

4) Capteurs et Transmetteurs

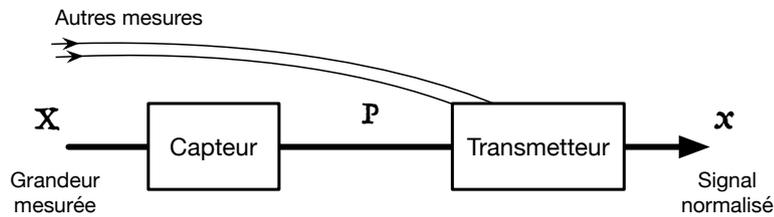
1. Capteurs ou transmetteur	2
1.1. Rôles et fonctions du couple capteur + transmetteur	2
1.2. Etendue de mesure	2
1.3. Le transmetteur intelligent	2
1.4. Paramétrage	2
1.5. La communication	3
1.5.1. La liaison HART	3
1.5.2. Réseaux de terrain	4
1.6. Directive ATEX 1999/92/CE - Zones explosives	3
1.6.1. Présentation	3
1.6.2. Définition des zones ATEX	4
1.6.3. Marquage	4
2. Capteurs de pression.....	7
2.1. Les principales échelles de pression	7
2.2. Les différentes pressions	7
2.3. Principe de fonctionnement	7
2.4. Mesure capacitive de position	7
2.5. Mesure inductive de position	7
2.6. La mesure de pression pour mesurer un niveau	8
2.7. La mesure de pression pour mesurer un débit	8
3. Capteurs de niveau	9
3.1. Méthodes hydrostatiques	9
3.2. Propagation d'ondes	9
3.3. Caractéristiques électriques.....	9
3.4. Absorption de rayonnement	9
4. Capteurs de débit	10
4.1. Mesures de débit volumique.....	10
4.1.1. Débitmètre à turbine	10
4.1.2. Débitmètre à palette	10
4.1.3. Débitmètre magnétique.....	10
4.2. Mesures de débit massique	10
4.2.1. Débitmètre thermique	10
4.2.2. Débitmètre à effet Coriolis	10
5. Capteurs de température	11
5.1. Les principales échelles de température	11
5.2. Le transmetteur de température	11
5.3. PT100.....	11
5.4. Thermocouples	11

1. Capteurs ou transmetteur

1.1. Rôles et fonctions du couple capteur + transmetteur

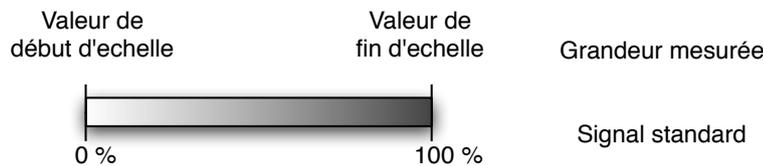
La chaîne de mesure comprend au minimum deux éléments :

- Un capteur qui délivre une grandeur physique P fonction de la grandeur mesurée X ;
- Un transmetteur qui délivre un signal standard x à partir de la grandeur P, signal qui est généralement proportionnelle à la grandeur mesurée X. Le transmetteur peut bénéficier d'autres mesures afin de linéariser au mieux la relation $x = f(X)$.



1.2. Etendue de mesure

Dans beaucoup de capteurs industriels on peut régler l'étendue de mesure. Ainsi, on pourra définir le début de l'échelle et la fin de l'échelle. Quand la grandeur mesurée a une valeur en dehors de l'échelle, le transmetteur se mets sur sa position de replis.



1.3. Le transmetteur intelligent

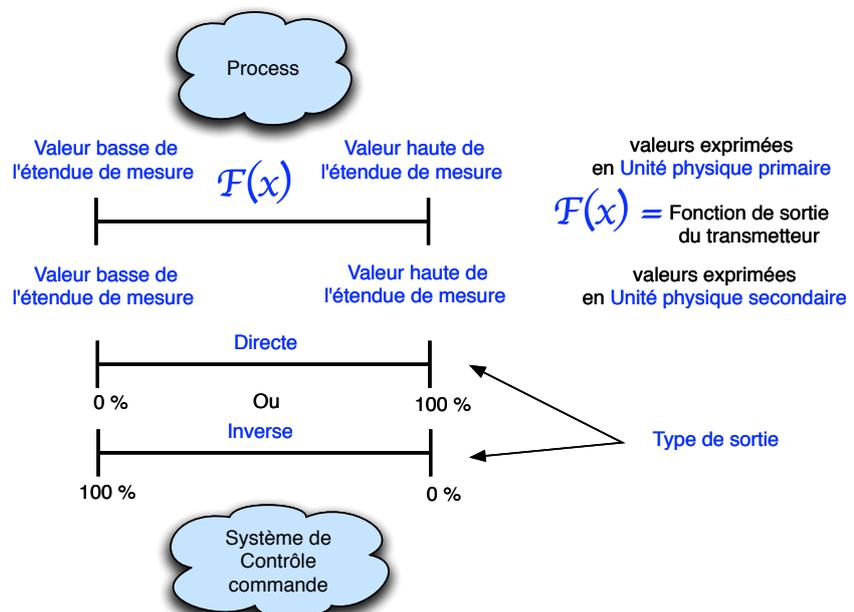
Le transmetteur intelligent est un transmetteur muni d'un module de communication et d'un microcontrôleur. Le module de communication permet :

- De régler le transmetteur à distance ;
- De brancher plusieurs transmetteurs sur la même ligne.
- De convertir la mesure en une autre grandeur, appelée grandeur secondaire. Par exemple, il peut convertir une mesure de différence de pression en niveau (voir chapitre sur les mesures de niveau).
- De corriger l'influence des grandeurs d'influence sur la mesure.



1.4. Paramétrage

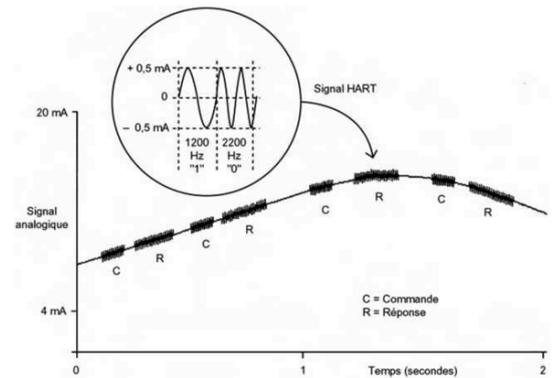
Si le transmetteur intelligent apporte plus de fonctions, il est aussi plus difficile à paramétrer. On trouve en général les paramètres suivants (en bleu).



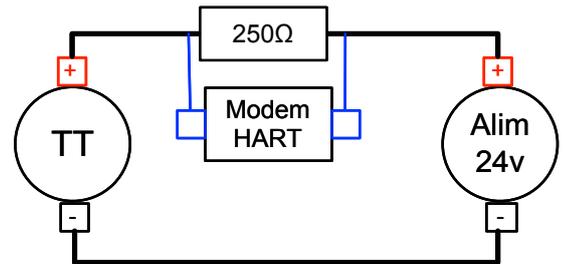
1.5. La communication

1.5.1. La liaison HART

HART = Highway Addressable Remote Transducer est un protocole de communication (matériel et logiciel) utilisé pour communiquer avec des capteurs ou actionneurs numériques (dits intelligents ou smart) sur une liaison analogique 4-20mA. Il consiste à superposer un courant alternatif, dont la fréquence véhicule les informations de manière numérique. Ceci permet la compatibilité avec les systèmes existants, tout en autorisant une communication numérique simultanée pour la configuration, la surveillance du fonctionnement, les diagnostics etc.



Pour permettre la communication avec un modem HART, on devra rajouter dans la boucle de courant une résistance d'au moins 250 Ω sur laquelle sera connecté le modem. Il n'y a pas de polarité sur le modem HART.



1.5.2. Réseaux de terrain

La fonction de communication est devenue la clef de voûte de la conception des architectures automatisées.

Les constructeurs de régulateurs et API ont créé des offres de Réseaux Locaux Industriels (RLI) afin d'assurer une communication efficace entre les différents éléments composants les automatismes. Les réseaux de terrain ont permis :

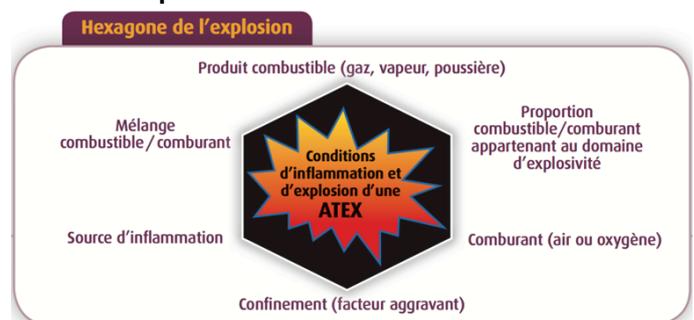
- L'installation locale ou distante d'instrumentation plus aisée ;
- Le transfert de données vers des hôtes repartis pour le traitement et la supervision ;
- La gestion, diagnostics et réparation à distance de l'équipement ;
- Des gains de câblage importants (suppression des boucles analogiques 4-20mA) ;
- La réduction des coûts de maintenance...

1.6. Directive ATEX 1999/92/CE - Zones explosives

1.6.1. Présentation

La directive ATEX (ATmosphères EXplosives) a pour objectif l'amélioration de la santé et de la sécurité des travailleurs exposés aux risques des atmosphères explosives. L'employeur doit :

- Empêcher la formation des ATEX,
- Éviter l'inflammation des ATEX,
- Atténuer les effets néfastes de l'explosion des ATEX.



Pour satisfaire ces exigences, l'employeur est tenu :

- D'évaluer les risques spécifiques créés par des ATEX,
- De classer en zones les emplacements à risques,
- D'installer dans ces zones des matériels électriques et non électriques conformes à la directive ATEX,
- De prendre des mesures techniques adéquates de prévention et de protection contre les effets des explosions,
- De prendre des mesures organisationnelles telles que la formation du personnel appelé à travailler dans les zones ATEX,
- D'établir un document relatif à la protection contre les explosions.

1.6.2. Définition des zones ATEX

La réglementation définit les zones suivantes :

Atmosphère explosive	Zone gaz / vapeur (G)	Zone poussière (D)
Permanente, en fonctionnement normal	0	20
Occasionnelle, en fonctionnement normal	1	21
Accidentelle, en cas de dysfonctionnement	2	22

1.6.3. Marquage

- **1er critère** : Catégorie de matériel

Zone	Catégorie	Niveau de protection	Matériel
0/20	1G/1D	Très haut	Possédant deux moyens indépendants d'assurer la protection ou la sécurité, même lorsque deux défaillances se produisent indépendamment l'une de l'autre.
1/21	2G/2D	Haut	Adapté à une exploitation normale et à des perturbations survenant fréquemment, ou aux équipements pour lesquels les défauts de fonctionnement sont normalement pris en compte.
2/22	3G/3D	Normal	Adapté à une exploitation normale.

- **2ème critère** : Groupe et subdivision pour les gaz/vapeurs et étanchéité du matériel pour les poussières

→ Groupes de gaz/vapeurs

Diverses substances peuvent s'enflammer suite à l'apport d'une énergie suffisante. Plus l'énergie suffisante est faible, plus la substance est dangereuse. On définit deux critères :

L'énergie minimale d'inflammation (**EMI**), l'énergie minimale qui doit être fournie au mélange, sous forme d'une flamme ou d'une étincelle, pour provoquer l'inflammation.

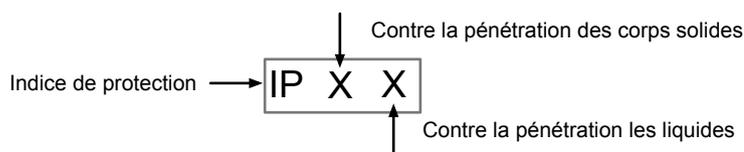
L'Interstice expérimental maximal de sécurité (**IEMS**), l'épaisseur maximale de la couche d'air entre deux parties d'une chambre interne d'un appareil d'essai qui, lorsque le mélange interne est enflammé, empêche l'inflammation du mélange gazeux externe à travers un épaulement de 25 mm de longueur.

À partir de ces deux critères caractéristiques de chaque substance, quatre groupes de gaz ont été établis sur la base de cinq gaz représentatifs (ce sont ceux utilisés pour les essais).

Mines	Groupe de gaz et subdivision	EMI (μJ)	IEMS (mm)
Méthane	I	300	1,14
Industrie de surface			
Propane	II A	240	0,92
Éthylène	II B	70	0,65
Acétylène	II C	17	0,37
Hydrogène	II D	17	0,29

Pour le groupe II, la dangerosité croît de la subdivision II A (le moins dangereux) à la subdivision II C (le plus dangereux).

→ Etanchéité du matériel pour les poussières



Matériel pouvant être utilisé		Etanchéité nécessaire
Zone 20		IP6X
Zone 21		IP6X
Zone 22	Poussières conductrices	IP6X
	Poussières isolantes	IP6X

- **3ème critère** : Classe de température

Les diverses substances, gaz/vapeurs ou poussières, peuvent s'enflammer sous l'effet de la chaleur à une température dite température minimale d'inflammation (ou d'auto-inflammation) qui est caractéristique de chaque substance. Plus celle-ci est faible, plus la substance est dangereuse. En conséquence, les matériels destinés à être utilisés dans une atmosphère explosive sont classés de T1 à T6 en fonction de la température maximale de surface qu'ils génèrent :

Classe de température	Valeur maximale (°C)
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Pour les gaz/vapeurs, les températures des surfaces ne doivent pas dépasser des valeurs égales à 80 % des températures d'auto-inflammation.

Pour les poussières, les températures des surfaces doivent être inférieures ou égales à la valeur la plus faible des deux critères suivants :

- Deux-tiers de la température d'auto-inflammation du nuage air/poussière,
- Température d'auto-inflammation d'une couche de 5 mm d'épaisseur de la poussière considérée diminuée de 75 K.

- **4ème critère** : Mode de protection

→ Mode de protection pour les matériels électriques utilisés en atmosphère explosive gazeuse

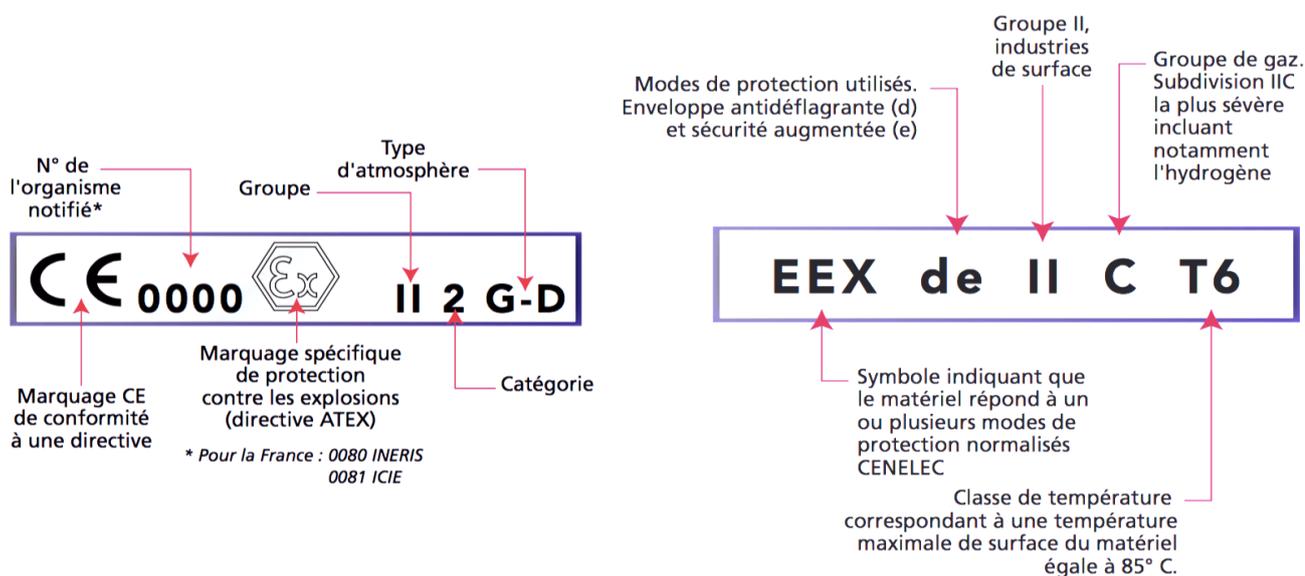
Les différents modes de protection pour le matériel électrique sont bien connus. Ils agissent sur l'une des 3 composantes présentées ci-dessous.

Suppression de l'atmosphère explosive	Surpression interne symbole (p)	La pénétration d'une atmosphère environnante à l'intérieur de l'enveloppe du matériel électrique est empêchée par le maintien, à l'intérieur de la dite enveloppe, d'un gaz de protection à une pression supérieure à celle de l'atmosphère environnante.
	Immersion dans l'huile symbole (o)	Le matériel électrique est immergé dans l'huile de telle sorte qu'une atmosphère explosive se trouvant au-dessus du niveau de l'huile ou à l'extérieur de l'enveloppe ne puisse pénétrer et donc s'enflammer.
	Encapsulation symbole (m)	Les pièces qui pourraient enflammer une atmosphère explosive par des étincelles ou par des échauffements sont enfermées dans une résine de telle manière que cette atmosphère explosive ne puisse pénétrer et donc s'enflammer.
Suppression de la source d'inflammation	Sécurité augmentée symbole (e)	Mode de protection consistant à appliquer des mesures afin d'éviter, avec un coefficient de sécurité élevé, la possibilité de températures excessives et l'apparition d'arcs ou d'étincelles à l'intérieur et sur les parties externes du matériel électrique qui ne produit pas en service normal.

Suppression de la source d'inflammation	Sécurité intrinsèque symbole (i)	Un circuit de sécurité intrinsèque est un circuit dans lequel aucune étincelle ni aucun effet thermique, produit dans les conditions d'épreuve prescrites par la norme, n'est capable de provoquer l'inflammation d'une atmosphère explosive donnée.
Non-propagation de l'inflammation	Enveloppe antidéflagrante symbole (d)	Les pièces qui peuvent enflammer une ATEX sont enfermées dans une enveloppe qui résiste à la pression développée lors d'une explosion interne d'un mélange explosif et qui empêche la transmission de l'explosion à l'atmosphère environnante de l'enveloppe.
	Remplissage pulvérulent symbole (q)	Les parties susceptibles d'enflammer une atmosphère explosive sont en position fixe et sont complètement noyées dans un matériau de remplissage de telle sorte que l'inflammation d'une atmosphère explosive environnante soit empêchée.

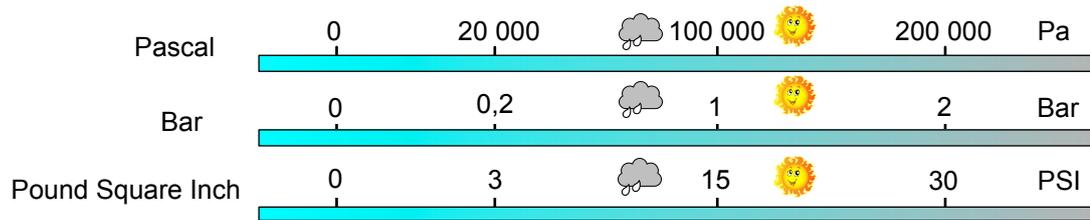
→ Mode de protection pour les matériels non électriques (valables pour les atmosphères explosives gazeuses et poussières)

Enveloppe à circulation limitée symbole (fr)	Protection par restriction de débit. Le principe est la réduction de l'entrée de l'atmosphère explosive à l'intérieur des enveloppes (concentration < LIE). Elle peut s'appliquer à des appareils comportant des sources d'inflammation.
Enveloppe antidéflagrante symbole (d)	Ce mode de protection est identique au mode (d) pour matériel électrique.
Sécurité intégrée	Ce mode de protection a pour principe de définir les critères maximaux sur les vitesses des parties en mouvement, sur la nature des matériaux et les énergies mises en œuvre afin qu'il n'y ait pas de sources d'inflammation actives.
Sécurité à la construction symbole (c)	Ce mode de protection a pour principe de base de sélectionner des équipements ne contenant pas, en régime normal, de source d'inflammation.
Contrôle de la source d'inflammation symbole (b)	Ce mode de protection consiste à équiper l'appareil de systèmes de contrôle et de surveillance avec capteurs mettant hors énergie l'appareil en cas de dépassement de ses paramètres de sécurité.
Suppression interne	S'inspire fortement du mode de protection (p) pour les matériels électriques.
Immersion dans un liquide symbole (k)	Norme qui a repris le principe du mode de protection (o) pour les matériels électriques avec des aménagements pour prendre en compte une immersion partielle et l'utilisation de liquides autres que l'huile (eau par exemple).



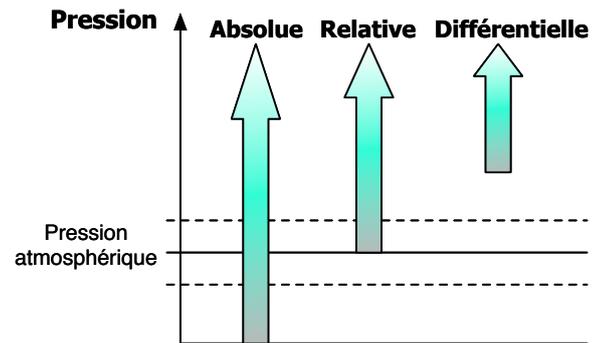
2. Capteurs de pression

2.1. Les principales échelles de pression



2.2. Les différentes pressions

Un capteur de pression est amené à mesurer une seule pression, on parle alors de pression relative ou de pression absolue, mais mesure une différence de pression, on parle alors de pression différentielle.



2.3. Principe de fonctionnement

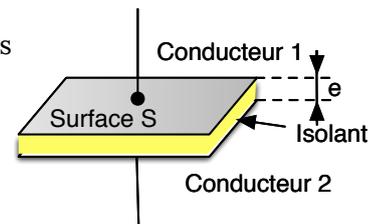
Une grande partie des capteurs de pression utilise la mesure d'une déformation d'un solide soumis à la pression pour mesurer celle-ci. Il s'agit en fait le plus souvent de capteur de position. Deux technologies se dégagent :

- La mesure capacitive de position ;
- La mesure inductive de position.

2.4. Mesure capacitive de position

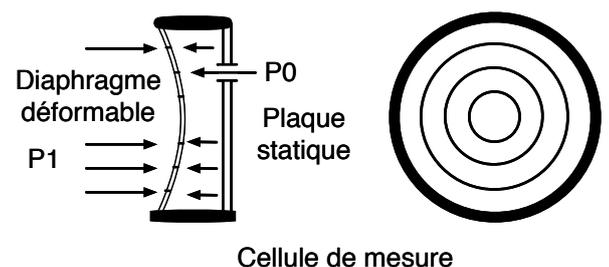
Pour un condensateur plan, la valeur de sa capacité C en fonction de ses dimensions est $C = \epsilon_0 \epsilon_r S / e$, avec :

- C : la capacité du condensateur en F ;
- ϵ_0 : permittivité du vide = $8,85 \cdot 10^{-12}$ en $F \cdot m^{-1}$;
- ϵ_r : permittivité relative de l'isolant ;
- S : surface en regard en m^2 ;
- e : épaisseur de l'isolant en m.



Mises-en œuvre :

Le condensateur est formé de deux conducteurs différent. Une plaque statique, qui ne se déforme pas et d'un diaphragme déformable qui subit une différence de pression entre ses deux côtés. Cette différence de pression entraîne une déformation de celui-ci, déformation mesurée par l'intermédiaire de la variation de capacité de la cellule de mesure.



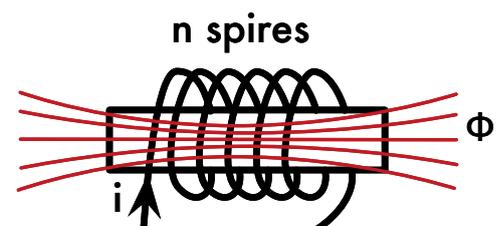
2.5. Mesure inductive de position

Un bobinage de fils conducteurs parcouru par un courant électrique i , crée un champs magnétique B . On peut canaliser les lignes de champs en ajoutant un circuit magnétique.

On peut alors écrire : $n \times i = \mathfrak{R} \times \Phi$.

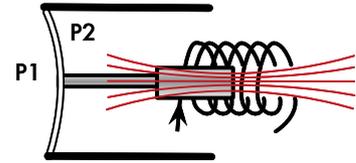
Avec :

- n : le nombre de spires ;
- i : le courant électrique en A ;
- \mathfrak{R} : la reluctance du circuit magnétique en H^{-1} ;
- Φ : le flux magnétique traversant les spires en Wb.



Mises-en œuvre :

Une membrane se déforme sous l'effet d'une différence de pression. Ce déplacement entraîne un noyau magnétique qui modifie la reluctance du circuit magnétique. On mesure la pression en mesurant la valeur de l'inductance de la bobine.

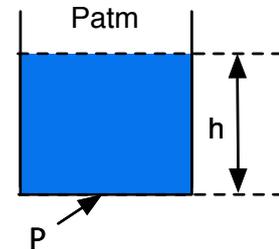
**2.6. La mesure de pression pour mesurer un niveau**

Pour un liquide homogène donné, la pression relative en fond de réservoir est proportionnelle au niveau de celui-ci. La mesure de cette pression nous informe directement sur le niveau de liquide, mais dépend de la masse volumique du liquide.

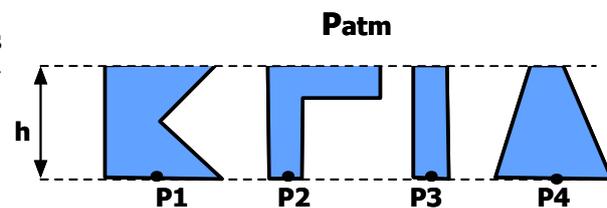
On a la relation : $P = \rho \times g \times h$

Avec :

- P : la pression hydrostatique en Pa ;
- ρ : la masse volumique du liquide en Kg.m^{-3} ;
- h : la hauteur du liquide en m.

**Remarque :**

La pression ne dépend pas de la forme du réservoir, mais uniquement de la hauteur de liquide. Sur la figure ci-contre on a $P1 = P2 = P3 = P4$.



Exemple de réglage d'un transmetteur de pression qui mesure un niveau :

Unité physique primaire	kPa
Valeur basse étendue de mesure primaire	10
Valeur haute étendue de mesure primaire	88,5
Unité physique secondaire	cm
Valeur basse étendue de mesure secondaire	0
Valeur haute étendue de mesure secondaire	80
Type de sortie	Directe
Fonction de sortie	Linéaire

2.7. La mesure de pression pour mesurer un débit

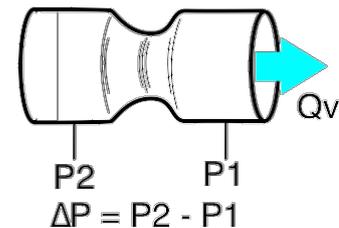
Un resserrement de la conduite crée entre amont et aval une différence de pression ΔP liée au débit par une relation de la forme :

$$Q_v = k \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

Avec :

- Q_v = le débit volumique en $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$;
- ΔP : la différence de pression en Pa ;
- k : un coefficient fonction de la restriction en m^2 ;
- ρ : la masse volumique du liquide en kg.m^{-3} .

Exemple de réglage d'un transmetteur de pression qui mesure un débit :

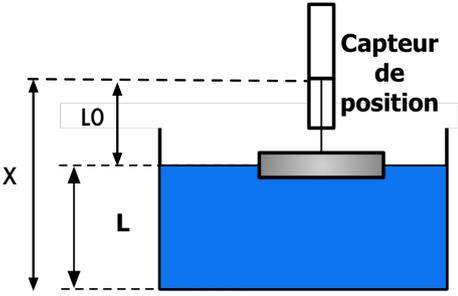
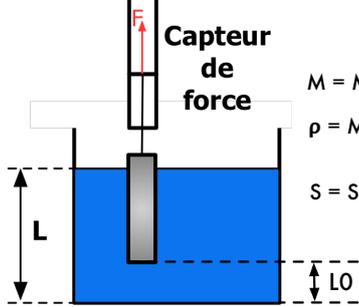


Unité physique primaire	kPa
Valeur basse étendue de mesure primaire	0
Valeur haute étendue de mesure primaire	100
Unité physique secondaire	L.h^{-1}
Valeur basse étendue de mesure secondaire	0
Valeur haute étendue de mesure secondaire	30
Type de sortie	Directe
Fonction de sortie	Racine

3. Capteurs de niveau

3.1. Méthodes hydrostatiques

Dans le paragraphe précédent, nous avons montré l'utilisation de la pression hydrostatique pour mesurer un niveau. Il existe d'autres méthodes qui utilisent ce principe ; le flotteur et le plongeur.

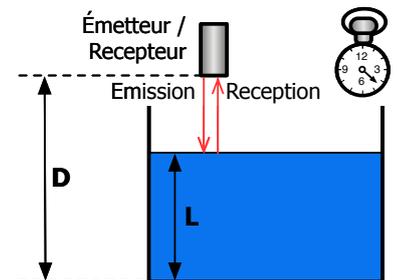
Le Flotteur	Le plongeur
	 <p> $M = \text{Masse Flotteur}$ $\rho = \text{Masse Volumique du Liquide}$ $S = \text{Section plongeur}$ </p>
<p>Le flotteur se maintient à la surface du liquide. Il est solidaire d'un capteur de position qui délivre un signal électrique correspondant au niveau. Sa position est peu dépendante de la masse volumique de liquide.</p>	<p>Le plongeur est un cylindre immergé dont la hauteur est au moins égale à la hauteur maximale du liquide dans le réservoir. Il est suspendu à un capteur dynamométrique qui se trouve soumis à une force F (le poids apparent), fonction de la hauteur L du liquide :</p>
<p>Pour mesurer un niveau, on mesure une position.</p>	<p>Pour mesurer un niveau, on mesure une force.</p>
$X = L + L0$	$F = (M - S \times (L - L0) \times \rho) \times g$

3.2. Propagation d'ondes

Un transducteur placé au sommet du réservoir émet, dans un cône de faible ouverture, des trains d'ondes qui après réflexion sur la surface du liquide retournent vers le transducteur. L'intervalle de temps Δt séparant l'émission de la réception du train d'ondes réfléchi est proportionnel à la distance du transducteur à la surface du liquide : il est donc fonction du niveau.

Pour mesurer un niveau on mesure un temps.

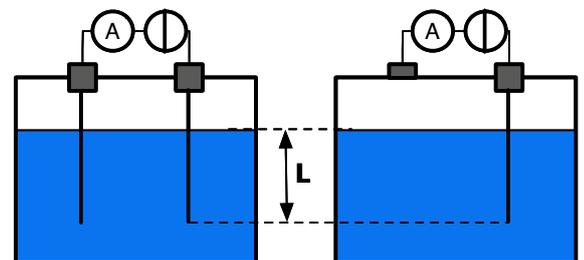
$$\Delta t = 2 \times \frac{D - L}{V}, \text{ avec } V \text{ la vitesse de propagation de l'onde en m.s}^{-1}.$$



3.3. Caractéristiques électriques

Deux conducteurs sont plongés dans le liquide, un des conducteurs pouvant être le réservoir. On mesure alors une caractéristique électrique du dipôle ainsi créé, généralement une capacité ou une résistance. Cette caractéristique est fonction du niveau du liquide.

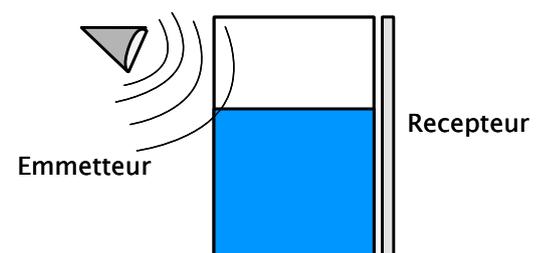
Pour mesurer un niveau on mesure une caractéristique électrique.



3.4. Absorption de rayonnement

La source et le détecteur sont placés à l'extérieur, de part et d'autre du réservoir ; cette disposition est particulièrement adaptée au cas de liquides très corrosifs ou sous haute pression ou à haute température. La source émet une onde qui est absorbée en partie par le liquide. On mesure alors la puissance de l'onde qui traverse le liquide. Moins la puissance de l'onde est importante, plus il y a de liquide.

Pour mesurer un niveau, on mesure une puissance.



4. Capteurs de débit

On rappelle que $Q_m(\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}) = \rho(\text{kg}\cdot\text{m}^3)\cdot Q_v(\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1})$

4.1. Mesures de débit volumique

4.1.1. Débitmètre à turbine

Une turbine à pale souple est placée à l'intérieur de la canalisation. Son axe de rotation est excentré afin de donner un sens de rotation lorsque le fluide se déplace. La vitesse de rotation de la turbine est proportionnelle au débit volumique.

Pour mesurer un débit, on mesure une vitesse de rotation.

4.1.2. Débitmètre à palette

Une palette est soumise à la force aérodynamique ou hydrodynamique de l'écoulement, à son poids, et éventuellement à l'action d'un ressort de rappel. La position d'équilibre est fonction du débit.

Pour mesurer un débit, on mesure une position.

4.1.3. Débitmètre magnétique

L'induction magnétique, de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-2} T, est produite par deux bobines placées de part et d'autre de la conduite de mesure. La conduite est en matériaux amagnétique et est revêtue sur sa surface intérieure d'une couche isolante. Deux électrodes de mesure sont placées aux extrémités du diamètre perpendiculaire au champ B. Les bobines sont alimentées par une tension alternative (30 Hz par exemple), afin d'éviter une polarisation des électrodes.

Pour mesurer un débit, on mesure une tension.

4.2. Mesures de débit massique

4.2.1. Débitmètre thermique

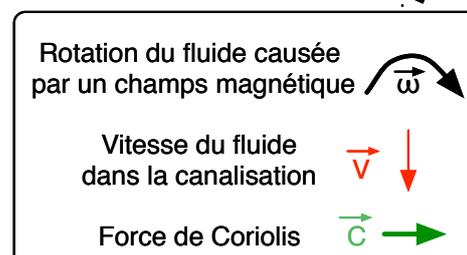
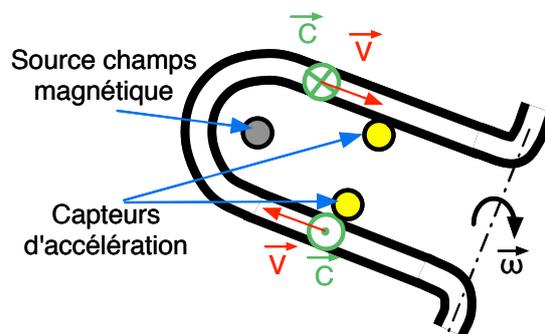
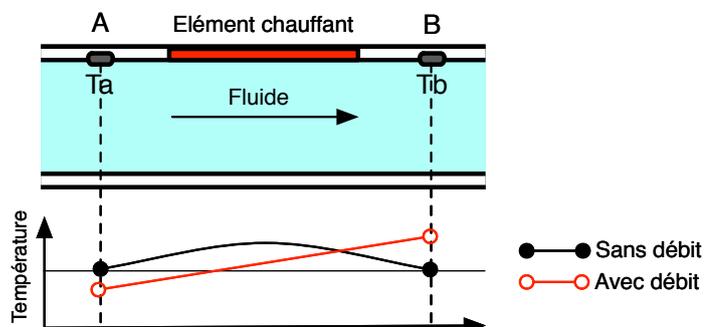
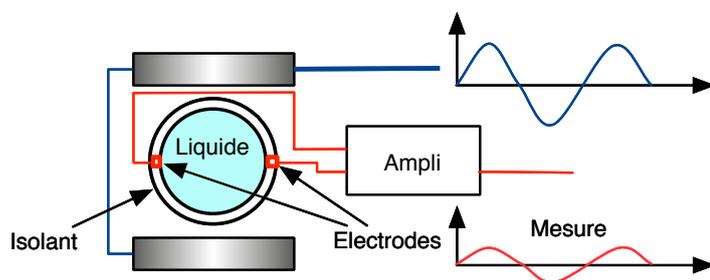
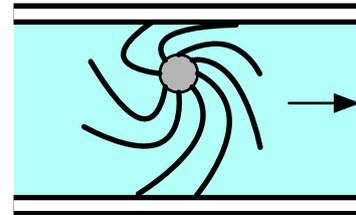
Deux capteurs de température sont placés aux points A et B, de part et d'autre d'un élément chauffant. La différence de température, $T_b - T_a$ est proportionnelle au débit massique. Le capteur fonctionne correctement pour un intervalle de débit.

Pour mesurer un débit on mesure une différence de température.

4.2.2. Débitmètre à effet Coriolis

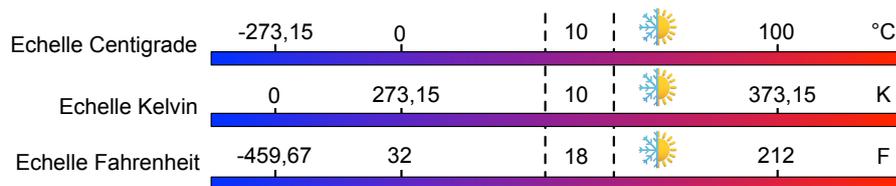
On utilise comme capteur une portion de canalisation horizontale en forme de U. Un champ électromagnétique alternatif induit une rotation alternative selon l'axe de la conduite. Le fluide s'écoulant dans le tube est contraint de suivre cette rotation. Il se produit un phénomène alternatif de résistance ou d'aide à la rotation, entraînant deux vibrations en amont et en aval du coude. Ces vibrations sont en déphasage, déphasage dont l'amplitude est proportionnelle au débit massique du fluide.

Pour mesurer un débit, on mesure un déphasage.



5. Capteurs de température

5.1. Les principales échelles de température



5.2. Le transmetteur de température

Les capteurs de température électriques fonctionnent généralement montés en série avec un transmetteur qui assure la conversion du signal fournie par le capteur en un signal standard.

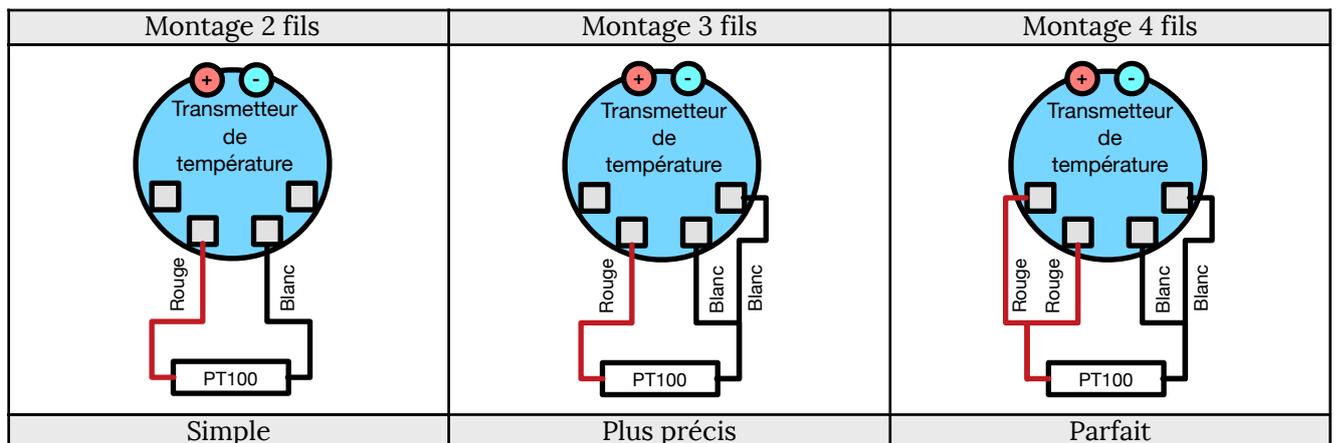
5.3. PT100

Un fil de platine est placé à la température que l'on veut mesurer. Ce fil a une résistance de 100 Ω pour une température de 0 °C. Comme tous conducteurs, sa résistance est fonction de sa température.

Pour mesurer une température, on mesure une résistance.

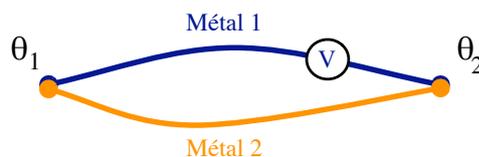
→ Schémas de câblage

Comme on voit sur la figure ci-avant, les fils de liaison de la PT100 à l'ohmmètre sont aussi soumis à la température θ , ce qui entraîne une variation de leurs résistances. Pour limiter les erreurs de mesures, on dispose de différents montages de liaisons vers le transmetteur.



5.4. Thermocouples

Un thermocouple est un couple de conducteur de métaux différents soudés à leurs extrémités. Il fournit une tension qui est fonction de la température des deux soudures (θ_1 et θ_2 sur la figure ci-après) et de la nature des deux métaux.



Pour les thermocouples normalisés, on dispose de tables de références qui fournissent la F.E.M. en fonction d'une température, l'autre, dite de référence, est fixé à 0°C. Pour déterminer la F.E.M. fournie par un thermocouple, on utilisera donc la table correspondante et la formule de compositions des températures :

$$E_{\theta_1, \theta_2}^{M1, M2} = E_{\theta_1, 0^\circ\text{C}}^{M1, M2} - E_{\theta_2, 0^\circ\text{C}}^{M1, M2}$$

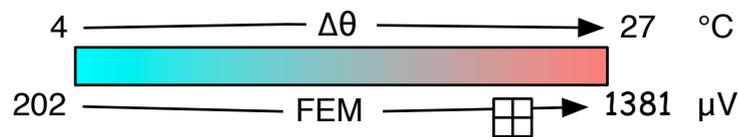
Pour mesurer une température, on mesure une tension.

Exemple :

Thermocouple Type J - Fer/Cuivre-Nickel - Tension en μV - CEI 584.1 (1995)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	50	101	151	202	253	303	354	405	456
10	507	558	609	660	711	762	814	865	916	968
20	1019	1071	1122	1174	1226	1277	1329	1381	1433	1484

On cherche la FEM fournie par le thermocouple ci-dessus, pour le couple de température : (4°C ; 27°C).

On peut représenter les données comme sur la figure ci-dessous : (Attention : relation de type complexe, représentée ici par un tableau).



La FEM est égale à $1381 \mu\text{V} - 202 \mu\text{V}$ soit $1179 \mu\text{V}$.

→ [Types de thermocouple](#)

Code	Couple	Couleur	Usage
K	Nickel - Chrome	Vert (+)	-200°C à
	Nickel - Aluminium	Blanc (-)	$+1200^\circ\text{C}$
T	Cuivre	Brun (+)	-200°C à
	Cuivre - Nickel	Blanc (-)	$+350^\circ\text{C}$
J	Fer	Noir (+)	-40°C à
	Cuivre - Nickel	Blanc (-)	$+750^\circ\text{C}$
R	Platine avec 13% Rhodium	Orange (+)	0°C à
	Platine	Blanc (-)	$+1600^\circ\text{C}$
E	Nickel - Chrome	Violet (+)	-200°C à
	Cuivre - Nickel	Blanc (-)	$+900^\circ\text{C}$

→ [Câbles de compensation](#)

Quand la longueur du thermocouple est trop importante, on remplace la partie à l'extérieur par des câbles de compensation. Ceux-ci ont les mêmes caractéristiques que les thermocouples auxquels ils sont associés, mais ils sont moins coûteux.

→ [Schémas de câblage](#)

