

---

# CHAP. II : CAPTEURS ET TRANSMETTEURS

Cours

2006-2007

---

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Classification des signaux</b>	<b>3</b>
1.1	Signal analogique . . . . .	3
1.2	Signal numérique . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Le capteur</b>	<b>4</b>
2.1	Définition . . . . .	4
2.2	Capteur actif . . . . .	4
2.3	Capteur passif . . . . .	4
2.4	Corps d'épreuve et Capteurs composites . . . . .	5
2.5	Capteur intégré . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Le Transmetteur</b>	<b>6</b>
3.1	Le rôle du transmetteur . . . . .	6
3.2	Paramétrage d'un transmetteur . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Raccordement électrique</b>	<b>7</b>
4.1	Le transmetteur . . . . .	7
4.2	Schéma de principe d'une boucle de courant . . . . .	7
4.3	Mise en oeuvre pratique . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Le transmetteur intelligent</b>	<b>10</b>
5.1	Avantages métrologique du transmetteur "intelligent" . . . . .	10
5.2	Avantages à la configuration et à la maintenance . . . . .	10
5.3	Paramétrage . . . . .	10
5.4	Le décalage du zéro et type de sortie . . . . .	12
<b>6</b>	<b>Choix d'un transmetteur</b>	<b>12</b>
6.1	Étendue de mesure . . . . .	12
6.2	Températures . . . . .	12
6.3	Environnement . . . . .	12
6.4	Zones dangereuses . . . . .	13
6.5	Boîtier antidéflagrant . . . . .	13
6.6	Equipements en sécurité intrinsèque . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Fonctions, symbolisation, schéma TI</b>	<b>13</b>
7.1	Fonctions . . . . .	13
7.2	Symbolisation . . . . .	14
7.3	Opérations mathématiques . . . . .	14
<b>8</b>	<b>Bus de terrain</b>	<b>14</b>

<b>Exercices</b>	<b>16</b>
1 Câblage . . . . .	16
2 Mesure de taux d'humidité . . . . .	18
3 Mesure de chocs . . . . .	18
4 Symbolisation . . . . .	19
5 Capteur de température . . . . .	19
6 Transmetteur intelligent . . . . .	19
7 Schéma TI . . . . .	19

<b>Évaluation - Année précédente</b>	<b>20</b>
--------------------------------------	-----------

## Table des figures

1 Différents types de signaux . . . . .	3
2 Capteur et transmetteur en situation . . . . .	4
3 Capteur composite . . . . .	5
4 Capteur intégré . . . . .	6
5 Transmetteur de température . . . . .	6
6 Relation entre grandeur mesurée et sortie d'un transmetteur . . . . .	7
7 Transmetteur de pression . . . . .	7
8 Transmetteur 4 fils . . . . .	8
9 Transmetteur 3 fils . . . . .	8
10 Transmetteur 2 fils . . . . .	8
11 Boucle de courant . . . . .	8
12 Exemple de câblage - Boucle de régulation de débit . . . . .	9
13 Structure d'un transmetteur intelligent . . . . .	10
14 Paramètres d'un transmetteur intelligent . . . . .	11
15 Schéma TI - Représentation de l'instrumentation . . . . .	14
16 Régulation de niveau dans le ballon avec correction de tendance . . . . .	15
17 Mesure de débit corrigé en pression et température . . . . .	15
18 Bus de terrain . . . . .	16

# 1 Classification des signaux

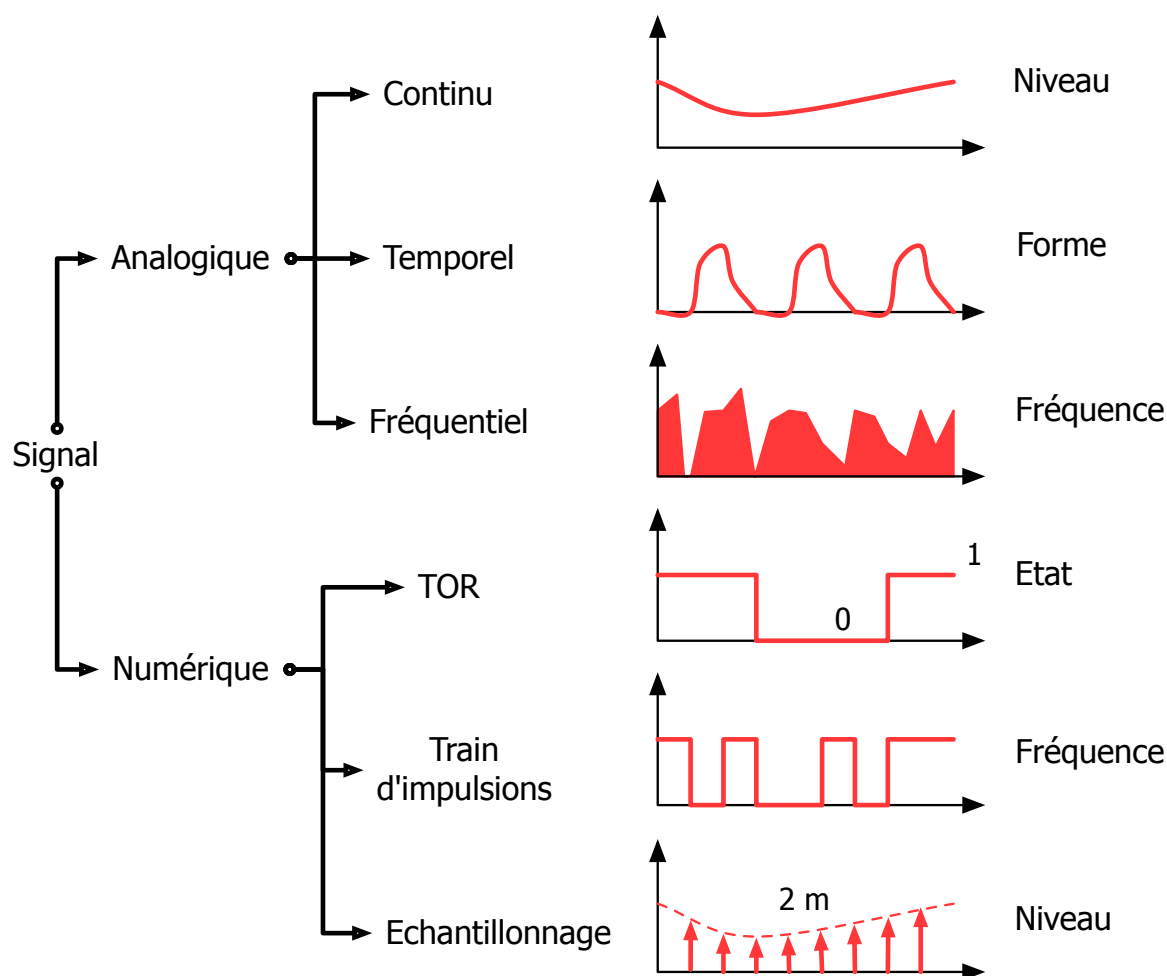


Figure 1 – Différents types de signaux

## 1.1 Signal analogique

Un signal est dit analogique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné.

- **Signal continu** : C'est un signal qui varie 'lentement' dans le temps : température, débit, niveau.
- **Forme** : C'est la forme de ce signal qui est important : pression cardiaque, chromatographie, impact.
- **Fréquentiel** : C'est le spectre fréquentiel qui transporte l'information désirée : analyse vocale, sonar, spectrographie.

## 1.2 Signal numérique

Un signal est numérique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs. En général ce nombre fini de valeurs est une puissance de 2.

- **Tout ou rien (TOR)** : Il informe sur un l'état bivalent d'un système. Exemple : une vanne ouverte ou fermée.
- **Train d'impulsion** : Chaque impulsion est l'image d'un changement d'état. Exemple : un codeur incrémental donne un nombre fini et connu d'impulsion par tour.
- **Echantillonnage** : C'est l'image numérique d'un signal analogique. Exemple : température, débit, niveau.

## 2 Le capteur

### 2.1 Définition

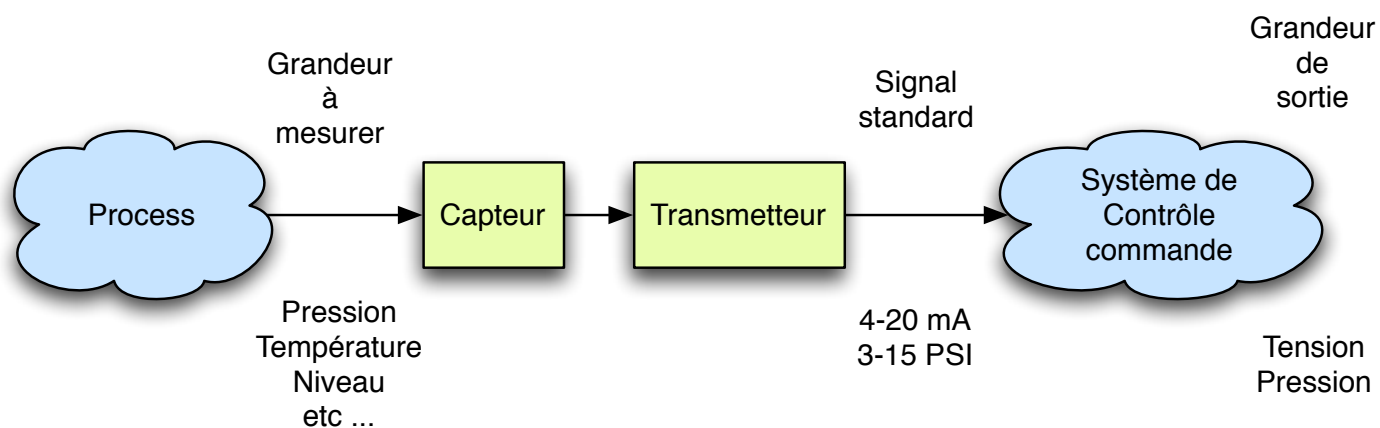


Figure 2 – Capteur et transmetteur en situation

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

### 2.2 Capteur actif

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement. Les plus classiques sont :

- **Effet thermoélectrique** : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures  $T_1$  et  $T_2$ , est le siège d'une force électromotrice  $e(T_1, T_2)$ .
- **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électrique (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.
- **Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique.
- **Effet photo-électrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à un seuil caractéristique du matériau.
- **Effet Hall** : Un champs  $B$  crée dans le matériau un champs électrique  $E$  dans une direction perpendiculaire.
- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes.

### 2.3 Capteur passif

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.

**Tableau 1** – Capteurs actifs

Grandeur physique à mesurer	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Température	Pyroélectricité	Charge
Flux de rayonnement optique	Photo-émission	Courant
Flux de rayonnement optique	Effet photovoltaïque	Tension
Flux de rayonnement optique	Effet photo-électrique	Tension
Force ou pression	Piézo-électricité	Charge
Accélération ou Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant) ou Courant	Effet Hall	Tension

- Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensiométrie liée à une structure déformable).

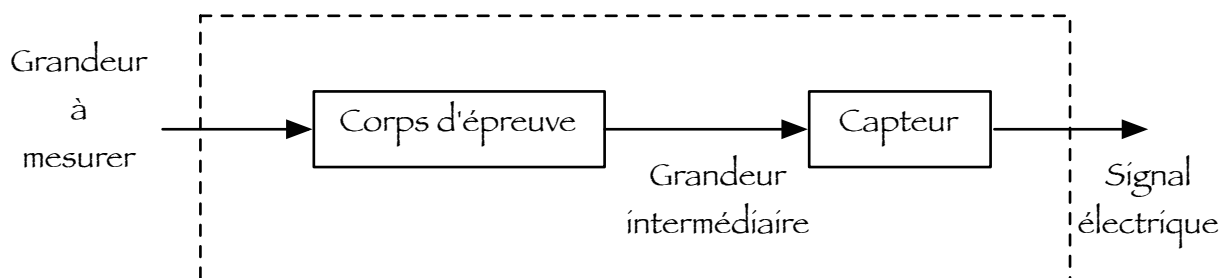
L'impédance d'un capteur passif et ses variations ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique, par ailleurs alimenté et qui est son conditionneur.

**Tableau 2** – Capteurs passifs

Grandeur physique à mesurer	Caractéristique sensible	Matériaux utilisés
Température	Température	Métaux : platine, nickel, cuivre ...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de Nickel, silicium dopé
Déformation	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

## 2.4 Corps d'épreuve et Capteurs composites

Pour des raisons de coût ou de facilité d'exploitation on peut être amené à utiliser un capteur, non pas sensible à la grandeur physique à mesurer, mais à l'un de ses effets. Le corps d'épreuve est le dispositif qui, soumis à la grandeur physique à mesurer produit une grandeur directement mesurable par le capteur.

**Figure 3** – Capteur composite

## 2.5 Capteur intégré

C'est un composant réalisé par les techniques de la micro-électronique et qui regroupe sur un même substrat de silicium commun, le capteur à proprement dit, le corps d'épreuve et l'électronique de conditionnement.

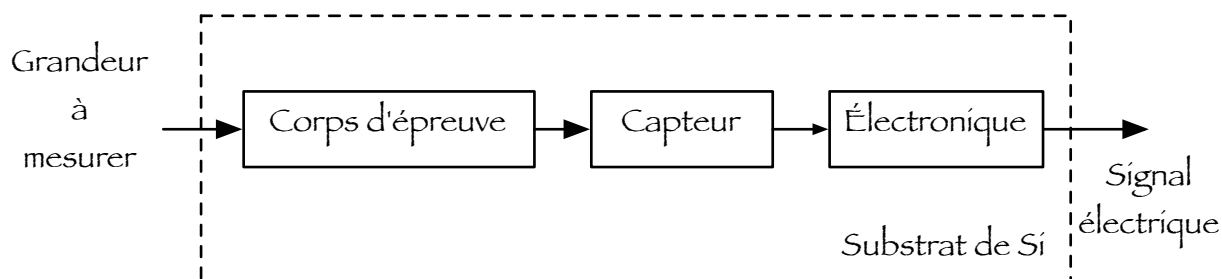


Figure 4 – Capteur intégré

## 3 Le Transmetteur

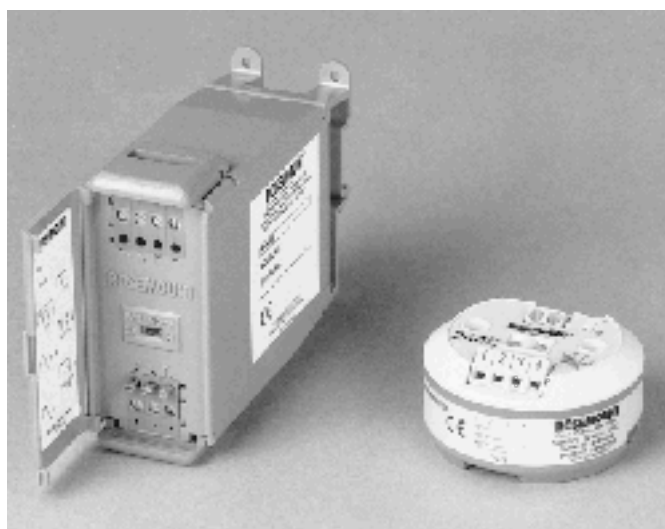


Figure 5 – Transmetteur de température

### 3.1 Le rôle du transmetteur

C'est un dispositif qui converti le signal de sortie du capteur en un signal de mesure standard. Il fait le lien entre le capteur et le système de contrôle commande (figure 2, page 4). Le couple capteur+transmetteur réalise la relation linéaire figure 6 entre la grandeur mesurée et son signal de sortie.

### 3.2 Paramétrage d'un transmetteur

Le transmetteur possède en général au moins deux paramètres de réglage ; le décalage de zéro et l'étendue de mesure (figure 7). Si le transmetteur possède un réglage analogique, pour paramétrer le transmetteur il suffit (respecter l'ordre) :

- De régler le zéro quand la grandeur mesurée est au minimum de l'étendue de mesure (réglage du 0 %) ;

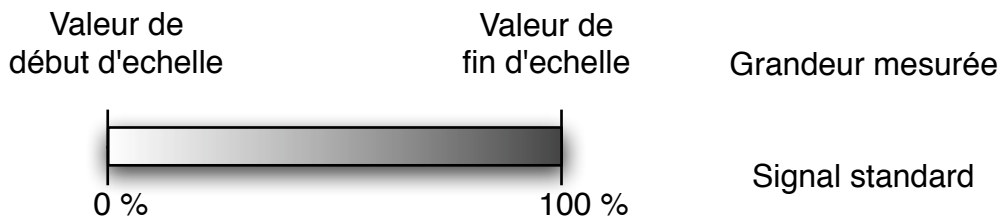


Figure 6 – Relation entre grandeur mesurée et sortie d'un transmetteur

- De régler le gain quand la grandeur mesurée est au maximum de l'étendue de mesure (réglage du 100 %).

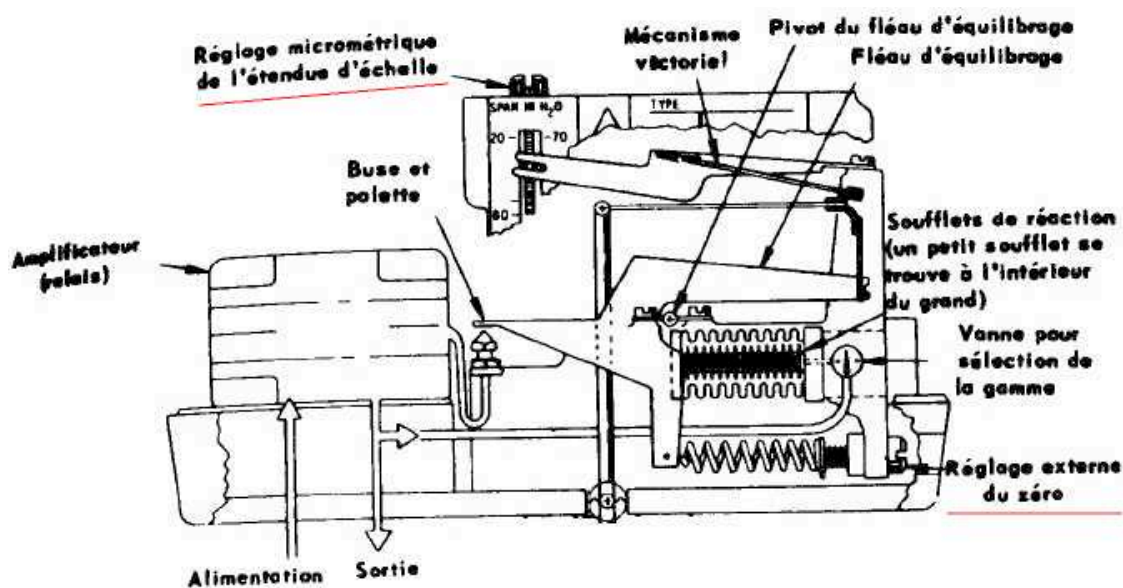


Figure 7 – Transmetteur de pression

## 4 Raccordement électrique

### 4.1 Le transmetteur

On peut séparer trois types de transmetteur :

- Les transmetteurs 4 fils (dits actifs) qui disposent d'une alimentation et qui fournissent le courant  $I$ . Leur schéma de câblage est identique à celui des régulateurs (fig. 8).
- Les transmetteurs 3 fils sont des transmetteur 4 fils, avec les entrées moins reliées (fig. 9).
- Les transmetteurs 2 fils (dits passifs) qui ne disposent pas d'une alimentation et qui contrôlent le courant  $I$  fournie par une alimentation externe (fig. 10).

### 4.2 Schéma de principe d'une boucle de courant

Une boucle 4-20 mA est composée (fig. 11) :

- D'un générateur, qui fournit le courant électrique  $I$  ;
- D'un ou plusieurs récepteurs, qui mesure le courant électrique  $I$  qui les traverse.

Remarque :

- Le courant  $I$  sort par la borne + du générateur ;
- Le courant  $I$  entre par la borne + des récepteurs.



Figure 8 – Transmetteur 4 fils

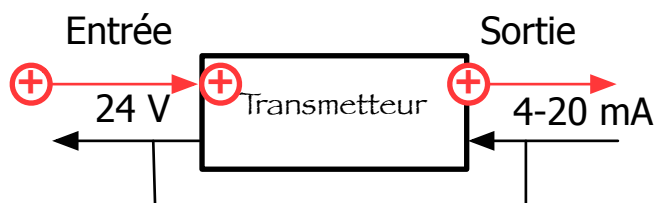


Figure 9 – Transmetteur 3 fils

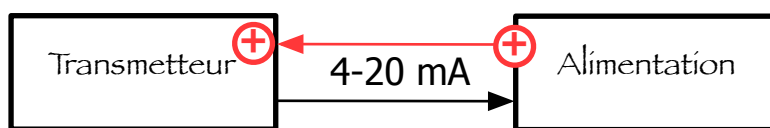


Figure 10 – Transmetteur 2 fils

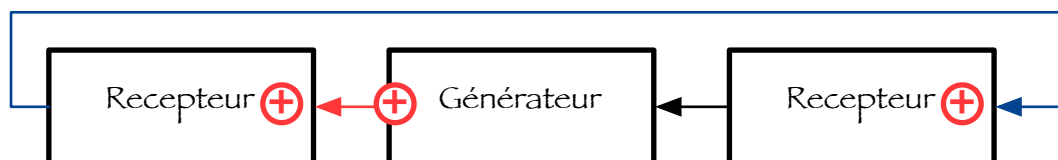


Figure 11 – Boucle de courant

Tableau 3 – Générateur ou récepteur ?

<b>Récepteur</b>	Transmetteur 2 fils	Entrée mesure du régulateur	Enregistreur	Organe de réglage
<b>Générateur</b>	Transmetteur 4 fils	Sortie commande du régulateur		Alimentation



### 4.3 Mise en oeuvre pratique

1. Chercher le nombre de boucle de courant. (Il y a deux fois plus de boucle de courant que de boucle de régulation)
2. Pour chaque boucle, faire la liste de l'instrumentation mise en oeuvre.
3. Dans chaque liste, déterminer l'**unique** élément générateur.
4. Relier le (+) du générateur au (+) d'un récepteur avec un fil **rouge**.
5. Relier le (-) du générateur au (-) d'un récepteur avec un fil **noir**.
6. Si possible, relier les (+) disponibles des récepteurs, au (-) disponibles d'autres récepteurs avec un fil **bleu**.
7. Vérification : Dans chaque boucles de courant, il y a autant de fils de liaison que d'éléments.

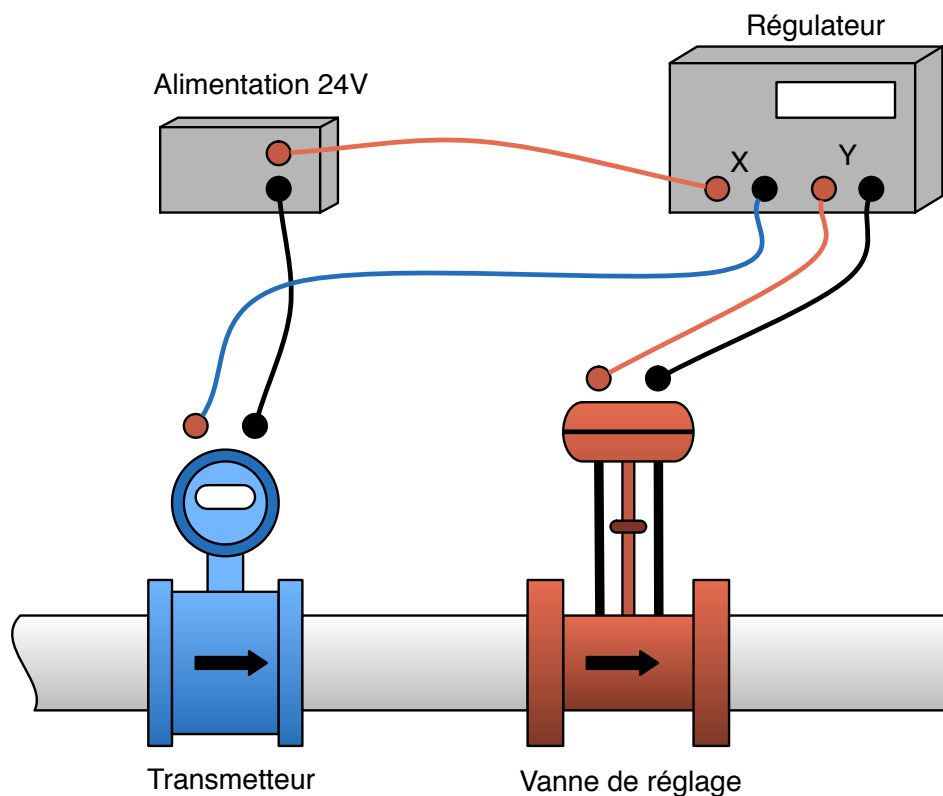


Figure 12 – Exemple de câblage - Boucle de régulation de débit

## 5 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.

Le microcontrôleur permet :

- 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.

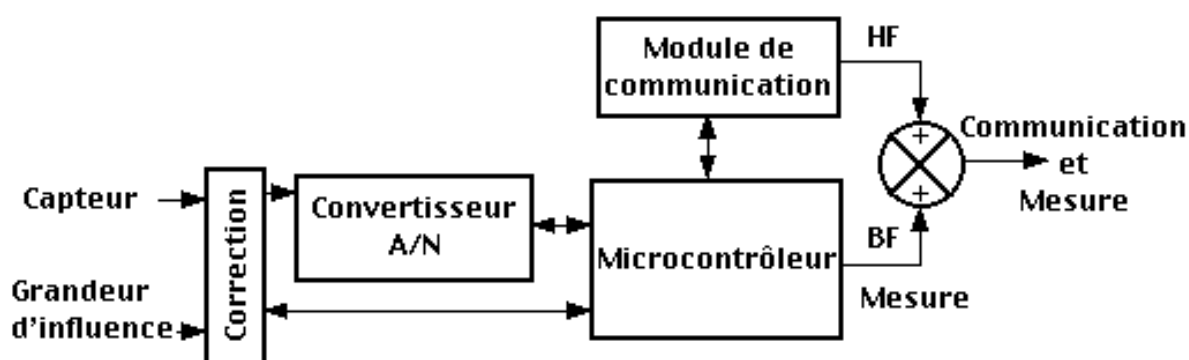


Figure 13 – Structure d'un transmetteur intelligent

### 5.1 Avantages métrologique du transmetteur "intelligent"

- Précision. En effet, le transmetteur possède moins de composants analogiques. Les grandeurs d'influences sont compensées. La non linéarité du transducteur peut être corrigé
- Rangeabilité.
- Répétabilité.
- Autosurveillance - Position de repli
- Traitement du signal - Filtrage

### 5.2 Avantages à la configuration et à la maintenance

- Convivialité - Accès à distance
- Standardisation
- Diagnostic - Forçage du signal de sortie
- Archivage des configuration

### 5.3 Paramétrage

Si le transmetteur intelligent apporte plus de fonctions, il est aussi plus difficile à paramétrer. On trouve en général les paramètres en bleu sur la figure 14.

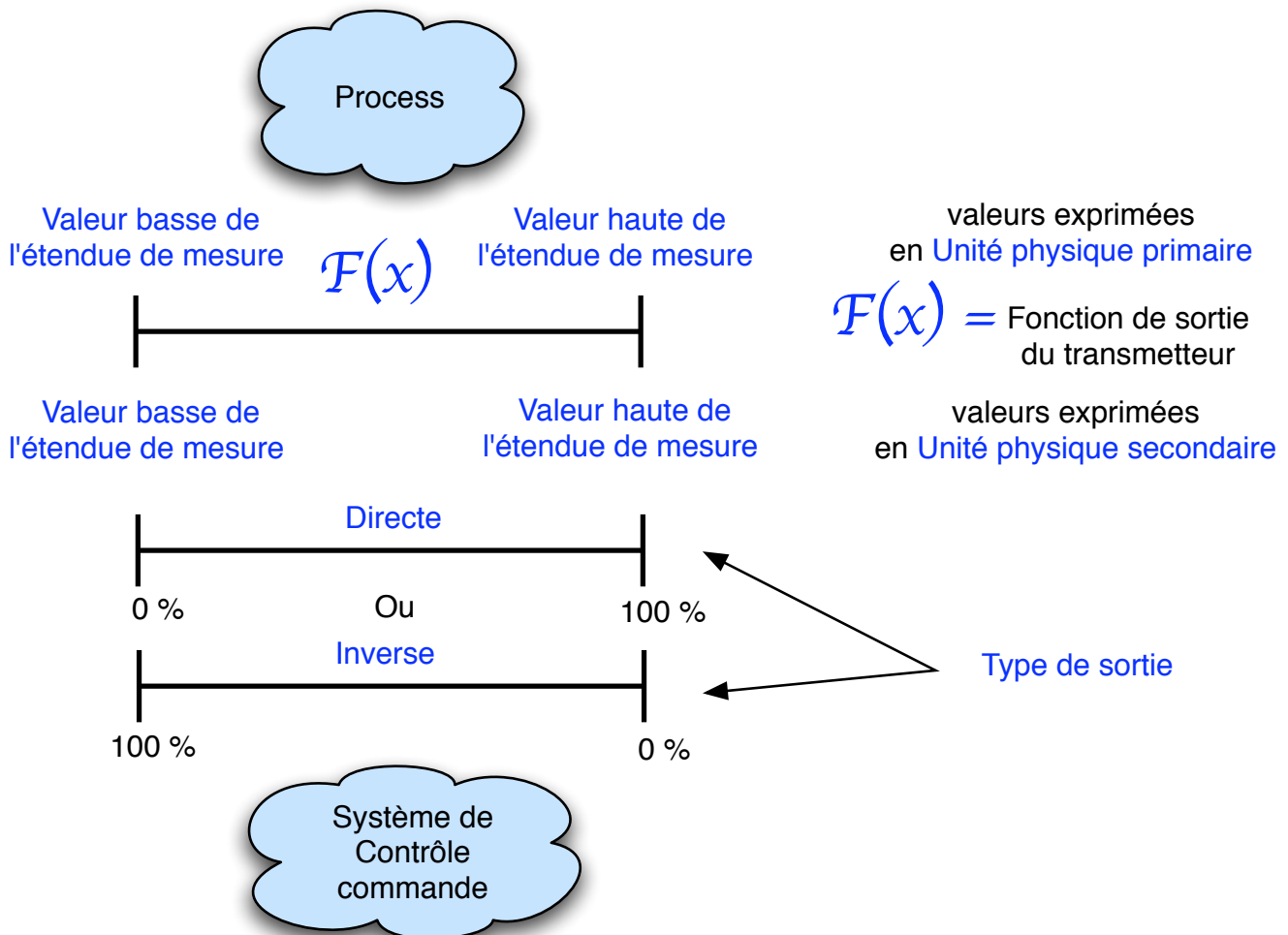


Figure 14 – Paramètres d'un transmetteur intelligent

## 5.4 Le décalage du zéro et type de sortie

Le décalage de zéro correspond à la valeur de la grandeur mesurée quand la sortie du signal est à 0%.

**Tableau 4** – Décalage de zéro et type de sortie

0%	100%	Décalage de zéro	Sens	Étendue de mesure
0 mbar	10 mbar	0 mbar	Direct	10 mbar
10 mbar	0 mbar	10 mbar	Inverse	10 mbar
2 mbar	10 mbar	2 mbar	Direct	8 mbar
-2 mbar	10 mbar	-2 mbar	Direct	12 mbar
10 mbar	2 mbar	10 mbar	Inverse	8 mbar
-2 mbar	-10 mbar	-2 mbar	Inverse	8 mbar

## 6 Choix d'un transmetteur

### 6.1 Étendue de mesure

Il faut tenir compte à la fois de la plage de mesure et de la valeur maximale de la grandeur mesurée. Le transmetteur doit être capable d'offrir une mesure correcte dans la totalité de l'étendue de mesure, ainsi que d'offrir une résistance à la valeur maximale de la grandeur mesurée.

### 6.2 Températures

Il faut tenir compte à la fois de la température maximale du procédé et de la température ambiante. Souvent, la température du procédé va dépasser les limites de l'élément détecteur. En effet, l'élément détecteur de la plupart des transmetteurs électroniques ne va pas fonctionner convenablement lorsque les températures dépassent les 107°C (225°F). Ceci impose d'utiliser les accessoires de montage appropriés (longueurs suffisantes des prises d'impulsion, serpentins,...) afin de ramener la température du fluide procédé à des limites acceptables par la cellule du transmetteur. L'exposition des électroniques à semi-conducteurs à des températures ambiantes élevées a pour effet de nuire à la longévité des composants. La plupart des électroniques ne peuvent pas aller au-delà d'une température de service de 93°C (200°F) et il existe un grand nombre de composants dont la température maximale de fonctionnement correct est de 85°C (185°F). Les hautes températures tendent à provoquer des défaillances électroniques. Là encore, il est recommandé de veiller au meilleur refroidissement possible du module électronique. On peut également envisager un système de protection hivernale de l'électronique, que ce soit par un réchauffage vapeur, électrique ou par des boîtiers thermostatés.

### 6.3 Environnement

Le transmetteur doit être en mesure de fonctionner dans des environnements où règne un taux d'humidité relative de 0 à 100%. Le fluide du procédé et le milieu ambiant doivent être pris en compte au titre de leur éventuel caractère corrosif. Par exemple, les transmetteurs utilisés sur les plates-formes d'exploitation pétrolière offshore sont soumis à l'action corrosive de l'eau de mer. Autre exemple : un transmetteur monté sur un circuit de vapeur ou d'eau de refroidissement au voisinage d'acides ou de bases qui tendent à s'évaporer dans l'atmosphère. Les applications ci-dessus ont un fluide de procédé non corrosif, mais opèrent dans un milieu ambiant hautement corrosif.

## 6.4 Zones dangereuses

Les normes nationales des Etats membres de la Communauté Economique Européenne (CEE ) sont depuis 1978 les normes unifiées éditées par le CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique). Les règles de construction et d'épreuves des matériels électriques sont contenus dans les normes Européennes (CENELEC) suivantes :

- EN 50.014 - Règles générales
- EN 50.015 - Immersion dans l'huile (symbole EEx.o)
- EN 50.016 - Surpression interne (symbole EEx.p)
- EN 50.017 - Remplissage pulvérulent (symbole EEx.q)
- EN 50.018 - Enveloppe antidéflagrante (symbole EEx.d)
- EN 50.019 - Sécurité augmentée (symbole EEx.e)
- EN 50.020 - Sécurité intrinsèque (symbole EEx.i)

La réglementation internationale CEI distingue les catégories suivantes de zone dangereuses :

**La zone 0** : Zone dans laquelle un mélange explosif de gaz, de vapeur ou de poussière est présent en permanence.

**La zone 1** : Zone dans laquelle un mélange explosif de gaz, de vapeur ou de poussière est susceptible de se former en service normal de l'installation.

**La zone 2** : Zone dans laquelle un mélange explosif de gaz, de vapeur ou de poussière ne peut apparaître qu'en cas de fonctionnement anormal de l'installation (fuites ou négligences d'utilisation).

## 6.5 Boîtier antidéflagrant

L'expression boîtier antidéflagrant désigne un boîtier pour appareillage électrique qui est capable de résister sans dommage à une explosion d'un gaz ou d'une vapeur susceptible de se produire à l'intérieur du boîtier. Suite à l'explosion du gaz ou de la vapeur à l'intérieur du boîtier, celui-ci ne doit pas générer à l'extérieur du boîtier des étincelles ou des flammes susceptibles d'enflammer le gaz ou la vapeur présente autour du boîtier. Pour rendre un système antidéflagrant, le boîtier doit être capable de résister à une explosion et le système doit être installé conformément au code national de l'électricité pour les zones dangereuses.

## 6.6 Equipements en sécurité intrinsèque

Les équipements et câblages en sécurité intrinsèque sont incapables de libérer une énergie électrique suffisante, dans des conditions normales ou anormales, pour susciter l'inflammation d'un mélange atmosphérique dangereux spécifique. Par conditions anormales, on entend notamment les dommages accidentels à toute partie de l'équipement ou du câblage, de l'isolant, ou toute panne de composants électriques, application d'une surtension, opérations de réglage et d'entretien et autres conditions similaires.

# 7 Fonctions, symbolisation, schéma TI

## 7.1 Fonctions

Le capteur peut être associé avec plusieurs fonctions :

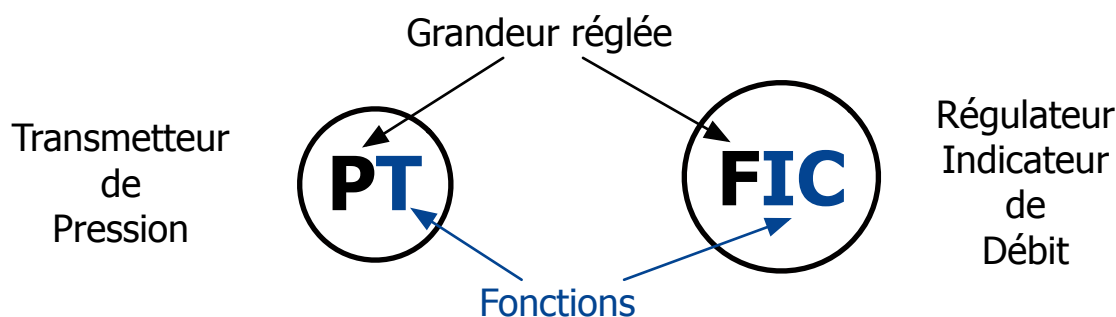
- La fonction indicateur local,
- La fonction indicateur à distance,
- La fonction transmetteur.

## 7.2 Symbolisation

La norme NF E 04-203 définit la représentation symbolique des régulations, mesures et automatisme des processus industriels. Les instruments utilisés sont représentés par des cercles entourant des lettres définissant la grandeur physique réglée et leur (s) fonction (s). La première lettre définit la grandeur physique réglée, les suivantes la fonction des instruments (tab. 5 et fig. 15). Un exemple de schéma complet est fourni sur la figure 16.

**Tableau 5** – Lettres pour le schéma TI

Première lettre		Les suivantes	
Grandeur réglée	Lettre	Fonction	Lettre
Pression	P	Indicateur	I
Température	T	Transmetteur	T
Niveau	L	Enregistreur	R
Débit	F	Régulateur	C
Analyse	A	Capteur	E



**Figure 15** – Schéma TI - Représentation de l'instrumentation

## 7.3 Opérations mathématiques

Dans certain cas, la mesure du capteur sera corrigé pour compenser les effets des grandeurs d'influence. On sera amener alors à représenter sur le schéma TI ces différentes opérations. Le schéma figure 17 représente une mesure de débit avec compensation de température et de pression.

## 8 Bus de terrain

Comme dans le reste de l'industrie, les capteurs analogiques laissent la place de plus en plus aux capteurs numériques. Dans un premier temps ceci c'est matérialisé par l'apparition des transmetteurs intelligents. Aujourd'hui, on se rapproche de plus en plus d'une architecture en réseaux des capteurs ; le bus de terrain. Il existe plusieurs standards industriels de bus de terrain, on citera : Profibus, Fieldbus, WoldFip. Leur objectif est le même, simplifier la mise en place des boucles de régulation. Pour cela, ils utilisent une liaison unique entre les différents intervenants de la boucle de régulation (capteurs, régulateurs, actionneurs), liaison qui sert à la fois au dialogue entre ces intervenants et à leur alimentation en énergie. Ainsi, l'ajout d'un intervenant dans une boucle complexe se résume en deux interventions :

- Le montage de l'intervenant sur le bus ;
- L'adaptation, par l'intermédiaire d'un logiciel, du fonctionnement de la régulation.

Malgré l'existence de passerelles, on ne peut qu'espérer une standardisation de ces différents bus, dans le but de simplifier la mise en oeuvre de ces nouvelles technologies et d'en diminuer le coût.

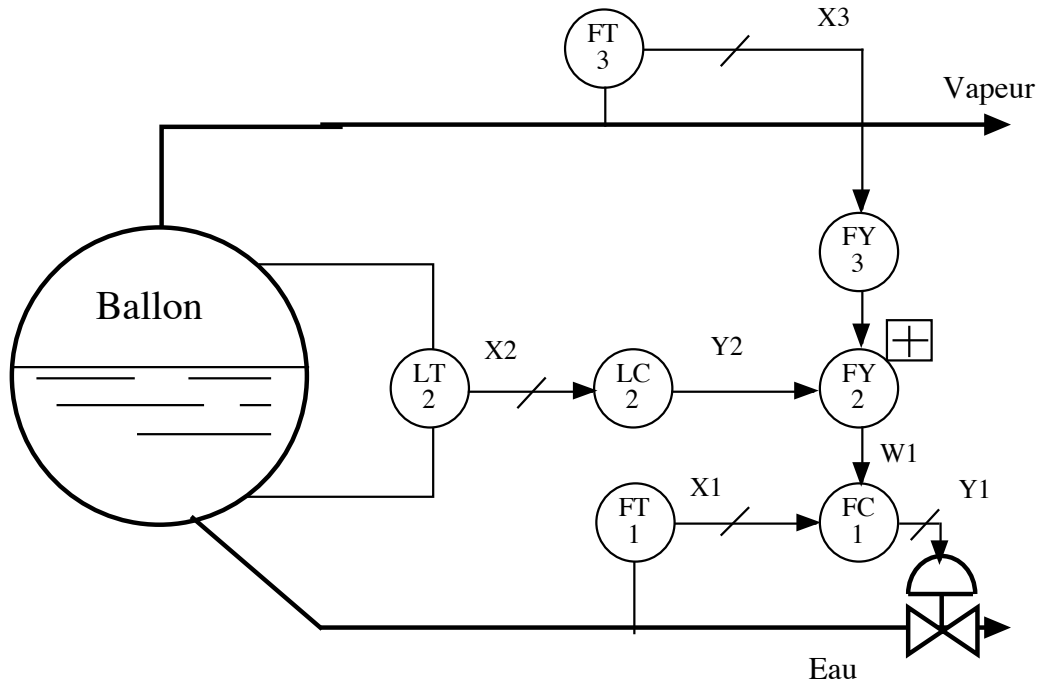


Figure 16 – Régulation de niveau dans le ballon avec correction de tendance

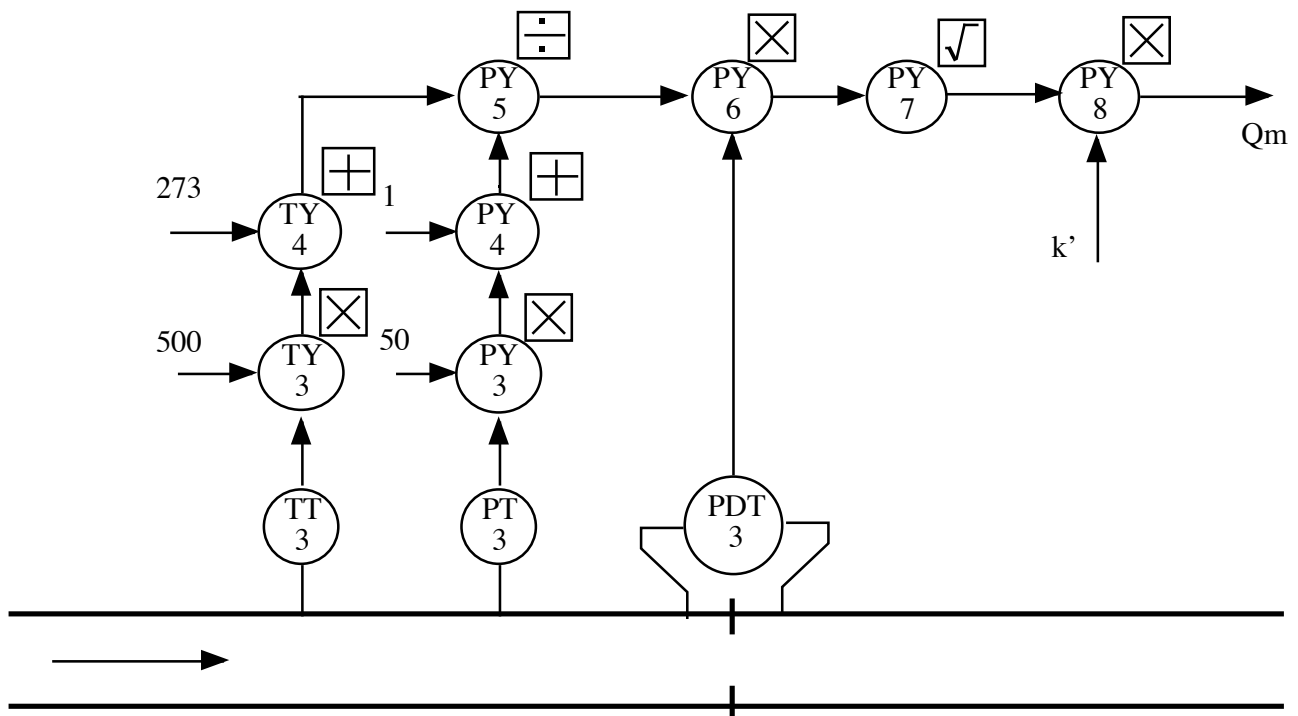


Figure 17 – Mesure de débit corrigé en pression et température

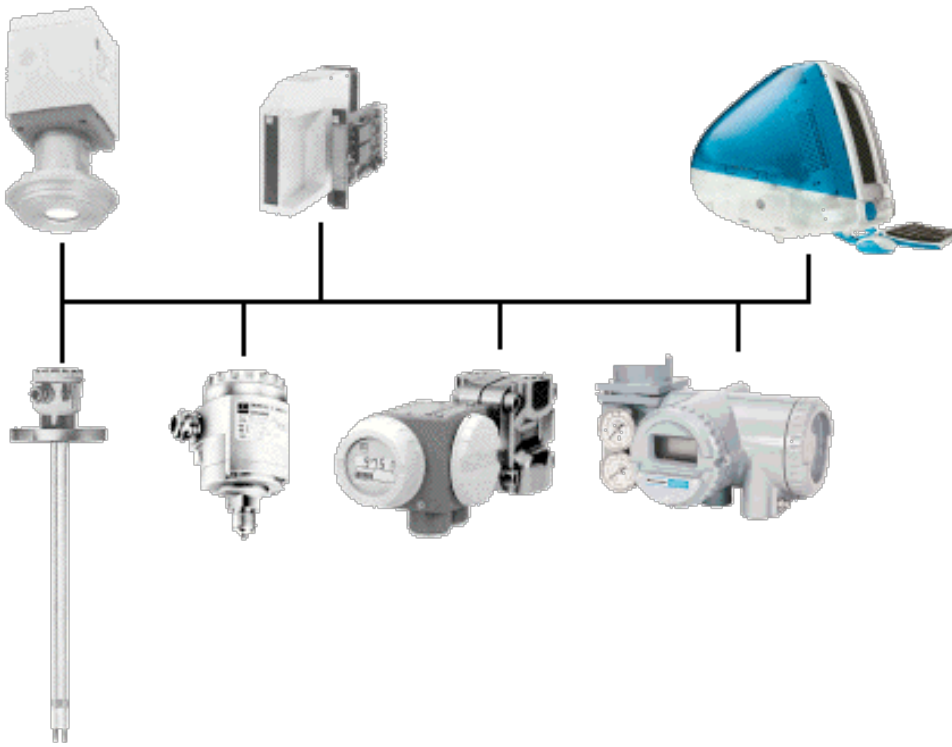


Figure 18 – Bus de terrain

---

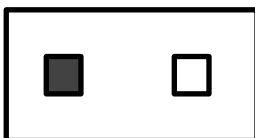
## EXERCICES

---

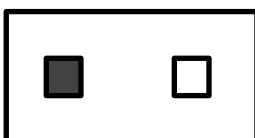
### Exercice 1 Câblage

Compléter les schémas de câblage suivants suivants :

Capteur 4 fils



Actionneur



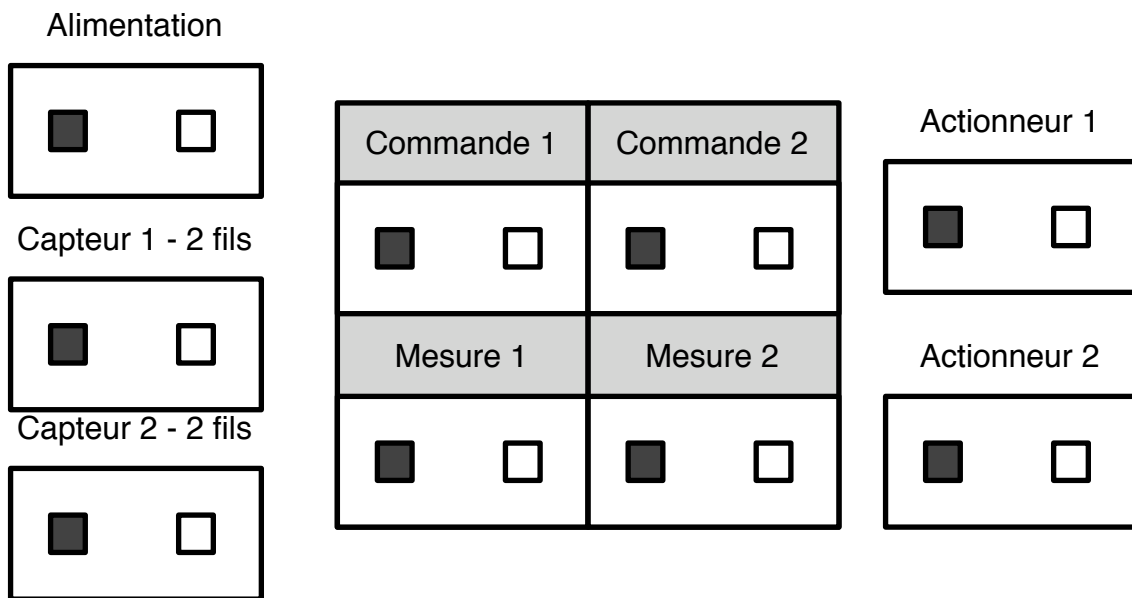
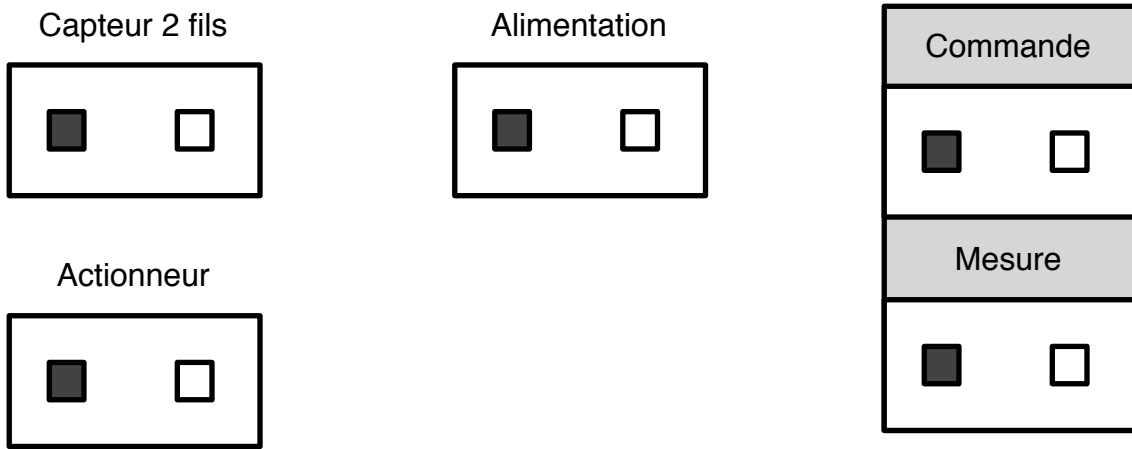
Commande



Mesure







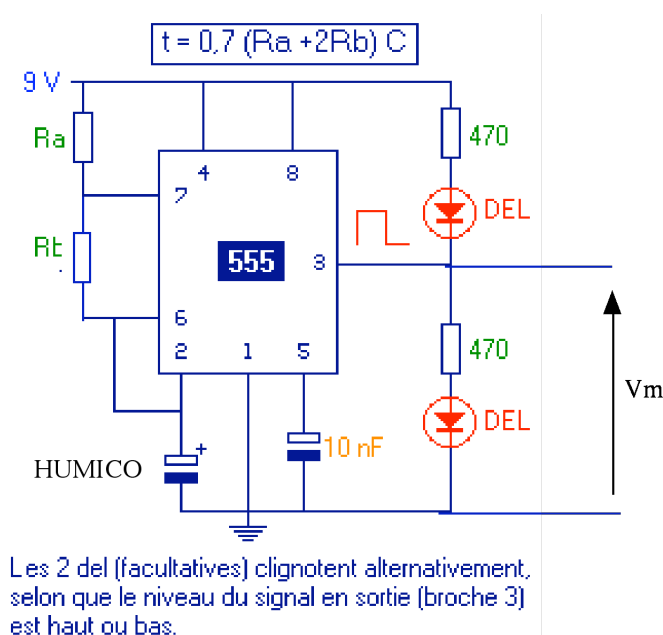
## Exercice 2 *Mesure de taux d'humidité*

On désire mesurer le taux d'humidité d'un musée. Pour cela on utilise un élément sensible à l'humidité HUMICOR 6100, dont les caractéristiques sont données ci-après :

Domaine d'emploi	Temps de réponse	Capacité nominale	Sensibilité	Fréquence d'utilisation
0 à 100 % HR	3 s	500 pF $\pm$ 10% à 76 % de HR	0,8 pF par % de HR	30 à 300 kHz

a) Tracer la caractéristique de la capacité de l'HUMICOR en fonction du taux d'humidité, pour un taux d'humidité relative de 0 % à 100 %.

Pour fournir une tension dont la période est proportionnelle au taux d'humidité, on utilise un circuit intégré NE555, comme indiqué ci-dessous :



b) Proposer des valeurs pour les résistances  $R_a$  et  $R_b$ . On choisira les résistances dans la série E12. On s'attachera à avoir une variation de fréquence la plus importante possible.

**E12** : 10 ; 12 ; 15 ; 18 ; 22 ; 27 ; 33 ; 39 ; 47 ; 56 ; 68 ; 82 ;

Pour obtenir une tension fonction du taux d'humidité, on utilise un convertisseur fréquence/tension LM331A. La fréquence d'entrée devant être inférieure à 10 kHz. Le convertisseur fournit une tension qui vérifie :  $U$  (en V) =  $f$  (en kHz), avec  $f$  fréquence du signal  $V_m$ .

c) Tracer la caractéristique  $U$  en fonction du taux d'humidité.

## Exercice 3 *Mesure de chocs*

Dans les appareils nécessitant une mesure de choc (accélération), on utilise des détecteurs de chocs CMS. Ces détecteurs de chocs génèrent une tension proportionnelle à l'accélération qu'ils subissent. On donne les caractéristiques de l'un de ses détecteurs :

Référence	Sensibilité	Capacité	Bande passante
PKGS-00LA	1,92 mV/G $\pm$ 15 %	210 pF $\pm$ 20 %	76 Hz à 10 kHz

a) S'agit-il de capteurs passifs ou de capteurs actifs ? Justifiez votre réponse.

b) Quelles sont les valeurs maximale et minimale de la capacité de ce détecteur ?

- c) Lorsque ce détecteur est soumis à l'accélération de la pesanteur, quelle est la tension à ses bornes  
 d) Proposer un montage qui permette d'obtenir une tension de 0,192 v pour une accélération de 1 G. On rappelle que le courant d'entrée dans la borne + (ou -) d'un ampli opérationnel est de l'ordre de  $10^{-6}$  A.  
 e) Les résistances qui nous sont fournies ont une précision de 5 %. Quelle est la précision relative sur la mesure fournie par votre montage? (on supposera l'ampli opérationnel parfait)  
 f) Que peut-on faire pour réduire cette erreur?

#### Exercice 4 *Symbolisation*

- a) Rappelez le symbole d'un indicateur de pression.  
 b) Même question pour un transmetteur de niveau.

#### Exercice 5 *Capteur de température*

Pour mesurer la température d'un liquide autour de 50 °C, on utilise un capteur de température à CTN. On donne la valeur de sa résistance R du capteur en fonction de sa température T :

$$\ln(R) = \ln(R_{25}) + B\left(\frac{1}{273 + T} - \frac{1}{298}\right) \quad (1)$$

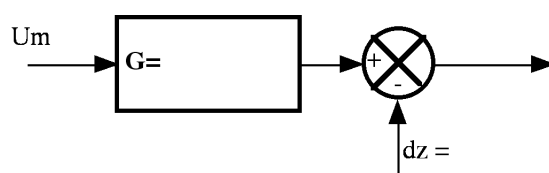
avec  $R_{25}$  sa résistance à 25 °C, T sa température en °C et B une constante en °K. L'élément CTN NTH2007A a les caractéristiques suivantes :

- $R_{25} = 10 \text{ k}\Omega \pm 5\%$  ;
- $B = 4100 \text{ K} \pm 5\%$ .

- a) Quelles sont les valeurs maximale et minimale que peut prendre B ?  
 b) Quelle est la valeur de la résistance de la CTN à 45 °C et 55 °C? Le conditionneur utilise un montage à amplis opérationnels qui fournit une tension  $U_m$  proportionnelle à  $R_{ctn}$  :

$$U_m(\text{enV}) = \frac{R_{ctn}(\text{en } \Omega)}{1000} \quad (2)$$

- c) Compléter le schéma suivant de manière à obtenir une tension de 0 V pour une température de 45 °C et une tension de 10 V pour une température de 55 °C.



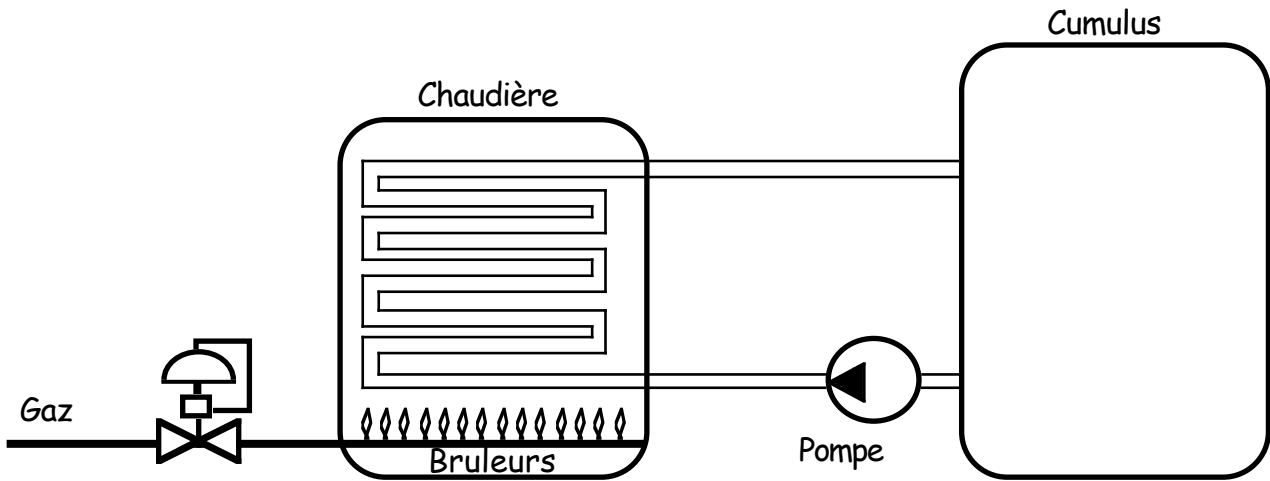
#### Exercice 6 *Transmetteur intelligent*

On désire mesurer le volume dans une cuve à l'aide d'un capteur de niveau. Le niveau est compris entre 1 et 5 m, la section de la cuve est de 6 m<sup>2</sup>.

- a) Donner la valeur des différents paramètres du transmetteur de volume.

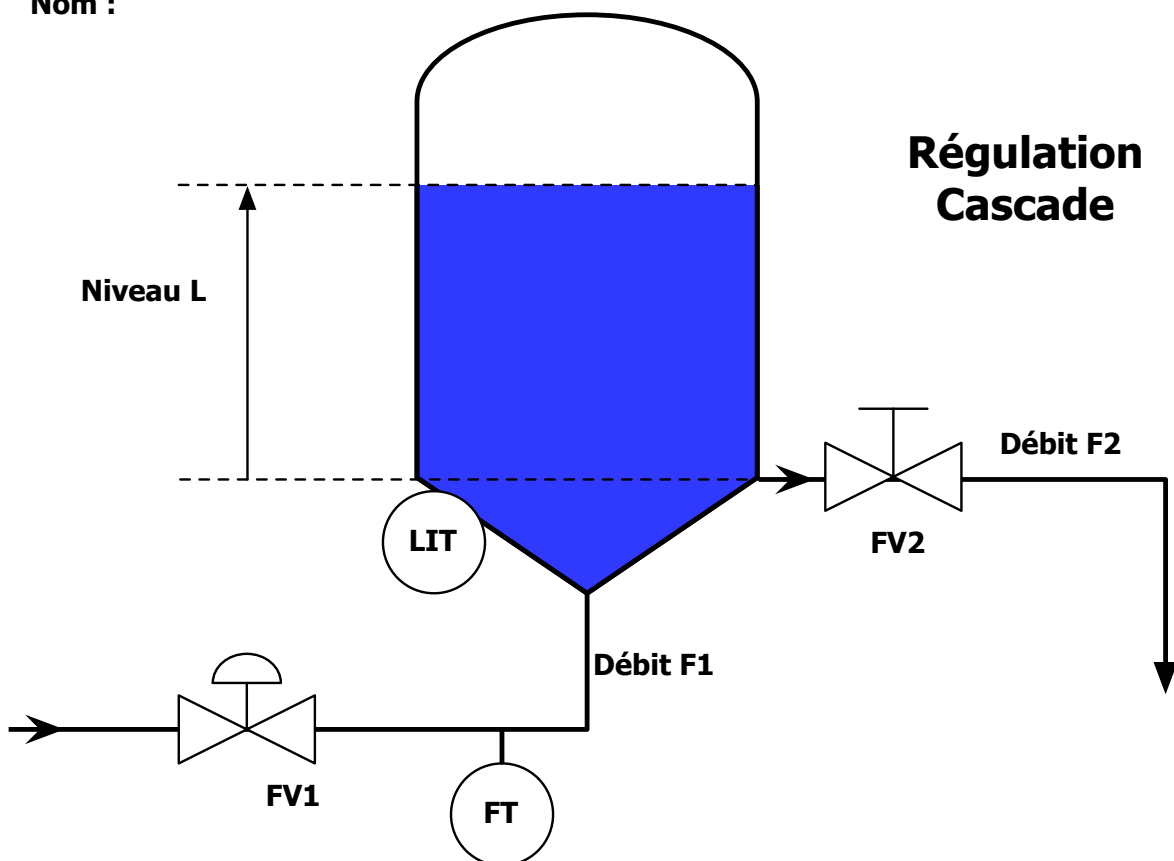
#### Exercice 7 *Schéma TI*

Le schéma ci-après, on régule la température de l'eau en jouant sur le débit de gaz de la chaudière. Compléter ce schéma pour faire apparaître la boucle de régulation.



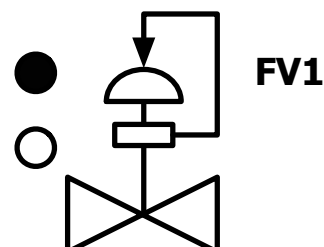
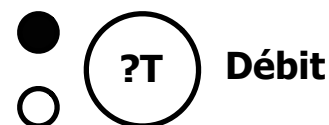
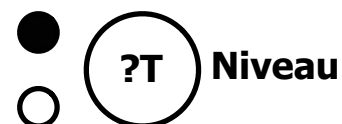
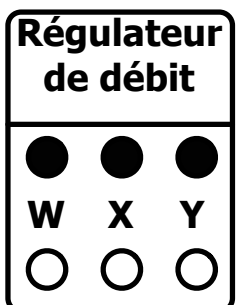
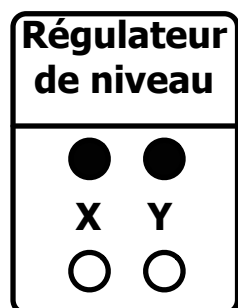
## ÉVALUATION - ANNÉE PRÉCÉDENTE

Nom :



Dans le schéma TI ci-dessus, on contrôle le débit d'eau  $F1$  à l'aide de la vanne  $FV1$ .

- 1) Compléter le schéma TI en faisant apparaître la boucle de régulation esclave.
- 2) Dans le schéma TI ci-dessus, on contrôle le niveau  $L$  à l'aide du débit  $F1$ . La sortie commande du régulateur de niveau est reliée à l'entrée consigne du régulateur de débit.
- 3) Compléter le schéma de câblage pour assurer le fonctionnement des deux régulations.



On mesure le niveau dans la cuve à l'aide d'un capteur de niveau à ultrason. Le capteur situé au dessus de la cuve, fournit une mesure de la distance qui le sépare du liquide. Il fournit une mesure de 20 cm pour un niveau N1 maximum de 2 m.

4) Compléter le tableau des paramètres du transmetteur intelligent.

Type de sortie	4-20 mA
Type d'action (directe ou inverse)	
Temps de réponse	5 s
Unité physique primaire	cm
Valeur basse de l'étendue de mesure	20
Valeur haute de l'étendue de mesure	170
Unité secondaire	cm
Valeur secondaire basse	
Valeur secondaire haute	
Fonction de sortie du transmetteur	

- 5) Représenter graphiquement la relation entre l'unité primaire et l'unité secondaire.
- 6) Représenter graphiquement la relation entre l'unité secondaire et le signal de sortie.
- 7) Quelle est la valeur de la distance capteur/liquide pour un niveau de 1 m ?
- 8) Quelle est la valeur du signal de sortie pour une mesure de distance de 1 m ?
- 9) Compléter le schéma suivant, pour avoir une mesure  $M$  qui vérifie :  $M = Q\sqrt{PT}$

