

Caractéristiques générales des capteurs et des instruments de mesures

Les trois principaux objectifs de ce module sont :

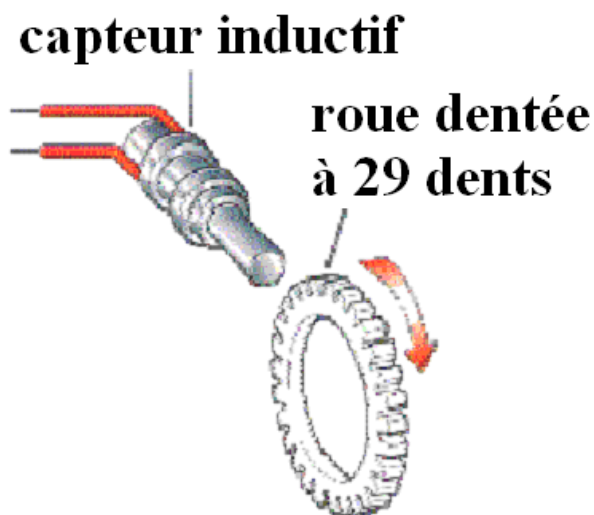
- présenter l'intérêt, les constituants principaux et les caractéristiques générales des capteurs.
- savoir utiliser les feuilles de données d'un capteur
- faire connaître et/ou inciter à utiliser le vocabulaire de la métrologie (norme NFX 07-001).

1- Introduction : les capteurs et leurs rôles

1.1- Le capteur : 1^{er} maillon de la chaîne de mesure

Q1 Comment est réalisée la mesure de la vitesse d'un véhicule ?

Solution usuelle :



Classique ou numérique (Toyota Prius)



<http://claude.lahache.free.fr/mapage2/electronique-auto.pdf> <http://fr.freepik.com> http://fr.wikipedia.org/wiki/Indicateur_de_vitesse

éléments de réponse :

- capteur inductif constitué d'un aimant permanent et d'un bobinage
- associé à une roue dentée solidaire de la roue du véhicule

- le passage des dents fait varier le flux magnétique et génère une tension alternative induite dans le bobinage. La fréquence du signal est proportionnelle à la vitesse de rotation de la roue.
- Seuil minimum détecté (typique) : 2,7 km/h
- Entrefer typique : 1 mm
- Electronique associée : conversion fréquence/tension. Tension continue image de la vitesse de rotation donc de la vitesse linéaire.

Voir vos notes :

Un capteur

- **permet de mesurer une grandeur physique**
- **convertit l'effet d'une grandeur physique en une réponse électrique**
- **garantit la qualité si étalonnés (raccordés à une référence légale).**

Schéma de principe de la chaîne de mesure :

Définition VIM (Vocabulaire International de la Métrologie)

Grandeur : [quantity] attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance qui est susceptible d'être distingué qualitativement et déterminé quantitativement.

Ex : au sens général vitesse, longueur, temps etc.

au sens particulier, vitesse de cette voiture, masse de ce véhicule etc.

Mesure : [measurement] ensemble d'opérations ayant pour objet la détermination de la valeur d'une grandeur.

Capteur : [sensor] élément d'un appareil de mesure ou d'une chaîne de mesure auquel est directement appliquée une grandeur à mesurer.

1.2- Rôles des capteurs

Q2 Identifier 8 capteurs équipant un véhicule, préciser la grandeur concernée. Les classer par rôle : fonctionnement moteur, sécurité, confort...

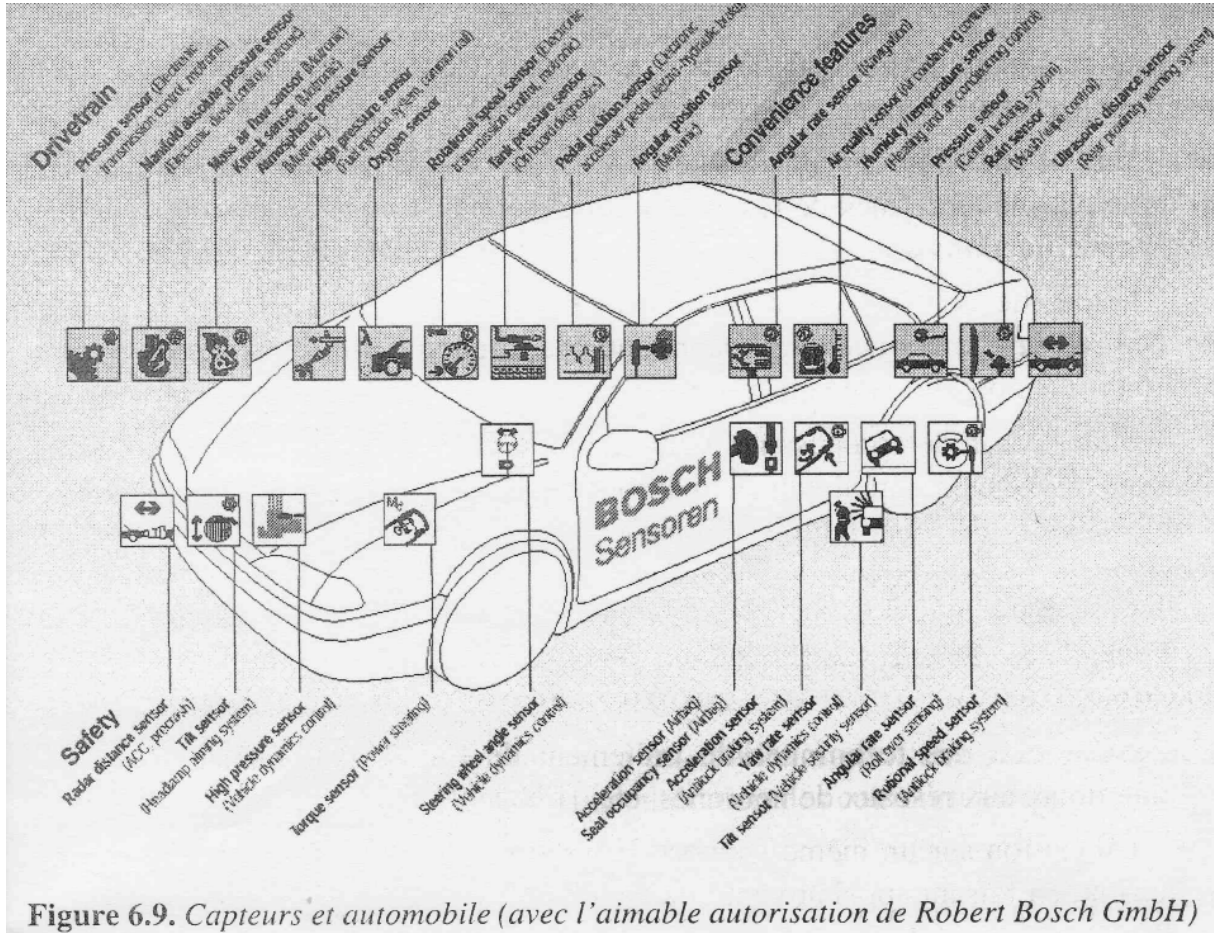


Figure 6.9. Capteurs et automobile (avec l'aimable autorisation de Robert Bosch GmbH)

[Du composant élémentaire au système tome2 par D. Placko & all Hermès éd 2000 p 280]

Traduction du document précédent :

Motorisation :

Pression (circuit de transmission), pression (alimentation carburant), débit d'air, cliquetis, pression atmosphérique, pression (injection carburant), sonde Lambda (teneur en O₂ du mélange dans le carburateur).

Vitesse de rotation de l'arbre moteur (compte-tour), pression dans le réservoir (niveau de carburant), angle de la pédale d'accélérateur, vitesse de rotation des roues.

Confort :

Horizontalité du véhicule, qualité de l'air (température et humidité), fermeture centralisée des portes dès le roulement, détecteur de pluie, distance par ultra son (aide au stationnement).

Sécurité :

Distance par le Radar anti collision, ?, ?, couple moteur, angle du volant, accéléromètre d'airbag, occupation des sièges, accéléromètre pour ABS, accélération angulaire (prévention « tête à queue »), choc et secousse (antivol, alarme), vitesse de roue (ABS)

Et encore d'autres, absents de cette figure (non produit par ce fournisseur ?) :

température circuit de refroidissement moteur, température de l'air admis, angle de position du papillon d'admission Pression et température des pneus, détecteur de ceinture de sécurité bouclée ou de porte fermée etc.

Q3 De façon générale, en milieu industriel, on identifie 6 principales catégories en fonction de leur rôle dans la chaîne de production. Expliciter ces rôles

- ✓ Capteurs de process
- ✓ Capteurs de contrôle-qualité des produits en cours de fabrication
- ✓ Capteurs de contrôle-qualité des produits finis.
- ✓ Capteurs de maîtrise des coûts
- ✓ Capteurs de gestion de la sécurité
- ✓ Capteurs de gestion de l'environnement

Voir vos notes :

1.3- Classification des capteurs

1.3a- par le type de réponse

Q4 Quels sont les différents types de réponses produites par un capteur ?

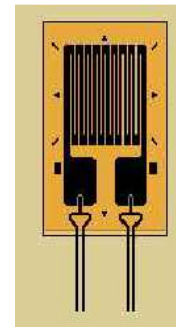
- Les **capteurs analogiques** délivrent une information qui varie **continûment** (R L C U I fréquence etc.).



PHmétrie (mesure de tension produite par les électrodes)



Mesure de température à partir du courant généré par une photodiode IR

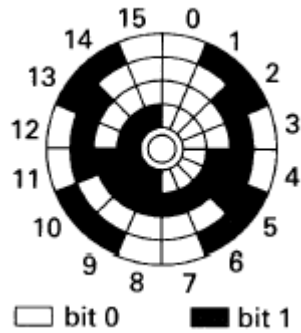


Jauge d'extensométrie (suivi de la variation de R avec la déformation)

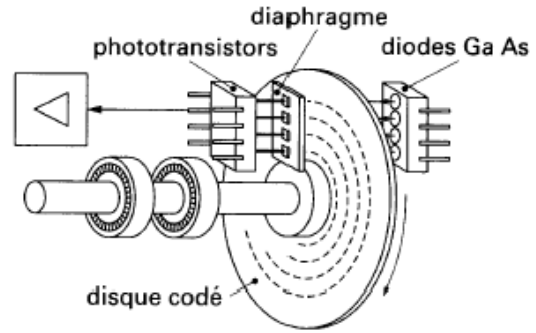
- Les **capteurs numériques** délivrent l'information sous la forme d'un **nombre entier**. Ils sont appelés aussi **codeurs ou compteurs** (exemples : codeurs incrémentaux, pluviomètre à auget basculant...).



Mesure de vitesse du vent (direction et valeur)



codeur de position angulaire (à code Gray)



- Les **capteurs logiques**, souvent appelés **détecteurs**, délivrent une information binaire.



Capteur magnétique de présence de boucle de ceinture de sécurité auto (effet Hall)



Détecteur de fumée

1.3b- par la disponibilité de l'information fournie par le capteur

Voir vos notes :

- Les **capteurs « en ligne »**,

Exemple : thermistance

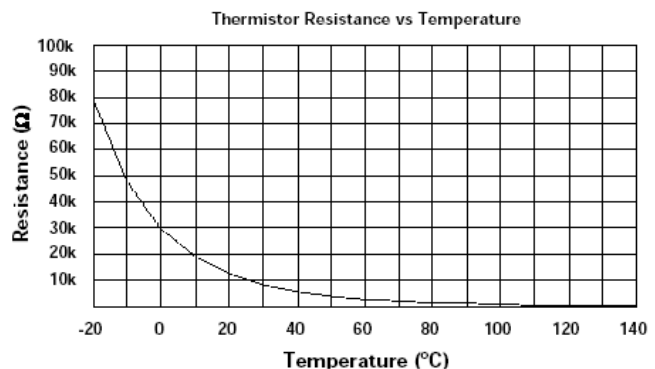
$$R(T) = R_0 \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

avec $R_0 = R(T_0)$ valeur de référence du composant :

par exemple 10k3@25°C indique

$R_0 = 10 \text{ k}\Omega$ à $T_0 = 25 + 273.1 \text{ K}$

B est typiquement compris entre 3000 et 5000 K



Les **capteurs « hors ligne »**.

Exemple : mesure de la glycémie

- par prélèvement sanguin et dosage de l'échantillon (à la date du prélèvement)
- par suivi permanent avec un système de mesure installé sur le patient

1.3c- Classification par le comportement électrique

- Les **capteurs actifs** qui se comportent à leur sortie comme un générateur variable (de tension, de charge électrique ou de courant);

Exemples :

- Source de tension : thermocouple, électrode pHmétrique
- Source de courant : photodiode

- Les **capteurs passifs** qui se comportent comme une impédance électrique variable (résistance, capacité, inductance...).

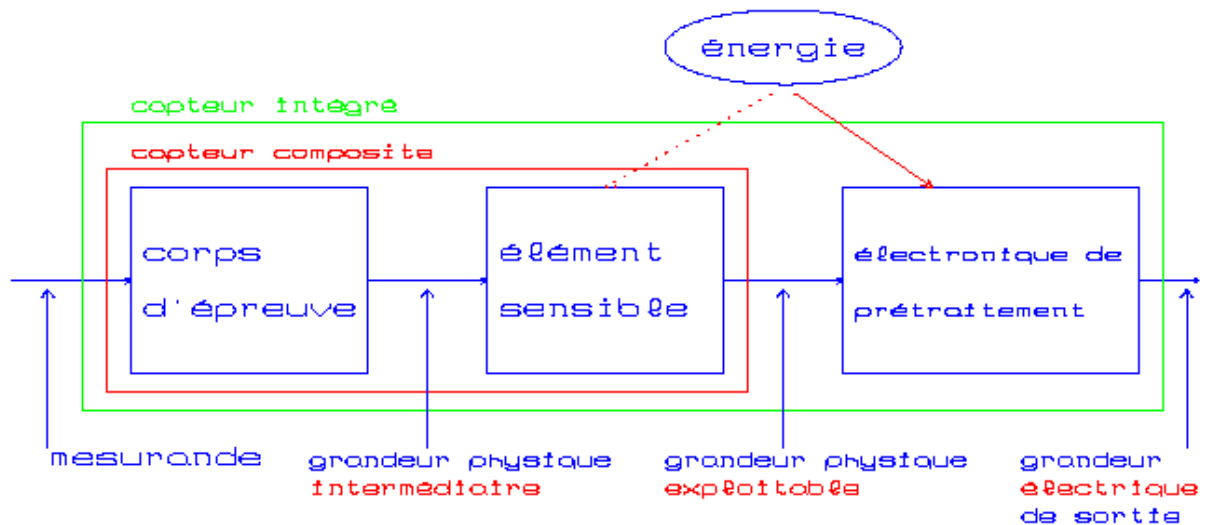
Exemples :

- R : photorésistance, magnétorésistance, thermorésistance...
- C : accéléromètre, hygromètre capacitif
- L : détecteur de métaux, capteur de position

1.4- Structure générale d'un capteur

1.4a- Diagramme fonctionnel

De nombreux capteurs ont un **diagramme fonctionnel** du type suivant :
(en particulier les capteurs d'accélération, les jauges de contrainte ...)



Voir vos notes : corps d'épreuve, élément sensible, transfert d'énergie

VIM

Mesurage

[measurement] ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur.

Mesurande

[measurand] grandeur soumise à un mesurage.

Résultat d'un mesurage

[result of a measurement] résultat obtenu par mesurage.

Principe de mesure

[principle of measurement] base scientifique d'un mesurage.

1.4b- Exemples de capteurs

Ex1 avec contact

Gaz d'échappement / transfert de chaleur vers un Thermocouple/ réponse en tension

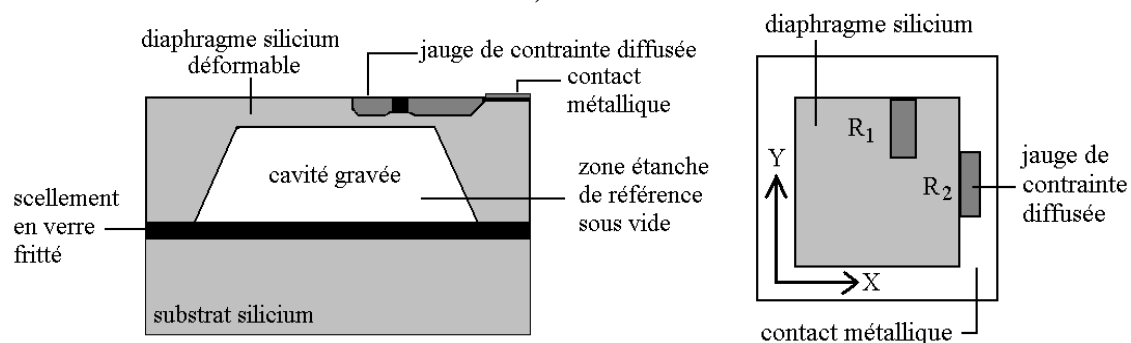
Le transfert d'énergie est direct du milieu vers l'élément sensible (le thermocouple est aussi le corps d'épreuve s'il n'y a pas d'élément de protection)

Ex2 sans contact

Disque de freinage échauffé / transfert par rayonnement vers une photodiode IR/ réponse en courant

Ex3 capteur de pression

La force de pression déforme la membrane qui est le corps d'épreuve. La jauge de contrainte (élément sensible) est déformée à volume constant : longueur et surface du conducteur change, la résistance électrique change. Le fonctionnement a plus d'une étape, le transfert d'énergie peut ne pas être direct vers l'élément sensible)



Pour info

- Le capteur est essentiellement constitué de deux couches de silicium collées entre elles dont l'une est évidée par gravure. La cavité ainsi formée est étanche et mise sous vide, lors de la fabrication, avec une pression d'air résiduel très faible. Cette **pression interne de référence supposée nulle** en fait un **capteur de pression absolue** $\Delta P = P_{\text{ext}} - P_{\text{int}} = P_{\text{extérieur au diaphragme}} - 0$.
- Si le substrat est percé d'un **trou relié à l'extérieur** par un tube capillaire, il s'agit d'un **capteur de pression différentielle** $\Delta P = P_{\text{ext}} - P_{\text{int}} = P_{\text{extérieure au diaphragme}} - P_{\text{extrémité du capillaire}}$
- La partie amincie de la couche supérieure de silicium forme un **diaphragme déformable** selon la contrainte mécanique qui lui est appliquée. Cette déformation en 2D est suivie par **deux jauges de contrainte** intégrées à la membrane dont **les résistances varient proportionnellement à la déformation et donc à la contrainte imposée**. Il s'agit donc à la base de capteurs de forces.

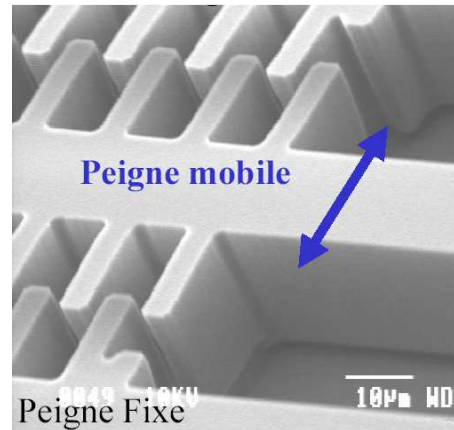
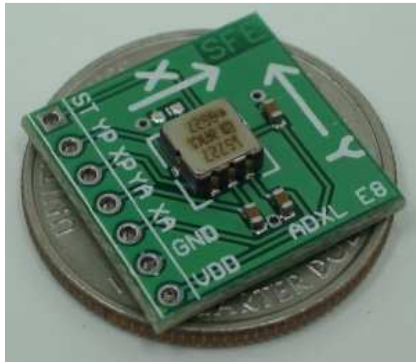
Ex4 : Accéléromètre MEMS pour déclenchement d'airbag

(ou pour Wii, inclinomètre etc.)

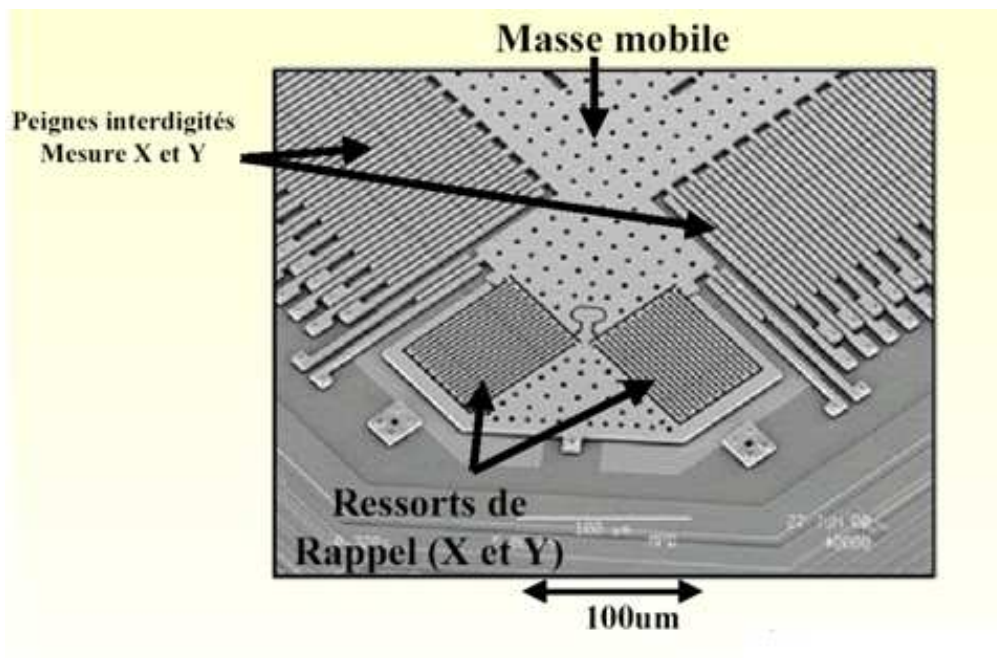
L'accéléromètre est solidaire du châssis du véhicule.

Une étude détaillée du mouvement de la partie mobile du capteur permet d'évaluer l'accélération négative du véhicule.

Son déplacement est suivi par deux capteurs capacitifs en série.



Capteur capacitif du déplacement de la partie mobile de l'accéléromètre



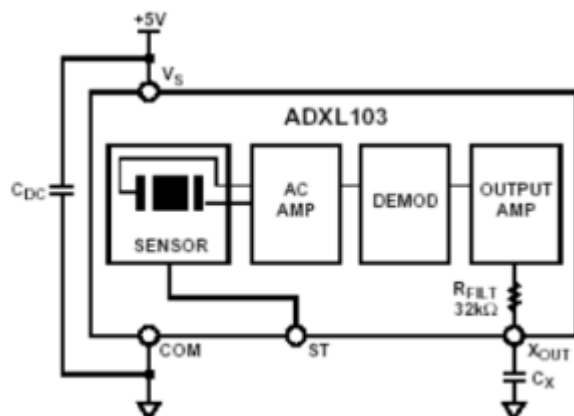
Images : Analog Devices 2002

Les étapes du conditionnement électronique du signal permettent de disposer d'une tension de sortie très simple :

$$V_{out} = S \cdot a + b$$

où a est l'accélération à mesurer !

Le corps d'épreuve est la partie mobile qui reçoit de l'énergie mécanique lors d'un choc déclenchant l'airbag.



1.5- Capteurs dans une boucle de contrôle

- 1- Pédale d'accélération instrumentée, mesure d'angle par capteur de Hall
- 2- Actionneur : moteur de commande de l'angle d'ouverture du papillon de réglage d'admission d'air, incluant un capteur d'angle
- 3 ECU gestion du moteur



Consigne du conducteur : réglage et mesure de l'angle de la pédale,

Le calculateur détermine l'admission d'air optimale puis l'actionneur règle l'ouverture.

Le capteur d'angle du papillon de réglage mesure cet angle qui sert de signal d'erreur pour le contrôle automatique de la régulation

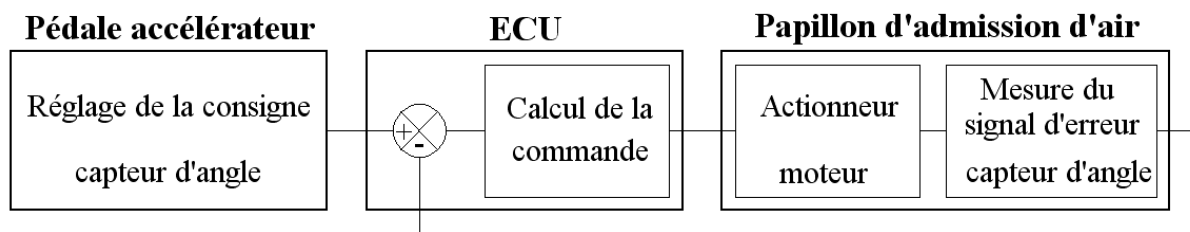
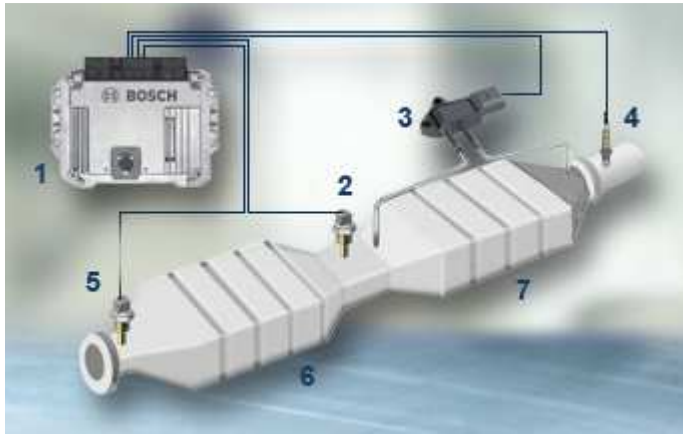


Schéma du contrôle automatique d'admission d'air d'un moteur thermique

1.6- Analyse d'un système de mesure plus avancé : dépollution de gaz d'échappement diesel Bosch

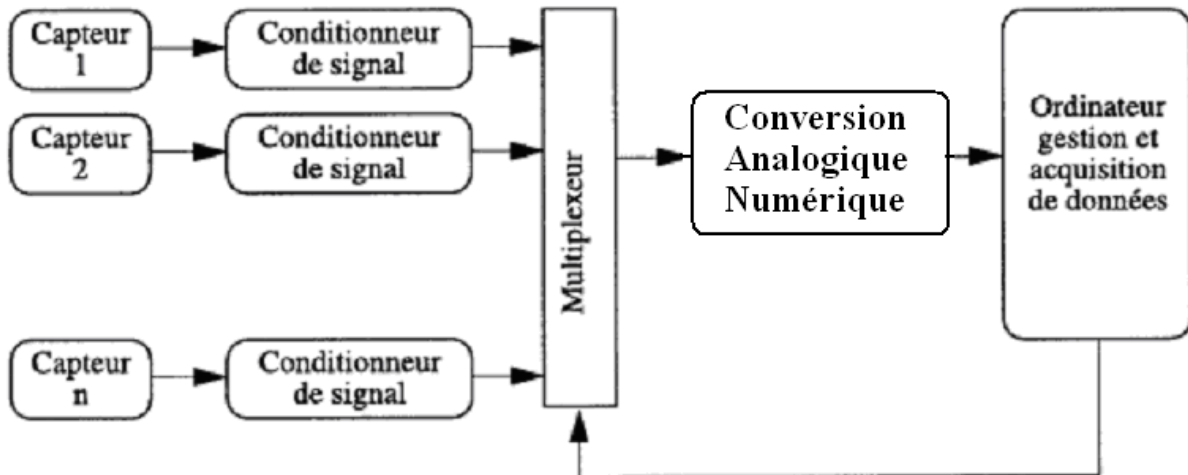


- 1- ECU Electronic Control Unit
- 5- Capteur de température (entrée)
- 6- Convertisseur catalytique des gaz
- 2- Capteur de température (sortie)
- 7- Filtre à particules
- 3- Capteur de pression différentielle
- 4- Capteur de suie (résiduelle)

- 4- vérifie l'efficacité du filtre
- 3- vérifie que le filtre n'est pas obstrué partiellement.
- 1- gère les différentes mesures.

Un dysfonctionnement détecté déclenche un surplus de carburant injecté afin d'élever la température des gaz d'échappement pour faire un cycle de nettoyage du filtre. La température d'entrée du convertisseur doit être suffisante pour que les oxydes d'azote et de soufre soit traités.

Voir vos notes : chaîne de mesures multiples



conditionneur d'un capteur analogiques, tension image, acquisition numérique, multiplexage

Pour information (hors programme du DS)

1.7- Sécurité et contraintes : normes d'utilisation

Utilisé dans milieu industriel, un capteur doit **fonctionner en permanence** et pendant une longue période **sans nécessiter une maintenance importante**.

Il peut être soumis à des pressions, à des vibrations et/ou à des températures extrêmes. Il peut aussi subir une ambiance peu favorable : humidité, corrosion, rayonnement nucléaire...

L'indice de protection (IP) permet d'apprécier la résistance d'un capteur à des agressions solides ou liquides.

Table des indices d'étanchéité aux corps solides et liquides
définis par les normes DIN40050, IEC 529, BS 5490.

Indice	Protection contre la pénétration de corps solides et les contacts avec les parties sous tension	Protection contre la pénétration des liquides
0	Aucune protection	Aucune protection
1	Protection contre les corps solides supérieurs à 50 mm	Protection contre les chutes verticales de gouttes d'eau
2	Protection contre les corps solides supérieurs à 12 mm	Protection contre les chutes d'eau avec une inclinaison de 15° maximum
3	Protection contre les corps solides supérieurs à 2.5 mm	Protection contre les chutes d'eau avec une inclinaison de 60° maximum
4	Protection contre les corps solides supérieurs à 1mm	Protection contre les projections d'eau de toutes directions
5	Protection contre la poussière	Protection contre les jets d'eau de toutes directions à la lance
6	Protection totale contre la poussière	Protection contre les vagues et paquets de mer
7		Protection contre les effets de l'immersion
8		Protection contre les effets de l'immersion prolongée

Les capteurs peuvent aussi avoir une **incidence sur la sécurité des installations industrielles**.

Conformément à la norme IEC 79-10,
les installations en atmosphères dangereuses sont classées par zones en fonction du risque rencontré.

- Zone 0** atmosphère explosible permanente ou de longue durée
- Zone 1** atmosphère explosible absente en fonctionnement normal
- Zone 2** atmosphère explosible absente en fonctionnement normal, mais pouvant être accidentellement présente



Comme tous les autres matériels électriques, l'utilisation des systèmes d'instrumentation dans les atmosphères explosibles est réglementée par la **norme EN 50 014**, qui après une procédure d'évaluation de la conformité réalisée par un organisme notifié (LCIE, INERIS, . . .), impose aux matériels de porter **la marque distinctive "Ex"**.

Cette norme distingue un **mode de protection** désigné par un sigle

sigle	norme	mode de protection
d	EN 50 018	enveloppe antidéflagrante
e	EN 50 019	sécurité augmentée
i	EN 50 020	sécurité intrinsèque (ia, ib, SYST i (EN 50 039))
o	EN 50 015	immersion dans l'huile
p	EN 50 016	surpression interne

Elle distingue **deux groupes de matériel électrique** :

- groupe I matériel électrique destiné aux travaux souterrains des **mines grisouteuses (avec présence de méthane)** ;
- groupe II matériel électrique destiné aux autres lieux que les mines grisouteuses. Il existe trois sous-groupes en fonction de la nature du gaz ambiant : IIA (propane), IIB (éthylène) et IIC (hydrogène). Ces sous-groupes sont classés par ordre croissant de sévérité.

La norme EN 50 014 définit une classe correspondant à la **température maximale de surface** :

T1 450 °C T2 300 °C T3 200 °C T4 135 °C 5 100 °C T6 85 °C

exemple : Ex d II C T4



Ce système considère les appareils électriques de manière trop isolée et ne permet pas d'avoir une vision globale de la sécurité des installations industrielles. Il a donc été **complété par la directive européenne ATEX 94/09/CE du 23 mars 1994**, indiquant une nouvelle approche dans la vérification des exigences essentielles en matière de sécurité, et introduisant **le marquage de conformité européenne "CE"**.