

3ème année GE

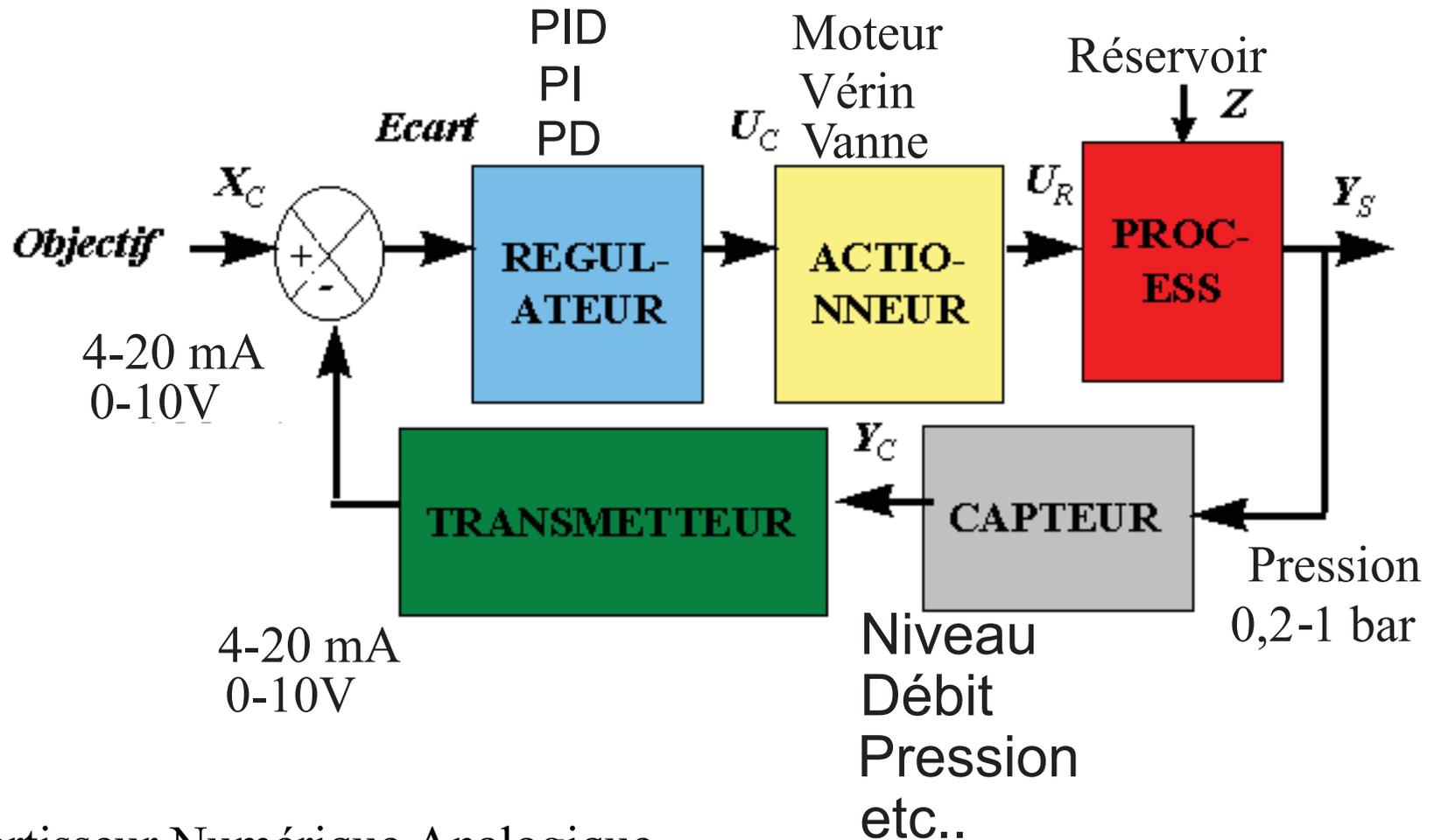
Composants pour asservissement

PLAN 1ère Partie

- 1) Introduction
- 2) Chaîne de mesure
- 3) Capteurs - Transmetteurs et Convertisseurs
- 4) Instrumentation industrielle : normes ISA
- 5) Vannes de régulation
- 6) Autres composants : MCC, Moteur pas à pas

Introduction

Composants de la régulation industrielle



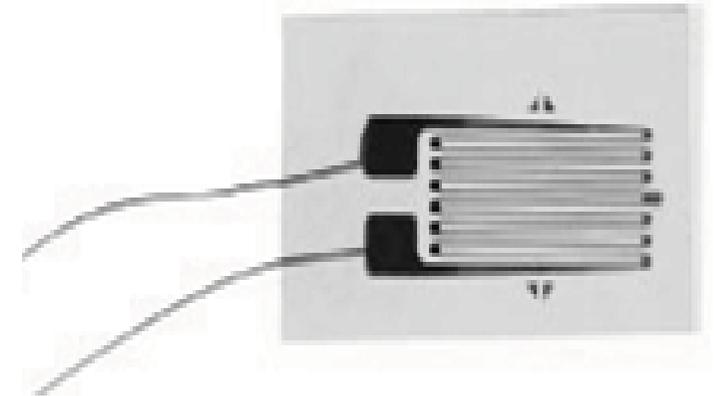
CNA: convertisseur Numérique Analogique

CAN : convertisseur Analogique Numérique

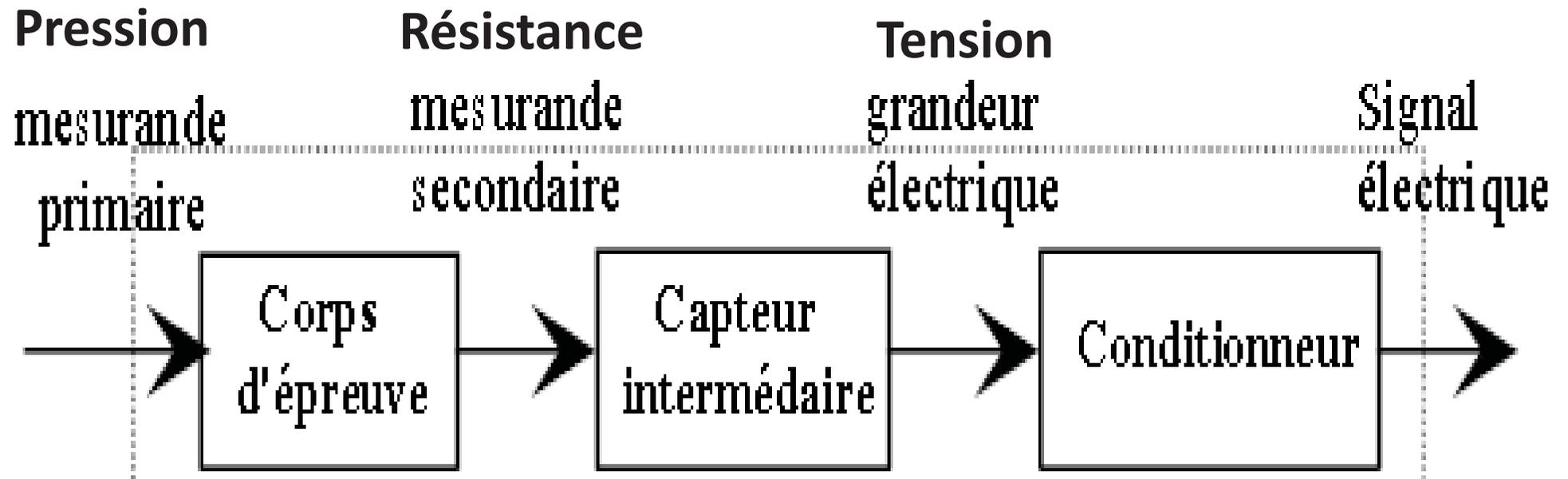
Chaîne de mesure

Grandeurs physique :

- Capteurs de mesure physiques : position, vitesse, force, masse, débit, pression, niveau, etc...-
- Thermique : température
- Chimique : PH, concentration, humidité, etc

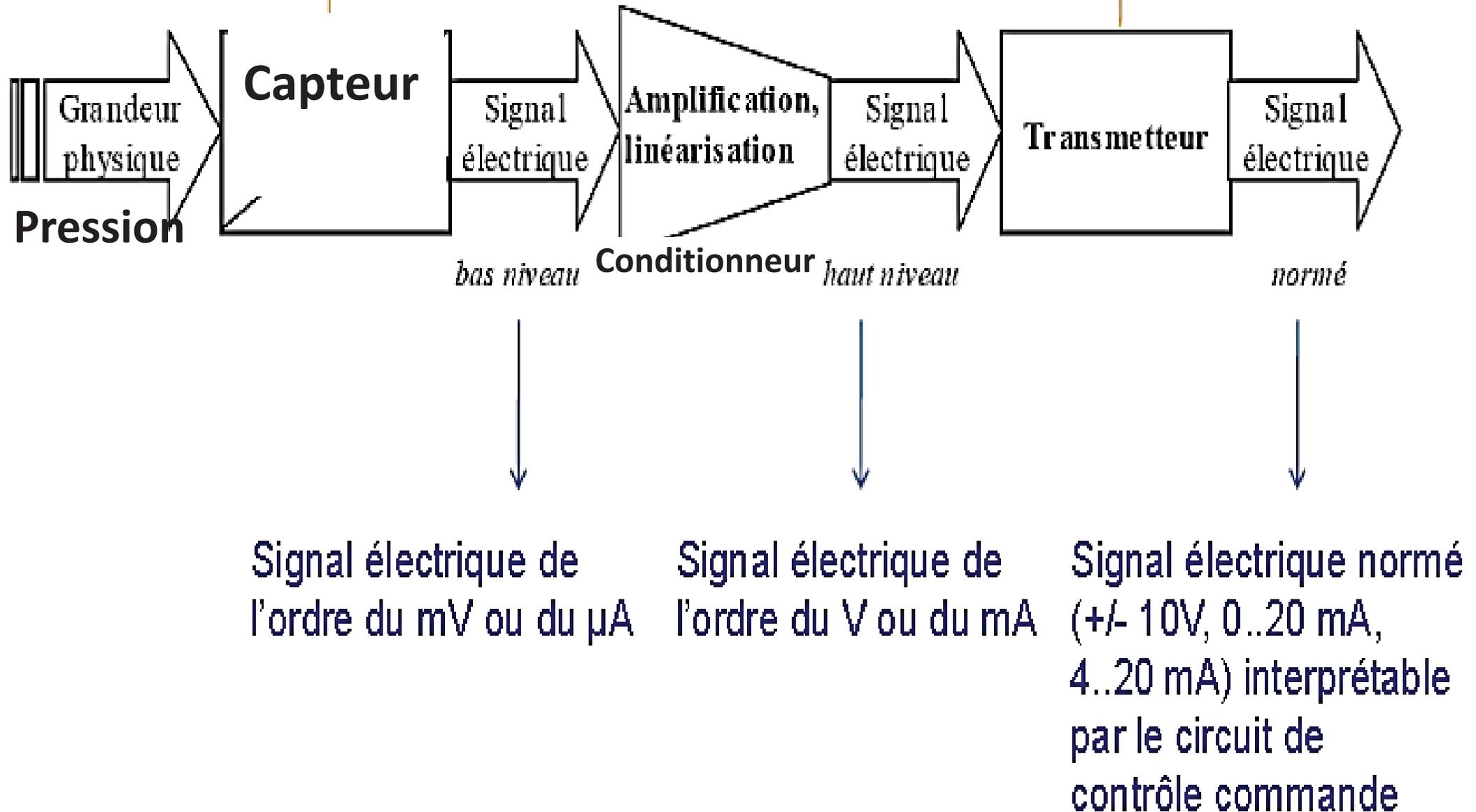


Corps d'épreuve



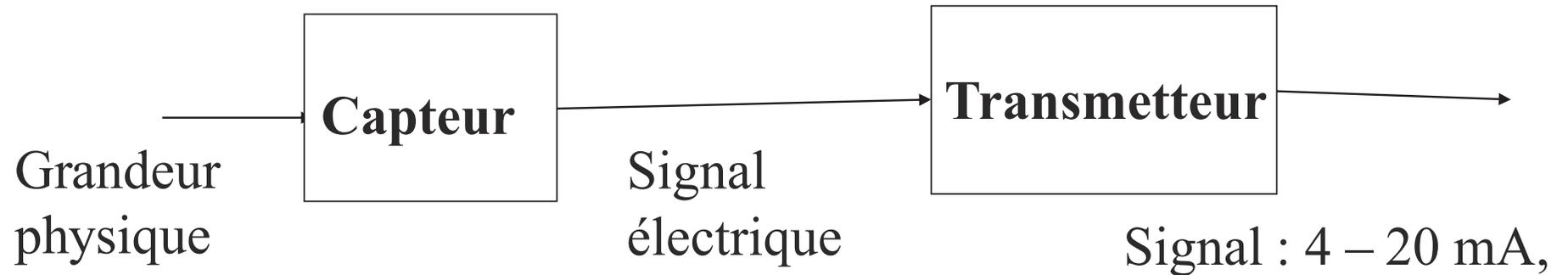
Chaîne de mesure

Principe d'un capteur

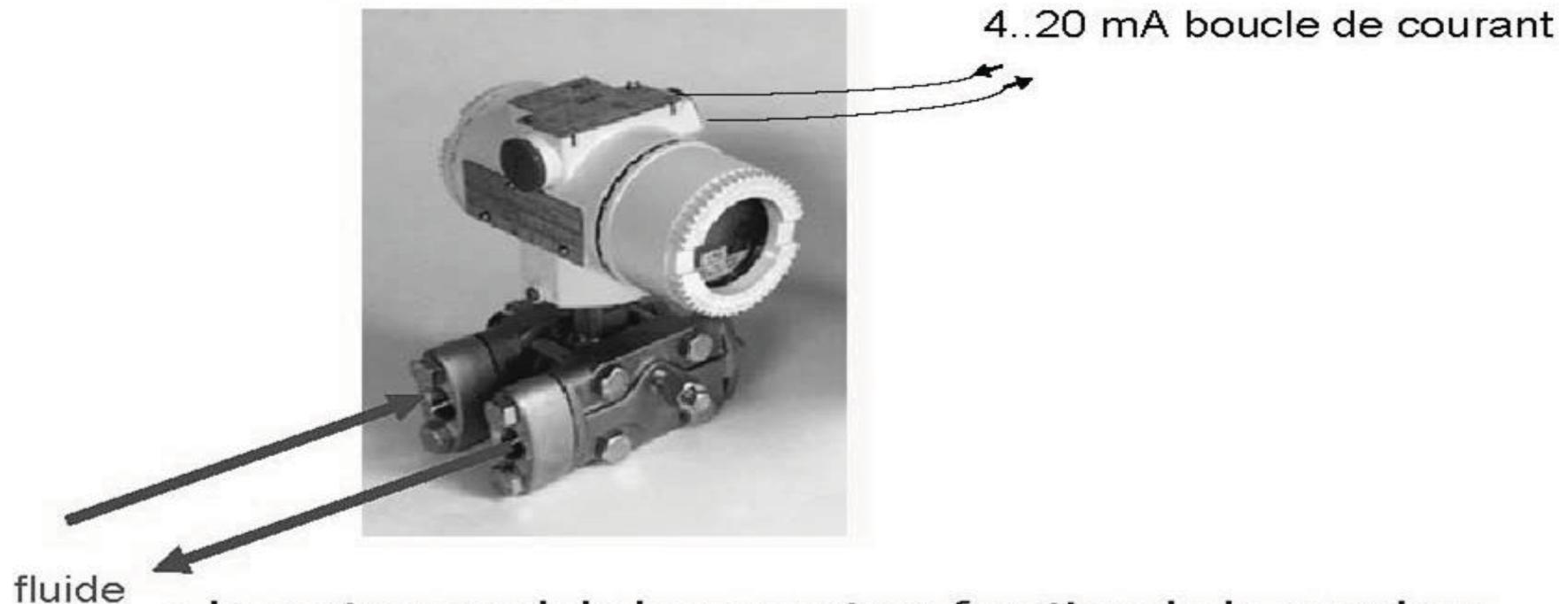


Capteurs - Transmetteurs

Transmetteur de signal 4-20mA



- ➔ la boucle de courant 4-20 mA est la transmission analogique la plus utilisée depuis longtemps



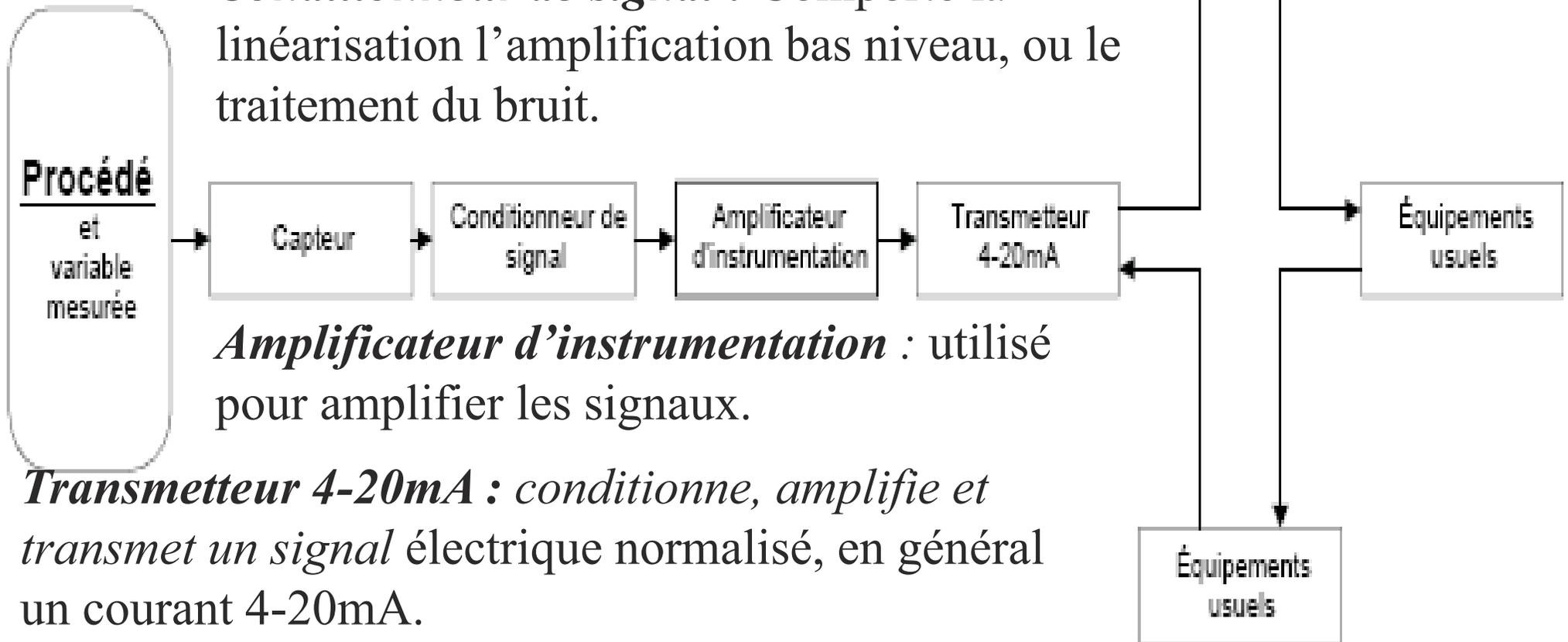
- ➔ le capteur module le courant en fonction de la grandeur mesurée (ex. : un débit)

Capteurs - Transmetteurs

Chaîne de mesure :

Assure un conditionnement du signal exempt de bruit et linéaire :

Conditionneur de signal : Comporte la linéarisation l'amplification bas niveau, ou le traitement du bruit.



Amplificateur d'instrumentation : utilisé pour amplifier les signaux.

Transmetteur 4-20mA : conditionne, amplifie et transmet un signal électrique normalisé, en général un courant 4-20mA.

Le transmetteur détecte la rupture de ligne et transporte sur une grande distance sans perte de signal.

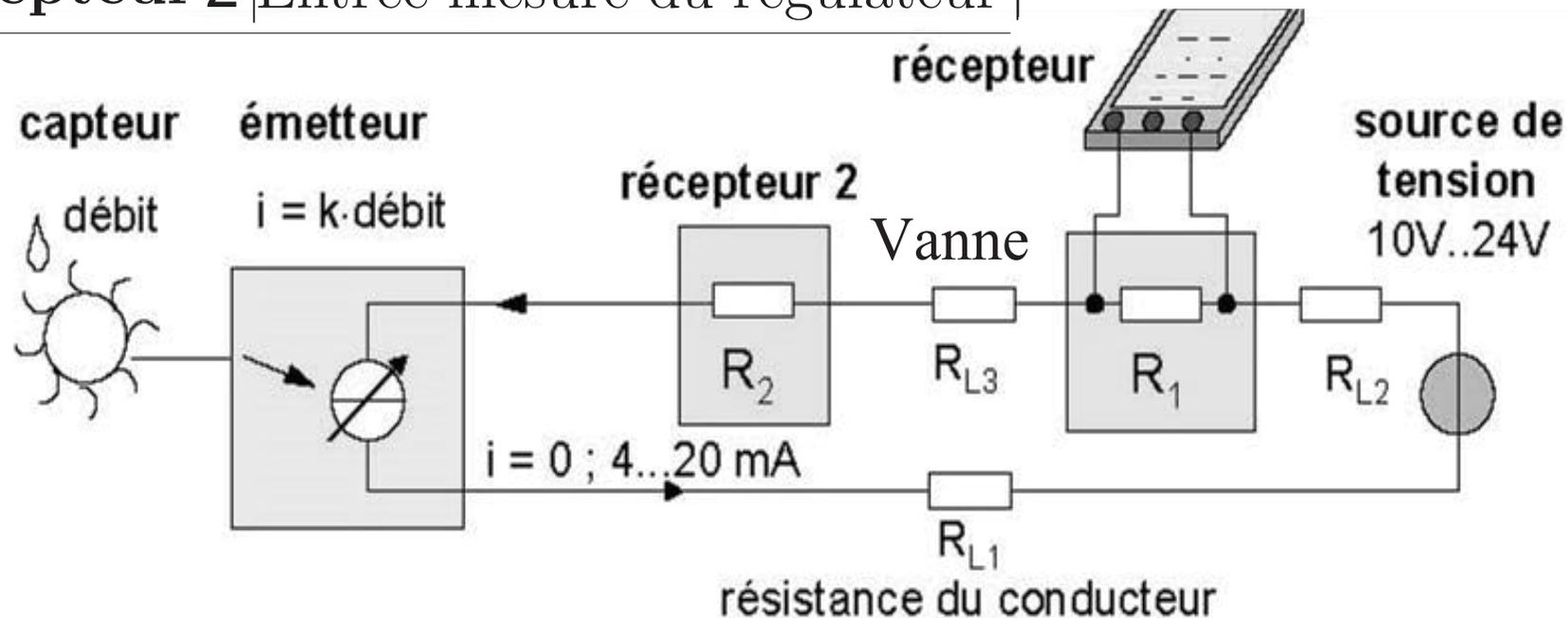
Capteurs - Transmetteurs

C'est un standard reconnu par tous les fabricants.

Le transport d'un signal analogique de tension, sur une grande distance, subit une atténuation, contrairement à un signal de courant.

Récepteur 2 | Entrée mesure du régulateur

Ecran d'affichage



- la résistance des fils n'influence pas le courant
- le courant qui correspond à un débit nul est de 4 mA
- ce qui permet d'assurer son alimentation
- une panne donne 0 mA – facile à détecter
- il est facile de connecter plusieurs récepteurs

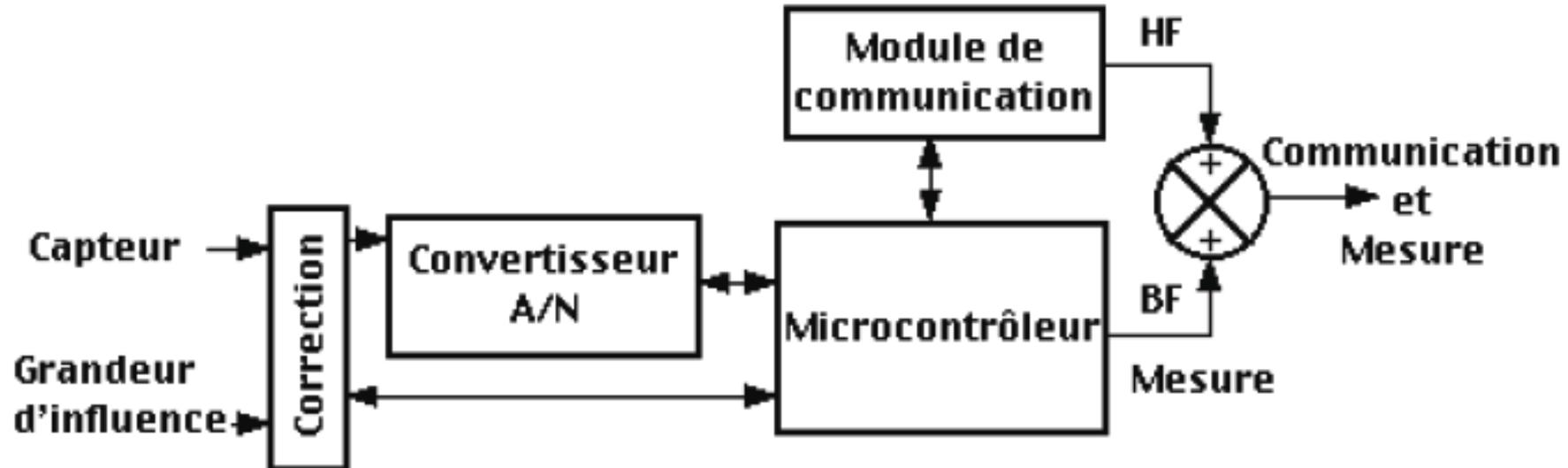
Capteurs - Transmetteurs

Le transmetteur intelligent

Le module de communication permet :

- De régler le transmetteur à distance ;
- De brancher plusieurs transmetteurs en réseau.

Le microcontrôleur permet **d'effectuer des calculs** Par exemple, il peut convertir une mesure de différence de pression en niveau

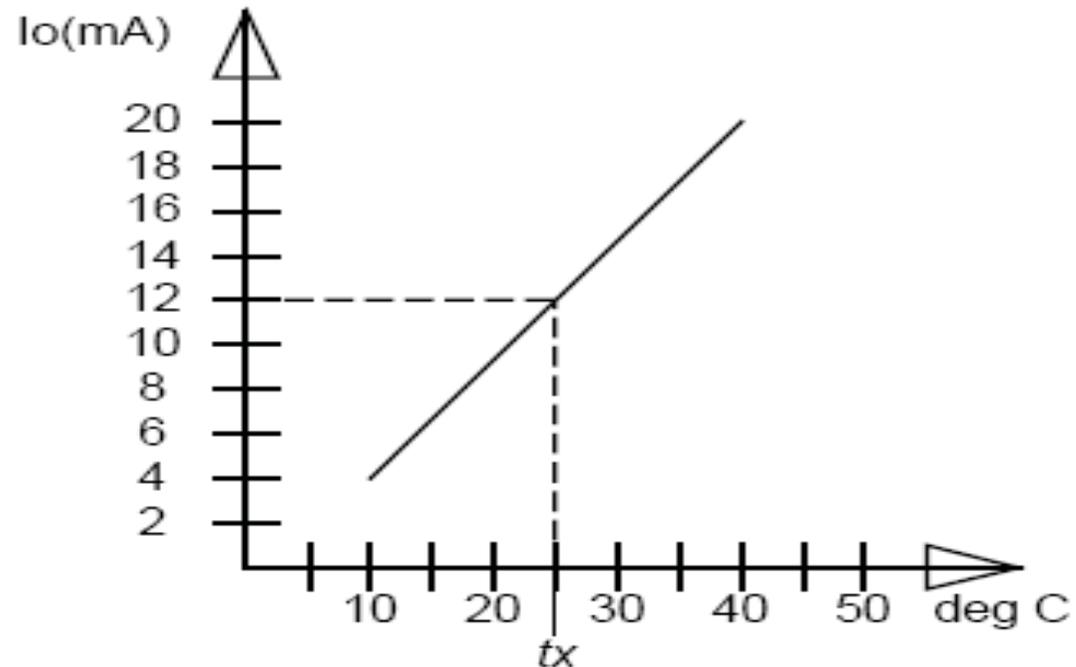


Capteurs - Transmetteurs

Fonction de transfert d'un transmetteur

La fonction de transfert exprime la relation mathématique existant entre le signal d'entrée et le signal de sortie.

I_o : courant,
 t_x : température



Fonction de transfert d'un transmetteur de température

$$I_o = m(t_x - l_i) + b$$

Avec l_i la limite inférieure, m la sensibilité et b le décalage.

Capteurs - Transmetteurs

Capteur de pression

Mesure de la pression

- La mesure de pression est fondamentale, car plusieurs techniques de mesure de débit, niveau utilisent la mesure de pression.
- ▶ La pression d'un fluide est la force que celui-ci exerce, par unité de surface, perpendiculairement à cette surface.
- Cette pression est dite pression statique P_S
- Si le fluide est en mouvement P_D Pression dynamique :
- ▶ La pression totale est la somme des pressions statique et

$$P = \frac{F}{A}$$

dynamique:

$$P_T = P_S + P_D$$

Unité de mesure de pression

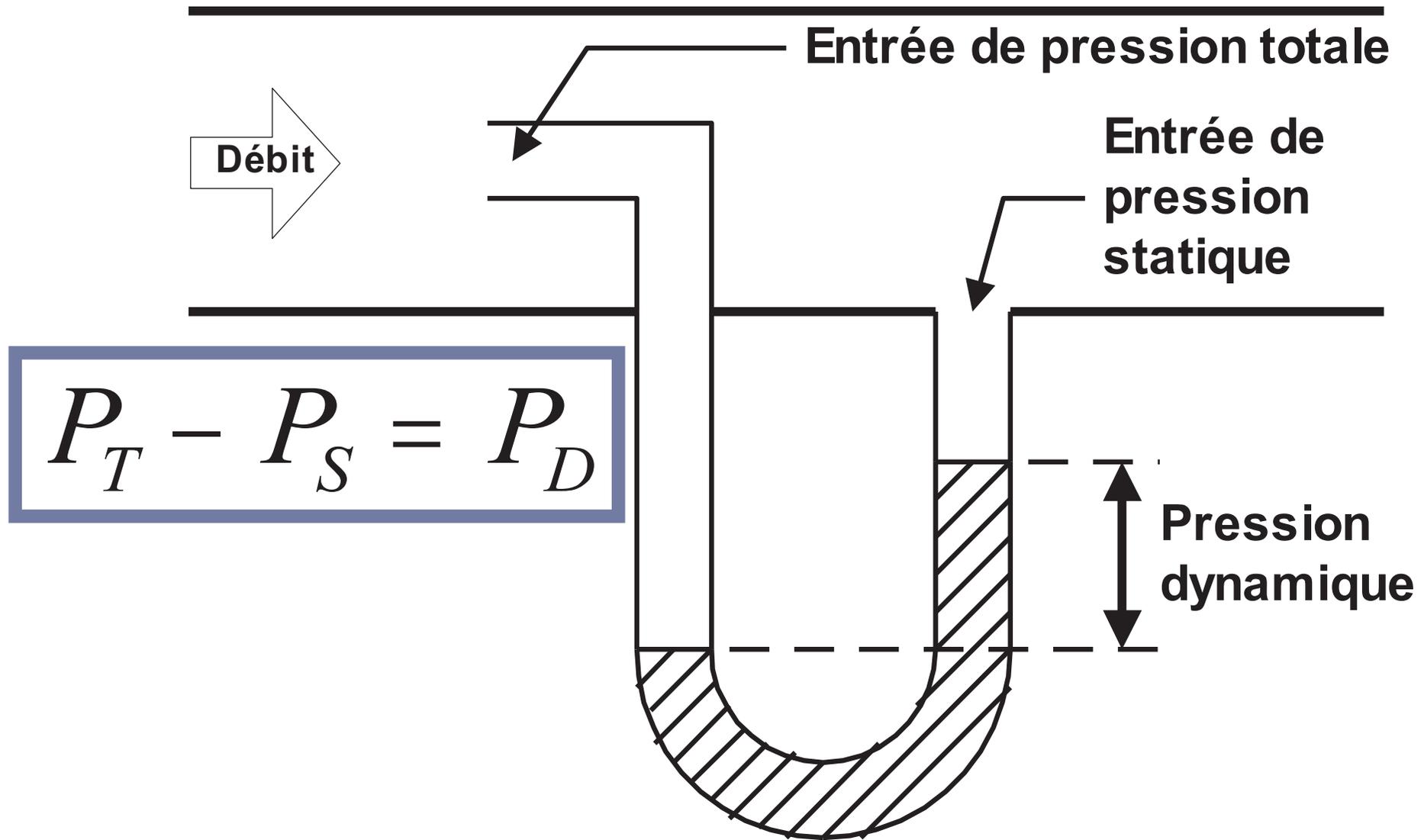
- ▶ 1 bar = 100 000 Pa
- ▶ 1 atm. = 101 325 Pa

$$1 \text{ bar} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Capteurs - Transmetteurs

La pression dynamique



Capteurs - Transmetteurs

Manomètre à section uniforme

- La différence de pression entre P_1 et P_2 dépend de la hauteur h :

- $P_1 - P_2 = \rho g h = \Delta P$

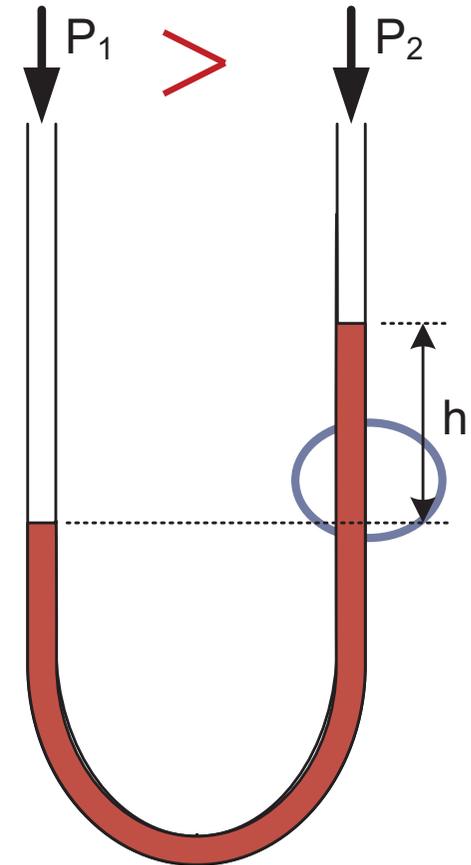
$\rho = m / V$: masse volumique

m : masse

$V = A.h$; avec A : section

g : accélération terrestre $F = m.g$

$P = F / A$ ave



Capteurs - Transmetteurs

Mesure de niveau avec transmetteur de pression

- Le choix dépend de:
 - Type d'installation: Cuve, Réservoir, Extérieur.
 - Nature du produit: Fluide, Solide.
 - Liaison avec le liquide: Avec ou sans contacts.

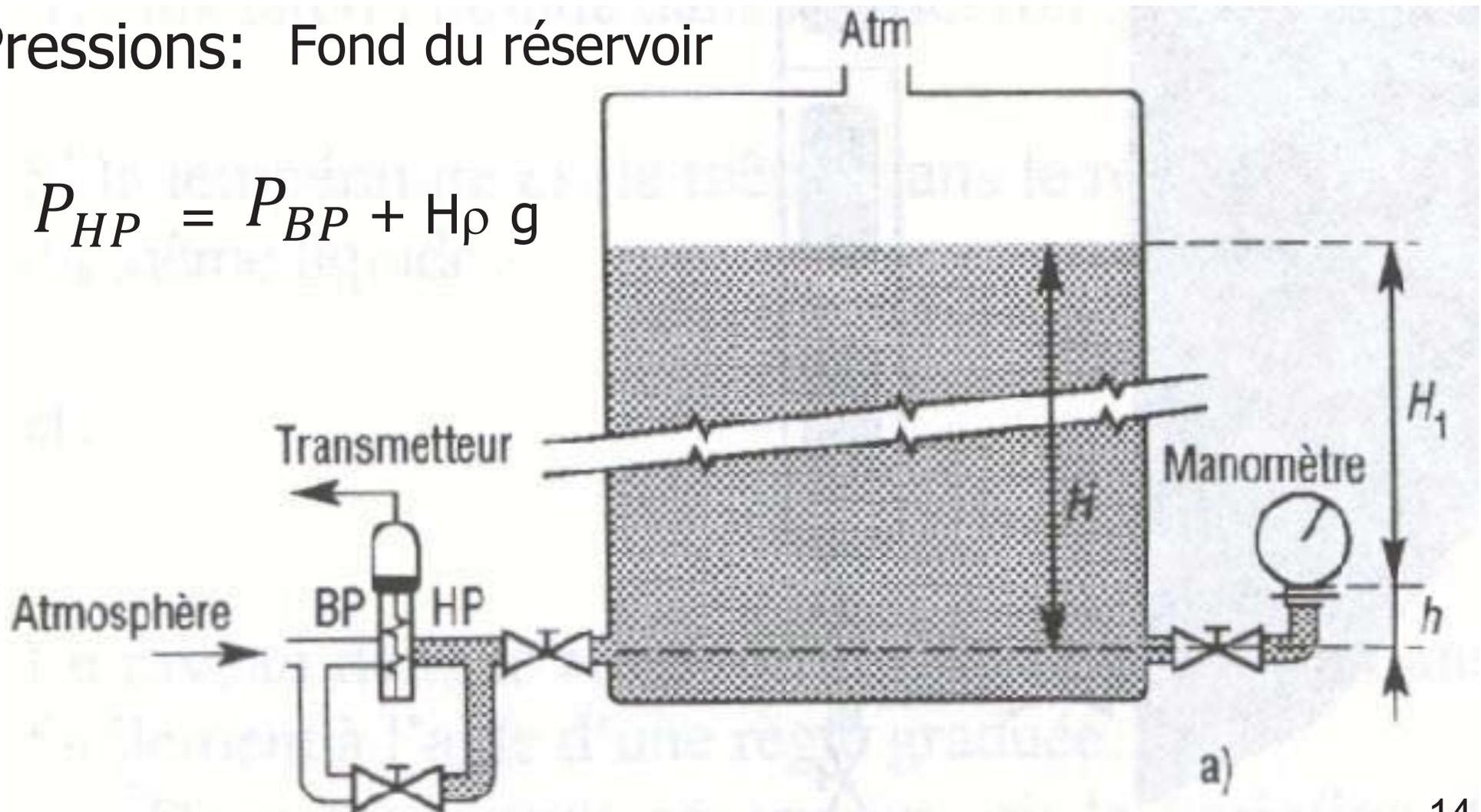
Capteurs - Transmetteurs

Capteurs de pression : Mesure avec réservoir ouvert

$$\Delta P = P_{HP} - P_{BP} = \rho g(H) \quad \text{Avec } P_{BP} = P_{atm}$$

Pressions: Fond du réservoir

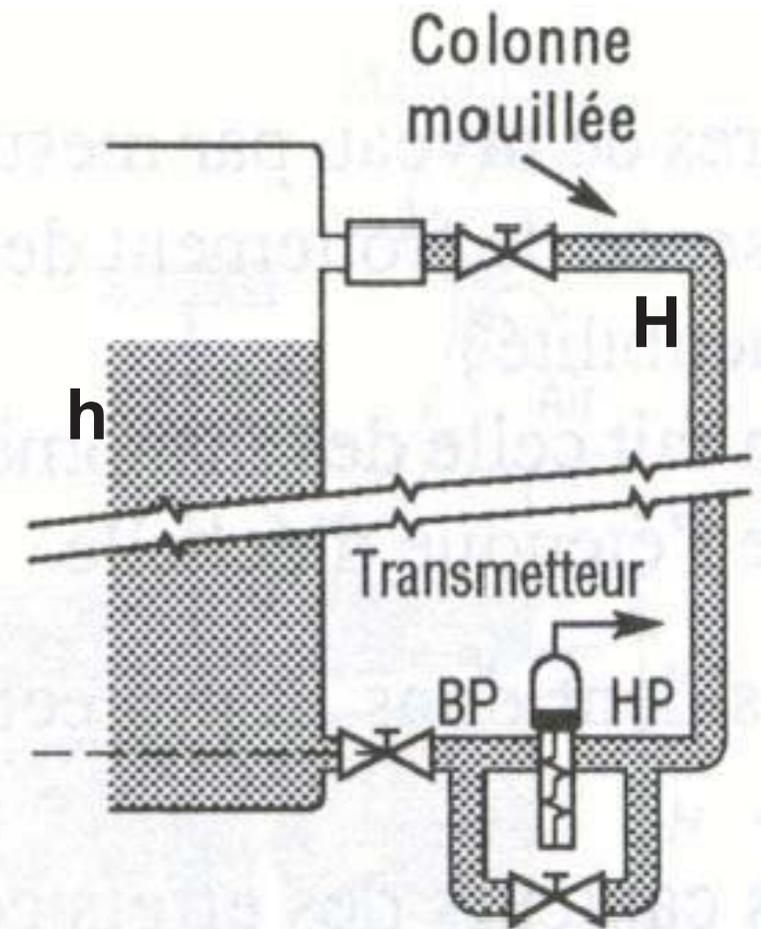
$$P_{HP} = P_{BP} + H\rho g$$



Capteurs - Transmetteurs

Capteurs de pression : Mesure avec réservoir fermé

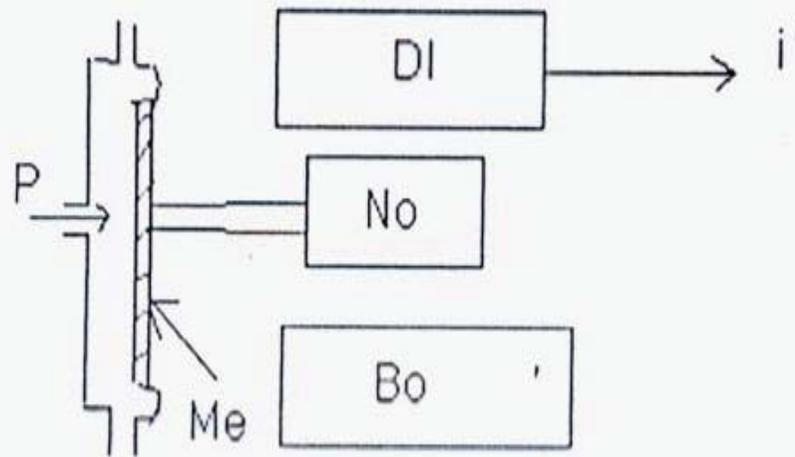
$$\Delta P = P_{HP} - P_{BP} = \rho g(H - h)$$



Convertisseurs

Convertisseur P/I (pression/courant)

Un convertisseur pression - courant converti un signal pneumatique en un signal électrique.



P : pression d'entrée (0,2 à 1 bar) ; I : courant de sortie 4 - 20 mA

No : noyau mobile (ferromagnétique) ; Bo : bobinage

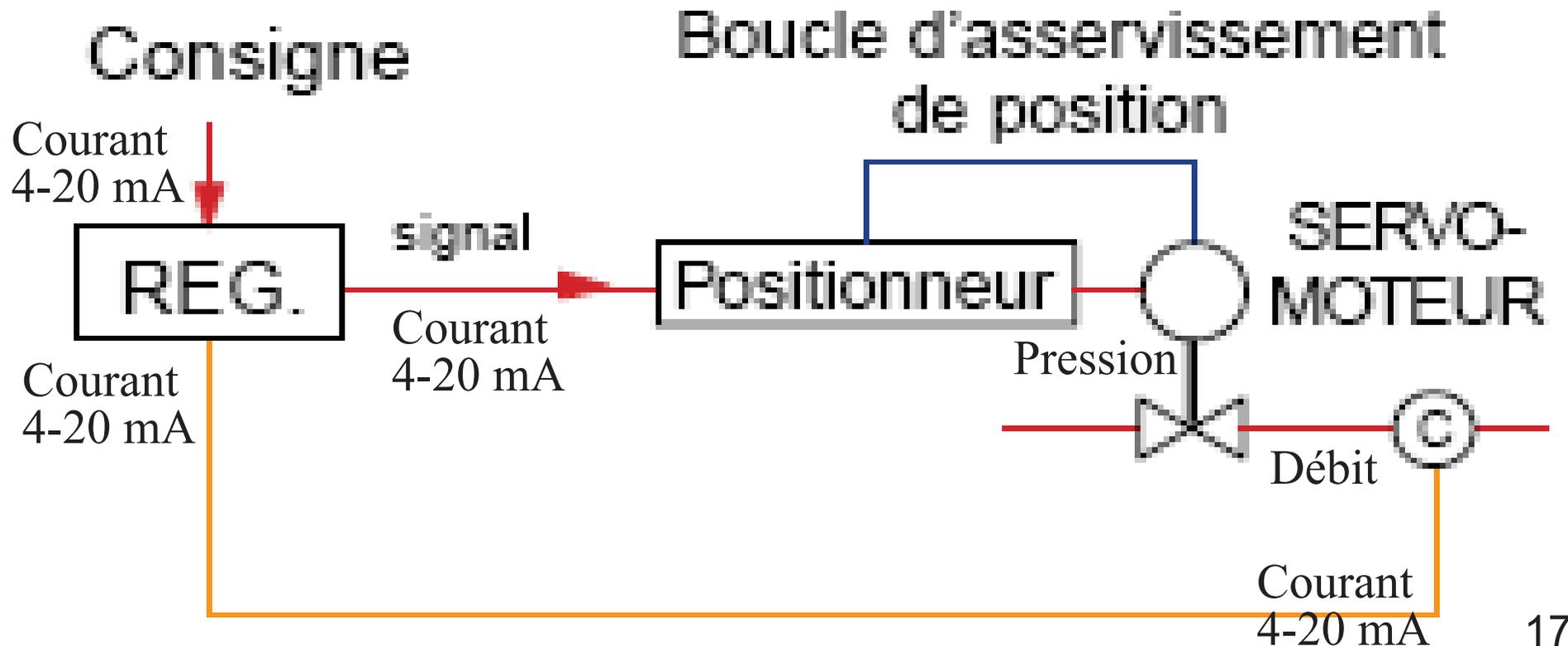
DI : détecteur inductif ; Me : membrane

Convertisseurs

Boucle de régulation - Boucle imbriquée :

Pour être plus efficace on place une boucle de positionnement complémentaire qui à partir d'un signal du régulateur (4-20mA) positionne le servomoteur proportionnellement à ce signal. L'ensemble vanne servomoteur devient une vanne motorisée commandée en 4-20mA et incorpore un positionneur.

C : capteur transmetteur de débit



Convertisseurs

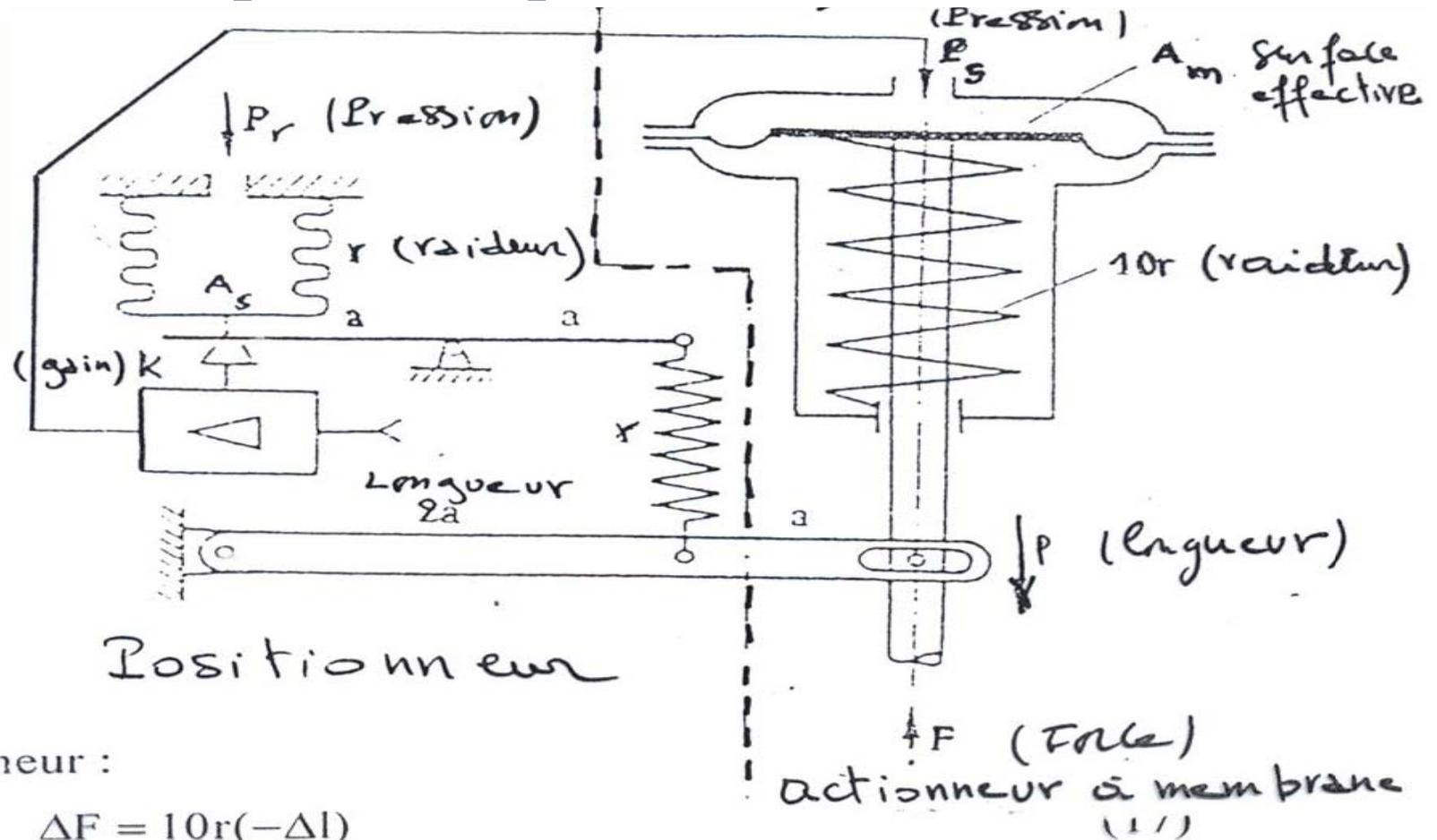
Positionneur électropneumatique

Le positionneur détermine une position précise de la vanne (grandeur réglée x) correspondant au signal de commande.

Ils comparent le signal de commande venant d'un dispositif de réglage avec la course de l'organe de réglage et émettent comme grandeur de sortie une pression d'air de commande du servomoteur.

Convertisseurs

Positionneur électropneumatique



Sans positionneur :

$$\Delta F = 10r(-\Delta l)$$

Avec positionneur :

$$\Delta F = 10r(-\Delta l) + \Delta P_s A_m$$

$$\Delta P_s = k\Delta x$$

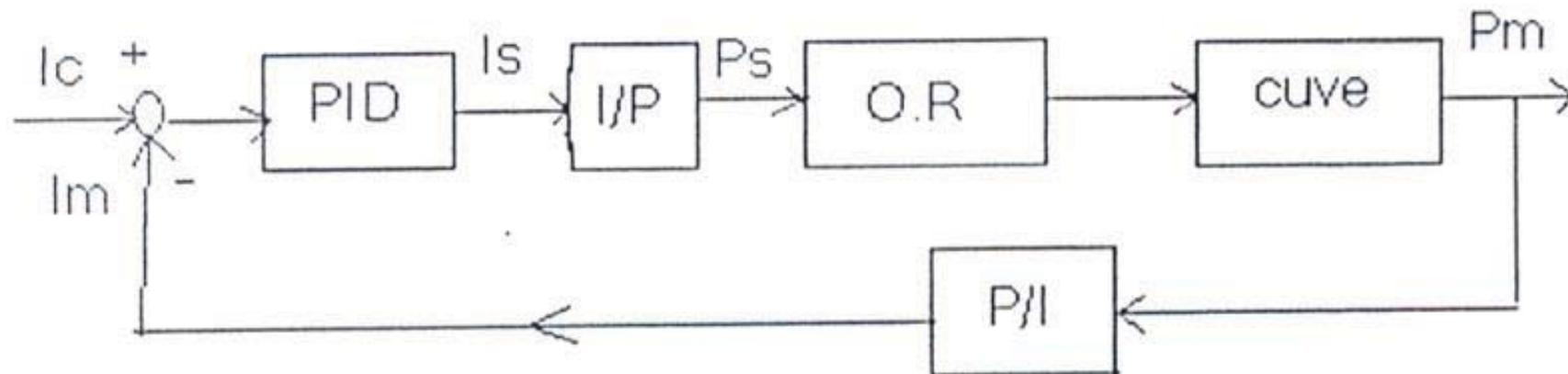
(18)

Δx représente le changement de la distance entre le levier, qui joue le rôle de la palette, et la buse de l'amplificateur.

Convertisseurs

Commande pneumatique par ordinateur :

- ❑ Pour piloter des composants électromécaniques, on utilise un convertisseur Courant/Pression (I/P) qui convertit le signal électrique en signal pneumatique.
- ❑ Pour acquérir un signal pneumatique et le convertir en signal électrique, nous utilisons un convertisseur Pression/Courant (P/I).



I_C : courant de consigne (4 – 20 mA) ; I_m : courant de mesure (4 – 20 mA)

I_S : courant de sortie du régulateur (4 – 20 mA) ;

P_S : pression de commande ; P_m : pression de mesure

O.R : organe de réglage (vanne + actionneur pneumatique + positionneur)

PID : régulateur ; P/I & I/P : convertisseurs

Convertisseurs

Réglage d'un transmetteur pneumatique

Le réglage consiste :

- à régler l'étendue de mesure par déplacement de la molette fixant le point de fonctionnement.
- à fixer le zéro d'échelle par la vis de réglage de tension du ressort.

Exemple: mesure du niveau dans un ballon de 6 m.

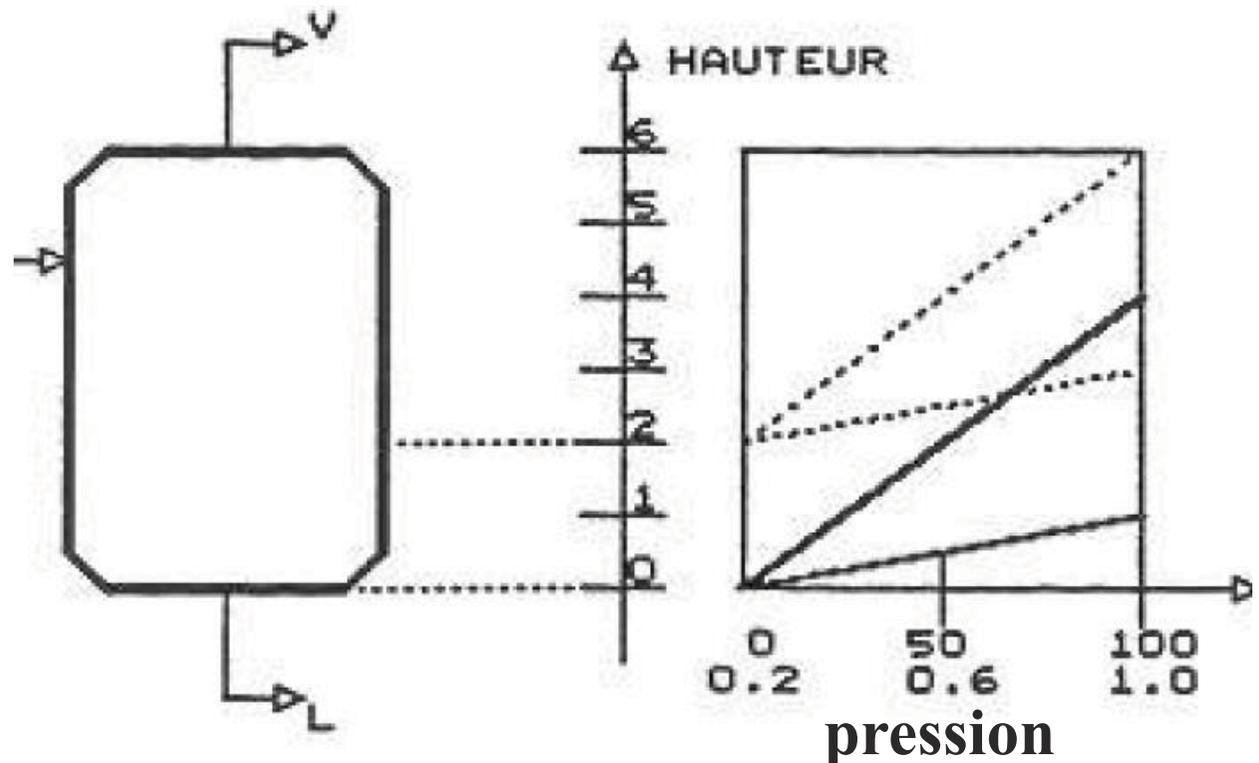
zéro : 0 ou 2 m

étendus de mesure : 1,2 ou 4 m

Indication :

Zéro correspond à 0,2 bar

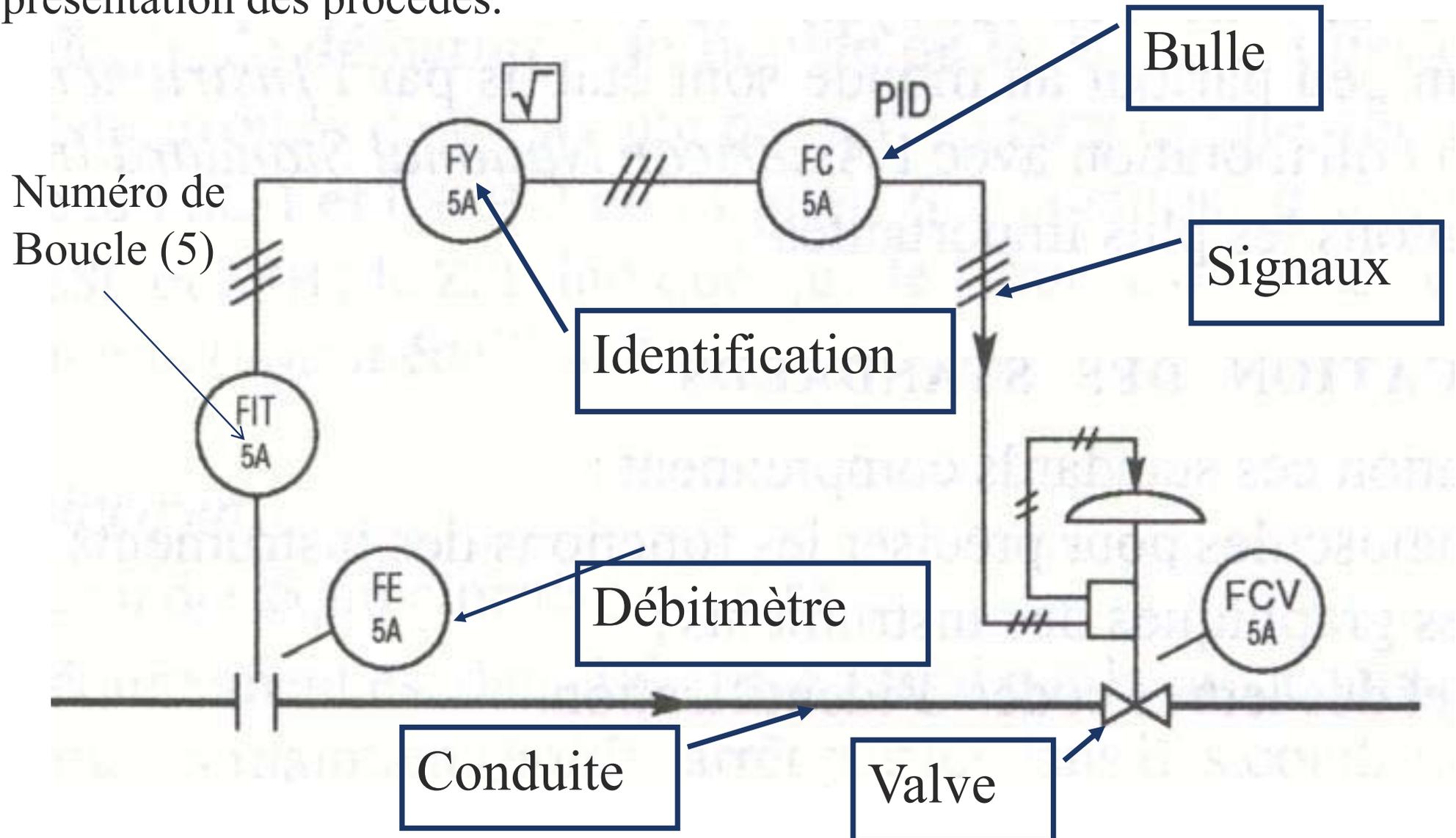
100% correspond à 1 bar



Variation du signal pneumatique par rapport aux différents réglages

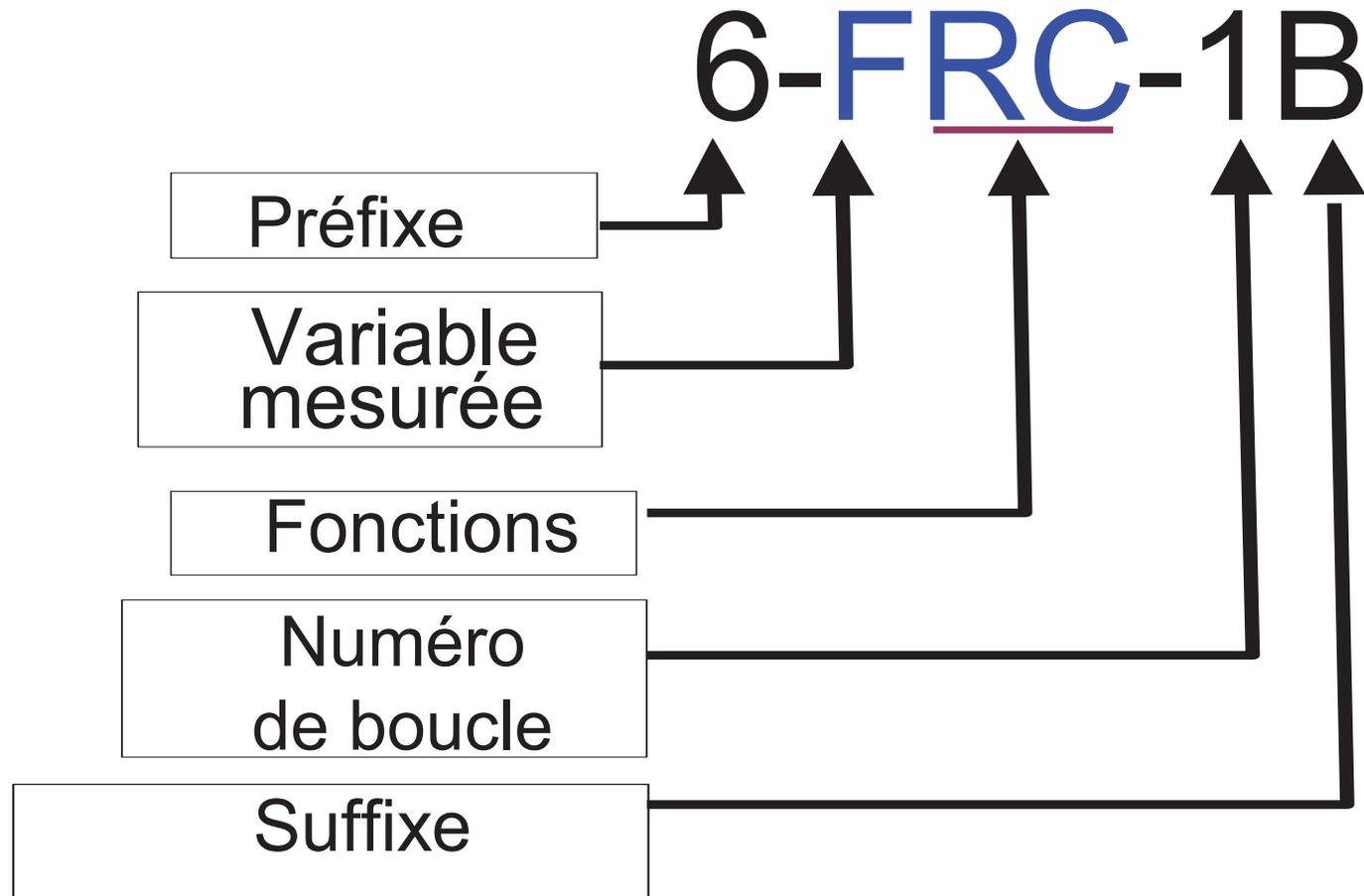
Instrumentation industrielle

NORME I.S.A. « Instrument Society of America » est une norme de présentation des procédés.



Exemple d'utilisation de la norme ISA pour un régulateur de débit

Schémas d'instrumentation



Notation selon la norme ISA

Schémas d'instrumentation

Alimentation de l'instrument
ou connection au procédé



Signal non définit



Signal pneumatique



Signal électrique



ou



Signal hydraulique

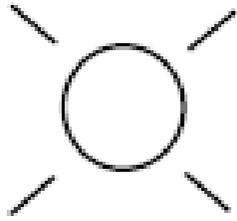


Tube capillaire

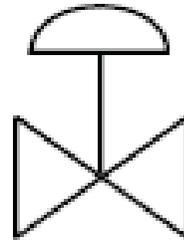


Lignes de liaison

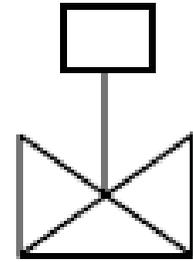
Schémas d'instrumentation



Lampe témoin



Valve pneumatique



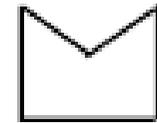
Valve électrique



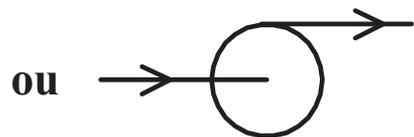
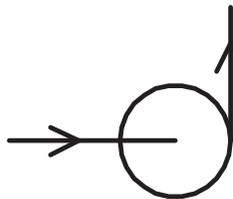
Tube venturi



Diaphragme



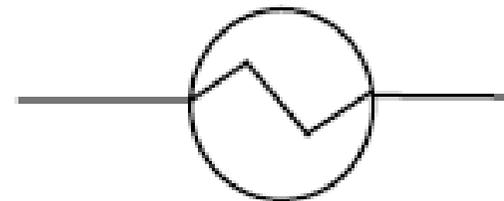
Déversoir



Pompe centrifuge



Convoyeur



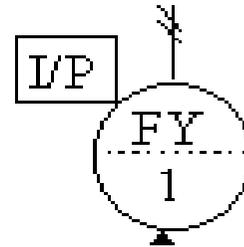
Échangeur de
chaleur

Exemple de symbole graphique

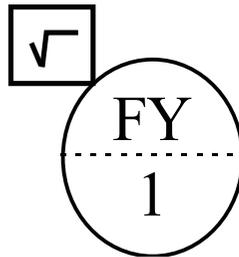
Schémas d'instrumentation

Convertisseur courant / pression

- F = débit - « flow »
- Y = « relay »



Appareil extracteur de racine carrée pour une boucle de débit



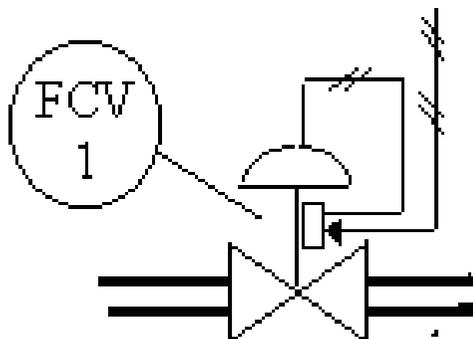
Abréviations et de conversion

Abréviation	Fonction
I/P	convertisseur courant à pression
P/I	convertisseur pression à courant

Schémas d'instrumentation

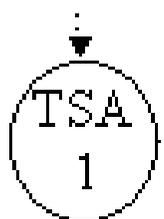
Vanne pneumatique

- F = débit - « flow »
- C = régulation - « control »
- V = vanne



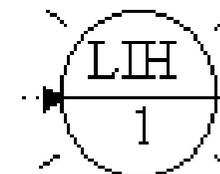
Détecteur de température excessive

- T = température
- S = commutateur - « switch »
- A = alarme



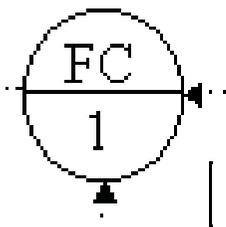
Indicateur lumineux

- L = lumière
- I = indicateur
- H = haut - « high »



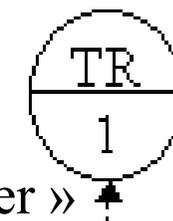
Régulateur

- F = débit - « flow »
- C = régulateur - « controller »



Enregistreur

- T = température
- R = enregistreur - « recorder »



Schémas d'instrumentation

FT : un transmetteur (T) de débit (F) (flow) ;

TT : un transmetteur de température ;

FQT : un transmetteur de débit totalisé ;

FIT : un transmetteur – indicateur de débit ;

FIR : un enregistreur – indicateur de débit ;

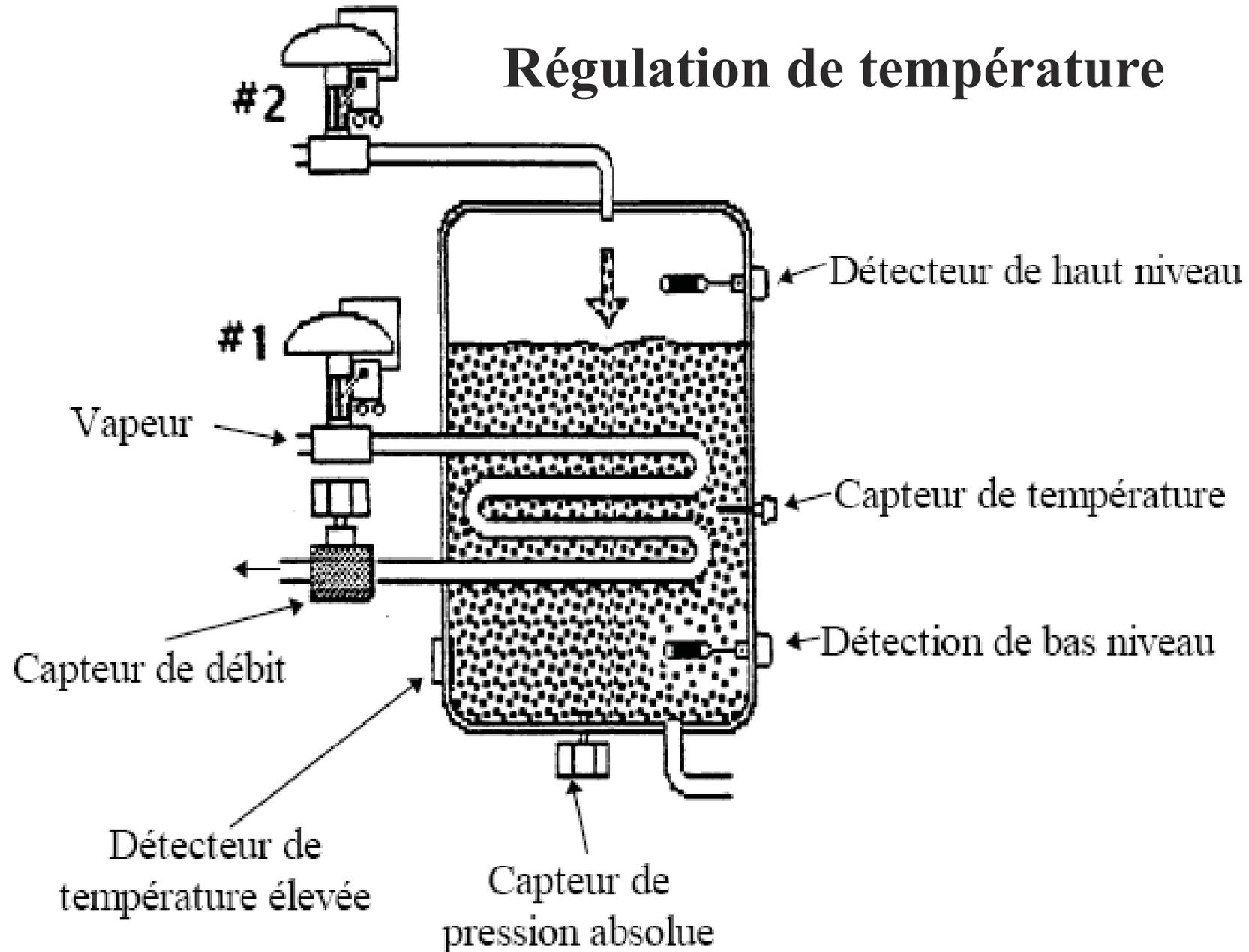
TDRC : un régulateur – enregistreur de température différentielle ;

FIC : un régulateur – indicateur de débit ;

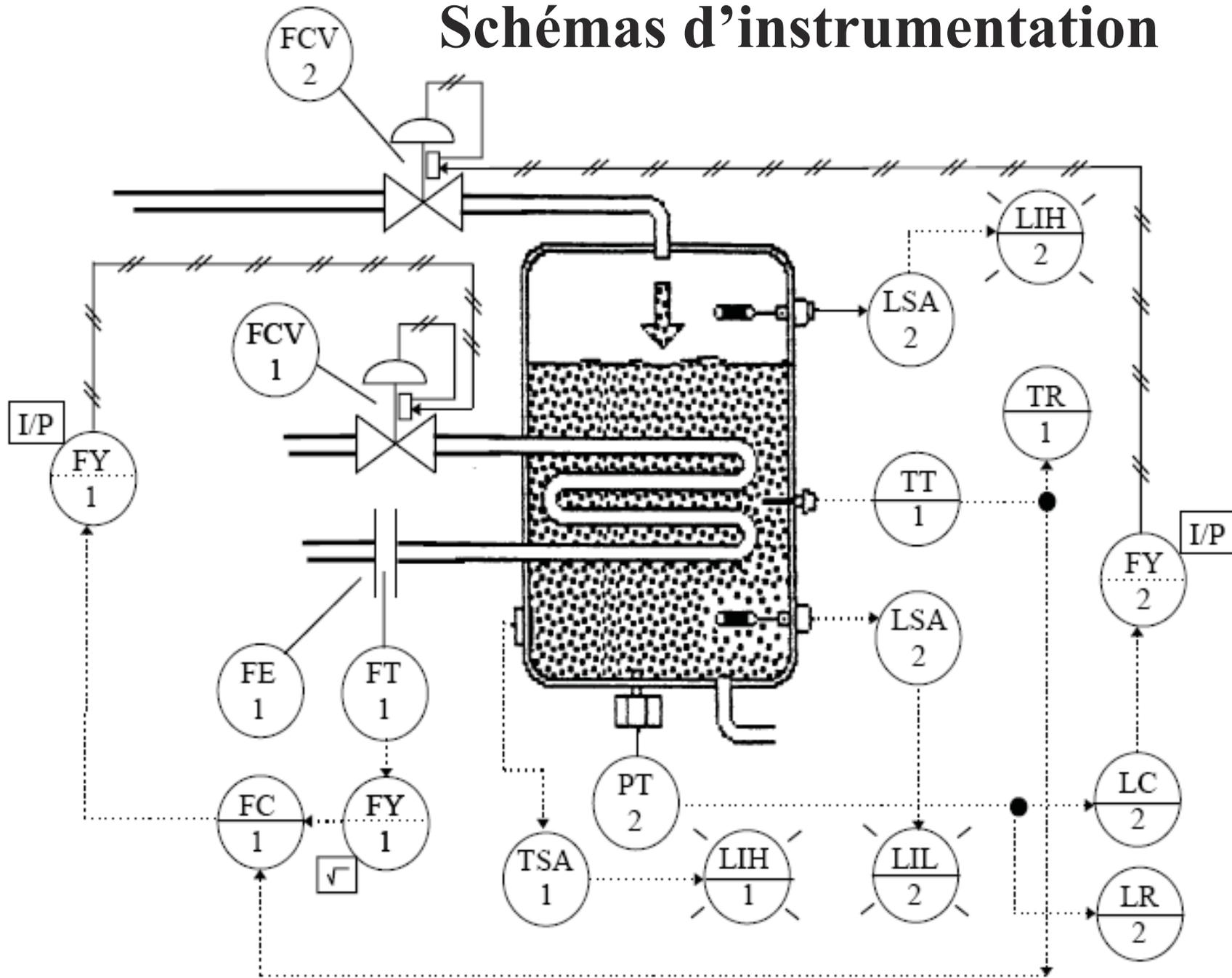
FCV : une vanne de régulation de débit.

Schémas d'instrumentation

Exemple de schéma en norme ISA



Schémas d'instrumentation



Représentation du procédé suivant la norme ISA

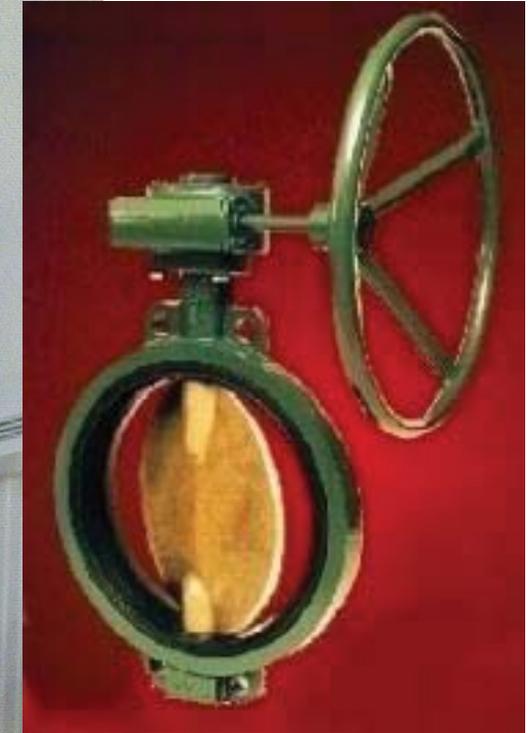
Schémas d'instrumentation

Lettres les plus utilisées dans la norme ISA

	Première lettre (Variable commandée)	Deuxième lettre (Fonction de l'instrument)	Troisième lettre (Fonction de la sortie)
A	Analyse	Alarme	Alarme
B	Brûleur	Choix de l'utilisateur	Choix de l'utilisateur
C	Conductivité électrique		Régulation ou contrôle
D	Densité ou différentiel		
E	Tension	Élément primaire	
F	Débit - « flow » ou rapport		
H	Commande manuelle - « hand »		Haute - « high »
I	Courant	Indicateur	
L	Niveau - « level »	Lumière	Basse - « low »
M	Humidité - « moisture »		Intermédiaire
O	Choix de l'utilisateur	Choix de l'utilisateur	Choix de l'utilisateur
P	Pression - « pressure »	Point de test	
R	Radioactivité	Enregistreur - « recorder »	
S	Vitesse - « speed »	Sécurité	Commutateur - « switch »
T	Température		Transmetteur
V	Viscosité		Vanne - « valve »
Y	Choix de l'utilisateur	Fonction de conversion et de calcul	Calculateur ou relais

Vannes de régulation

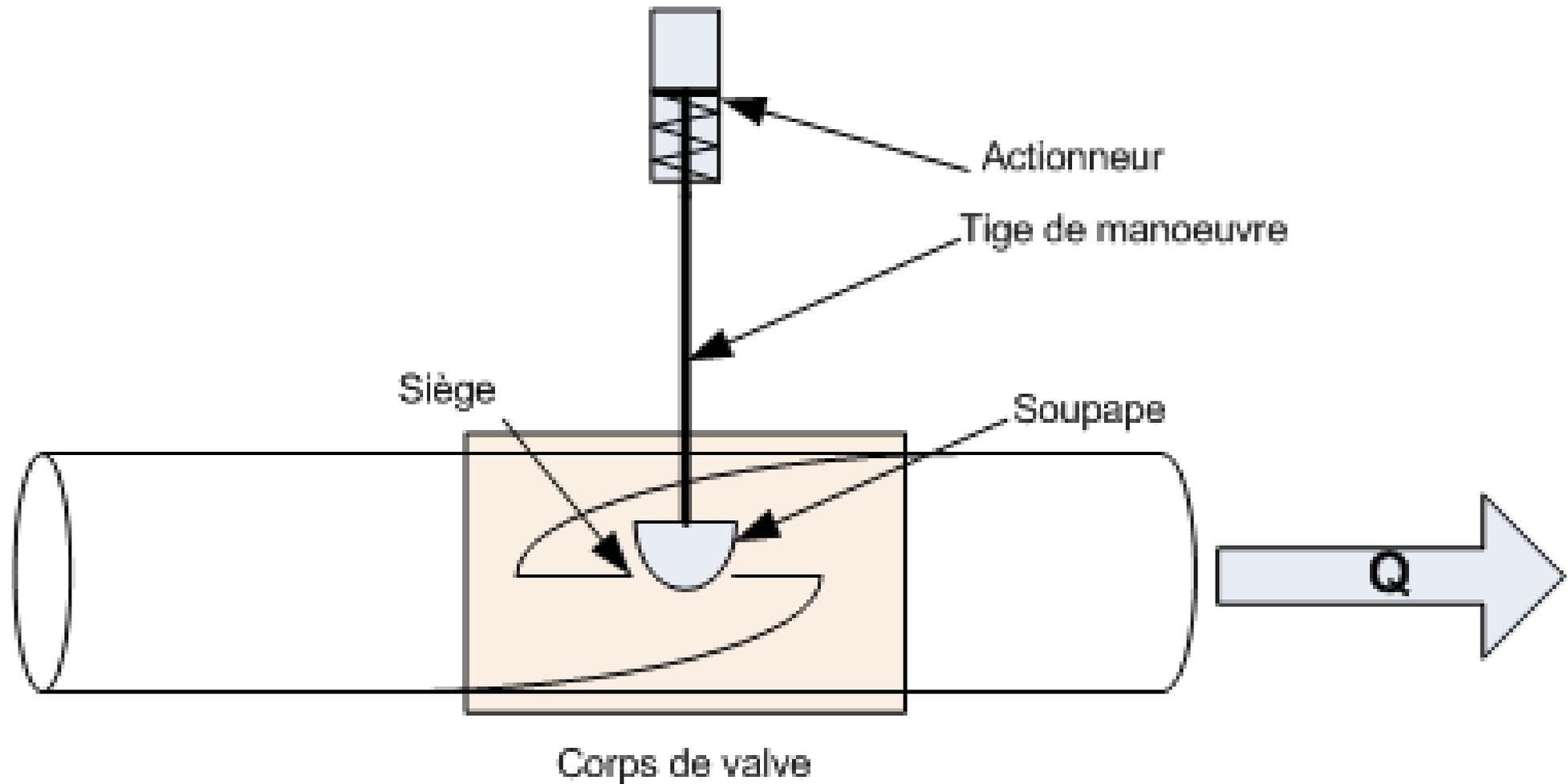
SERVOMOTEUR
POSITIONNEUR
TIGE DE COMMANDE
CORPS DE VANNE



INDICATEUR DE
POSITION DE VANNE

Vannes de régulation

- Orifice à surface variable. Si l'ouverture est automatisée, on obtient un robinet de réglage (ou valve de régulation).



Vannes de régulation

Le corps de valve (body)

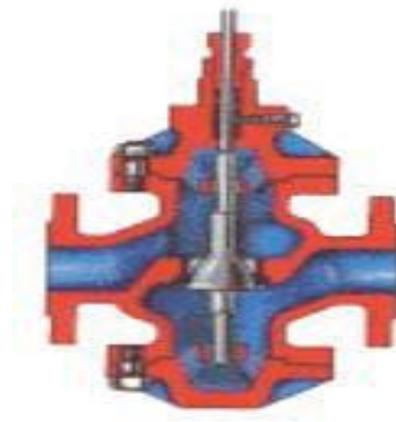
- Est divisé en 2 chambres au travers desquelles le liquide s'écoule.
- Fournit les points de branchement des conduites.

L'obturateur (plug)

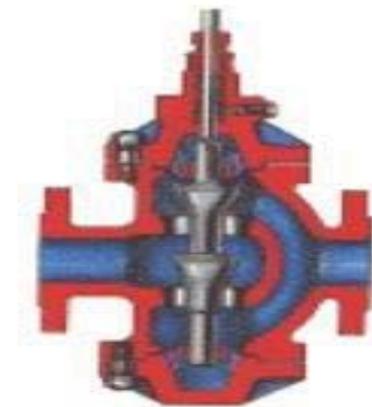
- Élément qui délimite avec le siège l'espace dans lequel passe le liquide.

Le siège (seat)

- Partie du corps de la valve sur lequel vient reposer l'obturateur quand la valve est fermée.
- Selon la valve, il peut y avoir un ou deux sièges.



Simple siège

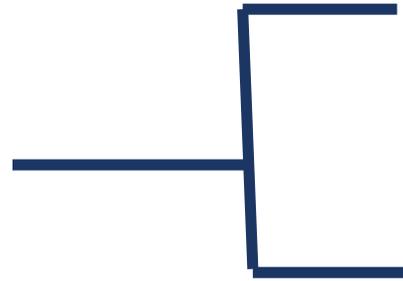


Double siège

Vannes de régulation

Les types de valves

VALVES



Mouvement linéaire de l'obturateur

Mouvement angulaire de l'obturateur

Mouvement linéaire de l'obturateur

Vannes de régulation

Mouvement angulaire de l'obturateur

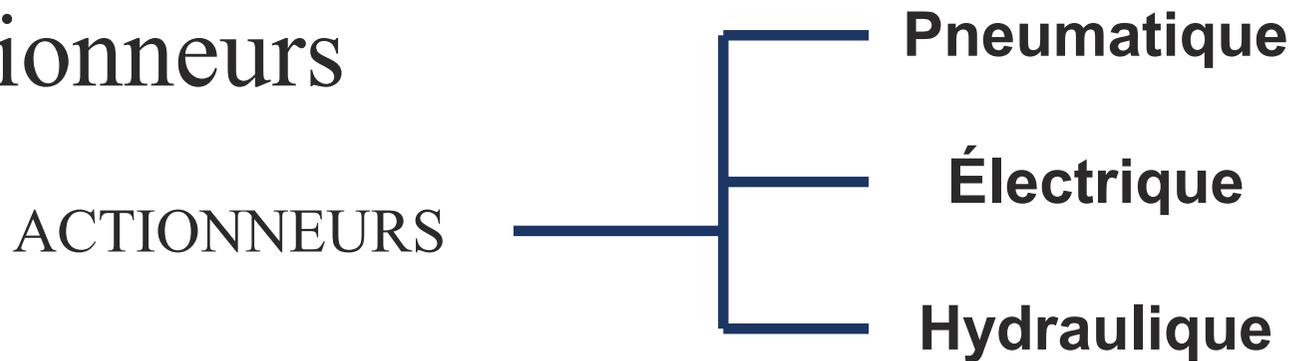
Les robinets à papillon (butterfly valve)

- . Obturateur déplacé par un mouvement angulaire.
- . L'obturateur est un disque.
- . L'angle entre la normale du disque et la conduite définit la section de l'orifice.

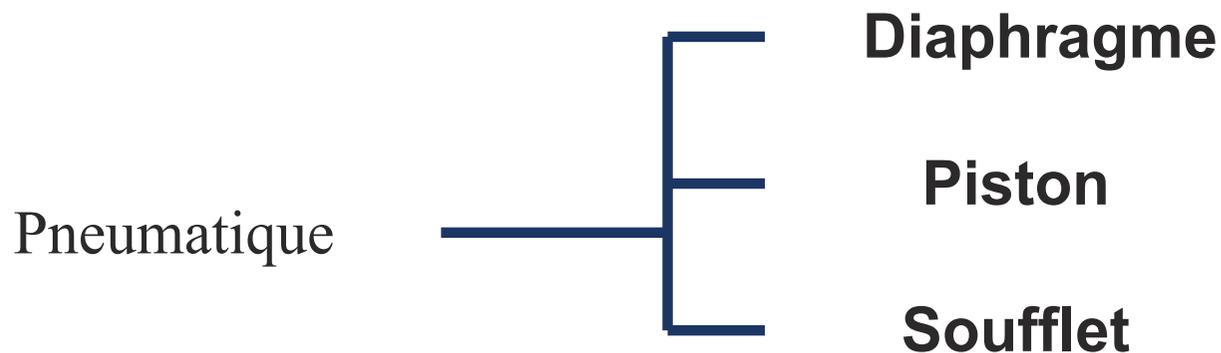


Vannes de régulation

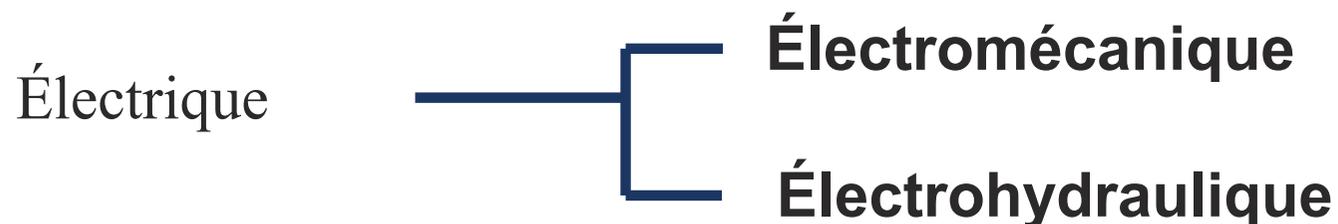
Les actionneurs



Les actionneurs pneumatiques



Les actionneurs électriques



Vannes de régulation

Les actionneurs pneumatiques à diaphragme

. Deux configurations:

– « **Fluid-to-extend stem** » :

- . il faut envoyer de l'air pour provoquer l'extension de la tige.

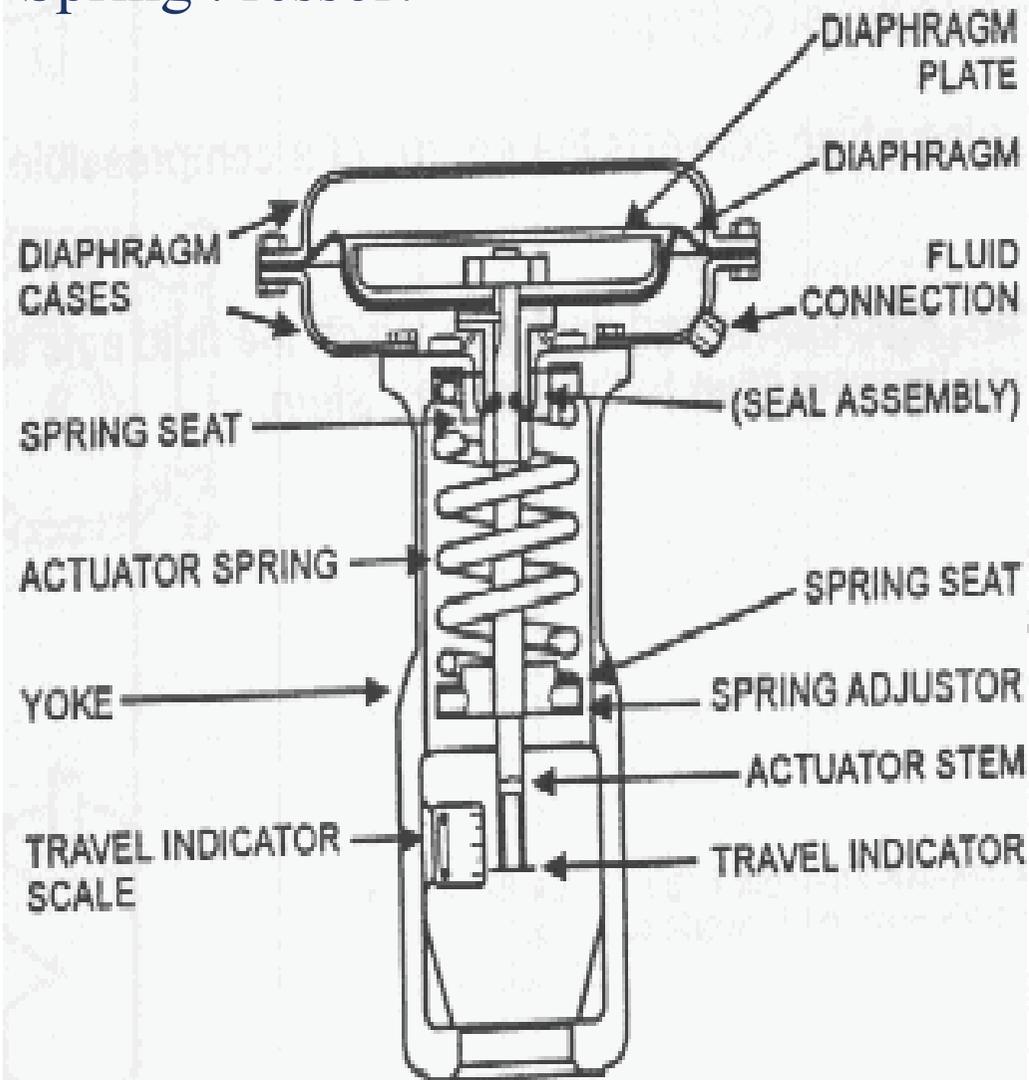
– « **Fluid-to-retract stem** » :

- . il faut envoyer de l'air pour provoquer la rétraction de la tige.

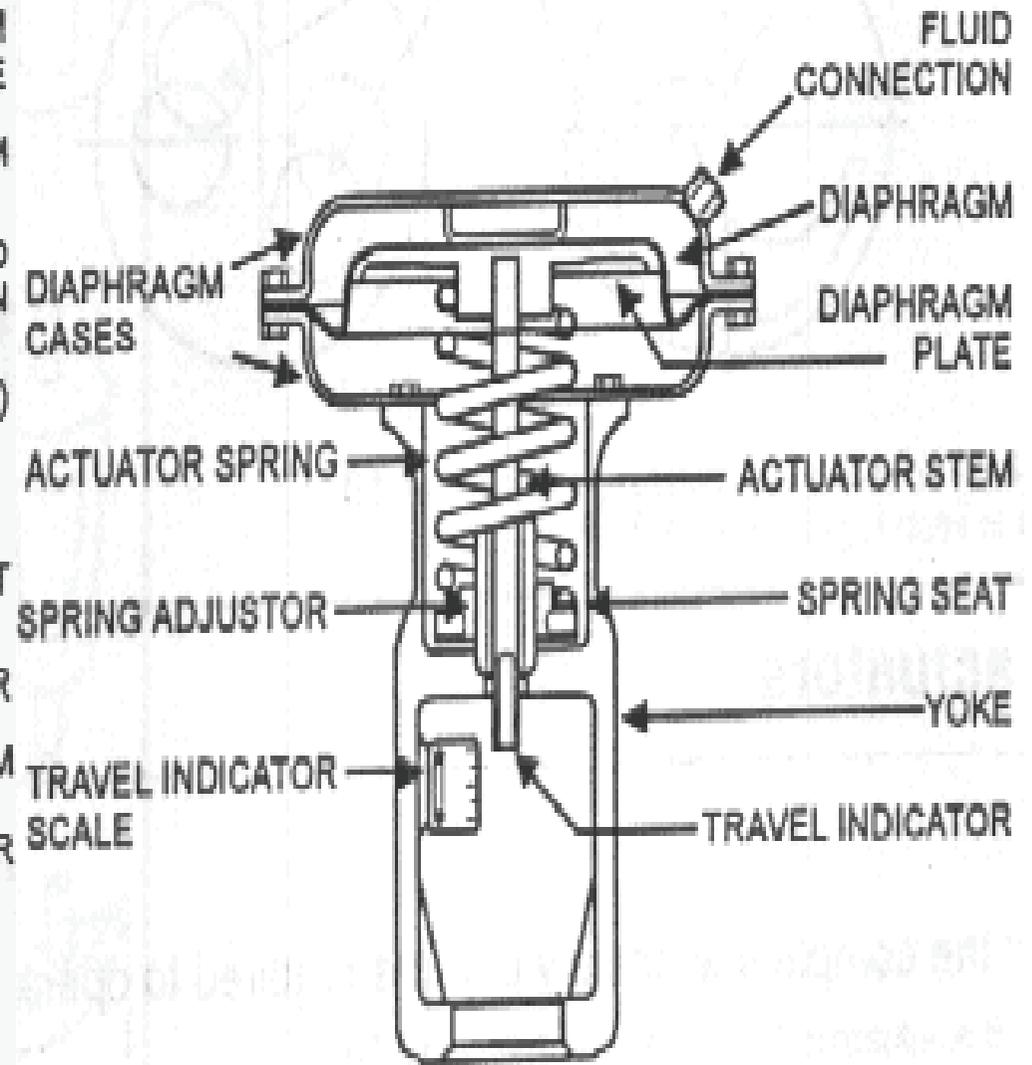
Vannes de régulation

Les actionneurs pneumatiques à diaphragme

Spring : ressort



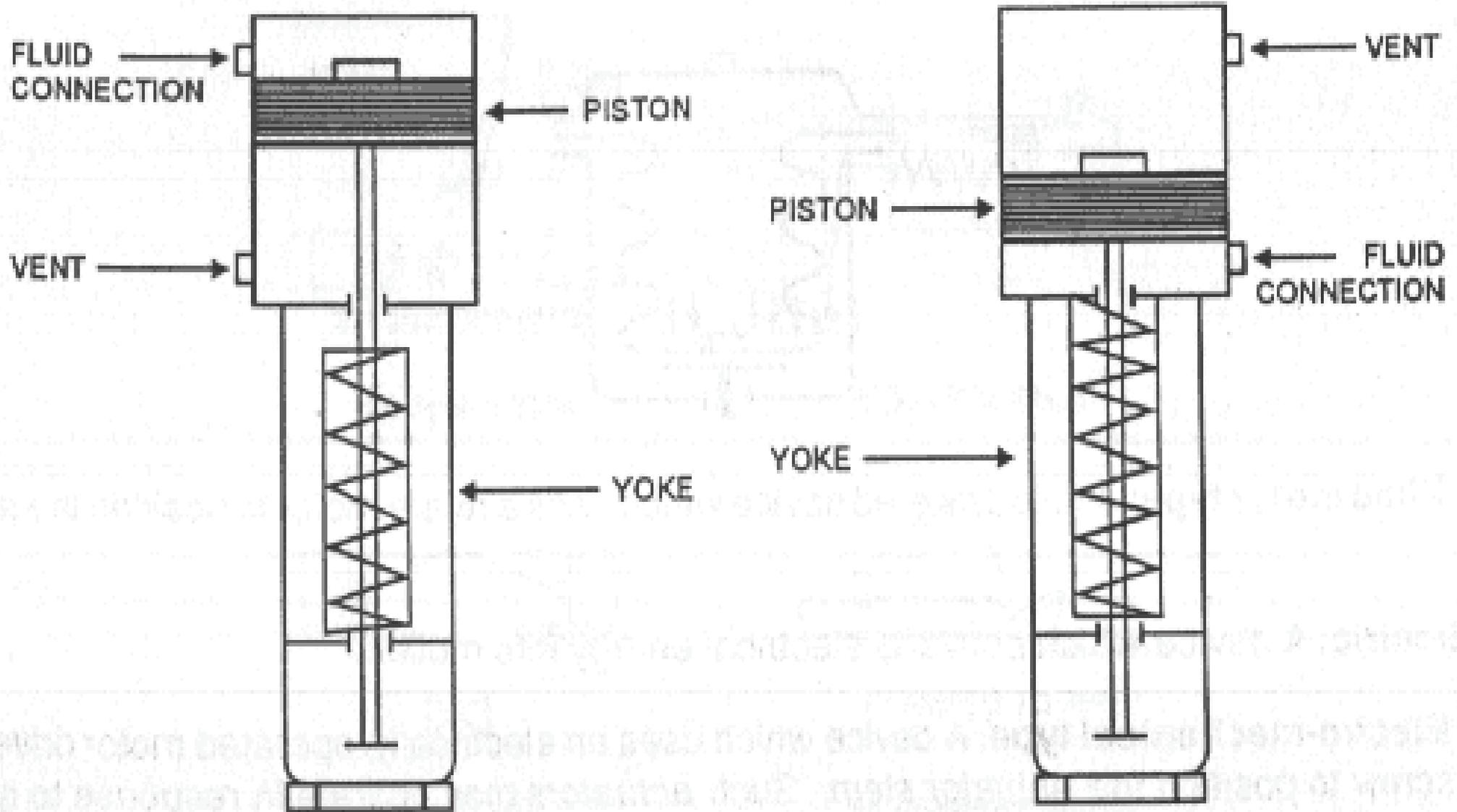
(B) Fluid-to-Retract Stem



(A) Fluid-to-Extend Stem

Vannes de régulation

Les actionneurs pneumatiques à piston



(a) Fluid-to-Extend Stem

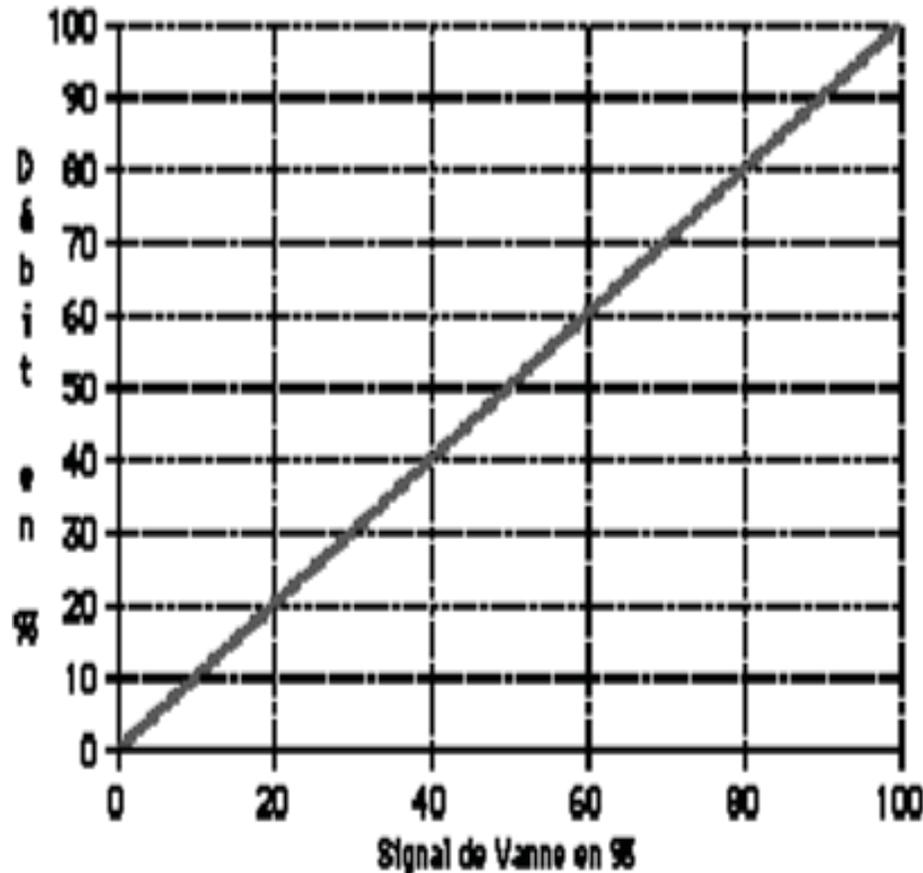
(b) Fluid-to-Retract Stem

Vannes de régulation

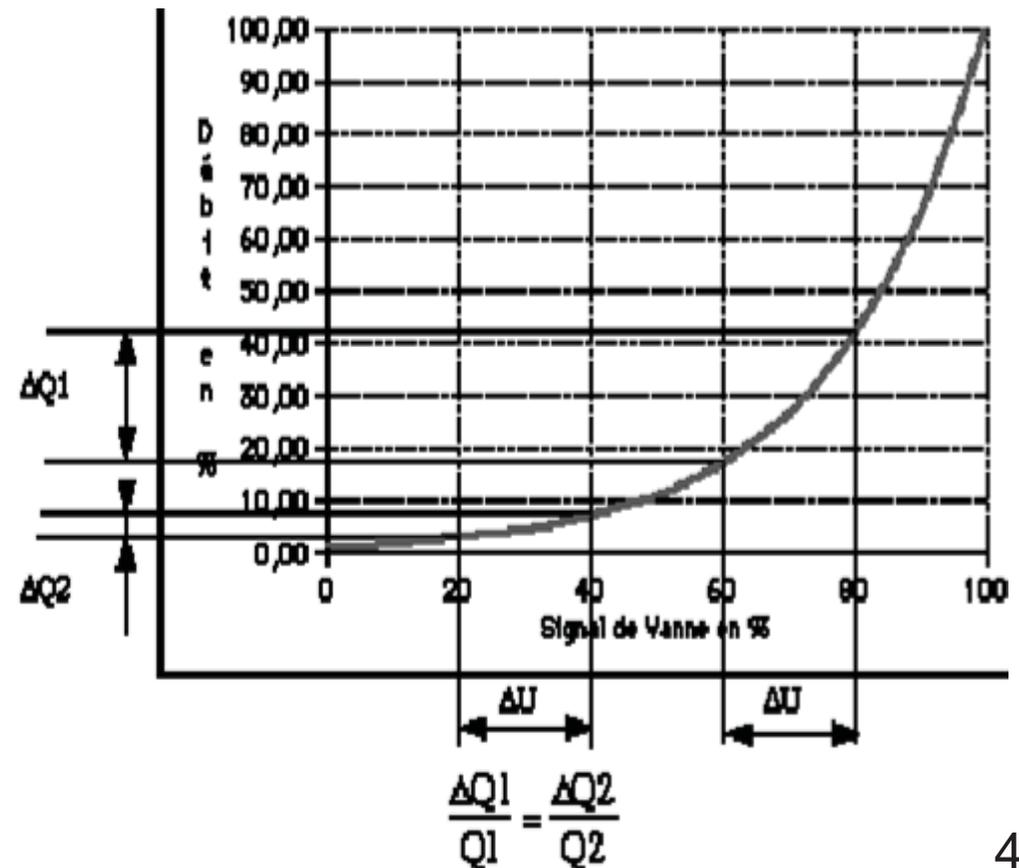
CARACTERISTIQUES DES VANNES DE REGULATION

- ❑ C'est la relation entre le débit Q et le signal de commande de vanne V .
- ❑ Deux principaux types de caractéristiques de débit :
 - 1) Linéaire ;
 - 2) Égal pourcentage ;

Linéaire



Exponentielle



Vannes de régulation

CARACTERISTIQUES DES VANNES DE REGULATION

Modélisation de la relation EQP : débit et commande de vanne

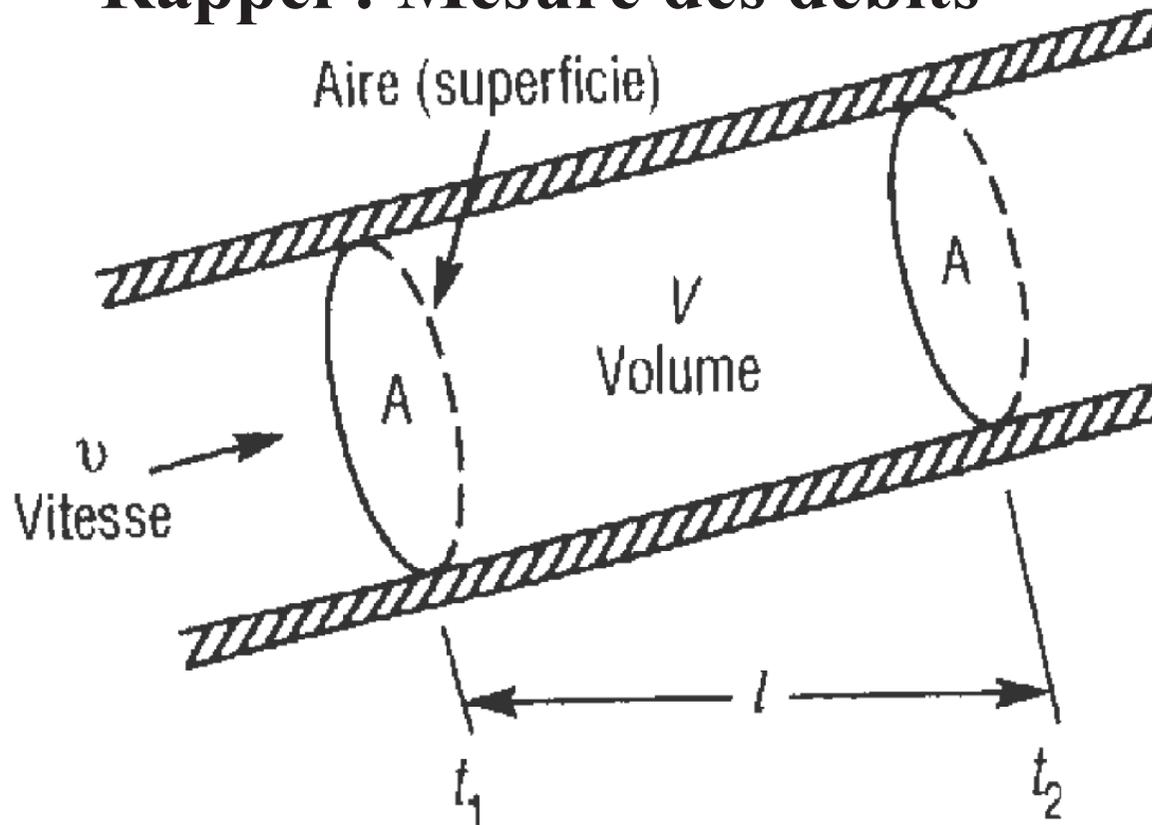


C'est la relation entre le débit d'une vanne et sa commande, lorsque sa caractéristique est de type égal pourcentage. On peut écrire :

$$\frac{y - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}} = \frac{(Q - Q_{min}) / (Q + Q_{min})}{(Q_{max} - Q_{min}) / (Q_{max} + Q_{min})}$$

Vannes de régulation

Rappel : Mesure des débits



■ Débit volumique:

- $Q = v \cdot A$

- Unités: m^3/s ,

■ Débit massique:

- $Q_m = \rho \cdot v \cdot A$

- Unités: $kg/s, \dots$

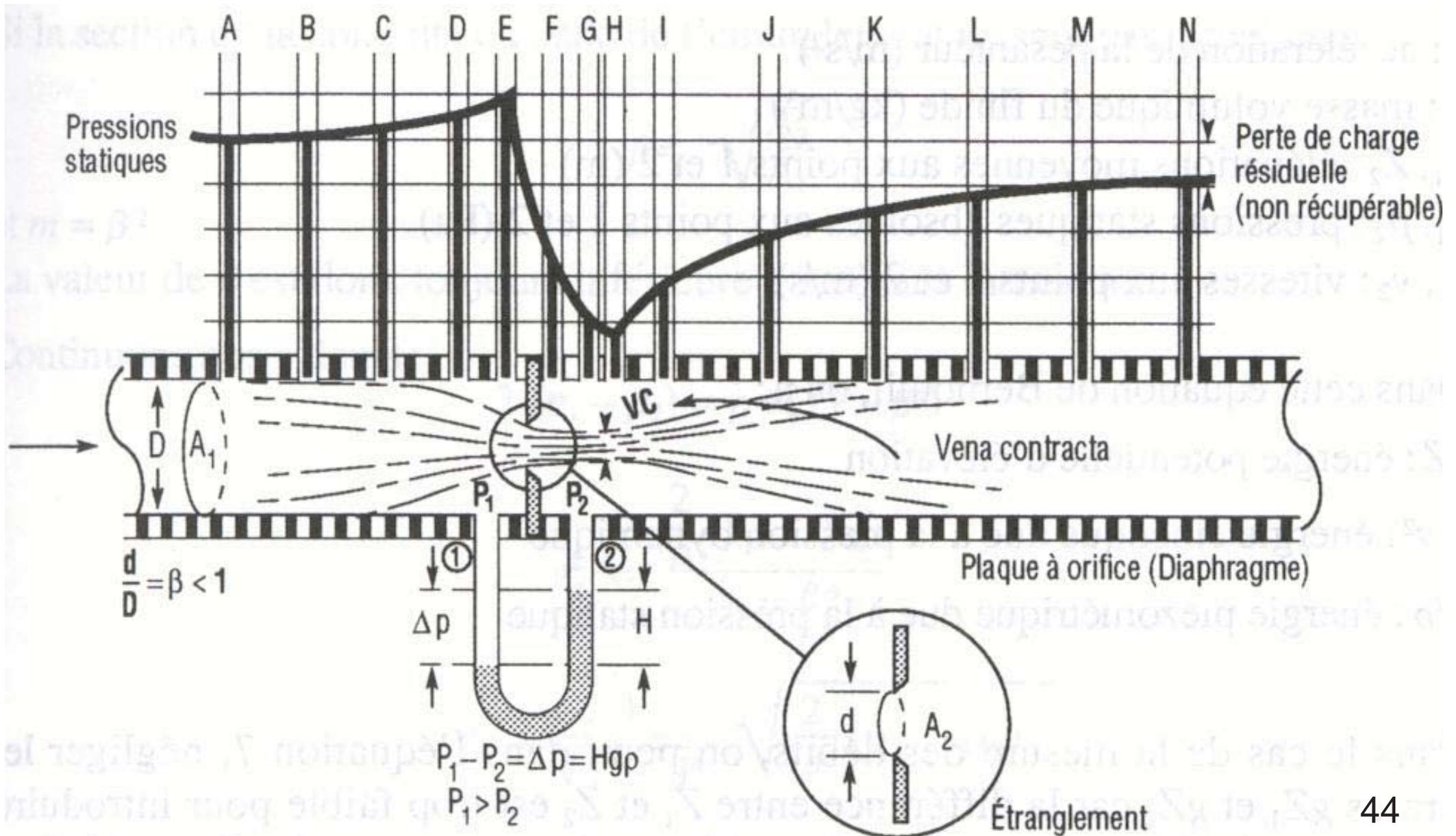
■ Dynamique des fluides:

- **Fluide parfait:** Fluide n'offrant pas de résistance à l'écoulement, i.e., ayant une viscosité nulle.

- **Le fluide réel:** Fluide visqueux qui résiste à l'écoulement.

Vannes de régulation

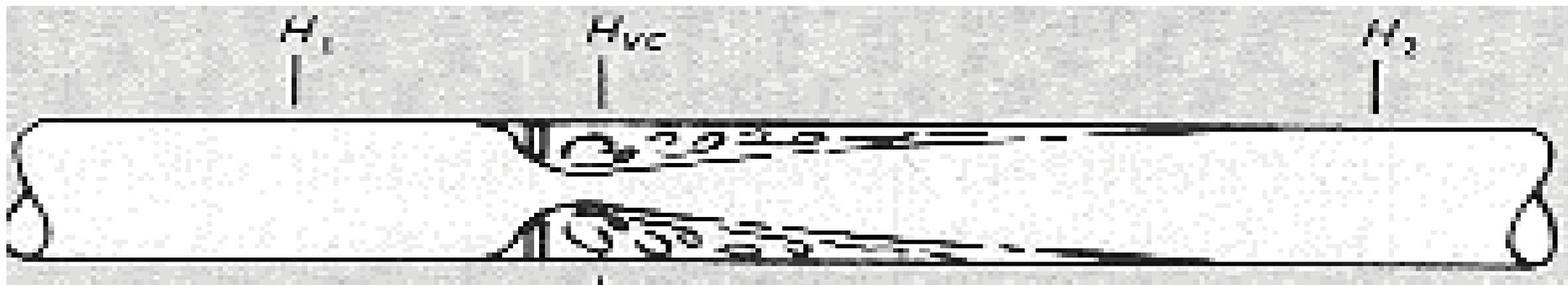
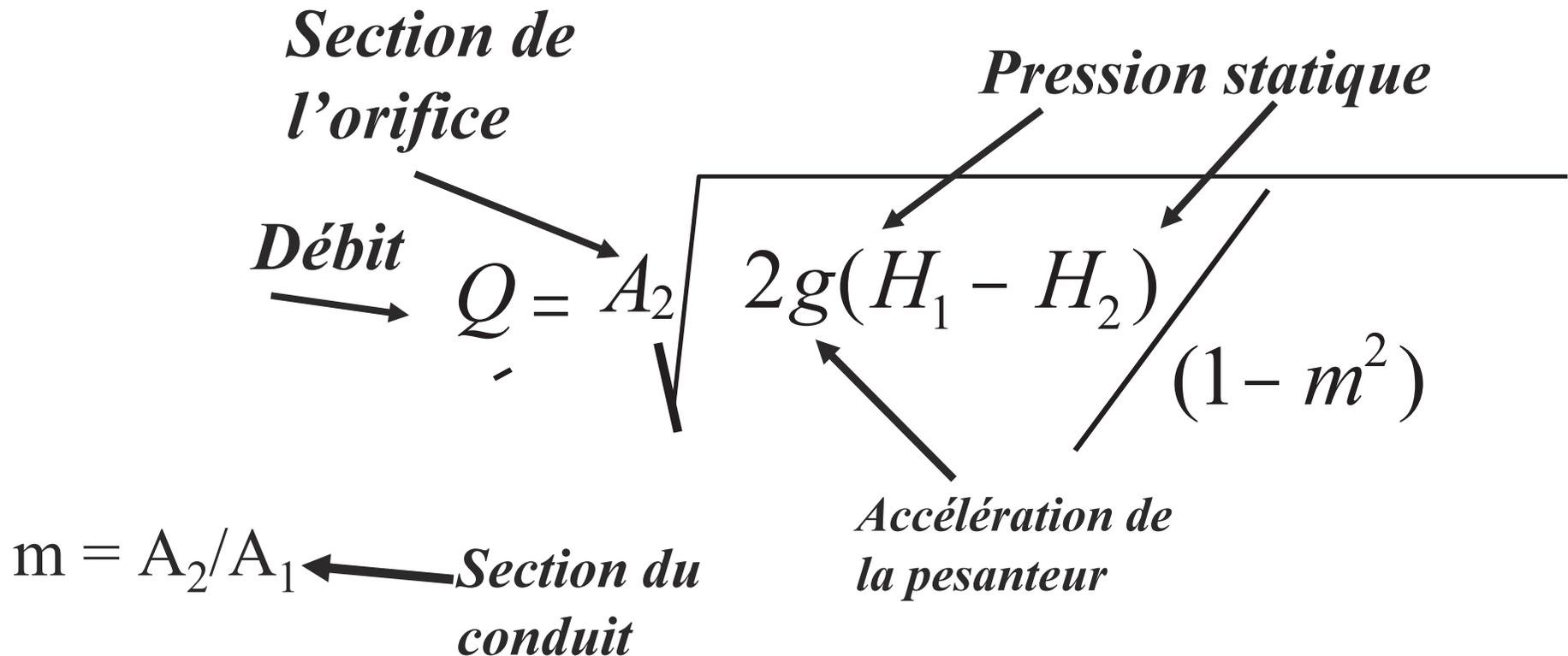
Rappel : Mesure de débit par organe déprimogène
L'une des techniques les plus utilisées.



Vannes de régulation

Dimensionnement d'une valve

Écoulement idéal (turbulent). Le débit théorique idéal est :



Vannes de régulation

Dimensionnement d'une valve

- En pratique, il y a toujours une perte de charge
- . La section minimale du débit n'est pas A_2 , mais A_{VC} la section du « vena contracta »
- . En utilisant C_1 pour identifier le coefficient de décharge (perte) :

$$Q = C_1 F A_{VC} \sqrt{2g(H_1 - H_{VC})}$$

$$F = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2}}$$

Pression statique au vena contracta

Vannes de régulation

Dimensionnement d'une valve

- Le coefficient de contraction C est :

$$C = C_1 \left(\frac{A_{VC}}{A_2} \right)$$

- Le facteur de récupération de pression F_L est:

$$F_L = \sqrt{\frac{(H_1 - H_2)}{(H_1 - H_{VC})}}$$

- Le débit (en po^3/s) se calcule par : $1 \text{ po} = 2,54 \text{ cm}$

$$Q = \frac{CFA_2}{F_L} \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

Vannes de régulation

- Si le débit est en GPM plutôt qu'en po^3/s :

$$Q(\text{GPM}) = 38.0 \frac{CFA_2}{F_L} \sqrt{\frac{\Delta p}{G}}$$

GPM: Gallon per minute

1 GPM = $6,31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

Chute de pression

Densité relative

- En posant :

Coefficient de valve

$$C_v = 38.0 \frac{CFA_2}{F_L}$$

- On peut écrire :

$$Q(\text{GPM}) = C_v \sqrt{\frac{\Delta p}{G}}$$

Vannes de régulation

Dimensionnement d'une valve

$$C_d = \frac{C_v}{d^2}$$

C_d exprime la capacité relative d'une valve, car C_v dépend de la grosseur de la conduite.

d : grosseur de la vanne (diamètre)

— Representative values of valve capacity factors

C_d

Valve Type	Trim Type	Flow Direction*	x_T	F_L	F_s	F_d^{**}	C_d	
GLOBE	Single port	Ported plug	Either	0.75	0.9	1.0	1.0	9.5
		Contoured plug	Open	0.72	0.9	1.1	1.0	11
			Close	0.55	0.8	1.1	1.0	11
		Characterized cage	Open	0.75	0.9	1.1	1.0	14
	Close		0.70	0.85	1.1	1.0	16	
		Wing guided	Either	0.75	0.9	1.1	1.0	11
	Double port	Ported plug	Either	0.75	0.9	0.84	0.7	12.5
		Contoured plug	Either	0.70	0.85	0.85	0.7	13
		Wing guided	Either	0.75	0.9	0.84	0.7	14
	Rotary	Eccentric spherical plug	Open	0.61	0.85	1.1	1.0	12
Close			0.40	0.68	1.2	1.0	13.5	
ANGLE	Contoured plug	Open	0.72	0.9	1.1	1.0	17	
		Close	0.65	0.8	1.1	1.0	20	
		Characterized cage	Open	0.65	0.85	1.1	1.0	12
	Close		0.60	0.8	1.1	1.0	12	
		Venturi	Close	0.20	0.5	1.3	1.0	22
	BALL	Segmented	Open	0.25	0.6	1.2	1.0	25
Standard port (diameter @ 0.8d)		Either	0.15	0.55	1.3	1.0	30	
BUTTERFLY	60-Degree aligned	Either	0.38	0.68	0.95	0.7	17.5	
	Fluted vane	Either	0.41	0.7	0.93	0.7	25	
	90-Degree offset seat	Either	0.35	0.60	0.98	0.7	29	

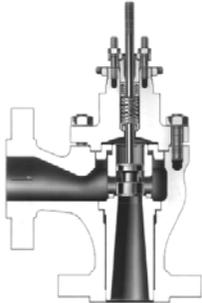
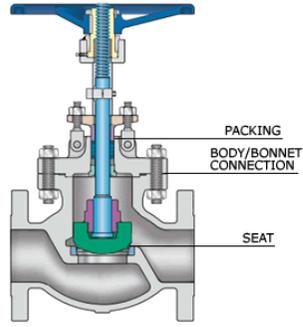
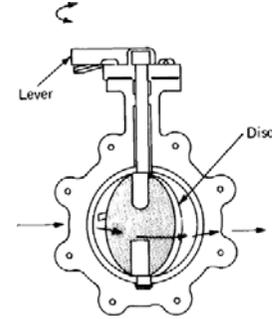
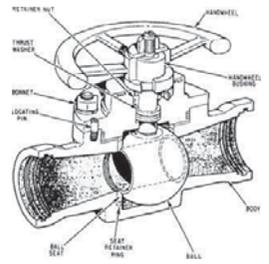


Figure 4.13 Venturi seat ring design. (Courtesy of Fisher Controls International, Inc.)



Vannes de régulation

Exemple de dimensionnement d'une valve

- Liquide: eau
- Débit maximal: 1600 GPM
- Conduite: 8 po.
- Pression en amont : 42.6 psi (1 psi = 6,9 kPa)
- Pression en aval : 34,7 psi

Question:

Supposons que l'on choisisse une valve papillon de 60°, quelle devrait être la grosseur de la valve ?

Vannes de régulation

Exemple de dimensionnement d'une valve

Étape 1: Calculer le produit C_v requis

- Pour une valve papillon de 60°
 - Le coefficient $C_d = 17$. Dépend du type de la valve et conduite

$$C_d = \frac{C_v}{d^2}$$

C_d exprime la capacité relative d'une valve, car C_v dépend de la grosseur de la conduite.

d : diamètre de la vanne

$$Q(GPM) = \square C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

$$1600 = \square C_v \sqrt{(42.6 - 34.7)/1.0}$$

$$\square C_v = 569 \quad (\text{valeur requise})$$

Vannes de régulation

Exemple de dimensionnement d'une valve

Étape 2: Évaluer le diamètre requis de l'orifice de la valve

- alors :

$$d = \sqrt{\frac{C_v}{C_d}} = \sqrt{\frac{569}{17}} = 5.79 \text{ } \textit{pouces}$$

- Choisir une valve de 6 pouces (>5.79)
 - Dont le C_v serait 612 (soit $6^2 \times 17$)