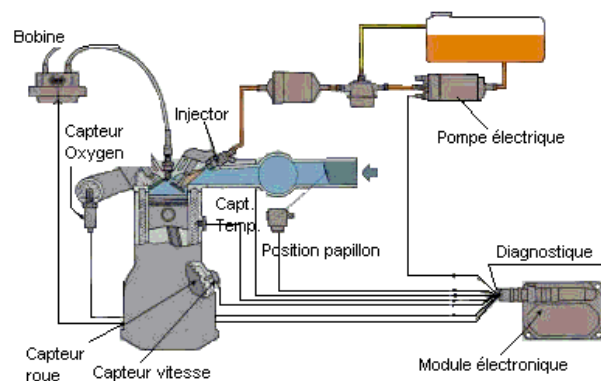


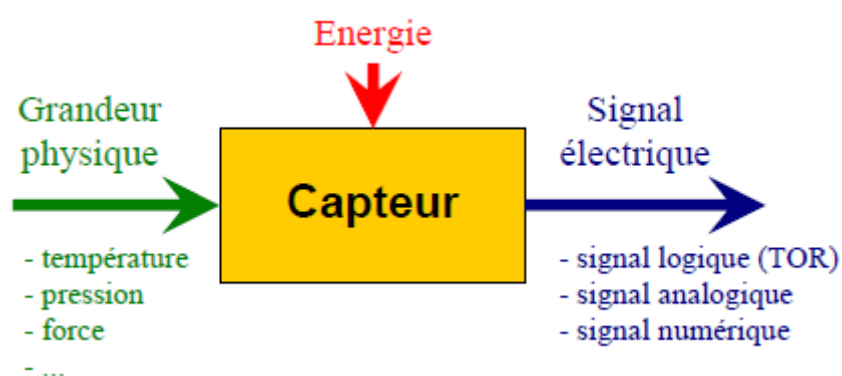
## LES CAPTEURS

### I GENERALITES :

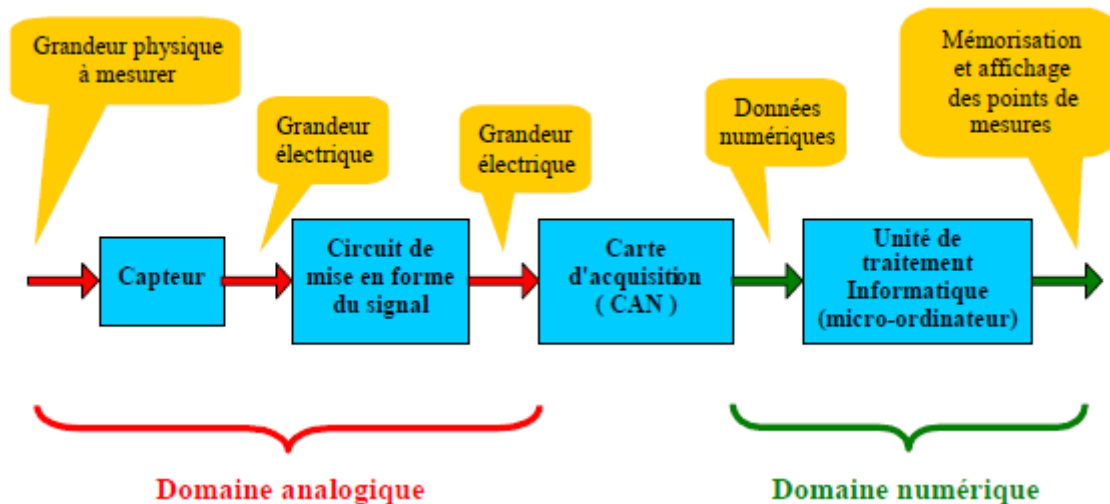
Les produits actuels devenant de plus en plus intelligents, les capteurs ont tendance à se généraliser. Par exemple, une voiture actuelle est truffée de capteurs permettant d'accroître le confort (détection automatique de pluie, capteur de présence sous les sièges, capteur anti pincements...) mais ce sont aussi des éléments essentiels de sécurité (capteur d'angle de volant et de vitesse, accéléromètre pour l'ESP, ABS ...) ou même de fonctionnement (capteur à l'allumage des bougies dans une voiture à essence). On voit donc dans ce cas, que le rôle des capteurs est devenu primordial.



Le capteur est le premier composant intervenant dans la chaîne de traitement des informations. Un capteur est un organe de prélèvement d'informations qui a pour but de transformer la grandeur physique à mesurer (la mesurande  $m$ ) en un signal interprétable par les autres composants de la chaîne d'information (un signal électrique quasi exclusivement). Pour faciliter l'exploitation de la réponse, on s'efforce de réaliser des capteurs dont la sortie évolue linéairement avec la mesurande.



Les grandeurs à mesurer sont très généralement analogiques ( grandeur continue en fonction du temps), or le plus souvent la chaîne d'information fonctionne en numérique (mots codés sous la forme de bits). On peut alors associer le capteur à une chaîne d'acquisition pouvant inclure les composants page suivante :



Rq : un capteur peut intégrer un ou plusieurs de ces éléments. Ex le capteur de température DALLAS DS 1621 incluse dans un même boîtier le capteur, le circuit de mise en forme et le CAN.

Les capteurs peuvent se trouver sous la forme de capteurs passifs ( pas d'alimentation nécessaire, le capteur se comporte comme une impédance variable en fonction de la grandeur physique à mesurer) ou actif.

## II CARACTERISTIQUES D'UN CAPTEUR

Quelque soit le type de grandeur à mesurer, la technologie du capteur, la forme du signal de sortie, les capteurs sont définis par des paramètres communs :

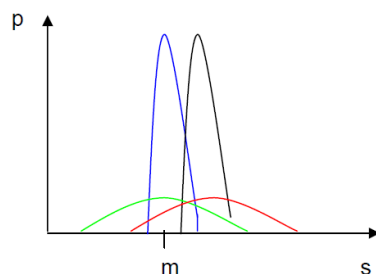
Sensibilité : coefficient linéaire entre la sortie et l'entrée  $\frac{\Delta s}{\Delta m}$

Etendue de mesure : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.

Précision ou exactitude : qualité qui caractérise l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée (exprimé en valeur absolue ou relative par rapport à l'étendue de mesure)

Résolution : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur

Fidélité : Capacité à donner la même valeur de sortie pour une même grandeur d'entrée.



$p$  est la probabilité d'obtenir la valeur  $s$  comme mesure de  $m$

La **courbe bleue** est caractéristique d'un capteur précis (fidèle et juste)

La **courbe noire** d'un capteur fidèle mais non juste

La **courbe verte**, d'un capteur non fidèle mais juste

La **courbe rouge**, d'un capteur qui n'est ni fidèle, ni juste.

Temps de réponse : capacité qu'a la sortie à suivre la mesurande. Rejoint la notion de bande passante permettant de savoir jusqu'à quelle fréquence du signal d'entrée la mesure peut se faire.

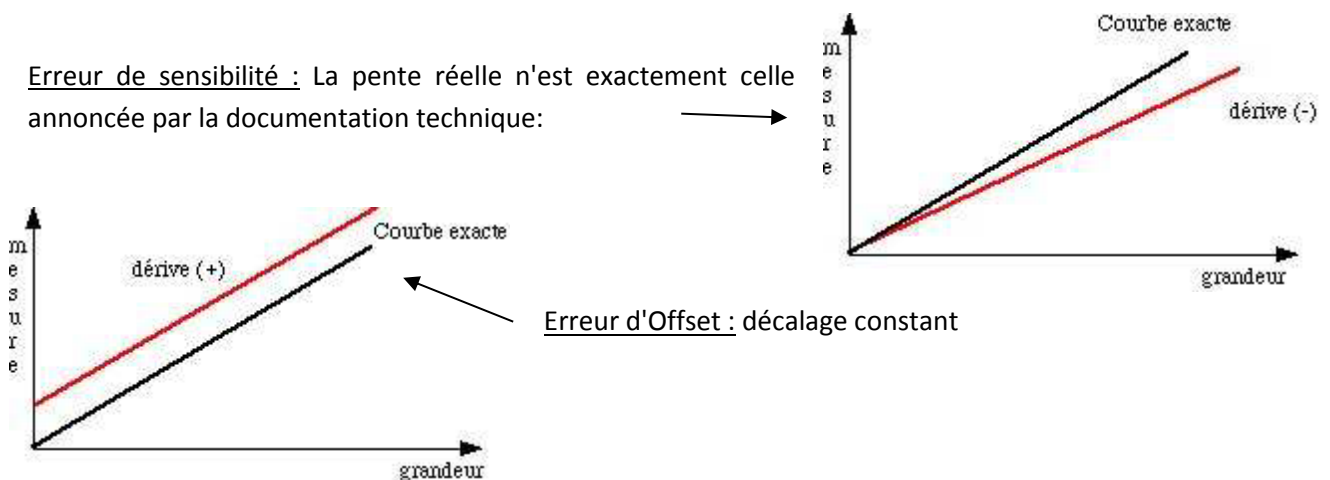
Exemple : caractéristiques du capteur de température TMP01ES

### III ERREURS DE MESURES RENCONTREES

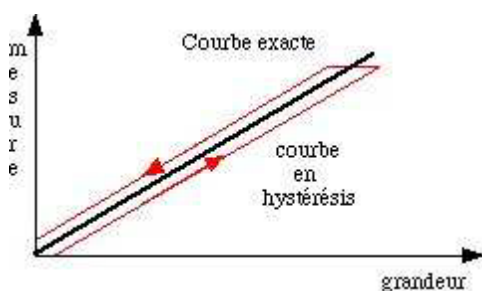
Au fur et à mesure de leur vieillissement et de leur utilisation, les capteurs sont susceptibles de voir leurs caractéristiques évoluer. La procédure d'étalonnage consiste à comparer des mesures issues du capteur avec celles données par un capteur de référence dont on est assuré du bon fonctionnement. Ces essais permettront de déterminer une nouvelle caractéristique sortie en fonction de la mesurande plus précise.

Nous allons lister ici les principales imperfections que l'on peut rencontrer dans un capteur.

Erreur de sensibilité : La pente réelle n'est exactement celle annoncée par la documentation technique:

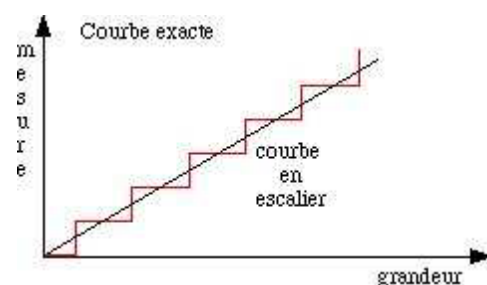


Erreur de Linéarité : la courbe sortie en fonction du signal d'entrée n'est pas une droite.



Hystérésis : "chemin différent" suivant que la mesurande augmente ou décroît

Erreur de quantification : lié à la numérisation sur n bits de la valeur de la mesurande.



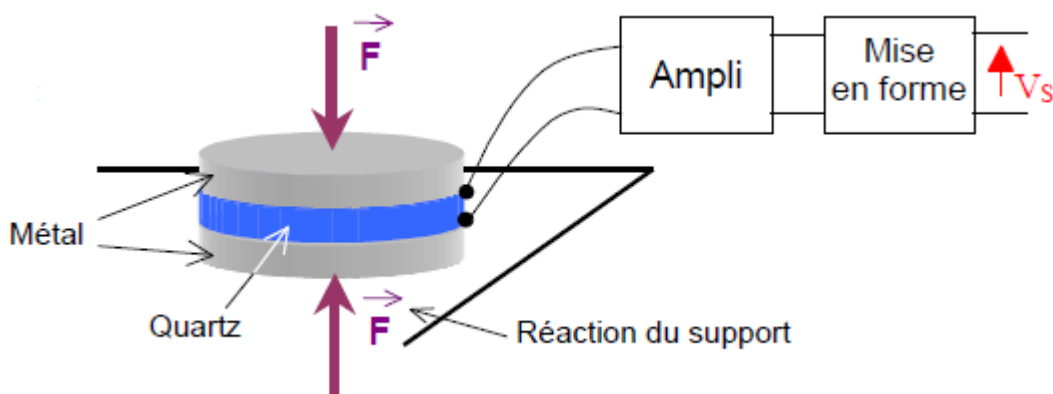
## IV PRINCIPES PHYSIQUES EN JEU ET APPLICATIONS

A la base du fonctionnement des capteurs se trouve un principe physique par l'intermédiaire d'un transducteur capable de transformer une grandeur physique en une autre. Un même principe physique peut être utilisé pour mesurer différents types de grandeur ( exemple l'effet piézoélectrique peut être utilisé pour mesurer une accélération, une pression ..) et de la même manière, pour mesurer une grandeur (la mesure de vitesse peut se faire en utilisant les effets inductif, photoélectrique ...) Nous allons dans ce chapitre lister les principes physiques utilisés et citer quelques exemples d'applications dans le domaine des capteurs.

### 1. Effet piézoélectrique

L'effet piézoélectrique est la propriété qu'ont certains matériaux ( quartz et céramique PZT pour les plus utilisés) à produire un champ électrique dans le matériau donc une tension entre leurs extrémités, lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique.

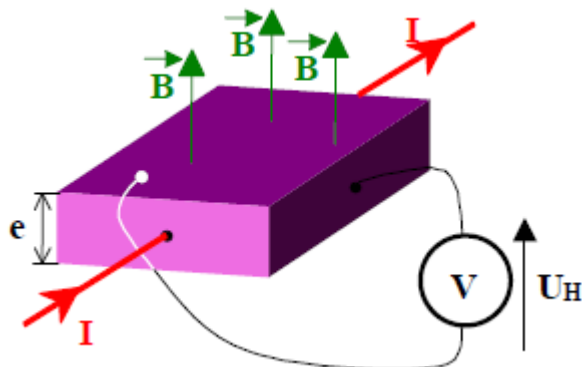
On peut utiliser cette propriété pour réaliser des capteurs de force, pression, de déformation, des accéléromètres ou même des sonars.



### 2. Effet Hall

#### a) Principe

Un barreau de semi-conducteur soumis à un champ magnétique uniforme  $B$  et traversé par un courant  $I$ , est le siège d'une force électromotrice  $U_H$  sur deux de ses faces.



La tension  $U_H$  est proportionnelle à la fois au courant  $I$  et au champ magnétique  $B$ .

$$U_H = k_H \times B \times I$$

$k_H$  : constante dépendant du matériau et des dimensions du semi-conducteur

On remarque donc aisément que si l'on fait passer un courant  $I$  constant et connu, on peut alors avoir une tension  $U_H$  image du champ magnétique régnant.

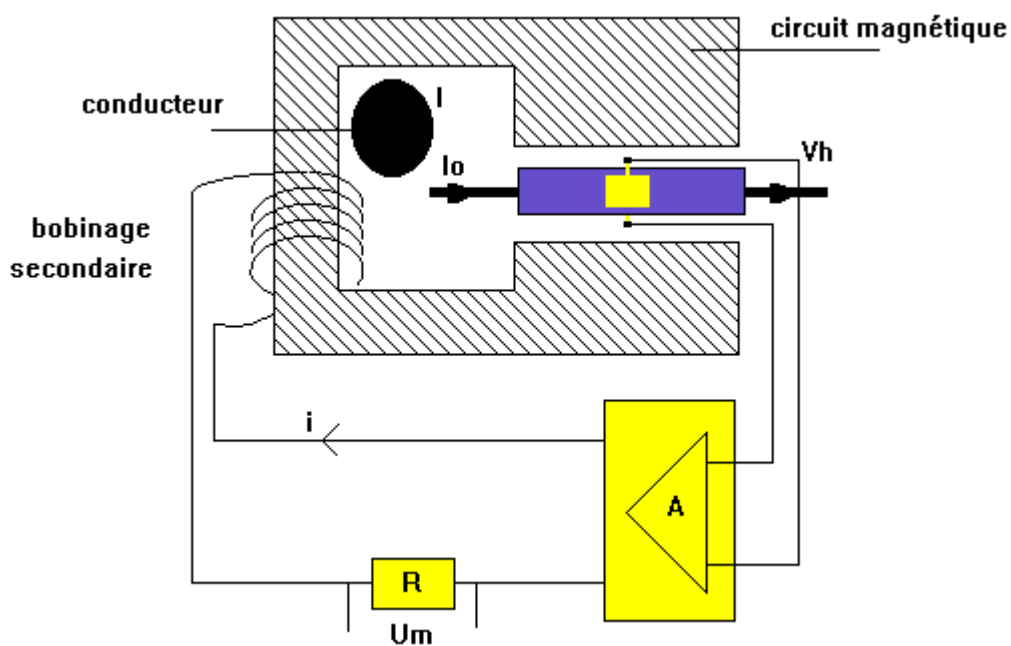
## b) Principaux capteurs associés

- Sonde de courant

Ce principe peut être utilisé pour réaliser un capteur de courant :

- Un circuit magnétique constitué de ferrite permet de canaliser le flux créé par le conducteur parcouru par le courant  $I$ . Un générateur de courant constant fournit le courant  $I_0$ .
- Une tension  $V_h$  proportionnelle au courant  $I_0$  et à l'induction produite par le courant  $I$  apparaît.
- Cette tension est amplifiée pour fournir un courant  $i$  dans les  $N$  spires du bobinage secondaire, de façon à produire un flux opposé à celui créé par  $I$ .

A l'équilibre:  $B = 0$  et  $I = N \times i$

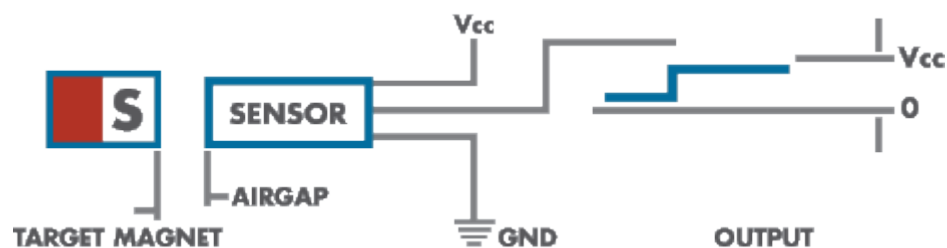


La valeur du courant  $I$  est proportionnelle à la tension  $U_m$  obtenue aux bornes de la résistance de mesure  $R$ .

Le courant  $I$  peut être quelconque (sinusoïdal, continu...).

- Capteur de position ou vitesse

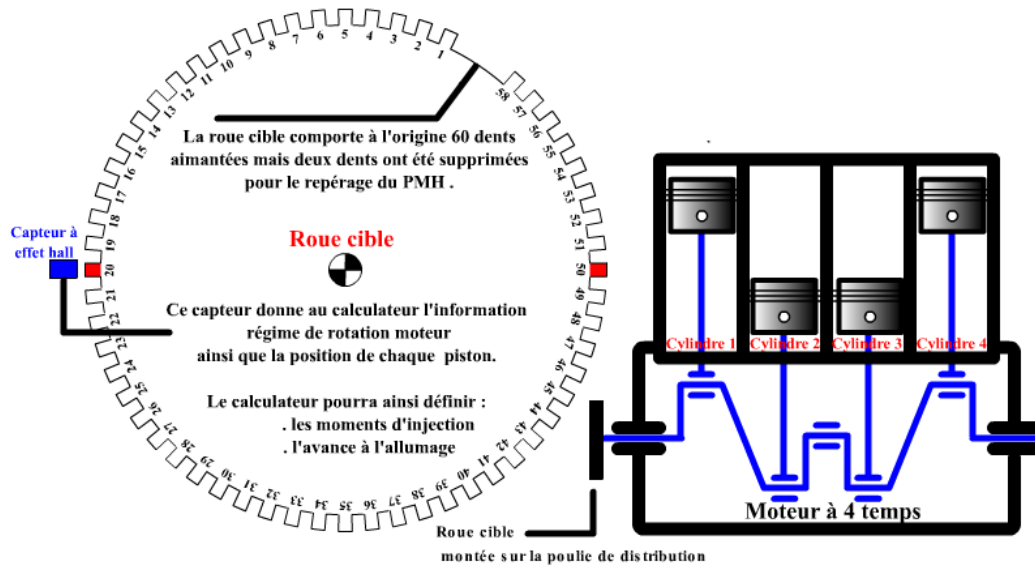
On peut également les capteurs à effet Hall comme détecteur de position.



Le passage devant le capteur à effet Hall d'un aimant se traduit par le passage au niveau haut de la tension  $U_H$  (conditionnée par un comparateur à hystérésis).

A partir de cette détection de passage d'aimant, on peut créer des capteurs de vitesse (ex compteur de vélo) ou de position. On crée un disque avec  $n$  dents. Chaque dent est aimantée. Chaque passage d'une dent crée alors un front montant de tension.

Ces capteurs sont par exemple utilisés pour détecter le meilleur instant d'allumage dans les moteurs à essence.



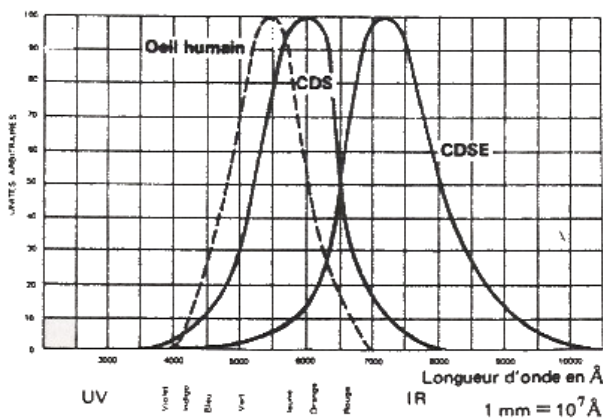
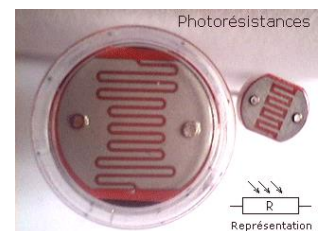
### 3. Effets photoélectrique

#### a) Principe

L'effet photoélectrique représente l'émission d'électrons par un matériau (généralement un semi-conducteur) soumis à l'action de la lumière. On trouve 3 grandes familles de composants fonctionnant grâce à l'effet photoélectrique :

- **La photorésistance** : composant dont la résistance varie en fonction de la quantité de lumière reçue.

Suivant la longueur d'onde de la lumière, (infrarouge, visible, uv) et suivant les matériaux utilisés pour construire la photo résistance, le comportement de la photorésistance peut être différent. On peut aussi obtenir des capteurs spécifiques du type : détecteur de flamme (basé sur les infrarouges).



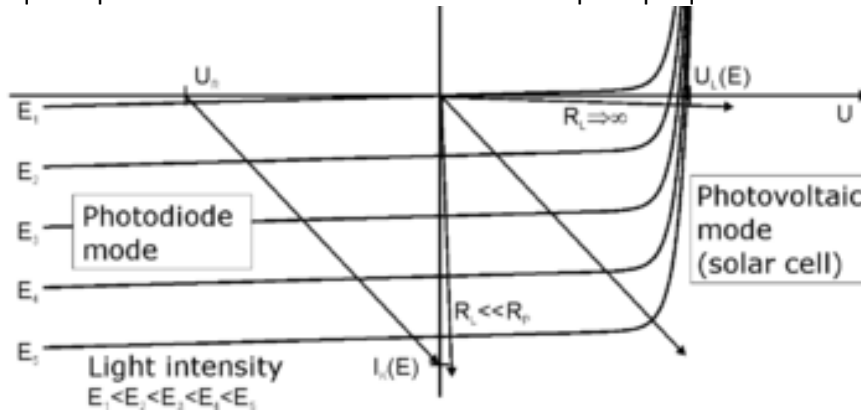
Les caractéristiques de la photorésistance sont : Grande facilité d'utilisation mais un temps de réponse relativement élevé et une sensibilité à la température.

Rq : La résistance n'évolue pas linéairement à l'éclairement.

- **La photodiode** : en présence d'un certain niveau de lumière, la photodiode délivre une tension ou un courant (suivant le mode de polarisation)

Les photodiodes peuvent être utilisées dans des capteurs tels que détecteur de présence, de fumée... Ce sont également des photodiodes qui forment les capteurs CCD.

Rq : Les photodiodes fonctionnent sur le même principe que les cellules photovoltaïques.



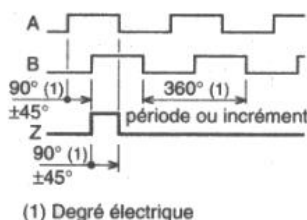
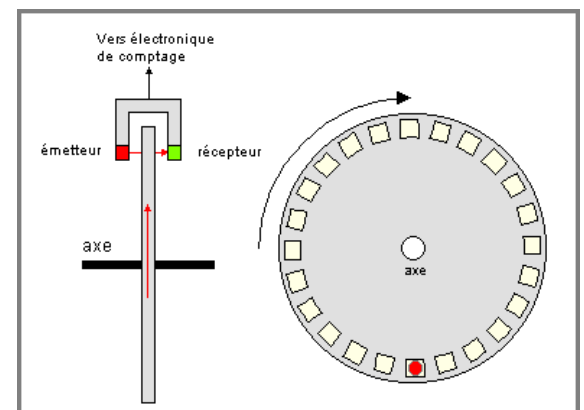
- **Le phototransistor** : transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux. En absence de lumière, il se comporte comme un interrupteur ouvert, comme un interrupteur fermé dans le cas contraire.

Les phototransistors peuvent être utilisés dans les mêmes applications que les photodiodes.

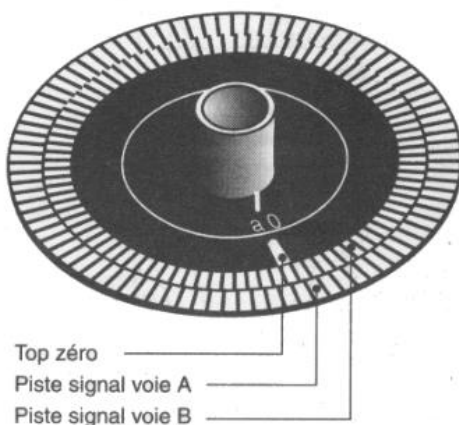
## b) Principaux capteurs associés

### • Codeur incrémental

Le principe et la technologie de ce capteur sont très simples. Une lumière émise par une LED qui passe à travers une roue dentée. De l'autre côté se trouve un phototransistor qui passera donc successivement à l'état bloqué ou saturé au gré du passage des dents. La fréquence du signal ainsi généré représente la vitesse de rotation du disque.



(1) Degré électrique



Dans la pratique, les disques des codeurs sont en fait constitués de 3 pistes : une contenant une seule fenêtre permettant de compter les tours, puis une autre piste constituée de n fenêtres avec de l'autre deux photo transistors décalés de 90 ° électrique.

Ce décalage permet de connaître le sens de rotation.

Les caractéristiques électriques du capteur sont :

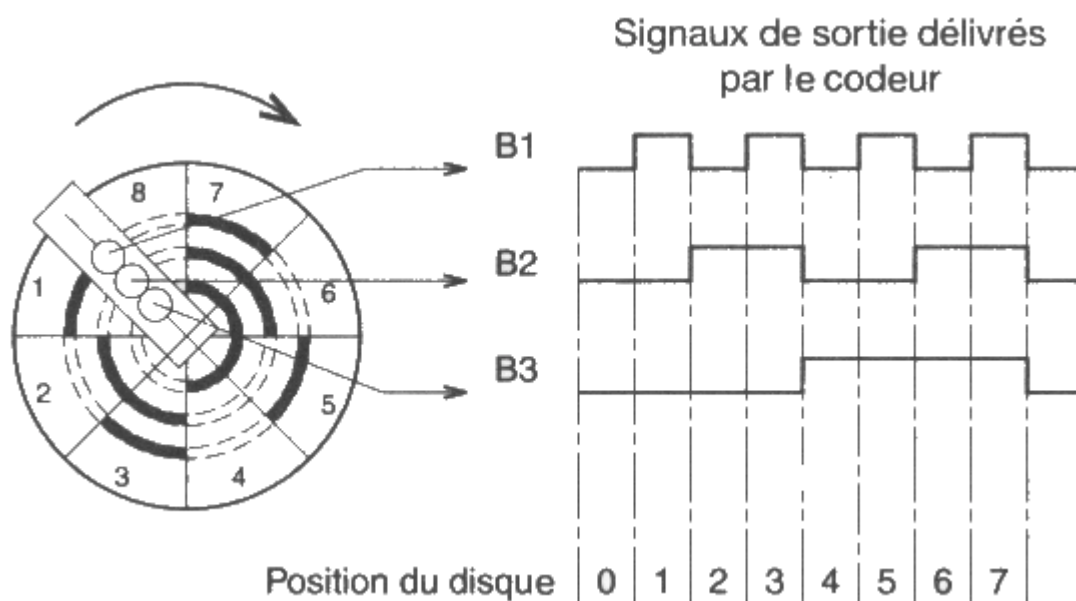
- La résolution ( dépendant du nombre de dents)
- La vitesse maximale de rotation
- La tension d'alimentation
- ....

- **Codeur absolu**

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment sauf que cette fois, il y a n pistes. Chaque piste comporte une alternance de secteurs réfléchissants et absorbants. Comme pour le codeur incrémental, un émetteur-récepteur par piste fournit les informations. Cependant les pistes n'ont pas le même nombre d'alternances : la première piste en a 1, la deuxième : 2 ... et la nième :  $2^n$  alternances.

En fonction de l'information renvoyées par les récepteurs de chacun de pistes, on peut connaître dans quelle portion de disque on se trouve.

Exemple pour un disque à 3 pistes :



Dans un codeur absolu, l'information de position est donc contenue dans un mot numérique codé sur n bits. Par exemple, pour le capteur précédent, la position du disque en zone 6 sera codée par le mot : 1 1 0

B3 représente dans quelle moitié de disque se trouve le disque, c'est le bit de poids fort (MSB, most significant bit en anglais). B1 le bit de poids faible (LSB).

Rq : on peut trouver également un codage en code gray ( le passage de 0 à  $2^{n-1}$  se fait dans une succession de bit différent : un seul bit change lorsque l'on augmente le mot d'une unité).

Le dessin du disque (alternance parties opaques et transparentes) est alors modifié.

Codage décimal	Codage binaire classique	Codage 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

La résolution d'un codeur absolu est donc, en degré, de  $\frac{360}{2^n}$  où n est le nombre de pistes. En mode parallèle, le nombre de fils nécessaire est



égal au nombre de pistes, pour contourner ceci, l'information peut être transférer en liaison série.

Rq : Pour pouvoir faire des mesures sur plusieurs tours, on peut utiliser un codeur absolu multitour composé d'un disque pour le positionnement sur un tour et d'un ensemble réducteur à engrenage + disque de comptage du nombre de tours parcourus.

- **Comparaison codeur incrémental / codeur absolu**

Dans un codeur incrémental, le capteur ne peut fournir qu'une position relative donnée en comptant les impulsions à partir d'une référence prise lors de l'initialisation, donc en cas de coupure d'alimentation, on perd l'information de position. Ce qui n'est pas le cas dans un codeur absolu.

Les deux capteurs bénéficient généralement d'une grande précision. Mais pour le codeur absolu, cette précision implique une complexité du codeur donc un prix plus élevé ainsi qu'un nombre de connectiques plus important.

A grande vitesse, le signal généré par le codeur incrémental peut avoir une fréquence trop importante pour pouvoir être utilisé correctement par l'électronique de traitement du signal (par exemple sur les entrées rapides des automates, la fréquence maximal est de l'ordre de la centaine de kHz).

Rq : pour des applications demandant une très grande précision ( asservissement ), on utilise généralement des codeurs incrémentaux sin/cos. Dans ce cas, au lieu de renvoyer des alternances carrées, les deux voies A et B renvoient des signaux sinusoïdaux en quadrature. Un traitement par DSP (puce dédiée au calcul) permet alors par un calcul d'arc tangente de donner une information très précise de position.

NB : Pour mesurer des déplacements linéaires, il existe des codeurs linéaires sous forme de règle présentant des alternances de crans opaques et transparents.

- **Exemple de choix de codeur**

On désire contrôler la position d'un plateau d'usinage dont le déplacement est obtenu par la chaîne cinématique suivante :

-un moteur synchrone brushless entraînant une vis à bille, le codeur est accouplé à la vis par l'intermédiaire d'un réducteur.

On a les caractéristiques suivantes:

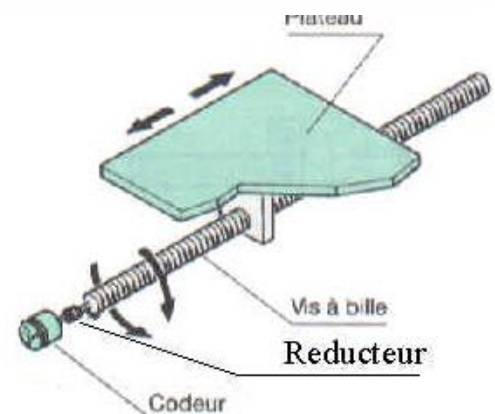
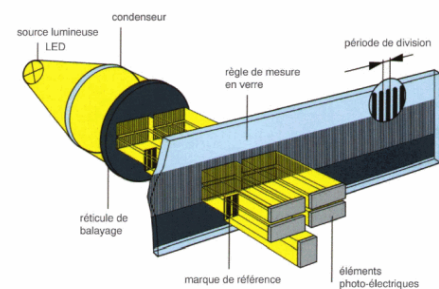
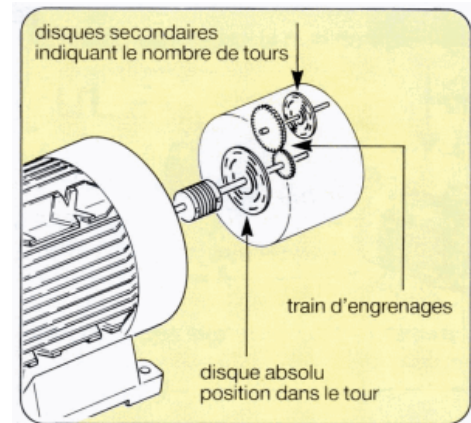
Vis à bille: Pas = 4 mm

Longueur = 1000 mm

Réducteur: K = 5 (1 tr du codeur pour 5 tr de vis)

Précision attendue: 0.01mm

Vitesse maximale du plateau : 100mm/s



L'ensemble est contrôlé par un automate siemens s7200 de référence 6ES7 214-1BD23 (cf annexe)

On désire dans un premier connaître la résolution nécessaire dans le cas d'un capteur incrémental et d'un codeur absolu.

Parmi la gamme proposée en annexe, donner la référence du codeur incrémental et vérifier sa **compatibilité avec l'application**.

Rq : Pour un codeur absolu choix encore plus difficile, comptabilité de la sortie automate avec module de comptage (niveaux de tensions, protocole de communication), en général cela nécessite des cartes automates spécifiques)

#### 4. Capteur par variation de résistance

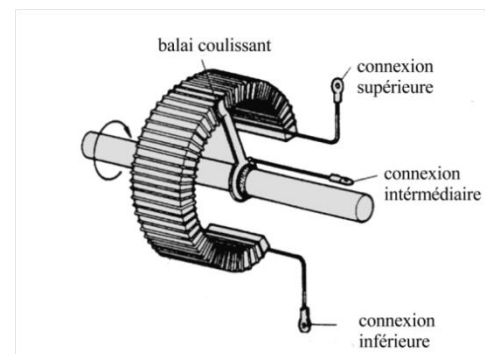
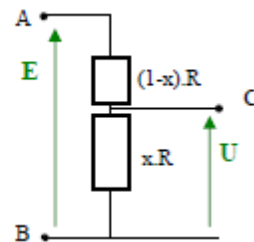
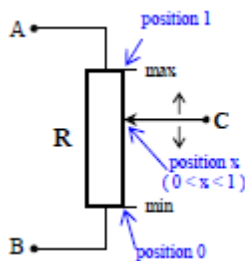
La mesure par variation de résistance peut se faire suivant plusieurs principes physiques, à chaque principe on associe une famille de capteurs.

##### a) Potentiomètre

Un potentiomètre est un type de résistance variable à trois bornes, dont une est reliée à un curseur se déplaçant sur une piste résistante terminée par les deux autres bornes.

Ce système permet de recueillir, sur la borne reliée au curseur, une tension qui dépend de la position du curseur et de la tension à laquelle est soumise la résistance.

On peut trouver des potentiomètres linéaires ou des potentiomètres angulaires.



L'avantage de ces capteurs est leur simplicité mais ces mesures sont généralement de faible amplitude et le frottement mécanique pose des problèmes d'usure (et interdit les mesures avec forte dynamique)

##### b) Variation par déformation (jauge de contrainte ou d'extensométrie)

**Principe :** Sous la forme la plus simple, une jauge est constituée d'un très fin fil (2 microns) conducteur collé sur un support. Lorsque le support subit une déformation, la résistance aussi. Il y a allongement ou raccourcissement des fils, ce qui entraîne une variation de la valeur de la résistance suivant la formule suivante :

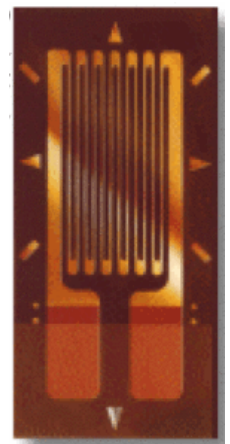
$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad \text{avec } \rho : \text{résistivité du matériau, } L \text{ longueur du fil, } S \text{ section du fil}$$

$$\text{En variation, on obtient la relation : } \frac{\Delta R}{R_0} = K \frac{\Delta L}{L_0}$$

K est appelé facteur de jauge (dépendant du matériau utilisé pour la jauge)

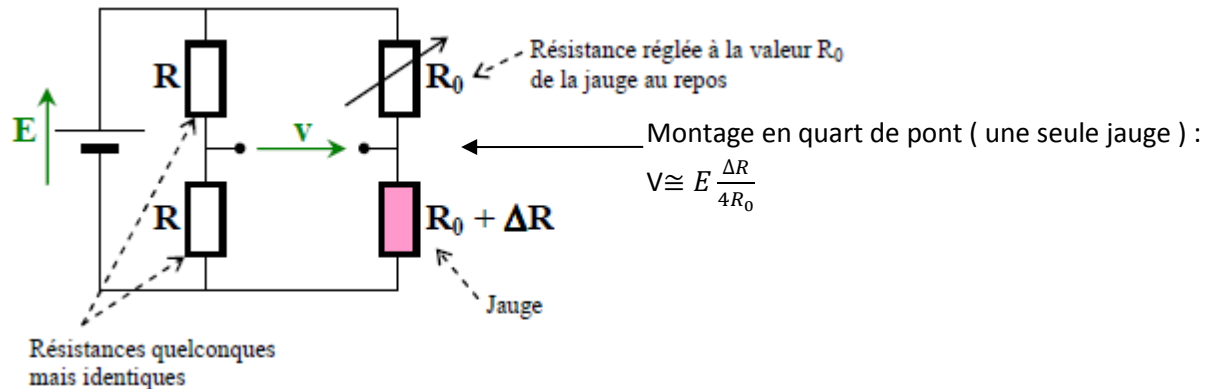
La jauge sous forme de feuille très mince est arrangée suivant la forme de la figure ci-contre.

Les brins de fil constituant la jauge étant principalement alignés suivant la direction de mesure, on peut admettre que le fil subit les mêmes déformations que la surface sur laquelle la jauge est collée. (il faut que le matériau de la jauge ait le même coefficient de dilatation que le support).



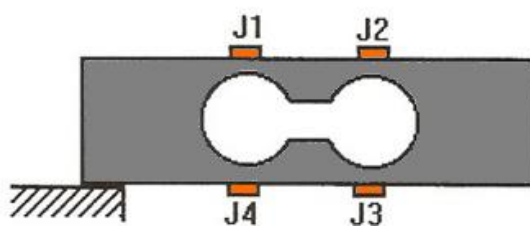
**Conditionneur :** La variation de résistance due à la déformation est généralement très faible, un simple montage en pont ne suffit pas à faire une bonne lecture. On utilise alors le montage en pont de Wheatstone.

Ce montage ( schéma ci-dessous) permet d'obtenir une tension nulle en absence d'effort. La tension image de la déformation est de l'ordre de quelques millivolts, il est nécessaire de l'amplifier grâce à un montage amplificateur différentiel à AOP par exemple.



Calculs :

**Rq 1 :** on peut améliorer la sensibilité en doublant le nombre de jauges (une jauge en compression et une en extension), ou même en posant 4 jauges. Exemple du capteur présent dans un pèse personne.



**Rq 2 :** Dans ces montages, l'effet de la température peut parasiter le fonctionnement de la jauge. En effet, avec la température, le coefficient de dilatation de la jauge est modifié et la résistivité change également. Dans un montage en pont complet, les résistances opposées dans le pont ayant des effets opposés, les dérives se compensent (même si pour des mesures très précises, d'autres compensations sont à mettre en œuvre) car les 4 résistances sont soumises aux mêmes variations de température.

Les jauges d'extensométrie peuvent être utilisées comme base pour des capteurs :

- de force ou de couple en les plaçant sur un corps d'épreuve spécifique en fonction du type d'effort à mesurer ;
- de contraintes ou d'allongement en les collant directement sur le matériau à tester ;
- d'accélération ;
- de pression.

### c) Variation de résistance par effet thermique

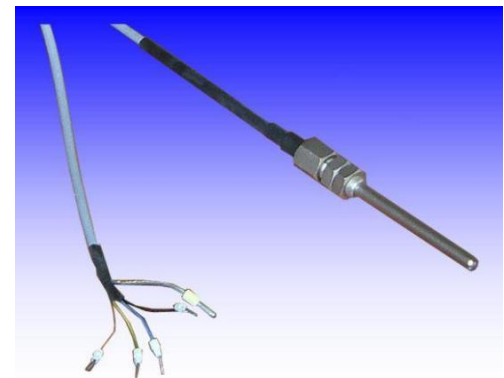
Tous les matériaux ont une résistivité qui dépend de la température. En première approximation, on peut considérer que cette relation est linéaire et s'écrit sous la forme :

$$R = R_0 \times (1 + a \cdot \theta)$$

$R_0$  : résistance à 0°C  
 $a$  : coefficient de température

On utilise cette propriété pour effectuer des mesures de température. Le capteur est constitué d'un fil (ou d'un film) métallique, la résistance du capteur est mesurée par un circuit électronique qui effectue la linéarisation et donne un signal proportionnel à la température.

Le métal le plus souvent utilisé pour ces sondes est le platine sonde PT 100 (platine, résistance à 0°C de 100 ohms). L'étendue de mesure d'une sonde au platine est de -200 à 800 °C.



### CONCLUSIONS :

Nous avons dans ce cours, évoqué les principes de bases de l'étude des capteurs. Ensuite, on a donné un aperçu de quelques principes physiques à la base de certains capteurs. Le domaine d'applications des capteurs étant tellement large qu'il est bien entendu impossible de lister toutes les sortes de capteurs possibles. L'étude attentive de la documentation technique est la seule manière d'utiliser correctement un capteur.

Parmi les capteurs qui n'ont pas été abordés, on peut notamment citer :

- Les génératrices tachymétriques : moteurs fonctionnant en générateur afin de mesurer la vitesse
- Les thermocouples : sonde de températures, utilisant la propriété qu'ont certains couples de matériaux à fournir une tension lorsque la température s'élève.
- Les résolveurs : transformateur rotatif fournissant une tension modulée dont l'amplitude varie sinusoïdalement avec l'angle de rotation
- Les capteurs de proximité inductif : détecte la modification du champ magnétique lorsqu'un objet métallique approche le capteur
- Les capteurs de proximité capacitif : détecte la modification du champ électrique lorsqu'un objet quelconque approche le capteur
- Capteur à ultrason
- ...

## Annexes

## Annexe 1 : capteur de Température TMP01

**TMP01FP, TMP01ES/TMP01FS—SPECIFICATIONS** Plastic DIP and Surface MountPackages ( $V_+ = 5\text{ V}$ ,  $\text{GND} = 0\text{ V}$ ,  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUTS SET HIGH, SET LOW						
Offset Voltage	$V_{OS}$			0.25		mV
Offset Voltage Drift	$TCV_{OS}$			3		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current, "E"	$I_B$			25	50	nA
Input Bias Current, "F"	$I_B$			25	100	nA
OUTPUT VPTAT <sup>1</sup>						
Output Voltage	VPTAT	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , No Load		1.49		V
Scale Factor	$TC_{VPTAT}$			5		mV/K
Temperature Accuracy, "E"		$T_A = 25^\circ\text{C}$ , No Load	-1.5	$\pm 0.5$	1.5	$^\circ\text{C}$
Temperature Accuracy, "F"		$T_A = 25^\circ\text{C}$ , No Load	-3	$\pm 1.0$	3	$^\circ\text{C}$
Temperature Accuracy, "E"		$10^\circ\text{C} < T_A < 40^\circ\text{C}$ , No Load		$\pm 0.75$		$^\circ\text{C}$
Temperature Accuracy, "F"		$10^\circ\text{C} < T_A < 40^\circ\text{C}$ , No Load		$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
Temperature Accuracy, "E"		$-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$ , No Load	-3.0	$\pm 1$	3.0	$^\circ\text{C}$
Temperature Accuracy, "F"		$-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$ , No Load	-5.0	$\pm 2$	5.0	$^\circ\text{C}$
Temperature Accuracy, "E"		$-55^\circ\text{C} < T_A < 125^\circ\text{C}$ , No Load		$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
Temperature Accuracy, "F"		$-55^\circ\text{C} < T_A < 125^\circ\text{C}$ , No Load		$\pm 2.5$		$^\circ\text{C}$
Repeatability Error <sup>4</sup>	$\Delta VPTAT$			0.25		Degree
Long-Term Drift Error <sup>2,6</sup>				0.25	0.5	Degree
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $4.5\text{ V} \leq V_+ \leq 13.2\text{ V}$		$\pm 0.02$	$\pm 0.1$	%/V
OUTPUT VREF						
Output Voltage, "E"	VREF	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , No Load	2.495	2.500	2.505	V
Output Voltage, "F"	VREF	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , No Load	2.490	2.500	2.510	V
Output Voltage, "E"	VREF	$-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$ , No Load	2.490	2.500	2.510	V
Output Voltage, "F"	VREF	$-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$ , No Load	2.485	2.500	2.515	V
Output Voltage, "E"	VREF	$-55^\circ\text{C} < T_A < 125^\circ\text{C}$ , No Load		$2.5 \pm 0.01$		V
Output Voltage, "F"	VREF	$-55^\circ\text{C} < T_A < 125^\circ\text{C}$ , No Load		$2.5 \pm 0.015$		V
Drift	$TC_{VREF}$			-10		ppm/ $^\circ\text{C}$
Line Regulation		$4.5\text{ V} \leq V_+ \leq 13.2\text{ V}$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$	%/V
Load Regulation		$10\ \mu\text{A} \leq I_{VREF} \leq 500\ \mu\text{A}$		$\pm 0.1$	$\pm 0.25$	%/mA
Output Current, Zero Hysteresis	$I_{VREF}$			7		$\mu\text{A}$
Hysteresis Current Scale Factor <sup>1</sup>	$SF_{HYS}$			5.0		$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Turn-On Settling Time		To Rated Accuracy		25		$\mu\text{s}$
OPEN-COLLECTOR OUTPUTS OVER, UNDER						
Output Low Voltage	$V_{OL}$	$I_{SINK} = 1.6\text{ mA}$		0.25	0.4	V
Output Leakage Current	$V_{OL}$	$I_{SINK} = 20\text{ mA}$		0.6		V
Fall Time	$I_{OH}$	$V_+ = 12\text{ V}$		1	100	$\mu\text{A}$
	$t_{HL}$	See Test Load		40		ns
POWER SUPPLY						
Supply Range	$V_+$		4.5		13.2	V
Supply Current	$I_{SY}$	Unloaded, $+V = 5\text{ V}$		400	500	$\mu\text{A}$
	$I_{SY}$	Unloaded, $+V = 13.2\text{ V}$		450	800	$\mu\text{A}$
Power Dissipation	$P_{DISS}$	$+V = 5\text{ V}$		2.0	2.5	mW

## NOTES

<sup>1</sup>K =  $^\circ\text{C} + 273.15$ .<sup>2</sup>Guaranteed but not tested.<sup>3</sup>Does not consider errors caused by heating due to dissipation of output load currents.<sup>4</sup>Maximum deviation between  $25^\circ\text{C}$  readings after temperature cycling between  $-55^\circ\text{C}$  and  $+125^\circ\text{C}$ .<sup>5</sup>Typical values indicate performance measured at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .<sup>6</sup>Observed in a group sample over an accelerated life test of 500 hours at  $150^\circ\text{C}$ .

Specifications subject to change without notice.

## Annexe 2 : Caractéristiques automate Siemens

Tableau A-2 Numéros de référence des CPU

Numéro de référence	Modèle de CPU	Alimentation (nominale)	Entrées TOR	Sorties TOR	Inter-faces de communication	Entrées analogiques	Sorties analogiques	Connecteur amovible
6ES7 211-0AA23-0XB0	CPU 221	24 V-	6 x 24 V-	4 x 24 V-	1	Non	Non	Non
6ES7 211-0BA23-0XB0	CPU 221	120 à 240 V~	6 x 24 V-	4 x relais	1	Non	Non	Non
6ES7 212-1AB23-0XB0	CPU 222	24 V-	8 x 24 V-	6 x 24 V-	1	Non	Non	Non
6ES7 212-1BB23-0XB0	CPU 222	120 à 240 V~	8 x 24 V-	6 x relais	1	Non	Non	Non
6ES7 214-1AD23-0XB0	CPU 224	24 V-	14 x 24 V-	10 x 24 V-	1	Non	Non	Oui
6ES7 214-1BD23-0XB0	CPU 224	120 à 240 V~	14 x 24 V-	10 x relais	1	Non	Non	Oui
6ES7 214-2AD23-0XB0	CPU 224XP	24 V-	14 x 24 V-	10 x 24 V-	2	2	1	Oui
6ES7 214-2AS23-0XB0	CPU 224XPsi	24 V-	14 x 24 V-	10 x 24 V-	2	2	1	Oui
6ES7 214-2BD23-0XB0	CPU 224XP	120 à 240 V~	14 x 24 V-	10 x relais	2	2	1	Oui
6ES7 216-2AD23-0XB0	CPU 226	24 V-	24 x 24 V-	16 x 24 V-	2	Non	Non	Oui
6ES7 216-2BD23-0XB0	CPU 226	120 à 240 V~	24 x 24 V-	16 x relais	2	Non	Non	Oui

Tableau A-4 Caractéristiques techniques pour les CPU

	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP CPU 224XPsi	CPU 226
<b>Mémoire</b>					
Taille du programme utilisateur avec édition à l'état Marche sans édition à l'état Marche	4096 octets 4096 octets		8192 octets 12288 octets	12288 octets 16384 octets	16384 octets 24576 octets
Données utilisateur	2048 octets		8192 octets	10240 octets	10240 octets
Sauvegarde (supercondensateur) (pile optionnelle)	50 heures typ. (8 heures min. à 40 °C) 200 jours typ.		100 heures typ. (70 heures min. à 40 °C) 200 jours typ.	100 heures typ. (70 heures min. à 40 °C) 200 jours typ.	
<b>Entrées/sorties</b>					
E/S TOR	6 entrées/4 sorties	8 entrées/6 sorties	14 entrées/10 sorties	14 entrées/10 sorties	24 entrées/16 sorties
E/S analogiques	Neant			2 entrées/1 sortie	Neant
Taille de la mémoire image d'E/S TOR	256 (128 entrées/128 sorties)				
Taille de la mémoire image d'E/S analogiques	Neant	32 (16 entrées/16 sorties)	64 (32 entrées/32 sorties)		
Nb. max. de modules d'extension autorisés	Neant	2 modules <sup>1</sup>	7 modules <sup>1</sup>		
Nb. max. de modules intelligents autorisés	Neant	2 modules <sup>1</sup>	7 modules <sup>1</sup>		
Entrées de capture d'impulsions	6	8	14		24
Compteurs rapides Une phase	4 compteurs au total 4 à 30 kHz		6 compteurs au total 6 à 30 kHz	6 compt. au total 4 à 30 kHz 2 à 200 kHz 3 à 20 kHz 1 à 100 kHz	
Deux phases	2 à 20 kHz		4 à 20 kHz	4 à 20 kHz	
Sorties d'impulsions	2 à 20 kHz (sorties CC uniquement)			2 à 100 kHz (sorties CC uniquement)	2 à 20 kHz (sorties CC uniquement)



## Annexe 3 : data sheet codeur incrémental

## Incremental shaft encoder BDT

### features

- small mounting depth
- radial and axial connector or cable connection
- servo flange

### general data

voltage supply	5 VDC $\pm 10\%$ ( <b>05A</b> ) 10 - 30 VDC ( <b>24K</b> ) 4,5 - 30 VDC ( <b>25W</b> )
max. supply current no load	typ. 80 mA (at 5 VDC) ( <b>05A</b> ) typ. 60 mA (at 24 VDC) ( <b>24K</b> ) typ. 180 mA (at 4,5 VDC) ( <b>25W</b> )
max. measuring steps	40'000 steps at 10'000 ppr ( <b>05A/24K</b> )
pulse range	see order designation
pulse tolerance	$\pm 10\%$
max. switching frequency	200 kHz ( <b>24K</b> ) 300 kHz ( <b>05A/25W</b> ) 750 kHz ( <b>05A</b> > 5000 ppr)

### mechanical data

max. revolutions	12'000 rpm
moment of inertia	typ. $11,8 \times 10^{-7}$ kgm <sup>2</sup>
torque	typ. 0,23 cNm IP 42 typ. 2,6 cNm IP 64 (3'000 rpm / 20 °C)
max. shaft load	axial: 10 N      radial: 20 N
product life	depending on ambient conditions (typ. $10^9$ rev)
max. protection class	shaft: IP 64      housing: IP 65
material	housing: steel, housing: aluminum with connection <b>-A</b> , flange: aluminum
weight	approx. 300 g

### ambient conditions

temperature range	-20...+85 °C
relative humidity	max. 95% non condensing
vibration	IEC 68 section 2-6 ( $\leq 100$ m/s <sup>2</sup> / 10 - 200 Hz)
shock	IEC 68 section 2-27 ( $\leq 500$ m/s <sup>2</sup> / 11 ms)
noise immunity	EN 61000-6-2
emitted interference	EN 61000-6-3



### order designation

BDT 16.    -

connection

**4** cable 2 m axial  
**5** cable 2 m radial  
**A** connector radial  
**B** connector axial

shaft

**L6** shaft 6 mm IP 64  
**6** shaft 6 mm IP 42

standard pulse range

10	100	360	1250	7200 <sup>1)</sup>
20	120	400	2000	8192 <sup>1)</sup>
30	200	500	2500	10000 <sup>1)</sup>
50	250	1000	3600	
60	300	1024	5000	

other pulses on request

voltage range, output range

**05A** 5 VDC complementary  
**24K** 10 - 30 VDC push-pull, short-circuit pro.  
**25W** 4,5 - 30 VDC push-pull, complementary,  
short-circuit protection

<sup>1)</sup> only for **05A** + **24K**  
Other versions on request.

### accessories

connector for connection reference <b>-A</b> and <b>-B</b> for complementary <b>05A/25W</b> and push-pull <b>24K</b>	part nr. 107687
cable with connector (pre-assembled)	
2 m	part nr. 130367
5 m	part nr. 118532
clamp set	part nr. 252773
mounting adapter	part nr. 117667
fixing screws and servo clamps	part nr. 117668
couplings	see chapter accessories