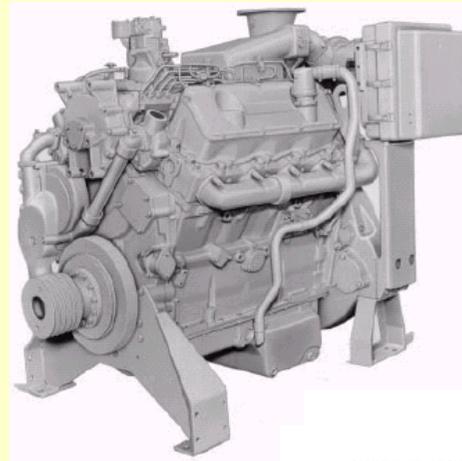


Capteurs en instrumentation automobile



Sommaire

Partie 1 – Généralités rappels

1 – Définitions

1.1 – Générales

1.2 – Chaîne de mesure

2 – Caractéristiques du capteur

2.1 – Caractéristiques fonctionnelles

2.2 – Caractéristiques statiques des capteurs

2.3 – Caractéristiques dynamiques

2.4 – Choix des transducteurs

Partie 2 – Instrumentation en automobile

1 – Classification

2 – Critères spécifiques à l'automobile

3 – Capteurs en automobile

3.1 – Capteurs de température

3.2 – Capteurs de pression

3.3 – Débitmètres

3.4 – Capteurs de gaz

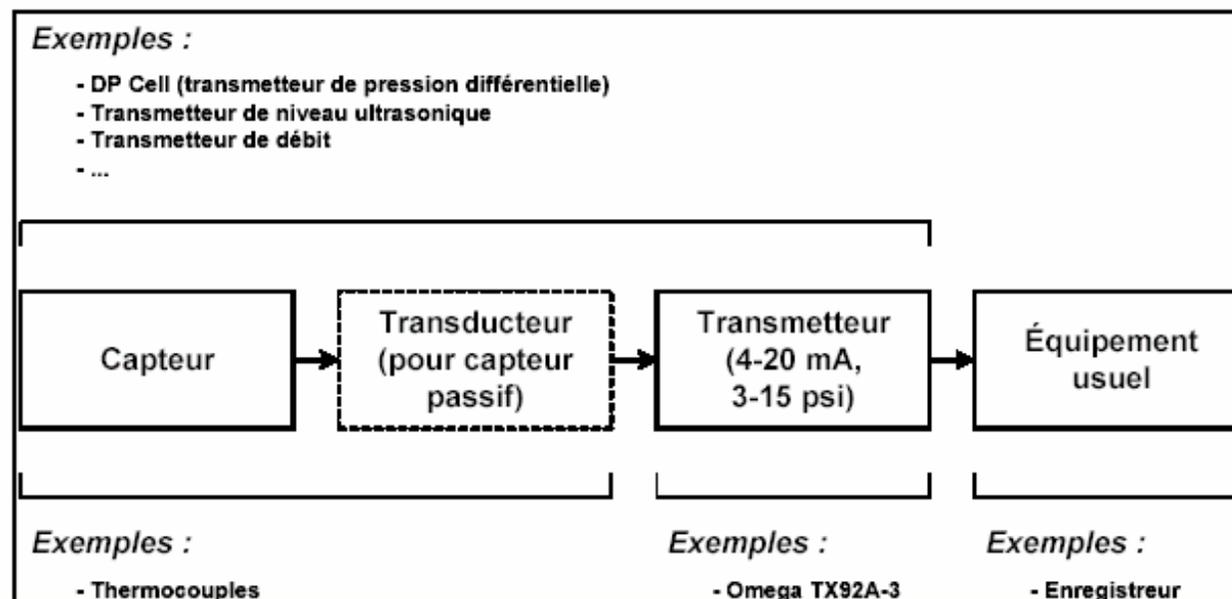
Partie 1 – Généralités rappels

1. Définitions

1.1 Générales

1. **Grandeur** : Phénomène quantifiable.
2. **Mesurande** : Grandeur qui fait l'objet de la mesure.
3. **Variable** : Synonyme de **mesurande**, utilisé en industrie (**variable de procédé**).
4. **Signal** : Grandeur mesurable, en général pneumatique ou électrique, représentant une **grandeur physique** à mesurer.
5. **Transducteur** : Dispositif qui transforme une forme d'énergie en une autre.

1.2 Chaîne de mesure



1. Élément primaire :

Élément sensible en contact avec le procédé et affecté par la grandeur physique à mesurer

Capteur actif : génère un signal électrique de façon directe, sans l'aide d'une énergie extérieure.

Capteur passif : subit une variation d'une propriété physique et génère un signal électrique de façon indirecte, avec l'aide d'une énergie extérieure

2. Élément secondaire ou de mesure :

Transducteur qui transforme le signal émis par le capteur en une indication locale plus ou moins soignée

3. Transmetteur :

Élément secondaire (éléments électroniques) qui transmet un signal normalisé après conditionnement et amplification.

Capteurs actifs

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Pyroélectricité Photoémission Effet photovoltaïque	Charge Courant Tension
Force de pression Accélération	Piezoélectricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension

Capteurs passifs

Mesurande agit sur :

- géométrie
- propriétés électriques

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Résistivité	Métaux : Pt, Ni, Cu Semi conducteurs
Basse température	Constante diélectrique	Verres
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité magnét.	Alliages Ni Si Alliages ferromag.
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnétores. : Bi Antimoniure d'Indium
Humidité	Résistivité Constante diélectrique	LiCl Alumine, polymères
Niveaux	Constante diélectrique	Liquides isolants

2. Caractéristiques des instruments de mesure

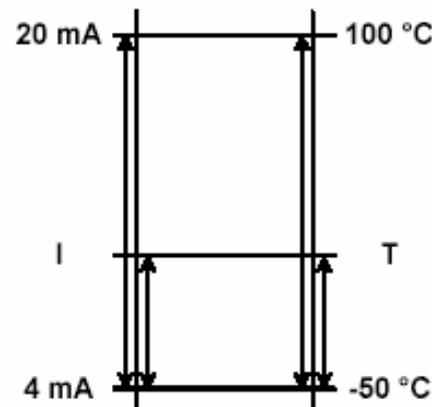
2.1 Caractéristiques fonctionnelles

1. **Gamme de mesure (Étendue de mesure pour certains auteurs) (« Range »)** : Intervalle compris entre les deux valeurs extrêmes de la grandeur mesurée, la **portée minimale** et la **portée maximale**.
 - Exemple : 0 à 80 m³/h, -10 °C à 60 °C, 20 cm à 80 cm.
 - Gamme (Étendue) de mesure à zéro surélevé : La valeur zéro est supérieure à la portée minimale (-10 °C à 60 °C).
 - Gamme (Étendue) de mesure à zéro supprimé : La valeur zéro est inférieure à la portée minimale (20 cm à 80 cm).
 - Zéro vivant : La portée minimale d'un signal standard (4 mA pour du 4-20 mA, 3 psi pour du 3-15 psi).
2. **Étendue de mesure (Étendue d'échelle pour certains auteurs) (« Span »)** : portée maximale - portée minimale.
 - Exemple : (80 – 0) m³/h = 80 m³/h, 60 – (-10) °C = 70 °C, (80 – 20) cm = 60 cm.
3. **Sensibilité (« Sensitivity »)** : Rapport entre la variation du signal de sortie et la variation du signal d'entrée. Si les unités d'ingénierie du signal de sortie sont identiques à celles du signal d'entrée, on parlera du **gain** plutôt que de la **sensibilité** du dispositif.
 - $S = \Delta\text{Sortie}/\Delta\text{Entrée} = ds/de$
4. **Résolution** : La plus faible variation du signal qui peut être mise en évidence.
 - Exemple : Un convertisseur N/A de 10 bits dont l'étendue d'échelle est de 2000 °C a une résolution de $(2000\text{ °C}/(2^{10} - 1)) = (2000\text{ °C}/1023) = 1.96\text{ °C}$.

5. **Rangeabilité (« Turn Down »)** : Rapport entre les valeurs minimale et maximale assurant une précision donnée de la mesure.
- **Exemple** : Un instrument possède une précision $\pm 2\%$ dans la plage de **10% à 100%** de l'étendue de mesure et une précision $\pm 1\%$ dans la plage de **20% à 100%** de l'étendue de mesure. Les rapports **10 : 1 (100/10)** et **5 : 1 (100/20)** s'appellent la **rangeabilité** pour une précision de $\pm 2\%$ et de $\pm 1\%$ respectivement.
6. **Fonction de transfert linéaire** :
- $y = mx + b$ où $m = S = ds/de$

7. **Calcul de mise à l'échelle pour trouver la fonction de transfert :**

Transmetteur de température 4-20 mA



$$\frac{I - 4mA}{20mA - 4mA} = \frac{T - (-50^{\circ}C)}{100^{\circ}C - (-50^{\circ}C)}$$

$$I - 4mA = 16mA \left(\frac{T + 50^{\circ}C}{150^{\circ}C} \right)$$

$$I = \left(\frac{16mA}{150^{\circ}C} \right) T + \left(\frac{16mA}{150^{\circ}C} \right) 50^{\circ}C + 4mA$$

$$\boxed{I = (0.107mA/^{\circ}C)T + 9.33mA}$$

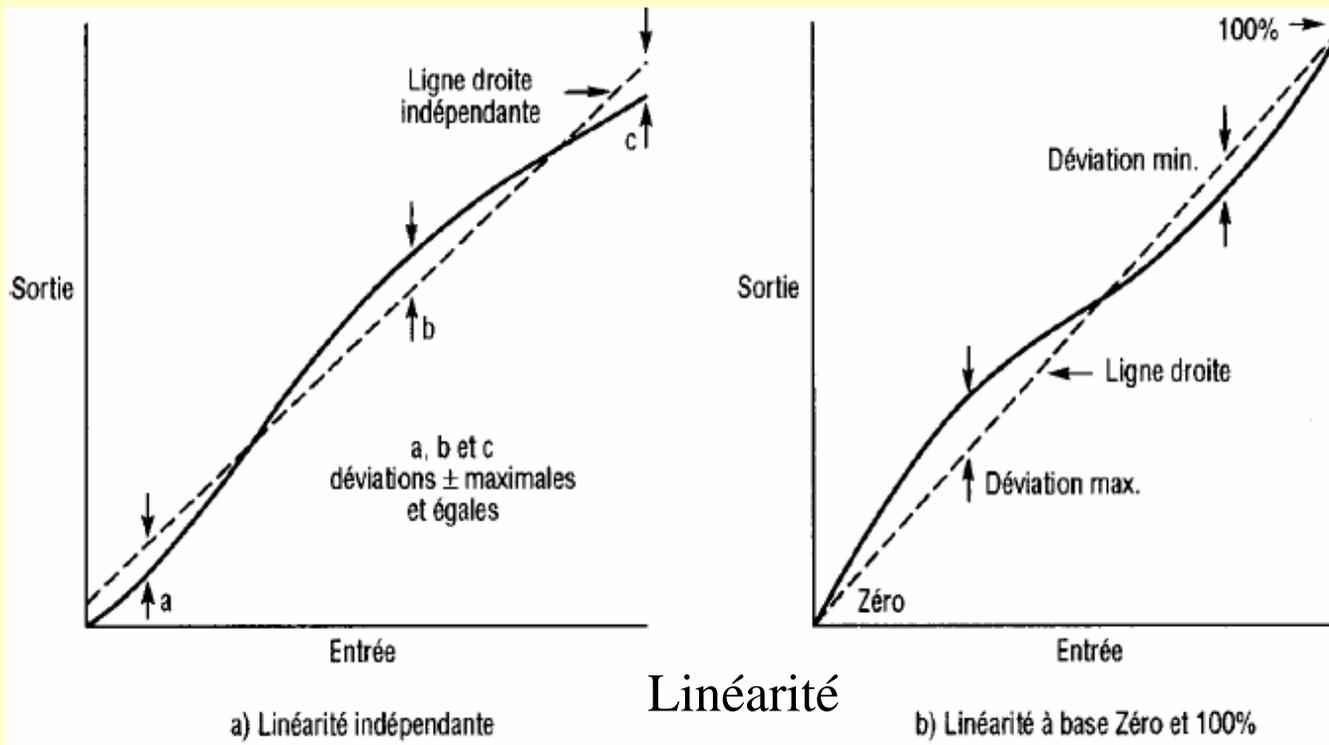
2.2 Caractéristiques statiques de performance

2.2.1 Types d'erreurs

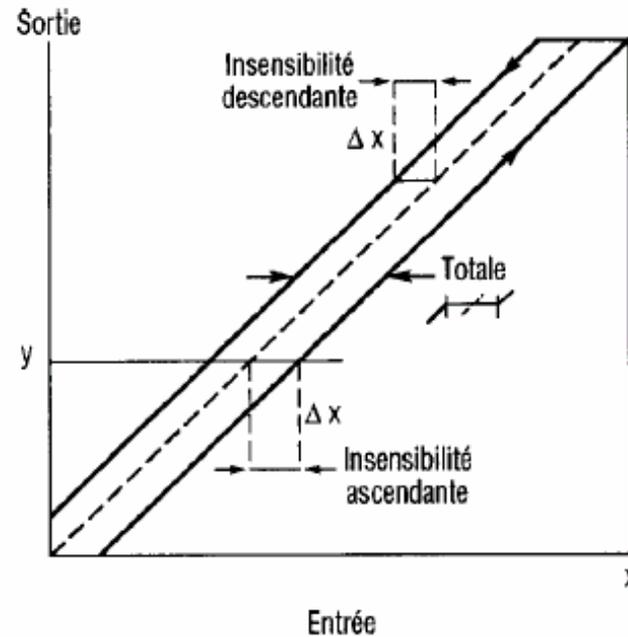
1. **Erreurs systématiques :**
 - Dues aux imperfections de l'appareil.
 - Constantes en grandeur et en signe.
 - Peuvent être éliminées par un étalonnage fréquent.
2. **Erreurs fortuites :**
 - Dues à l'insuffisance des qualités mécaniques de l'appareil et à l'imperfection des qualités sensorielles de l'expérimentateur.
 - Aléatoires en grandeur et en signe.
 - Peuvent être éliminées partiellement en faisant la moyenne des résultats observés sur plusieurs expériences.

2.2.2 Erreurs de précision intrinsèques

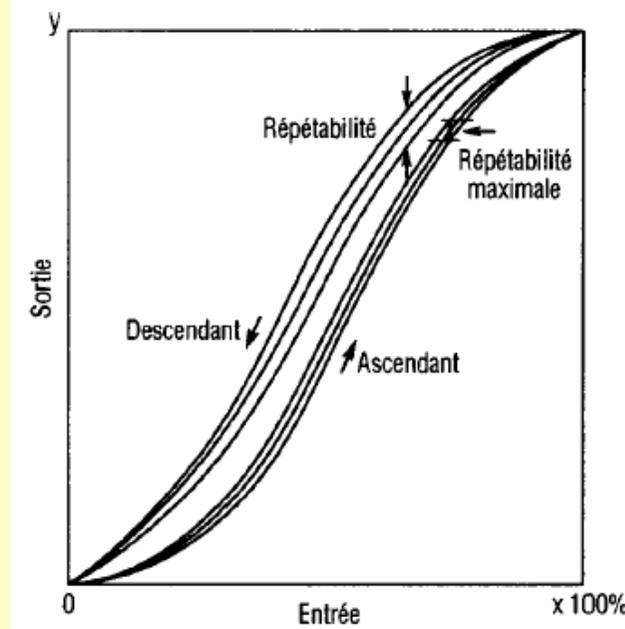
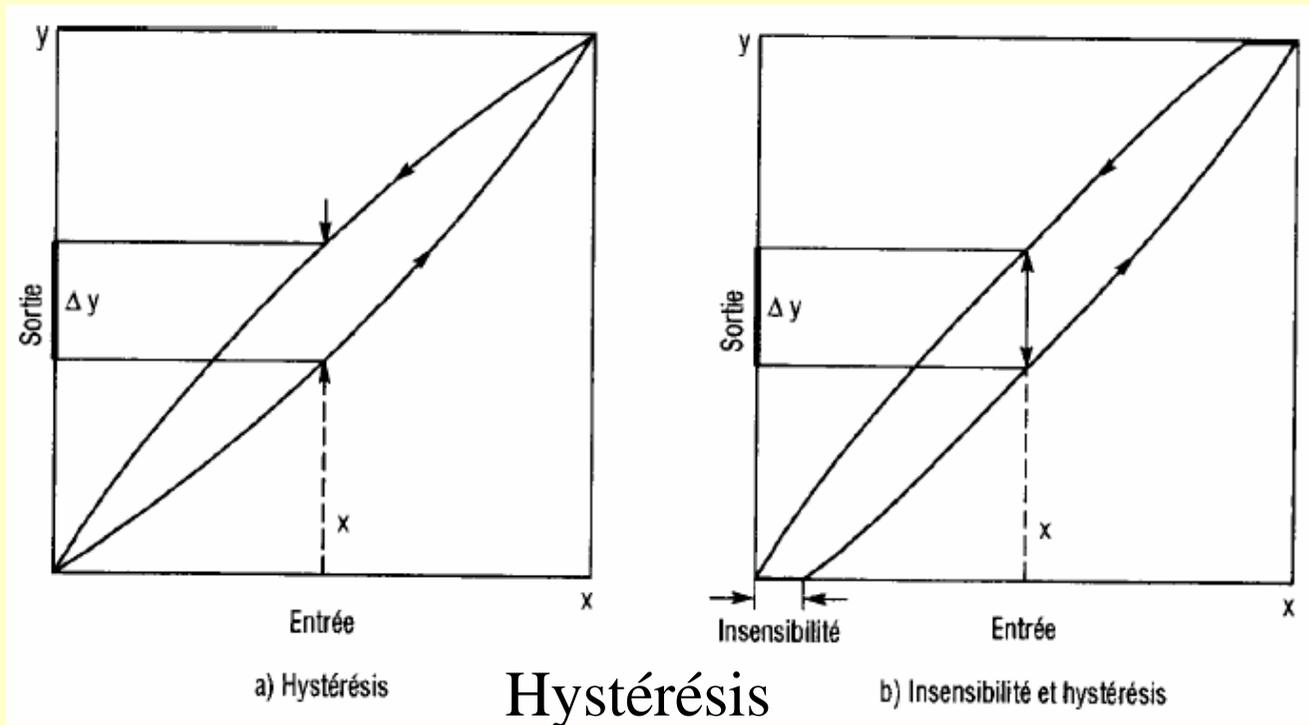
1. **Définition :** *Défauts de naissance* résultants des erreurs de conception et de fabrication.
2. Erreurs de :
 - **Linéarité**
 - **Mobilité**
 - **Hystérésis**
 - **Dérive du zéro**
 - **Fidélité (répétabilité ou reproductibilité)**
 - **Justesse (exactitude)**



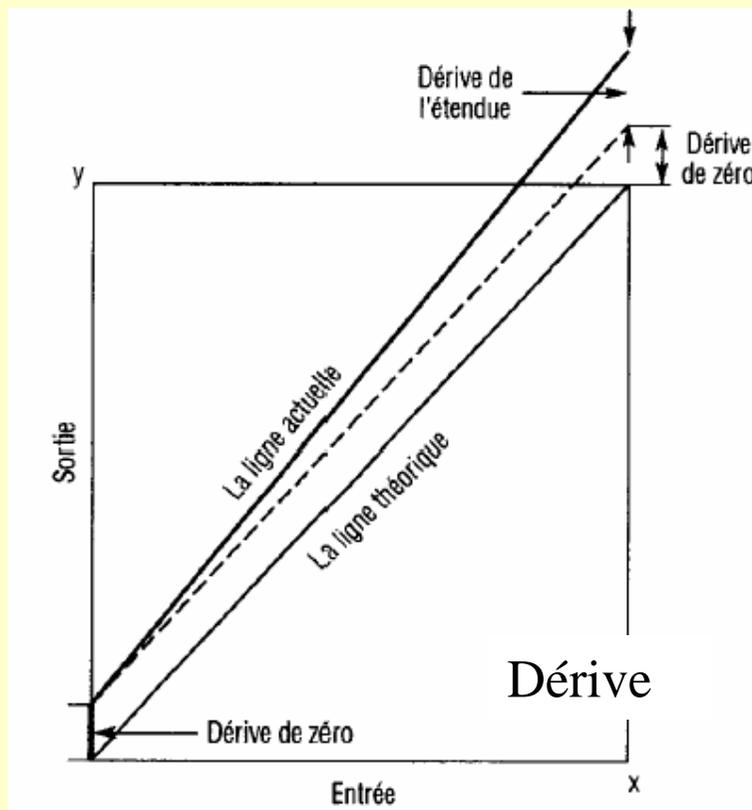
Linéarité



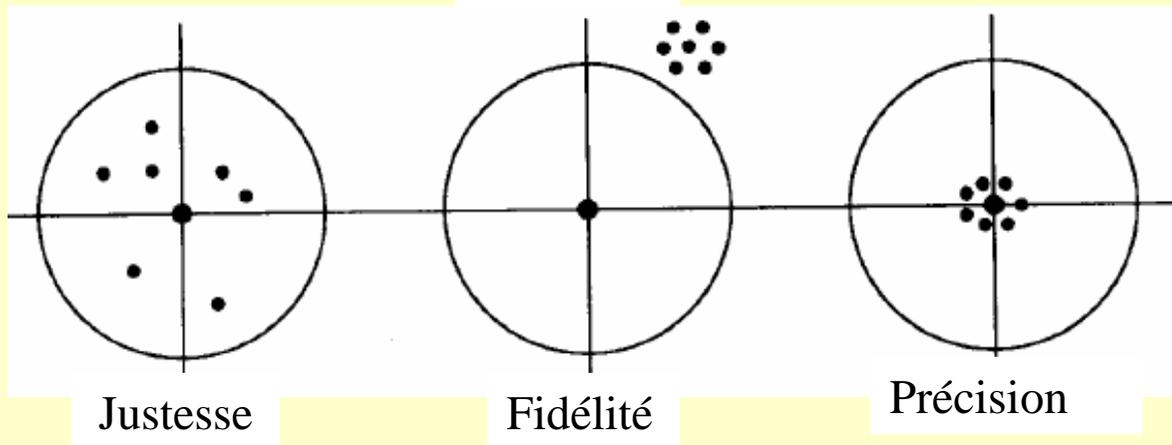
Mobilité
 Insensibilité
 Zone morte



Fidélité :
 Répétabilité
 Reproductibilité



Justesse



Justesse

Fidélité

Précision

2.2.3 Erreurs d'ambiance

1. **Définition** : Dues à l'environnement ou à des contraintes extérieures considérées comme parasites.
2. **Grandeurs d'influence** :
 - Température
 - Pression statique de procédé
 - Humidité
 - Chocs
 - Vibrations
 - Corrosion
 - Rayonnements
 - Alimentation de l'instrument
 - Temps (vieillesse)
 - Accélération gravitationnelle
3. **Correction et élimination** :
 - Compensation automatique
 - Correction
 - Utilisation de matériaux insensibles
 - Isolation

2.2.4 Erreurs d'utilisation

1. Erreurs de montage
2. Erreurs de lecture
3. Erreurs d'étalonnage

2.2.5 Erreurs de finesse

1. Un instrument de mesure est d'autant plus fin que son capteur perturbe moins la grandeur à mesurer.

2.2.6 Expressions de la précision ou de l'imprécision

1. La plupart des fabricants mentionnent l'imprécision globale de leurs instruments et le plus souvent les imprécisions individuelles liées aux quatre phénomènes de linéarité, d'hystérésis, d'insensibilité et de répétabilité.
2. **Erreur absolue** : $\varepsilon_a = \pm(\text{Mesure} - \text{Vraie valeur}) = \pm(m - v)$
3. **Erreur relative** : $\varepsilon_r = (\varepsilon_a / m) * 100\%$
4. **Classe de précision** : $CP = (\varepsilon_a / EM) * 100\%$ où
 - ε_a est l'erreur absolue maximale du capteur, de l'appareil ou de l'instrument spécifié,
 - **EM** est l'étendue de mesure.

2.3 Caractéristiques dynamiques

Caractéristique dynamique (vitesse d'évolution) = **temps de réponse t_r (ε %)**

c'est l'intervalle de temps qui s'écoule après une variation brusque (échelon) du mesurande jusqu'à ce que la variation de la sortie du signal du capteur ne diffère plus de sa valeur finale d'un écart supérieur à une limite ε % conventionnellement fixée.

Lorsque le signal croît :

temps de retard à la montée ou délai de montée, t_{dm} :

c'est le temps nécessaire pour que la grandeur de sortie croisse, à partir de sa valeur initiale, de 10 % de sa variation totale,

Lorsque le signal décroît :

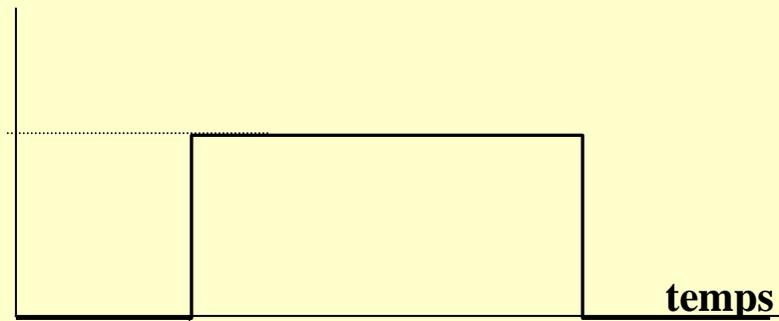
temps de retard à la chute ou délai de chute, t_{dc} :

c'est le temps qu'il faut pour que la grandeur de sortie décroisse à partir de sa valeur initiale de 10 % de sa variation totale,

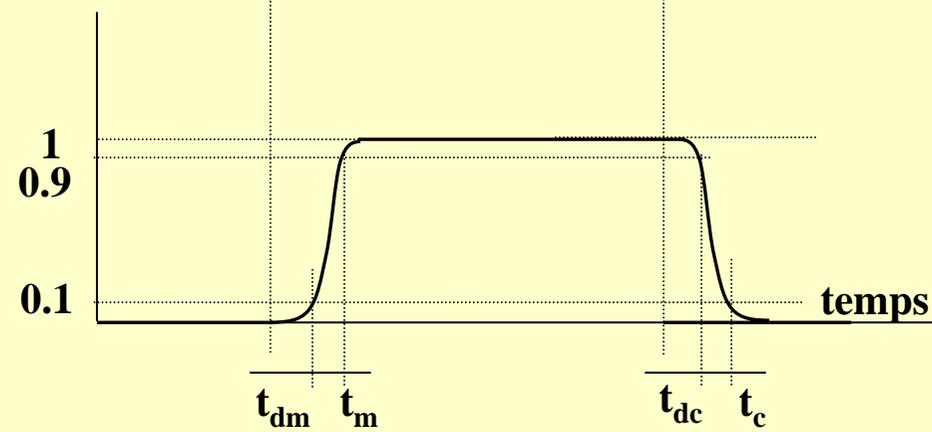
temps de chute, t_c :

Réponse à un échelon

Signal d'entrée



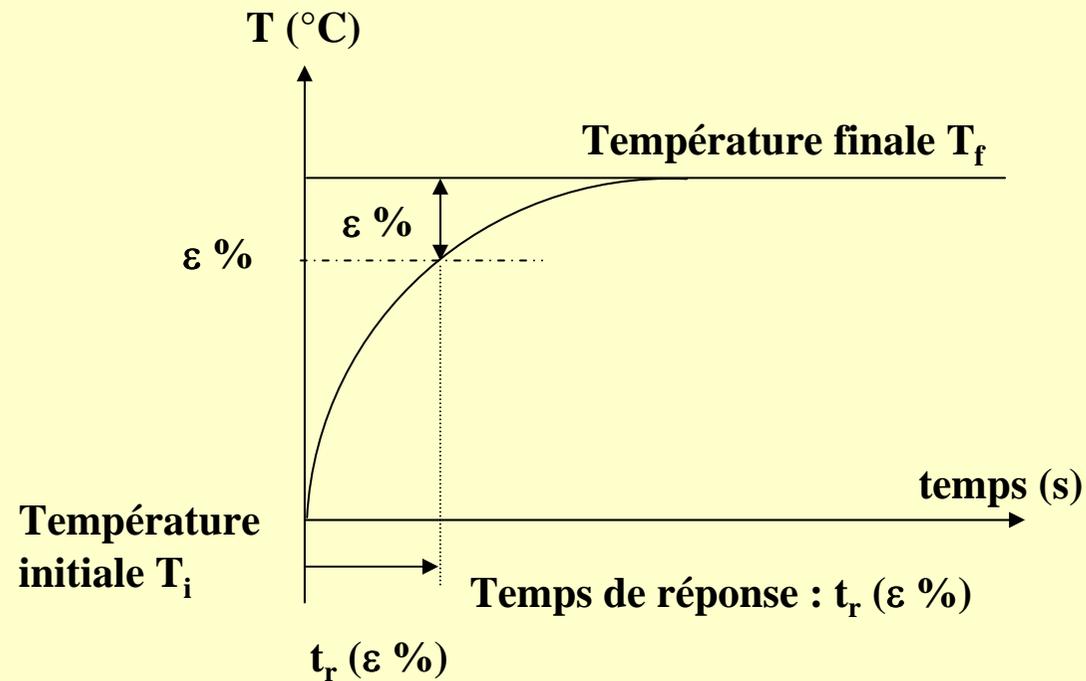
Signal de sortie



Echelon de température = réponse du premier ordre

$$T(t) = T_{\text{finale}} - (T_{\text{finale}} - T_{\text{initiale}}) \cdot \text{Exp}\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

avec τ la constante de temps du système



D'une manière générale, le temps de réponse t_r (ε %) peut être déterminé

- soit à l'aide de la représentation graphique du signal de sortie $T(t)$

$$\text{Exp}\left(-\frac{t_r(\varepsilon\%)}{\tau}\right) = \frac{\varepsilon}{100} = \frac{T_{\text{finale}} - T}{T_{\text{finale}} - T_{\text{initiale}}}$$
$$\frac{t_r(\varepsilon\%)}{\tau} = 2.3 \cdot [2 - \text{Log}_{10}(\varepsilon)]$$

$$t_r(\varepsilon\%) = \tau \cdot (4.6 - \ln \varepsilon)$$

L'expression du temps de réponse pour différentes valeurs de ε % est indiquée ci-contre

ε %	$t_r(\varepsilon\%)$
37	1.0τ
10	2.3τ

Appelé encore « temps de réponse à 63 % »

On remarque qu'il existe un lien entre constante de temps τ et fréquence de coupure f_c en régime sinusoïdal.

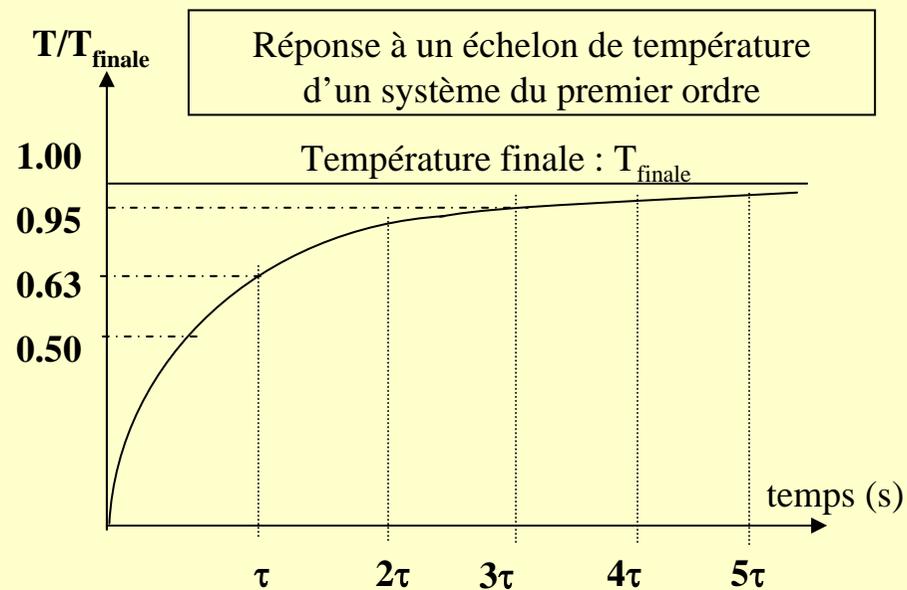
$$\tau = \frac{1}{2\pi \cdot f_c}$$

Les différents temps de réponse peuvent aussi être exprimés en fonction de la fréquence de coupure. Ainsi :

$$t_r(1\%) = 4.6 \cdot \tau = \frac{0.73}{f_c}$$

De même, pour les temps de montée et de chute, on a :

$$t_m = t_c = 2.2 \cdot \tau = \frac{0.35}{f_c}$$



3. Choix des transducteurs

Pour choisir correctement le capteur industriel pour une application donnée, la démarche proposée se fera en tenant compte de trois informations:

1. la définition du cahier des charges ;
2. les considérations techniques externes affectant le choix du capteur ;
3. les caractéristiques intrinsèques du capteur.

Il sera important de bien se documenter chez les fournisseurs pour connaître les technologies et les dispositifs disponibles sur le marché. Le choix adéquat du capteur sera fait en considérant une foule de compromis en fonction des caractéristiques générales de la mesure.

3.1 Définition du cahier des charges

Les critères de choix sont déterminés en fonction de l'environnement où la mesure sera prise, la qualité de la mesure demandée et la disponibilité financière.

Prioritairement, nous devons définir le besoin:

- lisez attentivement le cahier des charges pour identifier précisément:
 - a) la nature et le type de grandeur physique à mesurer ;
 - b) la précision demandée par l'application ;
 - c) le signal de sortie requis ;
 - d) les contraintes financières ;
- déterminez la technologie appropriée pour l'application:
 - a) électrique ;
 - b) électronique ;
 - c) mécanique ;
 - d) pneumatique ;
 - e) hydraulique ;
- faites le choix de l'élément de mesure :
 - a) en fonction du cahier des charges ;
 - b) en fonction de l'application et des solutions technologiques ;
 - c) en fonction de la disponibilité chez les fournisseurs.

3.2 Les considérations techniques externes affectant le choix du capteur

Les éléments les plus importants sont :

1. la disponibilité en alimentation :
 - la distribution électrique de courant alternatif est-elle disponible ?
 - devons-nous plutôt utiliser une alimentation à courant continu ?

2. la technologie à utiliser :
 - sommes-nous en présence d'une application requérant un circuit tout-ou-rien (alarme ou détection de seuil) ou est-il nécessaire d'obtenir une information proportionnelle ?
 - quel est l'ordre de grandeur de la précision recherchée ?
 - quelle distance sépare l'ensemble capteur-transmetteur de l'alimentation ?
 - quel est le type de signal requis à la sortie ?

3. l'environnement est-il :
 - poussiéreux ?
 - humide ou sec ?
 - en atmosphère explosive ?
 - à haute ou basse température (température ambiante) ?

4. la dimension et la fixation du capteur :
 - la dimension et le poids ;
 - les modes de fixation ;
 - l'endurance mécanique ;
 - la résistance aux chocs et aux vibrations ;
 - le degré d'étanchéité.

3.3 Les caractéristiques intrinsèques du capteur

Nous devons définir quelques éléments importants pour choisir le capteur:

1. La gamme de mesure: Les valeurs minimales et maximales de la grandeur physique à mesurer.
2. La sensibilité: L'expression d'un signal suffisant élevé en fonction d'une grandeur physique donnée.
3. La qualité: Il doit être relativement précis, posséder une bonne répétabilité et être exempt d'hystérésis. Il doit fournir un signal de sortie exact pour la valeur de la grandeur physique mesurée
4. La linéarité: Il doit être linéaire dans la plage d'utilisation de l'application qui nous intéresse.
5. Le type de transduction: Il faut déterminer le type de signal de sortie. Si la mesure se fait à une grande distance par rapport aux circuits d'acquisition de donnée ou de traitement, le capteur doit être accompagné d'un transmetteur 4-20mA.
6. Il doit être peu encombrant et bon marché.

Il appartiendra au concepteur de la chaîne de mesure de bien établir l'importance de chaque critères énoncés en fonction de la nature de la mesure à effectuer, de la précision demandée et de la disponibilité financière.

Partie 2 – Instrumentation en automobile

1 – Classification

Il existe 3 catégories :

Fonctions et applications :

- fonctionnels : tâches de commande et de régulation,
 - affectés à des fonctions de sécurité et de sécurisation (contre le vol),
- type de courbe caractéristique :
 - surveillance du véhicule, information du conducteur et des passagers
- Courbes caractéristiques continues, faiblement ou fortement non linéaires :
 - (grandeurs d'usure, de consommation)
 - régulation gaz d'échappement, débitmétrie d'air,
- Courbes caractéristiques discontinues, à deux états (avec hystérésis) :
 - action corrective simple ou non immédiate,

2 – Critères spécifiques à l'automobile

Exigences spécifiques des véhicules routiers (sécurité, normes sévères de type aéronautiques)

Haute fiabilité = trois classes :

- Direction, freins, protections des passagers,
- Moteur/transmission, suspension/pneumatiques,
- Confort, diagnostic, information et sécurité antivol.

Faibles coûts de fabrication :

- Véhicule = près de 70 capteurs différents
- Grande quantité = diminution des coûts : 1 à 10 millions d'unités par an (batch processing = 10 à 1000 capteurs réalisés sur un même substrat silicium)

Sévères conditions de fonctionnement = multiples sollicitations :

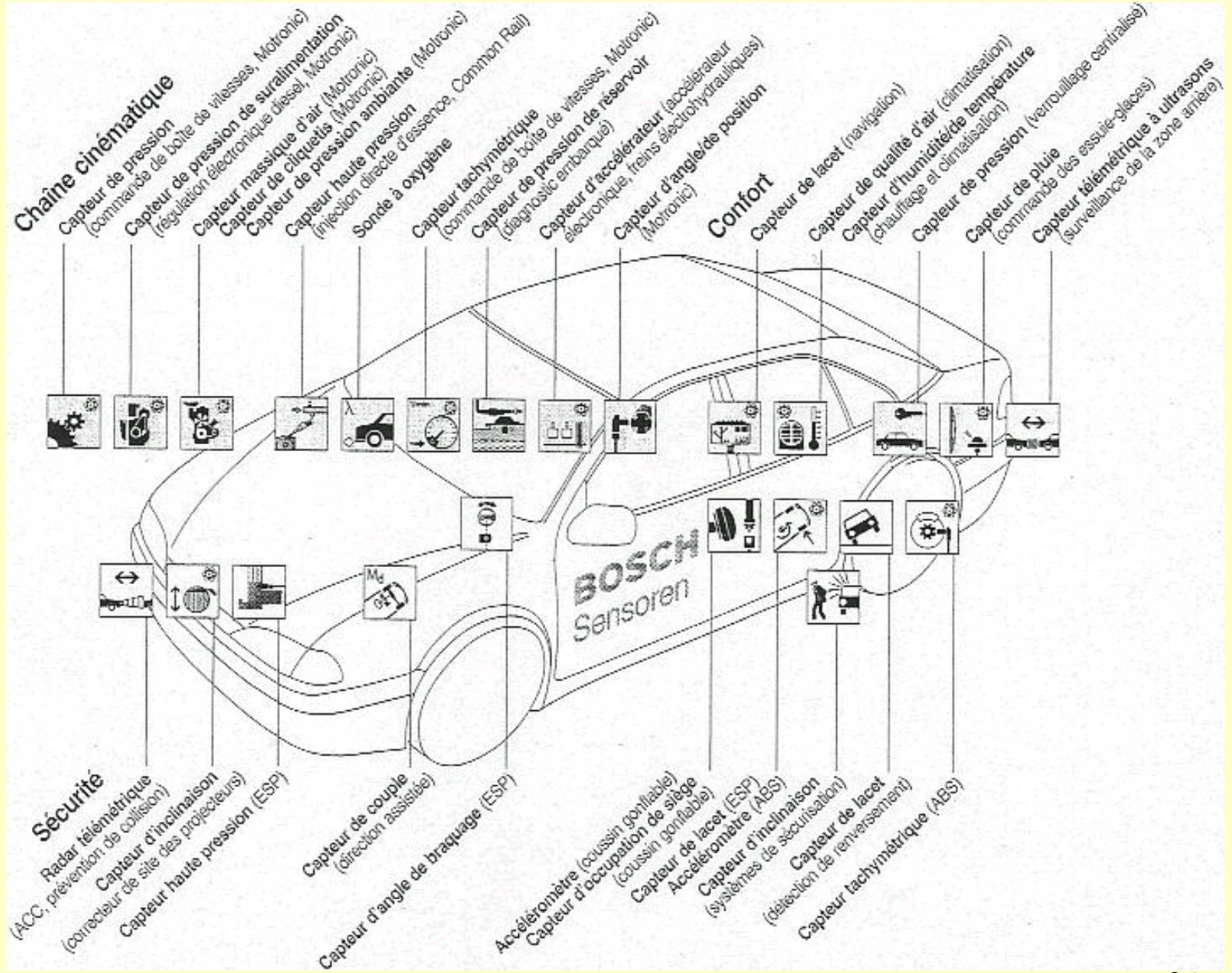
- Mécaniques : vibrations, chocs
- Climatiques : température, humidité,
- Chimiques : projections d'eau, d'huile, brouillards salins, fuites de carburants, déchets électrochimiques,
- Electromagnétiques : rayonnement, impulsions, parasites, surtensions, inversion de polarité.

Compacité :

- Compacité maximale des organes,
- Gains de place = diminution des coût de fabrication = économie.

Haute précision :

- Actuellement, précision « modeste » (débitmètres d'air)
- Tolérances restent $\geq 1\%$ à la valeur finale de l'étendue de mesure



3 – Capteurs en automobile

3.1 – Capteurs de température

Température = f(état énergétique d'un milieu)

Température = $T(x,y,z,t)$

Les méthodes par **contact direct** capteur-milieu avec liaison matérielle :

- thermomanomètres,
- thermomètres à dilatation de liquide,
- thermomètres à dilatation solide,
- couples thermoélectriques,
- résistances métalliques,
- sondes à fil froid,
- sondes capacitives.

Les méthodes par **contact direct**, mais observation optique :

- méthodes repères,
- cristaux liquides,
- photoluminescence.

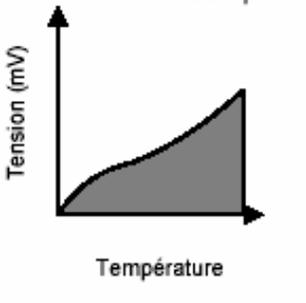
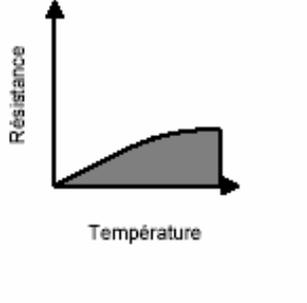
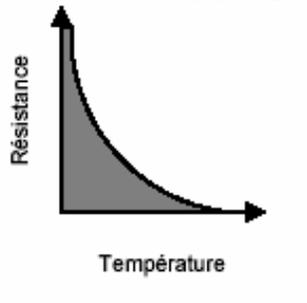
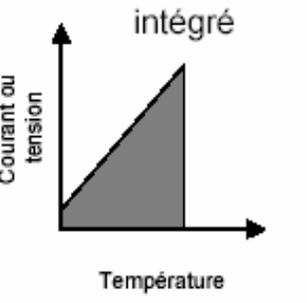
Les méthodes **sans contact** matériel :

- pyrométrie optique,
- thermographie infrarouge,
- capteurs à fibre optique.

Températures caractéristiques d'un véhicule automobile

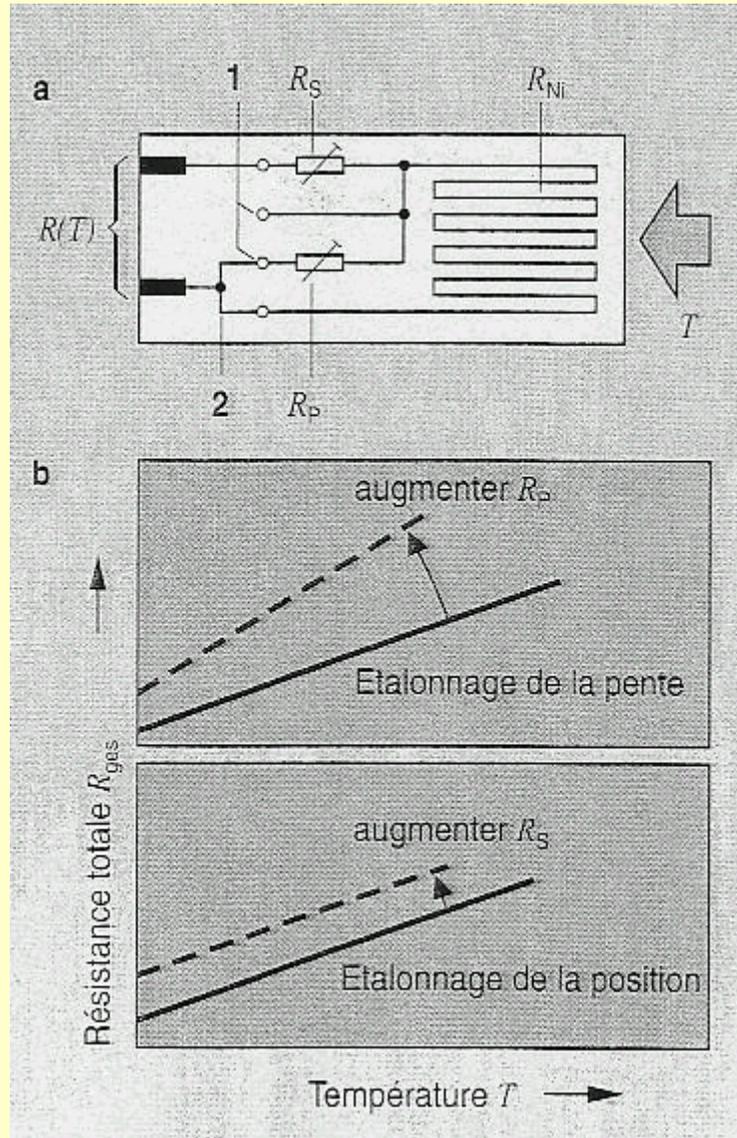
Point de mesure	Plage °C
Air admission/suralimentation	-40 ...170
Air ambiant	-40 ...60
Habitacle	-20 ...80
Ventilation/Chauffage	-20 ...60
Evaporateur (Climatiseur)	-10...50
Eau de refroidissement	-40 ...130
Huile moteur	-40 ...170
Batterie	-40 ...100
Carburant	-40 ...120
Air des pneumatiques	-40 ...120
Gaz d'échappement	100 ...1000
Etrier de frein	-40 ...2000

<u>Capteur</u>	<u>Étendue de mesure</u>	<u>Précision relative à l'étendue de mesure</u>	<u>Sensibilité</u>	<u>Temps de réponse</u>
Bimétal	-25°C à +500°C	1% à 2%	excellente	bon
Thermomètre à bulbe (à dilatation)	-50°C à +1000°C	0,5% à 2%	bonne	bon
Circuit intégré AD590	-55°C à +150°C.	0,3% à 0,5%	excellente	bon
Circuit intégré LM335	-40°C à +100°C	0,5 à 1%	excellente	bon
Thermistance CTN	-40°C à +200°C	0,2% à 2%	excellente	bon
RTD pt 100Ω	-180°C à +650°C	0,1%	bonne	excellent à bon
Thermocouple	-200°C à +2500°C	0,5% à 3,0%	bonne à passable	excellent à bon
Thermomètre à rayonnement	+200°C à +2500°C	0,2% à 0,5%	mauvaise	mauvais

<p style="text-align: center;">Thermocouple</p> 	<p style="text-align: center;">RTD</p> 	<p style="text-align: center;">Thermistance</p> 	<p style="text-align: center;">Transducteur intégré</p> 
<p>Avantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • aucune source extérieure nécessaire; • simple à utiliser; • robuste; • peu coûteux; • grande variété; • bon temps de réponse; • grande plage de mesure de température. 	<p>Avantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • le plus stable; • le plus précis; • bonne sensibilité; • assez large plage de mesure; • plus linéaire que le thermocouple. 	<p>Avantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tension de sortie assez élevée; • temps de réponse rapide; • mesure à deux fils; • grande gamme de température; • peu coûteux. 	<p>Avantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • le plus linéaire; • très grande sensibilité; • sortie directement en courant ou en tension; • peu coûteux.
<p>Inconvénients:</p> <ul style="list-style-type: none"> • non-linéaire; • basse tension de sortie; • jonction de référence nécessaire; • peu stable; • peu sensible. 	<p>Inconvénients:</p> <ul style="list-style-type: none"> • assez coûteux; • meilleur avec source à courant; • faible sensibilité; • dissipation de chaleur interne qui peut influencer la mesure. 	<p>Inconvénients:</p> <ul style="list-style-type: none"> • non-linéaire; • peu précis; • fragile; • dissipation interne qui influence la mesure; • dissipation de chaleur interne qui peut influencer la mesure. 	<p>Inconvénients:</p> <ul style="list-style-type: none"> • température mesurée inférieure à 150°C; • relativement lent; • dissipation interne qui influence la mesure.

↑
RTD = Resistance Temperature Device

Résistance étalonnable



Thermistance CTN

