

les capteurs

Définition

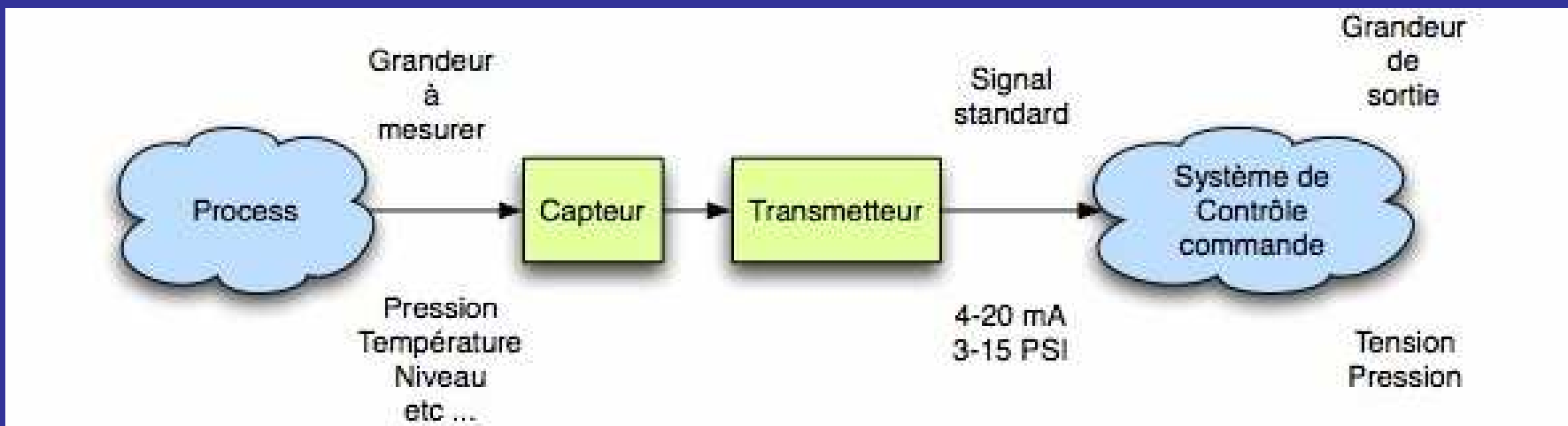
Capteur (Sensor)

Le **capteur** ou **transducteur** de mesure est un dispositif destiné à modifier la forme physique d'informations.

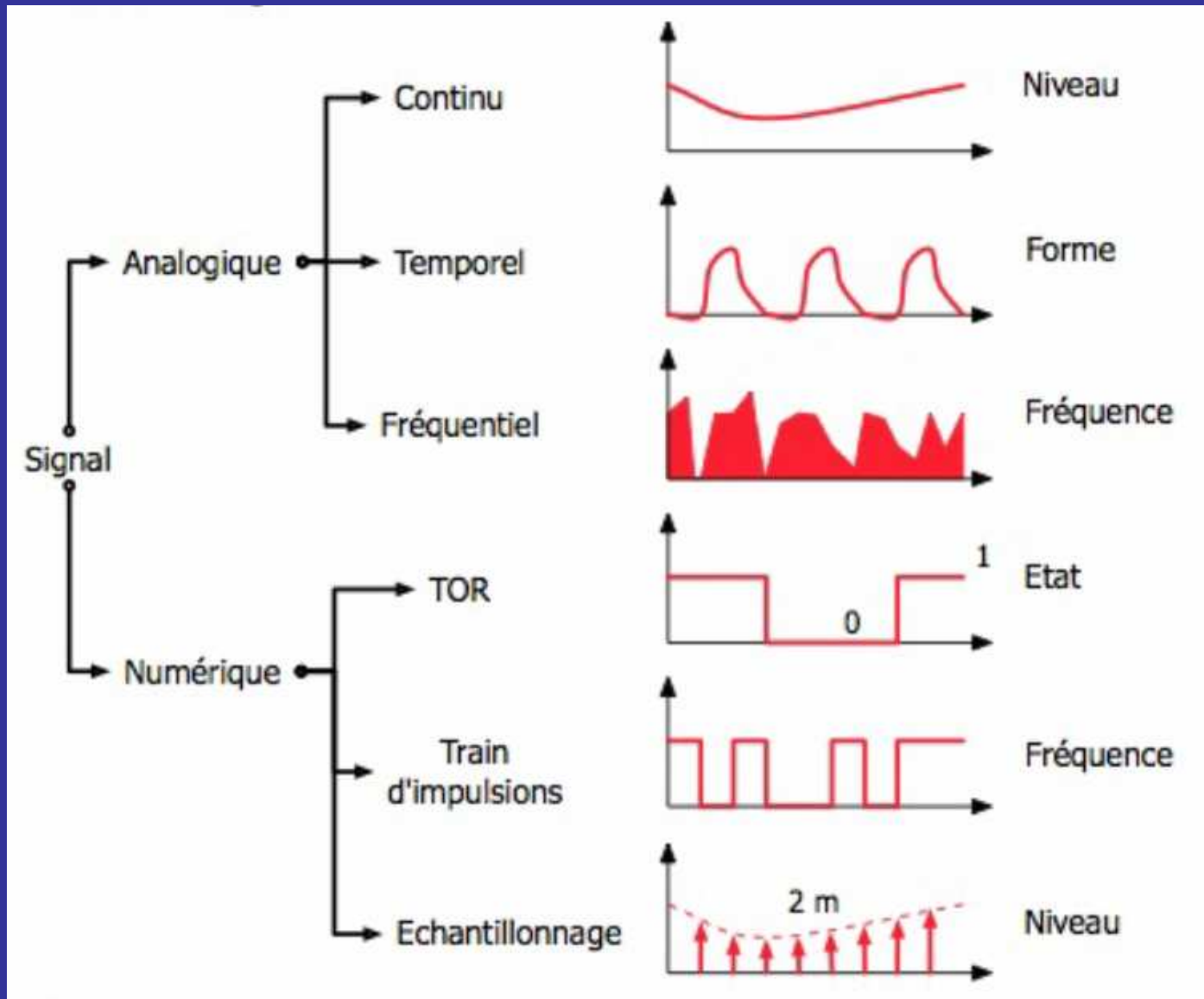
On s'intéressera particulièrement aux capteurs convertissant une **grandeur physique** quelconque en **grandeur électrique**.

Les **progrès de l'électronique** ont provoqué une évolution considérable dans l'acquisition et le traitement de mesures ainsi que dans les dispositifs de commande et de contrôle.

Chaîne d'acquisition



Nature du signal de sortie



Nature du signal de sortie

Analogique :

La grandeur du signal peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné.

L'information est alors **continue** :

- *tension ou intensité,*
- *période ou fréquence*

Numérique :

L'information est binaire à l'origine et prend des valeurs distinctes selon différentes formes :

- **tout ou rien** - *exemple de l'état d'une vanne ouverte ou fermée*
- **train d'impulsions** - *on compte le nombre de train d'impulsions*
- **numérique** - *il s'agit alors d'une grandeur analogique numérisée.*



Chaîne d'acquisition

Transmetteur



Le transmetteur est un dispositif qui convertit le signal de sortie du capteur en un signal de mesure standardisé (0-5 V, 0-10 V ou 4-20 mA). Il fait le lien entre le capteur et le système de contrôle et de commande.

Ces principales fonctions sont :

- L'alimentation du capteur
- La linéarisation du signal
- Le décalage du zéro
- La mise à l'échelle (amplification)

Capteurs actifs

Les **capteurs actifs** produisent un signal de sortie électrique par **conversion directe de l'énergie** fournie par la grandeur d'entrée ou ses variations.

Malgré leur caractère actif, ces capteurs sont souvent associés à des **amplificateurs** électroniques, la puissance prélevée à la mesure, affectée du rendement de conversion, étant en général insuffisante pour assurer le fonctionnement de la chaîne de mesure.

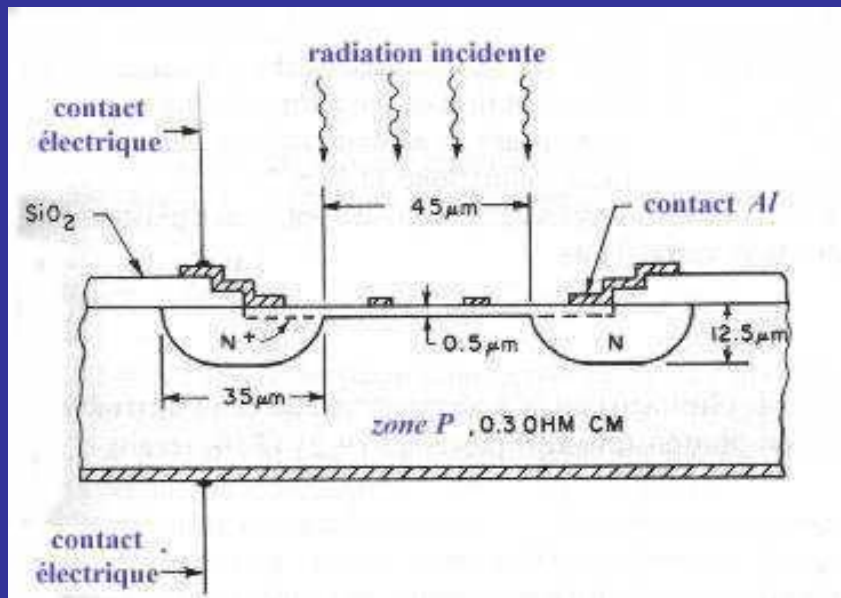
Exemples :

- Capteurs électromagnétiques
- Capteurs thermoélectriques
- Capteurs piézoélectriques
- Capteurs photovoltaïques...

Capteurs actifs

Effets photoélectrique et photovoltaïque :

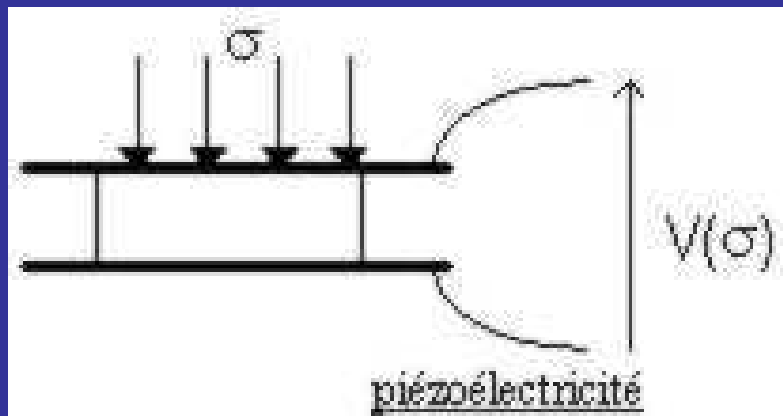
Libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique.



Capteurs actifs

Effet piézo-électrique :

L'application d'une contrainte mécanique σ à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition de charges électriques de signe différent sur les faces opposées. D'où l'apparition de la tension $V(\sigma)$.



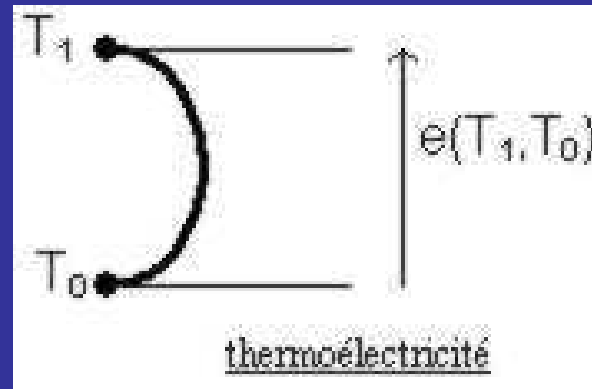
Accéléromètres industriels



Capteurs actifs

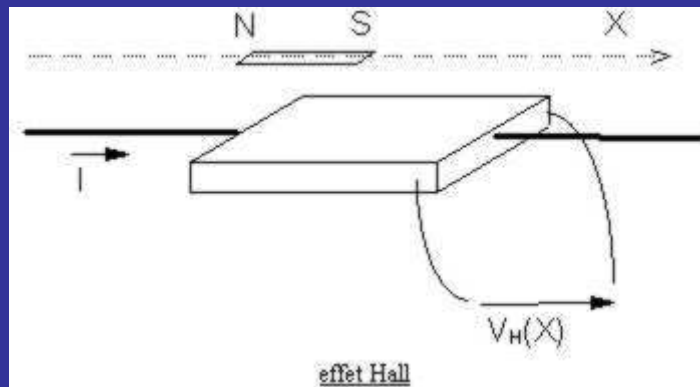
Effet thermoélectrique :

Un circuit formé de deux conducteurs de natures différentes, dont les jonctions sont à des températures T_1 et T_2 , est le siège d'une force électromotrice e .



Effet Hall :

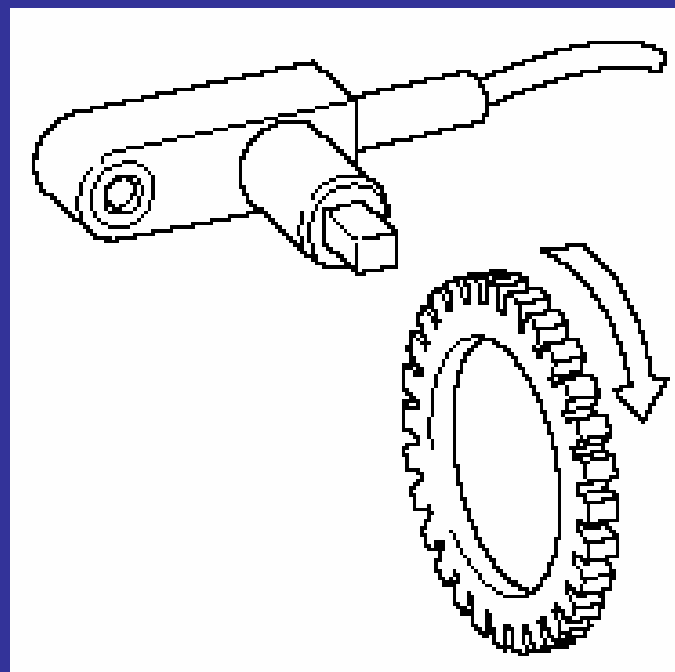
Un champ B et un courant électrique I créent dans le matériau une différence de potentiel U_h .



Effet d'induction électromagnétique :

La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique.

Exemple : Capteurs d'ABS automobile

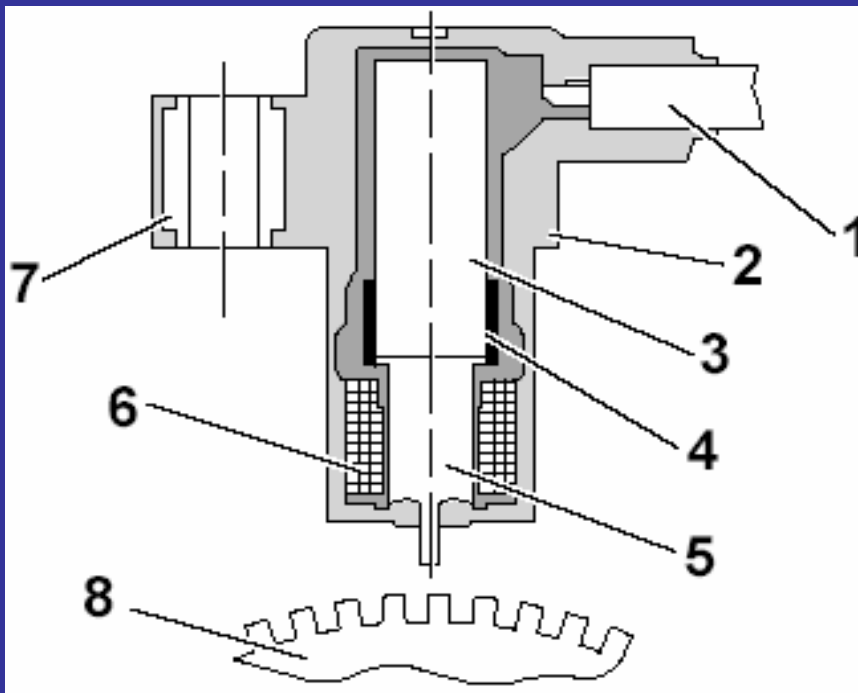


Le seuil minimum de vitesse détectée est de 2,75 km/h

Effet d'induction électromagnétique :

La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique.

Exemple : Capteurs d'ABS automobile



- 1 - Cible électrique.
- 2 - Boîtier.
- 3 - Aimant permanent.
- 4 - Douille.
- 5 - Tige polaire.
- 6 - Bobinage.
- 7 - Fixation.
- 8 - Cible.

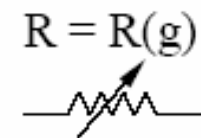
Capteurs passifs

Une **puissance électrique** doit être fournie aux **capteurs passifs** pour assurer leur fonctionnement, soit par un accès auxiliaire, soit par l'accès de sortie électrique.

- Tous les transducteurs à impédance variable font partie de cette catégorie.

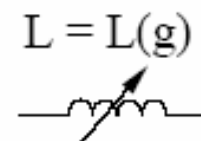
Résistance variable

potentiomètre rotatif ou linéaire
jauges "de contrainte"
thermistances
photorésistance

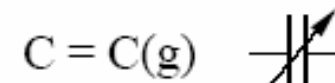


Inductance variable

transformateur différentiel linéaire
capteurs magnétoélastiques



Capacité variable



Exemples des capteurs en compétition automobile : société TEXYS Magny Cours

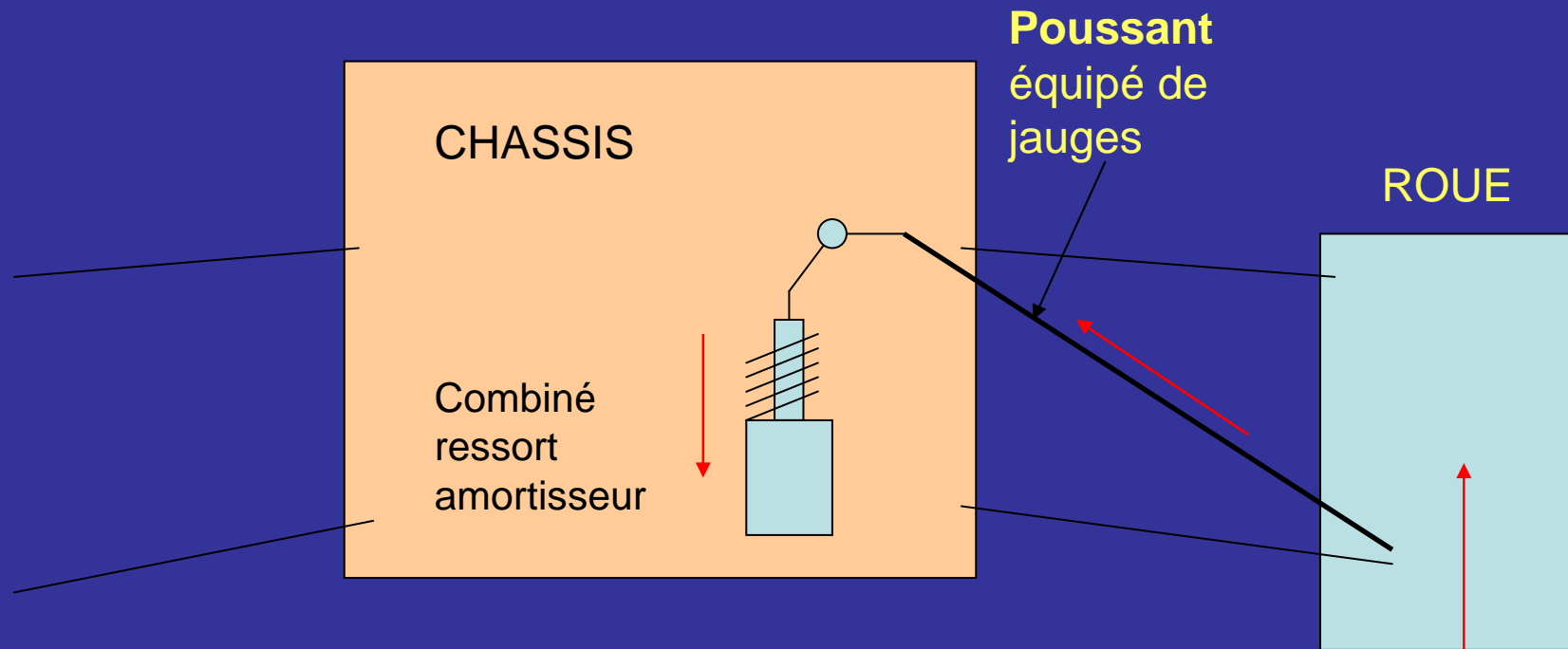
- Température (semiconducteurs, thermocouple, infrarouge)
- Efforts (capteurs d'efforts, collage de jauges)
- Pression d'air, Pitots
- Mouvement (accéléromètres, gyroscopes)

Domaines d'application :

- Compétition :
Formule 1, Le Mans, Rallies
Indy, Nascar, ...
- Industrie :
Renault, PSA, Air Liquide



L'équipement d'un poussant permet la mesure de l'effort vertical à la roue



EFFORTS

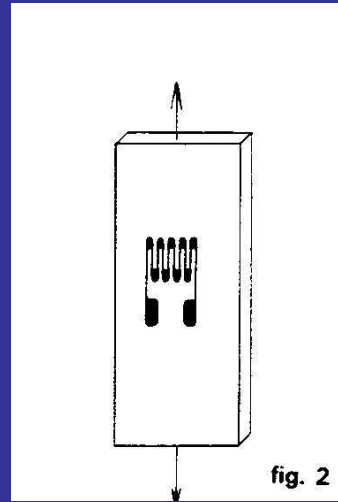
Collage de jauges d'extensométrie

On colle sur la pièce mécanique des timbres où sont imprimées des résistances.

Sous effort, la pièce se déforme et les résistances transforment la déformation en signal électrique amplifié ensuite par un circuit électronique.



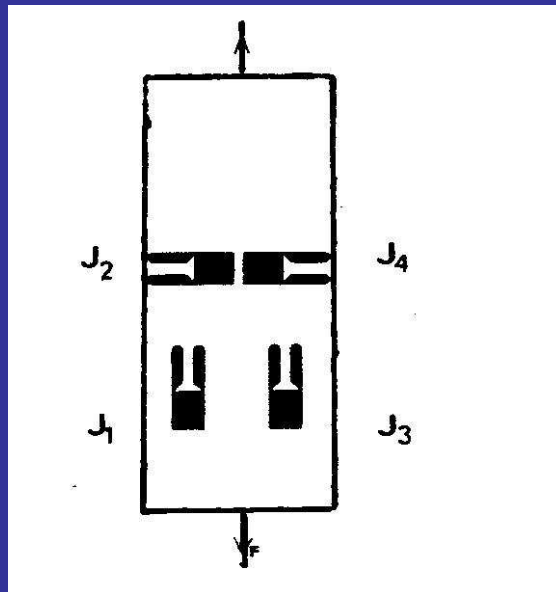
Principe de la jauge



Sous traction, la pièce s'allonge et la résistance de la jauge augmente

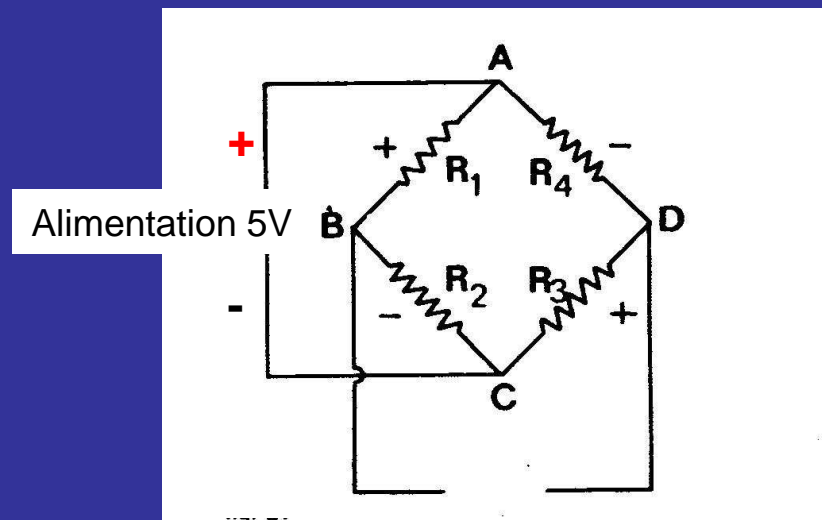
Équipement en pont complet pour mesure d'efforts en traction / compression

Disposition des jauges



Les jauges J2 et J4 soumises au coefficient de poisson ont une déformation 3 fois plus faible que celle de J1 et J3

Connexions électriques



Signal ++
En traction

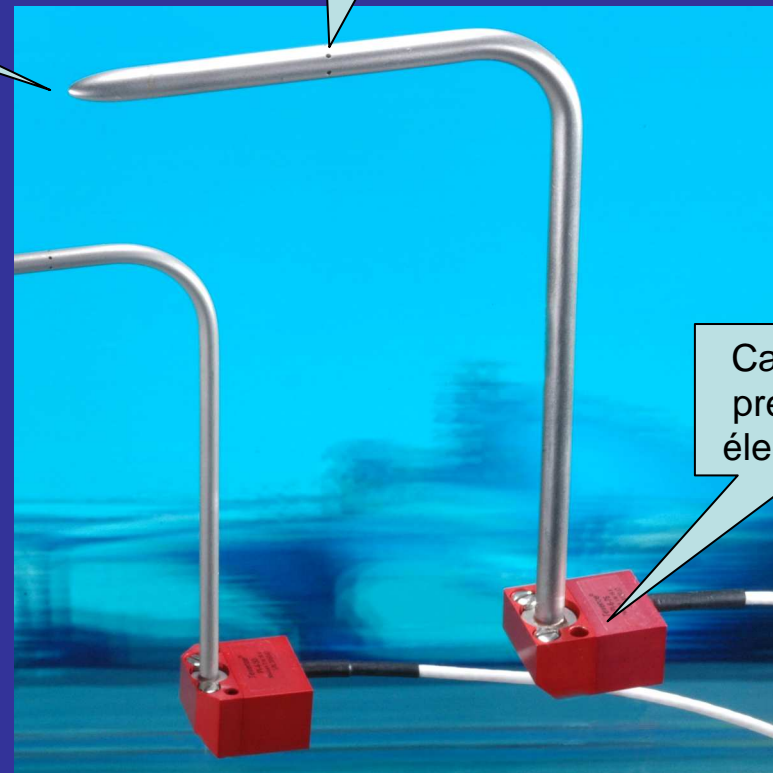
Capteur de pression -Tube de Pitot

Prise de pression totale

Prise de pression statique

Les pressions sont appliquées de chaque côté d'une membrane équipée de Jauges, la déformation dépend de la différence de pression.

Avec un tube de Pitot, on mesure la pression dynamique, c'est la différence entre la pression totale et la pression statique.



Capteur de pression et électronique

Aérodynamique

Pression Pitot = $1/2\rho V^2$

Proportionnelle au carré de la vitesse

Force = Pression x Surface

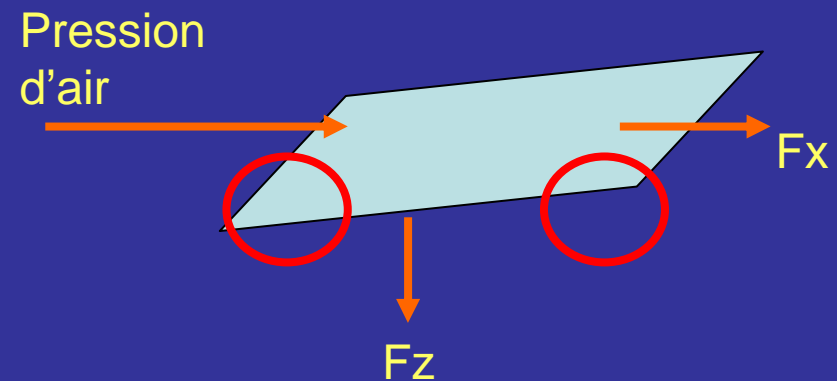
Effort vertical (appui)

$$F_z = P_{\text{Pitot}} \times S \times C_z$$

Effort longitudinal (traînée)

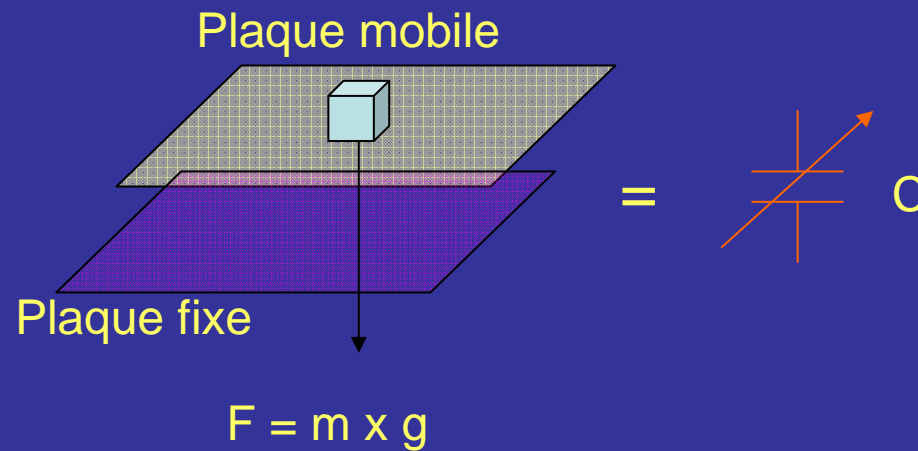
$$F_x = P_{\text{Pitot}} \times S \times C_x$$

Finesse = appui / traînée



Accéléromètres

L'accéléromètre capacitif est un condensateur formé de 2 plaques, l'une mobile lestée d'une masse et l'autre fixe. L'accélération crée un effort sur la plaque mobile qui se déplace et modifie la valeur du condensateur.



Un circuit électronique convertit la variation de la capacité en tension



On peut disposer 3 accéléromètres (ou un accéléromètre triaxial) dans une voiture pour :

Accélération longitudinale X : Freinage et accélération

Exemple : transfert de masse vers l'avant au freinage

Accélération latérale Y : Roulis, performance en courbe

Exemple : détection de sous virage ou survirage en comparant l'inverse du rayon de courbure ($1/R = g / V^2$) et l'angle volant.

Accélération verticale Z : Mouvements de suspension

On peut aussi mettre deux accéléromètres latéraux, un à l'avant et un à l'arrière pour mesurer le **lacet**, mais on préférera l'emploi d'un **gyroscope**

On peut aussi mettre deux accéléromètres verticaux, un sur un moyeu de roue et un sur le châssis pour étudier **l'amortissement**.

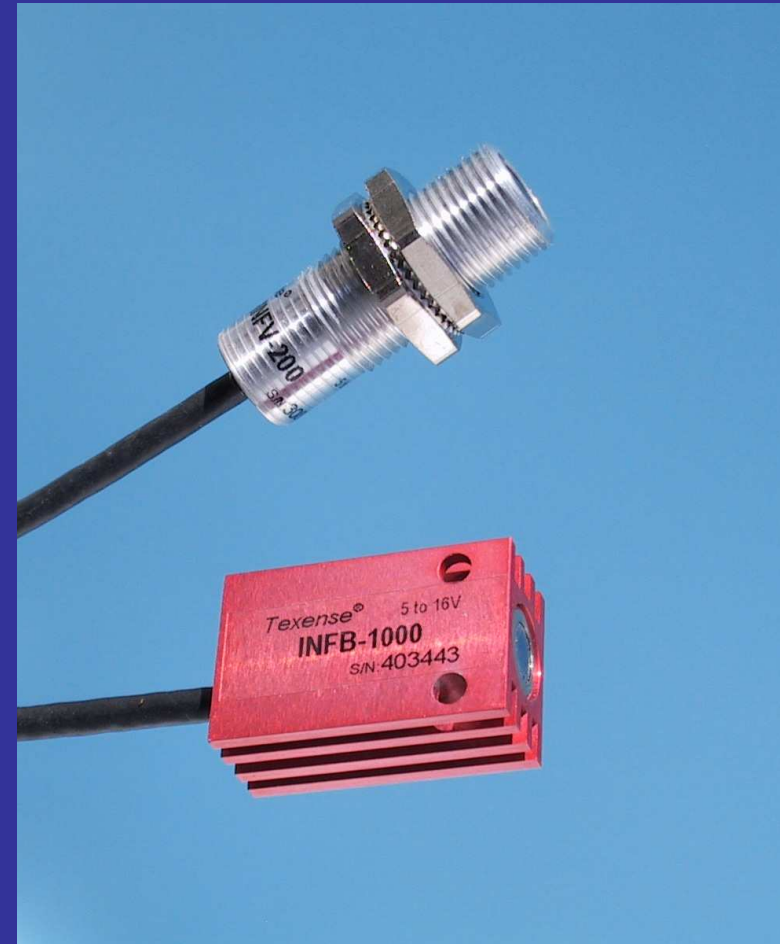
Capteurs de température infrarouge

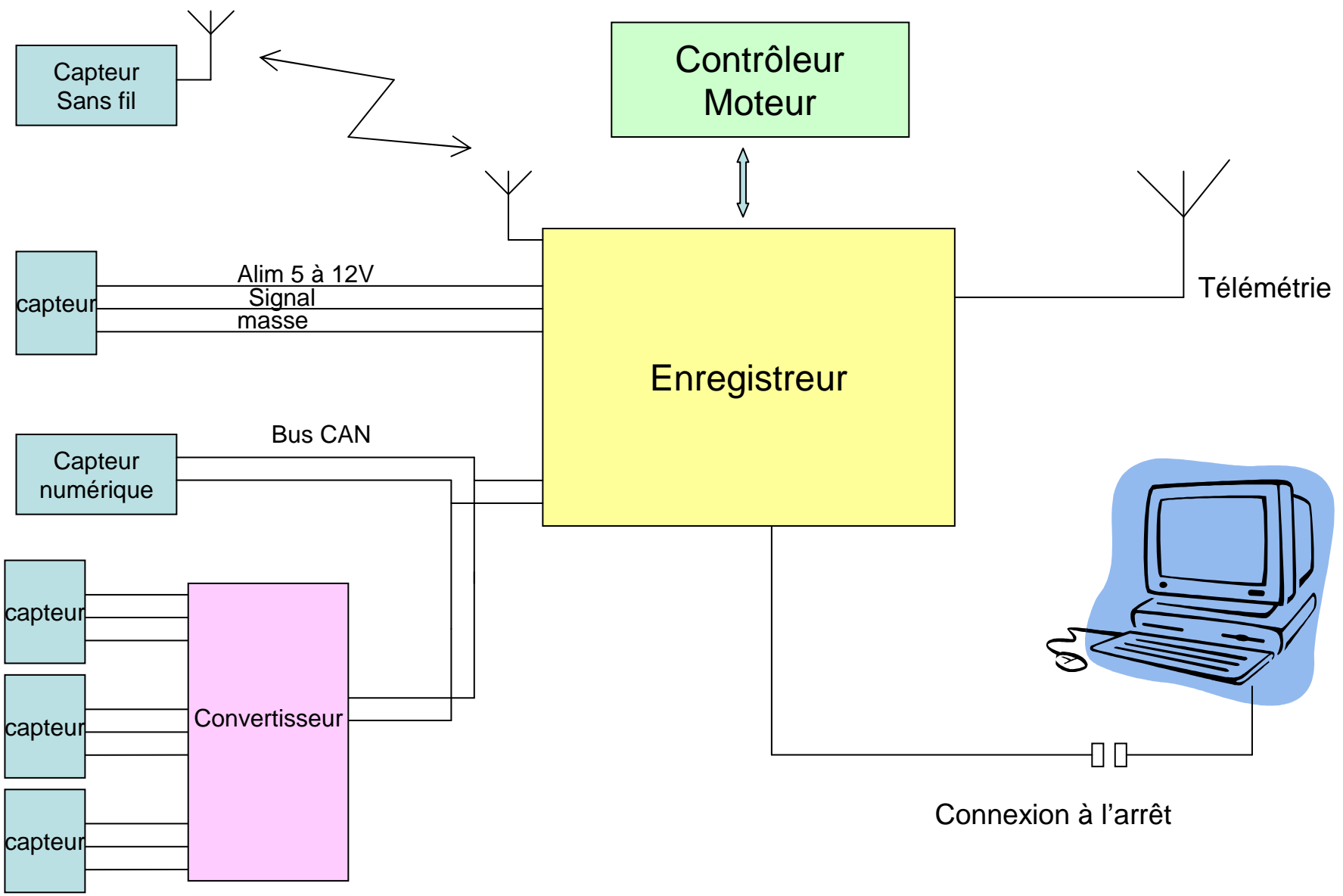
Tout corps émet un rayonnement infrarouge qui dépend de sa température.

Le rayonnement est concentré par une lentille sur un récepteur de très faible masse de type thermocouple. En mesurant l'échauffement de ce récepteur, on peut calculer la température du corps.

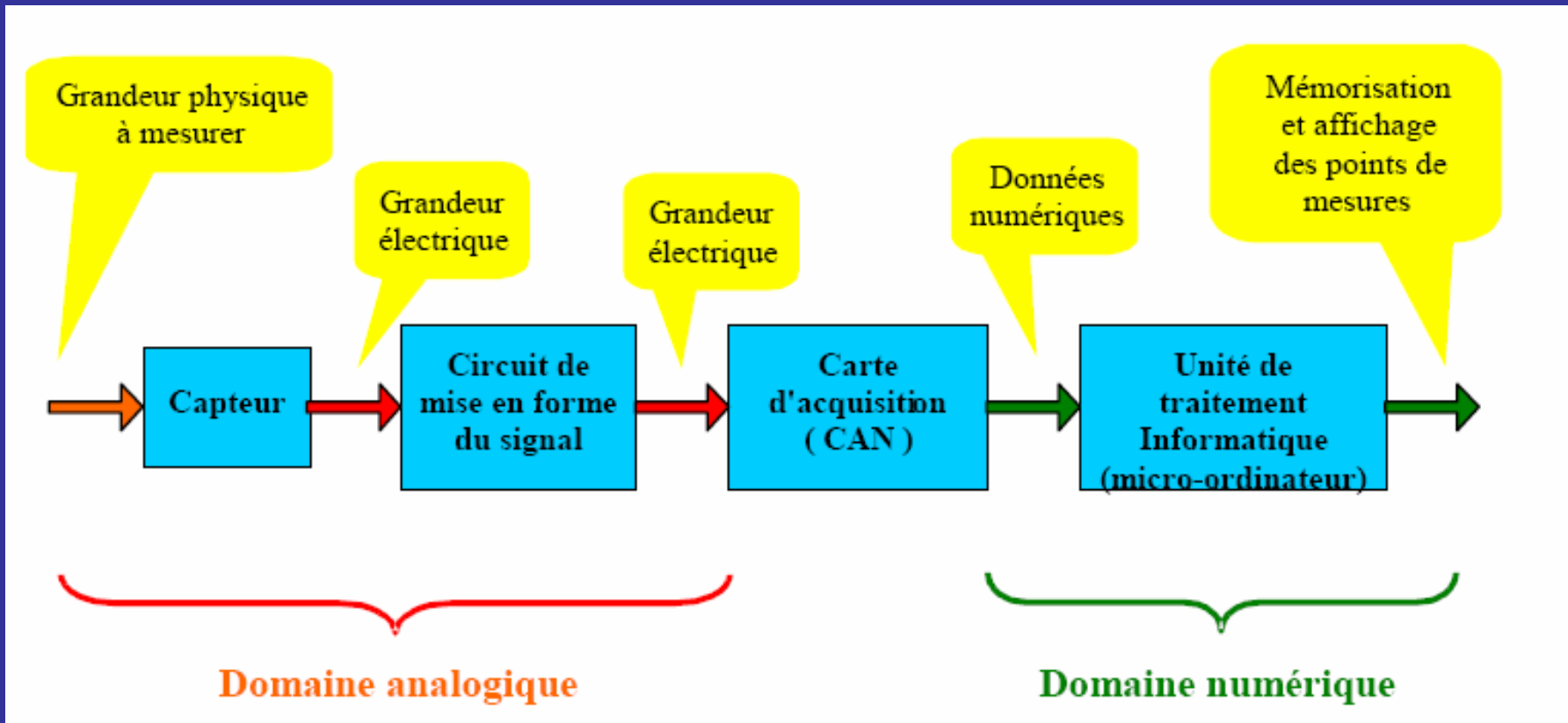
Ces capteurs sont utilisés pour :

- Température de **freins** : jusqu'à **1200°**
- Température de **pneus** ; jusqu'à **200°**





Chaîne d'acquisition numérique



Chaîne d'acquisition numérique

La structure de base d'une chaîne de mesure comprend au minimum quatre étages :

1) Capteur

2) Conditionneur de signal
amplification du signal + un filtre

3) Unité de numérisation

qui va échantillonner le signal à intervalles réguliers et affecter un nombre (image de la tension) à chaque point d'échantillonnage.

4) Unité de traitement informatique

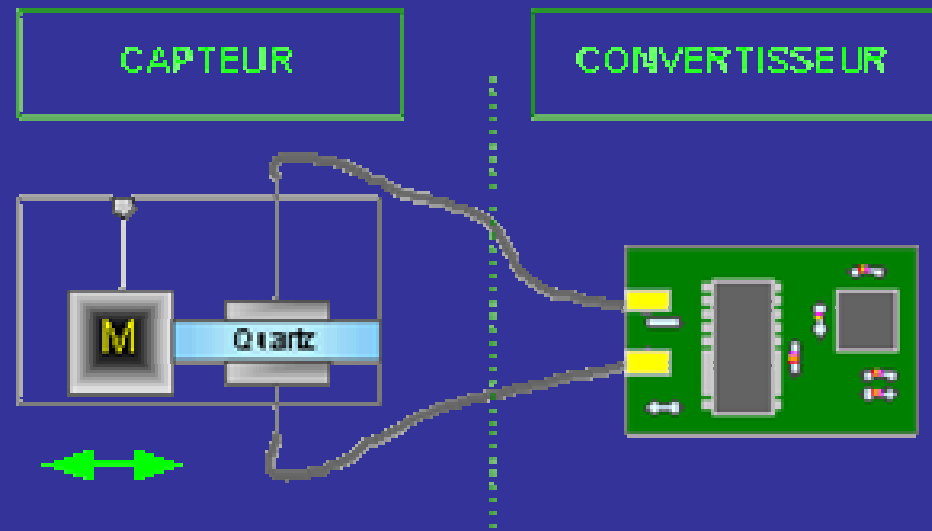
exploite les mesures qui sont maintenant une suite de nombres (enregistrement, affichage de courbes, traitements Mathématiques, transmissions des données).

Capteurs intégrés

Un tel capteur intègre sur le même substrat de silicium (donc dans un seul composant électronique) :

- le capteur
- le conditionnement du signal (le transmetteur)

Ci contre un déclencheur d'airbag à effet piézo



Ce principe réduit l'encombrement de la chaîne de mesure, facilite la mise en œuvre du capteur et favorise la normalisation des capteurs.

Capteurs intelligents

Avec le développement de la technologie LSI (large scale integration) et VLSI (very large scale integration), les capteurs peuvent être intégrés aux circuits de traitement du signal sur la même puce, pour réaliser l'ensemble des fonctions. On les appelle « capteurs intelligents ».

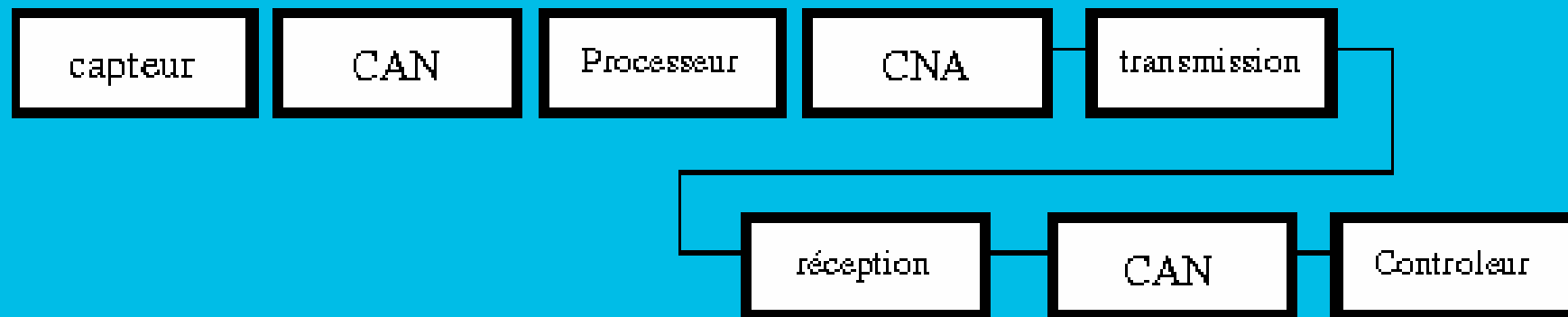


figure (c)

Capteurs intelligents

Il intègre :

- le capteur
- une conversion analogique numérique
- la chaîne de mesure et de traitement numérique du signal pilotée par un microprocesseur
- une mémoire
- une interface de communication numérique standardisée avec un ordinateur ou un calculateur via un bus partagé entre plusieurs capteurs intelligents.

Capteurs intelligents

fonctions supplémentaires

- amélioration du rapport signal/bruit ;
- prétraitement du signal, traitement du signal, tel que codage et modulation des signaux de sortie, moyennage redondance pour acquérir le même signal avec plusieurs capteurs, alarmes intégrées pour signaler des défauts de fonctionnement des capteurs ;
- logique et décision ;

Caractéristiques métrologiques

Les erreurs

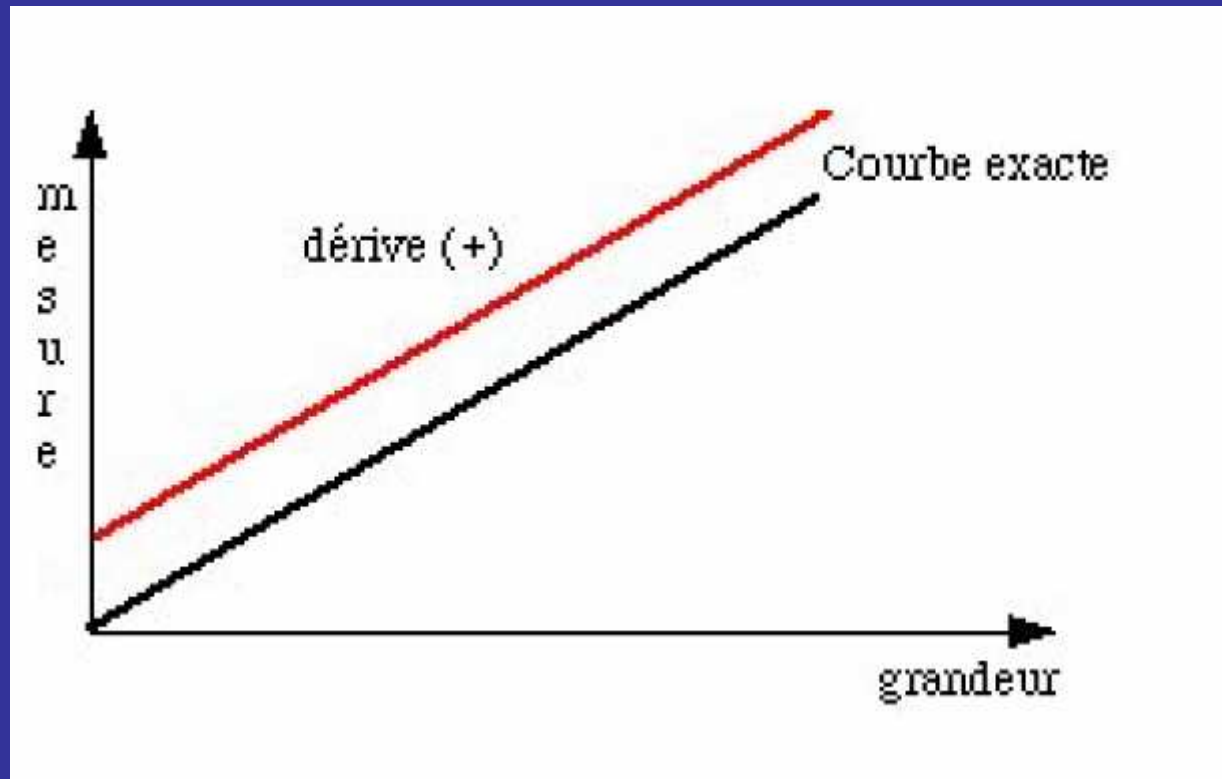
Le capteur et toute la chaîne de traitement de la mesure introduisent des erreurs : bruit, décalage, référence, linéarité...

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.

Erreurs

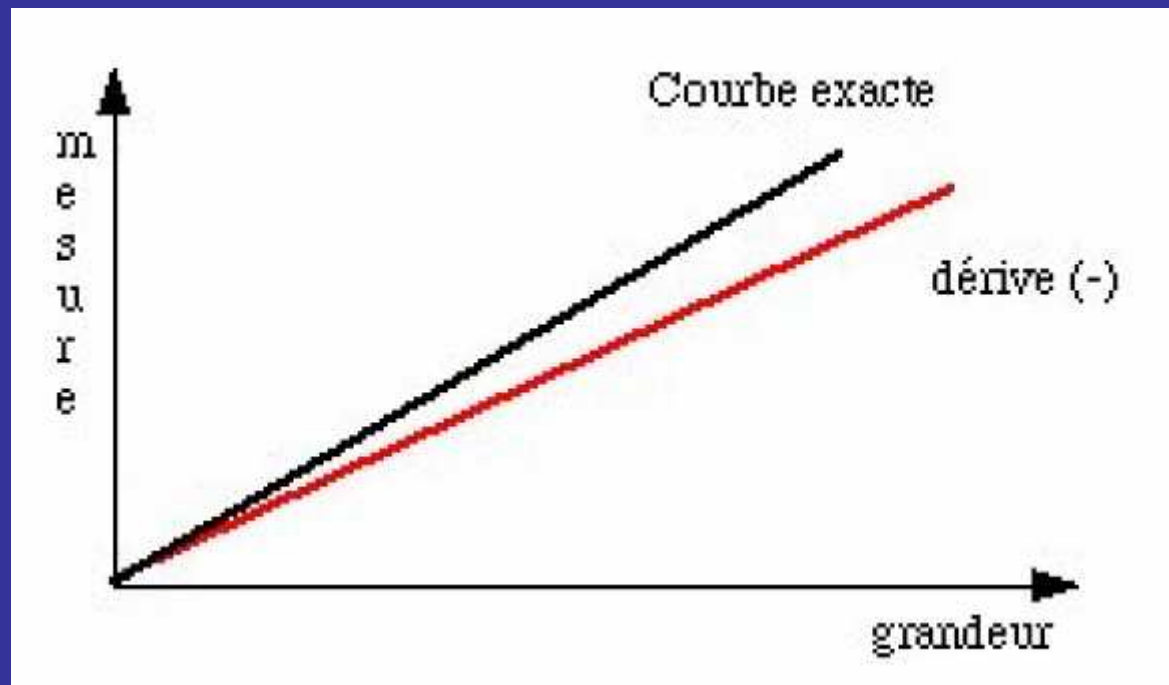
L'erreur de zéro (offset)



Erreurs

L'erreur d'échelle (gain)

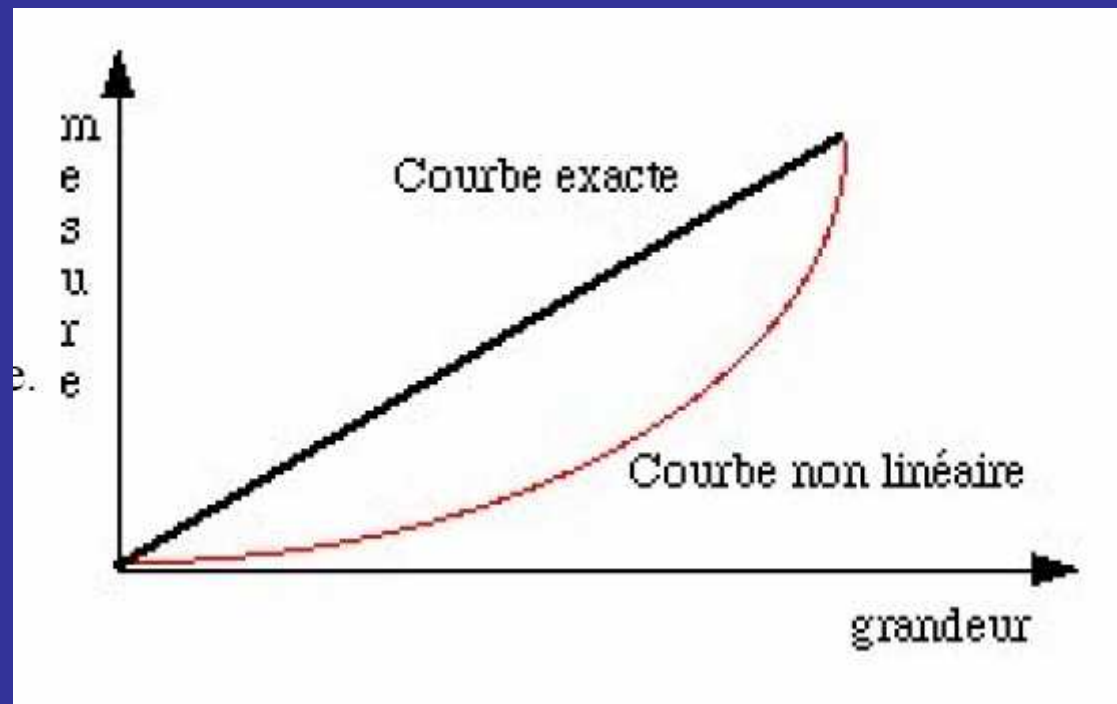
C'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée.



Erreurs

L'erreur de linéarité

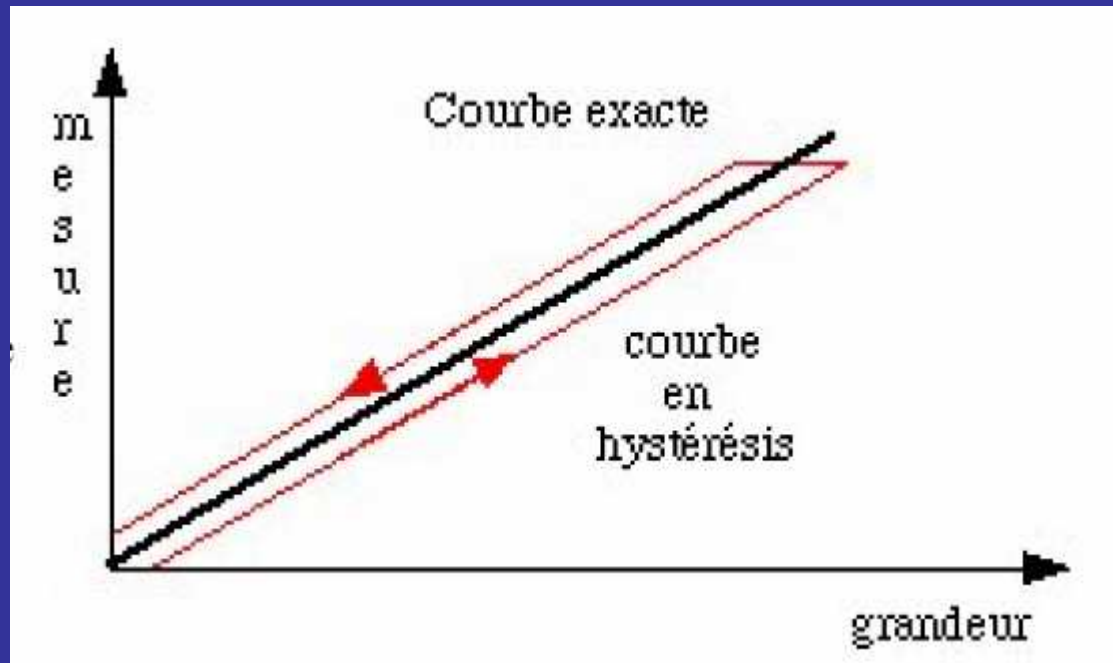
La caractéristique n'est pas une droite.



Erreurs

L'erreur due au phénomène d'hystérésis

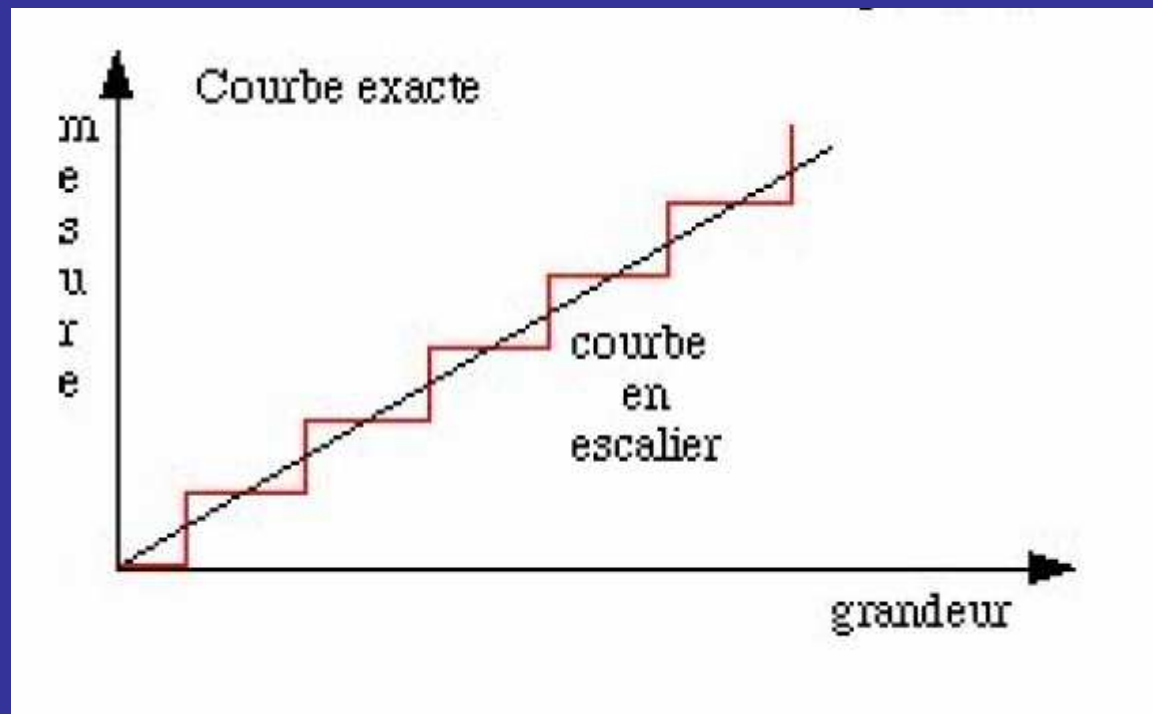
Il y a phénomène d'hystérésis lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente mesure.



Erreurs

L'erreur de quantification

La caractéristique est en escalier, cette erreur est souvent due à une numérisation du signal.



Caractéristiques métrologiques

Étalonnage

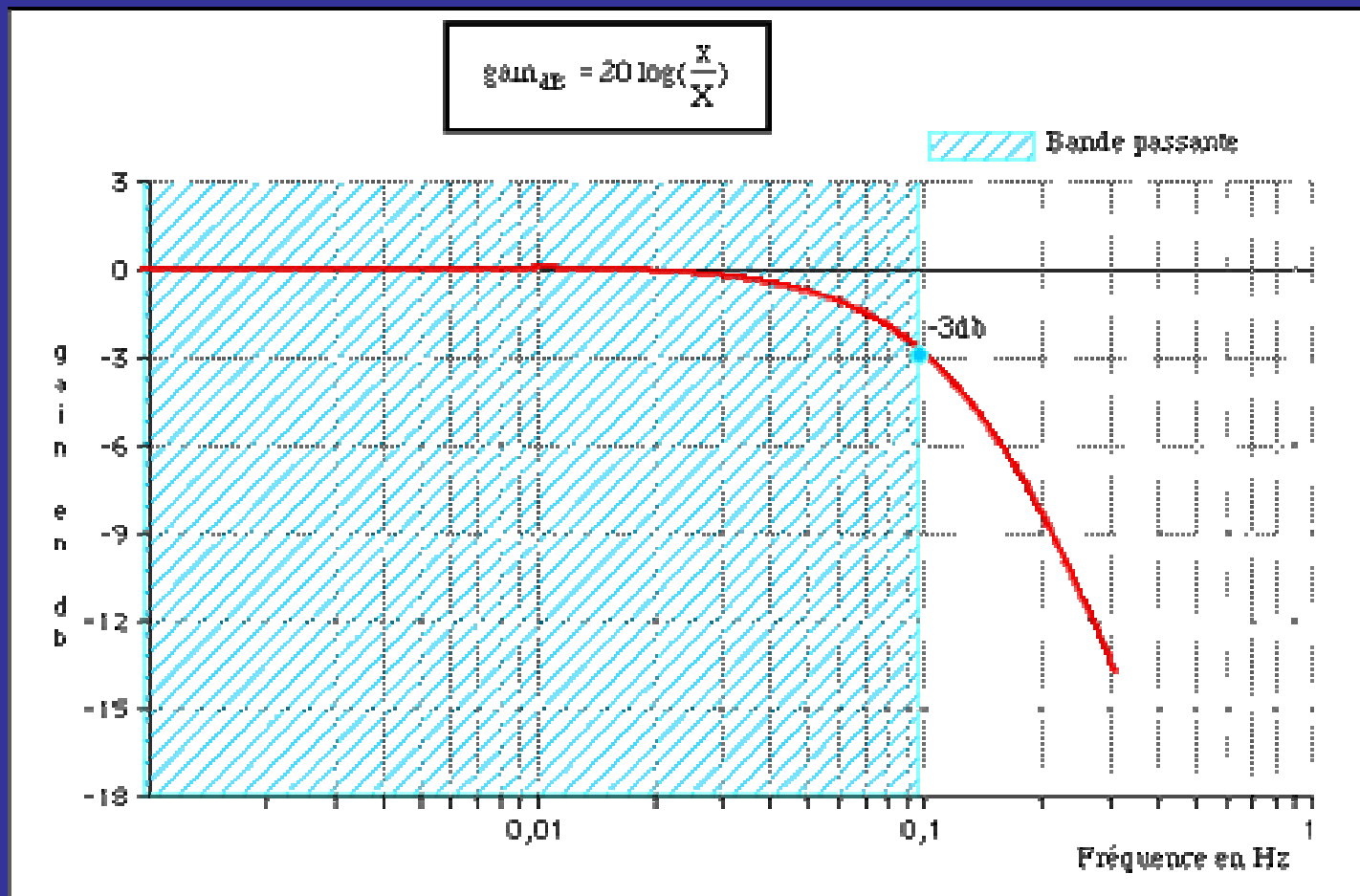
L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique ou algébrique, la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie.

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.

Caractéristiques dynamiques

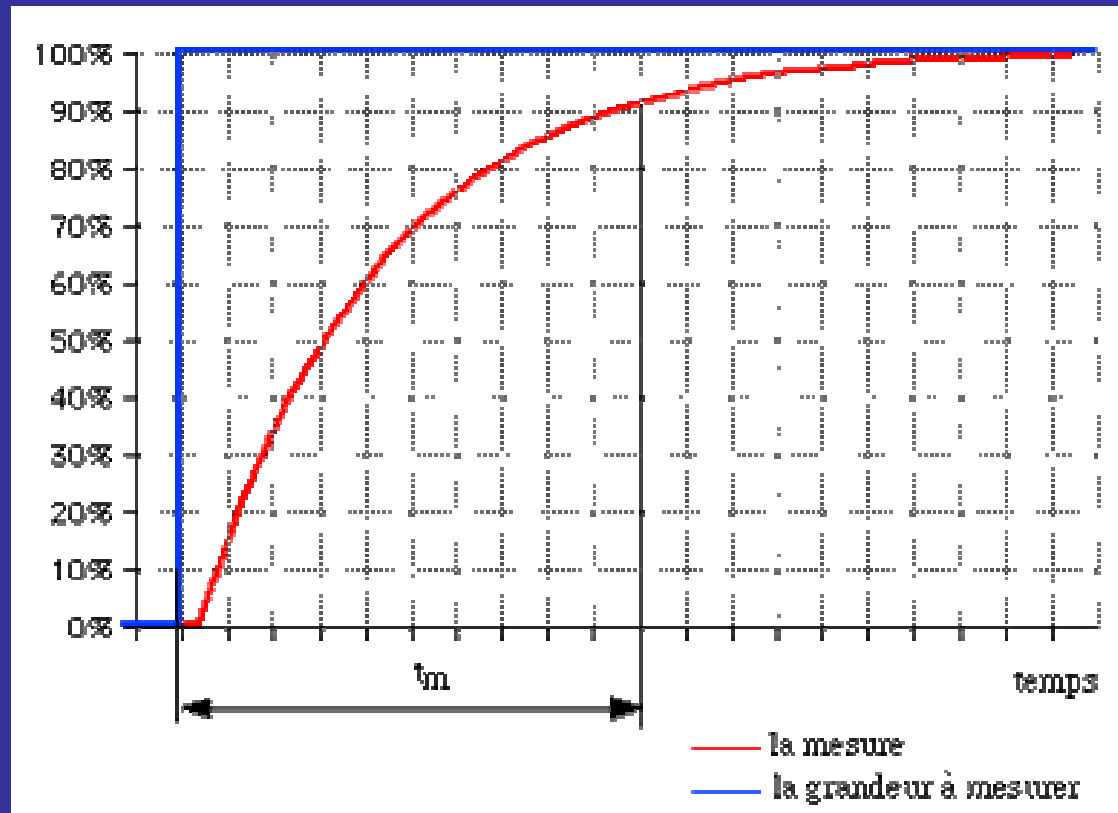
Exemple de limite : Bande passante



Caractéristiques métrologiques

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.



Caractéristiques métrologiques

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.

Transmission de signaux électriques

Transmission par conducteurs

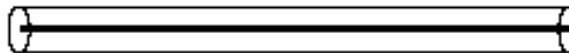
Ligne bifilaire de conducteurs côte à côte



Ligne torsadée (paire téléphonique)



Ligne coaxiale



Ligne torsadée blindée



Transmission par rayonnement électromagnétique

Transmission à grande distance (onde porteuse à haute fréquence modulée)

Transmission à courte distance (capteurs sur pièces mobiles, applications médicales)

Transmission par fibres optiques

Fibres à saut d'indice



Fibres à gradient d'indice