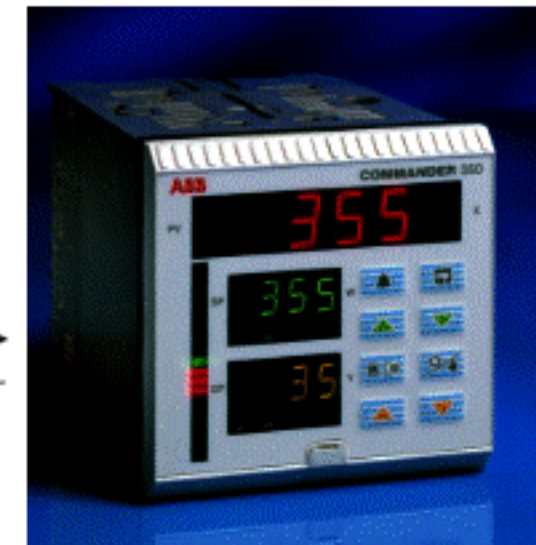
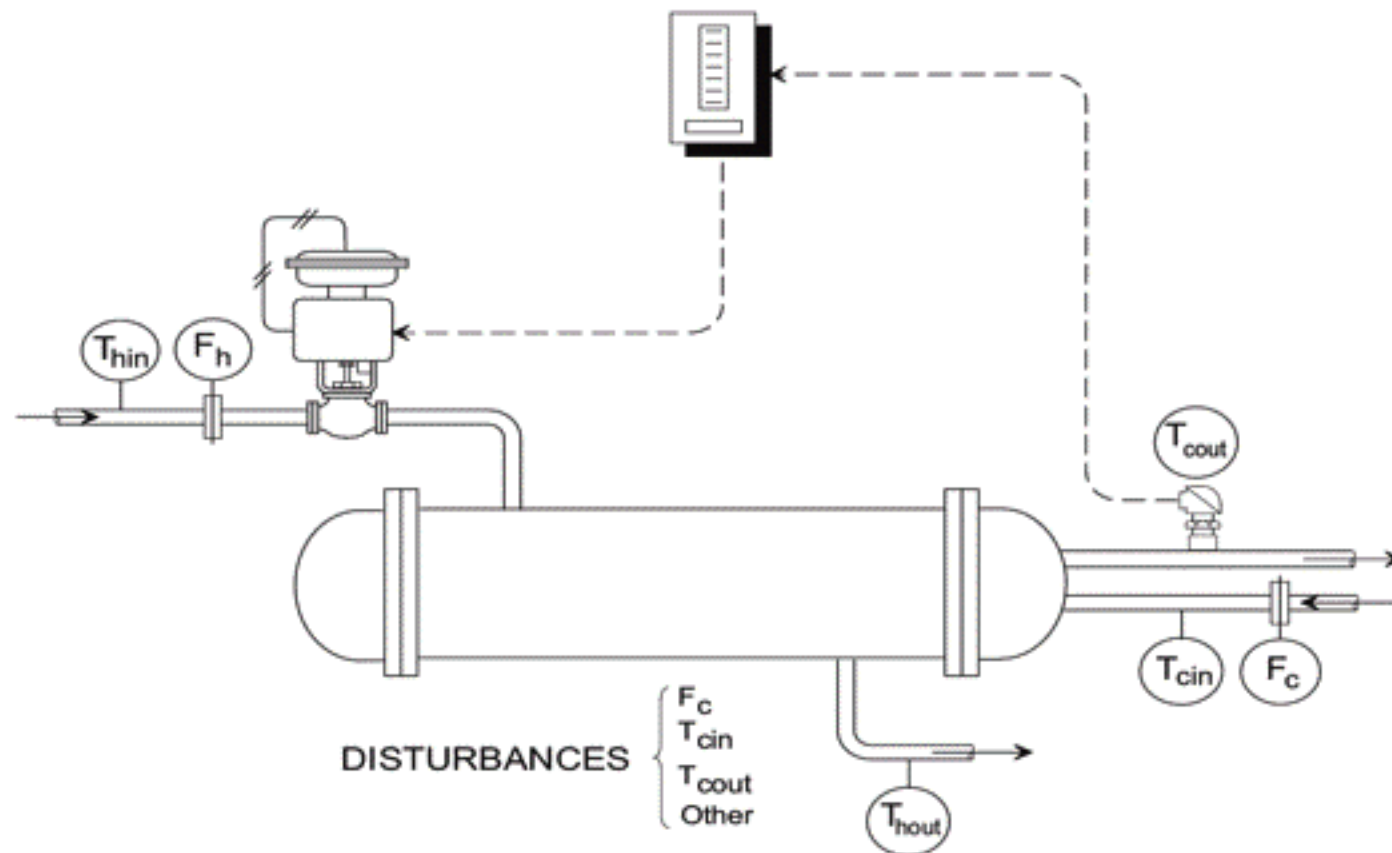


CHAPITRE 2

Les schémas de tuyauterie et d'instrumentation



Schémas de tuyauterie et d'instrumentation

Définition

Un schéma Tuyauterie et Instrumentation (en anglais Piping and instrumentation diagram ou Process and instrumentation diagram, abrégé P&ID) est un diagramme qui définit tous les éléments d'un procédé. Les installations ainsi que les vannes et les éléments de contrôle sont décrits par des symboles.

Les instruments sont indiqués par un **cercle** dans lequel on trouve les renseignements sur le **type de capteurs** ainsi qu'un **numéro** d'identification.

Le TI fait apparaître toutes les boucles de régulation en précisant le détail des instruments et des liaisons de régulation.

Normes

ISA (Instrument society of America)

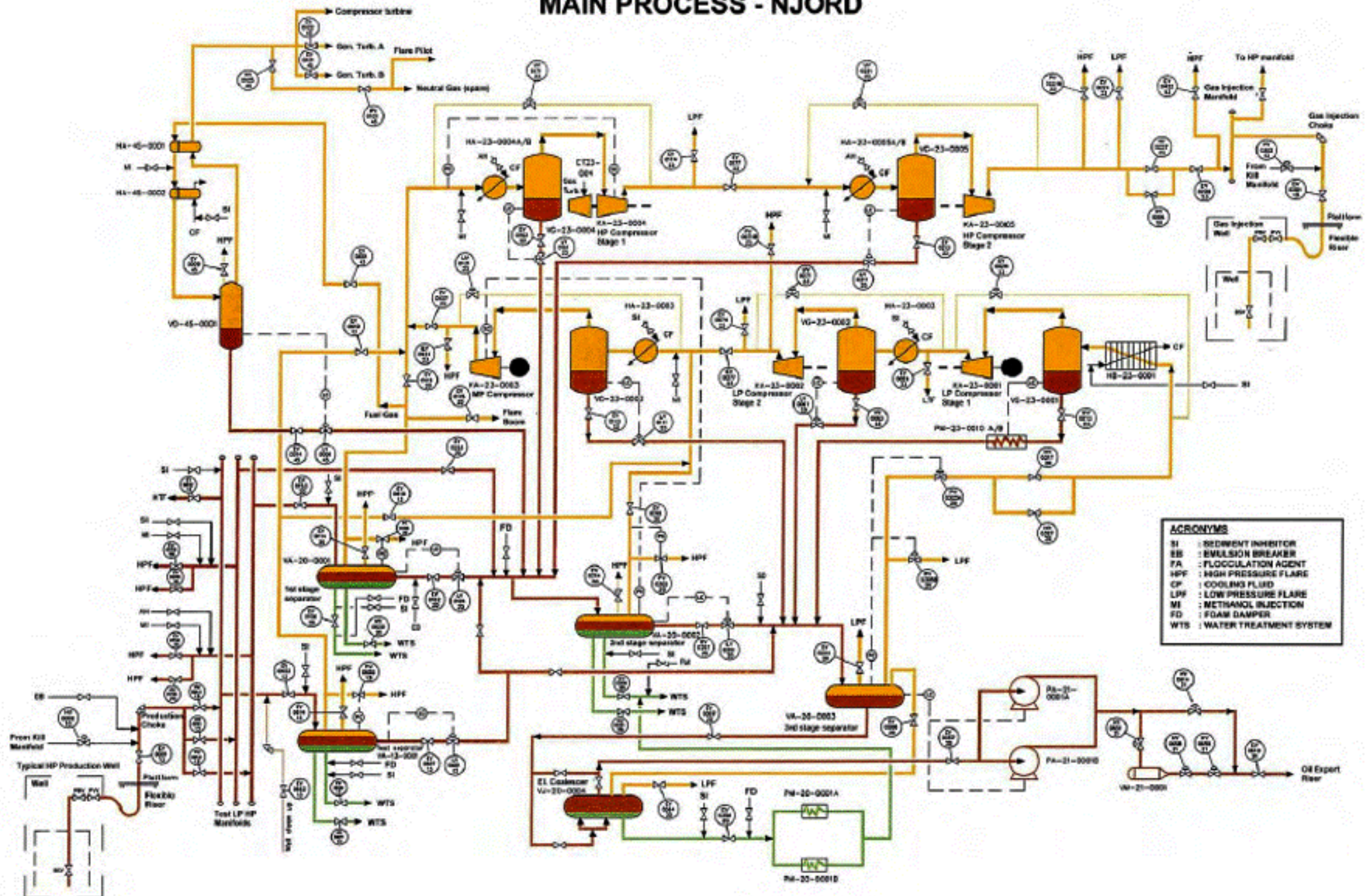
- ISA 5.1
 - Instrumentation symbols and identification
 - Nomenclature de repérage
- ISA 5.2
 - Binary Logic Diagrams For Process Operations
- ISA 5.3
 - Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic, and Computer Systems
 - Schémas de principes en instrumentation
- ISA 5.4
 - Instrument Loop Diagrams

- ISA 5.5
 - Graphic Symbols for Process Displays
- ANSI/ISA 5.06.01
 - Functional Requirements Documentation for Control Software Applications
- ISA 20
 - Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves

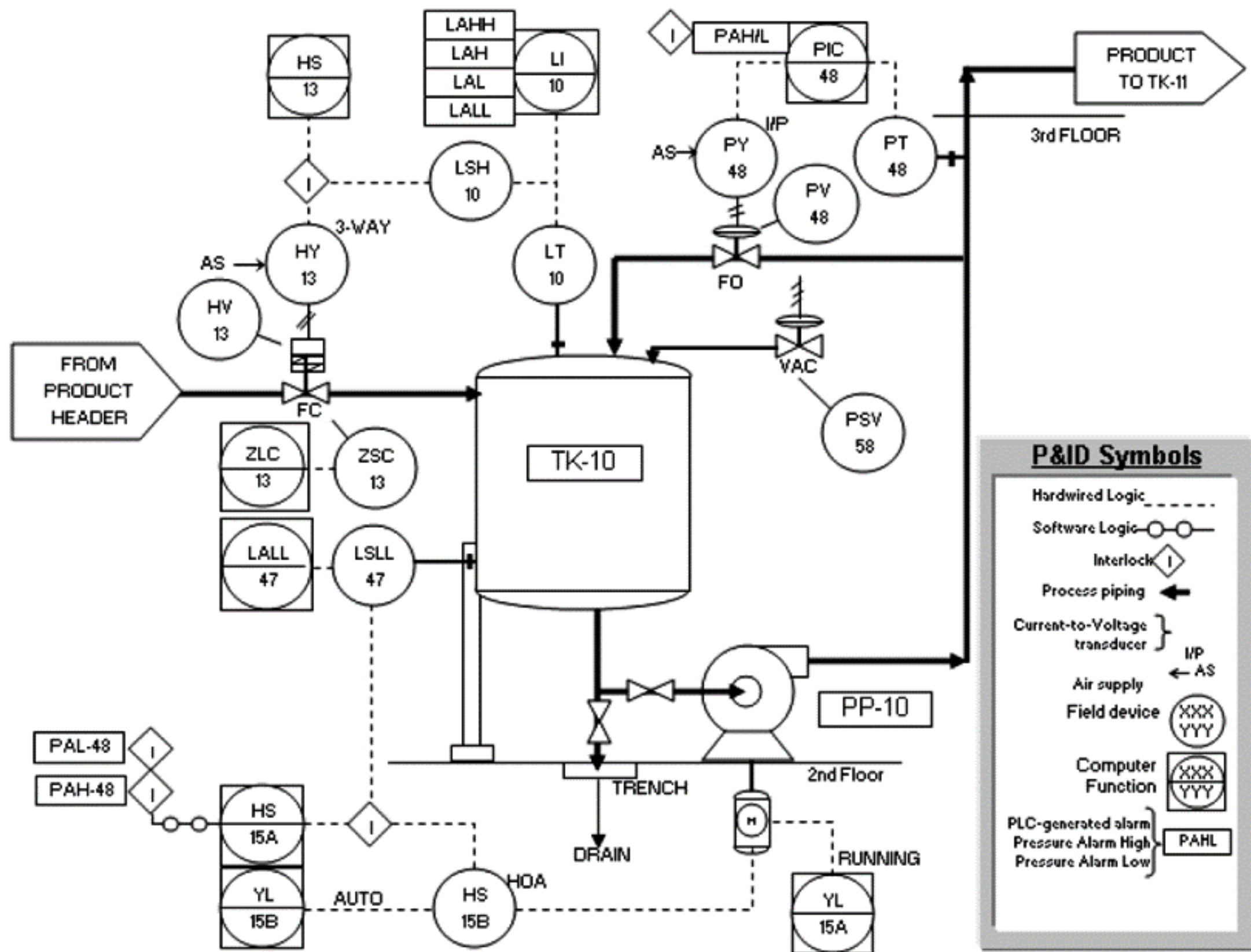
(P&ID : Piping and Instrumentation Diagram)

Schémas de tuyauterie et d'instrumentation

MAIN PROCESS - NJORD



Schémas de tuyauterie et d'instrumentation



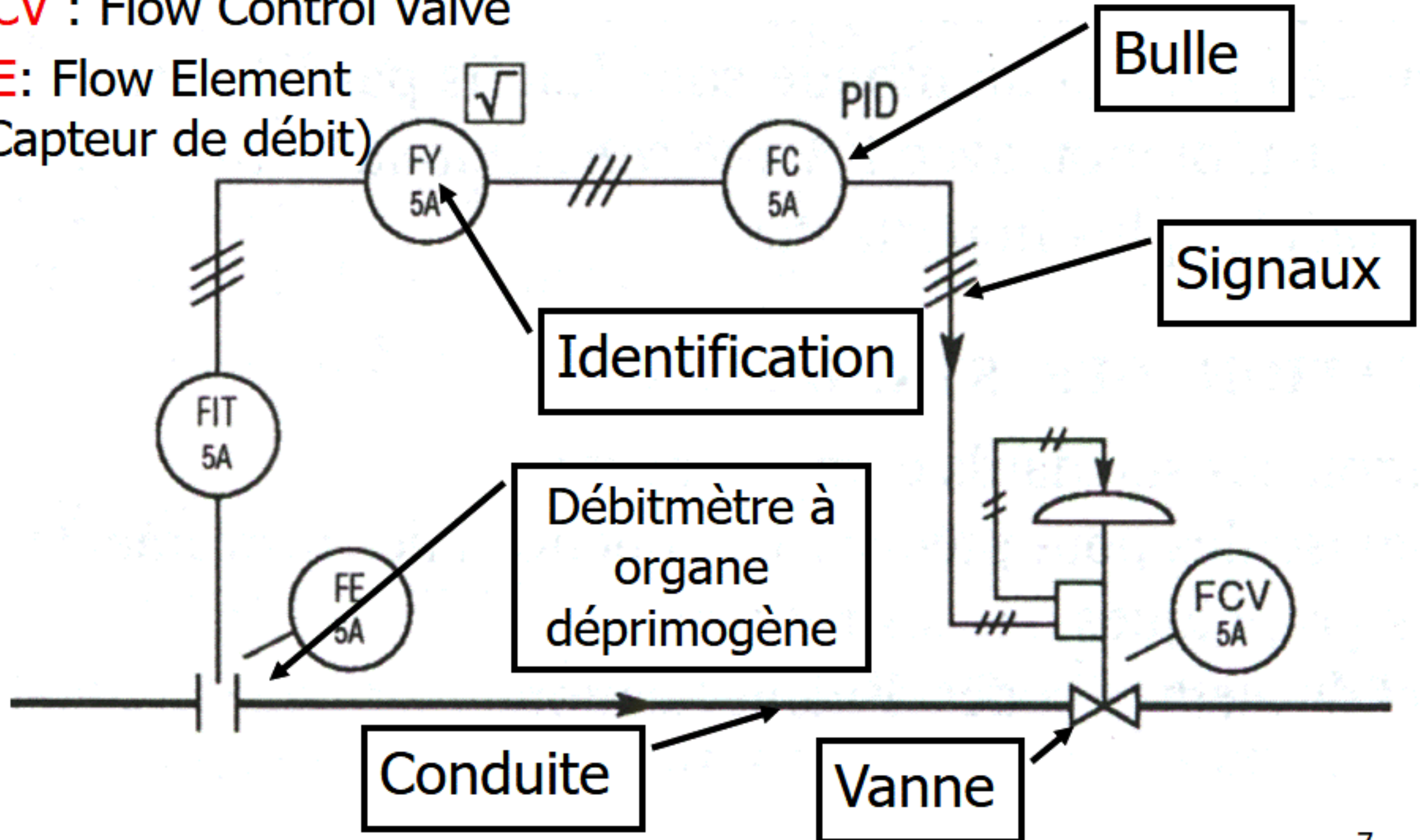
Éléments de base d'un schéma

FIT : Flow Indicating Transmitter

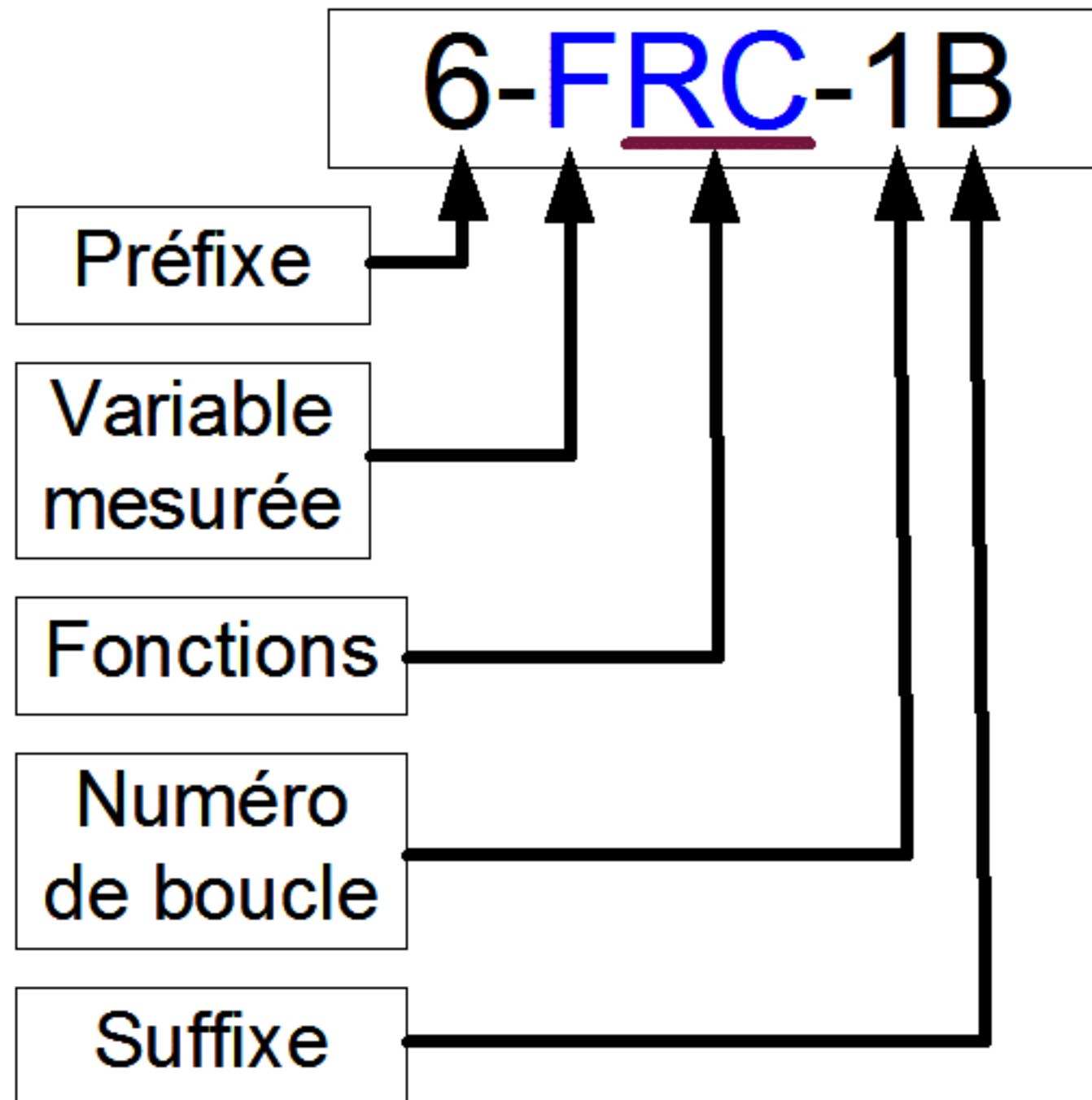
FC : Flow Controller

FCV : Flow Control Valve

FE: Flow Element
(Capteur de débit)



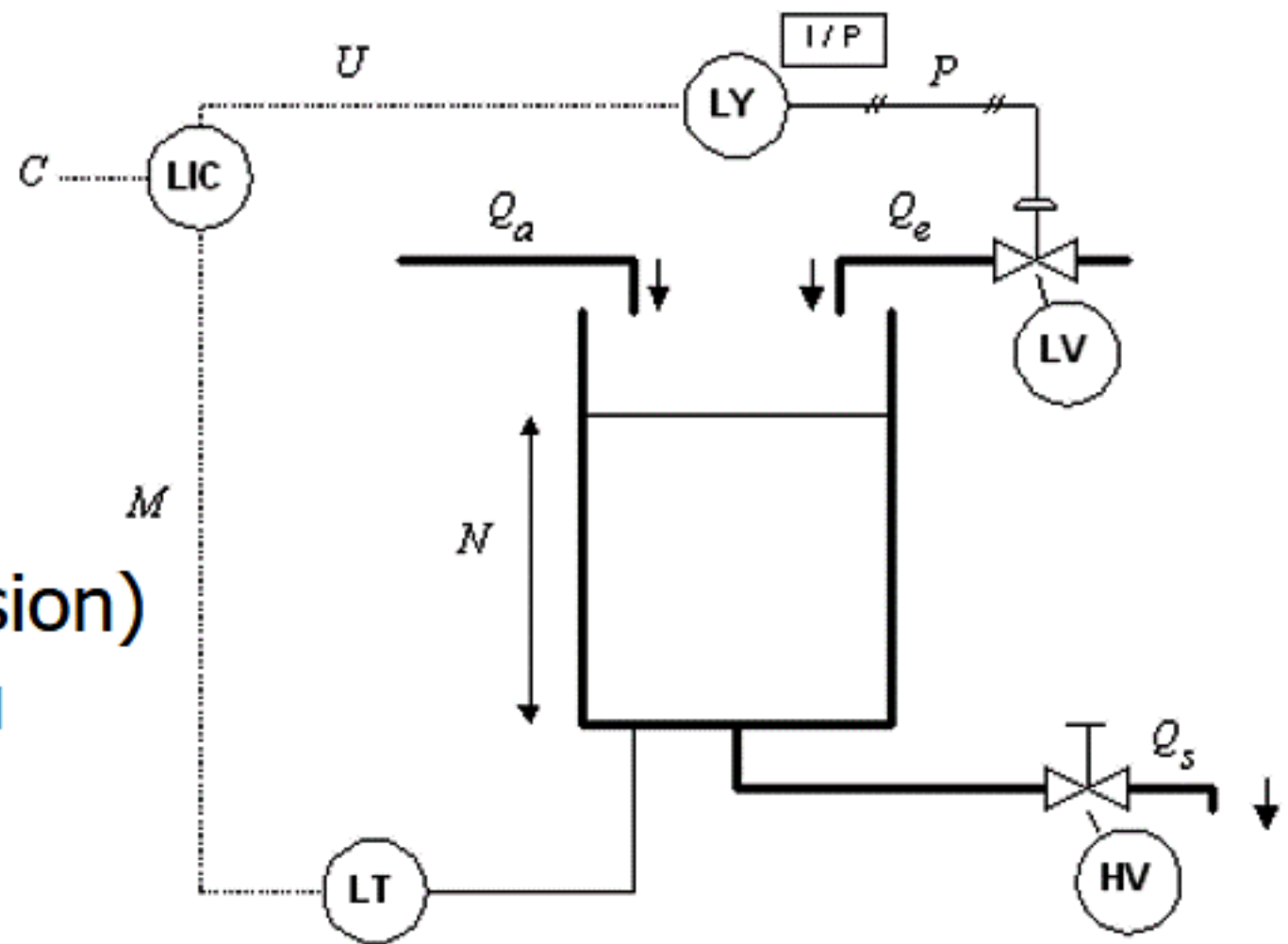
Identification des instruments



Exemple de schéma TI :

Régulation de niveau d'un réservoir d'une installation de dilution de sirop : le but est de maintenir le niveau H constant dans le réservoir pour assurer un débit de sortie constant Q_s réglé par l'ouverture d'une vanne manuelle, le débit de produit recyclé Q_a n'étant pas constant.

LT: transmetteur de niveau
LIC: régulateur indicateur de niveau
LY: convertisseur de niveau (tension/courant/pression)
LV: vanne réglante de niveau
HV: vanne manuelle



Représentation de la norme ISA

La norme de présentation des procédés ISA (Instrument society of America) a été développée par un organisme des Etats Unis.

Le but de cette norme est de représenter les **différents éléments** et les interconnexions requis pour un procédé de régulation industriel. La définition d'élément regroupe ici tout ce qui est inclus dans la boucle de régulation:

- le capteur,
- le régulateur,
- l'actionneur,
- l'enregistreur,
- le type d'interconnexion.

En instrumentation, la norme ISA comprend:

- Des **lettres majuscules** pour préciser les fonctions de chacun des instruments;
- Des **symboles graphiques** représentant les instruments;
- Des **chiffres et des lettres** codés pour l'identification des instruments.

Concrètement, chacun des symboles se compose:

- D'une **étiquette** alphanumérique qui désigne la variable commandée et les fonctions de l'appareil;
- D'une **représentation graphique** de l'appareil;
- De **liens** avec les autres éléments du système de régulation.

Première lettre

LETTRES DE PREMIÈRE POSITION (1)		
LETTRES	VARIABLE MESURÉE OU DE COMMANDE	MODIFICATION
A	Analytique (3)	
B	Brûleur	
C	Choix de l'utilisateur (4)	
D	Choix de l'utilisateur (4)	
E	Tension électrique	
F	Débit (flow)	Rapport (fraction) (6)
G	Choix de l'utilisateur (4)	
H	Manuelle (hand)	
I	Intensité de courant électrique	
J	Énergie	Scrutation (9)
K	Temps ou chrono	Vitesse de variation (6)
L	Niveau (level)	
M	Choix de l'utilisateur (4)	Momentané (6)
N	Choix de l'utilisateur (4)	
O	Choix de l'utilisateur (4)	
P	Pression ou dépression	
Q	Quantité	Intégration Totalisation (6)
R	Radiation	
S	Vitesse (speed) fréquence	Sécurité (10)
T	Température (temperature)	
U	Multivariable (7)	
V	Vibration, analyse mécanique	
W	Poids (weight) Force	
X	Non classé (5)	Axe des X
Y	État ou présence, événement (14)	Axe des Y
Z	Position, dimension	Axe des Z

1ères lettres de l'identification

- **Variable mesurée ou de commande:**
 - **F** : Flow (Débit)
 - **T** : Temperature (Température)
 - **P** : Pressure (Pression)
 - **L** : Level (Niveau)
 - Etc...
- **Modificateur:**
 - **F** : Fraction (Rapport)

Lettres suivantes

LETTRES DE POSITIONS SUIVANTES (2)			
LETTRES	FONCTION PASSIVE OU INDICATION	FONCTION DE SORTIE	MODIFICATION
A	Alarme		
B	Choix de l'utilisateur (4)	Choix de l'utilisateur (4)	Choix de l'utilisateur (4)
C		Régulation (control)	
D			
E	Capteur, élément primaire		
F			
G	Verre (glass)		
H			Haut (9)
I	Indicateur		
J			
K		Station de contrôle (13)	
L	Lumière (11)		Bas (9)
M			Intermédiaire, au milieu (9)
N	Choix de l'utilisateur (4)	Choix de l'utilisateur (4)	Choix de l'utilisateur (4)
O	Orifice restriction		
P	Point de test		
Q			
R	Enregistreur (recorder) (12)		
S		Contacteur, relais (switch)	
T		Transmetteur	
U	Multifonctions (8)	Multifonction (8)	Multifonction (8)
V		Vanne, volet, registre (valve)	
W	Puits (wells)		
X	Non classé (5)	Non classé (5)	Non classé (5)
Y		Relais convertisseur (14)	
Z		Élément final non classé, actionneur, commande	

Lettres subséquentes

- **Fonction passive ou indication:**
 - A : Alarm (Alarme);
 - R : Recorder (Enregistreur);
- **Fonction de sortie:**
 - C : Control (Régulation);
 - H : High (Haut);

Designations for Instrument Components

Flow

FAL	Flow alarm low
FAH	Flow alarm high
FE	Flow element
FI	Flow indicator
FIC	Flow indicating controller
FIT	Flow indicating transmitter
FS	Flow switch
FT	Flow transmitter
FV	Flow control valve

Level

LAL	Level alarm low
LAH	Level alarm high
LC	Level controller
LCV	Level control valve
	self-operated
LE	Level element
LG	Level glass
LI	Level indicator
LIT	Level indicating transmitter
LR	Level recorder
LS	Level switch
LT	Level transmitter
LV	Level control valve
LY	Level interlock solenoid valve, relay or converter

Pressure or Vacuum

PAL	Pressure alarm low
PAH	Pressure alarm high
PC	Pressure controller
PCV	Pressure control valve, self-operated
PDI	Pressure differential indicator
PE	Pressure element
PI	Pressure indicator or manometer
PIT	Pressure indicating transmitter
PSV	Pressure safety relief valve

PSE	Rupture disc, vacuum breaker or emergency vent valve
PT	Pressure transmitter
PV	Pressure control valve

Temperature

TAL	Temperature alarm low
TC	Temperature controller
TE	Temperature element, thermocouple, resistance bulb, or thermopile
TI	Temperature indicator
TIC	Temperature indicating controller
TIS	Temperature indicating switch
TIT	Temperature indicating transmitter
TR	Temperature recorder
TS	Temperature switch
TT	Temperature transmitter
TV	Temperature control valve
TW	Temperature well
TY	Temperature interlock solenoid valve, relay or converter

Miscellaneous

BC	Burner controller
HC	Manual (hand) controller
HV	Manual (hand) control valve
II	Current indicator
ZI	Position indicator
A	Analysis
I	Current
J	Power
K	Time, program, or counting
Q	Quantity
WI	Weight indicator

Signaux et connexions

(1) INSTRUMENT SUPPLY *
OR CONNECTION TO PROCESS

Conduites d'alimentation

(2) UNDEFINED SIGNAL

Signal non défini

(3) PNEUMATIC SIGNAL **

Signal pneumatique

(4) ELECTRIC SIGNAL

Signal électrique

(5) HYDRAULIC SIGNAL

Signal hydraulique

(6) CAPILLARY TUBE

Conduit capillaire

(7) ELECTROMAGNETIC OR SONIC SIGNAL ***
(GUIDED)

**Signal électromagnétique
ou ultrasonique**

(8) ELECTROMAGNETIC OR SONIC SIGNAL ***
(NOT GUIDED)

Liaison informatisée

(9) INTERNAL SYSTEM LINK
(SOFTWARE OR DATA LINK)

(Transfert de donnée)

(10) MECHANICAL LINK

Liaison mécanique

Conduite des fluides

(11) PNEUMATIC BINARY SIGNAL

(12) ELECTRIC BINARY SIGNAL

____/____/____

____//____//____

____- - - - - OR ____///____///____

____└____└____

____X____X____

____~____~____

____~____~____

____○____○____

____●____●____

____X____X____

____- - - - - OR ____///____///____

* The following abbreviations are suggested to denote the types of power supply. These designations may also be applied to purge fluid supplies.

AS - Air Supply
IA - Instrument Air
PA - Plant Air
ES - Electric Supply
GS - Gas Supply

} Options

HS - Hydraulic Supply
NS - Nitrogen Supply
SS - Steam Supply
WS - Water Supply

** The pneumatic signal symbol applies to a signal using any gas as the signal medium. If a gas other than air is used, the gas may be identified by a note on the signal symbol or otherwise.

*** Electromagnetic phenomena include heat, radio waves, nuclear radiation, and light.

Description des instruments de mesure

Dans un schéma tuyauterie et instrumentation, les instruments de mesures sont indiqués ainsi que leurs caractéristiques. On trouve 3 types de capteurs :
 - les indicateurs; - les enregistreurs; - les éléments de contrôle

	Propriété mesurée	Indication	Enregistre ment Contrôle	Contrôle Régulation	Affichage et Contrôle
<u>Débit</u> (<i>Flow rate</i>)	F	FI	FR	FC	FIC
<u>Niveau</u> (<i>Level</i>)	L	LI	LR	LC	LIC
<u>Pression</u> (<i>Pressure</i>)	P	PI	PR	PC	PIC
Analyse qualitative (<i>Quality</i>)	Q	QI	QR	QC	QIC
<u>Radiation</u> (<i>Radiation</i>)	R	RI	RR	RC	RIC
<u>Température</u> (<i>Temperature</i>)	T	TI	TR	TC	TIC
<u>Poids</u> (<i>Weight</i>)	W	WI	WR	WC	WIC
Autre propriété, à spécifier dans une note	X	XI	XR	XC	XIC

Les bulles

Instrument sur terrain

Instrument sur tableau auxiliaire




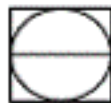
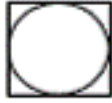
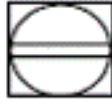



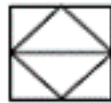


Instrument sur tableau en salle de contrôle principale (accessible à l'opérateur)

Une pièce d'équipement indépendante, comme un contrôleur ou un enregistreur

Instruments partagés:
Affichage Vidéo et commandes en salle de contrôle

Calculateur de
Commande/supervision

Commande logique
et séquentielle
(API)

	PRIMARY LOCATION ***NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR	FIELD MOUNTED	AUXILIARY LOCATION ***NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR
DISCRETE INSTRUMENTS	1 *  IP1**	2 	3 
SHARED DISPLAY, SHARED CONTROL	4 	5 	6 
COMPUTER FUNCTION	7 	8 	9 
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL	10 	11 	12 

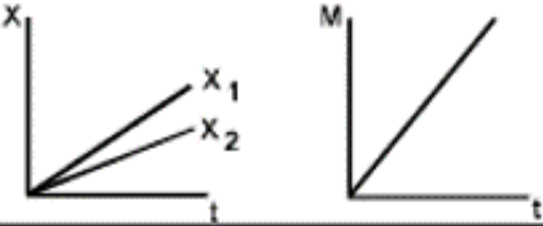
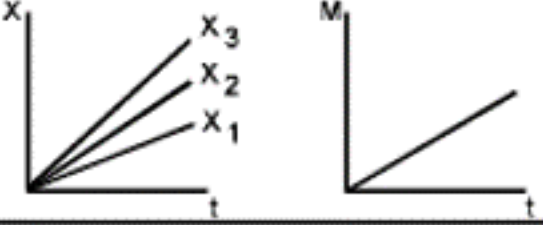
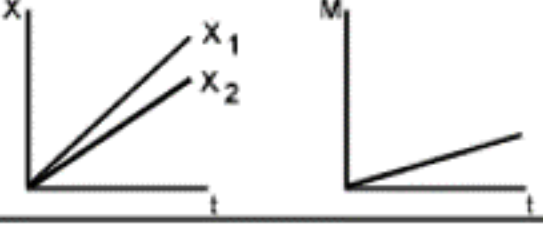
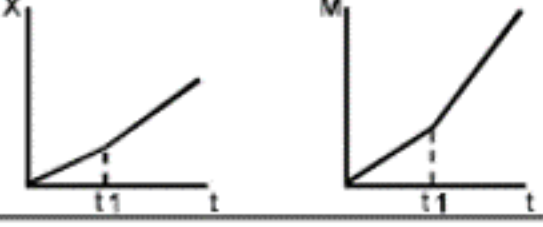

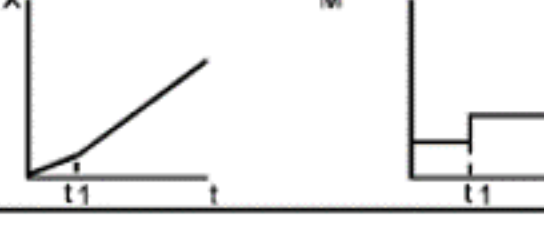
* Symbol size may vary according to the user's needs and the type of document. A suggested square and circle size for large diagrams is shown above. Consistency is recommended.

** Abbreviations of the user's choice such as IP1 (Instrument Panel #1), IC2 (Instrument Console #2), CC3 (Computer Console #3), etc., may be used when it is necessary to specify instrument or function location.

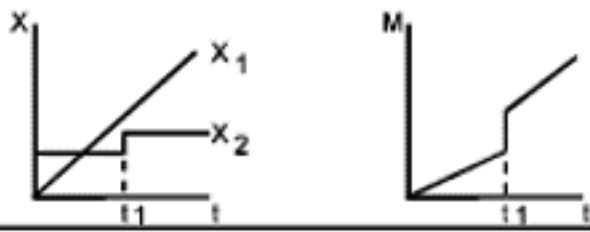
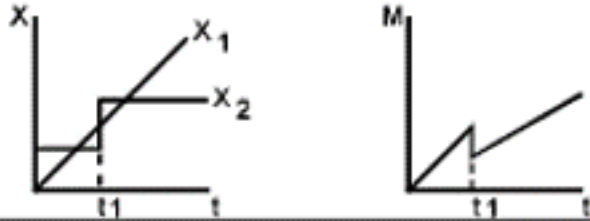
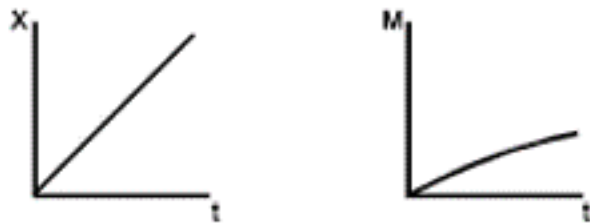
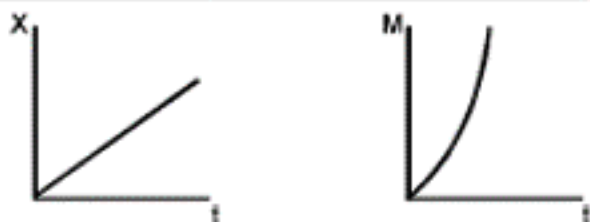
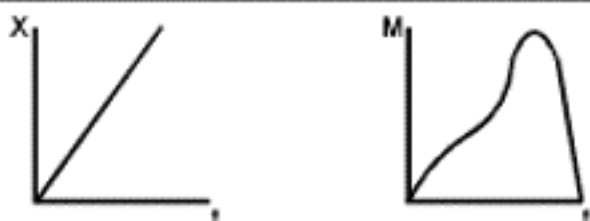
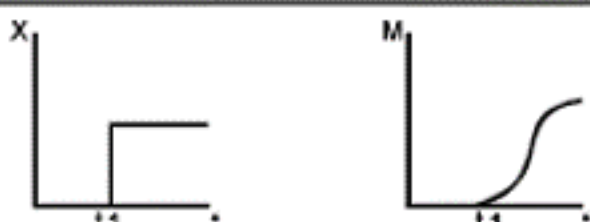
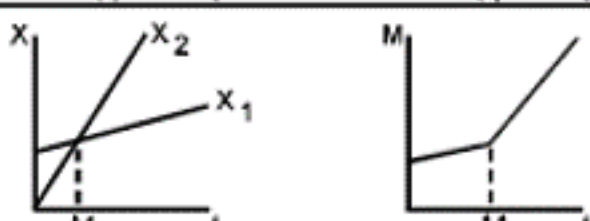
*** Normally inaccessible or behind-the-panel devices or functions may be depicted by using the same symbol but with dashed horizontal bars, i.e.




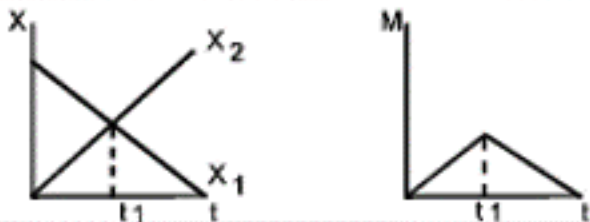

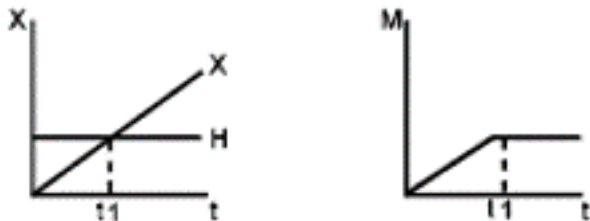

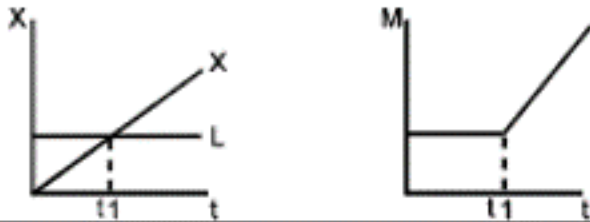

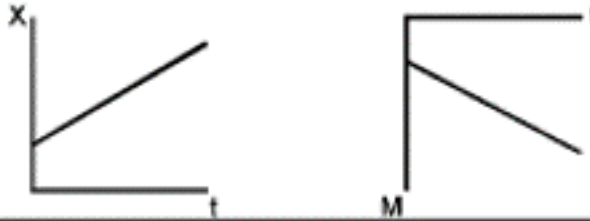

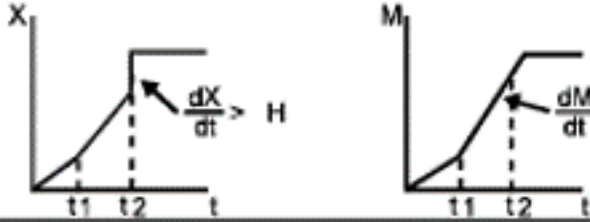

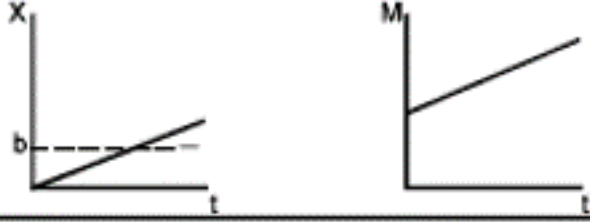

Fonctions des équipements ayant la fonction Y

NO	FUNCTION	SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION	DEFINITION
1	SUMMING	Σ	$M = X_1 + X_2 + \dots + X_n$		THE OUTPUT EQUALS THE ALGEBRAIC SUM OF THE INPUTS. (THE INPUTS MAY BE LABELED WITH POSITIVE OR NEGATIVE SIGNS).
2	AVERAGING	Σ/n	$M = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$		THE OUTPUT EQUALS THE ALGEBRAIC SUM OF THE INPUTS DIVIDED BY THE NUMBER OF INPUTS.
3	DIFFERENCE	Δ	$M = X_1 - X_2$		THE OUTPUT EQUALS THE ALGEBRAIC DIFFERENCE OF THE TWO INPUTS.
4	PROPORTIONAL	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">K</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">1:1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2:1</div>	$M = KX$		THE OUTPUT IS DIRECTLY PROPORTIONAL TO THE INPUT. IN THE CASE OF A VOLUME BOOSTER, "K" MAY BE REPLACED BY 1:1 FOR INTEGER GAINS, 2:1, 3:1, ETC., MAY BE SUBSTITUTED FOR K.
5	INTEGRAL	\int	$M = \frac{1}{T_I} \int X dt$		THE OUTPUT VARIES IN ACCORDANCE WITH BOTH MAGNITUDE AND DURATION OF THE INPUT. THE OUTPUT IS PROPORTIONAL TO THE TIME INTEGRAL OF THE INPUT.
6	DERIVATIVE	d/dt	$M = T_D \frac{dX}{dt}$		THE OUTPUT IS PROPORTIONAL TO THE RATE OF CHANGE (DERIVATIVE) OF THE INPUT.

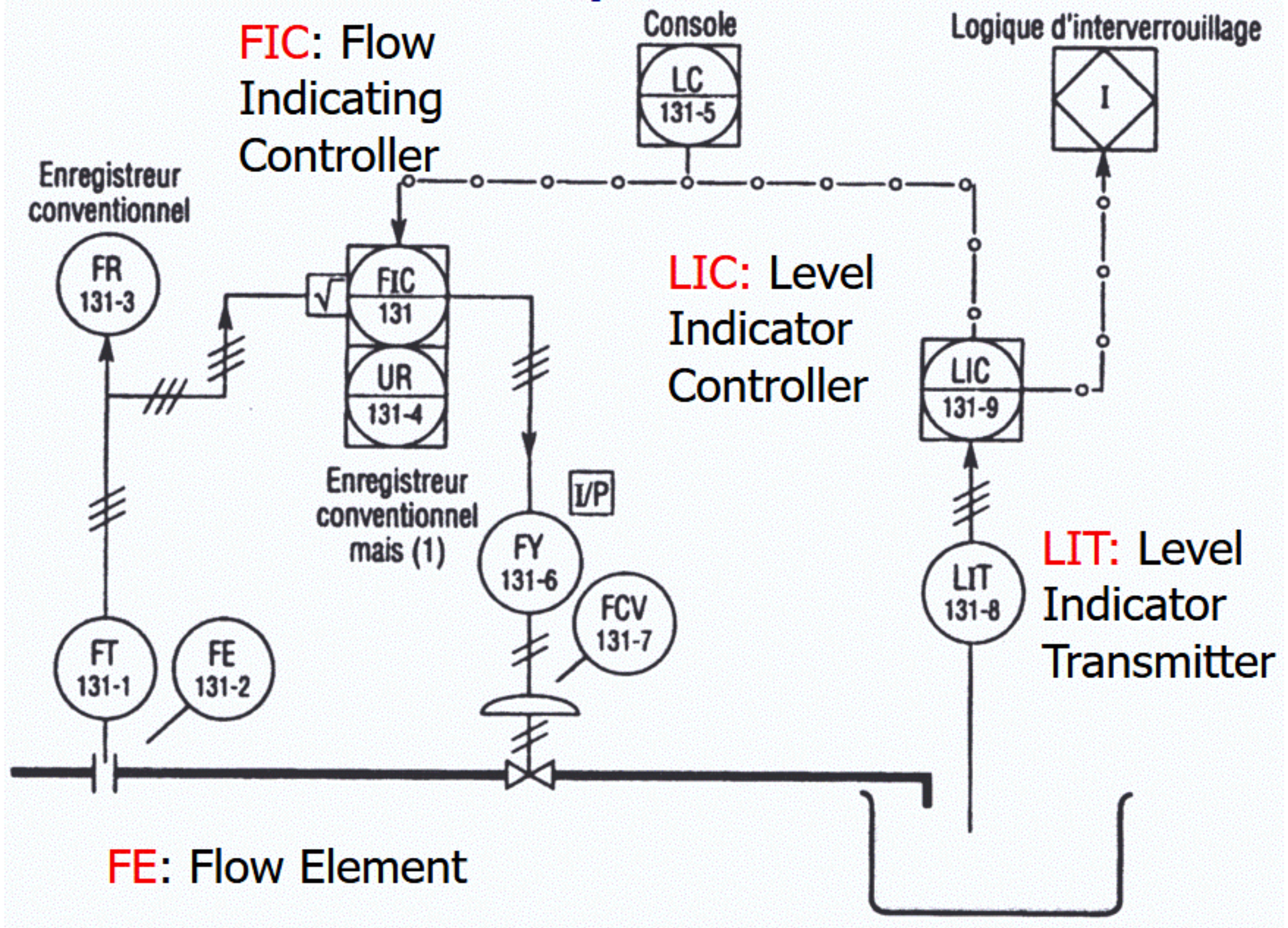
Fonctions des équipements ayant la fonction Y

NO	FUNCTION	SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION	DEFINITION
7	MULTIPLYING	$\boxed{\times}$	$M = X_1 X_2$		THE OUTPUT EQUALS THE PRODUCT OF THE TWO INPUTS.
8	DIVIDING	$\boxed{\div}$	$M = \frac{X_1}{X_2}$		THE OUTPUT EQUALS THE QUOTIENT OF THE TWO INPUTS.
9	ROOT EXTRACTION	$\boxed{\sqrt[n]{\quad}}$	$M = \sqrt[n]{X}$		THE OUTPUT EQUALS THE ROOT (I.E., CUBE ROOT, FOURTH ROOT, 3/2 ROOT, ETC.) OF THE INPUT. IF n IS OMITTED, A SQUARE ROOT IS ASSUMED.
10	EXPONENTIAL	$\boxed{X^n}$	$M = X^n$		THE OUTPUT EQUALS THE INPUT RAISED TO A POWER (I.E., SECOND, THIRD, FOURTH, ETC.).
11	NONLINEAR OR UNSPECIFIED FUNCTION	$\boxed{f(X)}$	$M = f(X)$		THE OUTPUT EQUALS SOME NONLINEAR OR UNSPECIFIED FUNCTION OF THE INPUT.
12	TIME FUNCTION	$\boxed{f(t)}$	$M = X f(t)$ $M = f(t)$		THE OUTPUT EQUALS THE INPUT TIMES SOME FUNCTION OF TIME OR EQUALS SOME FUNCTION OF TIME ALONE.
13	HIGH SELECTING	$\boxed{>}$	$M = \begin{cases} X_1 & \text{FOR } X_1 \geq X_2 \\ X_2 & \text{FOR } X_1 \leq X_2 \end{cases}$		THE OUTPUT IS EQUAL TO THE GREATER OF THE INPUTS.

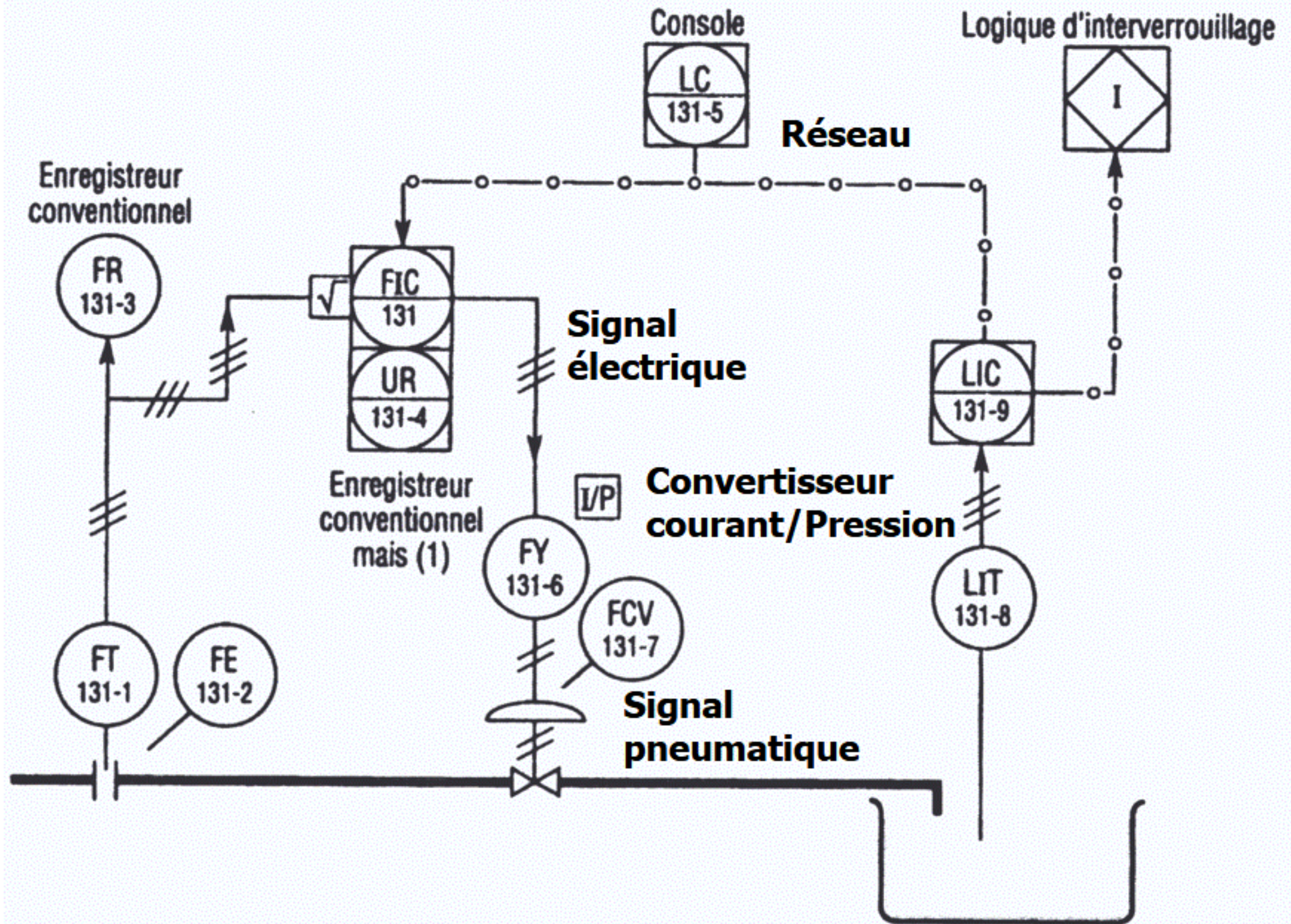
Fonctions des équipements ayant la fonction Y

NO	FUNCTION	SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION	DEFINITION
14	LOW SELECTING		$M = \begin{cases} X_1 & \text{FOR } X_1 \leq X_2 \\ X_2 & \text{FOR } X_1 \geq X_2 \end{cases}$		THE OUTPUT IS EQUAL TO THE LESSER OF THE INPUTS.
15	HIGH LIMITING		$M = \begin{cases} X & \text{FOR } X \leq H \\ H & \text{FOR } X \geq H \end{cases}$		THE OUTPUT EQUALS THE INPUT OR THE HIGH LIMIT VALUE WHICHEVER IS LOWER.
16	LOW LIMITING		$M = \begin{cases} X & \text{FOR } X \geq L \\ L & \text{FOR } X \leq L \end{cases}$		THE OUTPUT EQUALS THE INPUT OR THE LOW LIMIT VALUE WHICHEVER IS HIGHER.
17	REVERSE PROPORTIONAL		$M = -KX$		THE OUTPUT IS REVERSELY PROPORTIONAL TO THE INPUT.
18	VELOCITY LIMITER		$\frac{dM}{dt} = \frac{dX}{dt} \begin{cases} \frac{dX}{dt} \leq H \text{ AND} \\ \frac{dM}{dt} = X \end{cases}$ $\frac{dM}{dt} = H \begin{cases} \frac{dX}{dt} \geq H \text{ OR} \\ \frac{dM}{dt} \neq X \end{cases}$		THE OUTPUT EQUALS THE INPUT AS LONG AS THE RATE OF CHANGE OF THE INPUT DOES NOT EXCEED A LIMIT VALUE. THE OUTPUT WILL CHANGE AT THE RATE ESTABLISHED BY THIS LIMIT UNTIL THE OUTPUT AGAIN EQUALS THE INPUT.
19	BIAS		$M = X \pm b$		THE OUTPUT EQUALS THE INPUT PLUS (OR MINUS) SOME ARBITRARY VALUE (BIAS).
20	CONVERT		OUTPUT = f (INPUT)	NONE	<p>THE FORM OF THE OUTPUT SIGNAL IS DIFFERENT FROM THAT OF THE INPUT.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>* - VOLTAGE I - CURRENT P - PNEUMATIC A - ANALOG B - BINARY</p> </div> <div> <p>* - HYDRAULIC O - ELECTROMAGNETIC, SONIC R - RESISTANCE (ELECT.) D - DIGITAL</p> </div> </div>

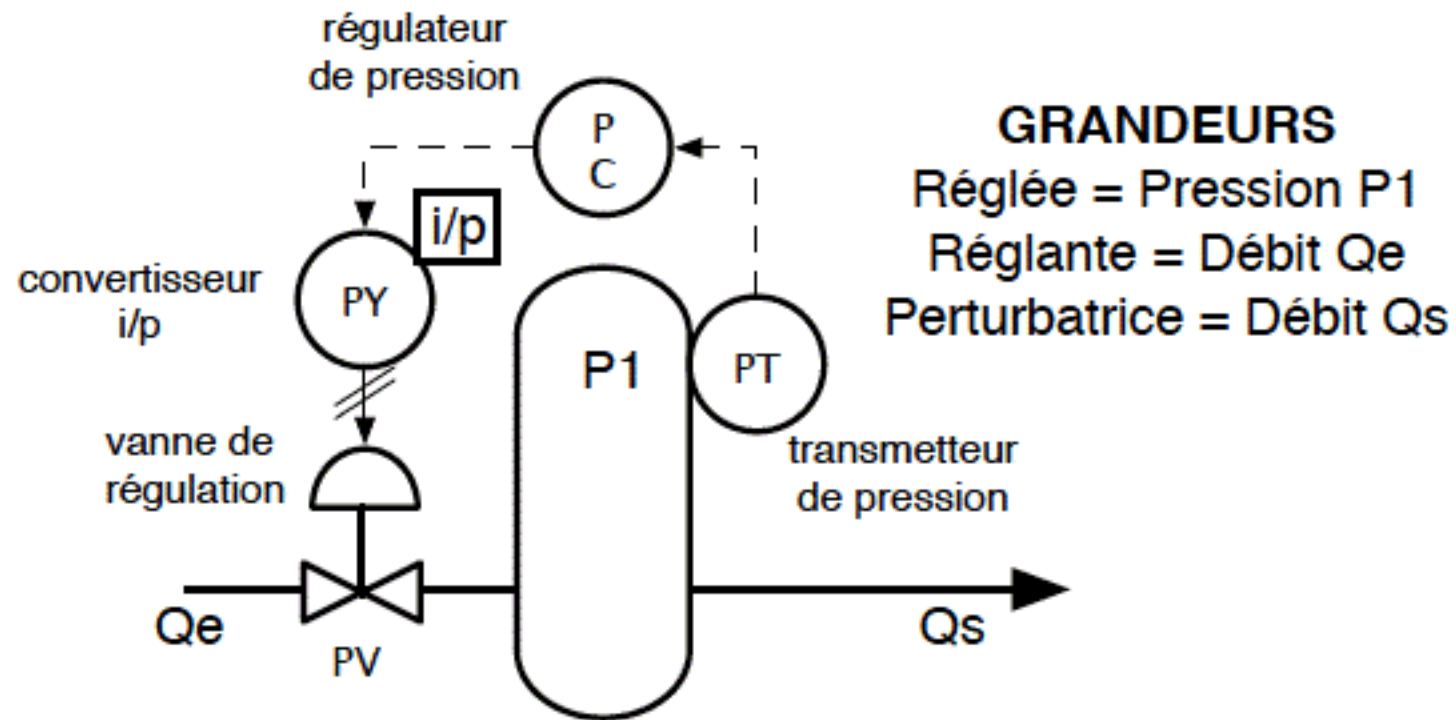
Exemple



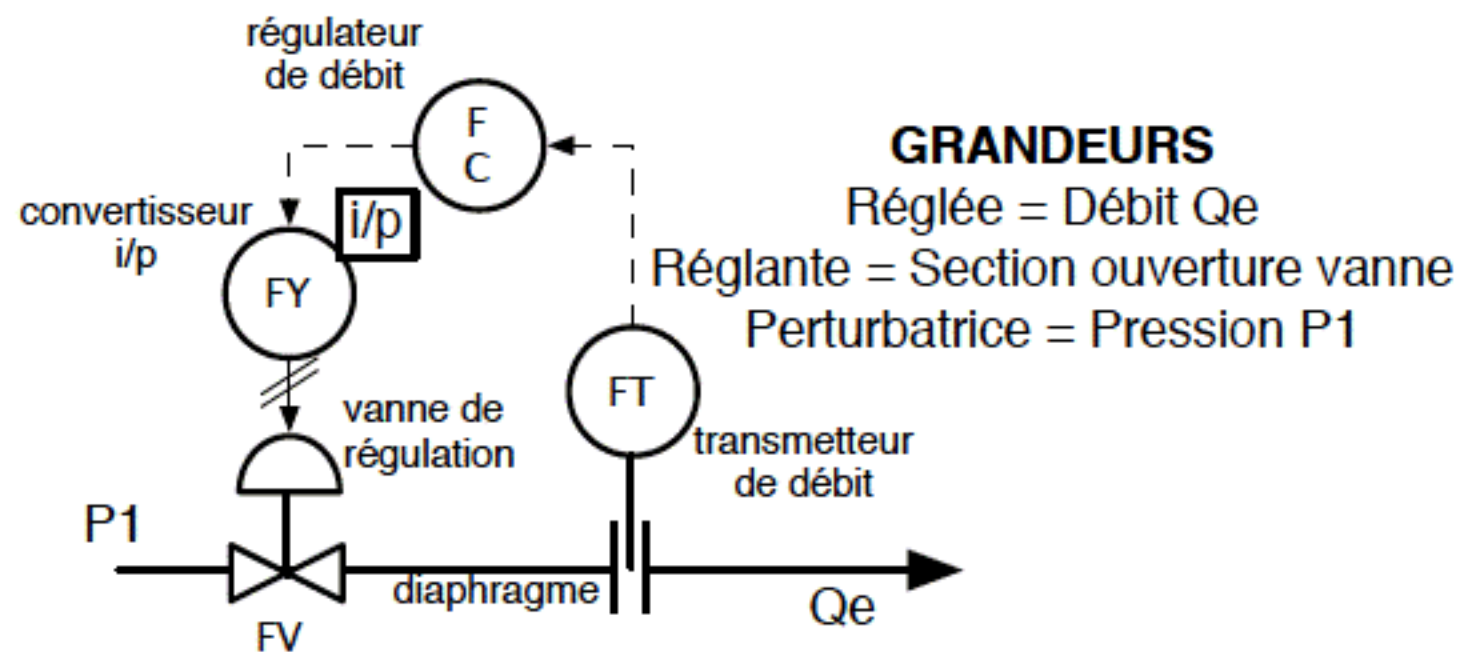
Exemple



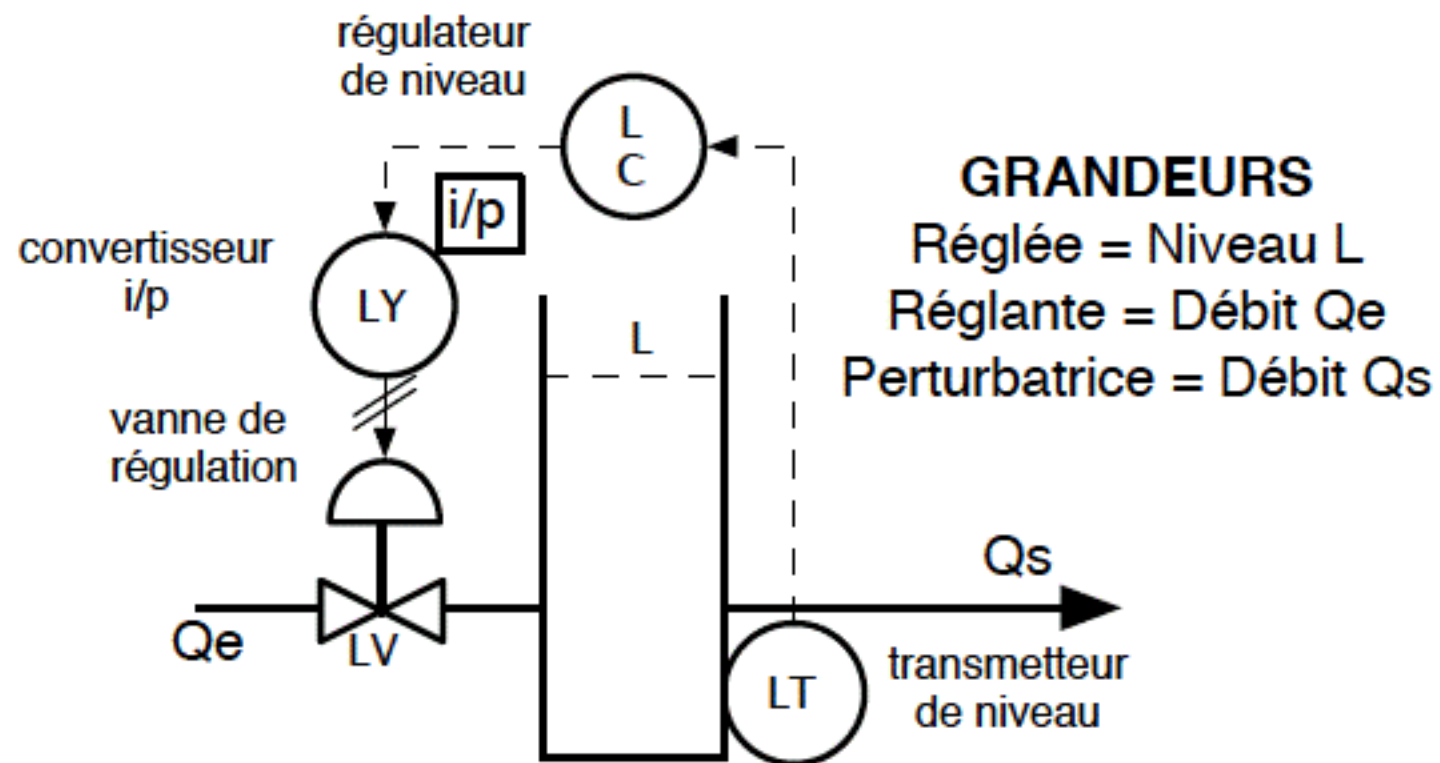
Régulation de pression



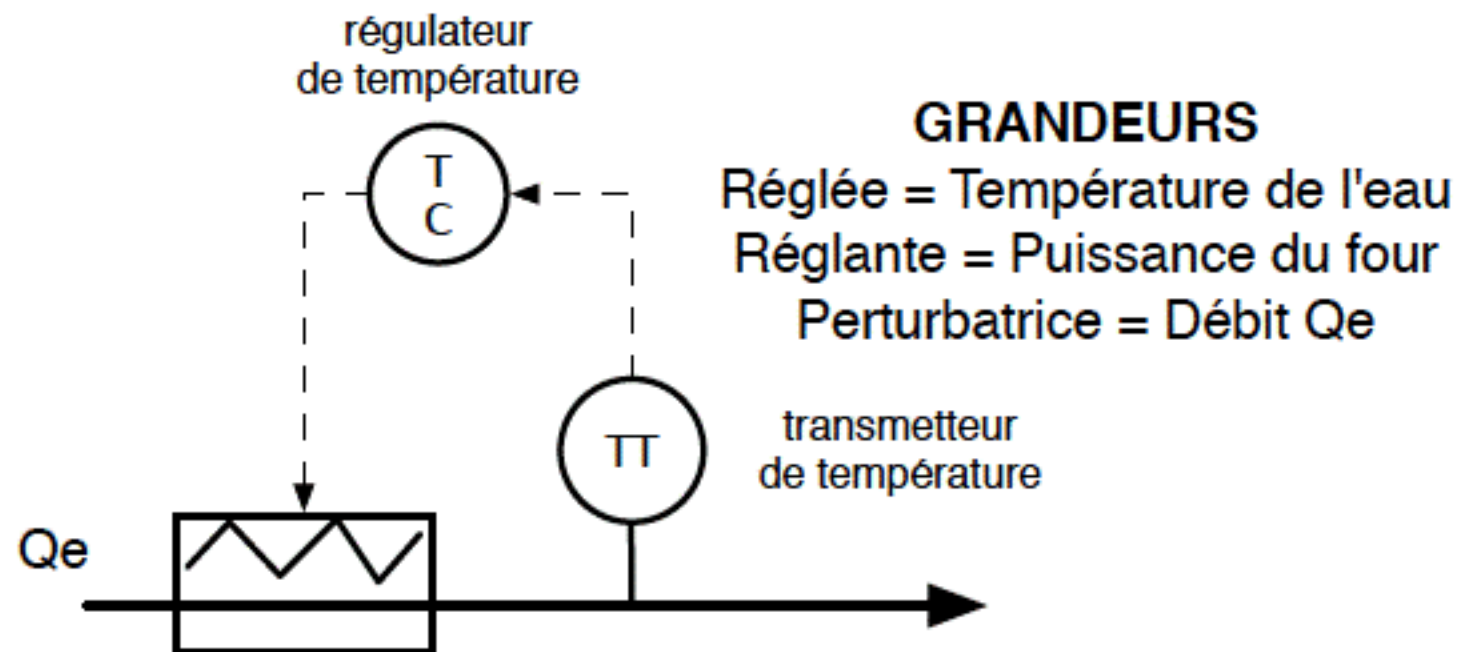
Régulation de débit



Régulation de niveau



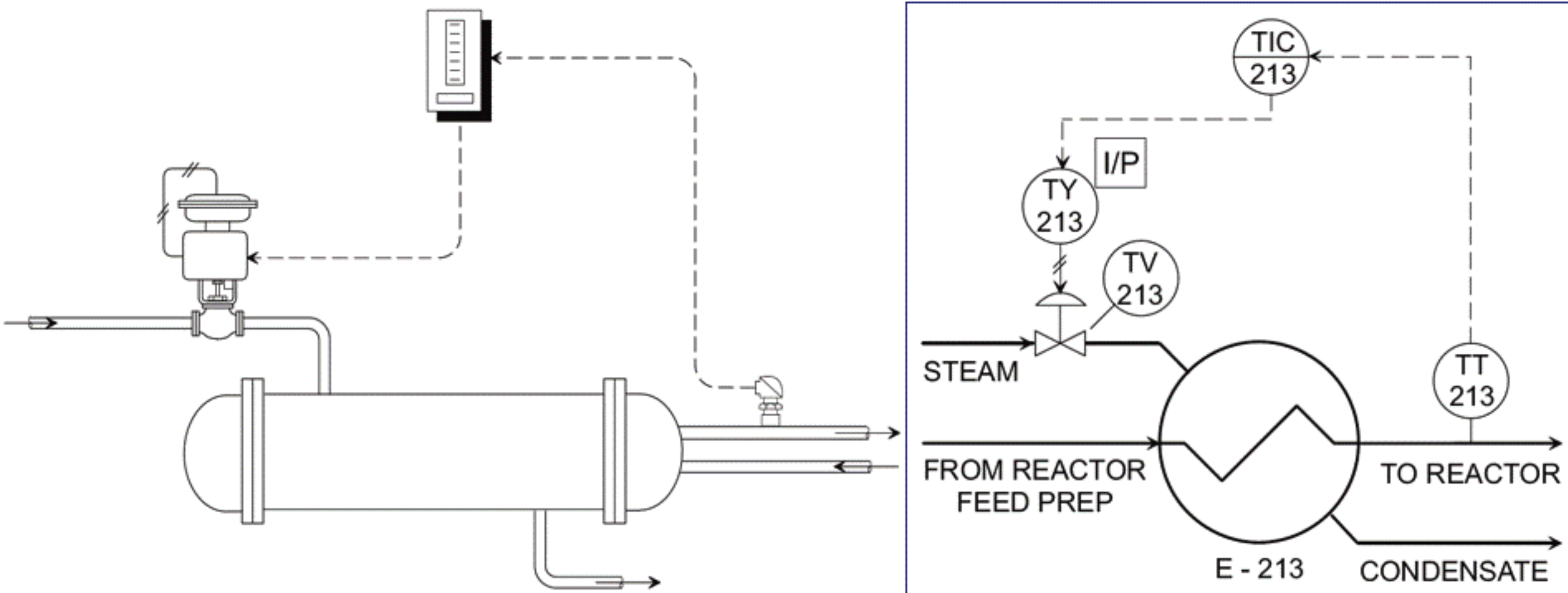
Régulation de température



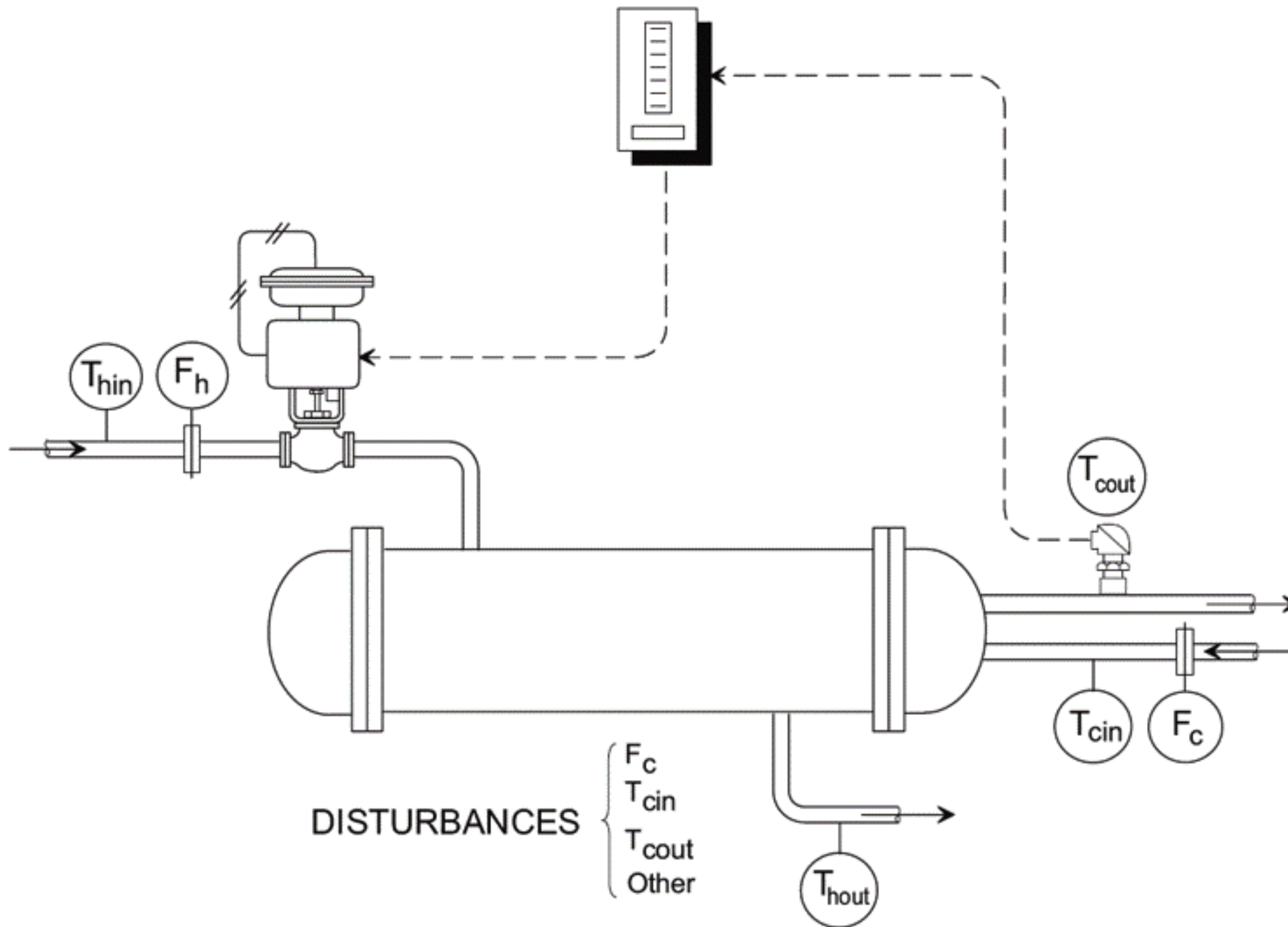
Schémas d'instrumentation et approches de commande

Commande avec contre-réaction (Feedback)

- Commande de température en sortie d'un échangeur de chaleur.

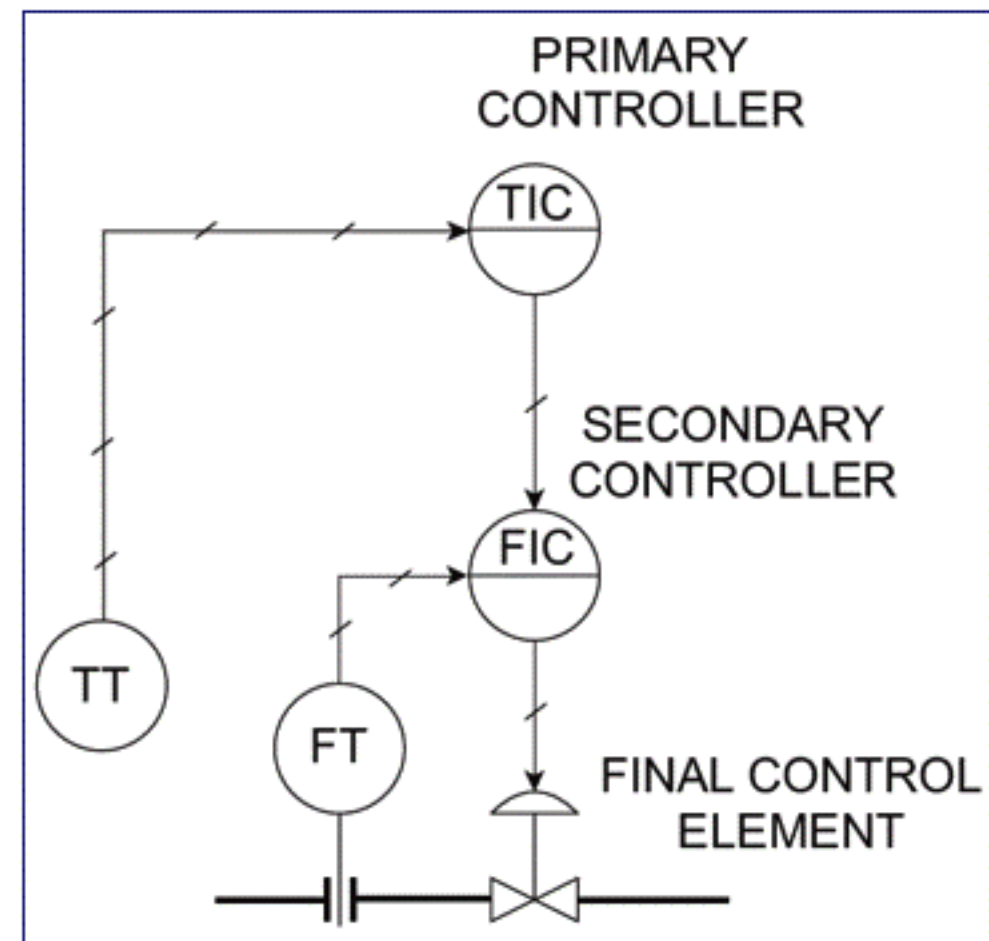
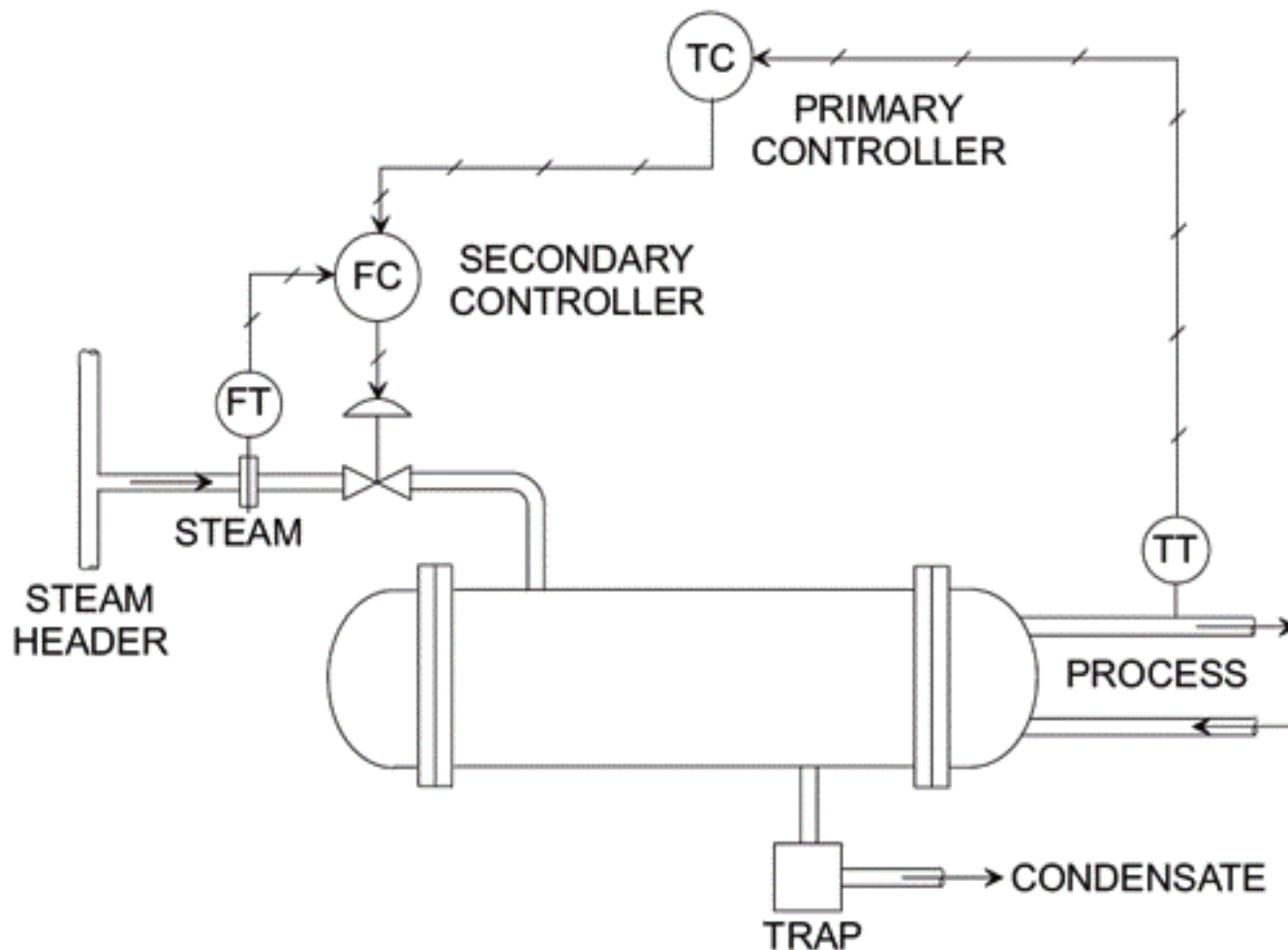


Perturbations sur le procédé



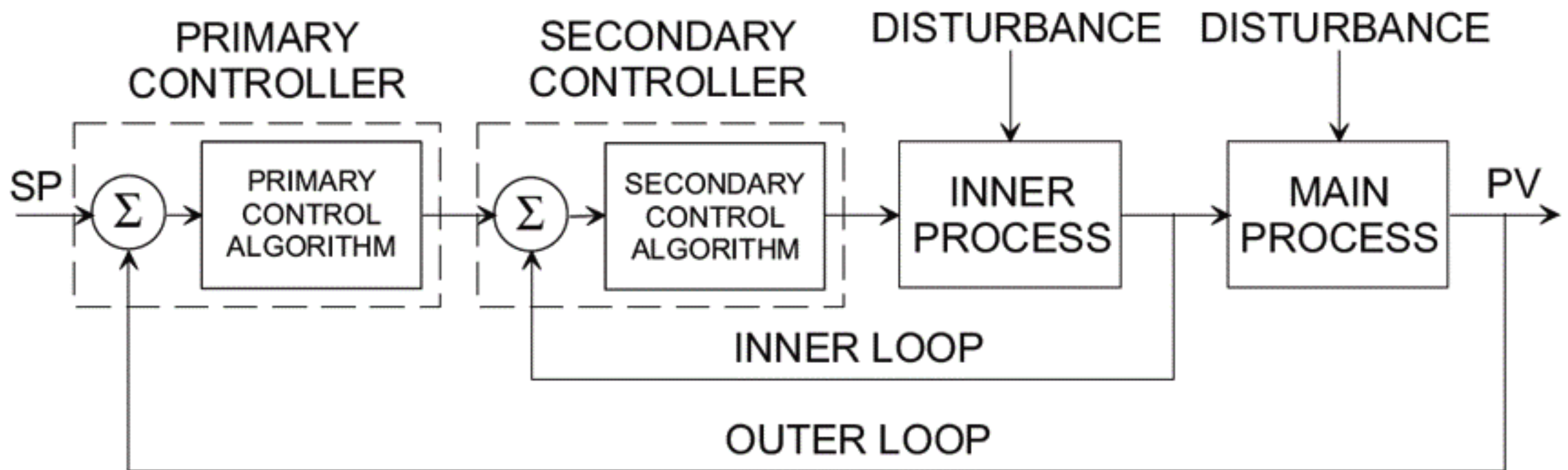
Commande en cascade

- Commande de température en sortie d'un échangeur de chaleur.



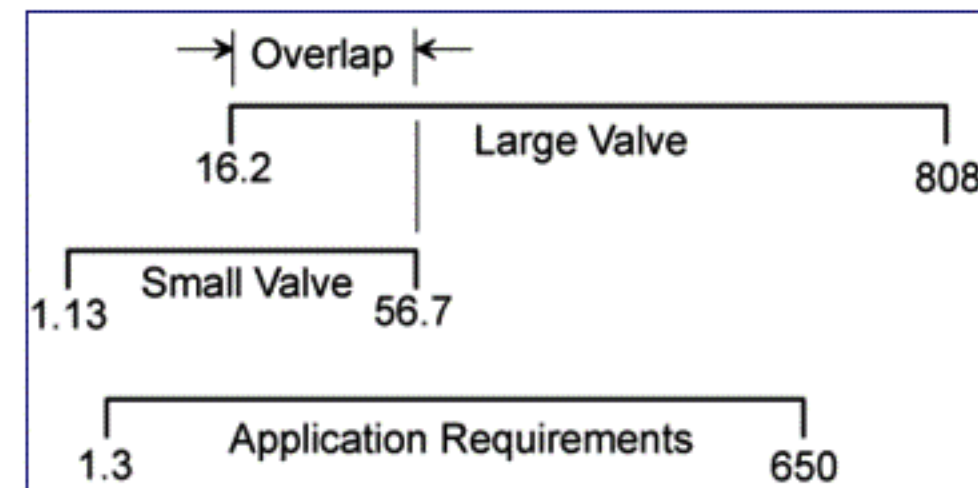
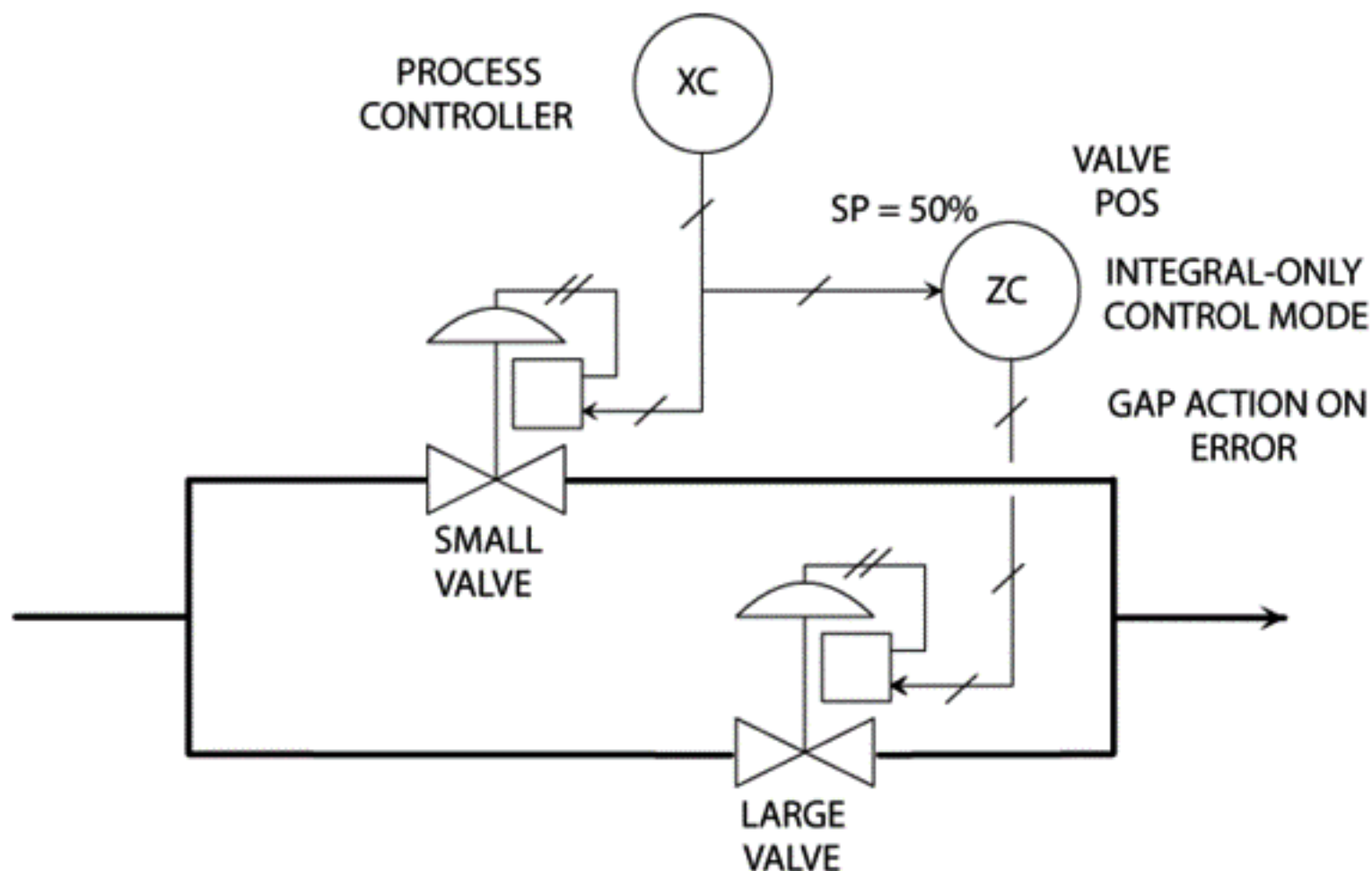
Commande en cascade

■ Schéma bloc:



Comment augmenter la plage de débit d'une vanne.

- Combiner une petite vanne et une grosse vanne.



Régulation numérique de niveau

Salle de contrôle

Supervision



Ethernet

Automate programmable GE-Fanuc



Régulation PID

Site (Chantier)



4-20 mA

4-20 mA



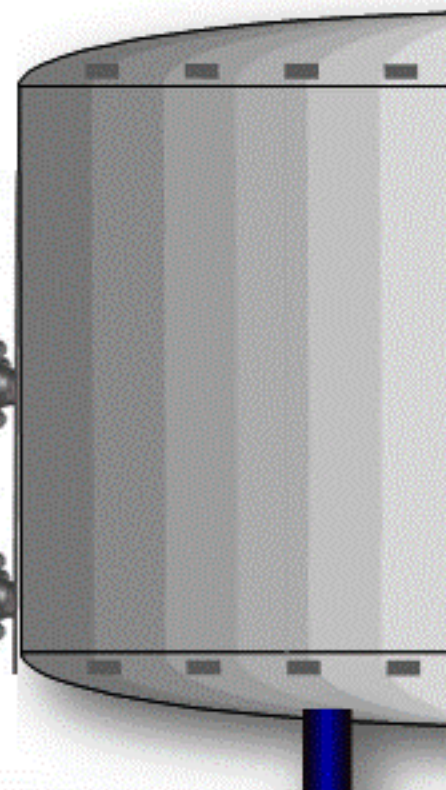
LI

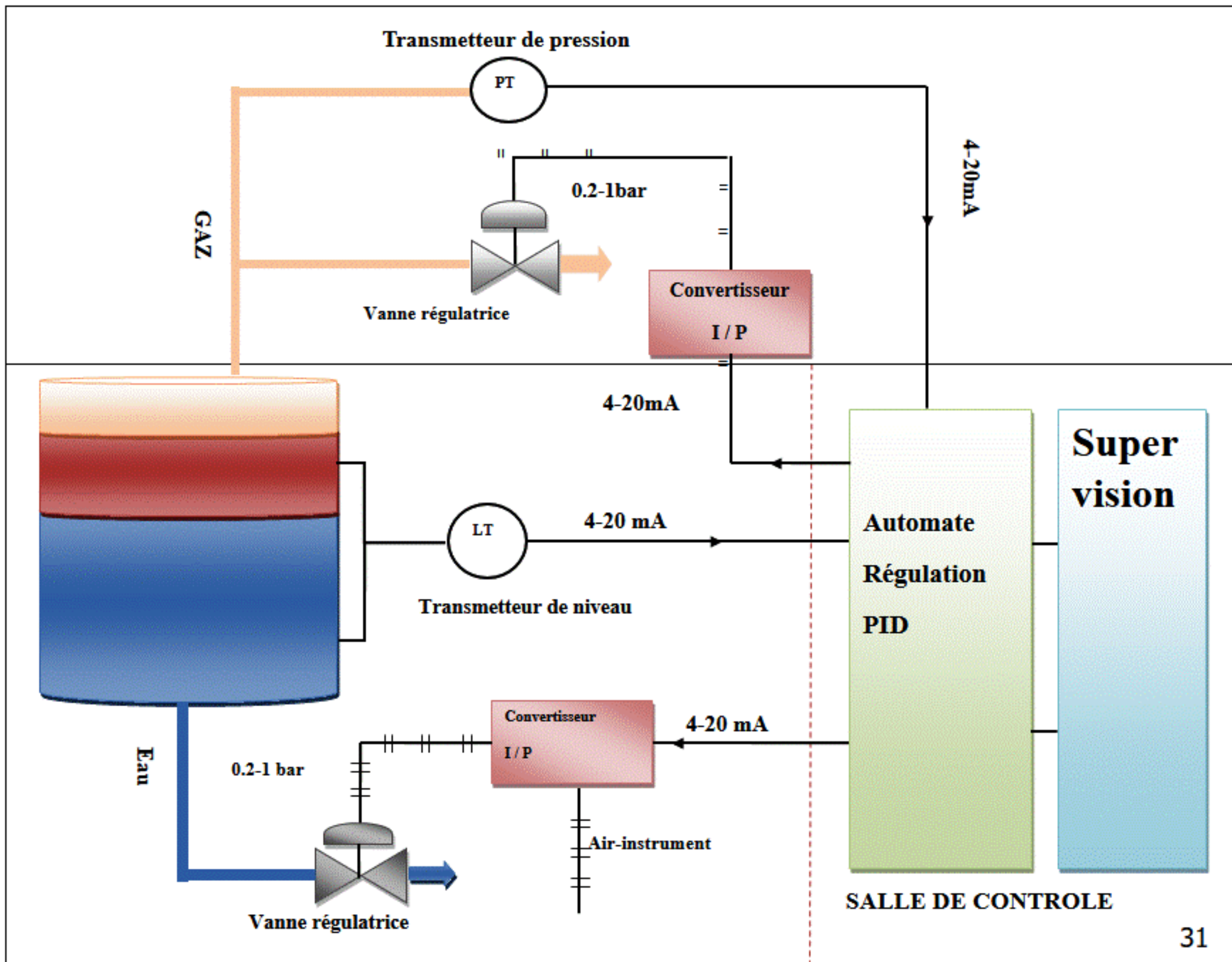
Convertisseur I/P

0,2-1 bar

Air-instrument

Vanne de contrôle NC





Les Vannes

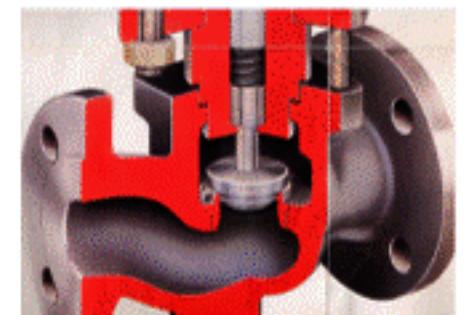
Le servomoteur



**Convertisseur I / P
+ Positionneur**



**Corps de
Vanne**



Les Vannes



Vanne de régulation
pneumatique avec
positionneur

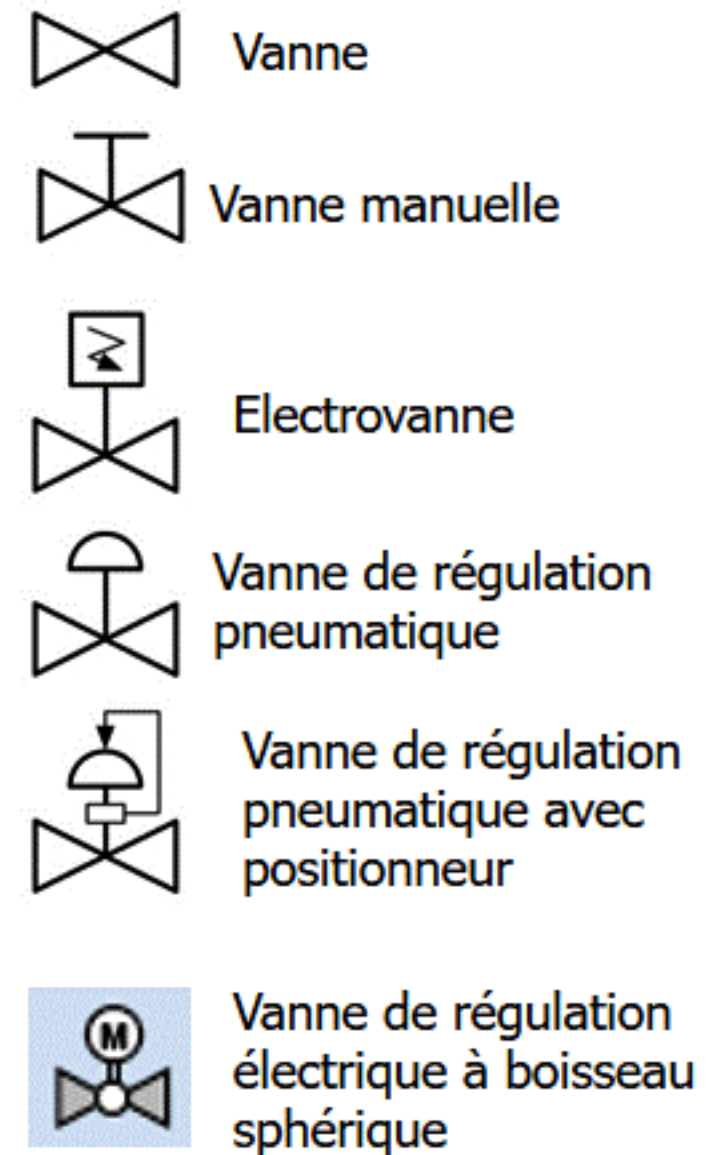
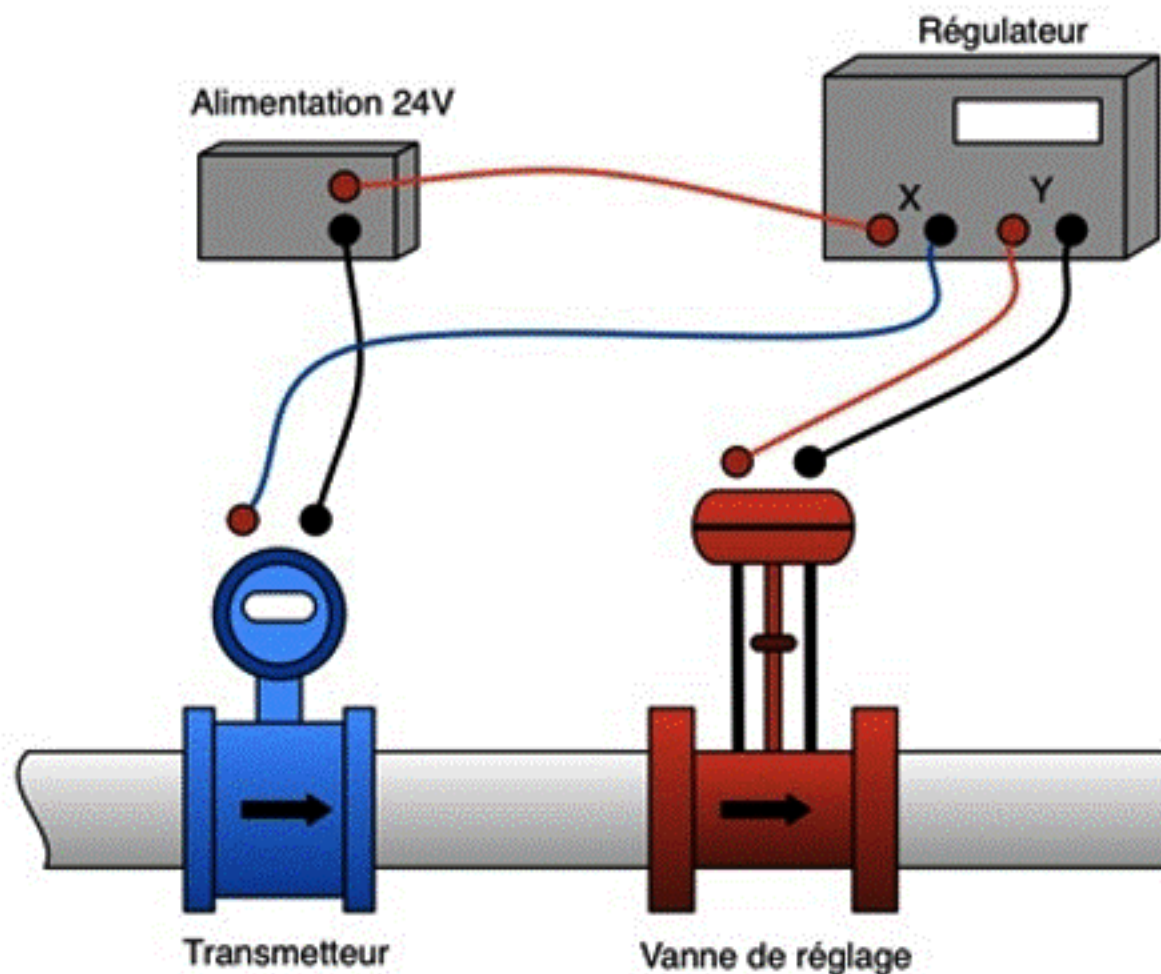


Vanne de régulation
électrique



Vanne: Introduction

- Dispositif permettant de retirer de l'énergie d'un système fluide.
- Orifice à surface variable.
- Si l'ouverture est automatisée, on obtient un robinet de réglage (ou vanne de régulation).

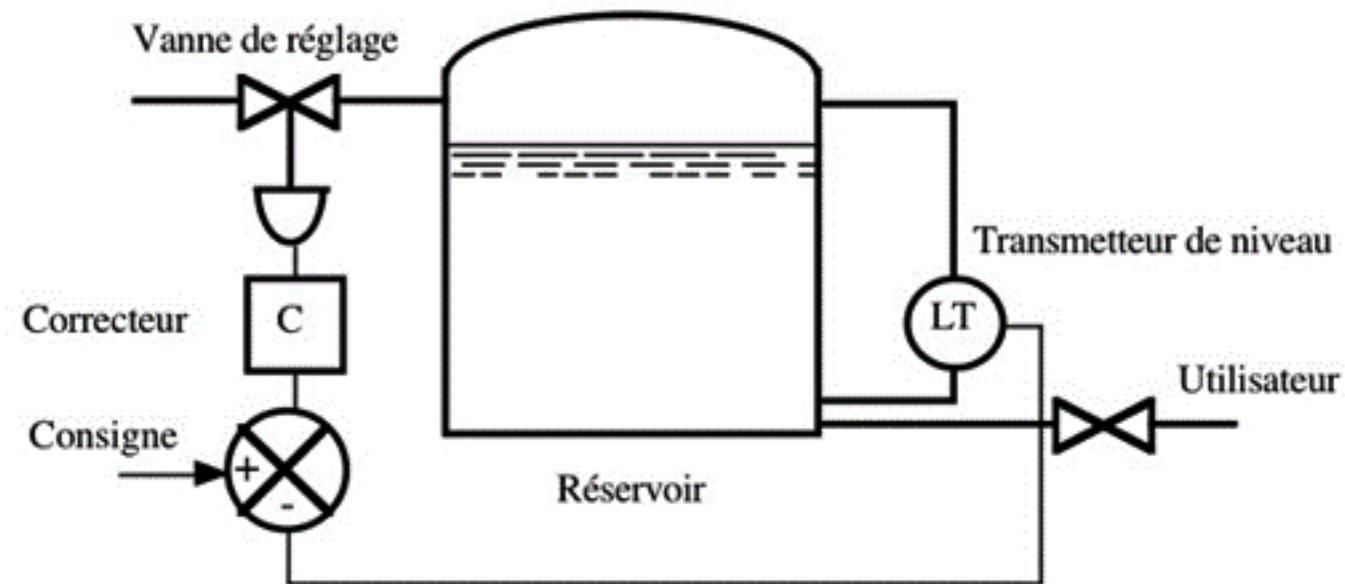


Exemple d'utilisation des vannes pour la régulation du débit

EXEMPLES D'UTILISATION DES VANNES

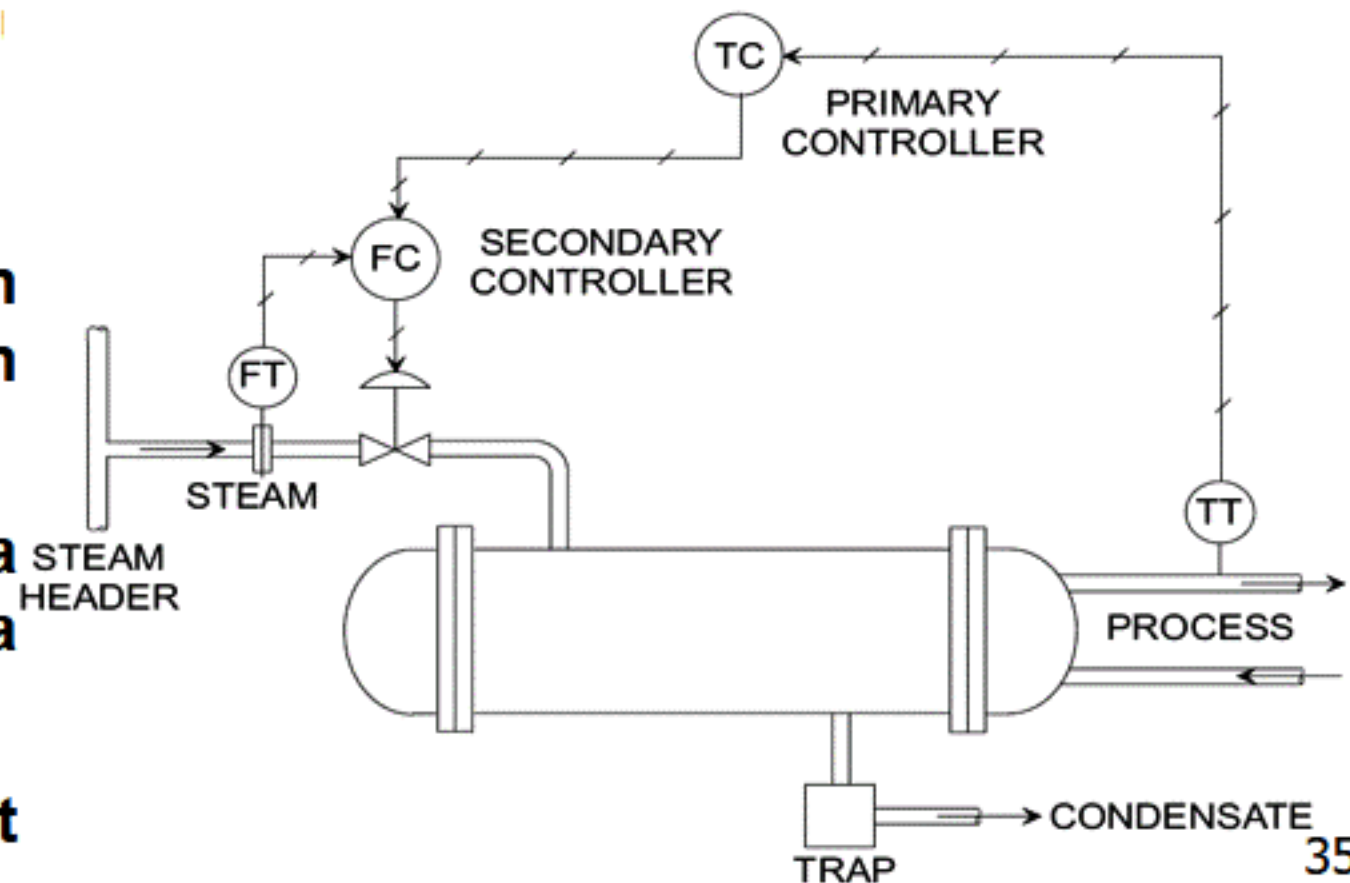
Régulation de niveau

- La vanne de réglage est utilisée comme organe de réglage dans différentes boucles de régulation.
- Le niveau varie en fonction du débit d'alimentation et du débit utilisateur.
- La grandeur réglée est le niveau, il doit suivre la consigne d régulateur.



Régulation de température

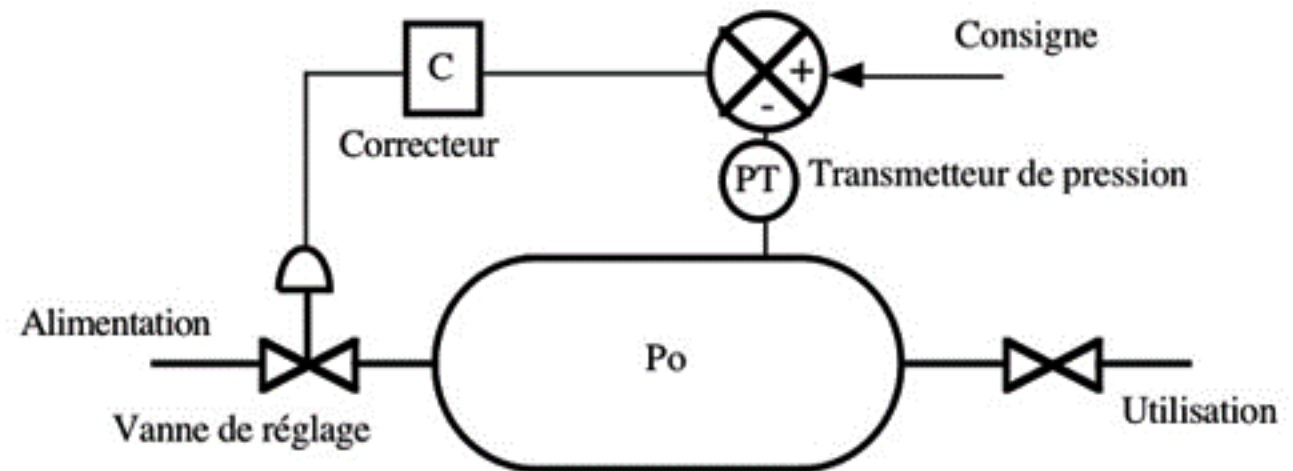
- La température varie en fonction du débit d'alimentation en vapeur chaude
- La grandeur réglée est la température, elle doit suivre la consigne du régulateur.
- La grandeur réglante est le débit



EXEMPLES D'UTILISATION DES VANNES

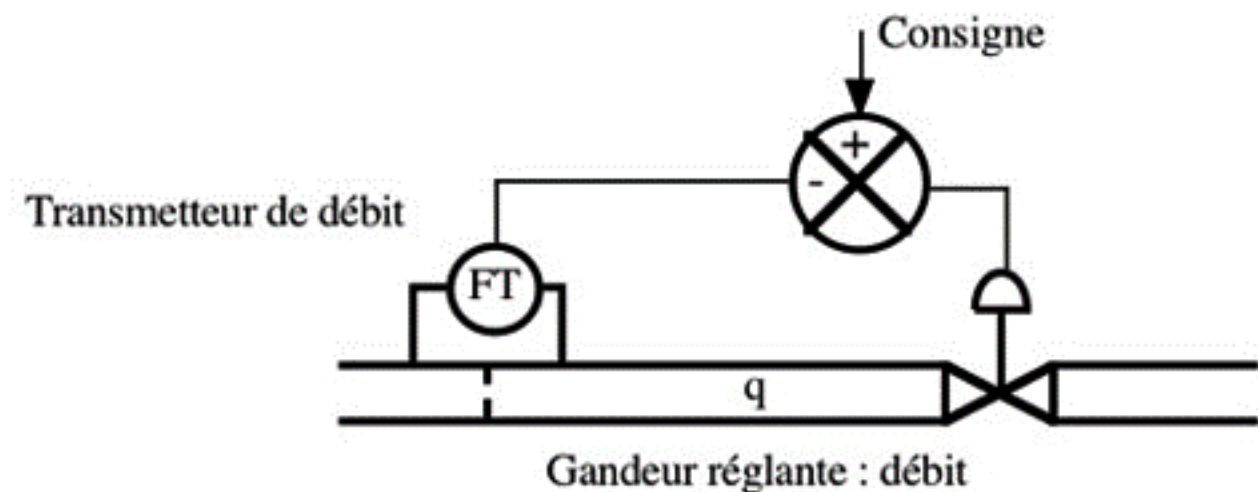
Régulation de pression

- La cuve est sous pression P_o (air comprimé par exemple) qui est la grandeur à régler.
- La grandeur réglante est le débit d'alimentation.
- Les perturbations proviennent de l'utilisation.



Régulation de débit

- La vanne de réglage "LCV" (Level Control Valve) est l'élément de la chaîne de régulation permettant de faire varier le débit d'alimentation en fonction de la consigne.



LES VANNES DE REGLAGES

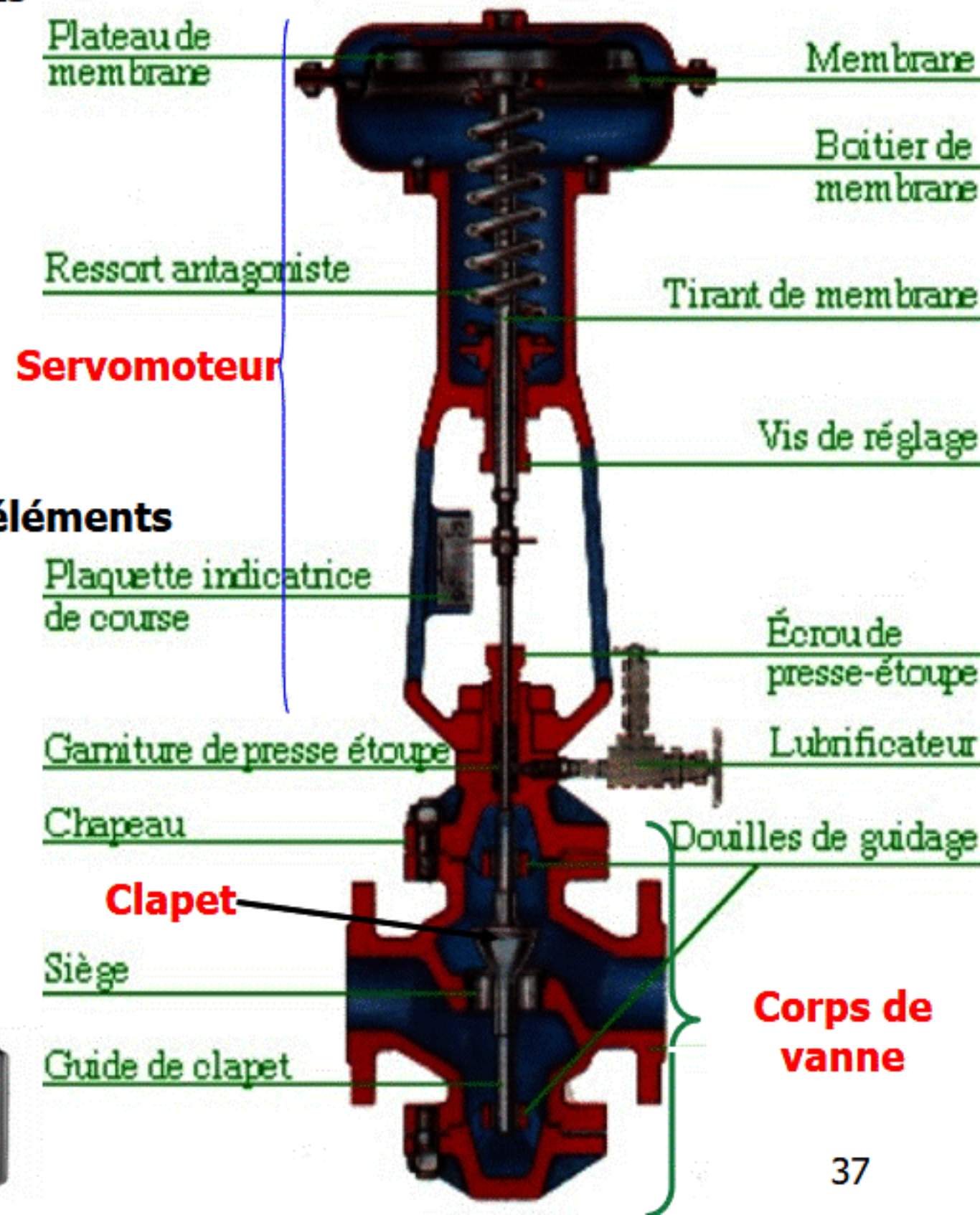
La vanne est constituée de deux éléments principaux :

- Le servo moteur : c'est l'élément qui assure la conversion du signal de commande issu du régulateur en mouvement de la vanne ;
- Le corps de vanne : c'est l'élément qui assure le réglage du débit, par la variation de la section de passage

Et aussi d'un certain nombre d'éléments auxiliaires :

- Un ou deux contacts de fin de course (vanne motorisée);
- Une recopie de la position (enregistreur);
- Un filtre détendeur ;
- Un positionneur qui régule l'ouverture de la vanne en accord avec le signal de commande.

positionneur



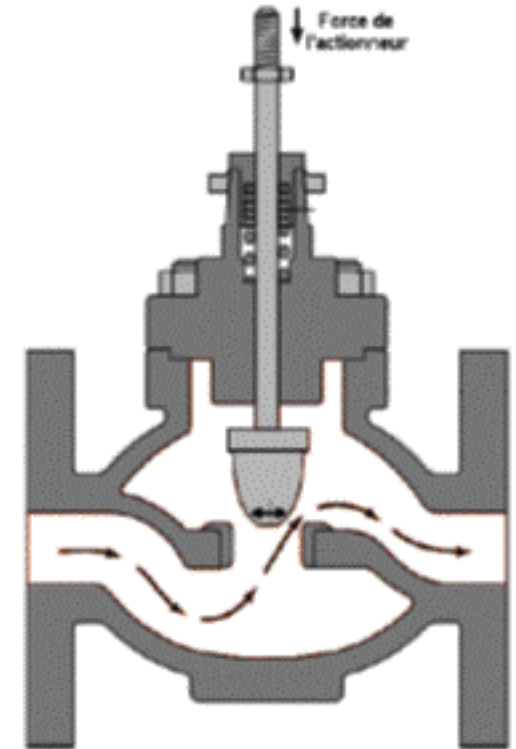
LES GRANDEURS D'INFLUENCE

- **Principal grandeurs d'influence: fluide et environnement de fonctionnement.**
- **Le fluide qui passe dans la vanne de réglage peut être :**
 - ✓ **Corrosif (attaque chimique des matériaux)**
 - ✓ **Chargé de particules solides (érosion, encrassement de la vanne) ;**
 - ✓ **Chargé de bulles gazeuses, ou constitué d'un mélange de liquides et de gaz non homogènes ;**
 - ✓ **Visqueux (exemple de l'huile) ;**
 - ✓ **Inflammable ou explosif en présence de l'air, d'une étincelle ;**
 - ✓ **Toxique, donc dangereux en cas de fuite ; Sous forte pression ou sous vide ;**
 - ✓ **Etc.**
- **L'environnement extérieure peut poser les problèmes suivants :**
 - ✓ **Atmosphère explosive, corrosive, sèche ou humide, poussiéreuse, chaude ou froide...**
 - ✓ **Vibrations, dues par exemple à une machine voisine ;**
 - ✓ **Parasites, dus à des appareils demandant une grande puissance électrique.**

Les types de vannes

Vannes

Mouvement linéaire de l'obturateur



Mouvement rotatif de l'obturateur



LES VANNES DE REGLAGES

Corps de vanne

On distingue les différents formes de corps de vannes :

- ✓ Le corps droit : l'entrée et la sortie sont dans le même axe ;
- ✓ Le corps d'angle : l'entrée et la sortie sont dans deux plans perpendiculaires ;
- ✓ Le corps mélangeur : il possède deux entrées et une sortie afin de permettre le mélange de deux fluides ;
- ✓ Le corps de dérivation (répartiteur) : il possède une entrée et deux sorties afin de permettre la séparation du fluide suivant deux directions.

On distingue deux types de corps de vannes :

- ✓ Le corps directe: le clapet est au dessus du siège, donc la vanne se ferme par la descente du clapet,
- ✓ Le corps inverse: le clapet est au dessous du siège, donc la vanne s'ouvre par la descente du clapet

**Corps directe
à double siège**



**Corps inverse
à simple siège**



LES VANNES DE REGLAGES

Servomoteurs

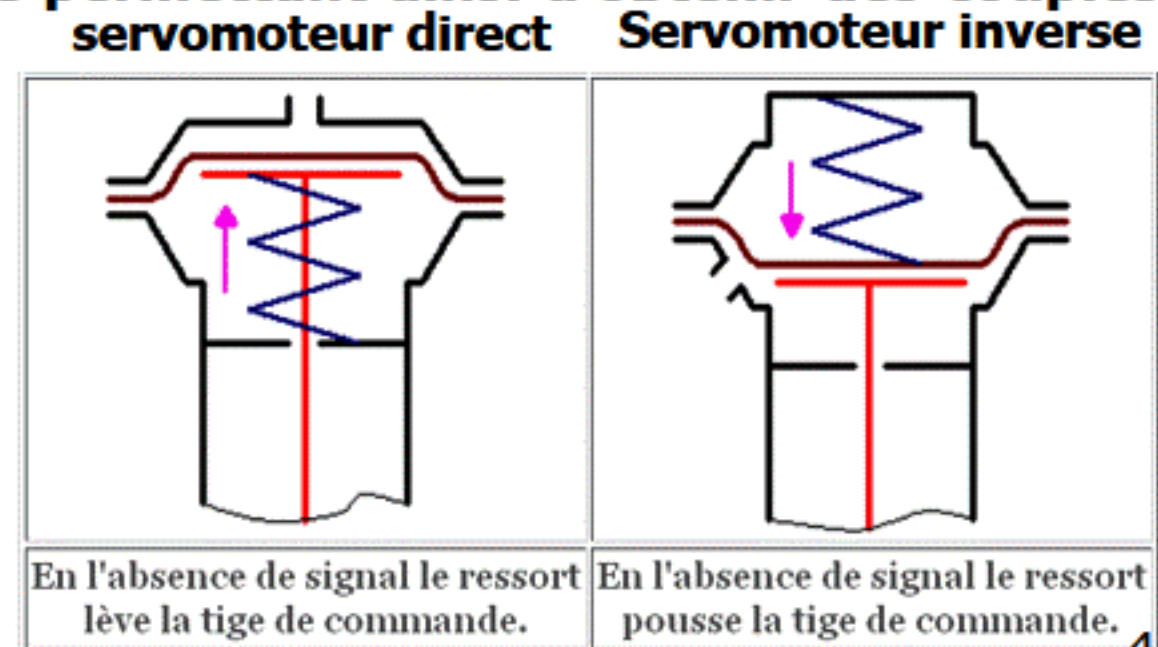
Fonction: Le servomoteur est l'organe permettant d'actionner la tige de clapet de la vanne pour lutter contre la pression agissant sur le clapet et assurer l'étanchéité de la vanne ;

On distingue :

- Le servomoteur classique à membrane, conventionnel (à action direct ou inverse) ou réversible (on peut changer le sens d'action).
- Le servomoteur à membranes déroulantes, surtout utilisé pour les vannes rotatives.
- Le servomoteur à piston: utilisé lorsque les efforts à fournir sont très importants. La pression de commande peut être importante. Le fluide moteur peut être de l'air, de l'eau ou de l'huile.
- Le servomoteur électrique: utilisé pour les vannes rotatives. On associe à un moteur électrique un réducteur de vitesse permettant ainsi d'obtenir des couples très importants.

- **Types**

- ✓ servomoteur direct: la tige descend lorsque le signal augmente
- ✓ servomoteur inverse: la tige monte lorsque le signal augmente



LES VANNES DE REGLAGES

Position en cas de manque d'air: Sens d'action

L'assemblage d'un corps et d'un servomoteur donne:

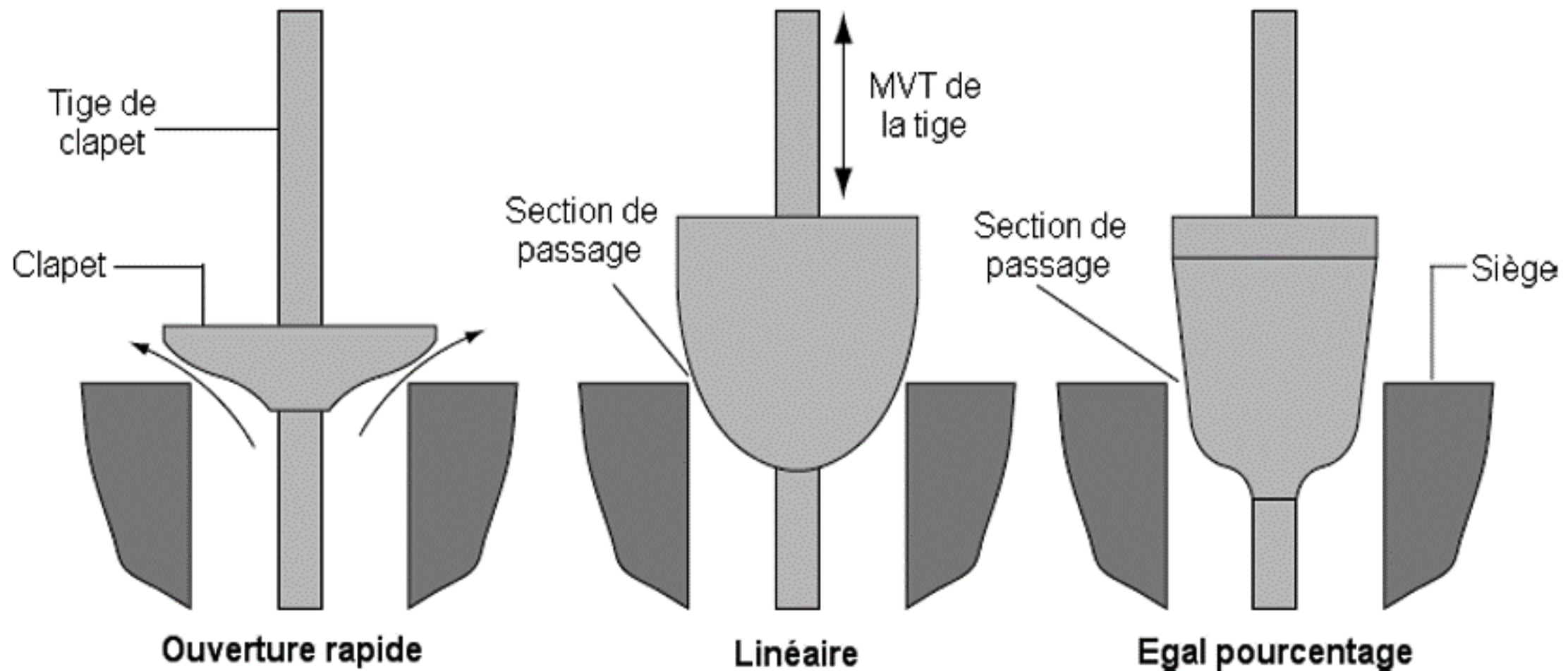
- soit une vanne à sens d'action directe : c'est une vanne normalement ouverte (NO) ou ouverte par manque d'air (OMA); **Exemple:** *Eau de refroidissement vers échangeur*
- soit une vanne à sens d'action inverse : c'est une vanne normalement fermée (NF) ou fermée par manque d'air (FMA); **Exemple:** *Combustible vers brûleurs*

Association servomoteur / corps = vanne		Servomoteurs			
Corps	Direct	Directe	OMA	Inverse	FMA
	Inverse	Inverse	FMA	directe	OMA

LES VANNES DE REGLAGES

Caractéristiques

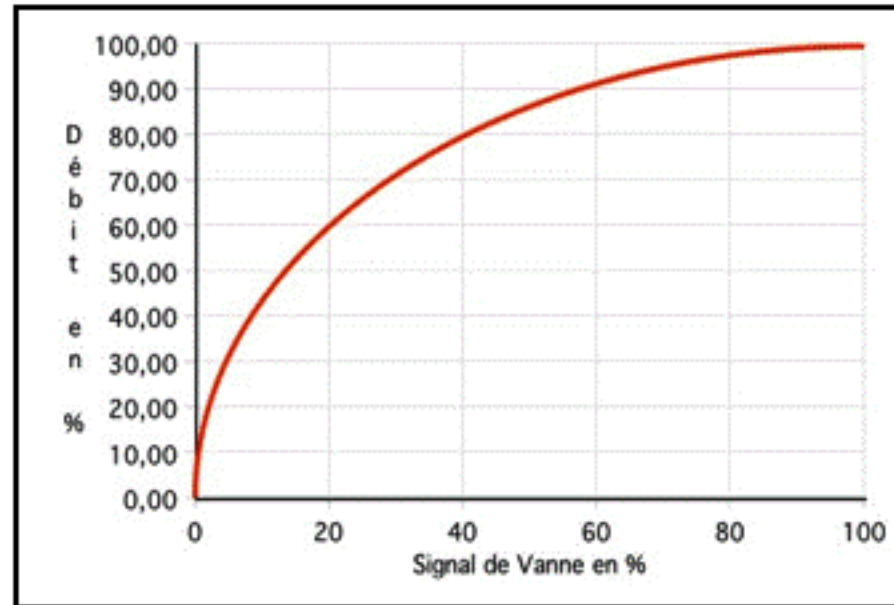
- **Caractéristiques intrinsèque de débit:** C'est la loi entre le débit Q et le signal de commande de la vanne Y (la pression différentielle ΔP aux bornes de la vanne étant maintenue constante).
- On distingue trois types d'ouverture:



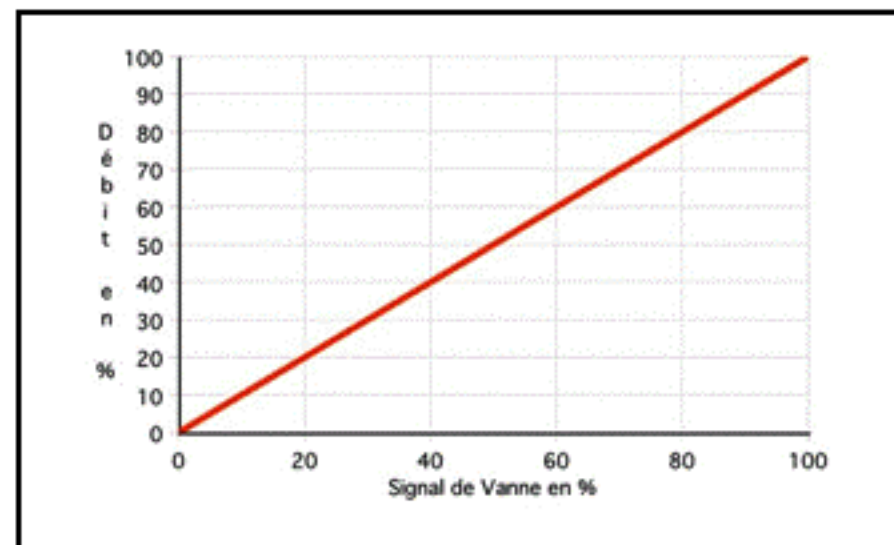
LES VANNES DE REGLAGES

Caractéristiques

1. **Débit tout ou rien (PT)** : Cette caractéristique présente une augmentation rapide du débit en début de course pour atteindre rapidement le débit maximum. Environ sur 25% du signal de commande on obtient environ 70% du débit.



2. **Débit linéaire (PL)** : Le débit évolue linéairement en fonction du signal. Des accroissements égaux du signal vanne (%) provoquent des accroissements égaux de débit.



LES VANNES DE REGLAGES

Caractéristiques

Débit égal en pourcentage (EQP) : La caractéristique est une exponentielle. Des accroissements égaux du signal de commande de la vanne ΔU provoquent des accroissements égaux de débit relatif. C'est la vanne la plus utilisée en régulation automatique.

Pour le même on a :

$$\frac{Q_{1\max} \% - Q_{1\min} \%}{Q_{1\min} \%} \approx \frac{Q_{2\max} \% - Q_{2\min} \%}{Q_{2\min} \%}$$

Pour $\Delta u = 20\%$ on a :

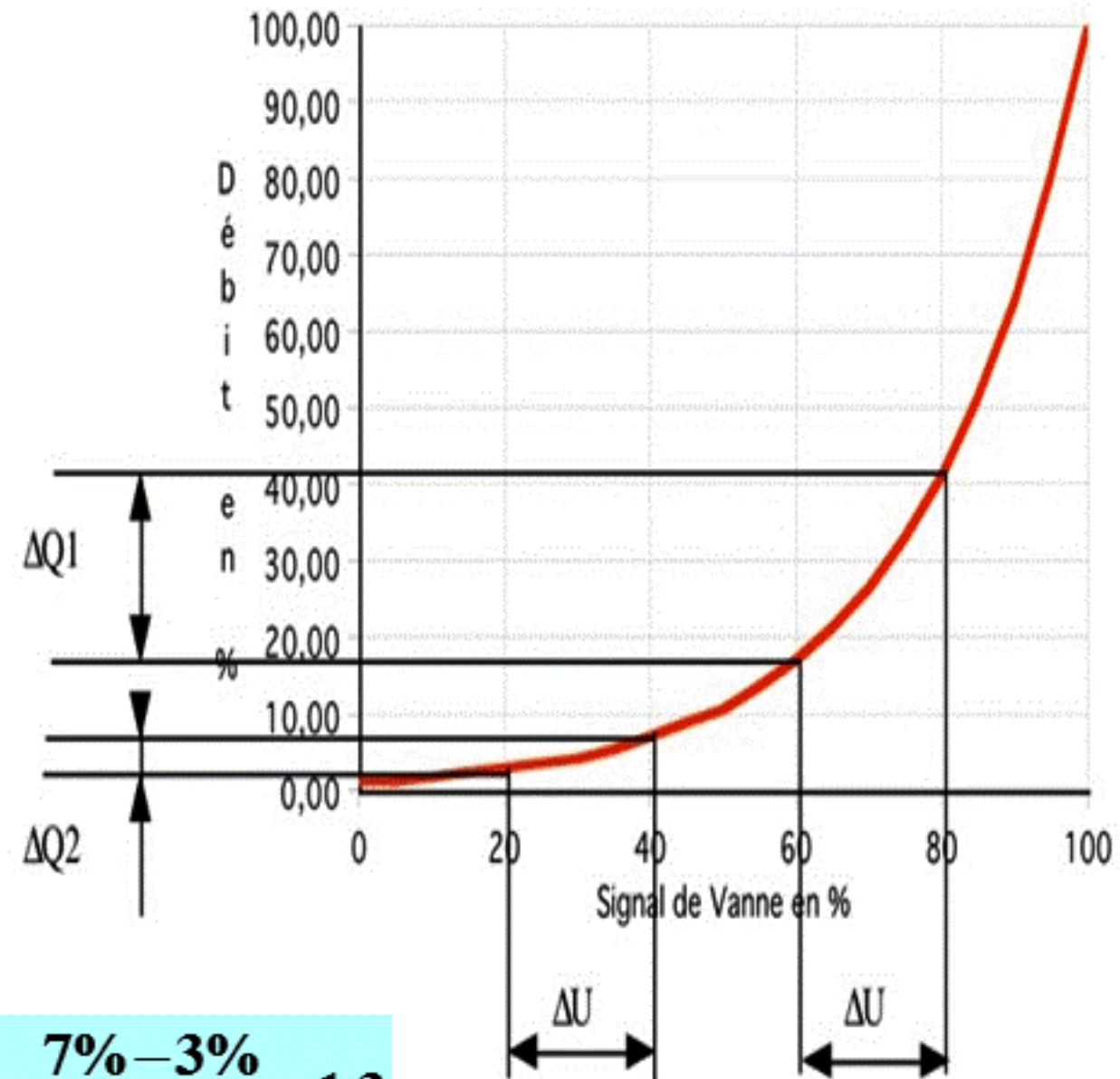
Exemple :

+ 20% de course entre 20 & 40 %, le débit passe de 3 à 7%

+ 20% de course entre 60 & 80 %, le débit passe de 18 à 42%

$$\frac{42\% - 18\%}{18\%} \approx \frac{7\% - 3\%}{3\%} \approx 1.3$$

Le débit augmente de 133% dans les 2 cas.
EQP peut compenser les fluctuations des pertes de charge lorsque le débit varie.



$$\frac{\Delta Q_1}{Q_1} = \frac{\Delta Q_2}{Q_2}$$

LES VANNES DE REGLAGES

Capacité de débit d'une vanne

Relation générale:

$$Q_v = K \cdot S_p \sqrt{\Delta P / \rho}$$

Q_v : débit volumique (m^3/s);
 ΔP : perte de charge du fluide dans la vanne (Pa);
 S_p : section de passage entre le siège et clapet (m^2)
 ρ : masse volumique du fluide (kg/m^3)
 K : coefficient dépendant du profil interne de la vanne

- Q_v est proportionnel à S_p et à $\sqrt{\Delta P}$ et inversement proportionnel à $\sqrt{\rho}$
- Pour un liquide, ρ est à peu près Cte quand la variation de température est faible. Ainsi Q_v ne varie qu'en fonction de ΔP et de S_p .

Capacité du corps de vanne

- Le débit maximum ($Q_{v,\max}$) ne dépend pas que de $S_{p,\max}$ mais aussi de la densité du fluide, de la perte de charge et du coefficient K de forme interne du corps.
- Deux corps de vanne présentant la même S_p n'ont donc pas forcément la même capacité; on peut les comparer que s'ils ont le même fluide et la même différence de pression;
- **Problème** : cette capacité dépend de plusieurs paramètres (k , S_p , Δp , ρ) et ne permet pas une comparaison immédiate entre deux corps de vanne. On utilise donc le coefficient de débit

Coefficient de débit

Pour comparer des vannes différentes et effectuer un choix cohérent parmi celles-ci, on introduit un coefficient de débit **C** utilisé pour énoncer la capacité d'une vanne dans des conditions spécifiées Δp_0 , ρ_0 et pour une ouverture donnée, généralement l'ouverture maximale.

LES VANNES DE REGLAGES

Coefficient de débit d'une vanne (C_v , K_v)

C_v du corps de vanne (US)

- Le coefficient de débit C_v caractérise la mesure du débit de fluide qui s'écoule dans une vanne – il est un paramètre déterminant dans le choix des vannes ainsi que leur paramètres.
- C_v est proportionnel à la section de passage entre le siège et le clapet; $C_v = 0$ quand la vanne est fermée et $C_v = C_{v,max}$ quand la vanne est complètement ouverte.
- C_v est le nombre de gallons d'eau (3.785 l) à 60°F (15°C), traversant en 1 min une restriction lorsque la chute de pression au passage de cette restriction est de 1 PSI.

$$Q_v = C_v \sqrt{\Delta P / d}$$

Q_v : débit (gallon/min)
 C_v : coefficient du débit (gallon/min)
 d : densité (par rapport à l'eau)
 P : pression (en PSI; 0.069 bar)

K_v du corps de vanne (Euro)

$$Q_v = K_v \sqrt{\Delta P / d}$$

Q_v : débit volumique (m³/h); K_v : coefficient du débit (m³/h);
 d : densité (par rapport à l'eau) ; ΔP : pression (en bar)

- K_v est le nombre de mètres cubes d'eau à 15°C traversant en une heure une restriction sous une chute de pression de un bar.

Relation entre C_v et K_v du corps de vanne:

$$C_v = 1.16 K_v$$

$$K_v = 0.865 C_v$$

LES VANNES DE REGLAGES

Coefficient de débit d'une vanne (Cv , Kv)

Rangeabilité intrinsèque

A faible ouverture, la caractéristique théorique de la vanne est difficilement maîtrisable à cause des jeux, des vibrations, de la finesse du profil de l'obturateur. La plage de réglage intrinsèque est le rapport des Cv maximum et minimum contrôlables

$$R = \frac{Cv_{Max}}{Cv_{Min}}$$

Cette rangeabilité est de :

- environ **30:1** pour des vannes droites classiques à caractéristique linéaire ;
- environ **50:1** pour des vannes droites classiques à caractéristique = % ;
- au moins **100:1** pour les vannes rotatives et ce jusqu'à plusieurs centaines.

Spécification des vannes

Spécifier une vanne c'est déterminer :

- le Cv
- la rangeabilité
- la caractéristique intrinsèque
- la classe d'étanchéité
- le type de servomoteur et la position de sécurité par manque d'air

LES VANNES DE REGLAGES

Exemple de vanne

Exemple

vanne **Burkert** 2712
à brides



<http://www.burkert.fr>

Caractéristiques :

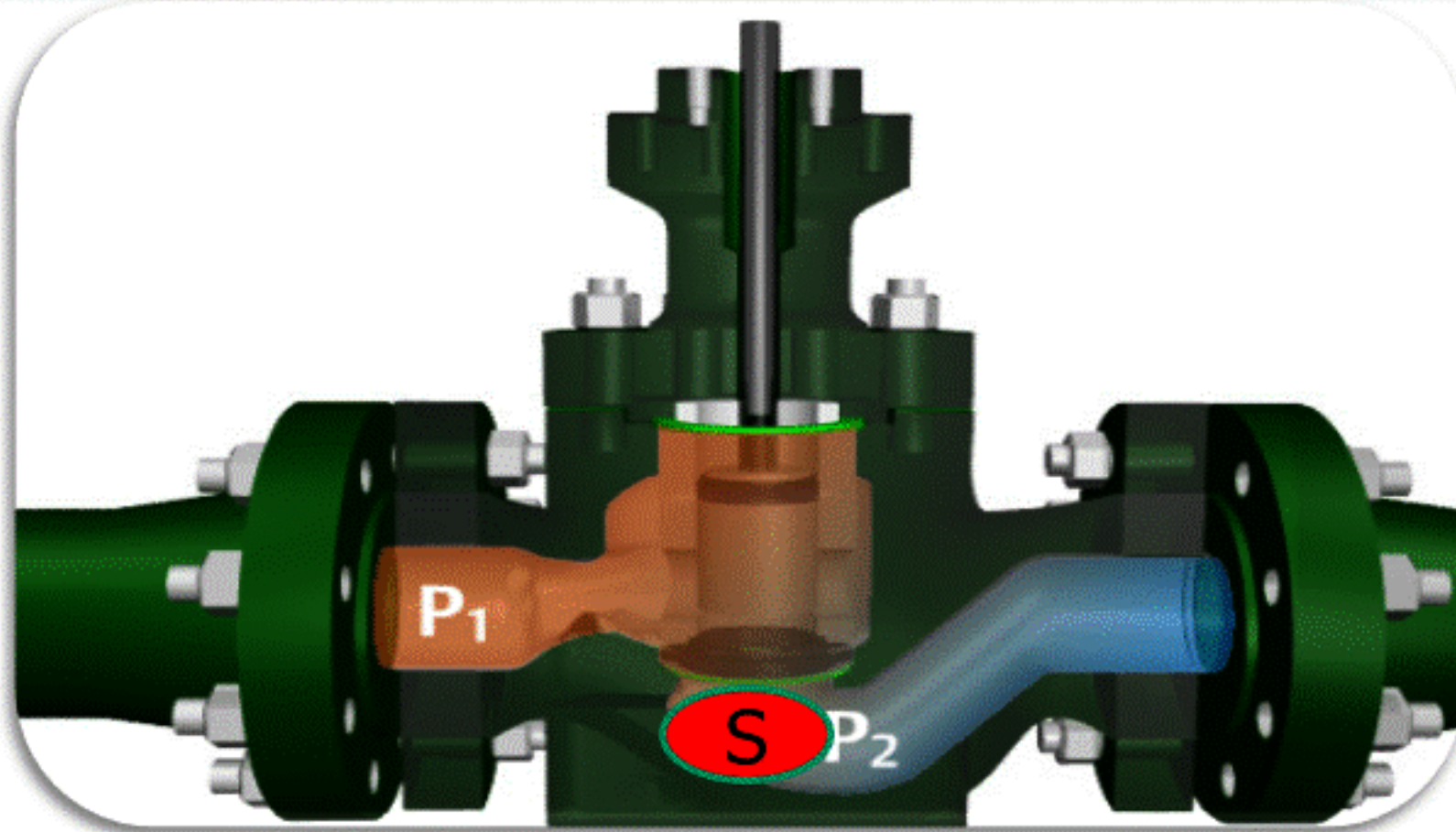
- 3 à 5 valeurs de Kvs par diamètre pour une meilleure régulation.
- Application : liquides et gaz, huiles, solvants, vapeur... vide sur demande.
- Construction : corps inox moulé, étanchéité PTFE.
- Connexion : taraudée, brides, à souder, DN10 à DN100
- Orifices : DN4 à DN100
- Rangeabilité : 10:1 à 50:1
- Pression différentielle : mini : 0 bar ; maxi : jusqu'à 16 bar.
- Température : -10 à +180°C.
- Positionneurs : 1067 (side), 8635 (side Atex 2 fils), 8630 (top).
- Corps inox 316L moulé.
- Positionneurs Atex, Profibus, avec PID...

-Applications :

- Régulation de pression pour chimie
- Equipement de banc de test de grande précision
- Agro-alimentaire NEP/SEP et process auxiliaire avec vapeur
- Stérilisateurs pharmaceutique
- Appareil de distillation de précision
- Machine d'emballage stérile
- Positionneurs Atex, Profibus, avec PID...

CAVITATION ET VAPORISATION

Dépression



La restriction de la section de passage S entraîne une diminution de la pression statique plus ou moins importante selon la géométrie interne de la vanne.

CAVITATION ET VAPORISATION (suite)

Variation de la pression statique à travers une vanne

- La restriction de la section du passage présentée par la vanne et son opérateur provoque une augmentation de la pression dynamique P_v (Théorème de Bernoulli). Il en résulte une diminution de la pression statique (P_{sc}) plus ou moins importante selon:
 - ✓ La géométrie interne de la vanne;
 - ✓ La valeur de la pression statique en aval de la vanne
- La diminution de P_{sc} doit être comparée à la pression de vapeur liquide à la température d'écoulement (possibilité d'impact sur la qualité de contrôle et la tenue du matériel).
- Pour la courbe 1, l'écoulement est toujours en phase liquide ($P_{sc} > P_v$)

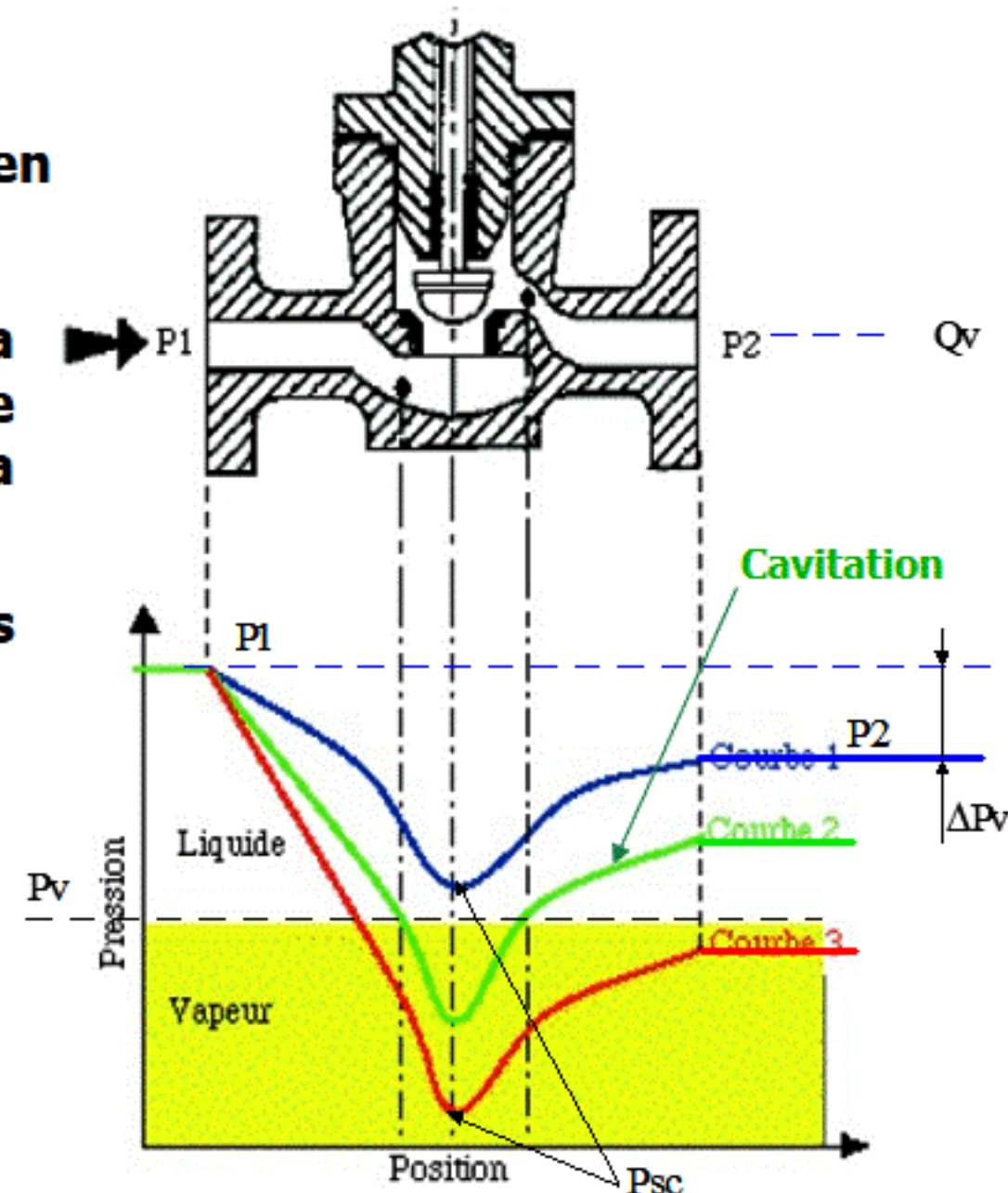
P_1 : pression en amont;

P_2 : pression en aval;

P_{sc} : pression à la section contractée;

ΔP_v : perte de charge de la vanne;

P_v : pression de vaporisation du fluide à la température de service



CAVITATION ET VAPORISATION (suite)

La dépression a travers la vanne de régulation peut engendrer plusieurs conséquences sur la vanne de régulation.

On peut trouver 3 cas de dépression :

Courbe 1 :

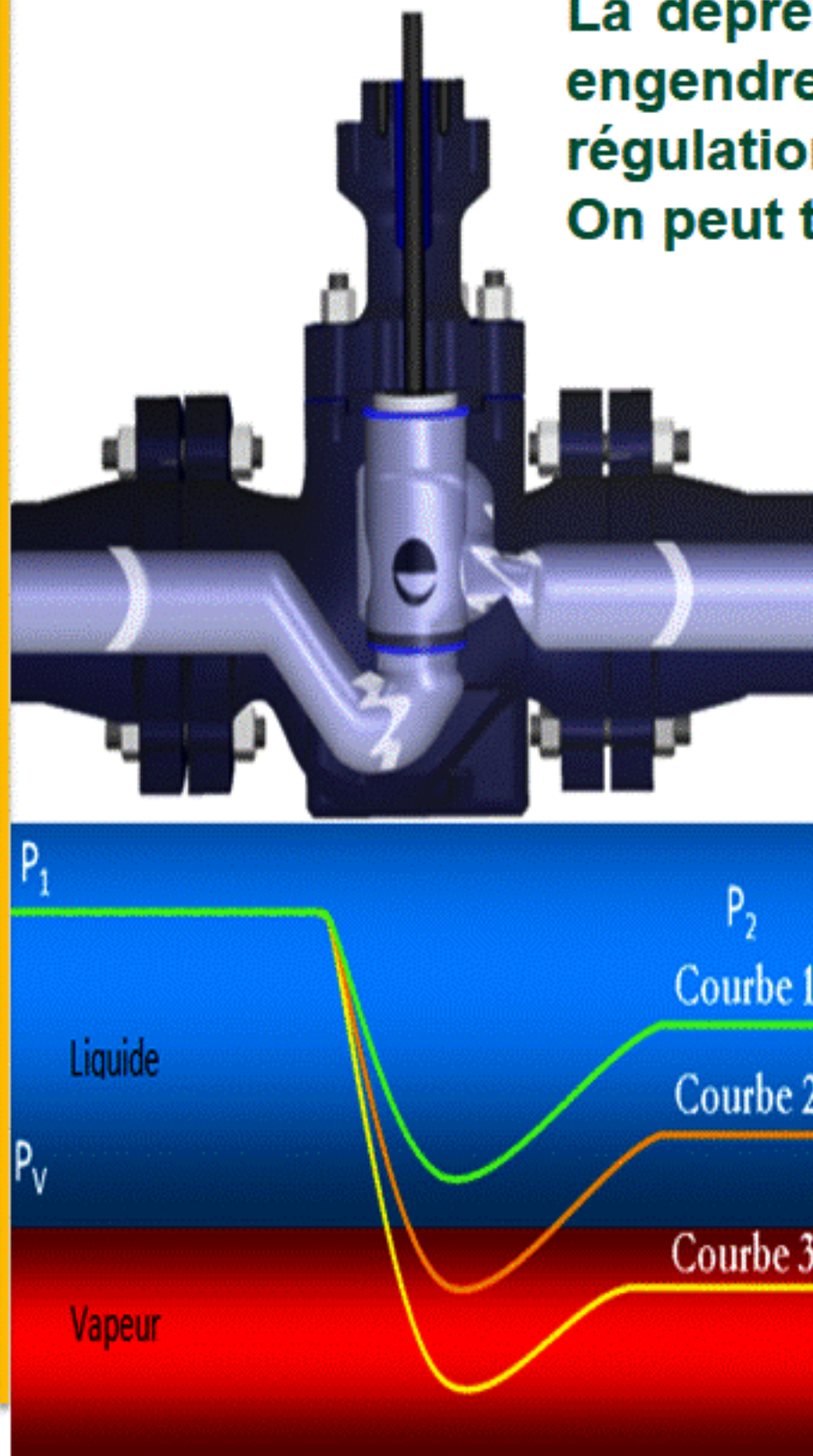
L'écoulement est toujours en phase liquide

Courbe 2 : ($P_{\min} < P_{\text{vapeur}}$)

L'apparition de ce phénomène engendre une faible vaporisation non durable appelée **cavitation**.

Courbe 3 : ($P_{\min} < P_{\text{vapeur}}$)

Ce phénomène durable est appelé **vaporisation**.



CAVITATION ET VAPORISATION (suite)

Cavitation : $P_{sc} \leq P_v$

- Le phénomène de cavitation apparaît quand $P_{sc} \leq P_v$ (formation de petites bulles de vapeur au sein du liquide – courbe 2);
- Quand la pression statique s'accroît à nouveau (diminution de la vitesse par élargissement de la veine fluide), les bulles de vapeur se condensent et implosent.

Inconvénients

- Bruit, d'un niveau sonore inacceptable, très caractéristique car semblable à celui que provoqueraient des cailloux circulant dans la tuyauterie;
- Vibrations à des fréquences élevées ayant pour effet de desserrer toute la boulonnerie de la vanne et de ses accessoires;
- Destruction rapide du clapet, du siège, du corps, par enlèvement de particules métalliques. Les surfaces soumises à la cavitation présentent une surface granuleuse;

C'est généralement les vannes les plus profilées intérieurement qui ont une tendance accrue à la cavitation

