

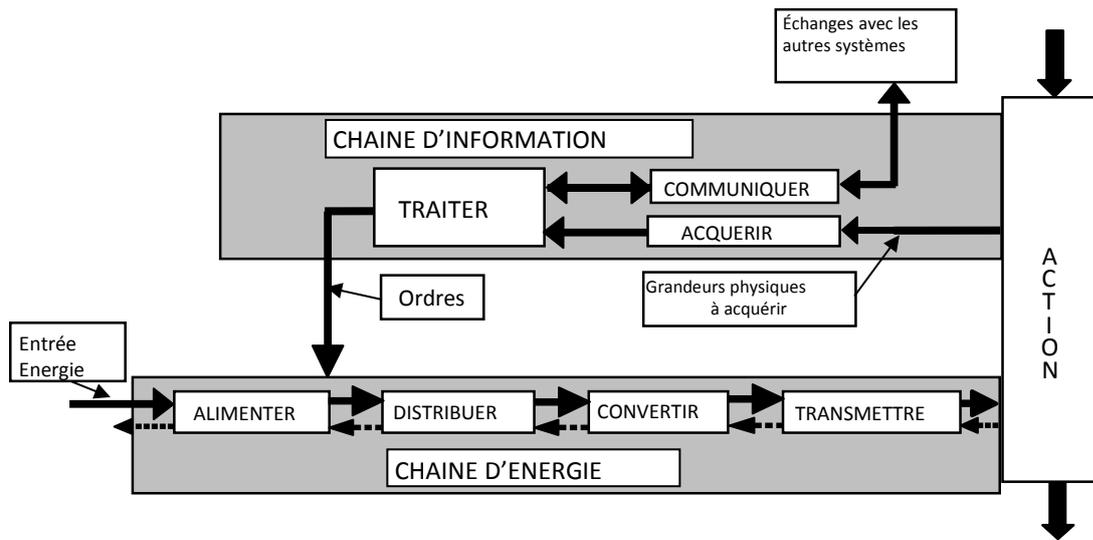
CAPTEURS

1. Contenu

1	MISE EN SITUATION	2
1.1	VOCABULAIRE.....	2
1.2	EXEMPLE 1 : L'ALTIMETRE.....	3
1.3	EXEMPLE 2 : LE PESON SP4C3-MR DE HBM	4
1.4	EXEMPLE 3 : LE TPMS (TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM).....	5
2	CLASSIFICATION DES CAPTEURS	6
2.1	CAPTEURS ANALOGIQUES	6
2.2	CAPTEURS LOGIQUES	6
2.3	CAPTEURS NUMERIQUES.....	6
3	CARACTERISATION DES CAPTEURS	7
3.1	ERREURS	7
3.2	ETALONNAGE	7
3.3	LIMITES D'UTILISATION	7
3.4	SENSIBILITE	7
3.5	RAPIDITE - TEMPS DE REPONSE	7
3.6	FINESSE.....	7
3.7	EXEMPLE : LE CAPTEUR CPS DE SENSATA	7
4	PANORAMA DES PRINCIPAUX CAPTEURS	9
4.1	DETECTEURS DE POSITION	9
4.1.1	<i>Capteur mécanique fin de course</i>	9
4.1.2	<i>Capteur de proximité inductif, capacitif.</i>	9
4.1.3	<i>Fourche optique</i>	9
4.1.4	<i>Capteur de proximité à ultrasons</i>	9
4.2	CODEURS DE POSITION	10
4.2.1	<i>Codeur incrémental de position angulaire</i>	10
4.2.2	<i>Codeur absolu de position linéaire</i>	10
4.3	CAPTEURS DE VITESSE	11
4.4	ACCELEROMETRES	12
4.5	CAPTEUR D'EFFORT	13
4.5.1	<i>Capteurs à jauges de contrainte</i>	13
4.5.2	<i>Capteur piézoélectrique</i>	13
4.6	CAPTEUR DE TEMPERATURE.....	14
4.6.1	<i>Thermistance</i>	14
4.6.2	<i>Le thermomètre à résistance de platine</i>	14
	14	
4.6.3	<i>Thermocouple</i>	14
5	MISE EN FORME DE L'INFORMATION	15
5.1	NUMERISATION DE L'INFORMATION ANALOGIQUE	15
5.2	AMPLIFICATION, MISE A L'ECHELLE, POSITIONNEMENT DU ZERO (OFFSET).	15
5.3	FILTRAGE.....	16
5.4	MISE EN FORME PAR COMPARATEUR A HYSTERESIS (A DEUX SEUILS)	16

1 MISE EN SITUATION

Tout système automatisé peut se décomposer suivant la schématisation suivante avec différentes chaînes : information et énergie, l'action donnant une valeur ajoutée à la matière d'œuvre.

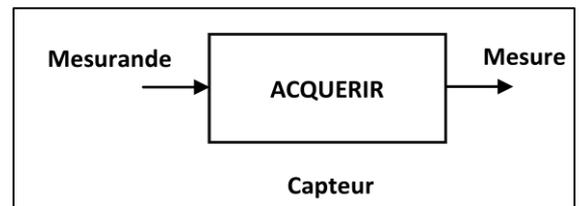


La chaîne d'information permet de rendre le système plus autonome, d'assurer son contrôle et sa sécurité. Elle agit par des ordres sur la chaîne d'énergie et acquiert des informations de tous types (position, accélération, pression, température, ...) grâce à des capteurs. La transmission et le traitement de l'information sont alors nécessaires, ainsi que la communication de résultats entre systèmes autonomes et vers l'utilisateur.

1.1 Vocabulaire

La fonction acquérir est assurée par des capteurs.

D'une manière générale ils convertissent une grandeur physique quelconque appelée **MESURANDE** en une grandeur appelée **MESURE** sous une forme exploitable par une structure de traitement de l'information (fonction TRAITER).



Exemple : Mesure de la vitesse d'un vélo

Le capteur de vitesse pour Vélo Timex mesure la vitesse à l'aide d'un aimant placé sur la roue arrière et la transmet à la montre ironMan Global Trainer, via la technologie ANT+.

Cette section illustre l'exemple de mesure de la vitesse d'un vélo. Elle est divisée en deux parties : une schématisation fonctionnelle et une photographie illustrative.

- Schématisme fonctionnel (à gauche) :**
 - Le processus commence par **ACQUERIR** (le capteur).
 - Le résultat est traité par **TRAITER** et **COMMUNIQUER**.
- Photographie illustrative (à droite) :**
 - Le **Mesurande** est la vitesse du vélo, mesurée par un capteur à aimant sur la roue arrière.
 - Le **Mesure** est l'information transmise au format ANT+ à la montre.
 - On voit le capteur **TIMEX** et la montre **IRONMAN** qui affiche des données de vitesse.

Organisation fonctionnelle d'un capteur

Une chaîne d'acquisition est toujours de la forme suivante :



La fonction **détecter la grandeur physique** est assurée par le **corps d'épreuve**, l'organe qui reçoit directement l'action de la grandeur physique et produit un effet transformable en signal mécanique, électrique, pneumatique, etc.

La fonction **transformer la grandeur**, lorsqu'elle est nécessaire, est assurée par le **transducteur** qui produit un signal image de la grandeur physique, porté par une énergie utilisable par les moyens de traitement.

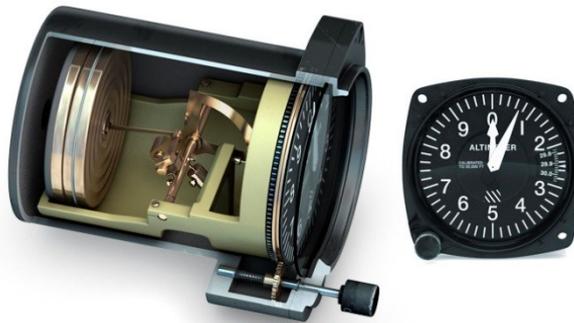
La fonction **adapter** le signal produit par le transducteur nécessite souvent une **mise en forme**. Celle-ci consiste à filtrer les signaux (éliminer les signaux parasites) ou à modifier la forme du signal en fonction de l'usage qui en est fait ensuite.

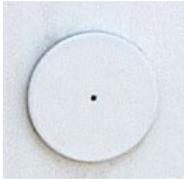
La fonction **transmettre** le signal n'est pas présente sur tous les capteurs mais se généralise avec la mise en réseau.

Avec l'évolution des technologies, les frontières du CAPTEUR se déplacent :

- Historiquement, le capteur comprend le corps d'épreuve + le transducteur (fonction ACQUERIR),
- On a intégré ensuite dans la même enveloppe les circuits de mise en forme du signal (fonction TRAITER),
- Plus récemment, l'émetteur a été ajouté (avec des fonctions d'auto-diagnostic) et on parle alors de capteur intelligent (fonction COMMUNIQUER).

1.2 Exemple 1 : L'altimètre

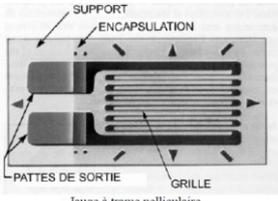
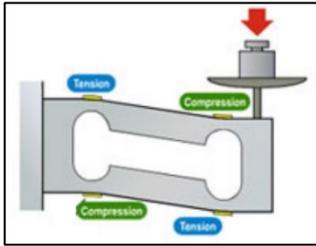
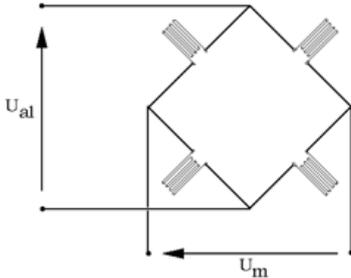
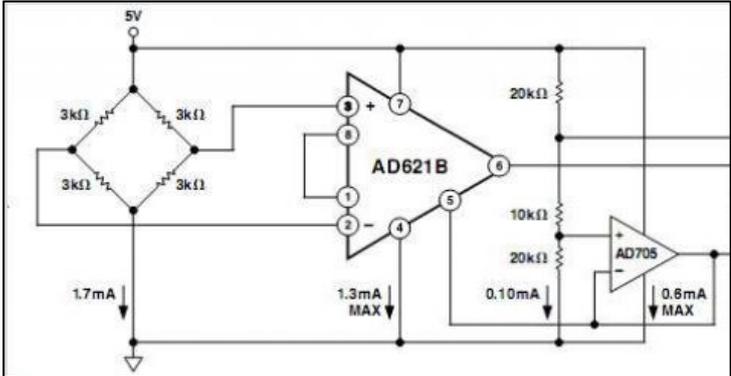


<p>DETECTER</p>	<p>CORPS D'EPREUVE</p>		<p>La capsule anéroïde Reliée par une tubulure à une prise de pression statique située sur le fuselage.</p> 
<p>TRANSFORMER</p>	<p>TRANSDUCTEUR</p>		<p>La capsule anéroïde est reliée mécaniquement à un système d'engrenages de grande précision qui entraîne l'indicateur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

Les capteurs et leurs conditionneurs font l'objet d'une classification par type de sortie.

2.1 capteurs ANALOGIQUES

La sortie d'un capteur analogique prend n'importe quelle valeur dans sa plage de fonctionnement. A chaque valeur de la grandeur physique il correspond alors une valeur en sortie sous forme électrique (résistance, tension, courant, fréquence...).

Exemple : sonde de température PT100

La mesure est basée sur le fait que la résistance électrique du platine varie selon la température.

Si R_0 est la résistance d'une pièce de platine à 0 °C, alors à la température ϑ (en degrés Celsius), un modèle linéaire de la résistance de cette pièce donne :

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha\vartheta) \quad \text{avec } \alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

à 0 °C $R_{\vartheta} = R_0 = 100\Omega$ d'où le nom PT100 (il existe des PT25, PT1000...)

si on branche la sonde sur une source de courant, on mesure alors à ses bornes une tension proportionnelle à la température.



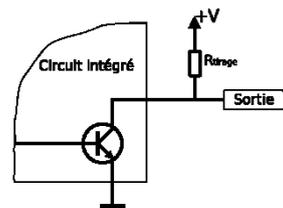
2.2 capteurs LOGIQUES

La sortie d'un capteur logique vaut 0 ou 1.

Exemple : Détecteur Inductif M12

Portée nominale 2mm

Sortie NPN à collecteur ouvert



2.3 capteurs NUMERIQUES

La sortie d'un capteur numérique est un nombre ou un mot binaire

Exemple : capteur rotatif de position absolue 845G

12 bits soit 4096 codes par tour

Par exemple, à la position 12,6°

le capteur va retourner la valeur 10001111 soit 8F en hexadécimal.

Le mot est stocké dans un registre 12 bits

Position 12,6°

0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



3 CARACTERISATION DES CAPTEURS

3.1 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.

3.2 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.

3.3 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.

3.4 Sensibilité

Plus un capteur est sensible plus la mesure pourra être précise. C'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation des mesures.

3.5 Rapidité - Temps de réponse

La rapidité est la spécification d'un capteur qui permet d'apprécier de quelle façon la grandeur de sortie suit dans le temps les variations du mesurande.

3.6 Finesse

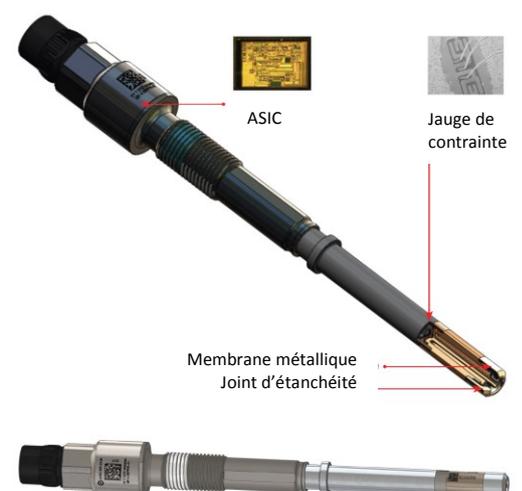
La présence du capteur peut perturber le phénomène physique mesuré.

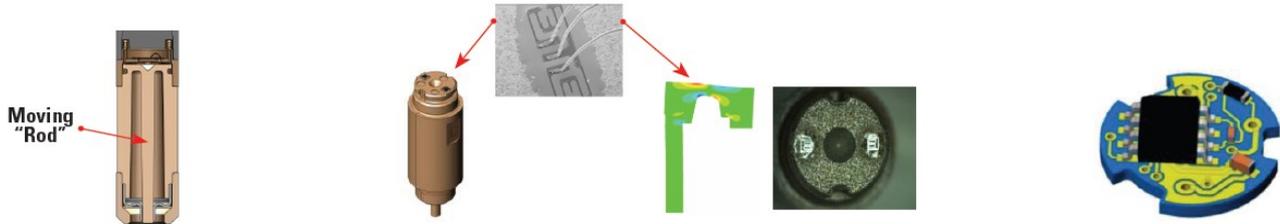
La finesse est une spécification qui permet d'estimer l'influence de la présence du capteur et de ses liaisons sur la valeur du mesurande. La finesse est d'autant plus grande que l'influence du capteur est faible.

3.7 Exemple : Le capteur CPS de Sensata

La première génération de CPS (Cylinder Pressure Sensor) en production en 2007 permettait d'évaluer directement le processus de combustion dans un moteur diesel en intégrant un capteur dans la bougie de préchauffage. Ce dispositif a permis aux constructeurs d'automobiles diesel d'éliminer jusqu'à 90 pour cent des polluants.

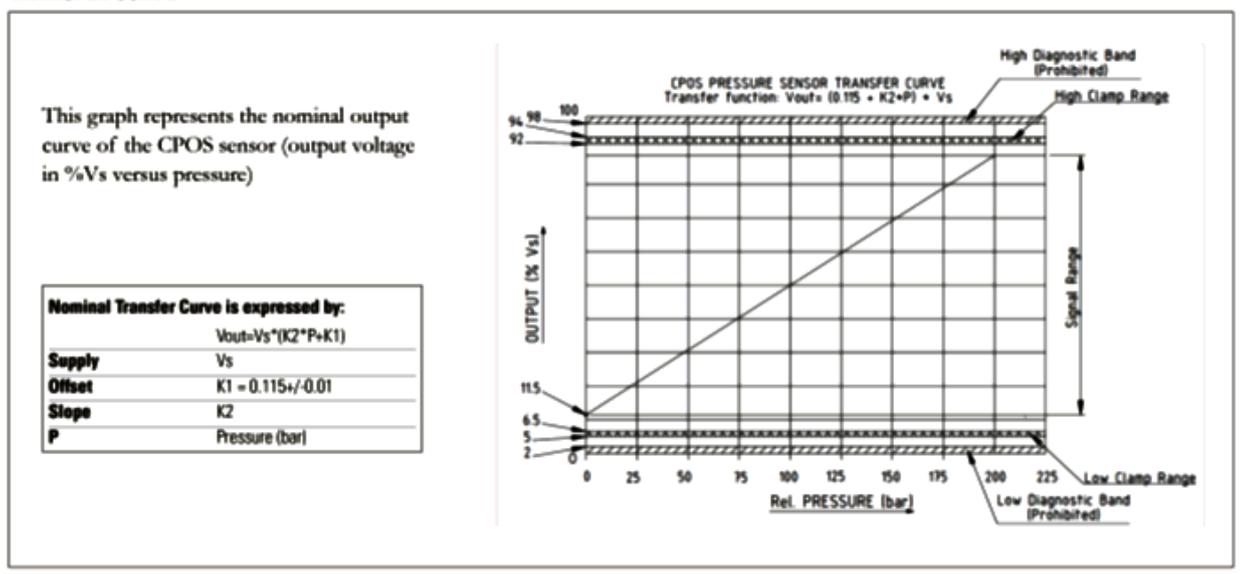
Les récents CPS miniaturisés, peuvent être installés séparément de la bougie de préchauffage, ce qui permet aux constructeurs d'opter pour des bougies de préchauffage diesel en céramique plus résistantes. Cela permet également d'utiliser ces capteurs dans les moteurs essence (qui ne sont pas équipés de bougies de préchauffage).





Configuration		Non Linéarité	< ± 1% de Vs pour toute la durée de vie
Dimension de montage	HEX12	Hystérésis	< ± 1% de Vs pour toute la durée de vie
Filetage du capteur	M10x1 (M8 disponible)	Variation de l'offset	± 1% de Vs pour toute la durée de vie
Connecteur électrique	Système de connexion coaxial	Précision	0-5 bar basse pression : ±0,4% de Vs (10°C à 140°C) ±0,6% de Vs (-40°C à 10°C)
Caractéristiques fonctionnelles		Tension d'alimentation	5,0 ± 5% VDC (Dépend de l'application)
Température de fonctionnement	-40°C à 140°C	Courant d'alimentation	Max 10 mA
Pression de fonctionnement	Dépend de l'application: 0 à 150 / 250 Bar	Résistance de charge	4,7 kOhms Pull up
Pression maximale	Dépend de l'application (250 bar)	Temps de réponse	<200 us au total
Pression destructive	Dépend de l'application (300 bar)	Tension nominale de sortie	11,5% Vs à 91,5% Vs
Durée de vie	250000 km et au-delà / 12000 heures	Bruit de sortie RMS	<0.2% de Vs
Stabilité de la sortie	± 2% pour toute la durée de vie	Protection de surtension	24 V
Précision du gain	± 2% de Vs pour toute la durée de vie	Protection de tension inversée	-13,5 V
Bande passante	15 kHz	Résolution du signal	<50 mbar (analogue)

TRANSFER CURVE



4 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.

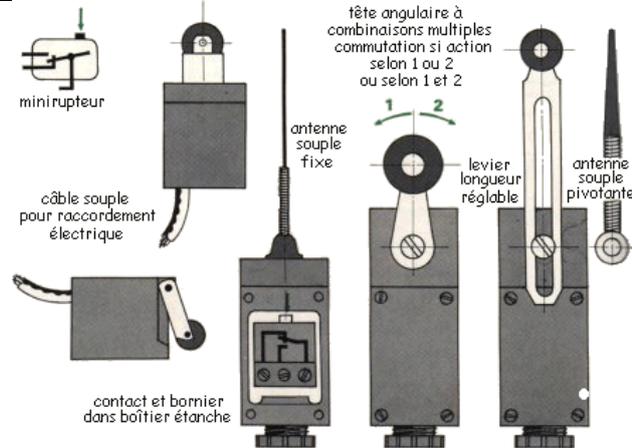
4.1 DETECTEURS de POSITION

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.

4.1.1 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.

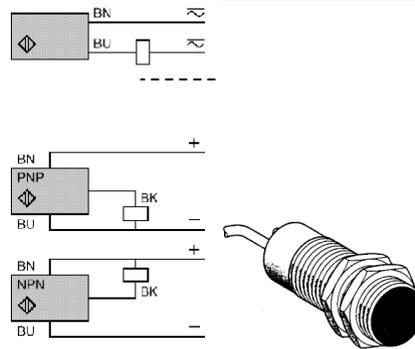


4.1.2 Capteur de proximité inductif, capacitif.

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.



4.1.3 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.



4.1.4 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.



4.2 CODEURS de POSITION

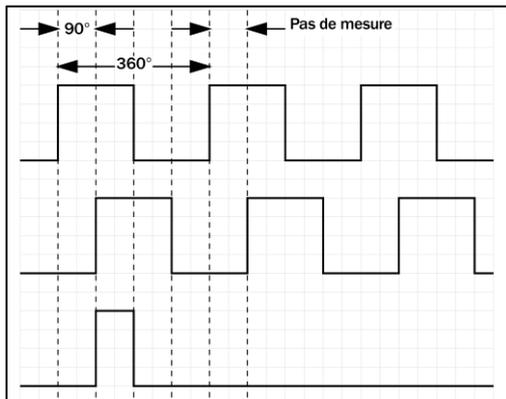
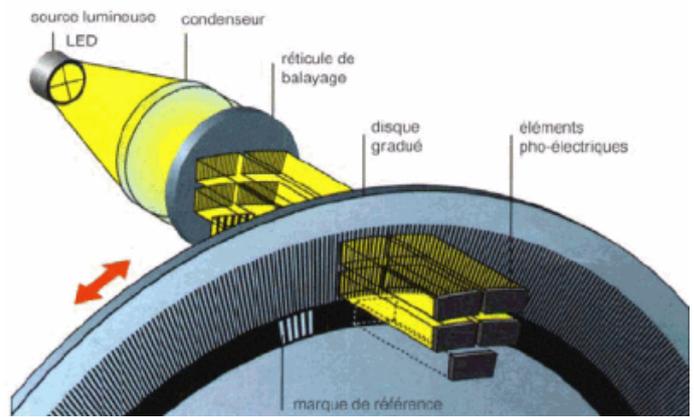
La valeur de la position est mesurée par un codeur absolu ou incrémental.

4.2.1 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 comptage des impulsions donne au déplacement une valeur relative.

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



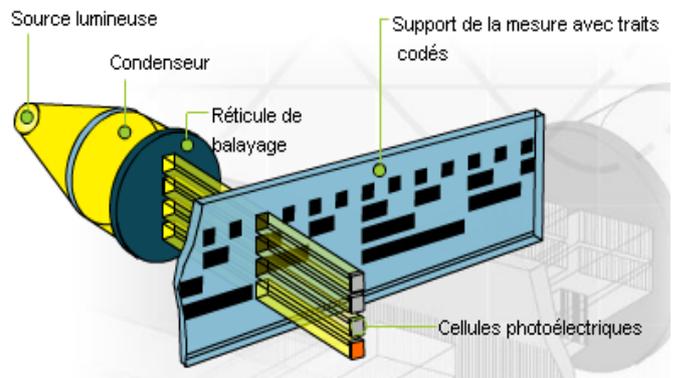
4.2.2 Codeur absolu de position linéaire

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

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.



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

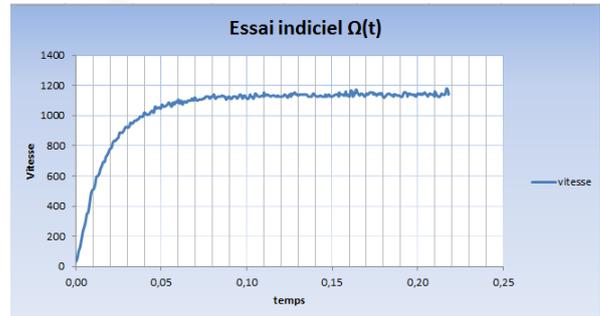
4.3 Capteurs de VITESSE

Dynamo tachymétrique

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

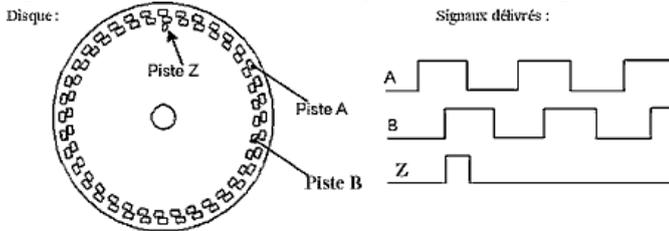
Ex :
fem à 1000tr/min = 6V
Vitesse maximum : 5000 tr/min

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.



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.



4.4 ACCELEROMETRES

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

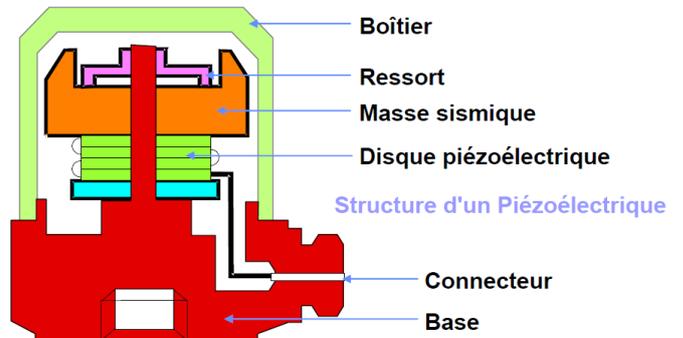
Le principe de tous les accéléromètres est basé sur la loi fondamentale de la dynamique

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%



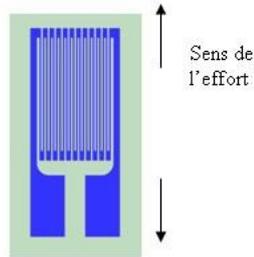
4.5 Capteur d'EFFORT

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.

4.5.1 Capteurs à jauges de contrainte

De son vrai nom :

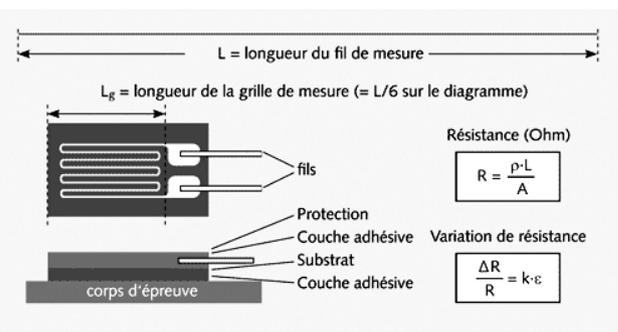
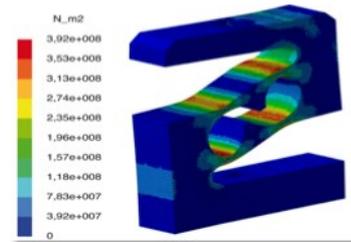
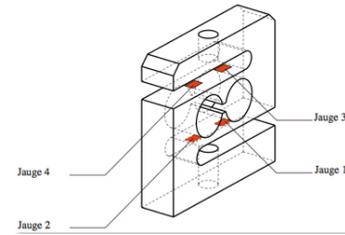
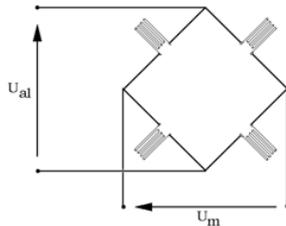
Capteur à jauges d'extensiométrie
Colées sur un corps d'épreuve, la jauge subit une déformation qui fait varier la valeur de sa résistance.



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_{al} , appliquée sur le pont. Les jauges en diagonale sont sur la même face.

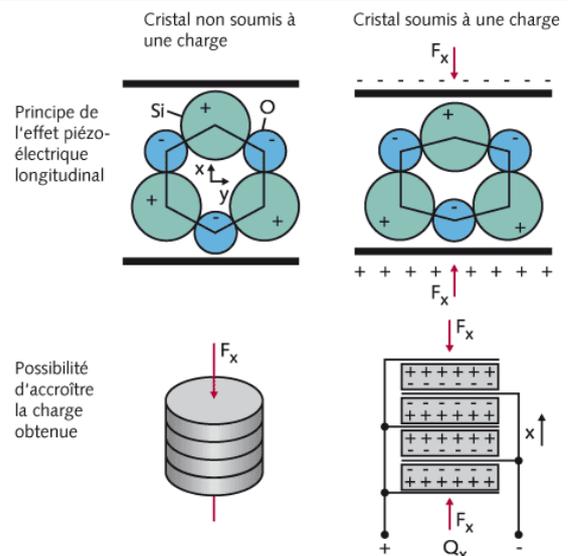


4.5.2 Capteur piézoélectrique

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 apparaît sur les électrodes du capteur est proportionnelle à l'effort F .
Soit $Q = k.F$ avec k de l'ordre de 10^{-10} C/N



4.6 Capteur de TEMPERATURE

4.6.1 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**).



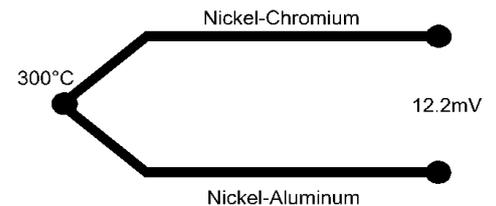
4.6.2 Le thermomètre à résistance de platine

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.



4.6.3 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.

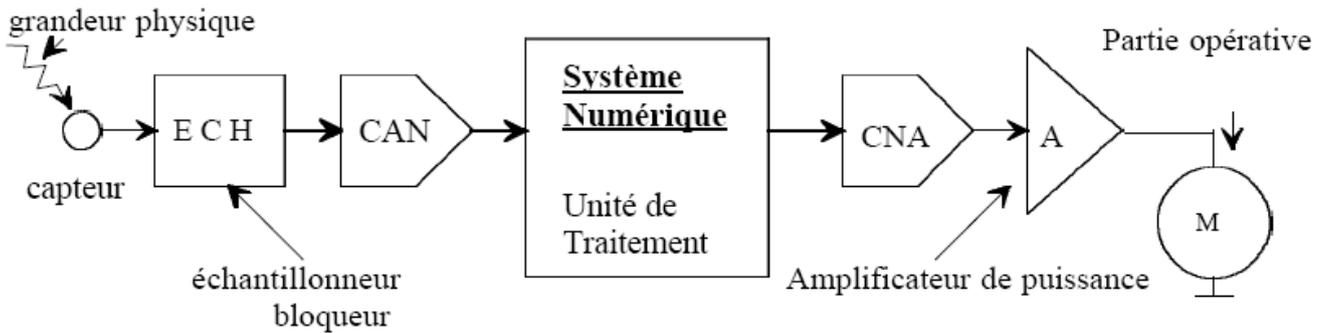
La mesure IR est une mesure de surface : le point laser de cet appareil compact indique le point central de la zone circulaire de mesure.

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



5 MISE EN FORME DE L'INFORMATION

5.1 Numérisation de l'information analogique



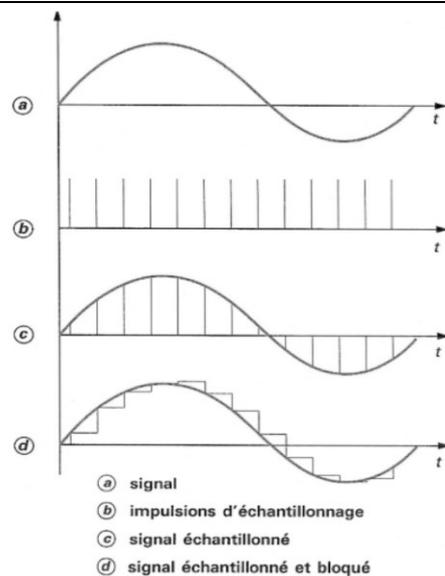
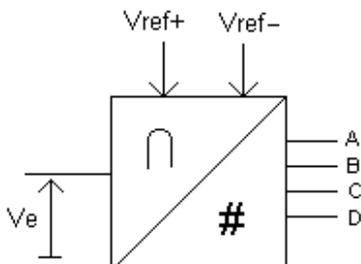
Si la sortie du capteur est analogique, le signal pour être traité par l'unité de traitement (automate par exemple) devra être numérisé, on fera alors appel à des **CAN** (convertisseurs analogiques-numériques en anglais **ADC**).

La sortie du traitement étant numérique, l'opération inverse par CNA (convertisseurs numérique-analogiques en anglais **DAC**) est souvent nécessaire pour agir sur la chaîne d'énergie.

L'échantillonneur bloqueur (**ECH**) correspond au découpage temporel ou échantillonnage du signal analogique.

Le signal analogique continu au fil du temps devient alors en escaliers.

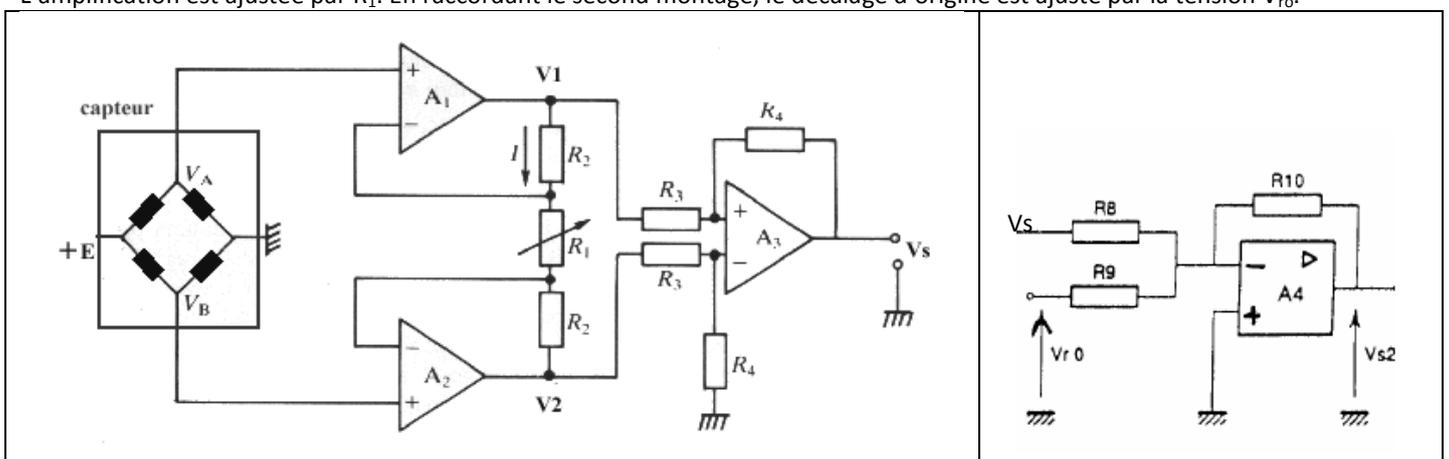
Ci-dessous et ci-contre la numérisation d'un signal analogique avec un CAN 4bits



5.2 Amplification, mise à l'échelle, positionnement du zéro (OFFSET).

Le montage suivant est un grand classique, son impédance d'entrée est infinie et ne perturbe pas le pont de mesure.

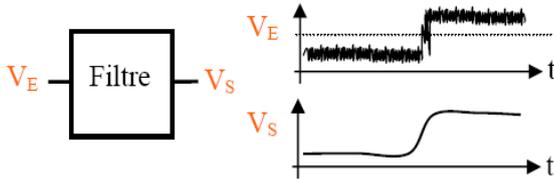
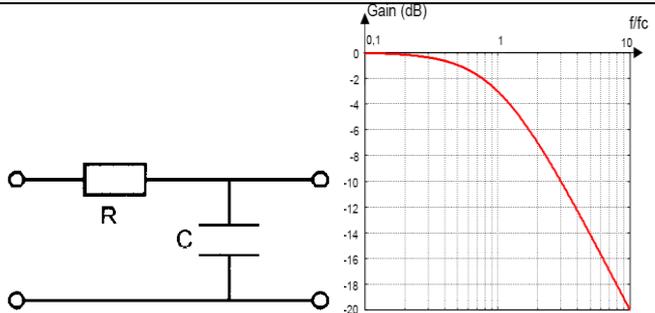
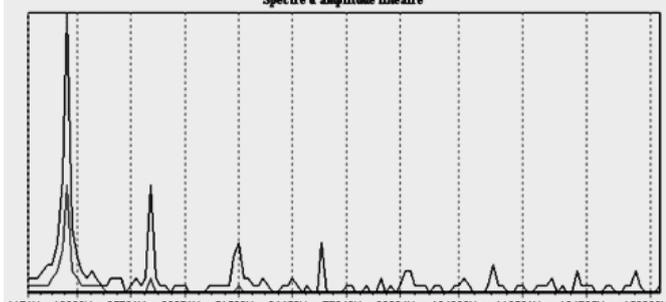
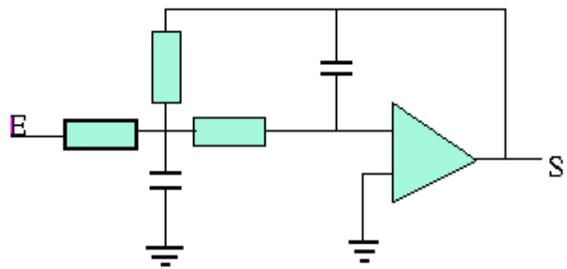
L'amplification est ajustée par R_1 . En raccordant le second montage, le décalage d'origine est ajusté par la tension V_{r0} .



5.3 Filtrage

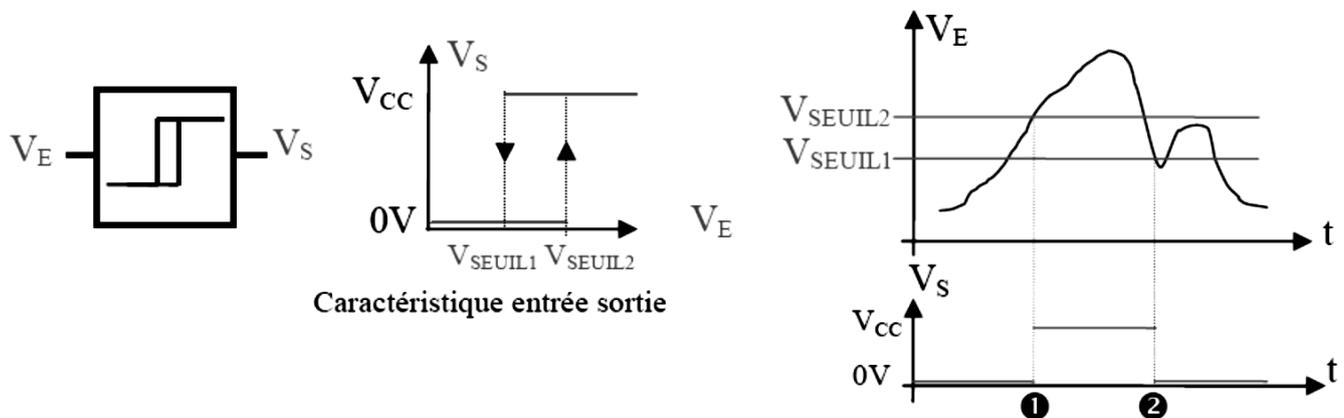
Le signal issu d'un capteur peut être perturbé par des parasites (qui peuvent venir de l'extérieur ou bien de la mesure elle-même). Ces parasites ne nous intéressent pas, on souhaite les supprimer. C'est le rôle du filtrage.

L'objectif du filtrage est de retenir dans le spectre du signal, seulement le signal utile.

 <p>Le filtre laisse passer le signal utile et bloque les parasites.</p>	 <p>Filtre passif passe bas d'ordre 1</p>
 <p>Spectre du signal transmis</p>	 <p>Filtre actif passe bas d'ordre 2</p>

5.4 Mise en forme par comparateur à hystérésis (à deux seuils)

L'objectif est de séparer la commutation d'une sortie TOR sur une valeur montante et sur une valeur descendante afin de ne pas provoquer des cycles de mise en marche et arrêt trop répétitifs sur la chaîne d'énergie.



Caractéristique entrée sortie

Exemple d'emploi :

- Thermostat de régulation de chauffage (enclenchement à 18°C, arrêt à 20°C).
- Pressostat de compresseur (seuil haut à 12 bars, seuil bas à 8 bars)