

CAPTEURS

« Travaux pratiques »

Instrumentation Industrielle

Module ER3 : DUT 2^{ème} Année

Présenté par **ANNECCA Gaëtan**

Responsable REGULATION aux Papèteries de CLAIREFONTAINE

Votre séance de TP :

Introduction

Atelier commun (Pression)

3 Ateliers de 40 mn

Niveau Hydrostatique

Niveau sans contact

Température

Rapport pré rempli que vous devez me rendre en fin de séance

Evaluation: le rapport de TP noté sur 20

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
Hydrostatique

Niveau
sans contact

Température

• Le Capteur - (*Sensor*)

Définition: Dispositif de *métrologie* chargé de traduire les *variations* d'un procédé *physico-chimique* en une *grandeur exploitable*.

Procédés
physico-chimique,
mécanique,
électrique, ...



CAPTEUR



Grandeur
quantitative
exploitable

Ex: pression, niveau,
débit, vitesse,
déplacement,
température,
flux lumineux,



Indication analogique
Indication numérique

Signal électrique
Signal numérique

Capteurs

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

- **Définitions**

Un *capteur* est un dispositif de prélèvement d'informations qui élabore, à partir d'une **grandeur physique**, une autre grandeur physique de nature différente (généralement électrique) **image** de la grandeur prélevée, et utilisable à des fins d'indication de **mesure**.

C'est à partir du moment où l'on a su capter une grandeur physique et exploiter ses caractéristiques, que l'on a pu réaliser des systèmes automatiques et intelligents qui s'auto contrôlent sans l'intervention de l'homme.

Capteurs

Généralités

Capteurs

Pression

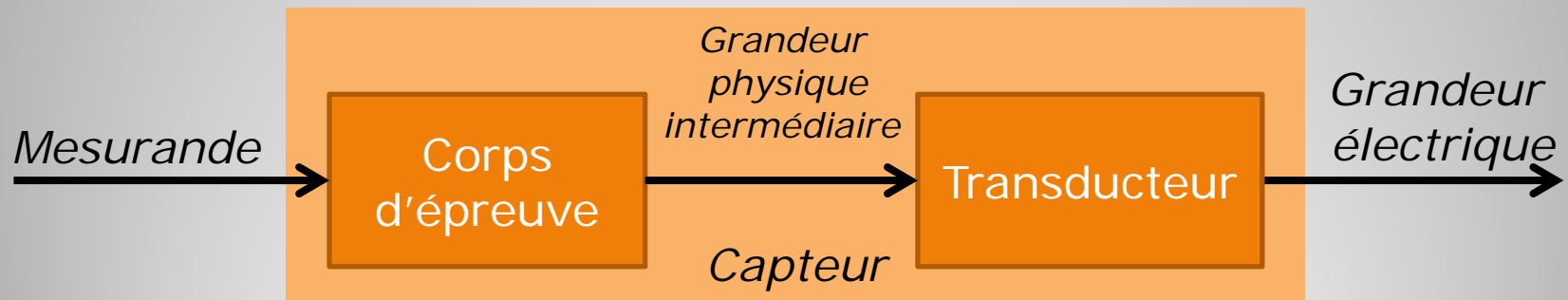
Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• Constitution d'un capteur

Lorsque le capteur est constitué de plusieurs éléments, le **corps d'épreuve** est celui en contact direct avec le mesurande.

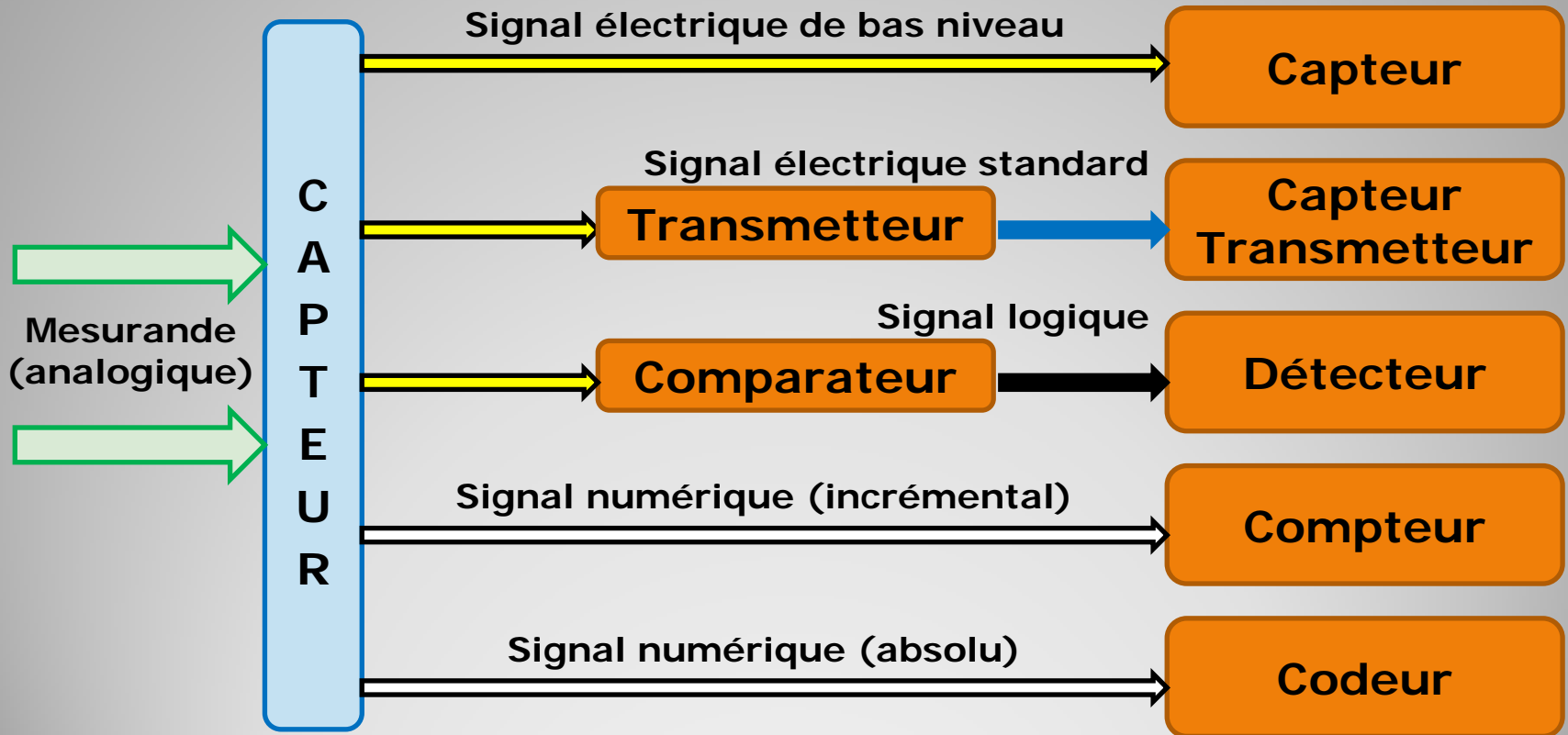
Il génère une grandeur physique intermédiaire (déplacement, déformation, force ...) traduite en une grandeur électrique (tension, capacité, induction ...) par le **transducteur**.



En pratique, les termes capteur et transducteur désignent le même constituant, traduit en anglais par les mots *sensor* et *transducer*.

Capteurs

• Classification - terminologie



Capteurs

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

- **Capteur « passif » VS « actif »**

Une façon de distinguer les capteurs repose sur *l'effet* mis en œuvre pour **générer le signal de mesure**, on peut en distinguer deux types :

Les capteurs **passifs** :

Impédance dont l'un des **paramètres déterminant** est **sensible** au **mesurande**.

Les capteurs **actifs** : Fonctionnent en **générateurs**.

Principe fondé sur un **effet physique** qui assure la **conversion** en **énergie électrique** de la forme propre au **mesurande**.

Capteur « passif » VS « actif »

Généralités

Capteurs

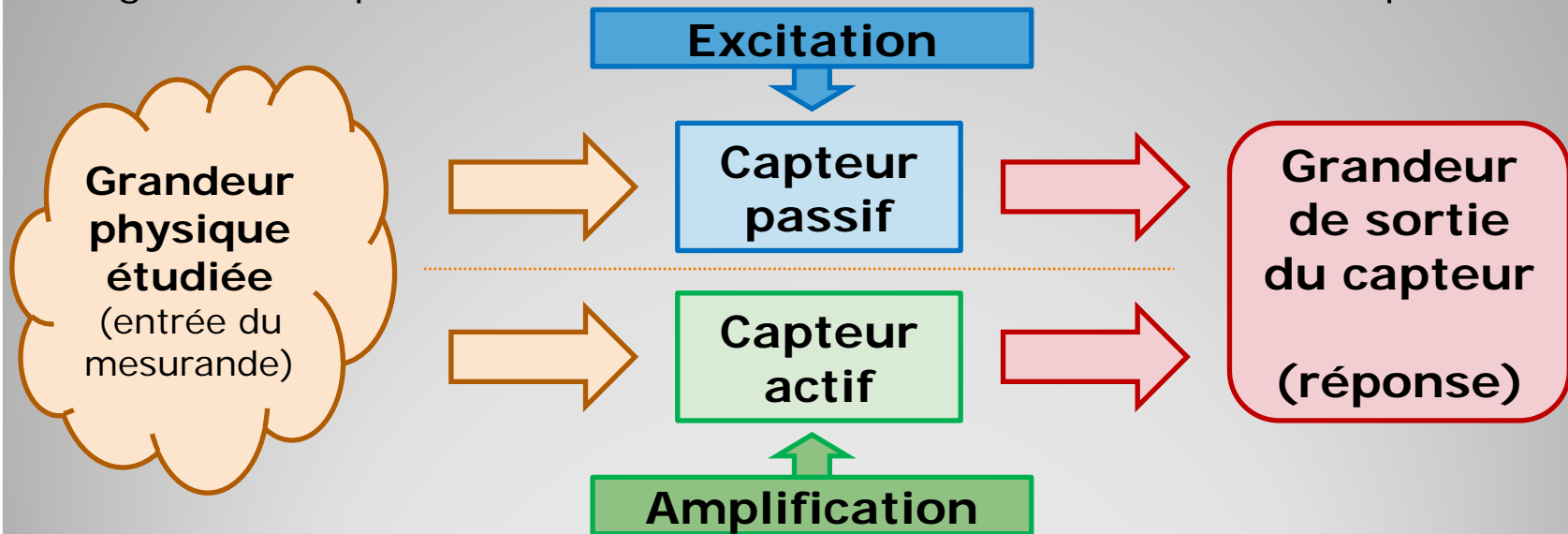
Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• En résumé :

Les capteurs passifs ont besoin d'une source d'excitation pour fournir un signal électrique de mesure, certains ont besoin d'un circuit complexe.



Les capteurs actifs ont besoin d'un circuit d'adaptation pour fournir un signal électrique de mesure utilisable.

Capteur « passif » vs « actif »

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

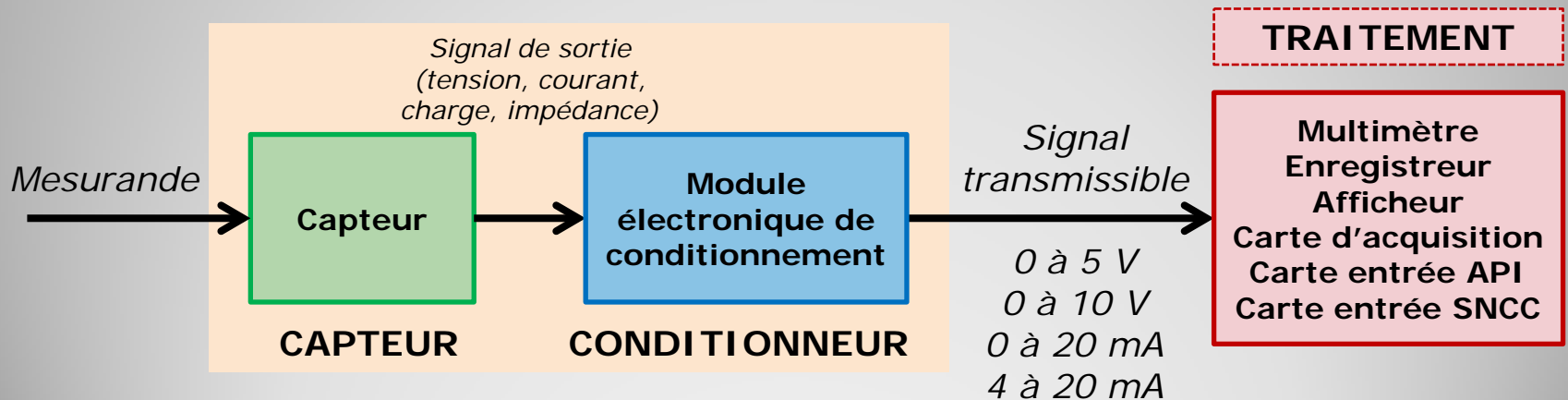
Température

• Définition du conditionneur

C'est un **dispositif** qui assure la **conversion** de la grandeur électrique de sortie du capteur en une grandeur électrique exploitable par **l'organe de traitement**.

Cette définition nécessite la **connaissance** des capteurs.

Le conditionneur est un **montage électronique** qui d'une manière plus générale englobe toute la chaîne instrumentale.



Conditionneurs

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

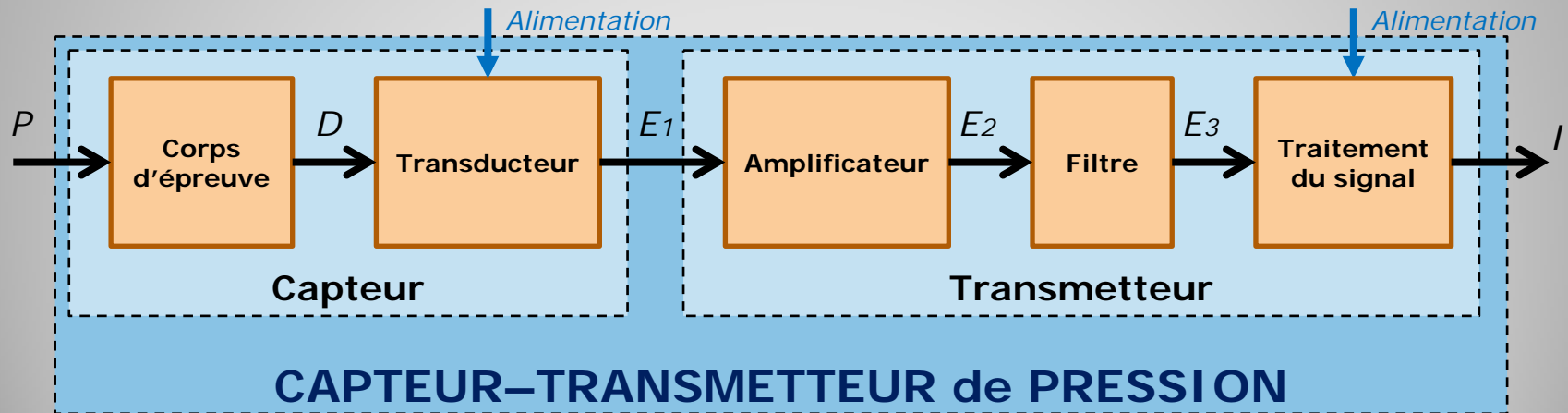
Température

- **Constitution d'un transmetteur**

Pour élaborer un signal normalisé à partir du signal généré par le capteur, le **transmetteur** comprend globalement un **amplificateur**, un **filtre**, et un **traitement du signal**.

Il complète ainsi la chaîne de mesurage du capteur.

Prenons l'exemple d'un transmetteur de pression délivrant un signal de sortie 4-20 mA :



Transmetteurs

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

- **Transmetteur universel intégré ou déporté**

Le capteur est fixé sur le procédé et il délivre un signal de mesure de faible intensité, qui ne peut être transmis sur de grandes longueurs.

La solution consiste à faire appel à un **transmetteur universel**, soit **intégré** dans le boîtier de raccordement du capteur, soit **déporté** dans un boîtier ou monté sur rail dans un **coffret d'instrumentation** distant jusqu'à quelques dizaines de mètres du capteur.

Intégré



Déporté



Transmetteurs

Généralités

Capteurs

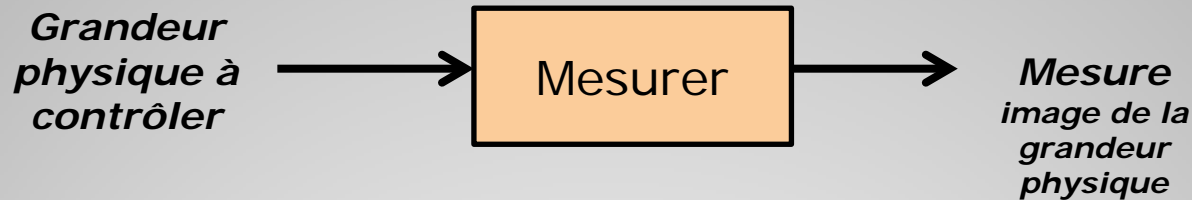
Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

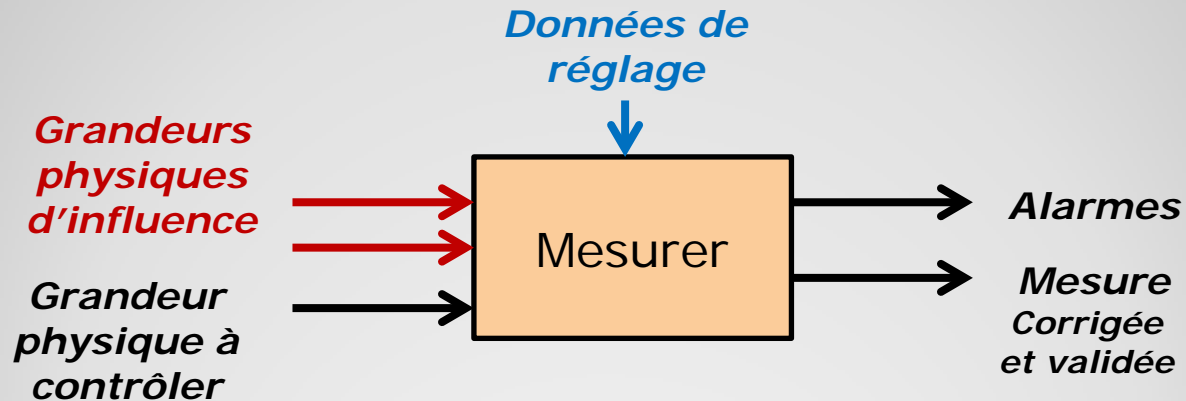
Température

- Schéma fonctionnel d'un transmetteur

Capteur transmetteur analogique



Capteur transmetteur intelligent ou « smart »



Transmetteurs

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• La mesure de pression

Quantitativement, la pression est la seconde grandeur physique mesurée industriellement après la température. Du vide poussé de quelques pascals absolus aux fortes pressions de plusieurs milliers de bar, les techniques de mesures développées pour les applications sont très variées.

La **pression** P (Pa) est une grandeur physique représentant une force F (N) par unité de surface S (m²) s'exerçant à l'intérieur d'un fluide. $P = F / S$

Vide absolu : ne peut être atteint 0 Pa abs.

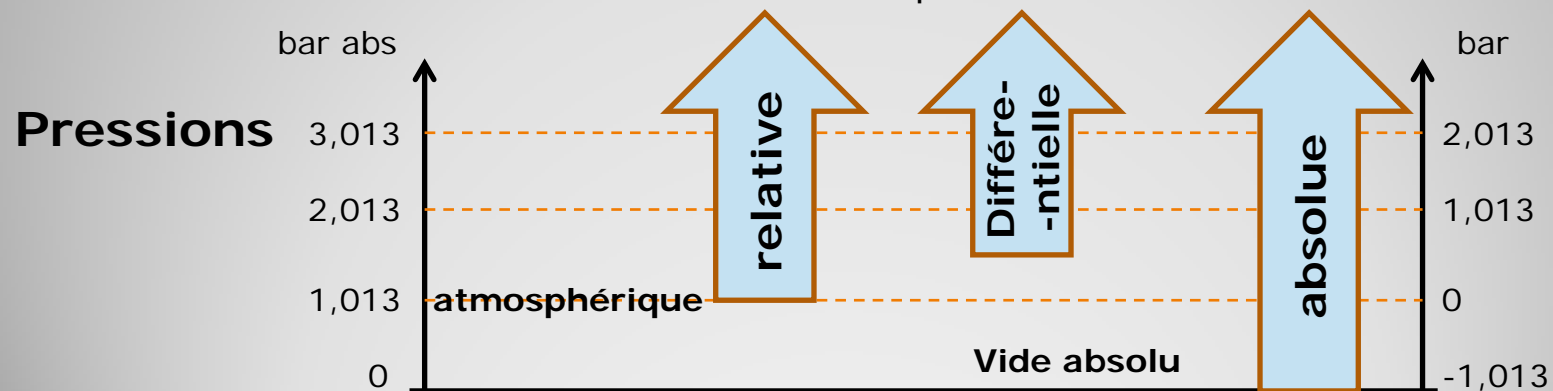
Pression atmosphérique : référence variable en fonction de l'altitude.

Pression atmosphérique de référence : fixée à 101 325 Pa (en pression absolue)

Pression absolue: pression exprimée par rapport au vide absolu.

Pression relative: pression exprimée par rapport à la pression atmosphérique.

Pression différentielle: différence entre deux pressions relatives ou deux absolues.



La mesure de pression

Généralités

Capteurs

Pression

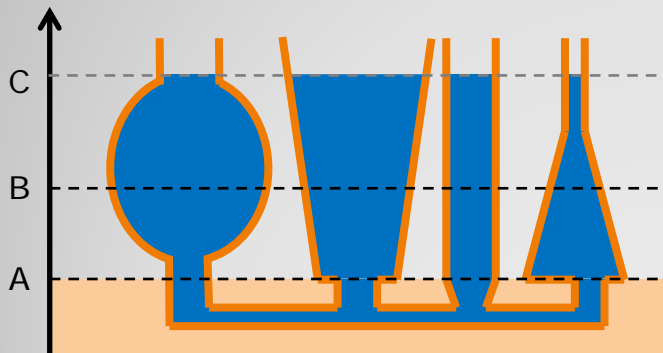
Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• Hydrostatique

Principe des vases communicants

Lorsqu'un liquide homogène relie sans discontinuité plusieurs surfaces libres soumises à la même pression, elles sont à la même altitude C quelle que soit la forme des vases ou récipients.

Altitude z 

Pression hydrostatique

La pression hydrostatique P de la masse exercée par une colonne, de section S quelconque, et de hauteur H , de fluide homogène de masse volumique ρ , est:

$$P = F / S = m.g / S = \rho.V.g / S$$

$$V = H.S \quad \text{donc} \quad P = \rho.H.S.g / S$$

Soit
$$P = \rho.g.H$$

Toutes les pressions hydrostatiques au niveau A ($H=Z_C-Z_A$) à l'intérieur du liquide sont identiques.

De même pour les pressions hydrostatiques au point B ($H=Z_C-Z_B$).

La mesure de pression

Généralités

Capteurs

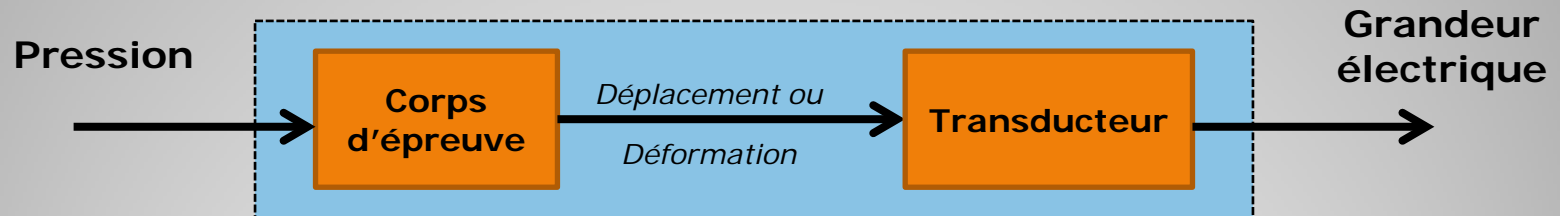
Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

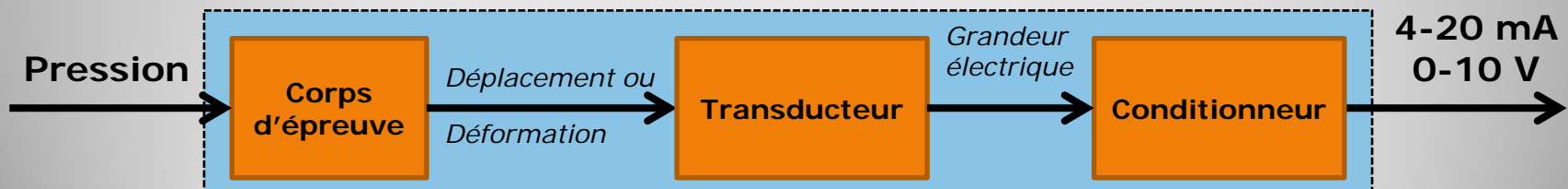
Température

• Principe d'un capteur de pression

La **pression** du fluide exerce une force sur le **corps d'épreuve** du capteur. Il en résulte un **déplacement** ou une **déformation**, traduit par le **transducteur** qui délivre une **grandeur électrique** exploitée par le transmetteur.



Industriellement, le capteur de pression apparaît dans la plupart des cas en **transmetteur de pression**, en délivrant des signaux standards 4-20mA ou 0-10V exploitables par les appareils de mesures: (afficheurs, régulateurs, cartes d'entrées API et SNCC).



La mesure de pression

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• Réalisation technique

Capteur de pression relative ou absolue

Exemple avec une cellule en céramique à variation de capacité.

La pression P du processus agit directement sur la membrane en céramique et la déplace au maximum de $25 \mu\text{m}$.

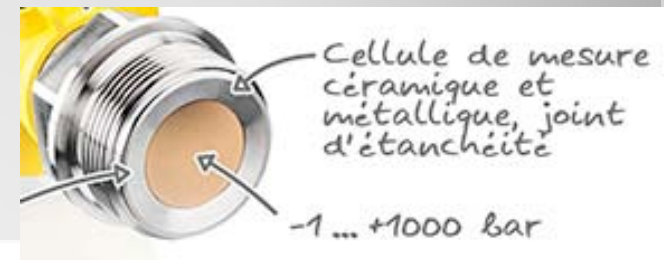
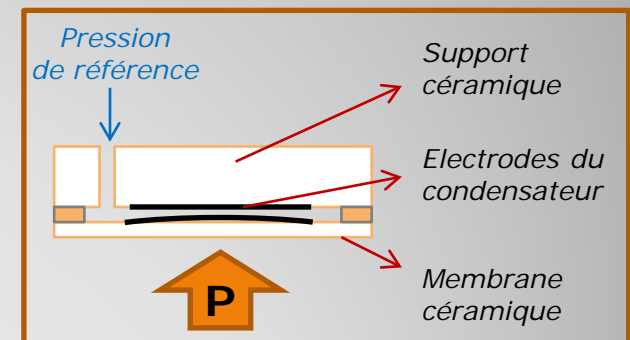
La **variation de capacité** proportionnelle au déplacement est mesurée aux électrodes du support en céramique et de la membrane.

La gamme de mesure est déterminée par l'**épaisseur** de la membrane en céramique.

Lorsque la référence est la pression atmosphérique, quelle que soit la réalisation technique, c'est un capteur de pression relative.

Pour un vide poussé en pression de référence, c'est un capteur de pression absolue.

Transducteur
Cellule
céramique



La mesure de pression

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• Réalisation technique

Capteur de pression relative ou absolue

Exemple avec une membrane métallique à variation de résistance ohmique.

La pression P du processus déplace

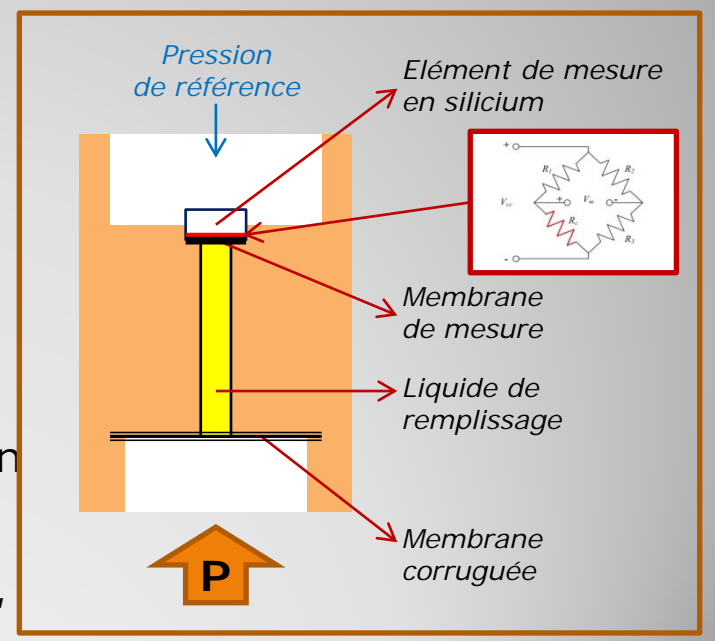
- la membrane métallique séparatrice
- le liquide de remplissage
- et la membrane de mesure

Sous l'effet du déplacement, l'élément de mesure **piézorésistif** subit une contrainte qui modifie sa résistance ohmique.

La **tension de mesure** résultante du pont de Wheatstone est **proportionnelle** à la **pression**.

Lorsque la référence est la pression atmosphérique, quelle que soit la réalisation technique, c'est un capteur de pression relative.

Pour un vide poussé en pression de référence, c'est un capteur de pression absolue.



La mesure de pression

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
Hydrostatique

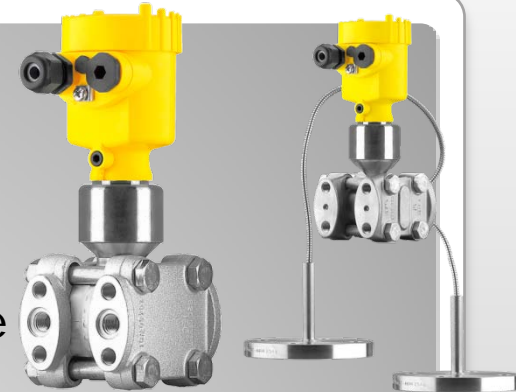
Niveau
sans contact

Température

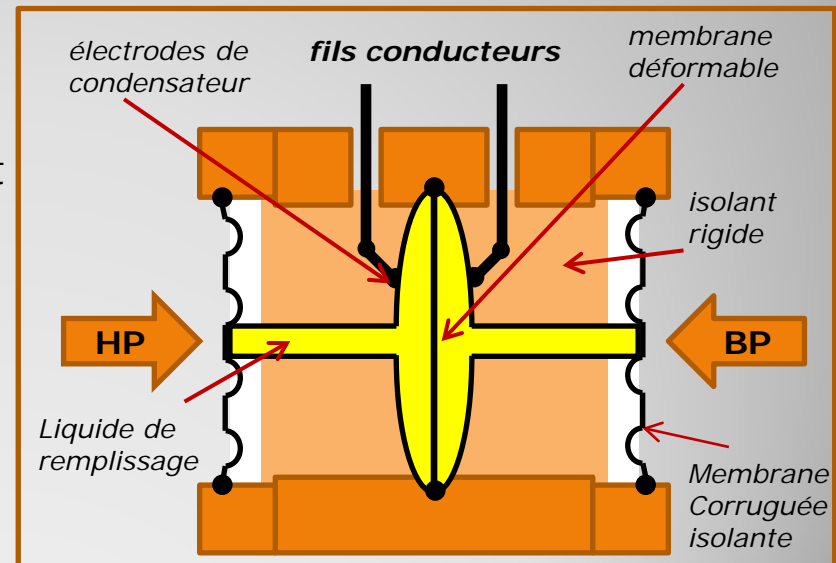
• Réalisation technique

Capteur de pression différentielle

Il est très répandu car il permet de mesurer une **pression différentielle**, mais aussi un **niveau**, un **débit**, une **densité** ou encore de vérifier l'efficacité d'un échangeur thermique ou d'un filtre en mesurant leur **pertes de charge**.



Exemple de réalisation: cellule en coupe, les pressions **HP** et **BP** appliquées sur chaque membrane corruguée isolante sont transmises par l'intermédiaire d'une huile de silicone à la membrane déformable, ce qui entraîne une **variation** différentielle de **capacité** entre les électrodes des condensateurs et la membrane déformable.



La mesure de pression

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• Etalonnage

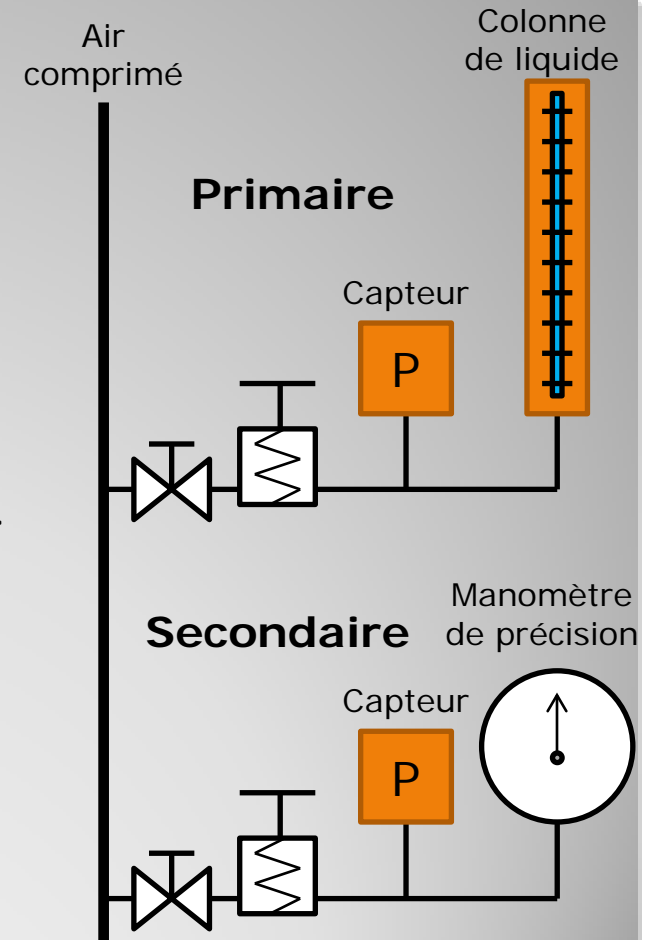
Etalonnage primaire

La pression de référence P soumise au capteur à étalonner est générée soit à l'aide d'une colonne de liquide où $P = \rho \cdot G \cdot H$, pour les pressions entre quelques mbar et 300 mbar, soit à l'aide d'une balance manométrique par application d'une force F sur une section S déterminée donnant $P = F / S$.

La pression de référence est un **étalon primaire**.

Etalonnage secondaire

C'est un étalonnage **par comparaison**, c'est-à-dire que la pression soumise au capteur à étalonner est mesurée avec une précision au moins dix fois supérieure par un capteur interne d'un calibrateur portatif ou par un manomètre de précision nommé **manomètre de vérification**.



La mesure de pression

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• Niveau hydrostatique

Principe et conditions d'application

L'équation de l'hydrostatique $P = \rho \cdot g \cdot h$ conduit à mesurer la pression pour obtenir la hauteur h de liquide, **aux conditions** que la masse volumique ρ soit constante, et que l'accélération g de la pesanteur soit constante. Cette dernière condition étant pratiquement toujours vérifiée sur les processus.

Méthode directe ou différentielle

En fonction des conditions, deux méthodes génériques existent:

- La **méthode directe** qui emploie un capteur de **pression relative** mesurant la pression statique à un point bas d'un réservoir ouvert.
- La **méthode différentielle** utilisant un capteur de **pression différentielle**, pour un niveau d'interface entre liquides ou entre liquide et gaz, lorsque le réservoir est soumis à une pression différente de la pression atmosphérique, ou pas.

Mesure de niveau hydrostatique

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

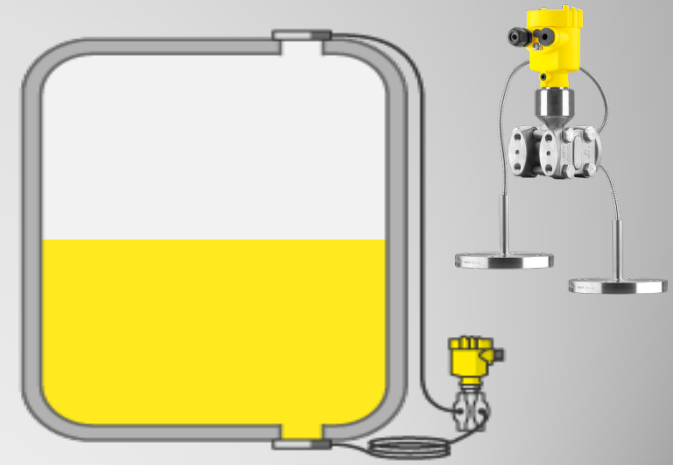
- **Mesure hydrostatique différentielle**

Application

Sur tout réservoir fermé soumis à une pression, inconnue ou variable, au-dessus du niveau à mesurer, on utilise un capteur de pression différentielle, avec un double piquage direct des pressions, ou équipé d'une ou deux brides spécifiques au niveau.

Plus de 20% des mesures de niveau sont réalisées sur des cuves pressurisées et sont effectuées par pression différentielle.

Le montage classique d'un capteur de pression différentielle permet de s'affranchir de la surpression au dessus du liquide pour obtenir la pression hydrostatique.



Mesure de niveau hydrostatique

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

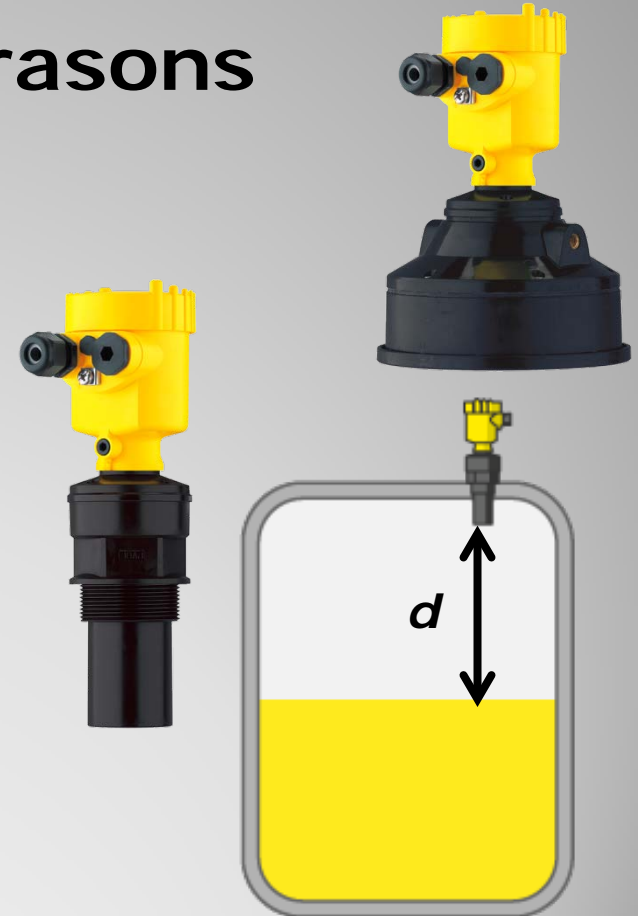
• Capteur de niveau à ultrasons

Principe du temps de parcours

La sonde envoie des **impulsions ultrasoniques** comprises entre 10 KHz et 60 KHz en direction de la surface du produit à la vitesse du son **c** (environ 340 m/s), où elles sont réfléchies par le produit et reçues à nouveau par la sonde.

Le transmetteur mesure le temps **t** entre l'émission et la réception d'une impulsion, et détermine la distance **d** entre la membrane de la sonde et la surface du produit par $d = c \cdot t / 2$. A partir de **d**, on obtient la valeur souhaitée du **niveau** ou du **volume**.

Pour corriger la durée de propagation du son en fonction de la température, un capteur de température est intégré dans les sondes à US.



Mesures de niveau sans contact

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

- **Capteur de niveau sans contact**

à ultrasons, à impulsions radar ou à ondes continues

Les différents types d'échos

- **Echo Produit :**

- Signal réfléchi par le produit
- Echo se déplaçant en fonction du niveau

- **Echo Parasite :**

- Réflexion créer par un obstacle fixe se trouvant sur le trajet de l'onde entre le capteur et la surface du produit
- Echo se situant toujours au même endroit
- Echo se situant toujours devant l'Echo Produit

- **Echo Multiple :**

- Onde résiduelle réfléchi par l'environnement (toit, paroi, produit)
- Echo se déplaçant en fonction du niveau
- Echo se situant toujours après l'écho Produit



Mesures de niveau sans contact

Généralités

Capteurs

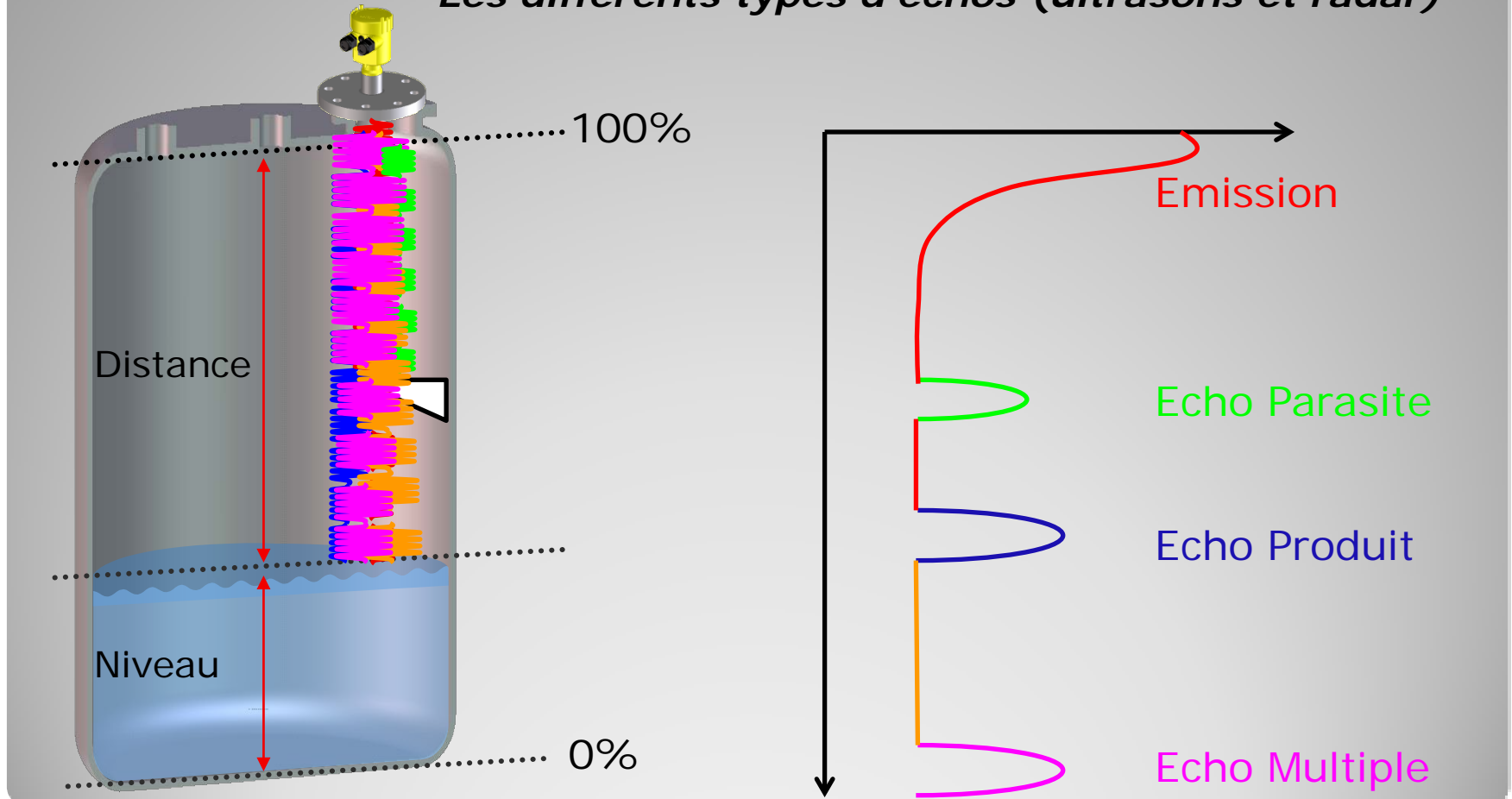
Pression

Niveau
Hydrostatique

Niveau
sans contact

Température

Les différents types d'échos (ultrasons et radar)



Mesures de niveau sans contact

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

• La mesure de température

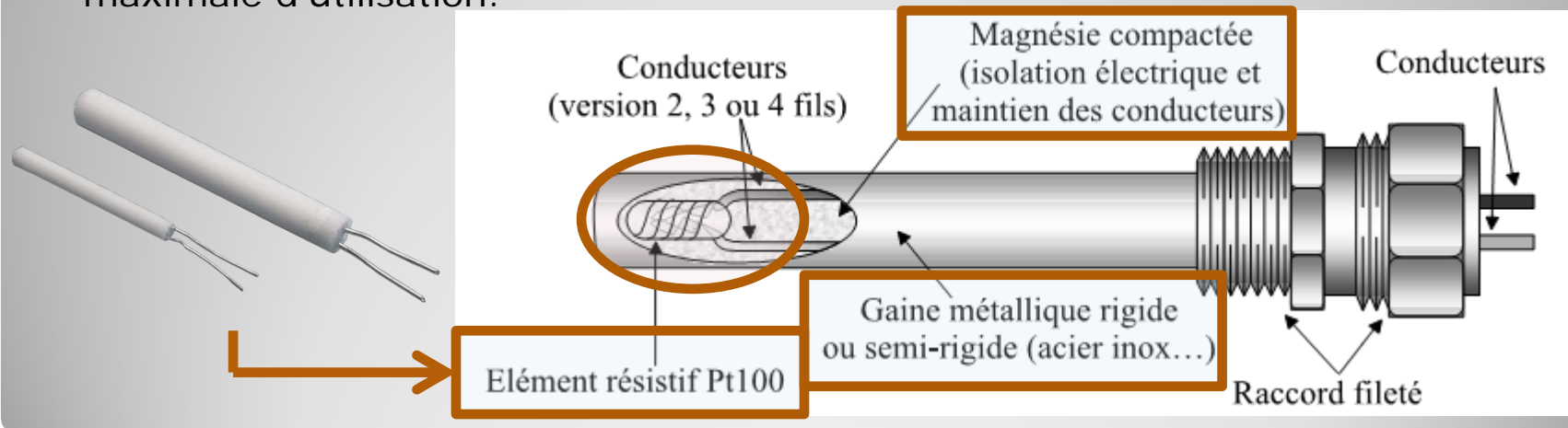
• Technologie des sondes Pt100

Résistances à fil de platine enroulé sur support isolant

Le diamètre de l'élément sensible est de l'ordre de quelques dizaines de micromètres et la longueur de fil d'environ une dizaine de centimètres.

Après bobinage autour d'un mandrin en verre (-200 à 350°C) ou en céramique (-200 à 650°C) la longueur de la sonde est de l'ordre de quelques centimètres.

L'élément en platine est placé par compactage minéral dans une gaine de protection cylindrique métallique, déformable ou rigide, appelée canne thermométrique. La nature de cette protection détermine la température maximale d'utilisation.



La mesure de température

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

- **Les sondes à résistance de platine**

Relation

Selon la norme CEI 751, la relation de la résistance de platine $R(T)$ avec la température T , qui permet de définir sa température à moins de $0,1^\circ\text{C}$ est :

Pour une plage de -200°C à 0°C

$$R(T)/R(0^\circ\text{C}) = 1 + A.T + B.T^2 + C.(T-100).T^3$$

Pour une plage de 0°C à 850°C

$$R(T)/R(0^\circ\text{C}) = 1 + A.T + B.T^2$$

La valeur de la résistance normalisée **Pt100 est $100\ \Omega$ à 0°C** , $R(0^\circ\text{C})=100\ \Omega$

Les coefficients A,B et C sont déterminés par l'étalonnage.

Pour les sondes industrielles, la valeur des coefficients est:

$$A=3,851.10^{-3}\ \text{°C}^{-1}; B=-5,775.10^{-7}\ \text{°C}^{-2}; C=-4,1835.10^{-12}\ \text{°C}^{-4}$$

Le tableau de relation température/résistance (EIT 1990) donne la correspondance entre température et résistance pour des sondes industrielles telles que : $R(0^\circ\text{C})=100,00\ \Omega$ et $R(100^\circ\text{C})=138,51\ \Omega$

La mesure de température

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
Hydrostatique

Niveau
sans contact

Température

- Extrait de la table de référence d'une sonde Pt100 d'après l'échelle internationale de température 1990 (EIT 90)

°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
-200	18,52										
-150	39,72	37,64	35,54	33,44	31,34	29,22	27,10	24,97	22,83	20,68	18,53
-100	60,26	58,23	56,19	54,15	52,11	50,06	48,00	45,94	43,88	41,80	39,72
-50	80,31	78,32	76,33	74,33	72,33	70,33	68,33	66,31	64,30	62,28	60,26
-0	100	98,04	96,09	94,12	92,16	90,19	88,22	86,25	84,27	82,29	80,31
0	100	101,95	103,90	105,85	107,79	109,73	111,67	113,61	115,54	117,47	119,40
50	119,40	121,32	123,24	125,16	127,08	128,99	130,90	132,80	134,71	136,61	138,51
100	138,51	140,40	142,29	144,18	146,07	147,95	149,83	151,71	153,58	155,46	157,33
150	157,33	159,19	161,05	162,91	164,77	166,63	168,48	170,33	172,17	174,02	175,86
200	175,86	177,69	179,53	181,36	183,19	185,01	186,84	188,66	190,47	192,29	194,10
250	194,10	195,91	197,71	199,51	201,31	203,11	204,90	206,70	208,48	210,27	212,05
300	212,05	213,83	215,61	217,38	219,15	220,92	222,68	224,45	226,21	227,96	229,72
350	229,72	231,47	233,21	234,96	236,70	238,44	240,18	241,91	243,64	245,37	247,09
650	329,64	331,22	332,79	334,36	335,93	337,50	339,06	340,62	342,18	343,73	345,28
850	390,48										

La mesure de température

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

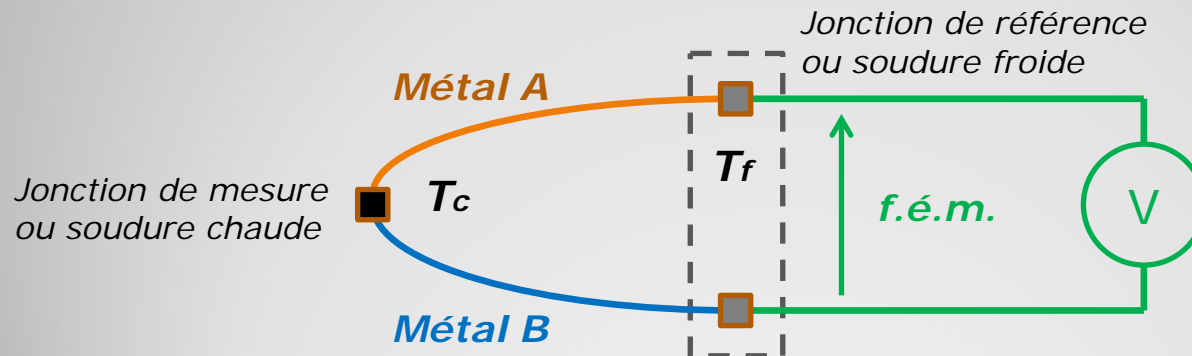
Température

• Les thermocouples

Principe

Un thermocouple est un circuit électrique fermé, constitué par deux métaux différents **A** et **B**, dont les **jonctions** sont soumises à un gradient de température.

La **conversion d'énergie thermique** crée un déplacement d'électrons et **génère** une force électromotrice (**f.é.m.**) de Seebeck, qui dépend de la **nature** des deux **métaux** et de la différence des températures au niveau des jonctions.



La mesure de température

Généralités

Capteurs

Pression

Niveau
HydrostatiqueNiveau
sans contact

Température

- Les thermocouples

Propriétés spécifiques des thermocouples par type

Il existe huit types de thermocouple normalisé codifiés par une lettre :

CODE	Conducteurs Positif / Négatif	Température conseillée (°C)	Indications
K	Nickel-Chrome / Nickel Aluminium	-40 à 1100	Le plus utilisé
T	Cuivre / Cuivre-Nickel	-185 à 350	Applications cryogéniques
J	Fer / Cuivre-Nickel	20 à 700	Industrie plastique
N	Ni-Chrome-Silicium / Ni-Silicium	0 à 1150	Milieu nucléaire
E	Nickel -Chrome/ Cuivre-Nickel	0 à 800	Milieu oxydant
R	Platine Rhodié 13% / Platine	0 à 1600	Plus stable que le type S
S	Platine Rhodié 10% / Platine	0 à 1550	Milieu oxydant et corrosif
B	Platine Rhodié 30% / Platine Rhodié 6%	100 à 1600	Le plus cher, + stable que R

La mesure de température