

**MASTER D'UNIVERSITE SPECIALISE
INGENIERIE DES SYSTEMES EMBARQUES**

**Cours Capteurs et Régulation
Industrielle
CH_5: Généralités**

Par:

Abdellah LASSIOUI

PLAN:

CH5: Généralités sur les systèmes asservis

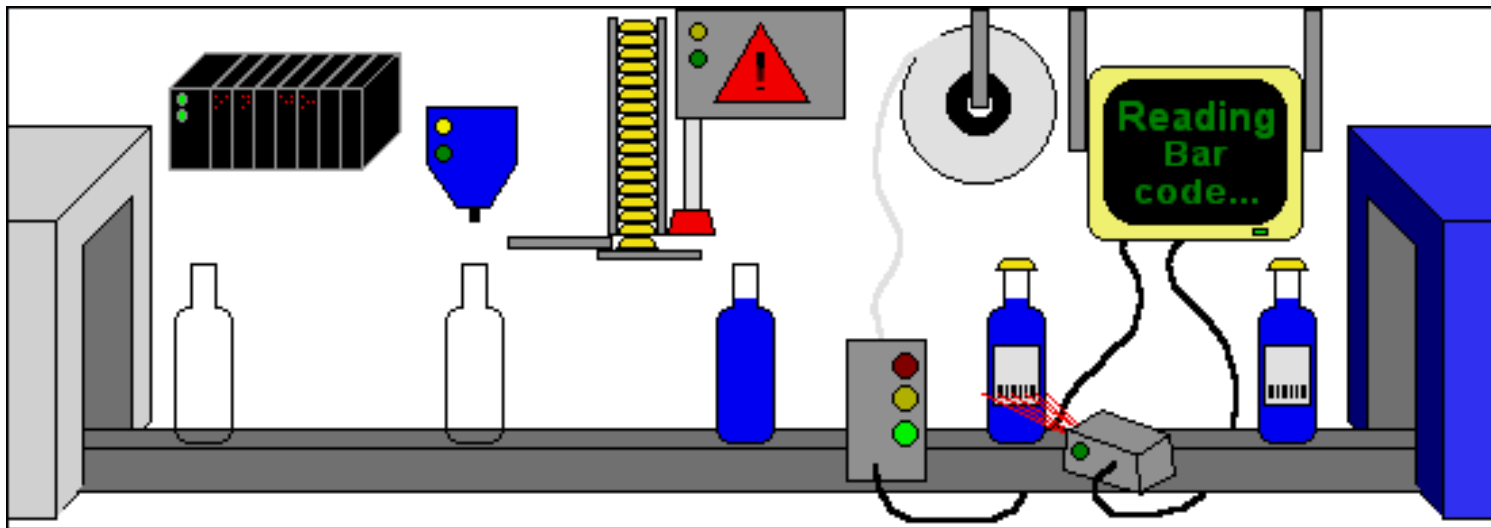
CH6: Identification des Procédés Industriels

CH7: Les régulateurs PID industriels

Ch.1: Généralités

1. Automatique:

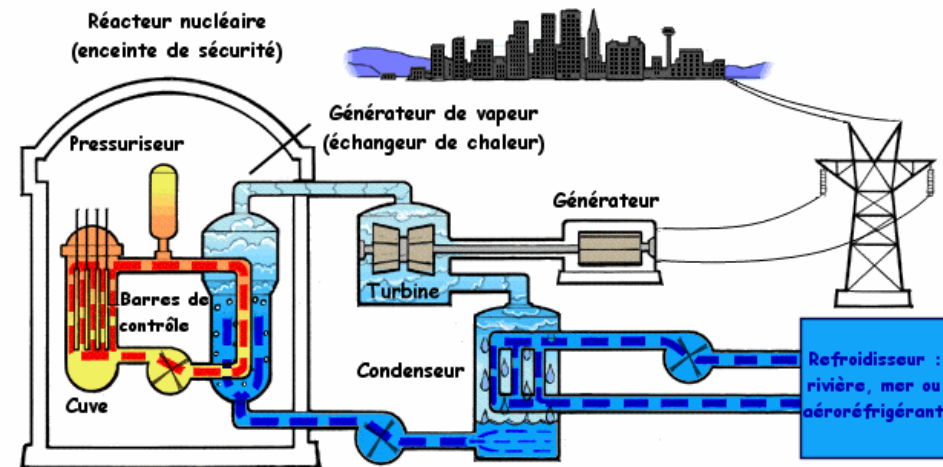
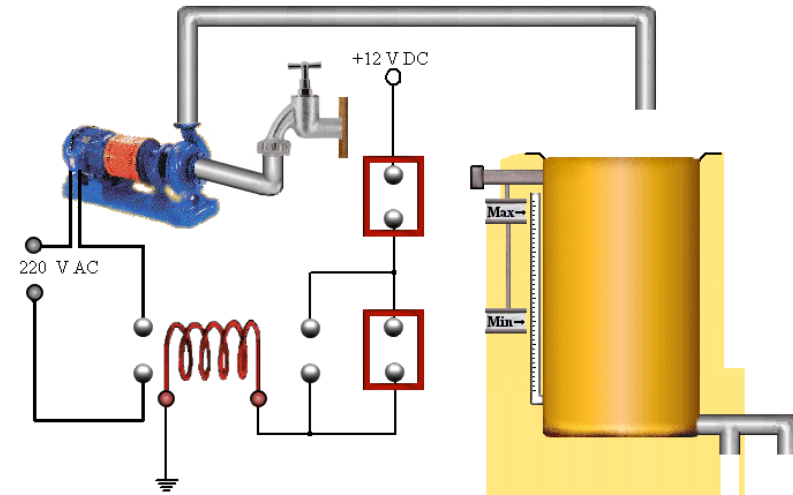
- *Automatique*: science des automatismes.
- Qualifie tout ce qui fonctionne tout seul ou sans intervention humaine



2. Domaines d'application de l'Automatique:

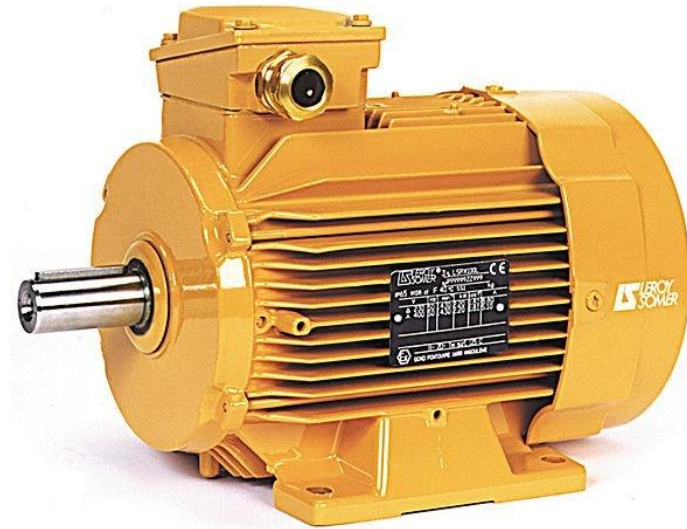
a) Dans les grands procédés industriels:

- Régulation de niveau: maintenir le niveau d'eau d'une cuve à une valeur donnée
- Régulation de débit,
- Régulation de température,
- ...



b) Dans les systèmes électriques:

- Régulation de vitesse des machines électriques
- Régulation de tension dans les convertisseurs de puissance
- Les réseaux électriques
- ...



c) Dans les systèmes d'énergie renouvelable:

- Systèmes photovoltaïques ,
- Systèmes éoliens



d) Dans la commande et le pilotages automatique

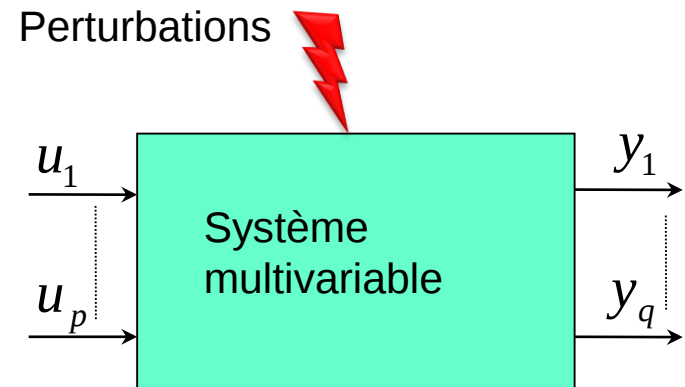
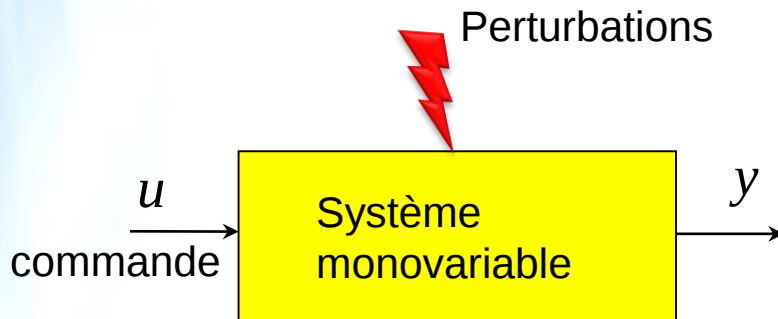
- Des avions, des drones, ...
- Des voitures et des véhicules électriques
- ...



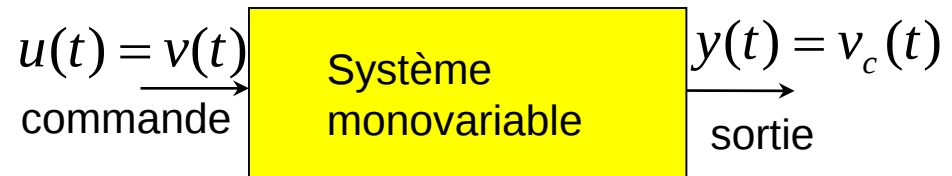
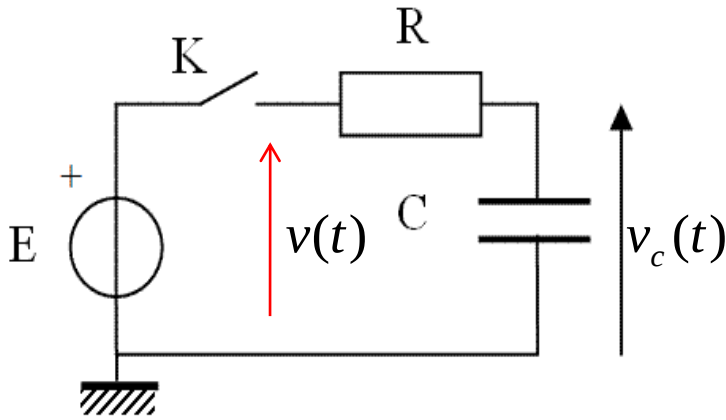
La liste n'est pas exhaustive !!!

3. Notion de système:

- **Système**: tout dispositif ayant au moins une entrée de commande et une sortie



- **Commandes** : entrées que l'on peut maîtriser
- **Perturbations** : entrées que l'on ne peut pas maîtriser.

Exemple : circuit RC

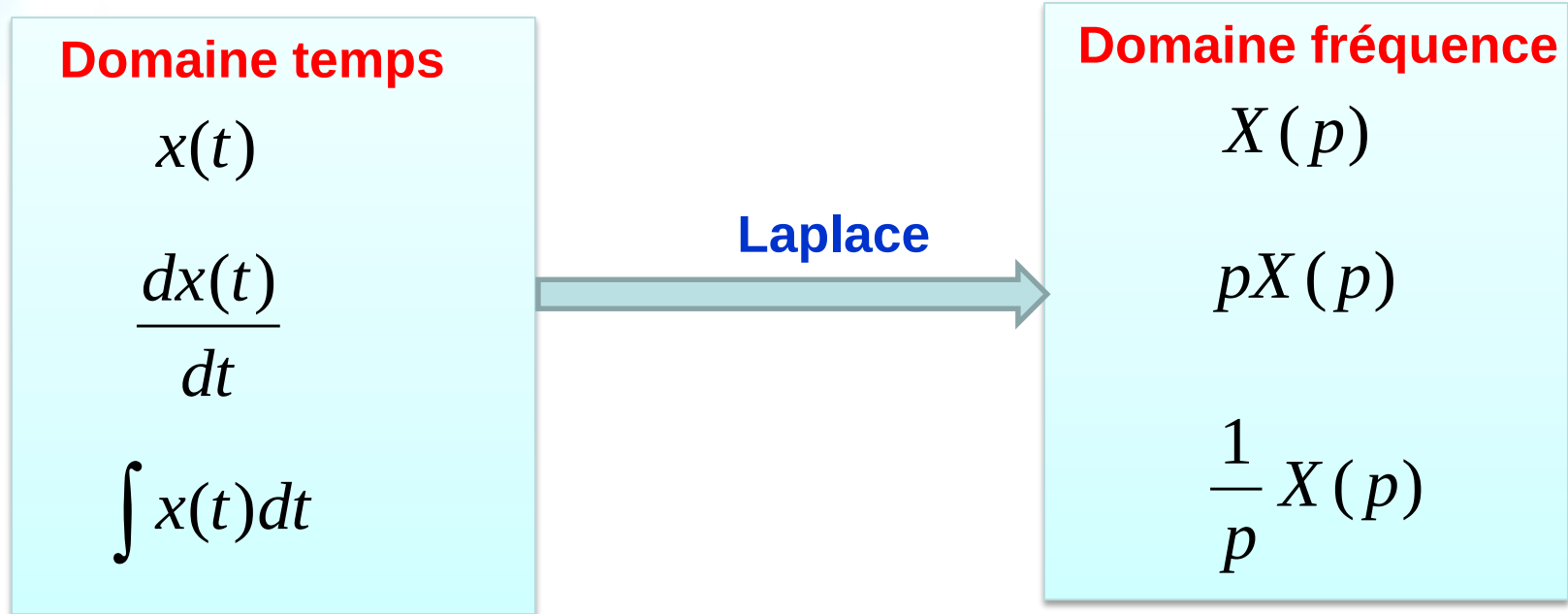
- Loi des mailles:
$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = u(t) \quad (1)$$

$\tau = RC$: constante du temps du système

- L'équation (1) est appelé équation différentielle du circuit RC.
- C'est une relation mathématique entre l'entrée et la sortie.
- Elle représente le modèle temporel du circuit

a) Modèle: Fonction de transfert

- Transformée de Laplace: permet un passage du domaine temporel au domaine fréquentiel.
- Pour les conditions initiales nulles on a:



p : opérateur de Laplace

- Application sur l'équation (1) du circuit:

Domaine temps

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = u(t)$$

Laplace

Domaine fréquence

$$\tau p Y(p) + Y(p) = U(p)$$

$$(1 + \tau p) Y(p) = U(p)$$

$$\frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{1}{1 + \tau p}$$

- On appelle fonction de transfert le rapport : $G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)}$

- Pour le circuit RC:

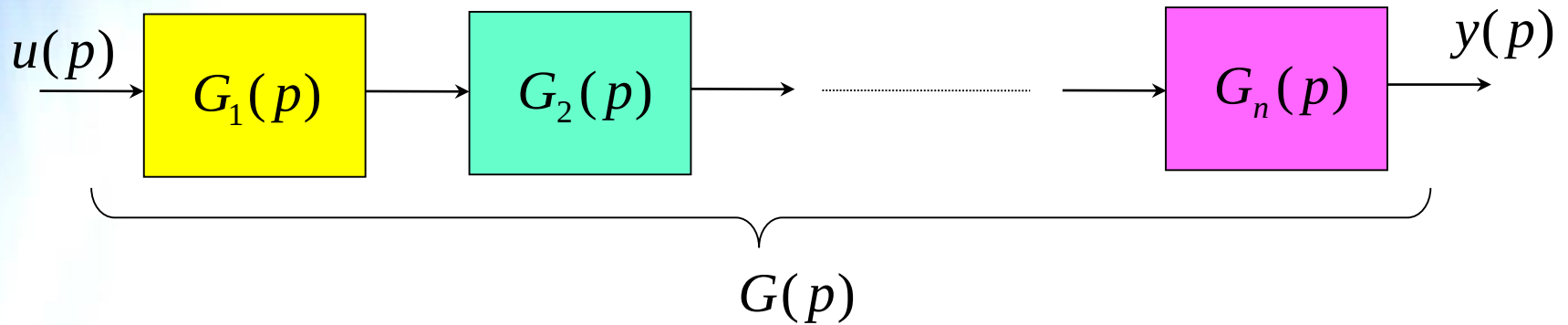
$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{1}{1 + \tau p}$$

C'est un système de premier ordre

Autres systèmes:

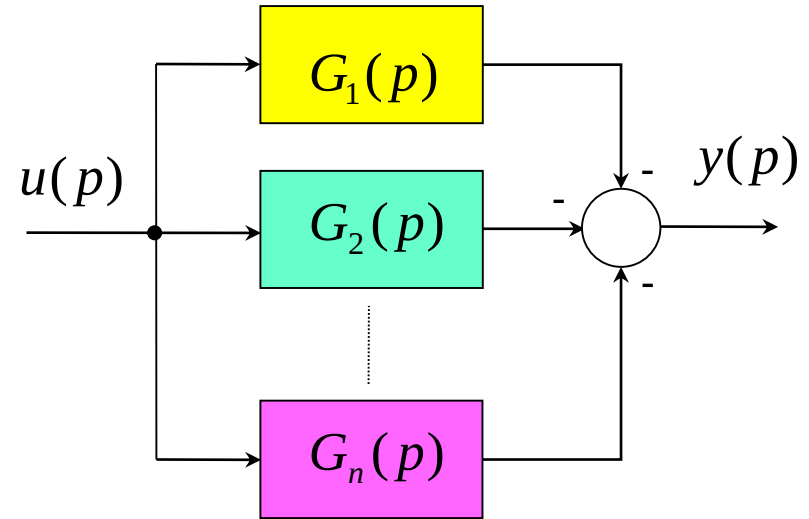
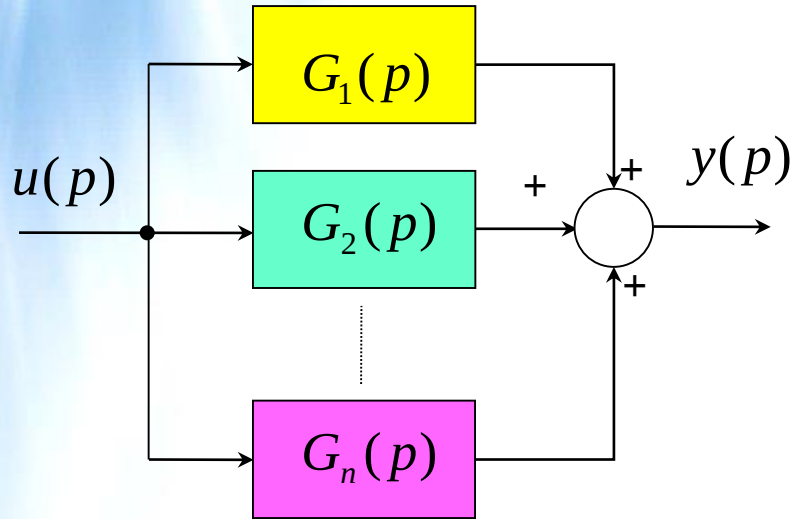
Type d'élément	Fonction de transfert $G(p)$	Paramètres
Premier ordre:	$\frac{K}{1 + \tau p} \quad \tau > 0$	τ : constante de temps K : gain statique
Second ordre	$\frac{K}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} p + \frac{p^2}{\omega_n^2}} \quad \xi > 0$ $\omega_n > 0$	K : gain statique ξ : coefficient d'amortissement ω_n : pulsation propre
Intégrateur simple:	$\frac{1}{T_i p}$	T_i : constante d'intégration
Dérivateur réel	$\frac{T_d p}{1 + \frac{T_d}{\alpha} p} \quad \alpha \gg 1$	T_d : constante de dérivation
Retard pur	$e^{-\theta p} \quad \theta > 0$	θ : temps de retard

b) FT du Montage en série (en chaîne, en cascade):



$$G(p) = \frac{y(p)}{u(p)} = \prod_{i=1}^n G_i(p)$$

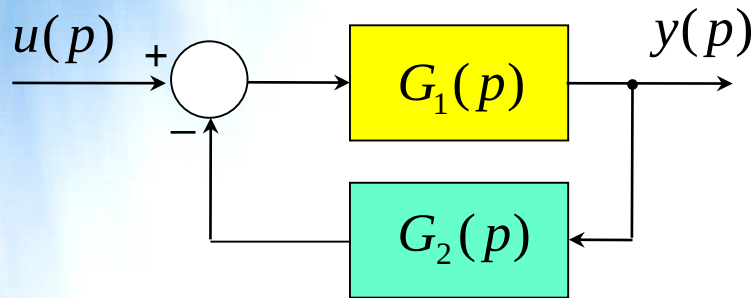
c) Montage en parallèle:



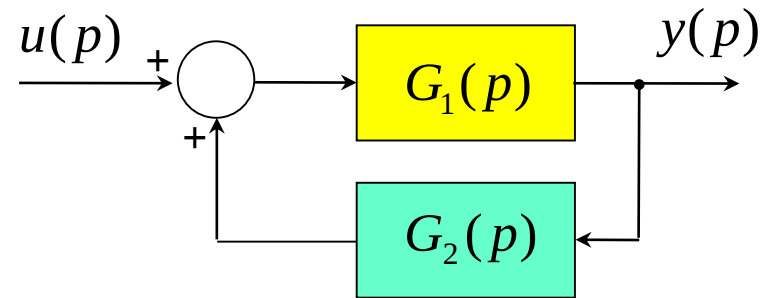
$$G(p) = \sum_{i=1}^n G_i(p)$$

$$G(p) = \sum_{i=1}^n -G_i(p)$$

d) Montage à retour :



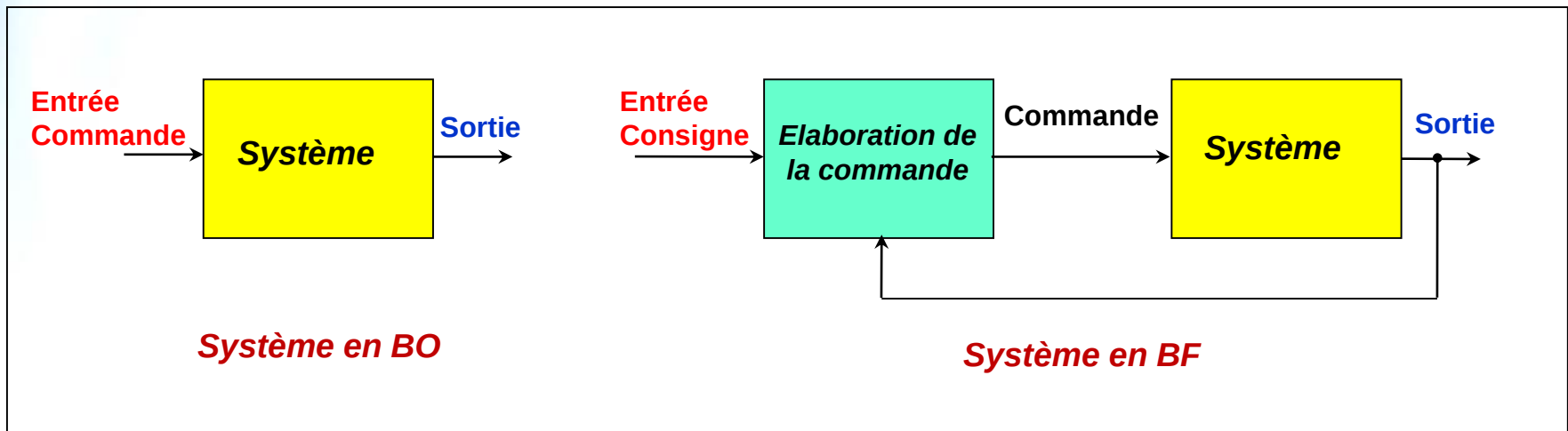
$$G(p) = \frac{G_1(p)}{1 + G_1(p)G_2(p)}$$



$$G(p) = \frac{G_1(p)}{1 - G_1(p)G_2(p)}$$

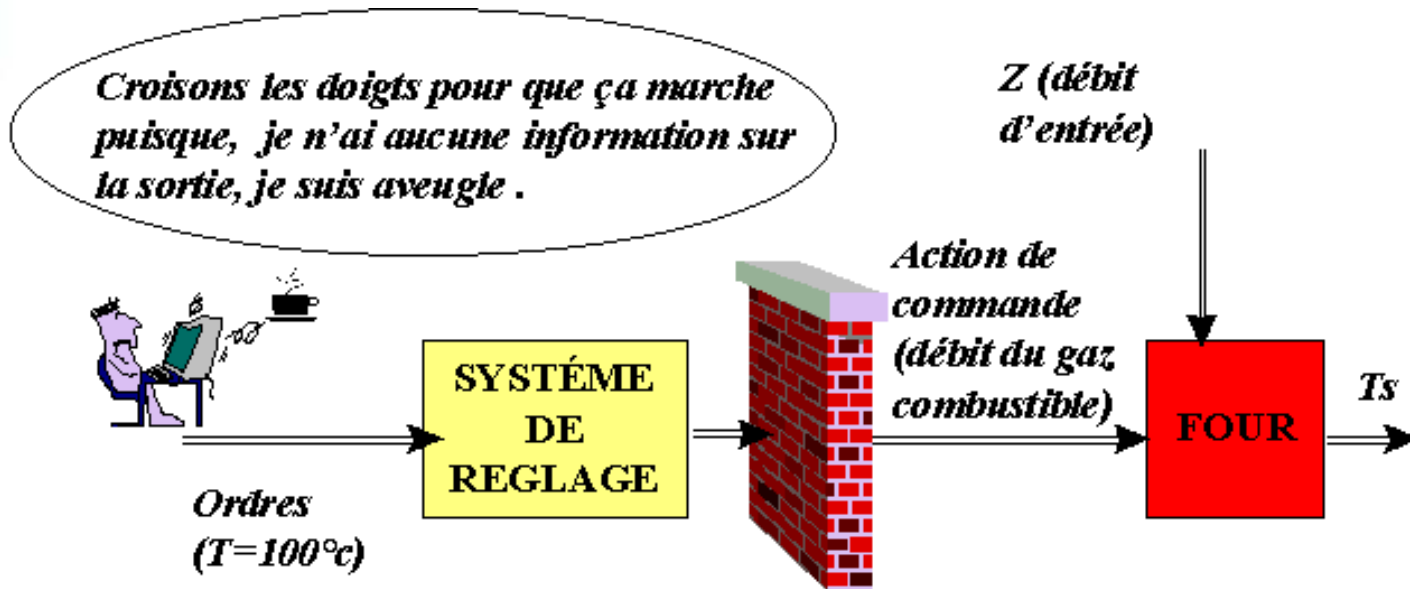
5. Notion de boucle ouverte (BO) et boucle fermée (BF):

- Un système est en BO lorsque la commande est élaborée sans l'aide de la connaissance des grandeurs de sortie : *il n'y a pas de feedback*.
- Dans le cas contraire le système est en BF.



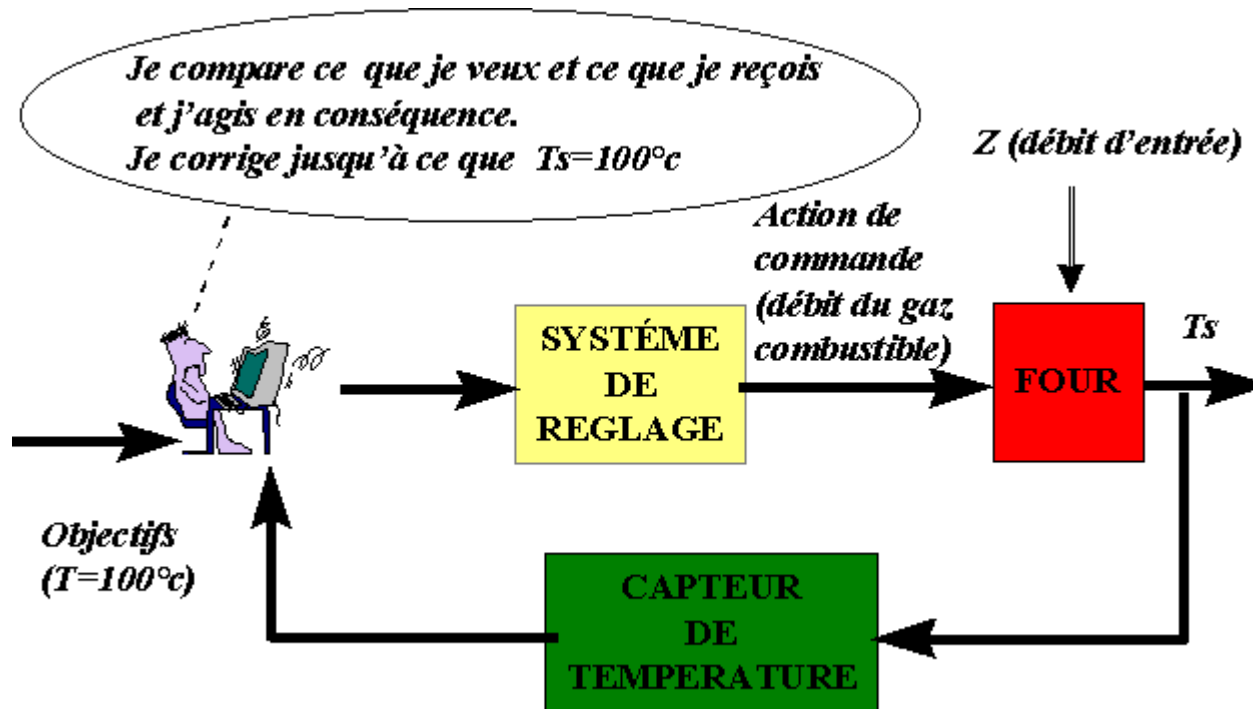
Exemple de la boucle ouverte (OPEN LOOP):

Le réglage de la température du four est assuré par une personne extérieure (de la salle de contrôle), il n'a donc aucune information sur la grandeur à régler.



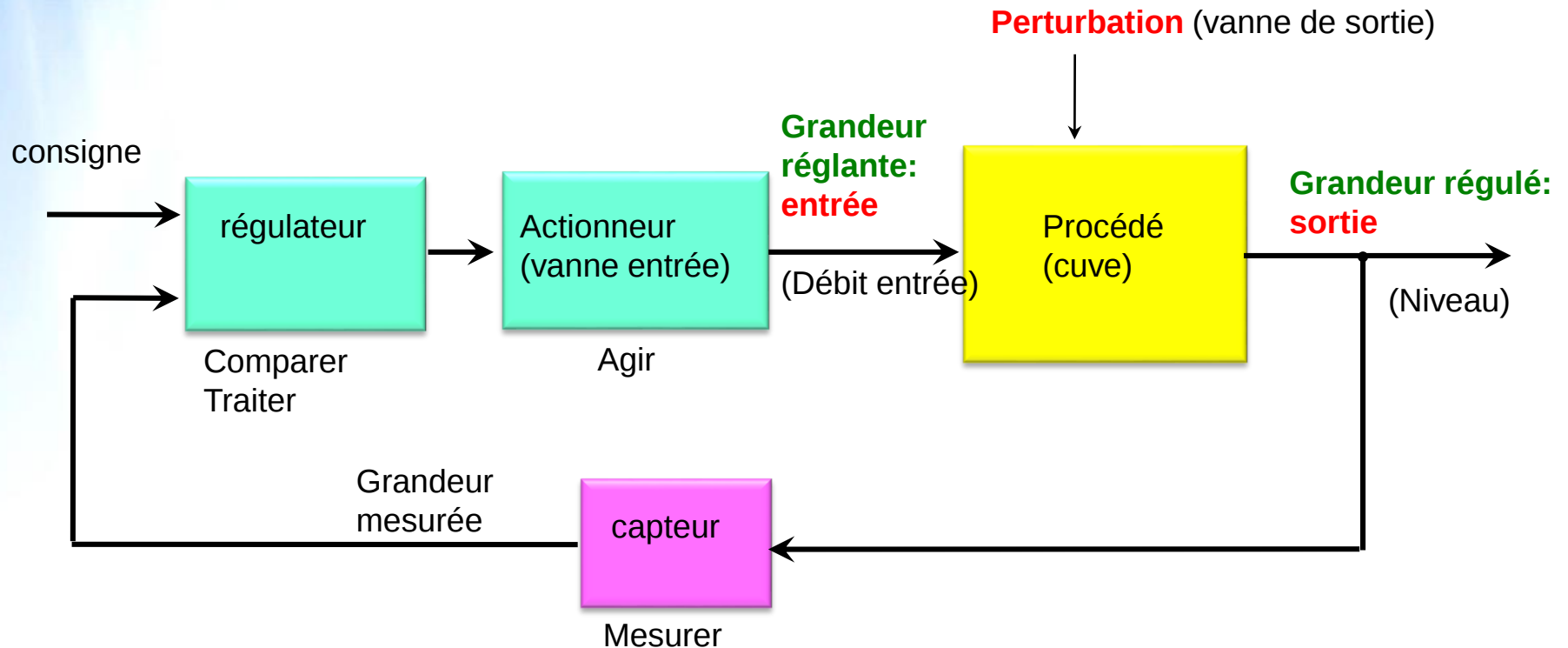
Exemple de la boucle fermée (CLOSED LOOP):

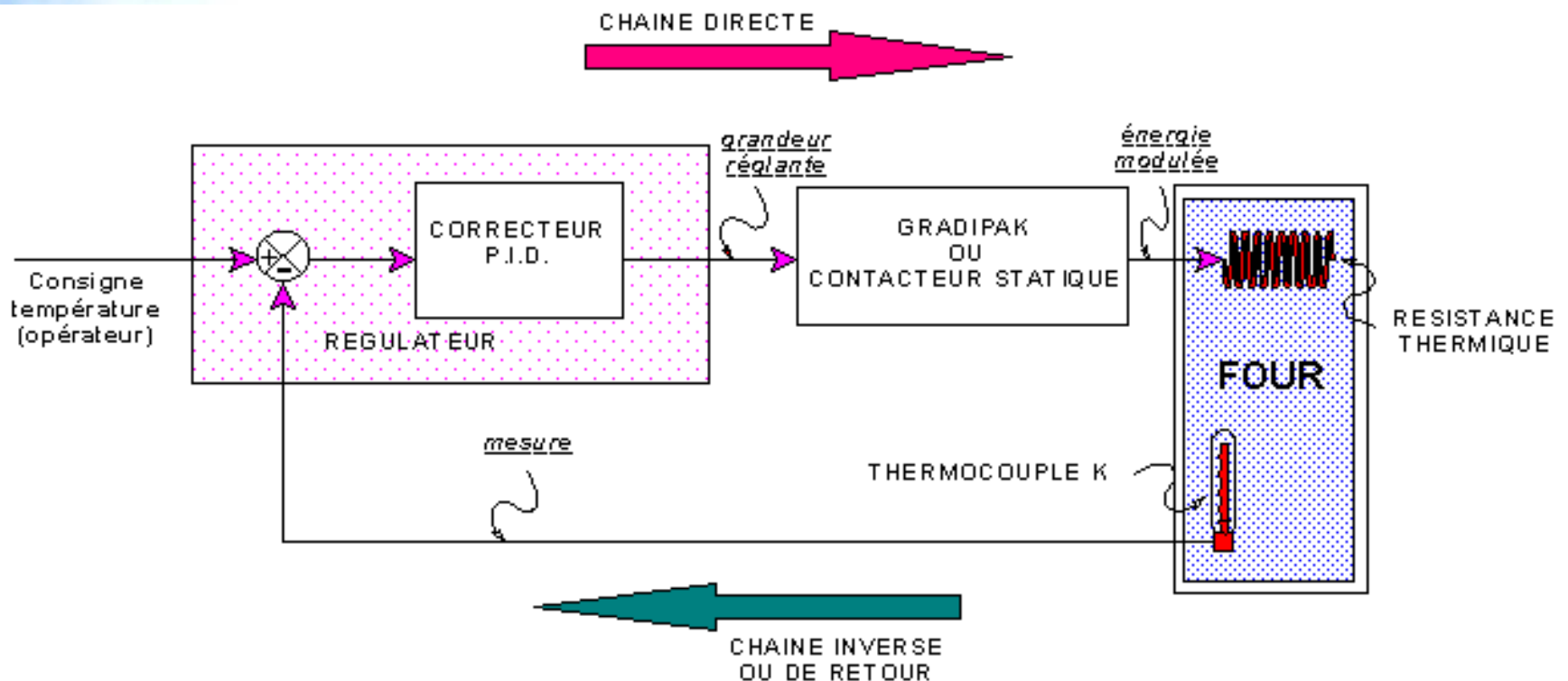
Le réglage de la température en agissant sur un organe de réglage (la vanne) en fonction de l'écart entre la valeur désirée et la valeur réelle..



- 19

- Le système de régulation de niveau précédent peut être schématisé comme suit

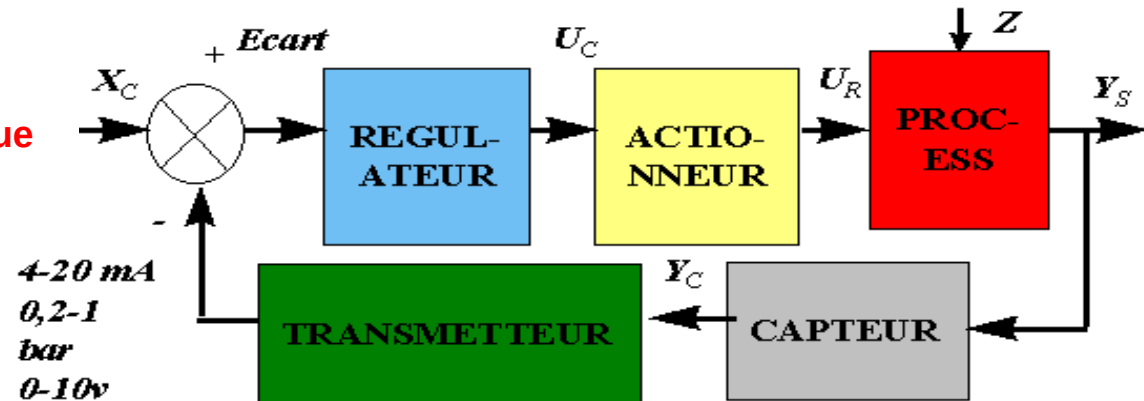


Exemple 2: Régulation de température:

7. Régulation analogique/ Régulation Numérique

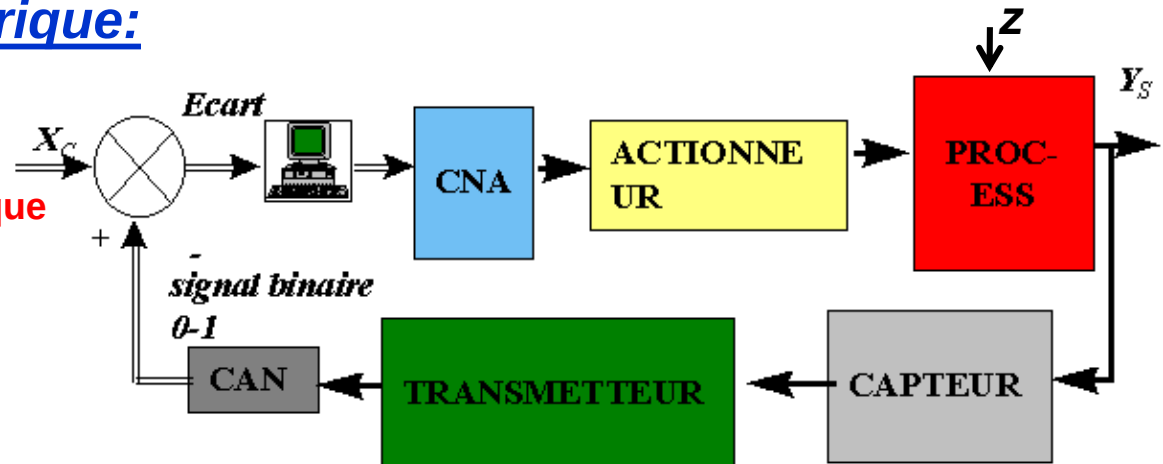
a) Régulation analogique:

Consigne (objectif):
Signal de référence analogique



b) Régulation numérique:

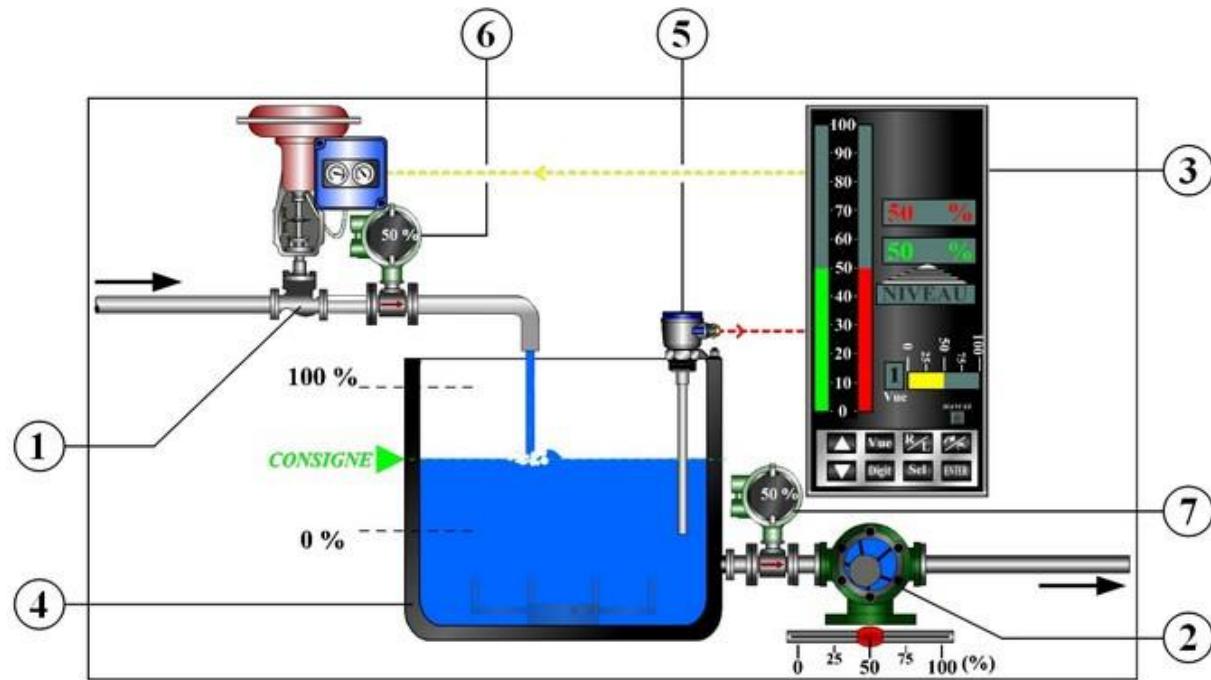
Consigne (objectif):
Signal de référence numérique

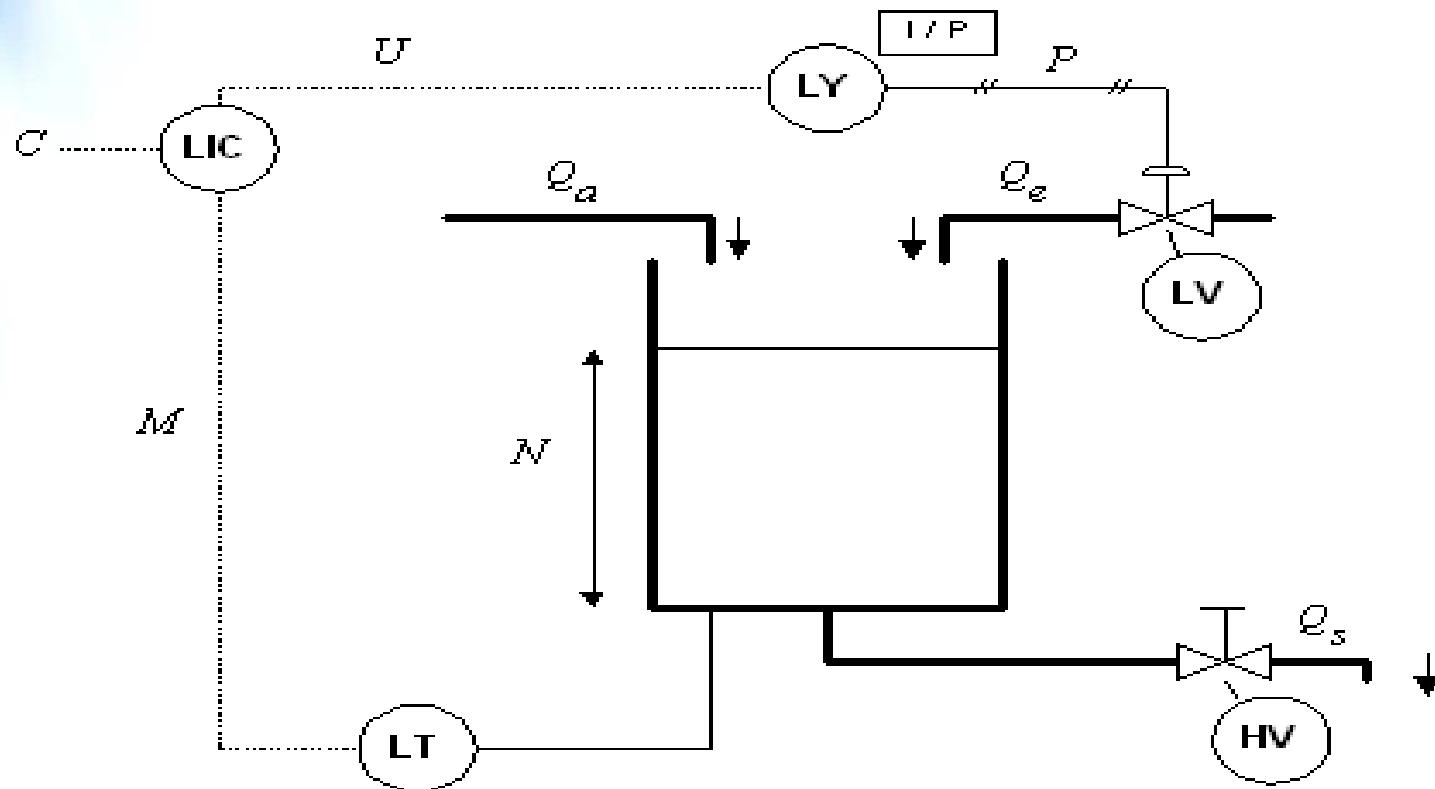


8. Schéma TI (Tuyauteries et Instruments)

8.1 Exemple introductif: régulation de niveau

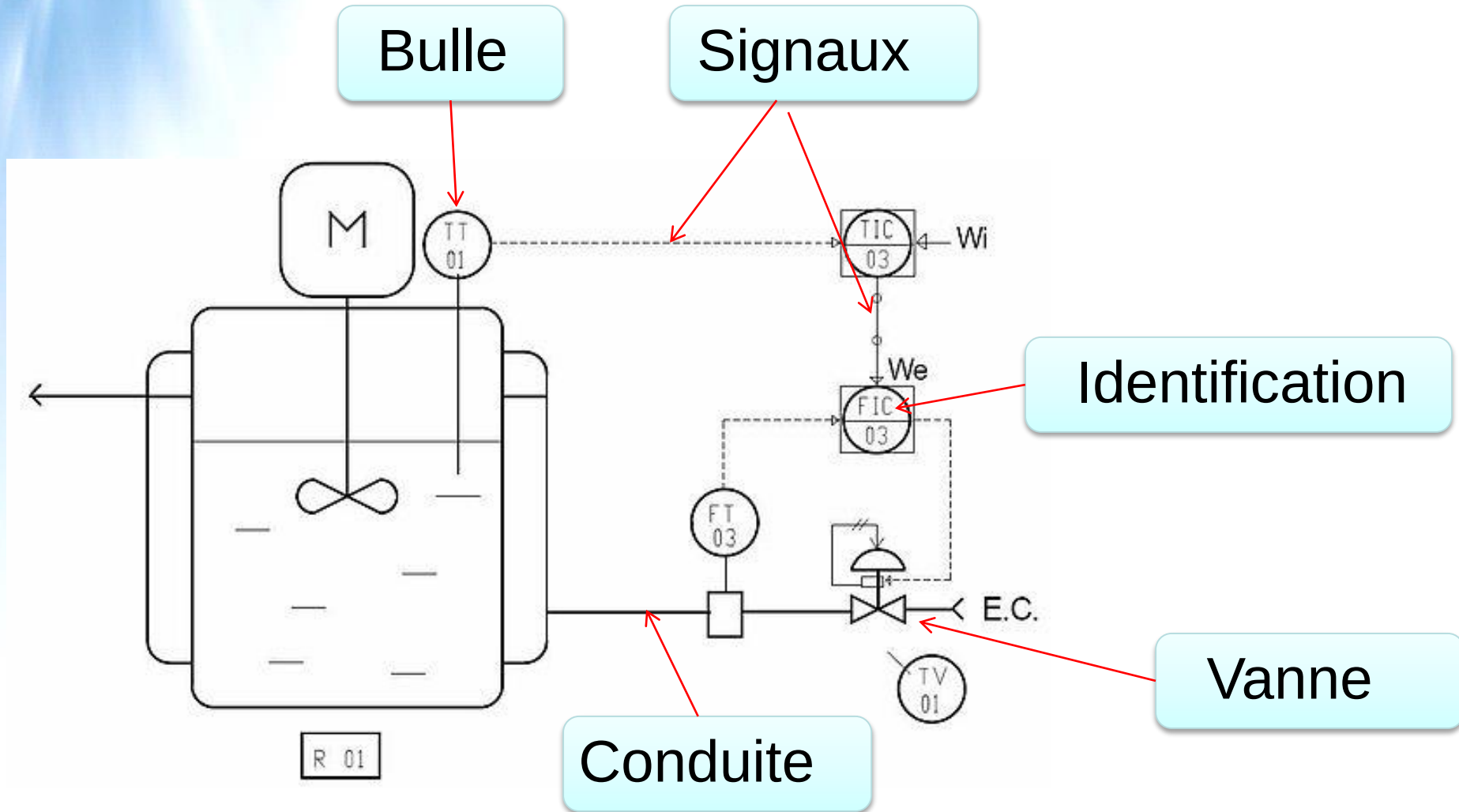
- 1 : Vanne d'entrée
- 2 : Vanne de sortie
- 3 : Régulateur électronique
- 4 : Réservoir
- 5 : Capteur de niveau
- 6 : Indicateur de débit d'eau entrante
- 7 : Indicateur de débit d'eau sortante

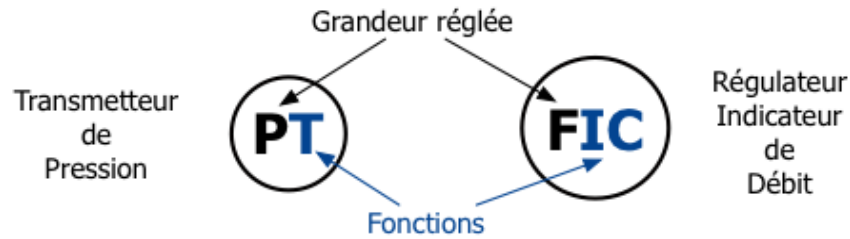




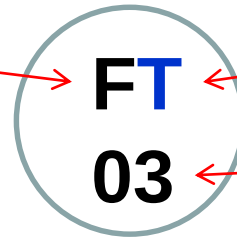
- Parmi l'ensemble de la documentation d'un procédé industriel, on devrait retrouver des indications sur l'instrumentation raccordée au procédé.
 - Ce qui est utile pour la maintenance;
 - Ce qui permet de mieux comprendre le procédé pour l'ingénieur de procédé.

- Le schéma TI (*Tuyauteries et Instruments*) ou P&ID (PID: *Piping and Instrumentation Diagram*) est un schéma faisant apparaître :
 - les appareils (cuves, échangeurs...),
 - les organes de puissance (pompes, agitateurs...),
 - la nature et sens d'écoulement des fluides,
 - les grandeurs physiques utiles
 - les appareils de mesure,
 - les appareils de contrôle et de calcul et les actionneurs.
 - les liaisons entre ces divers appareils.





Grandeur réglée: Débit
(Flow)



Fonction; Transmetteur

N° de boucle

Transmetteur de débit dans la boucle de régulation N°3

Remarque: Le niveau actif peut être également indiqué :

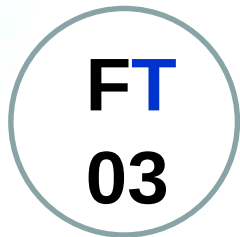
L : Bas (Low)

H : Haut (High)

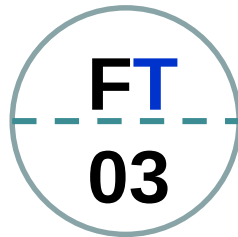
LL : Très bas (Low Low)

HH : Très haut (High High), etc

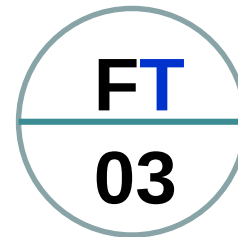
La représentation des appareils de mesure utilise un cercle, avec indication de la localisation de l'appareil, conforme à la règle suivante



Montage sur site



**Montage en local
technique**



**Montage en salle de
contrôle (de supervision)**

Quelques variables

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

Exemples de quelques appareils utilisés

PT

: Transmetteur de pression

LT

: Transmetteur de niveau

FT

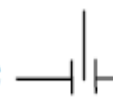
: Transmetteur de débit

TT

: Transmetteur de température

PDT

: Transmetteur de pression différentielle



: Diaphragme
(capteur de débit)

AT

: Transmetteur d'analyse
(Analyseur)

LR

: Enregistreur de niveau

FE

: Capteur de débit

TE

: Capteur de température

TI

: Indicateur de température

PI

: Indicateur de pression

LSH

: Sécurité (sur) niveau haut

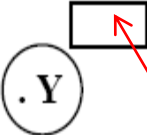
PAL

: Alarme (sur) basse pression

- Liaison au procédé
- - - - - Liaison par signal électrique
- //——//—— Liaison par signal pneumatique
- . - . - . - . - Transmission numérique (binaire)

8.7. Représentation des appareils de calcul

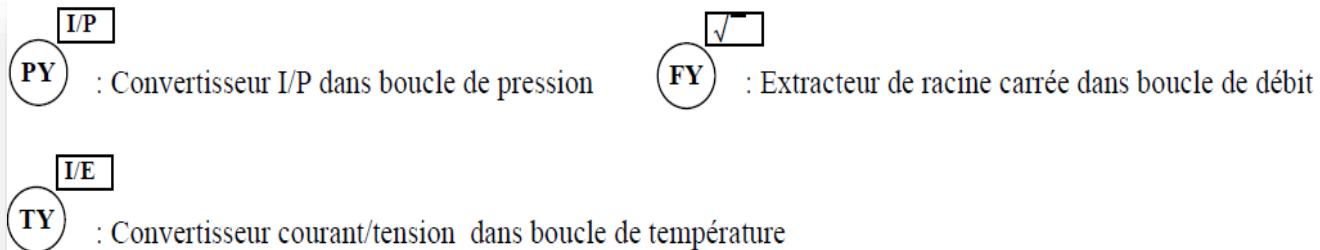
- La première lettre indique toujours la **grandeur réglée**. La fonction (2ème lettre) est ici représentée par **Y** (fonction mathématique : calcul, conversion ...)

Forme générale : 

Dans le *cadre*, indiquer la *fonction mathématique* ou le *calcul* réalisé
Remplacer le "point" par la grandeur réglée.

Σ Sommateur ; $\sqrt{\quad}$ Extracteur de racine carrée ; $\int$ Intégrateur ; $\times$ Multiplication ; $+$ Addition ;
- Soustraction ; % Proportion ou division ; A/R Module avance/retard ; I/P Conversion intensité / pression

Exemples:



- **1^{ère} lettre** : grandeur réglée. En 2^{ème} ou 3^{ème} lettre : lettre **C** (Control en anglais ; régulateur en français).
- Eventuellement, **I en 2^{ème} lettre** : indicateur (c'est-à-dire présence d'une face avant, d'un "écran").

Exemples:

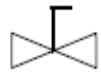
(PIC) : Régulateur indicateur de pression (TC) : Régulateur de température (AC) : Régulateur d'analyse
(FIC) : Régulateur indicateur de débit (LIC) : Régulateur indicateur de niveau

Régulateurs de procédés chimiques (analyseur régulateur) permet d'analyser et de réguler plusieurs paramètres (Temp, pression, concentration, ...)

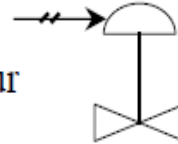
8.9. Représentation des organes de réglage :



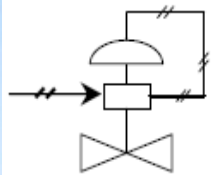
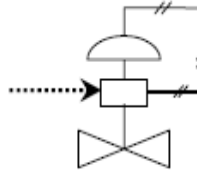
: Vanne manuelle



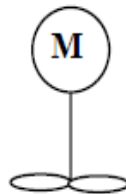
: Vanne ¼ tour



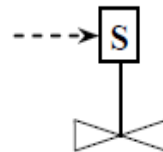
: Vanne automatique ; servomoteur à membrane

: Vanne de régulation
avec positionneur pneumatique: Vanne de régulation
avec positionneur électro-pneumatique

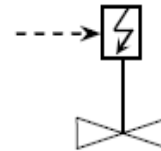
: Moteur



: Agitateur



: Vanne Solénoïde



: Electrovanne



: Pompe centrifuge



: Pompe volumétrique

: Actionneur non référencé
(dans boucle de température)

8.10. Tableau des symboles graphiques

	Grandeur physique mesurée Première lettre	Fonction d'instruments Autres lettres		Grandeur physique mesurée Première lettre	Fonction d'instruments Autres lettres
A	<u>Analyse</u>	<u>Alarme</u>	N	Nombre d'objets	
B	Flamme de brûleur	Au choix de l'utilisateur	O	Emploi laissé aux choix de l'utilisateur	Restriction
C	Conductivité électrique	<u>Régulateur</u>	P	<u>Pression</u>	Prise de test
D	Masse volumique / densité	<u>Différentiel</u> (différence)	Q	Quantité	Intégration / totalisation
E	<u>Tension</u> , Force électromotrice	<u>Capteur</u> (Élément primaire)	R	rayonnement nucléaire	<u>Enregistreur</u>
F	<u>Débit</u>	<u>Rapport</u> (fraction), fermé	S	Vitesse ou fréquence	Commutation, <u>sécurité</u>
G	Dimension	Glace (sans mesure)	T	<u>Température</u>	<u>Transmetteur</u>
H	Commande manuelle	<u>H - Haut HH - Très haut</u>	U	Multivariables	Multifonctions
I	<u>Intensité de courant électrique</u>	<u>Indicateur</u>	V	Viscosité	<u>Vanne</u>
J	Puissance	Scrutation	W	Poids / force	Gaine
K	Temps	Poste de contrôle	X	Variable non classée	Automatisme
L	<u>Niveau</u>	<u>L - Bas LL - très bas</u> Lampe témoin	Y	Emploi laissé aux choix de l'utilisateur	Relais : <u>calcul mathématique</u>
M	Teneur en eau / humidité	Moyen Intermédiaire	Z	Position	<u>Actionneur (non référencé)</u>

Figure 1 :
Schéma PCF TI d'un échangeur thermique
(ou schéma PID)

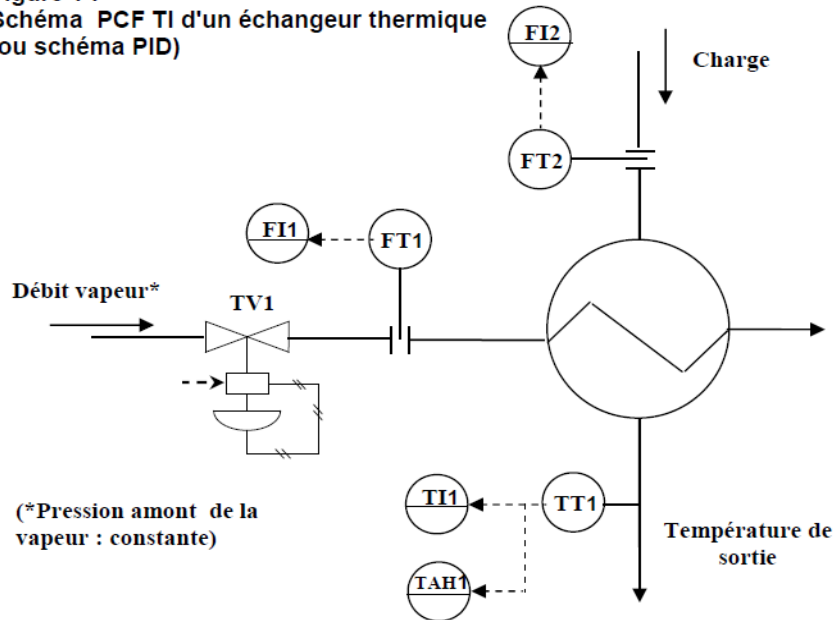


Figure 2 :
Schéma PCF TI d'un bac de stockage

