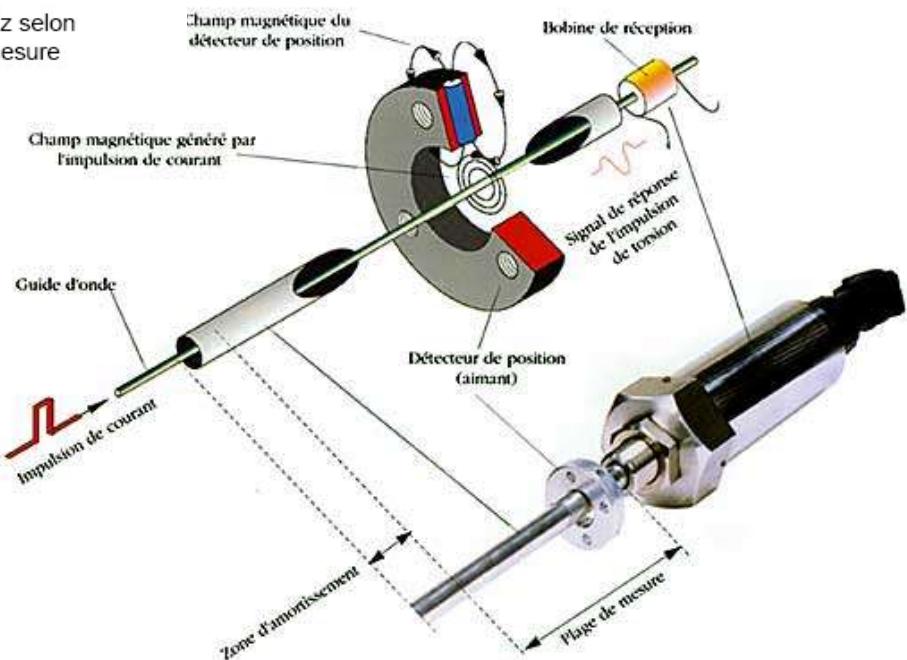
- Capteur absolu sans contact pour fonctionnement en tout milieu.
- Etendue de mesure jusqu'à plusieurs mètres.
- Signal de sortie analogique et numérique
- Souvent utilisé comme capteur intégré dans les tiges de vérins hydrauliques.

### Exemple : Capteur Magnosens, capteurs linéaires magnétostrictifs

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Modèle MPE : version profilée</li> <li>■ Modèle MSE : version tige inox</li> <li>■ Plages de mesure de 50 à 7600 mm</li> <li>■ Système robuste et sans contact</li> <li>■ Résolution 1 µm</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Linéarité &lt; 0,01 %</li> <li>■ Degré de protection jusqu'à IP 68</li> <li>■ Température de fonctionnement -40°C ... +75°C</li> <li>■ Tenue jusqu'à 350 bar de pression pour la version tige inox</li> </ul> |
|---|--|

### Caractéristiques techniques

- Tension d'alimentation  $U_B$  24VDC (+20 / -15%)
- Consommation  $I_B$  100 mA typique
- Résolution max. 1 µm
- Linéarité  $< \pm 0,01\%$  (minimal  $\pm 40\mu\text{m}$ )
- Répétabilité  $< \pm 0,001\%$  (min.  $\pm 2,5\mu\text{m}$ )
- Hystérésis  $< 4\mu\text{m}$
- Fréquence de mesure 500 à 3700 Hz selon la plage de mesure



## h. Differential Transformer

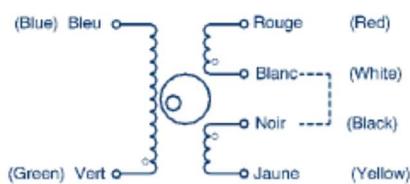
Les capteurs de déplacement angulaire à transformateur différentiel produisent un signal sinusoïdal dont la tension est linéaire sur l'étendue de mesure.



Le primaire étant alimenté, la position angulaire du rotor détermine la répartition du flux magnétique entre les deux secondaires montés en opposition, et modifie ainsi leur rapport de transformation.

Le signal de sortie est donc la différence des tensions aux bornes des secondaires. La position angulaire «zéro» déterminée en usine est celle où les tensions aux secondaires sont égales et opposées, le signal de sortie est alors nul. Cette position est repérée sur le boîtier et l'axe du capteur.

Les capteurs de déplacement angulaire peuvent travailler en rotation complète, mais en pratique, la plupart ne mesurent que des déplacements de  $\pm 40^\circ$  sur cet intervalle.



	SX 27 RV 020	SX 27 RV 60	SX 27 RV 80	SX 27 RV 120
<b>Excitation</b>	2,2 Veff nominal - 3500 Hz nominal (de 400 à 15 KHz)			
<b>Sensibilité</b>		2,3 mV/V $^{\circ}$		
<b>Impédance à 3,5 KHz</b> - primaire - secondaire		140 Ohm 30 Ohm		
<b>Température de service</b>		- 40 à + 125 °C (- 55 à + 150 °C en option)		
<b>Dérive de sensibilité</b>		< 0,08 % / °C sur l'échelle		
<b>Etendue de mesure</b>	$\pm 10^\circ$	$\pm 30^\circ$	$\pm 40^\circ$	$\pm 60^\circ$
<b>Linéarité</b>	$< \pm 0,15\% \text{ P.E.}$	$< \pm 0,25\% \text{ P.E.}$	$< \pm 0,5\% \text{ P.E.}$	$< \pm 1,5\% \text{ P.E.}$

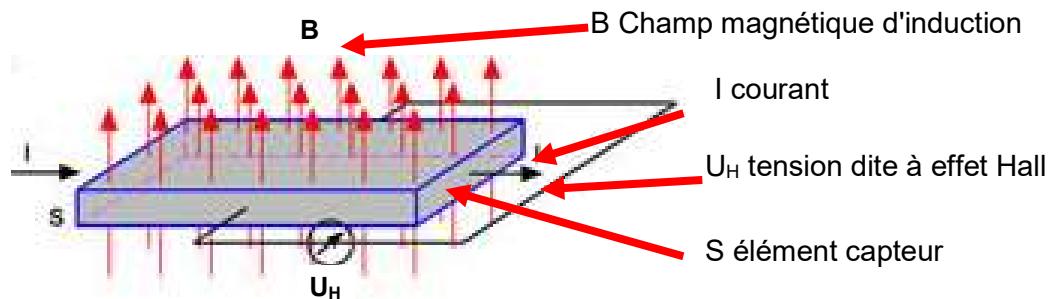
## i. Capteur à effet Hall

*Découvert en 1879 par E.H. HALL, c'est la technologie des semi-conducteurs qui a permis de lui donner son essor actuel.*

**Principe de fonctionnement :** Une tension électrique  $U_H$  apparaît sur les faces latérales d'un barreau conducteur lorsqu'il est parcouru par un courant  $I$ , et soumis à un champ magnétique d'induction  $B$  perpendiculaire au sens du courant .

Cette tension est directement proportionnelle au champ magnétique et au courant qui circule dans le barreau.

C'est la tension de Hall (du nom de celui qui remarqua le phénomène en 1879).



## j. Génératerice tachymétrique analogique

Elle délivre une tension proportionnelle à la vitesse de rotation. Les génératrices tachymétriques analogiques sont des capteurs de vitesse angulaire de type électromagnétique qui sont constitués d'une **source de flux magnétique (inducteur)** et d'un **circuit traversé par ce flux (induit)**. Tout déplacement relatif entre inducteur et induit produit dans ce dernier une force électromotrice dont l'amplitude, fonction de la vitesse de déplacement, constitue le signal de sortie du capteur.

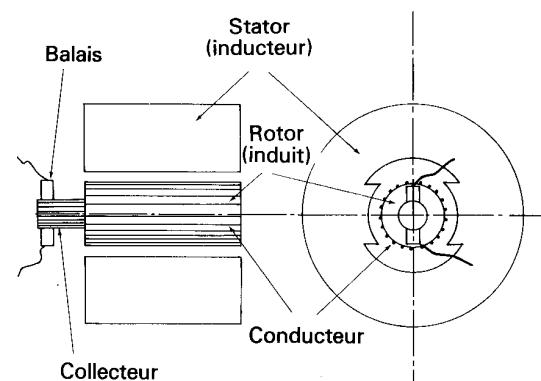
On distingue:

- les génératrices tachymétriques à courant continu (dynamos),
- les génératrices tachymétriques à courant alternatif (alternateurs).

### Génératerices tachymétriques à courant continu

Le principe de fonctionnement est réciproque à celui du moteur à courant continu. Elles sont constituées des éléments suivants:

- ⇒ **stator (ou inducteur)** : carcasse ferromagnétique portant un nombre pair de pôles canalisant le champ d'induction magnétique produit, soit par des électro-aimants, soit par des aimants permanents (solution généralement employée pour éviter l'emploi d'une source électrique d'excitation)
- ⇒ **rotor (ou induit)** avec les conducteurs parallèles à l'axe de rotation.
- ⇒ **collecteur et balais**



Lors de la rotation du rotor, une force électromotrice proportionnelle à la vitesse angulaire de celui-ci est créée dans l'induit. Quand l'induit est relié à un circuit extérieur par l'intermédiaire des balais, il y a circulation d'un courant continu dans un sens ou dans l'autre selon le sens de rotation du rotor.

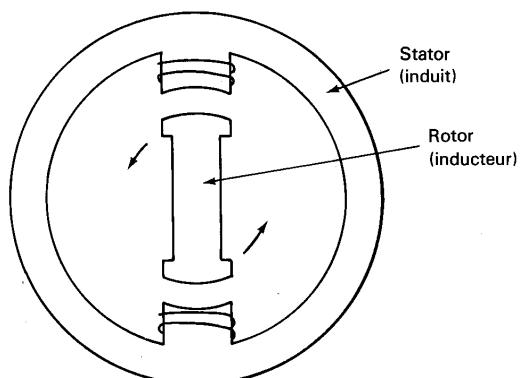
Les **principaux avantages** de la dynamo tachymétrique sont :

- Sa fidélité sur toute la gamme de vitesse : la tension est l'image réelle de la vitesse;
- Sa bonne linéarité ;
- Donne le sens de rotation.

### Génératerices tachymétriques à courant alternatif (synchrone)

Elles sont constituées de :

- ⇒ **rotor (ou inducteur)** : aimant ou ensemble d'aimants,
- ⇒ **stator (ou induit)** : il comporte un bobinage mono ou polyphasé; il est le siège d'une force électromotrice sinusoïdale dont l'amplitude et la fréquence sont proportionnelles à la vitesse de rotation du rotor



**Avantages :**

- ⇒ Pas de collecteur et de balais d'où accroissement sensible de la durée de vie
- ⇒ Suppression des parasites de commutation,
- ⇒ Possibilité de fonctionnement en milieu explosif

**Par contre,** le circuits électriques associés est plus complexes

On donne ci-dessous un tableau comparatif de ces deux technologies :

Générateur	à courant continu	synchrone
Linéarité	bonne	à vide seulement
Collecteur et balais (entretien)	oui	non
Information sens de rotation	oui par le signe de la tension	non
Prix	élevé car fabrication délicate	plus économique