

## 1.1 Incitation au contrôle automatique d'un procédé industriel-objectifs

Contrôler automatiquement ou automatiser un procédé industriel c'est le faire fonctionner en réduisant au minimum l'intervention manuelle par l'emploi d'appareils ou dispositifs automatiques : Régulateur, Ordinateur, Automate ou API, Détecteur, Capteur-transmetteur, Vanne automatique, etc...

# **Chapitre 1 : Introduction au contrôle automatique d'un procédé industriel**

## **1. Contrôle/régulation automatique d'un procédé**

- 1.1 Incitation au contrôle automatique d'un procédé industriel-objectifs
- 1.2 Schéma de principe d'un procédé industriel-Schéma bloc
- 1.3 Asservissement/Régulation automatique d'un procédé-Exemples
- 1.4 Signaux de communication-câblage
- 1.5 Vannes automatiques

## **2. Qualités attendues d'une régulation automatique**

- 2.1 Stabilité
- 2.2 Précision
- 2.3 Rapidité
- 2.4 Compromis précision-rapidité

**Réf** : 1 : <http://www.gch.iut-tlse3.fr/>

2 : G.Stephanopolos, 1984.Chemical Process Control : An introduction to theory and pratctice.Prentice-Hall International Editions.

## 1.1 Incitation au contrôle automatique d'un procédé industriel-objectifs

Deux types d'automatisation d'un procédé :

-Automatisation par logique combinatoire et séquentielle, câblée ou programmée :

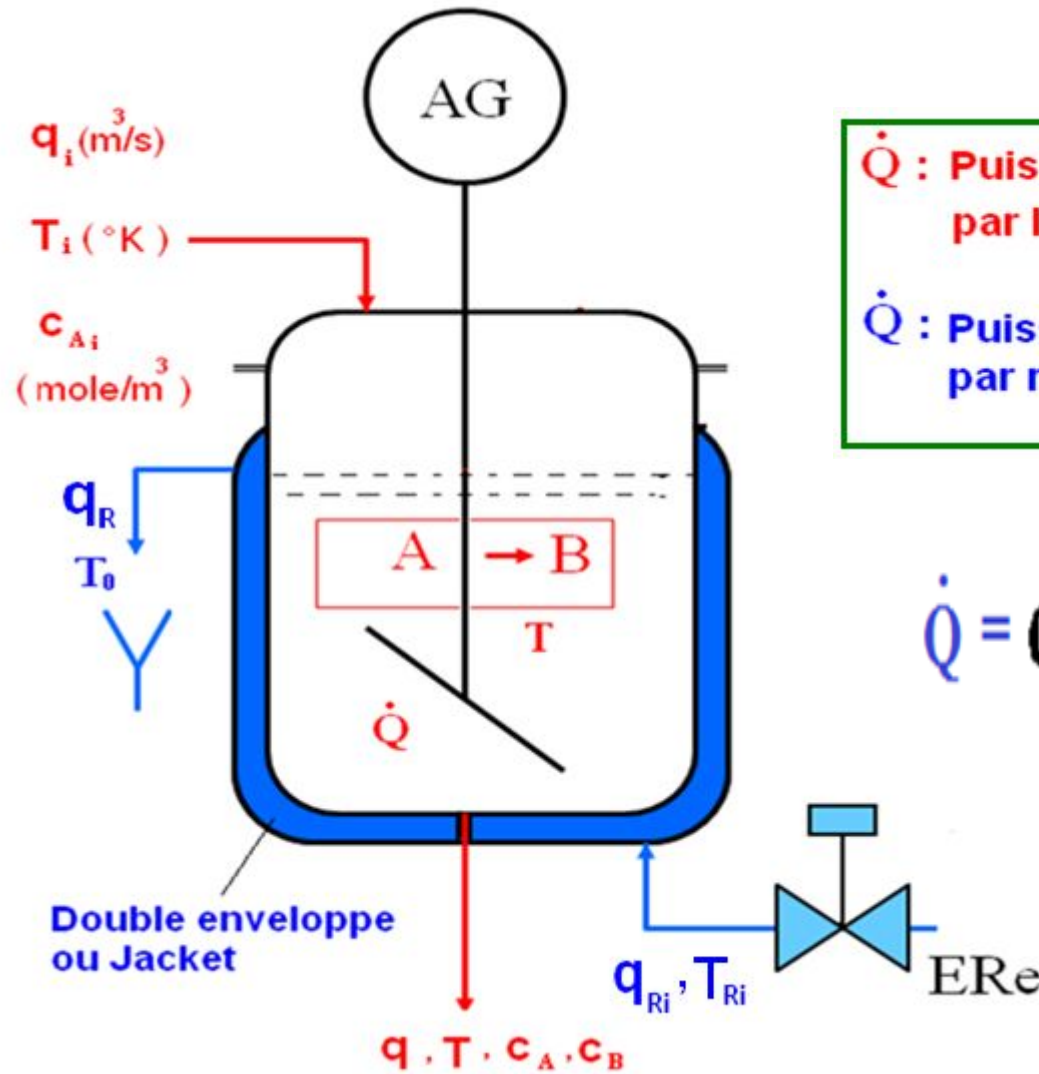
Cette automatisation n'a pas nécessairement une structure bouclée ,par exemple une machine à laver automatique. Ce type d'automatisation est utilisé pour gérer les phases de sécurité et les phases utilitaires de démarrage et d'arrêt d'un procédé industriel.

## 1.1 Incitation au contrôle automatique d'un procédé industriel-objectifs

### -Automatisation en asservissement/régulation :

Elle commande le procédé en poursuite ou en régulation, cette automatisation a obligatoirement une structure bouclée, par exemple une régulation de niveau , de température,...

**Exemple 1 :** Système ou Procédé = Réacteur 'CSTR' instable.  
 Réaction exothermique irréversible :  $A \longrightarrow B$

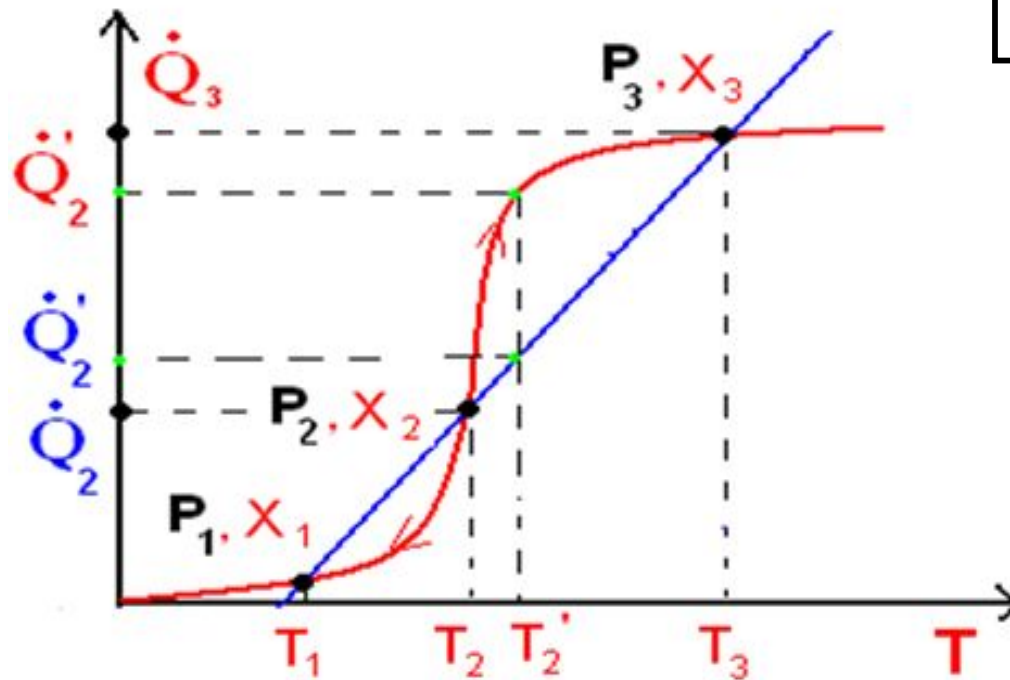


$\dot{Q}$  : Puissance dégagée par la réaction (J/s ou W)  
 $\dot{Q}$  : Puissance à évacuer par refroidissement (J/s ou W)

$$\dot{Q} = q_i \ell C_p (T - T_i) + UA(T - T_j)$$

Varie linéairement avec T

## Trois points de fonctionnement possibles $P_1, P_2$ et $P_3$



$\dot{Q}$  : courbe en sigmoïde

$X$  : Taux de conversion

$$C_A = C_{A_i}(1-X)$$

$$X_3 > X_2 > X_1$$

$P_1$  : Point de fonctionnement froid  $\Rightarrow$  mauvais rendement

$P_3$  : Point de fonctionnement chaud  $\Rightarrow$  dangereux car risque de dégradation du catalyseur, du produit B, etc....

$P_2$  : Point de fonctionnement acceptable  $\Rightarrow$  malheureusement instable !!!

Le réacteur fonctionne en  $P_2$

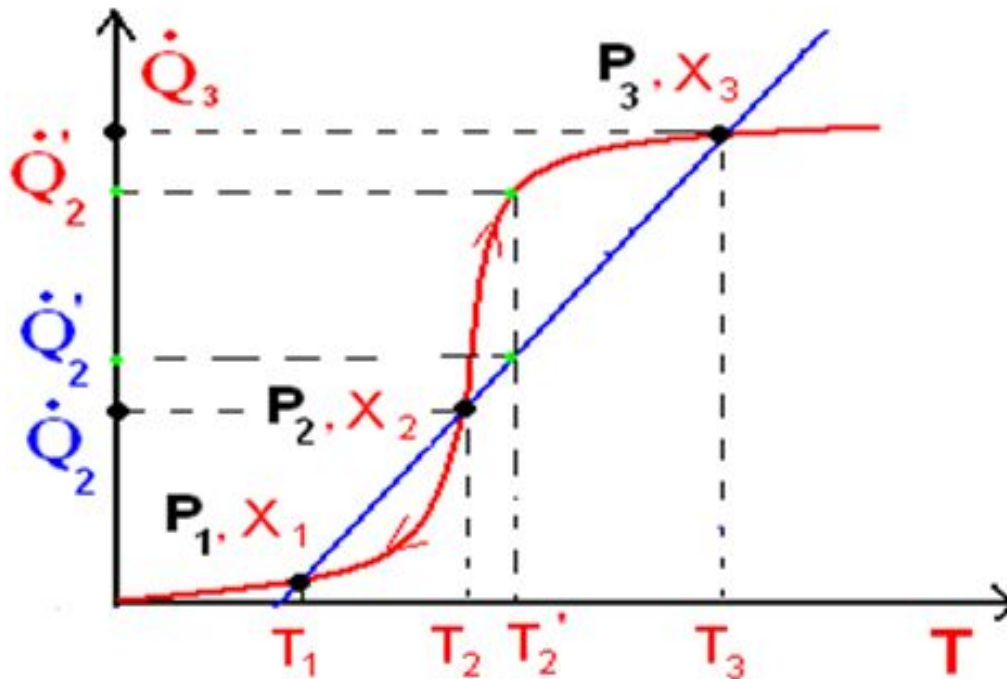


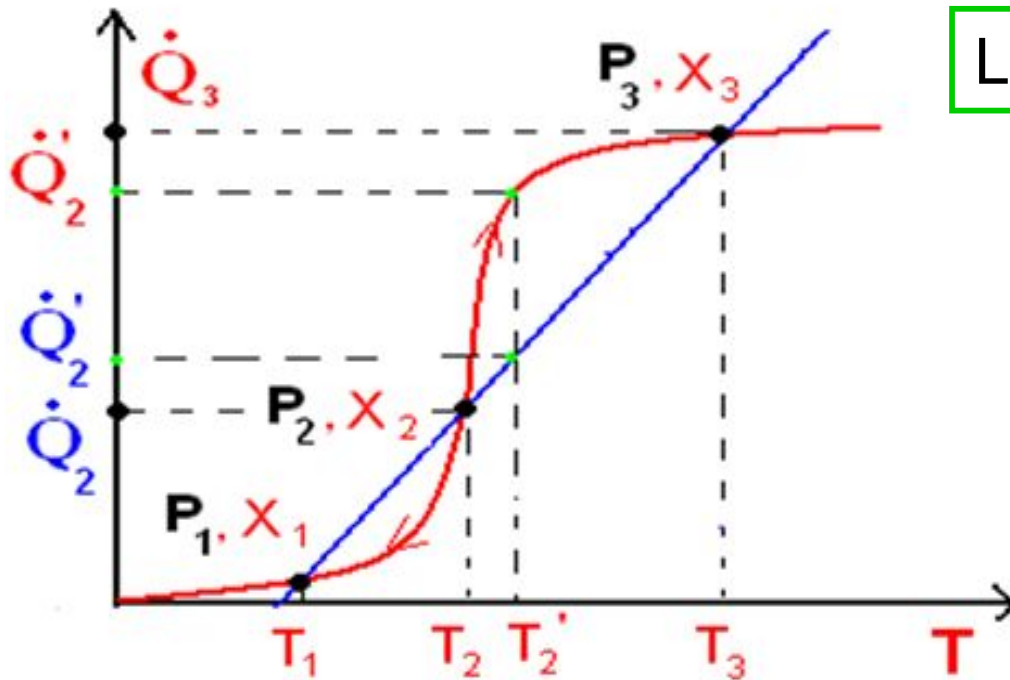
Si  $T_i$  augmente  
la température du réacteur  
passe de  $T_2$  à  $T'_2$

$$\dot{Q}_2 > \dot{Q}'_2$$



Emballement du réacteur de  
 $P_2$  à  $P_3$  (indésirable)





Le réacteur fonctionne en  $P_2$

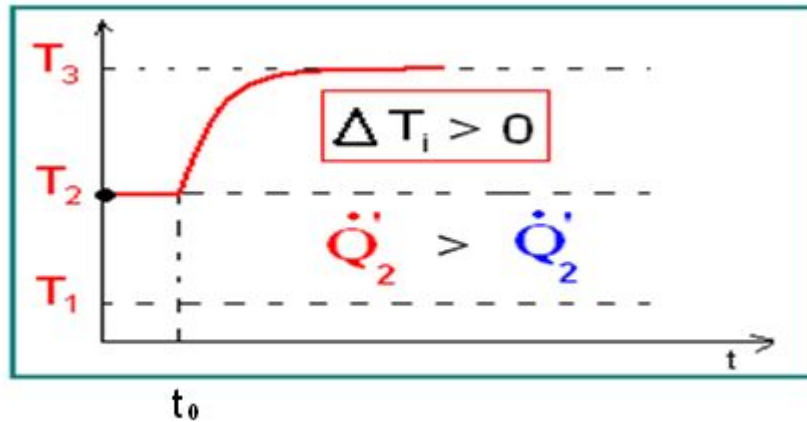


Si  $T_i$  diminue

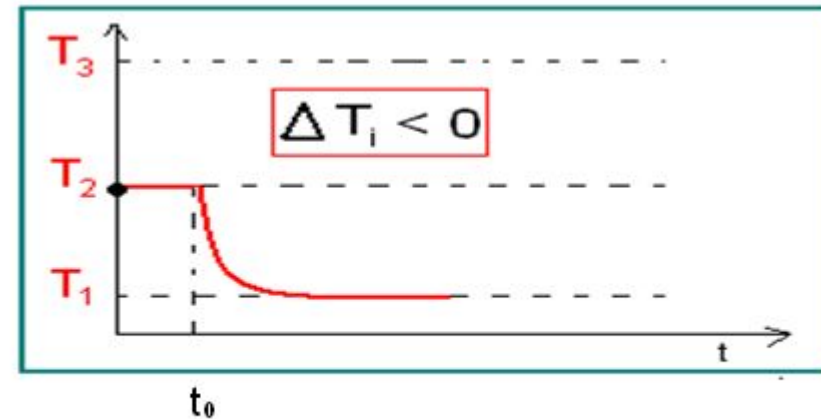
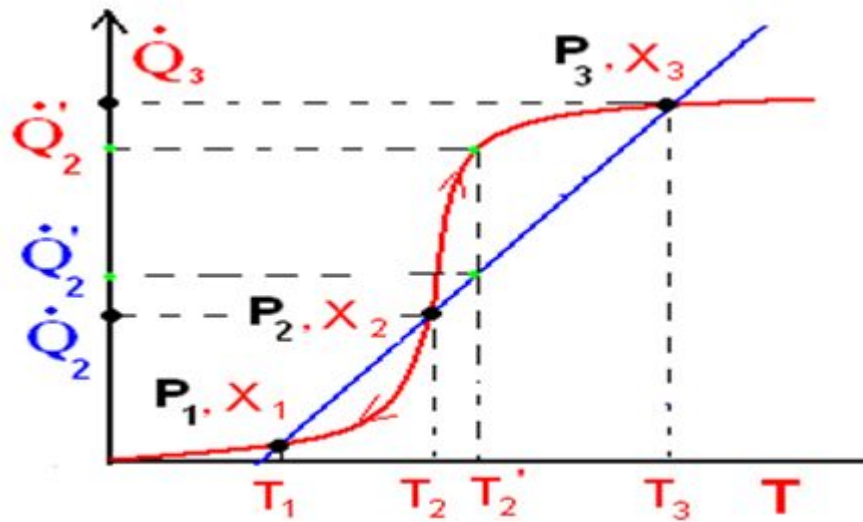


Extinction du réacteur en passant du  $P_2$  à  $P_1$



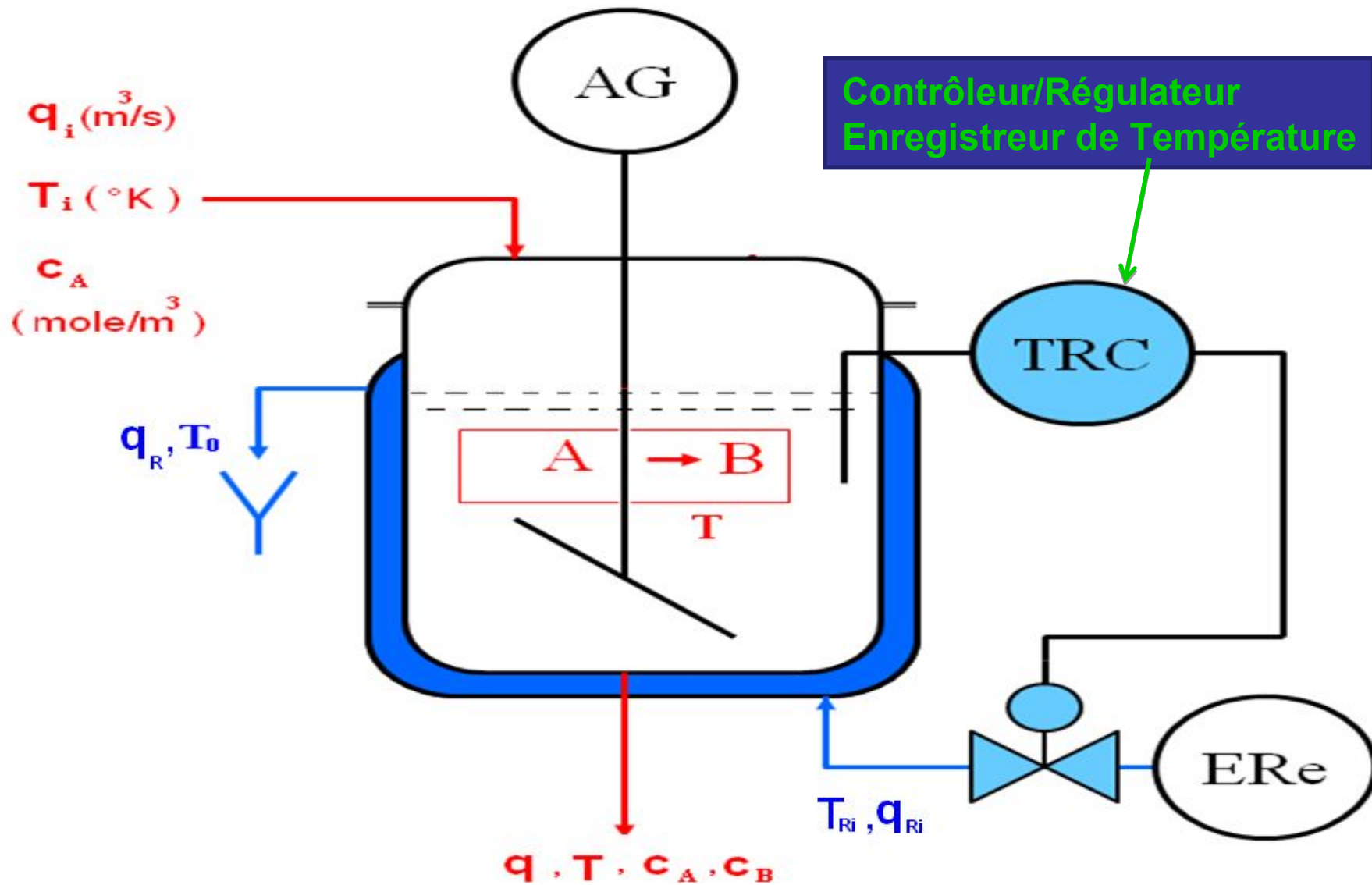


$P_2$  : Point de fonctionnement instable



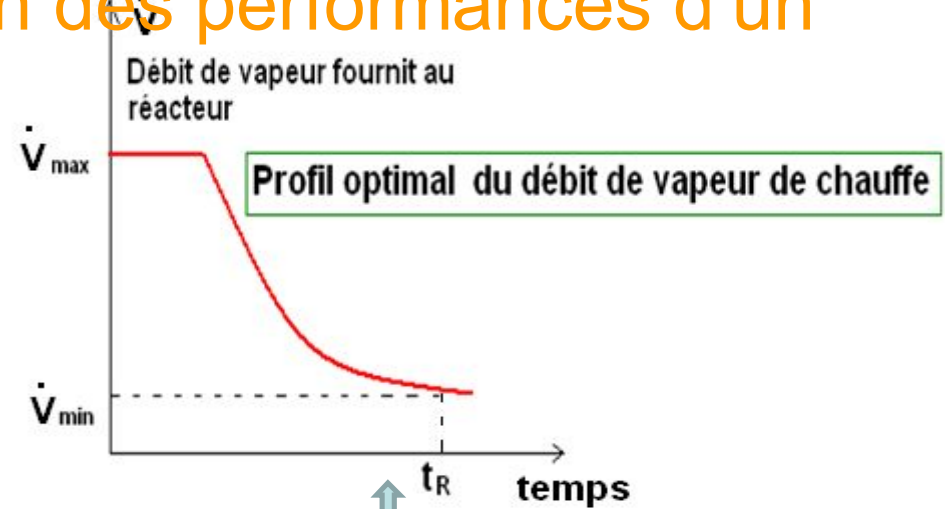
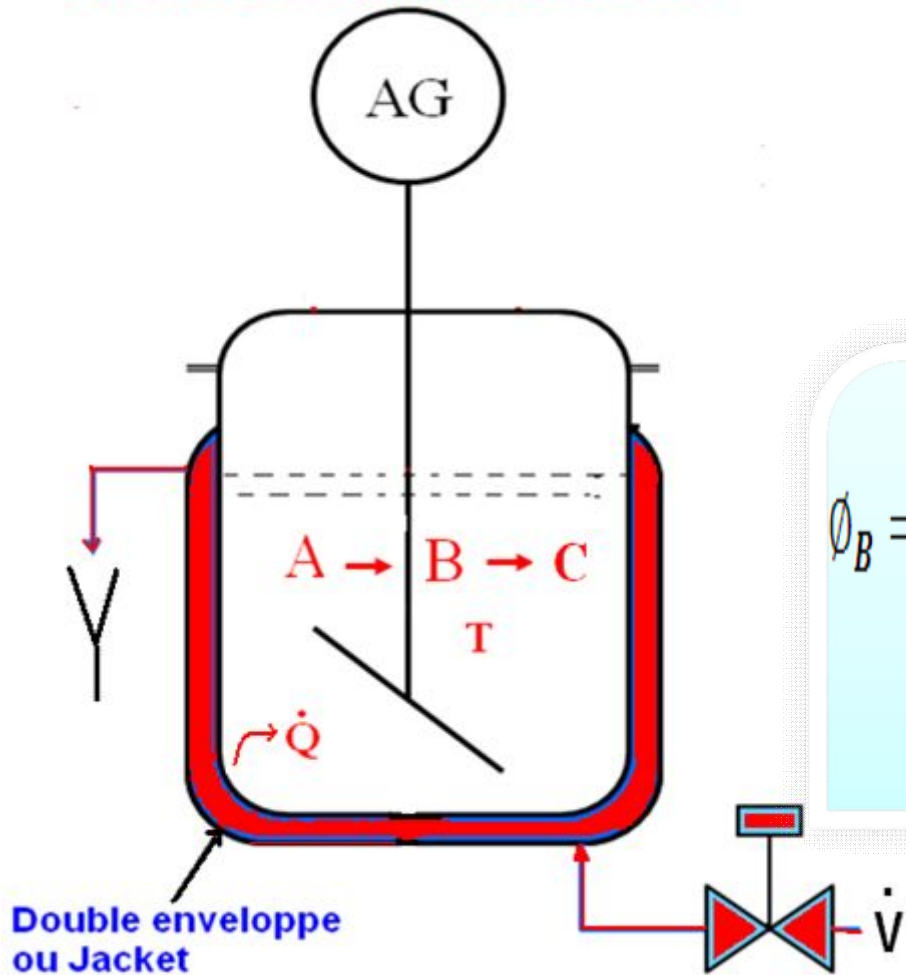
**Conclusion** : on a besoin d'un système de commande/contrôle en régulation pour stabiliser le réacteur au point de fonctionnement instable  $P_2$

# Stabilisation du réacteur 'CSTR' au point de fonctionnement $P_2$ par régulation automatique de la température



# Exemple 2 : Optimisation des performances d'un procédé industriel

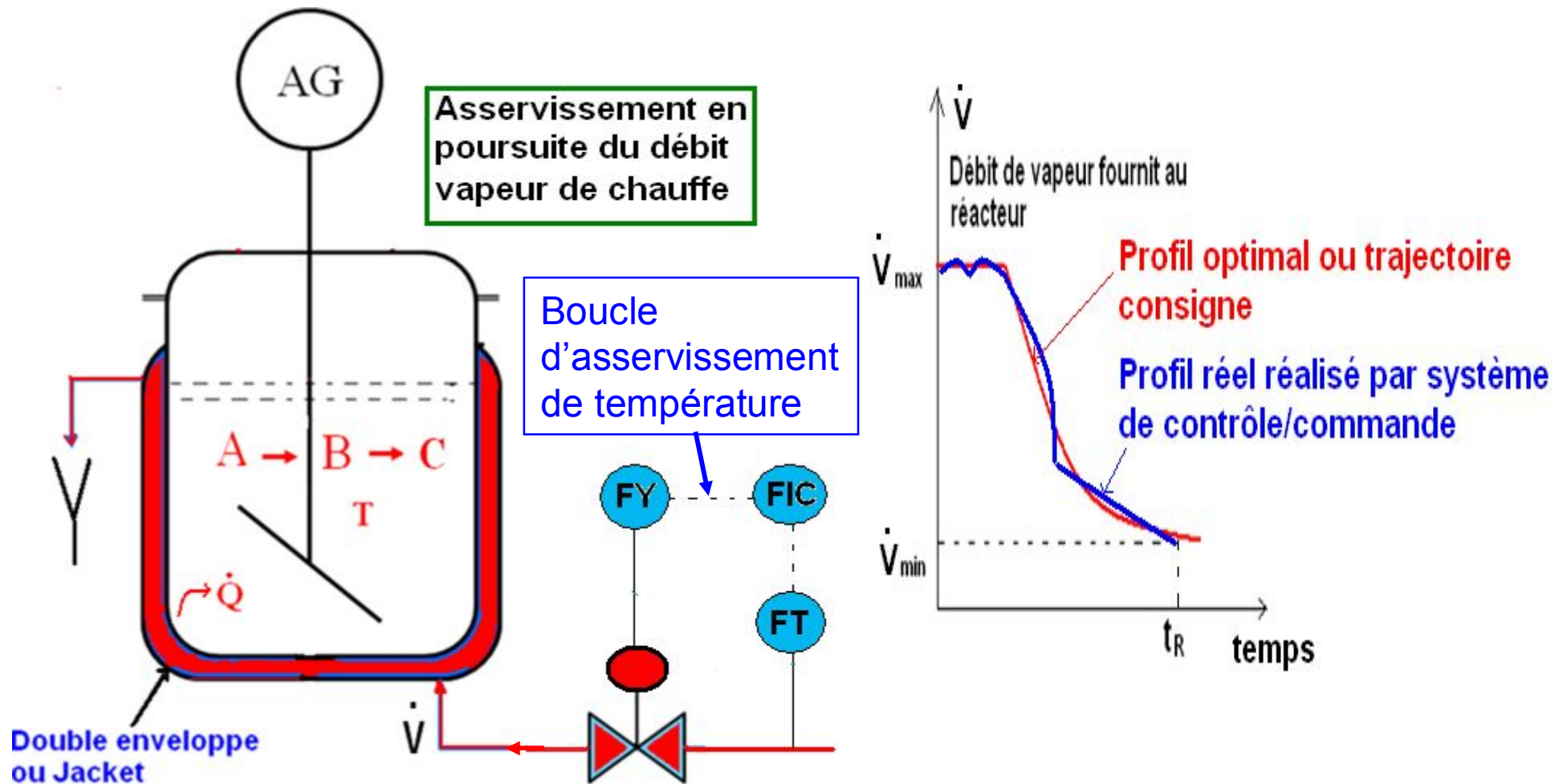
Réacteur uniforme 'Batch reactor'  
2 réactions endothermiques consécutives



$$\Phi_B = \int_0^{t_R} \{ \text{recettes des ventes } B - (\text{coût de vapeur} + \text{prix d'achat } A) \} dt$$

Maximiser le profil de B sur une période  $t_R$

**Conclusion:** on a besoin d'un système de contrôle/commande en asservissement pour faire évoluer (poursuite) le débit de vapeur consommée selon le profil optimal



# Objectifs du contrôle automatique d'un procédé industriel

Stabiliser un procédé le plus près possible de son point de fonctionnement optimal dicté par :

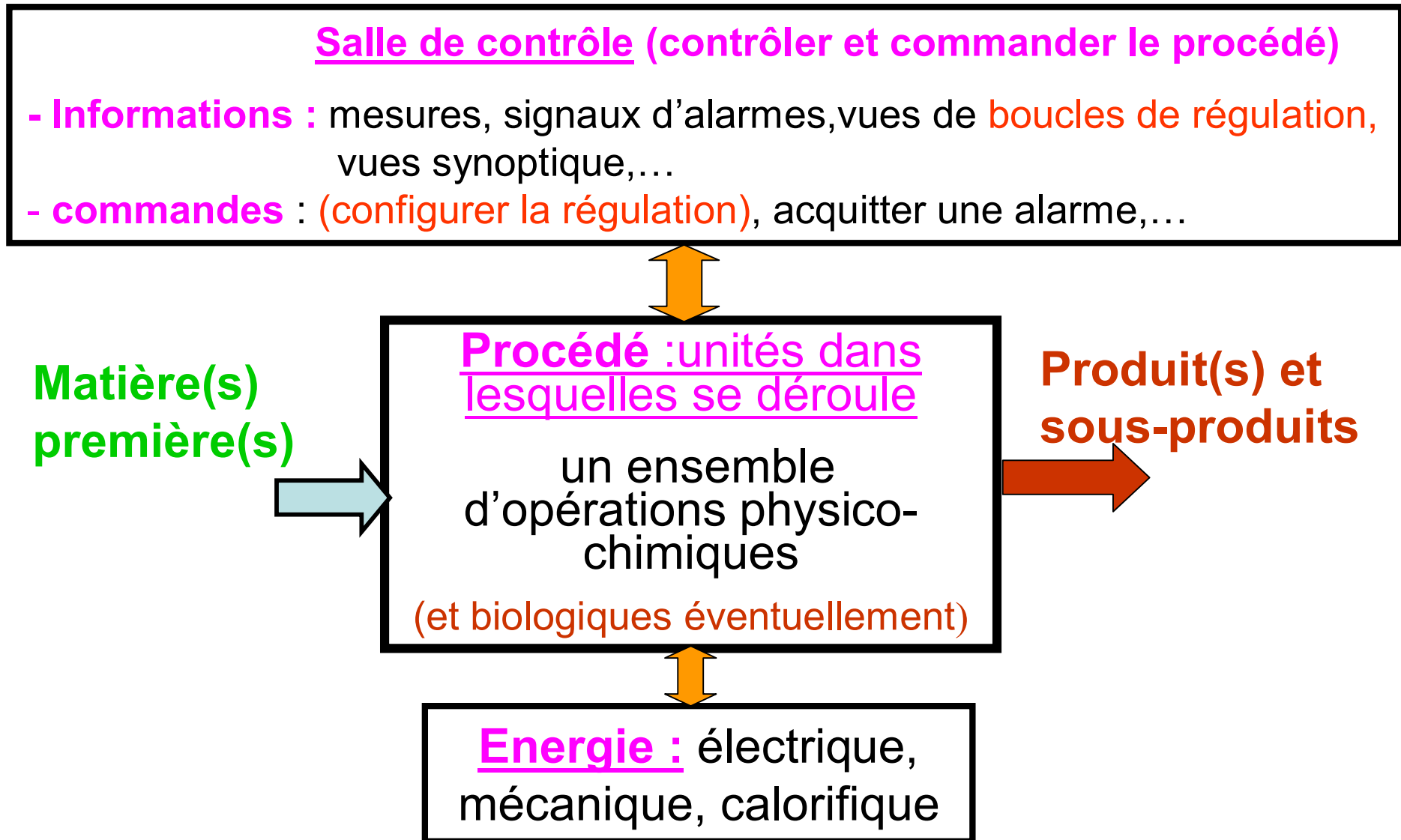
❶ **La sécurité** : Assurer d'une part la sécurité du personnel en minimisant son intervention près des installations et produits dangereux et d'autre part la sécurité des unités ou installations en les automatisant, ce qui évitera leurs pannes fréquentes et permettra donc d'augmenter leur durée de vie ;

❷ **Réglementations environnementales** : respecter l'environnement en fixant par régulation automatique la composition autorisée des rejets toxiques liquide ou gazeux ;

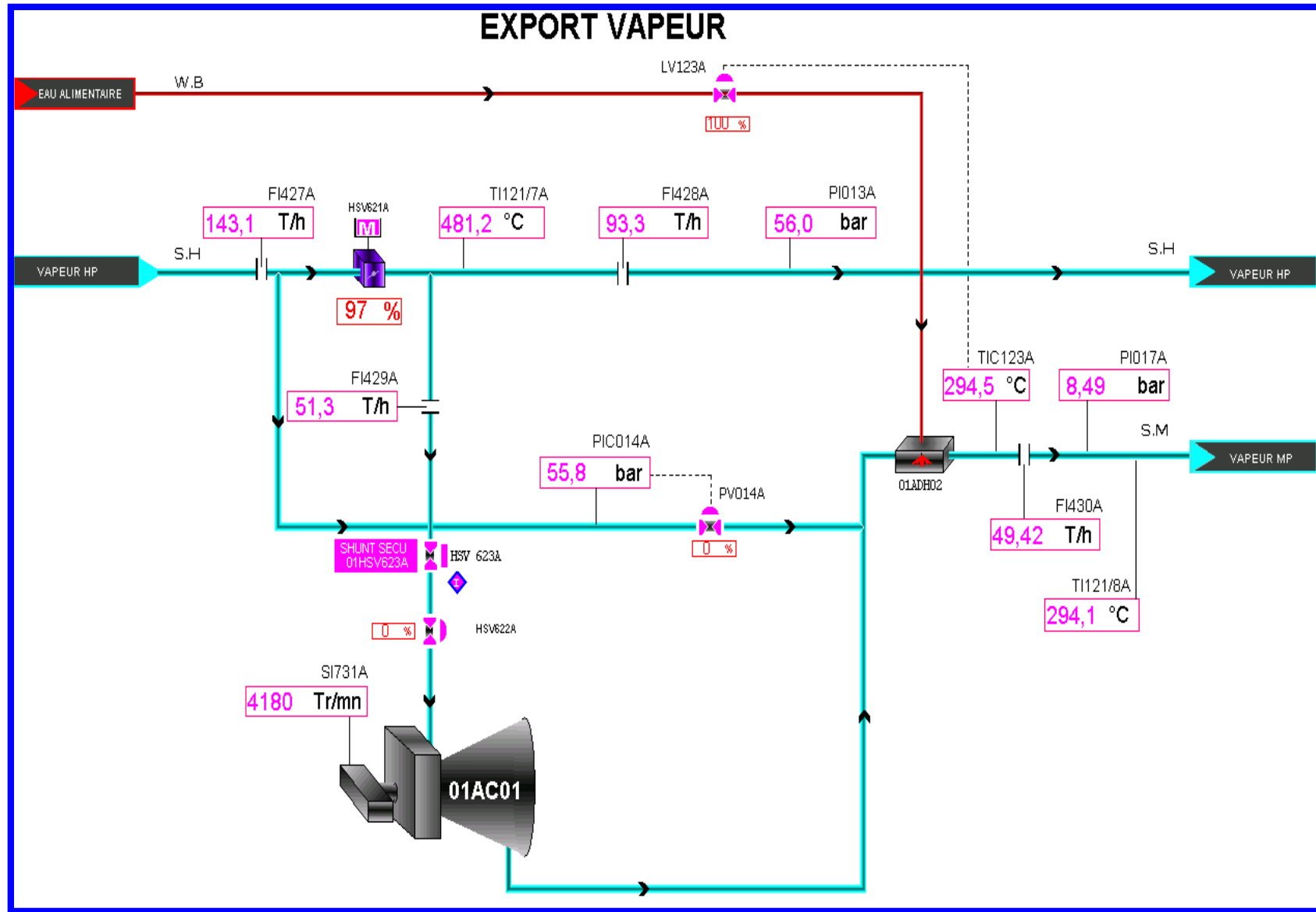
❸ **Economie** : rationaliser la consommation de la matière première et d'énergie (électrique , thermique , combustible, etc....);

❹ **Spécifications de la production** : atteindre les quantités et qualités souhaités des produits finaux ( débit en tonnes/jour, pureté, etc.)

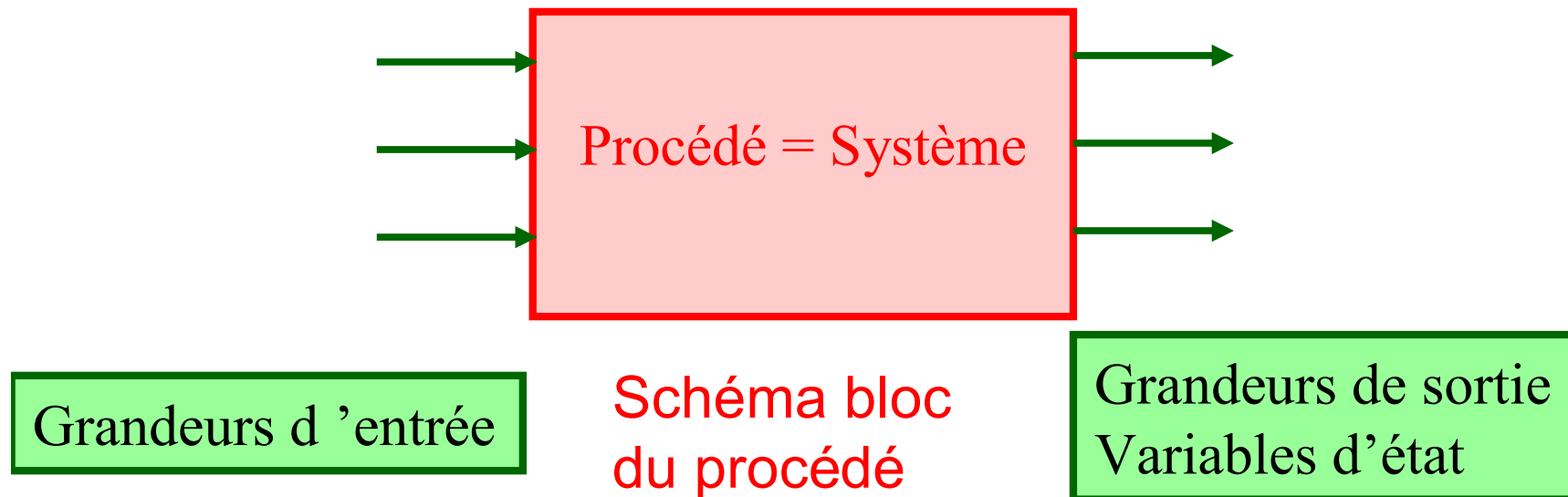
## 1.2 Schéma de principe d'un procédé industriel-Schéma bloc



# Exemple d'une vue de synoptique d'un circuit de vapeur HP et MP



L'état du procédé est caractérisé par des grandeurs physiques ou variables d'état appelées grandeurs de sortie. Toute grandeur qui modifie l'état du système (ses variables d'état) est appelée grandeur d'entrée. On représente le procédé par le schéma bloc suivant :



Grandeurs d'entrée : dénotent l'effet de l'environnement sur le procédé

Grandeurs de sortie : dénotent l'effet du procédé sur l'environnement



## Exemple

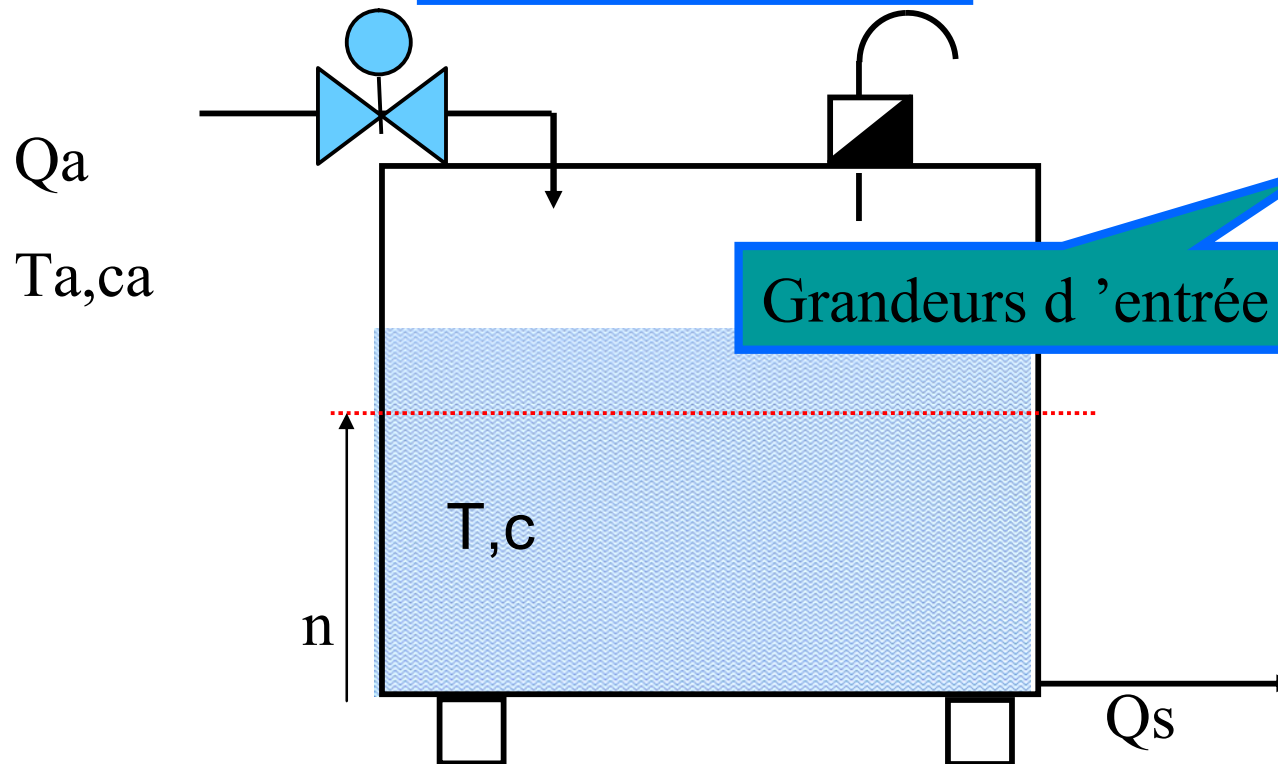
Procédé : le bac

et le produit  
qu'il contient

Des grandeurs qui caractérisent l'état du système :

- le niveau :  $n$
- la température du produit dans le bac :  $T$
- la concentration du produit :  $c$

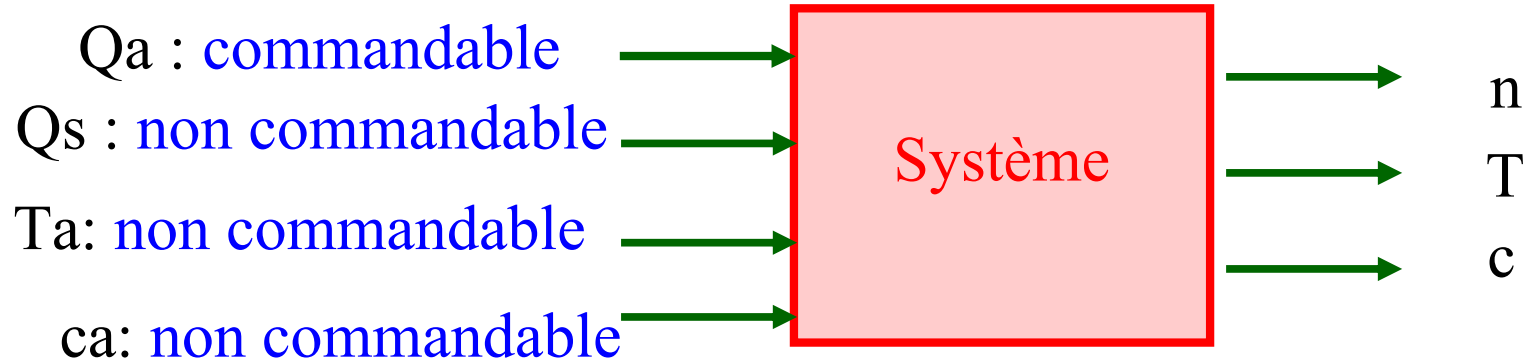
Grandeurs de sortie



Des grandeurs qui modifient l'état du système :

- le débit d'alimentation :  $Q_a$
- le débit de soutirage :  $Q_s$
- la température et la concentration du produit entrant :  $T_a, c_a$

## Schéma Bloc du niveau



Grandeurs d'entrée

Grandeurs de sortie

## 1.3 Asservissement /régulation automatique d'un procédé industriel-Exemples

### Définition

L'asservissement/régulation automatique regroupe l'ensemble des moyens matériels et techniques mis en œuvre pour maintenir automatiquement ( pas d'intervention manuelle) une grandeur physico-chimique d'un procédé (**grandeur réglée**) ,égale à une valeur désirée appelée **consigne**, quelles que soient les **perturbations** engendrées par le milieu extérieur sur ce procédé.

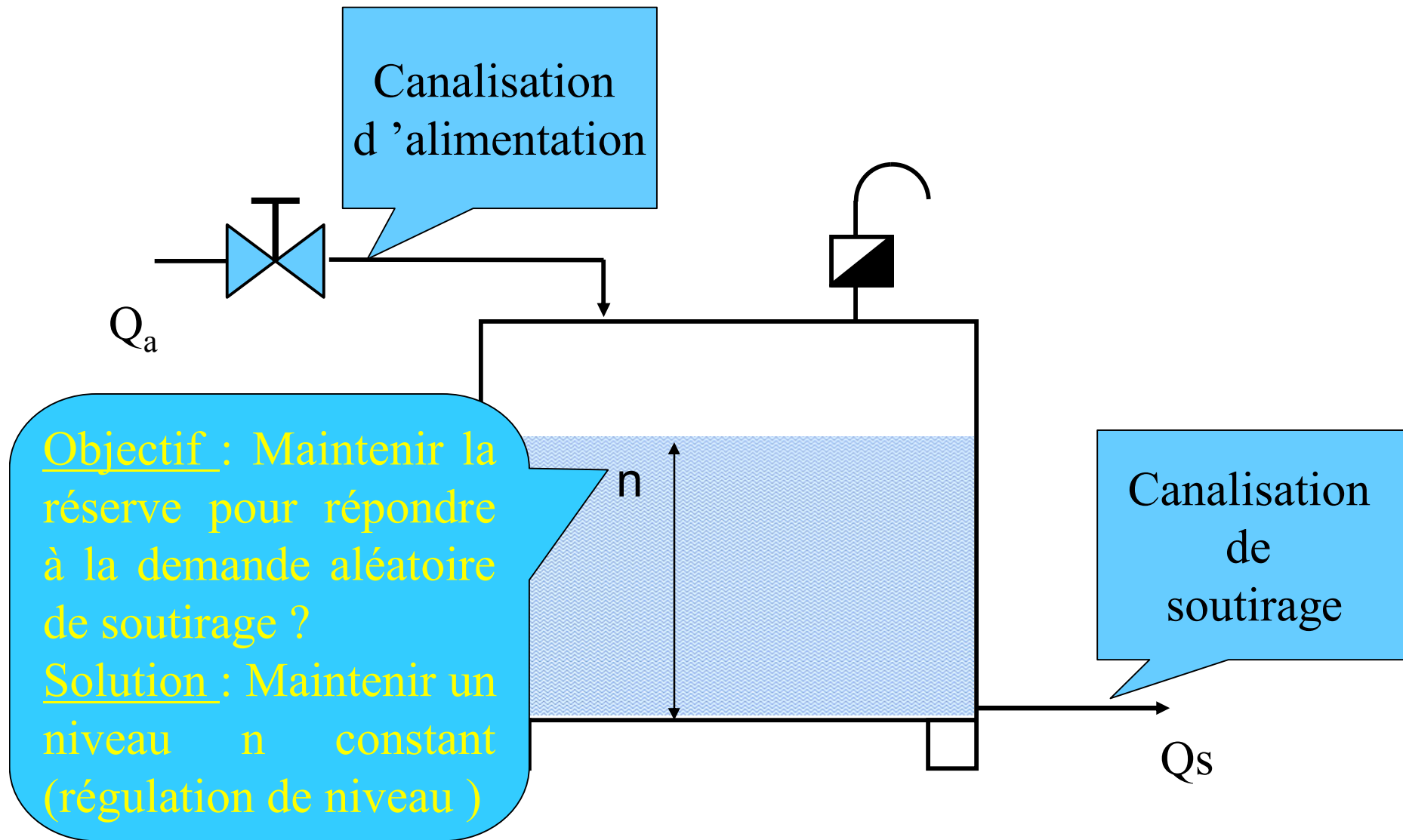
Lorsque des **perturbations** ( grandeurs d'entrée non commandables) ou un changement de **consigne** se produisent, l'asservissement/régulation automatique provoque une action correctrice sur une autre grandeur physique appelée **grandeur réglante** (grandeur d'entrée commandable), afin de ramener la grandeur réglée vers sa consigne initiale (cas de **régulation**) ou vers sa nouvelle consigne (cas d'**asservissement** ou changement de **point de fonctionnement**).

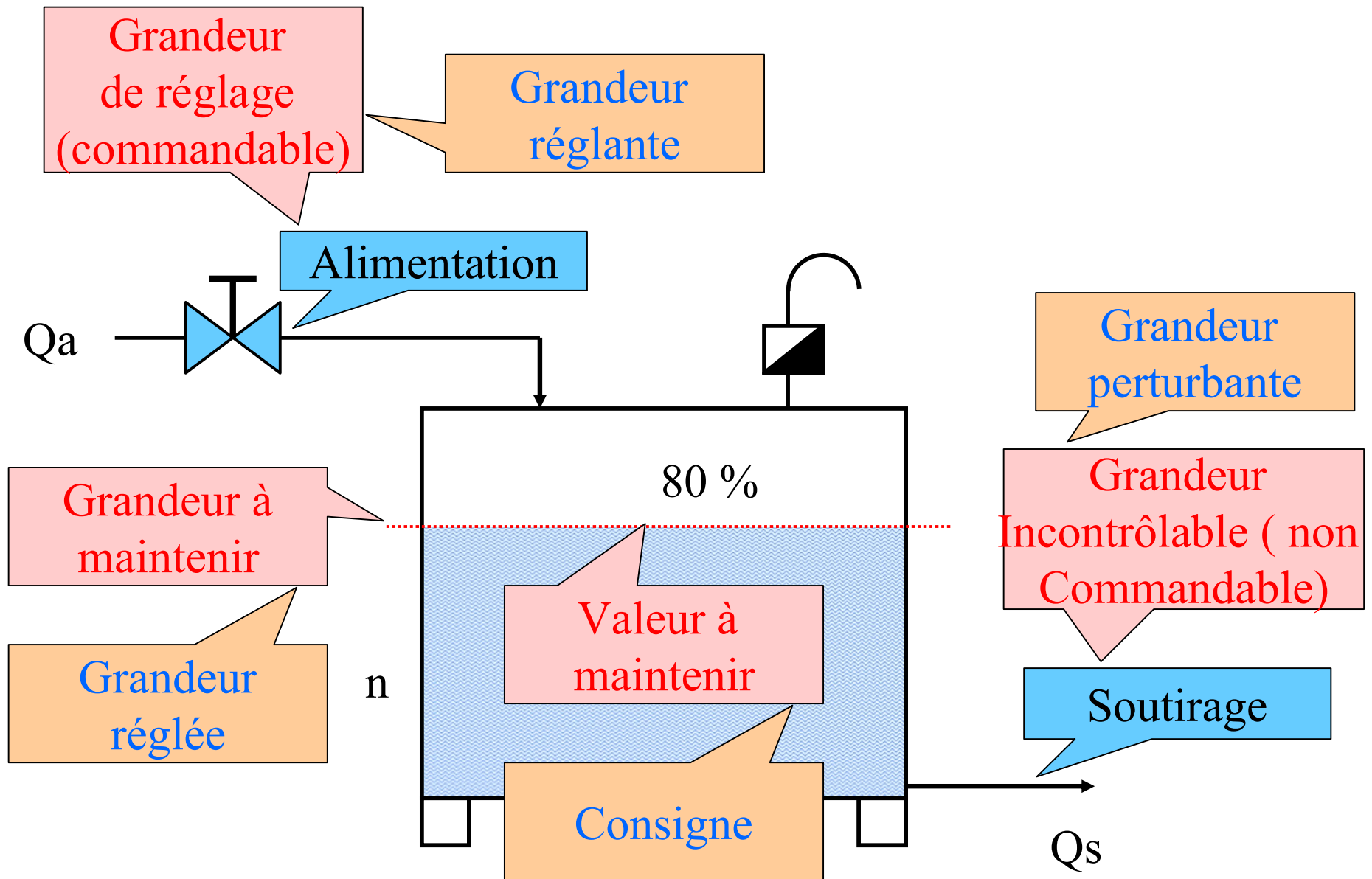


**Vocabulaire clé à retenir :**

Grandeur réglée, Grandeur  
réglante, Perturbations, Consigne

## 1.2.1 Exemple 1 : Le bac de stockage - symbolisation





## Schéma Bloc du niveau



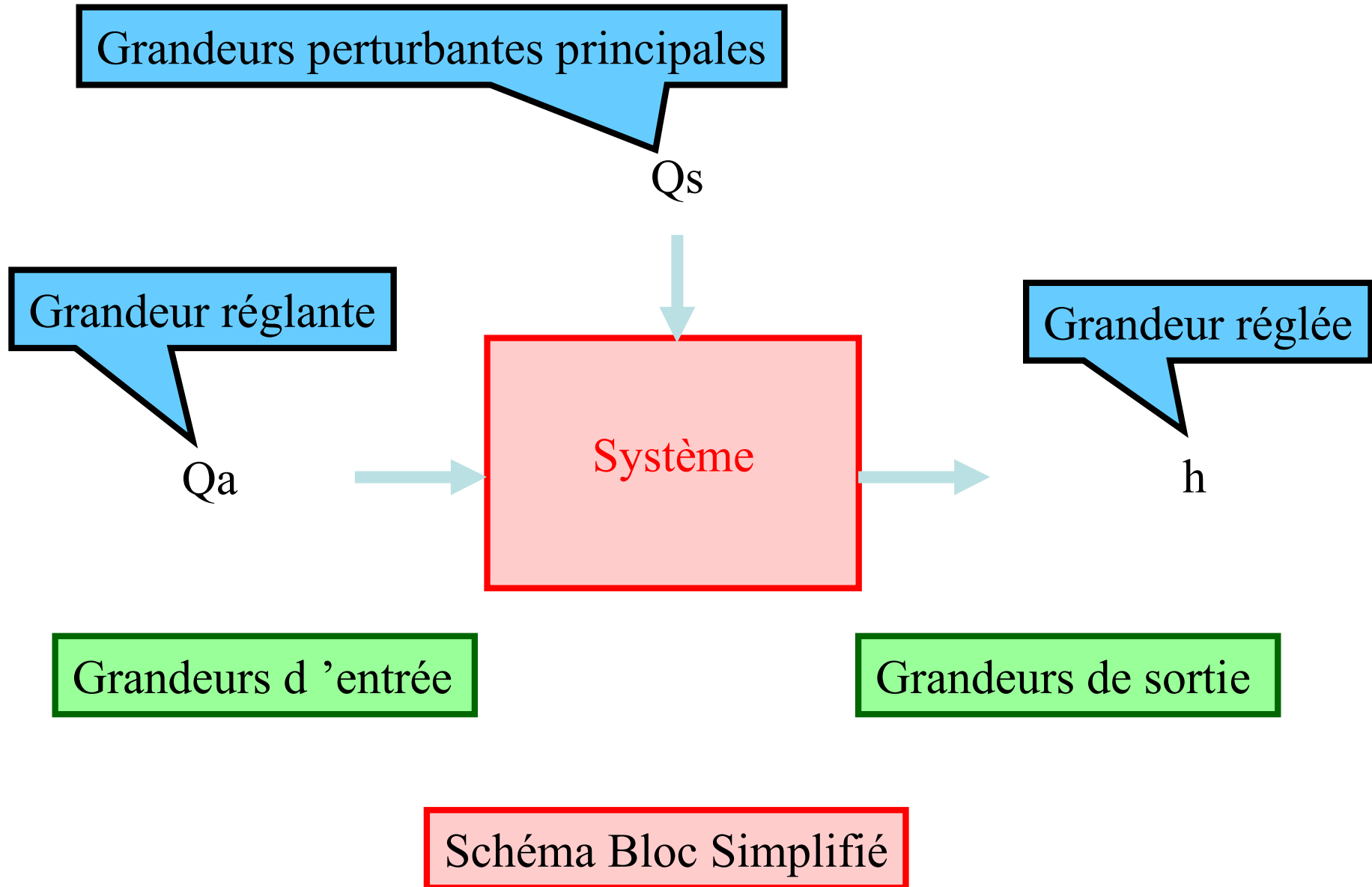
Grandeurs d'entrée

Système

Grandeurs de sortie

La grandeur réglante se trouve parmi les grandeurs d'entrées

Grandeur réglée se trouve parmi les grandeurs de sortie

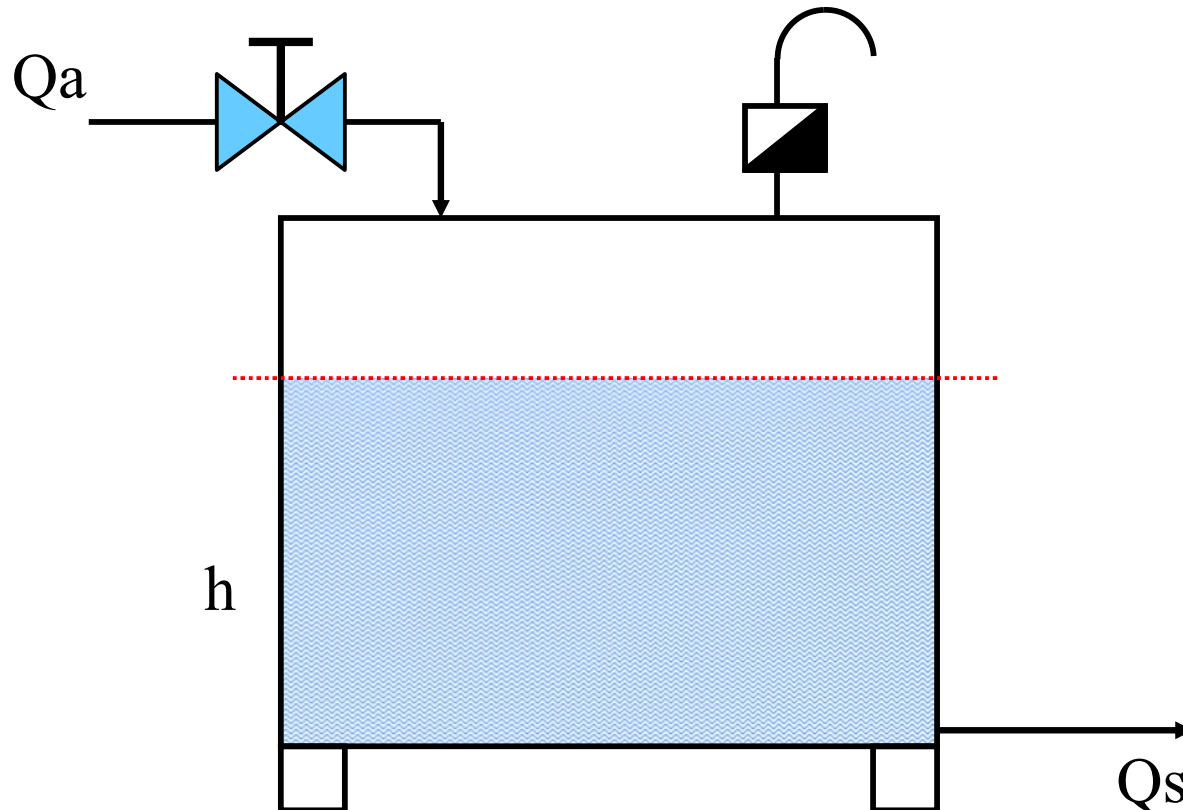






## Régulation Manuelle de niveau

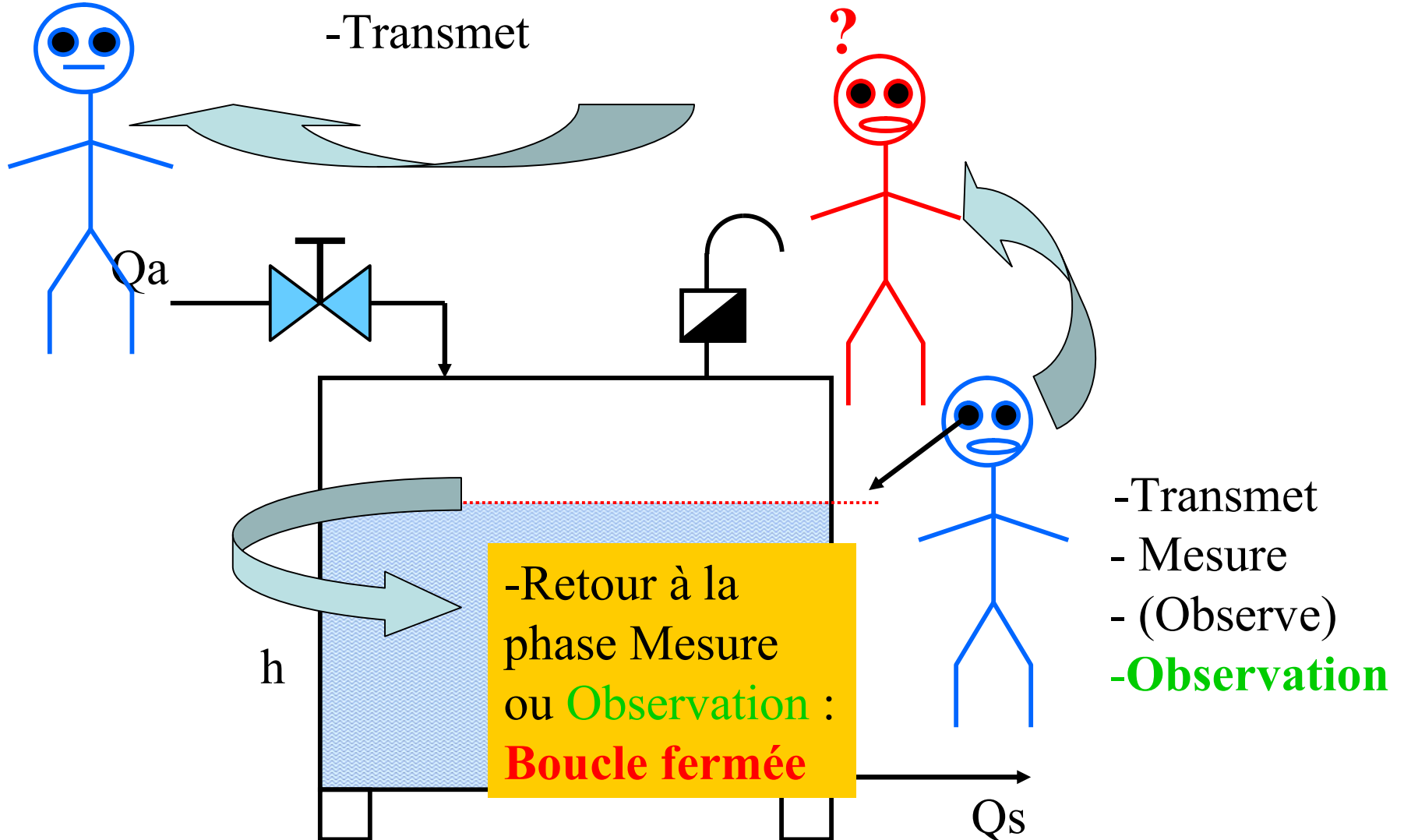
Pour effectuer la régulation manuellement, il faut : **Mesurer**  $n$ , le **Comparer** avec la consigne puis **Agir** sur la vanne pour modifier le débit  $Q_a$ . Donc on a besoin de **trois** individus ou opérateurs !



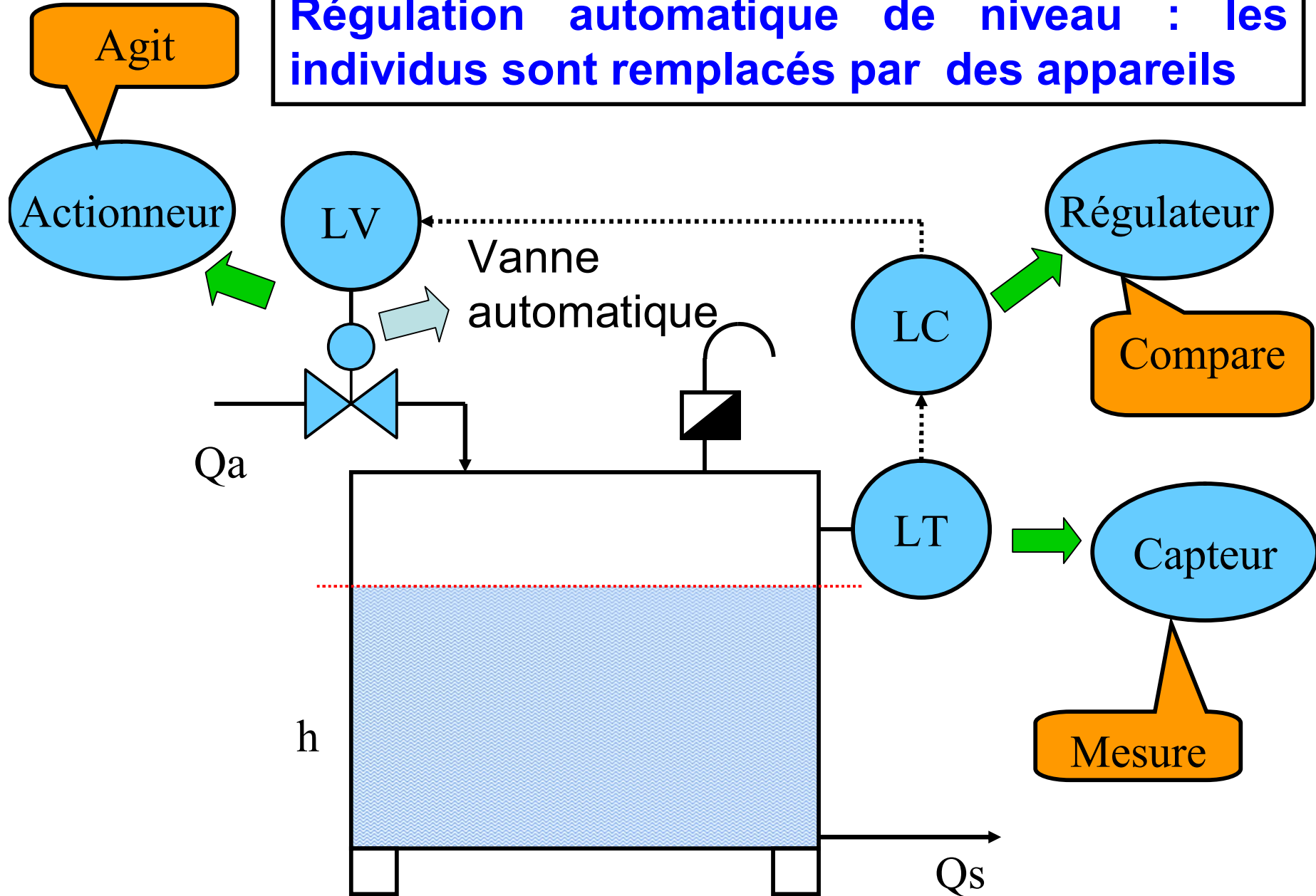
# Régulation Manuelle de niveau

- Reçoit S
- Exécute
- Action

- Reçoit M
- Compare M à C (**Réflexion**)
- Calcule S : Commande (ouverture de la vanne)
- Transmet



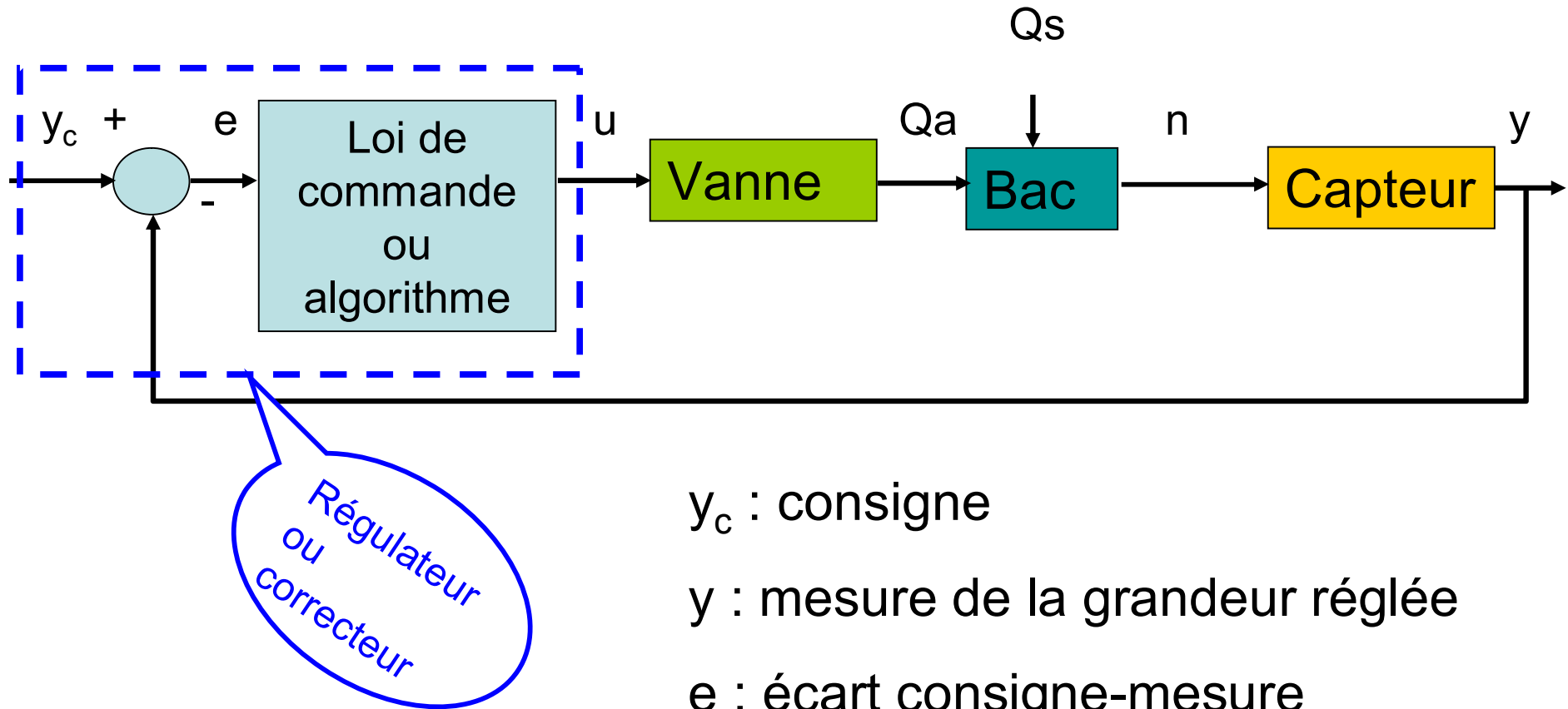
# Régulation automatique de niveau : les individus sont remplacés par des appareils



Dans la boucle de régulation automatique on retrouve les trois phases de fonctionnement d'une boucle de régulation manuelle : Observation ou Mesure, Réflexion ou Comparaison et Action mais effectuées par des appareils ou dispositif appelés : Capteur, Régaleur et Actionneur.

On représentera la chaîne de régulation ou boucle de régulation fermée par un schéma fonctionnel dans lequel figurent les schémas bloc de tous les éléments qui y interviennent : capteur, régulateur, actionneur et procédé.

## Schéma fonctionnel de la boucle de régulation de niveau



Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

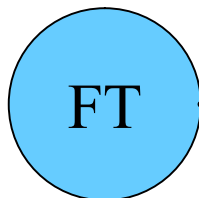
	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>		
<b>F</b>	<b>Débit</b>		
<b>P</b>	<b>Pression</b>		
<b>T</b>	<b>Température</b>		
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>		
<b>A</b>	<b>Analyse</b>		
<b>W</b>	<b>Masse</b>		
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		

Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>		
<b>P</b>	<b>Pression</b>		
<b>T</b>	<b>Température</b>		
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>		
<b>A</b>	<b>Analyse</b>		
<b>W</b>	<b>Masse</b>		
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		



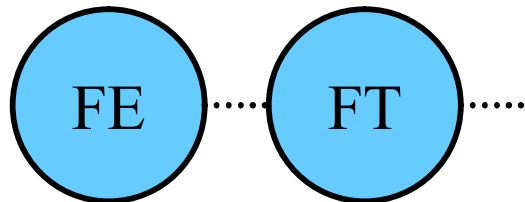
..... Corps d'épreuve et transmetteur sont dans le même boîtier

Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Elément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>		
<b>T</b>	<b>Température</b>		
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>		
<b>A</b>	<b>Analyse</b>		
<b>W</b>	<b>Masse</b>		
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		



Corps d'épreuve et transmetteur sont dans des boîtiers différents



Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Élément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>	<b>C</b>	<b>Régulation</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>		
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>		
<b>A</b>	<b>Analyse</b>		
<b>W</b>	<b>Masse</b>		
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		

**C** : boucle de régulation, fonction régulateur. Assurée par un appareil appelé « régulateur » ou par un appareil plus complexe du type « automate » ou « système numérique ».

Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Élément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>	<b>C</b>	<b>Régulation</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>	<b>I</b>	<b>Indication</b>
<b>PD</b>	Pression différentielle		
<b>A</b>	<b>Analyse</b>		
<b>W</b>	<b>Masse</b>		
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		

**I** : indication sur site ou déportée en salle de contrôle

Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Élément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>	<b>C</b>	<b>Régulation</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>	<b>I</b>	<b>Indication</b>
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>	<b>R</b>	<b>Enregistrement</b>
<b>A</b>	<b>Analyse</b>		
<b>W</b>	<b>Masse</b>		
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		

**R** : les mesures doivent être enregistrées afin d'optimiser le fonctionnement du procédé, de déceler l'origine des incidents ou d'assurer la traçabilité de la production. Enregistrement sur papier mais de plus en plus sur mémoire.

Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Elément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>	<b>C</b>	<b>Régulation</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>	<b>I</b>	<b>Indication</b>
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>	<b>R</b>	<b>Enregistrement</b>
<b>A</b>	<b>Analyse</b>	<b>V</b>	<b>Vanne de réglage</b>
<b>W</b>	<b>Masse</b>		
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		

**V** : assure la variation de la grandeur réglante.

Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Élément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>	<b>C</b>	<b>Régulation</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>	<b>I</b>	<b>Indication</b>
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>	<b>R</b>	<b>Enregistrement</b>
<b>A</b>	<b>Analyse</b>	<b>V</b>	<b>Vanne de réglage</b>
<b>W</b>	<b>Masse</b>	<b>Y</b>	<b>Relais de fonction</b>
<b>I</b>	<b>Intensité</b>		
<b>Z</b>	<b>Position</b>		

**Y** : Appareil effectuant des conversions de signaux ou des calculs.

Grandeur que l'on manipule

Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Élément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>	<b>C</b>	<b>Régulation</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>	<b>I</b>	<b>Indication</b>
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>	<b>R</b>	<b>Enregistrement</b>
<b>A</b>	<b>Analyse</b>	<b>V</b>	<b>Vanne de réglage</b>
<b>W</b>	<b>Masse</b>	<b>Y</b>	<b>Relais de fonction</b>
<b>I</b>	<b>Intensité</b>	<b>AH</b>	<b>Alarme Haute</b>
<b>Z</b>	<b>Position</b>		

**LAH** : alarme de niveau haut (resp. **LAL**, pour niveau bas).

Contrairement à une **sécurité** qui agit sur le procédé (effectue un arrêt d'urgence par exemple), l'alarme se content d'informer l'opérateur qu'un problème est survenu.

Grandeur que l'on manipule

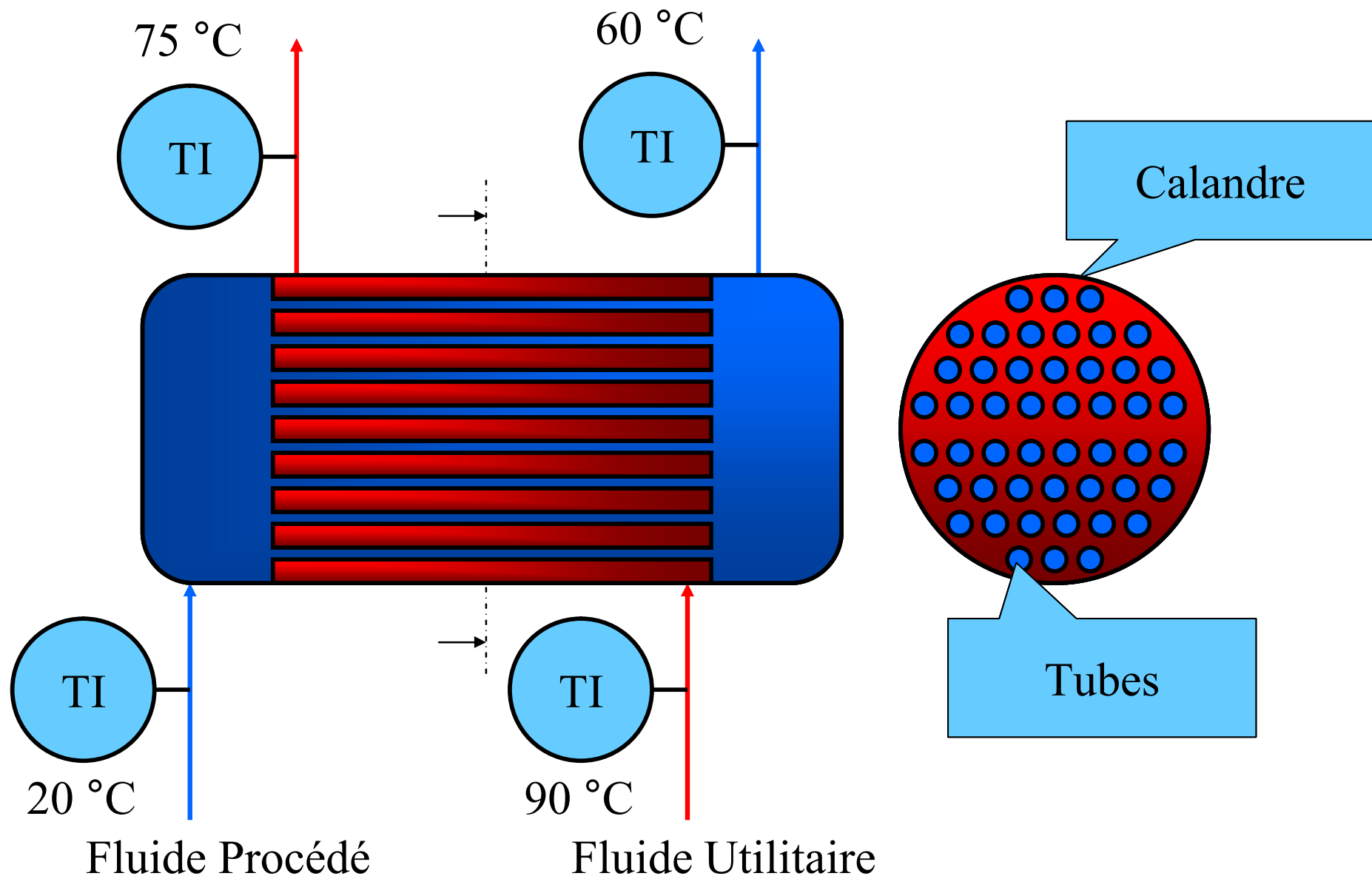
Fonction

Symbolisation

	<u>Premières Lettres</u>		<u>Lettres Suivantes</u>
<b>L</b>	<b>Niveau</b>	<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>
<b>F</b>	<b>Débit</b>	<b>E</b>	<b>Élément primaire</b>
<b>P</b>	<b>Pression</b>	<b>C</b>	<b>Régulation</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>	<b>I</b>	<b>Indication</b>
<b>PD</b>	<b>Pression différentielle</b>	<b>R</b>	<b>Enregistrement</b>
<b>A</b>	<b>Analyse</b>	<b>V</b>	<b>Vanne de réglage</b>
<b>W</b>	<b>Masse</b>	<b>Y</b>	<b>Relais de fonction</b>
<b>I</b>	<b>Intensité</b>	<b>AH</b>	<b>Alarme Haute</b>
<b>Z</b>	<b>Position</b>	<b>S</b>	<b>Contacteur</b>

**S** : appareil assurant l'ouverture ou la fermeture d'un contact  
**LSH** contacteur de niveau haut ou encore détecteur de niveau haut.

## 1.2.2 Exemple 2 : L'échangeur de chaleur



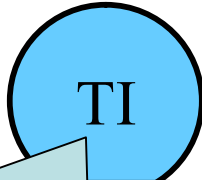




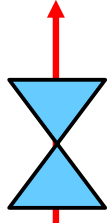
Objectif à atteindre :

Consigne

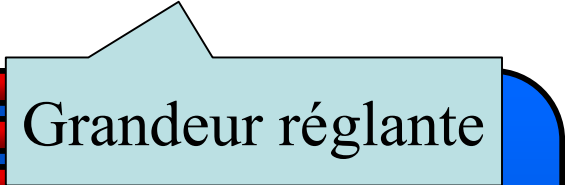
60 °C



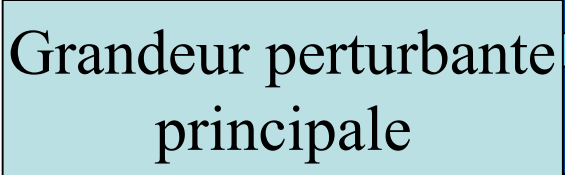
Grandeur réglée



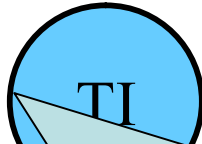
Pour atteindre l'objectif malgré les fluctuations sur le fluide procédé on agit sur le débit de fluide utilitaire.



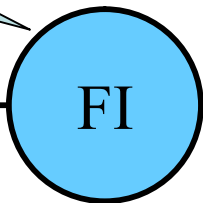
Grandeur réglante



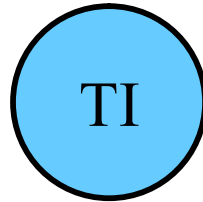
Grandeur perturbante principale



Grandeur perturbante secondaire

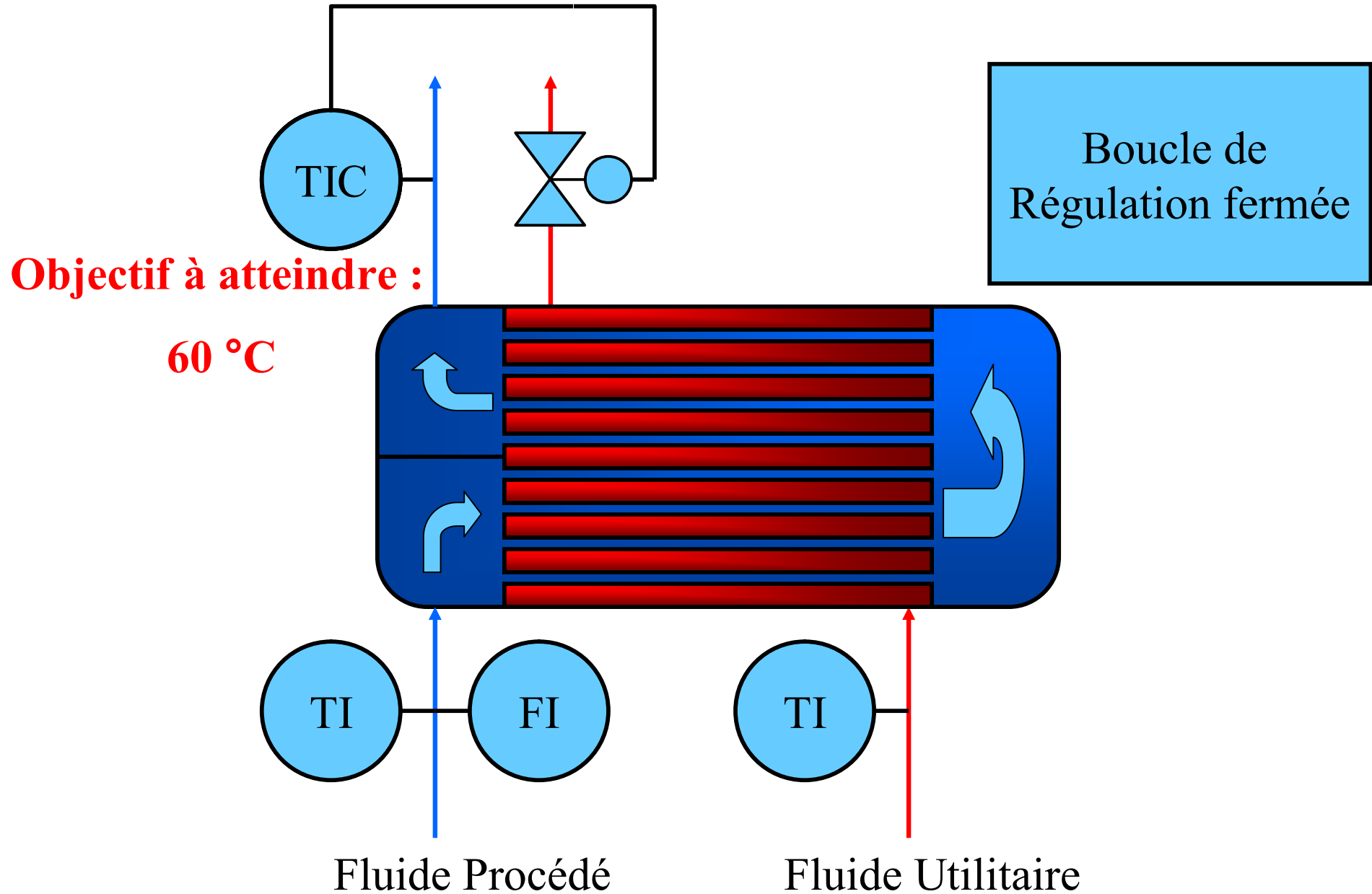


Fluide Procédé

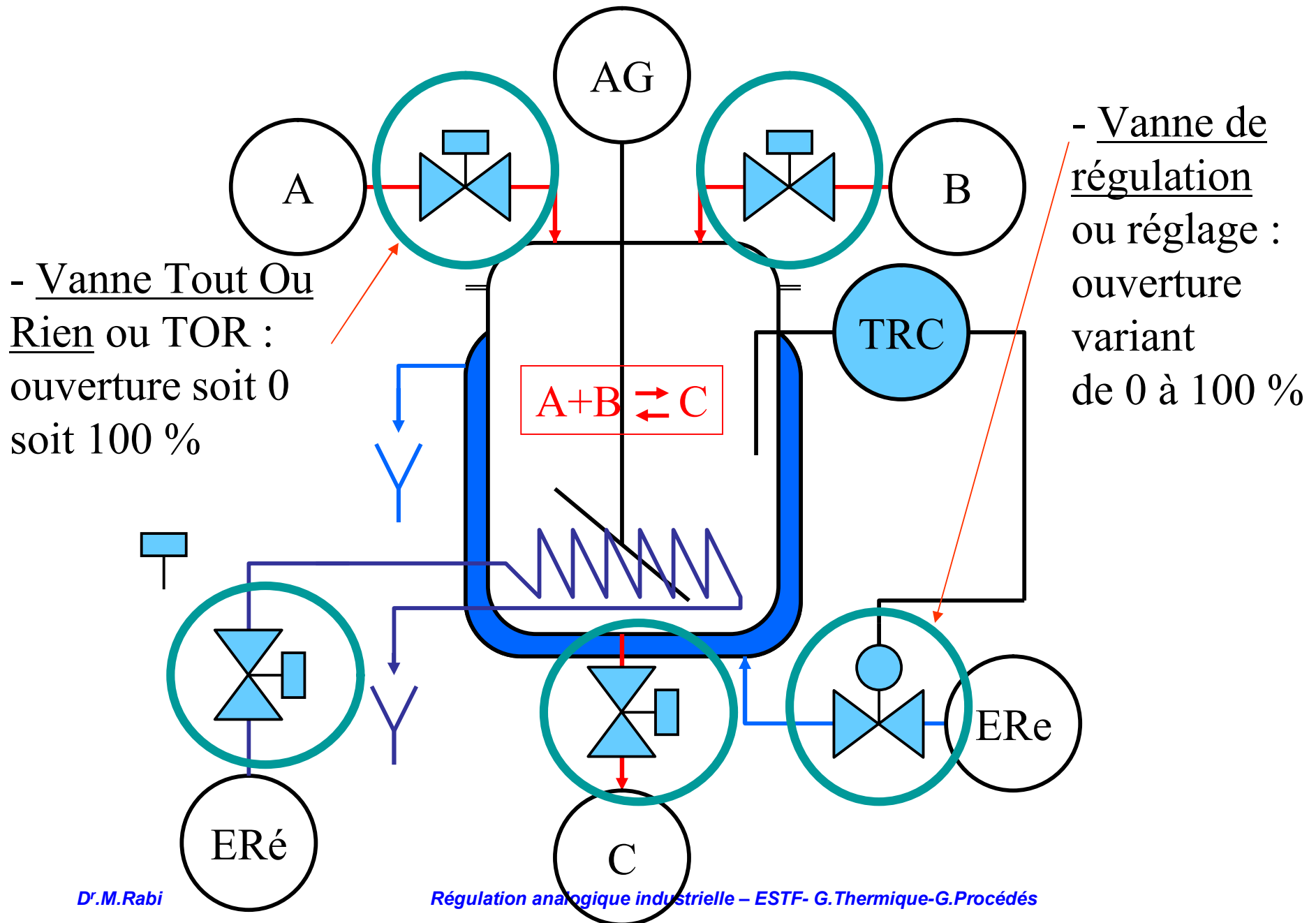


Grandeur perturbante négligeable

Fluide Utilitaire  
Température constante

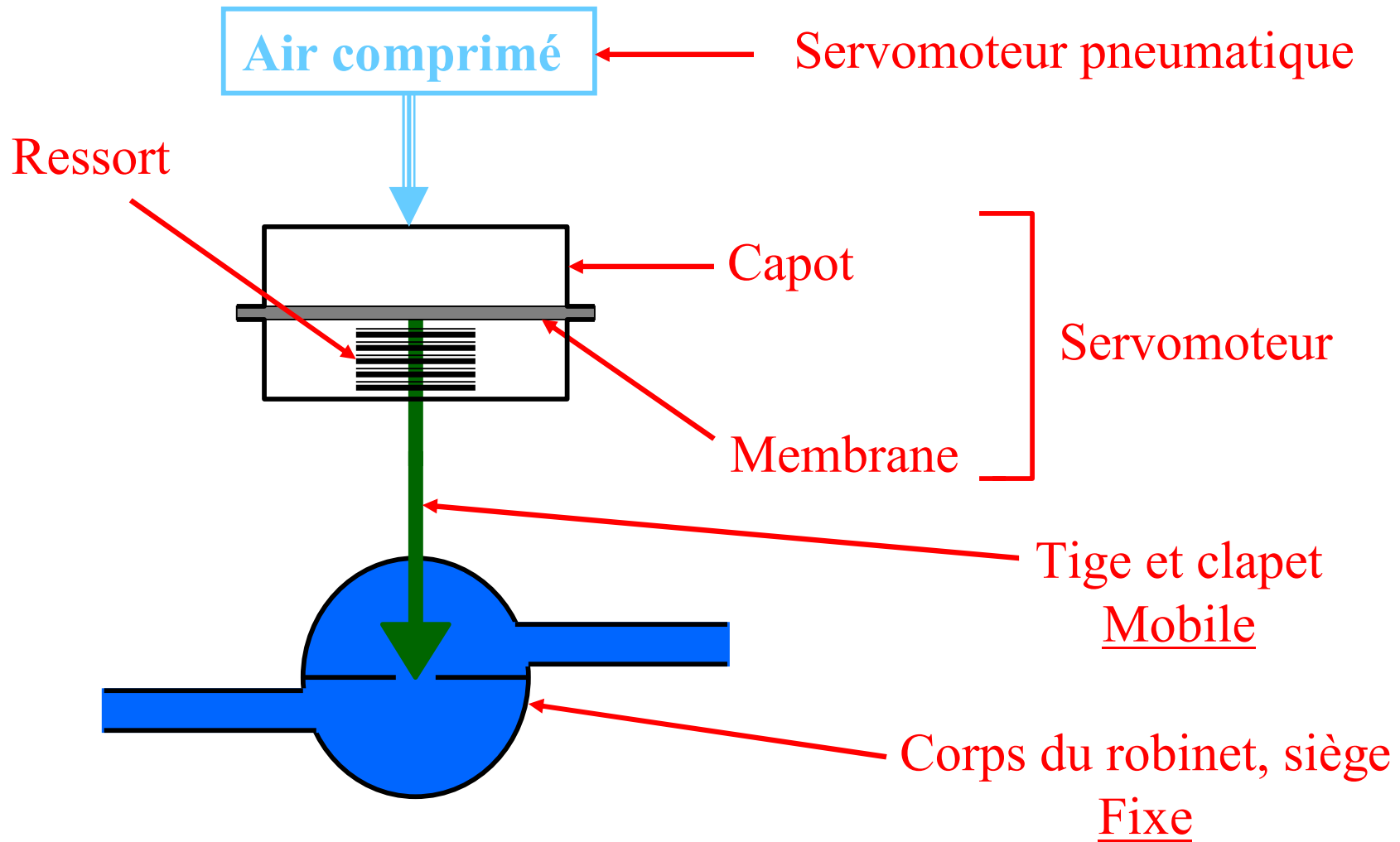


## 1.2-3 Exemple 3 : Le réacteur - Vannes TOR et de régulation



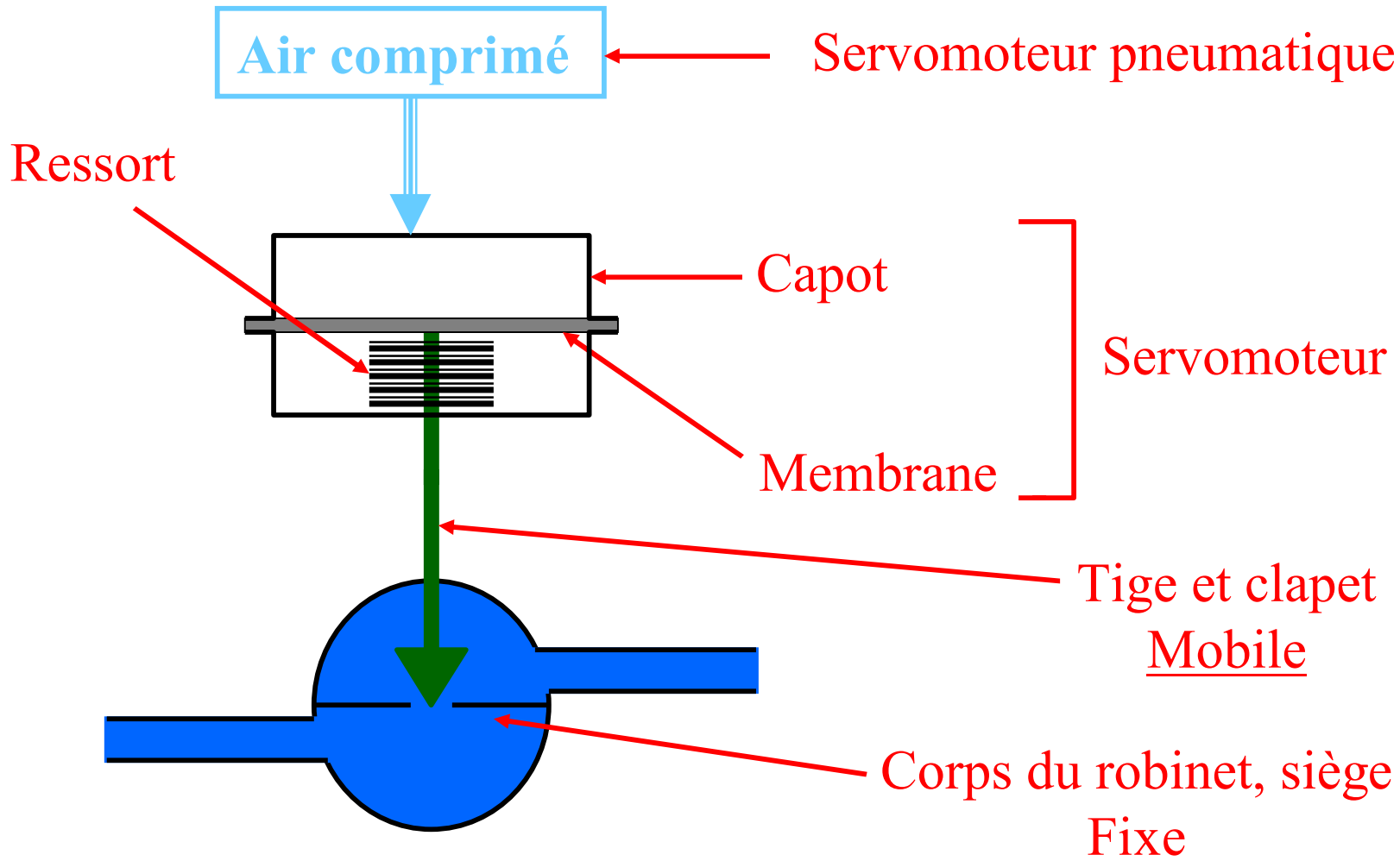


## - Robinet ou vanne automatique





Vanne automatique simple effet et directe : Simple effet (une seule alimentation en air comprimé du servomoteur), directe (clapet descend quand la pression servomoteur augmente )

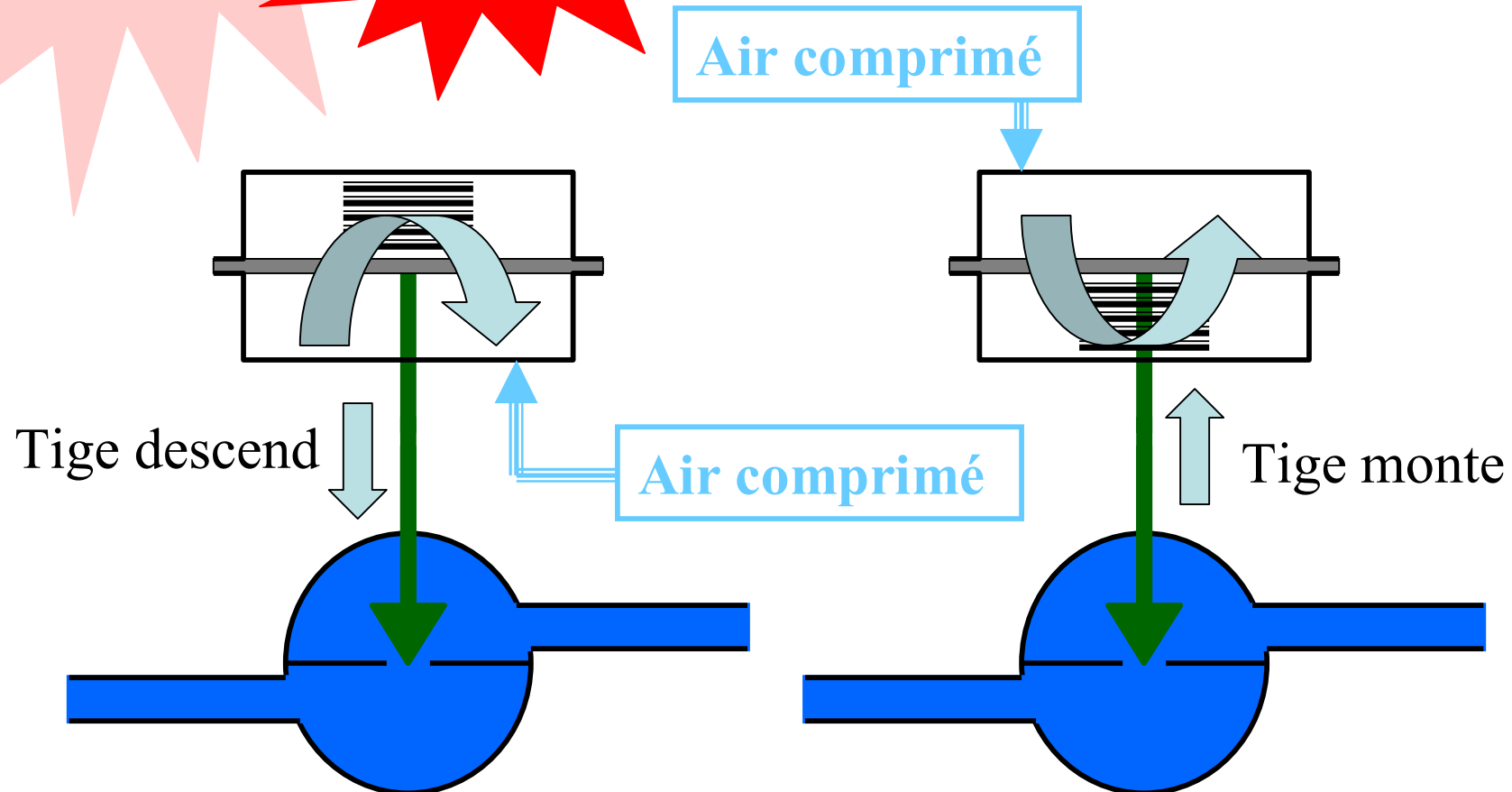


## - Vanne automatique TOR

Rupture de la  
commande  
pneumatique

ACCIDENT

Par manque d'air, le ressort se détend.



Par manque d'air : **FERME**  
On dira : **NF** ou **FPMA** ou **FMA**

**OUVRE**  
**NO** ou **OPMA** ou **OMA**

## - Vanne automatique TOR

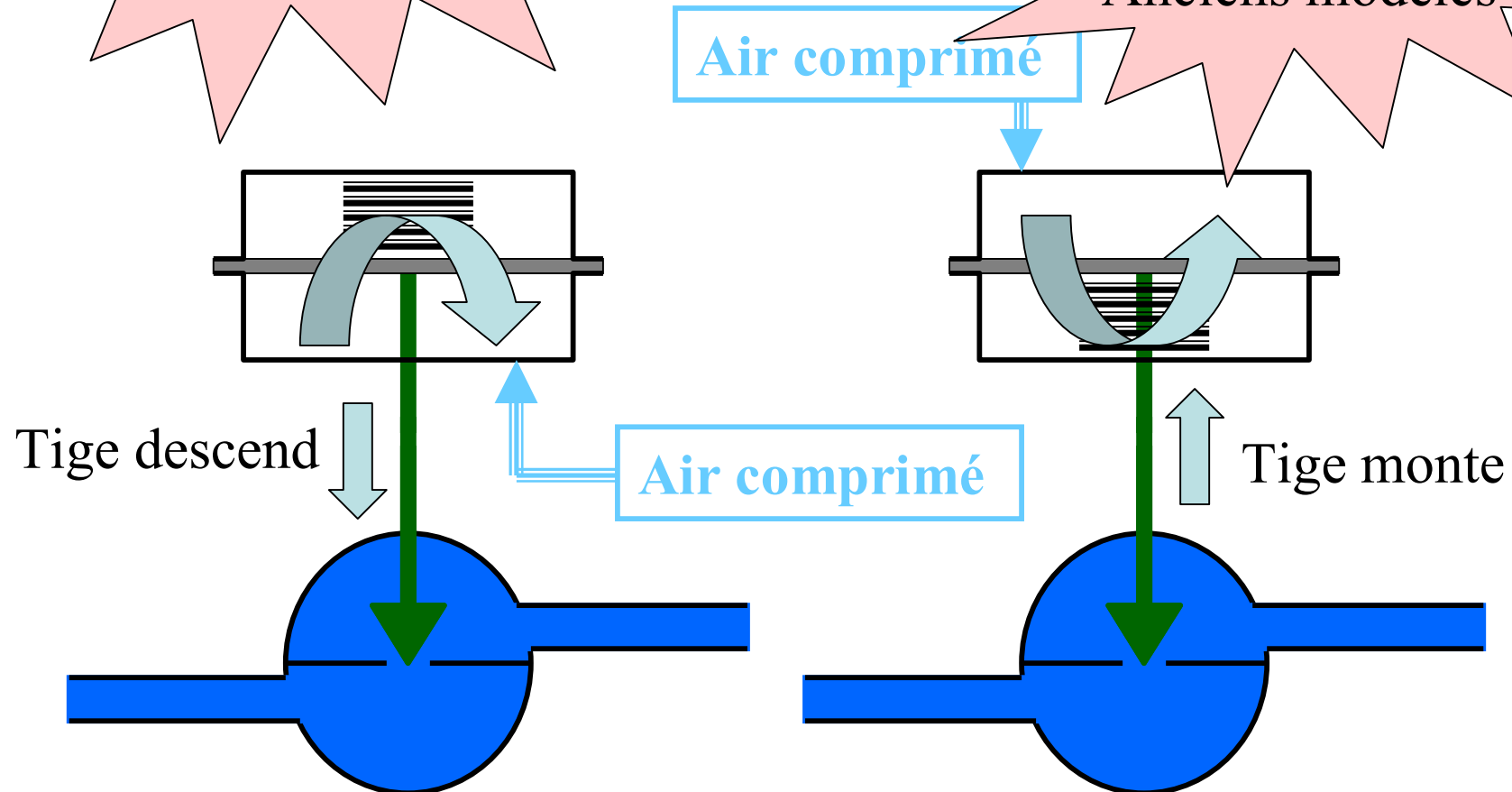
### **Choix Fondamental :**

On installe le type de vanne  
(NO ou NF) qui assure la plus  
grande sécurité en cas de  
rupture de la commande

## - Vanne automatique TOR

P max. = 5 à 10 bar  
Nouveaux modèles

P max. = 1.4 bar  
Anciens modèles



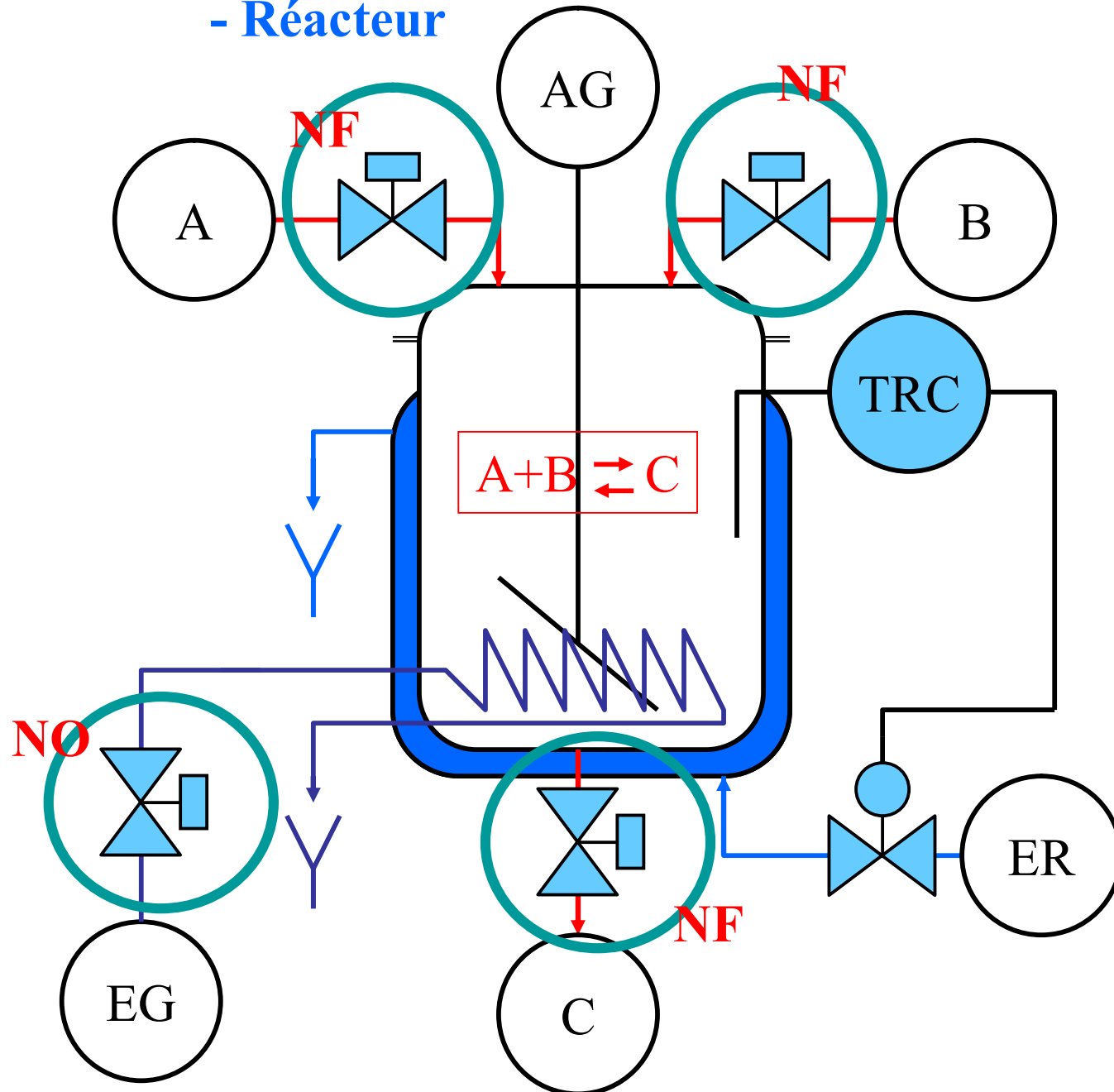
Par manque d'air : **FERME**  
On dira : **NF** ou **FPMA** ou **FMA**

**OUVRE**  
**NO** ou **OPMA** ou **OMA**





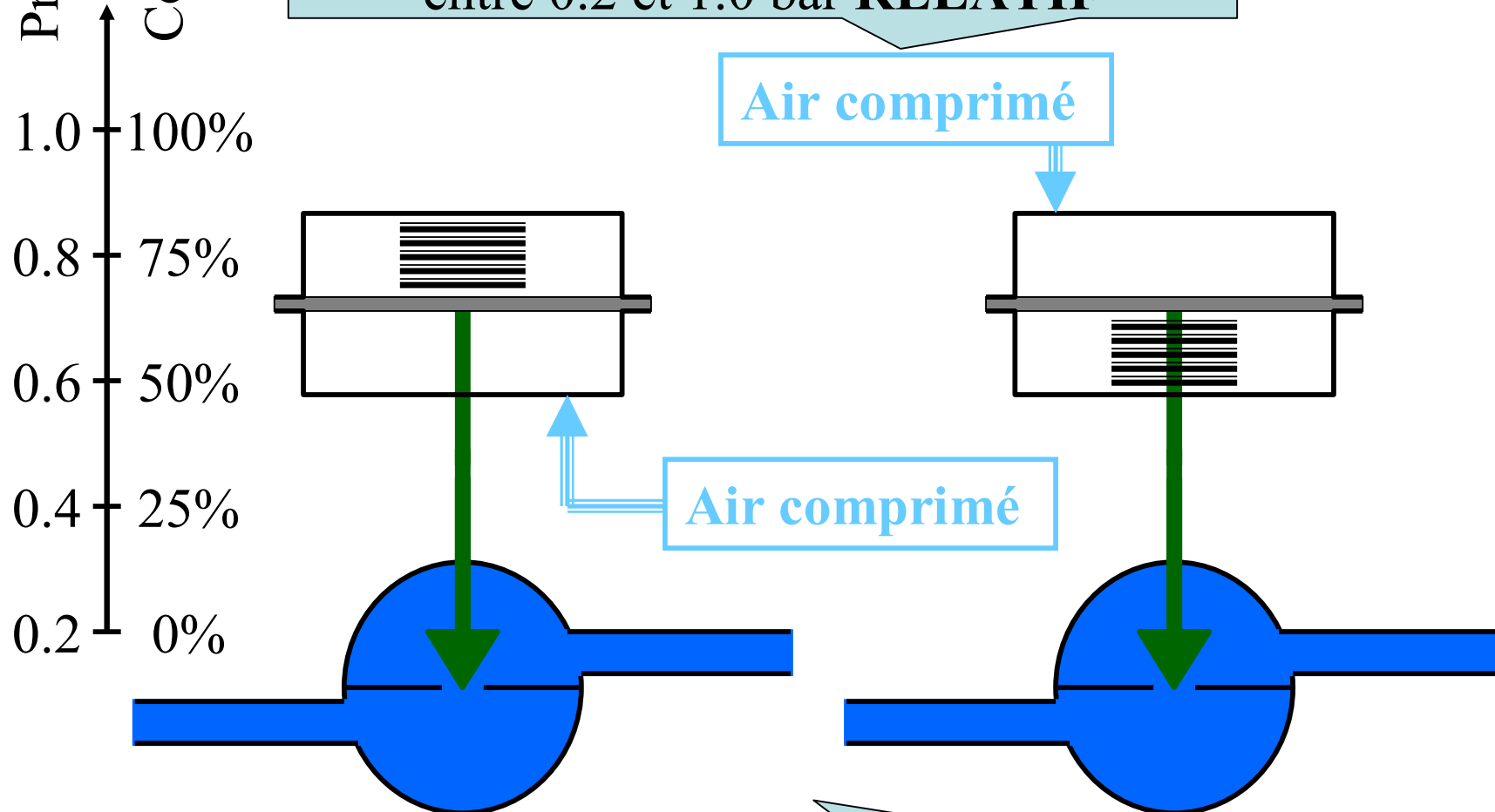
# - Réacteur





## - Vanne automatique de régulation

Pression d'air comprimé continue variant entre 0.2 et 1.0 bar **RELATIF**

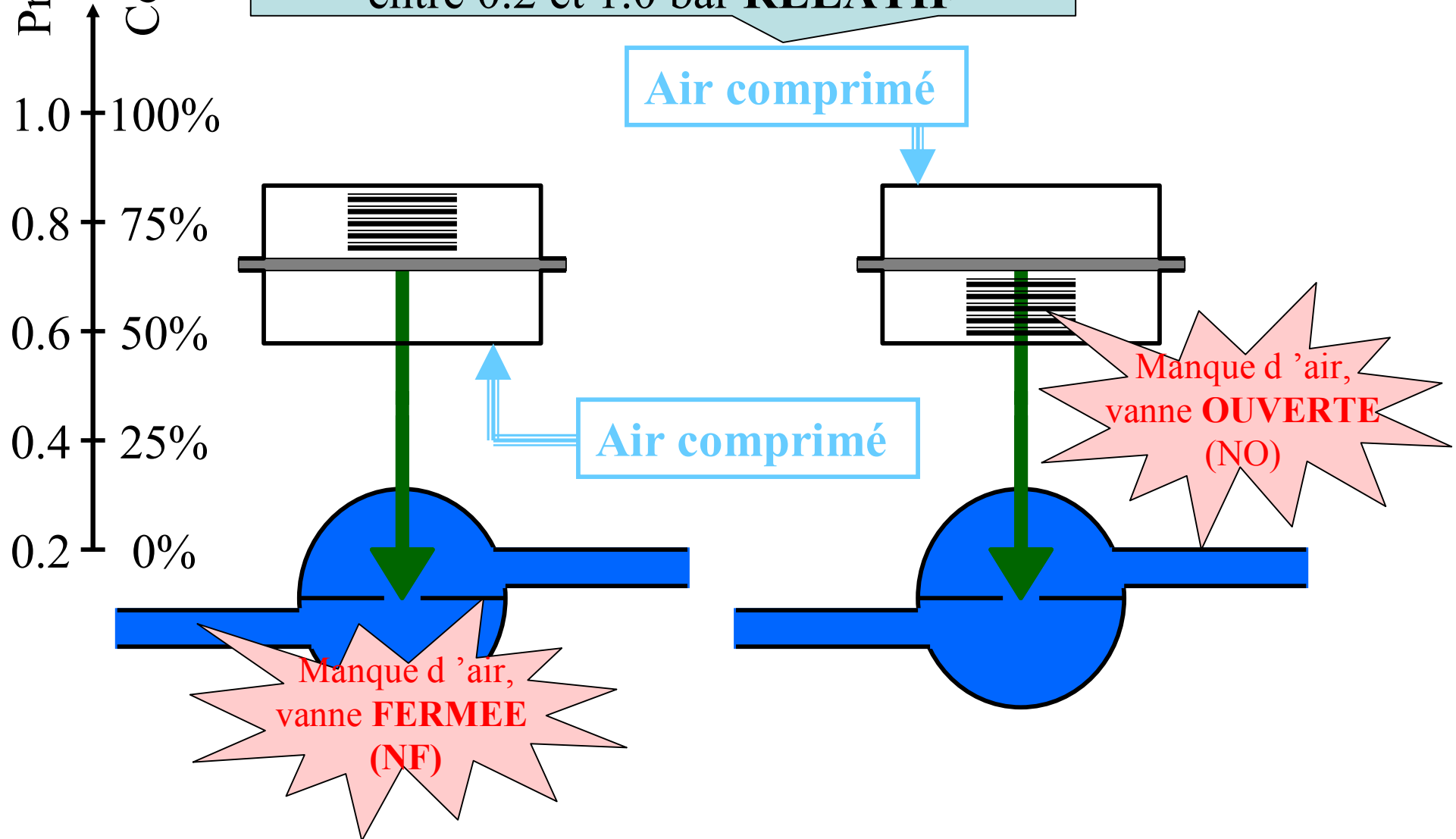


Vanne de réglage caractérisée par le type de clapet...



## - Robinet automatique de régulation

Pression d'air comprimé continue variant entre 0.2 et 1.0 bar **RELATIF**



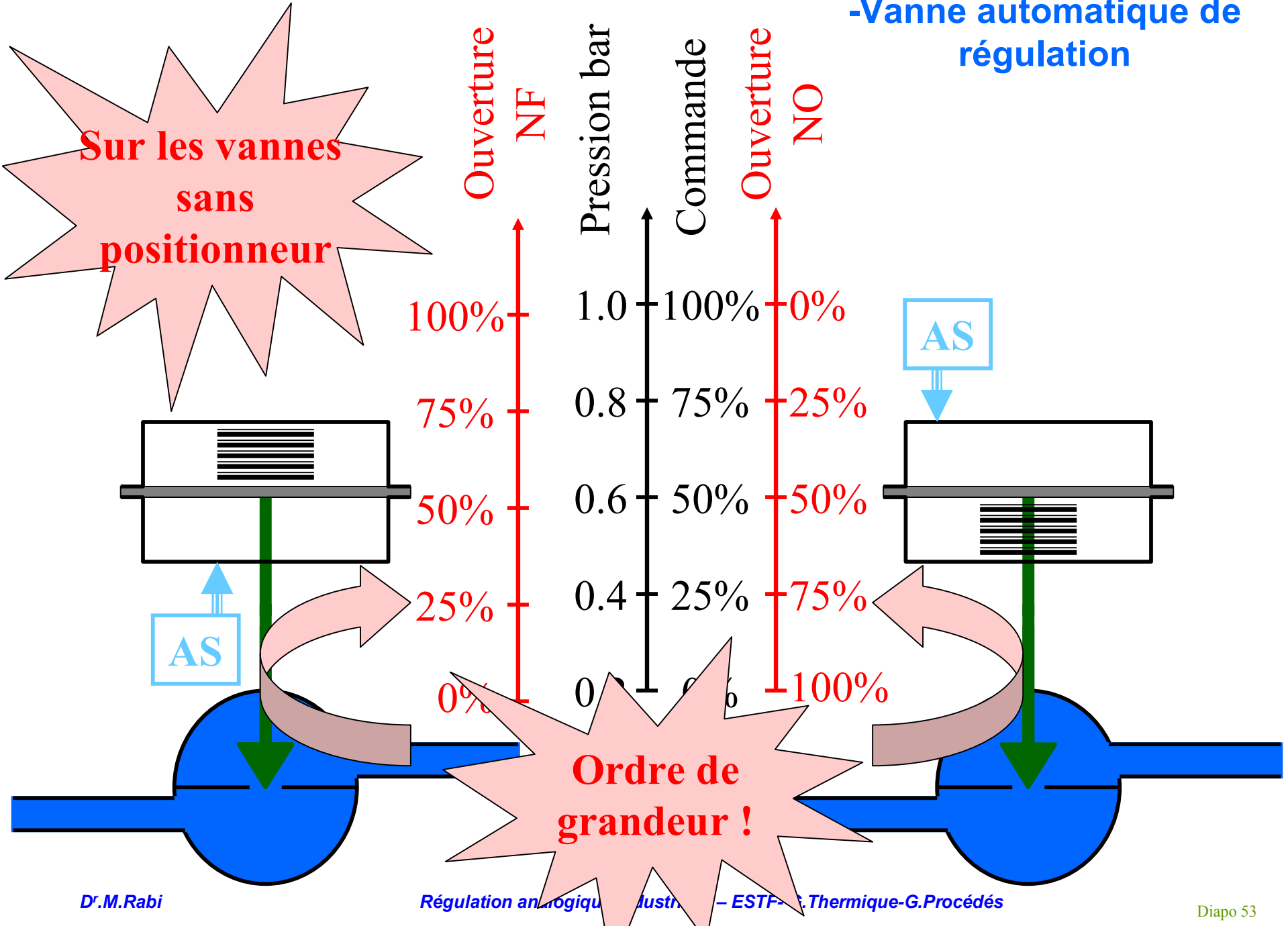
## - Vanne automatique de régulation

### **Choix Fondamental :**

On installe le type de vanne (NO ou NF) qui assure la plus grande sécurité en cas de rupture de la commande



# -Vanne automatique de régulation



**Pourquoi l'ouverture n'est-elle qu'un ordre de grandeur ?**

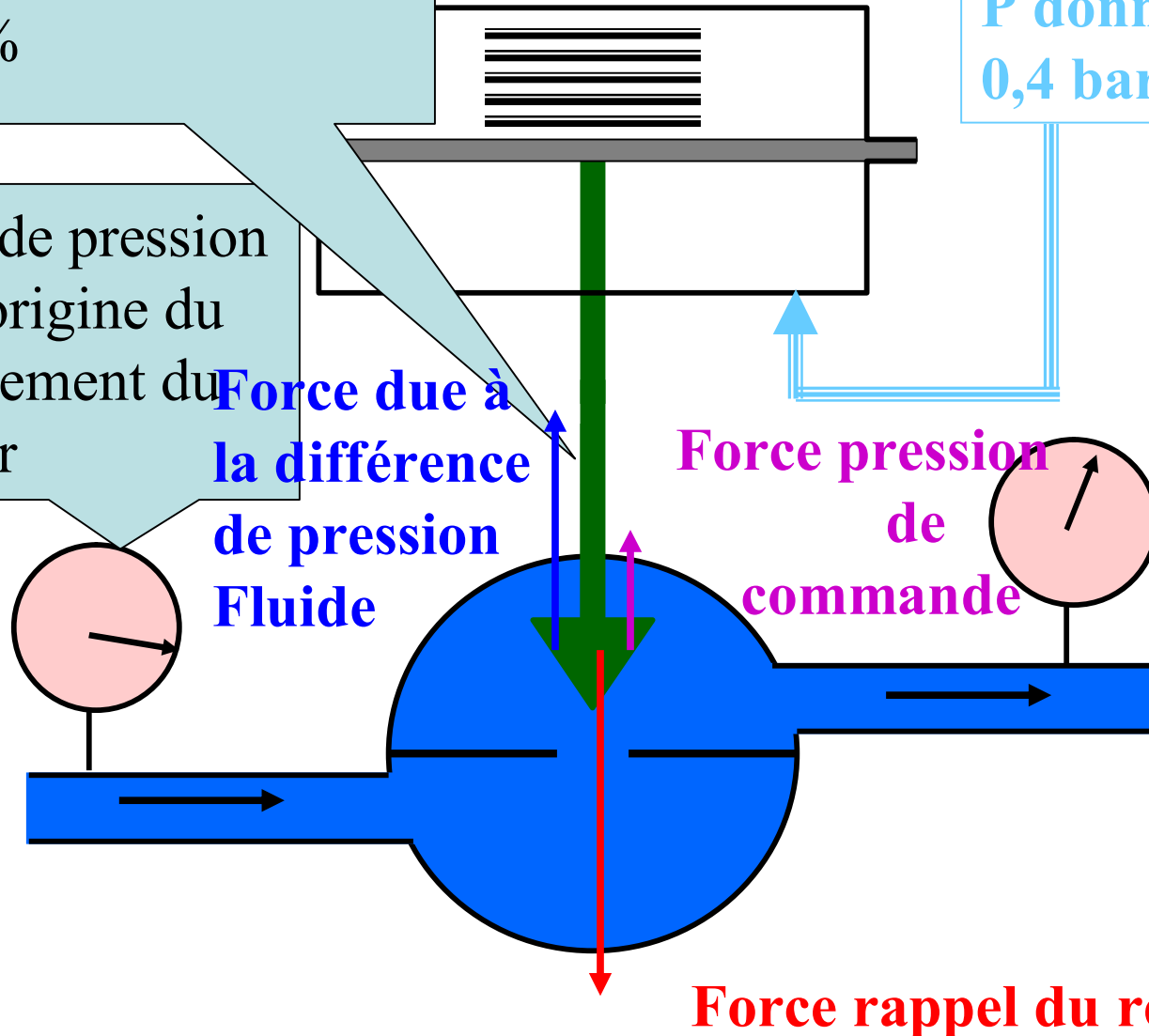


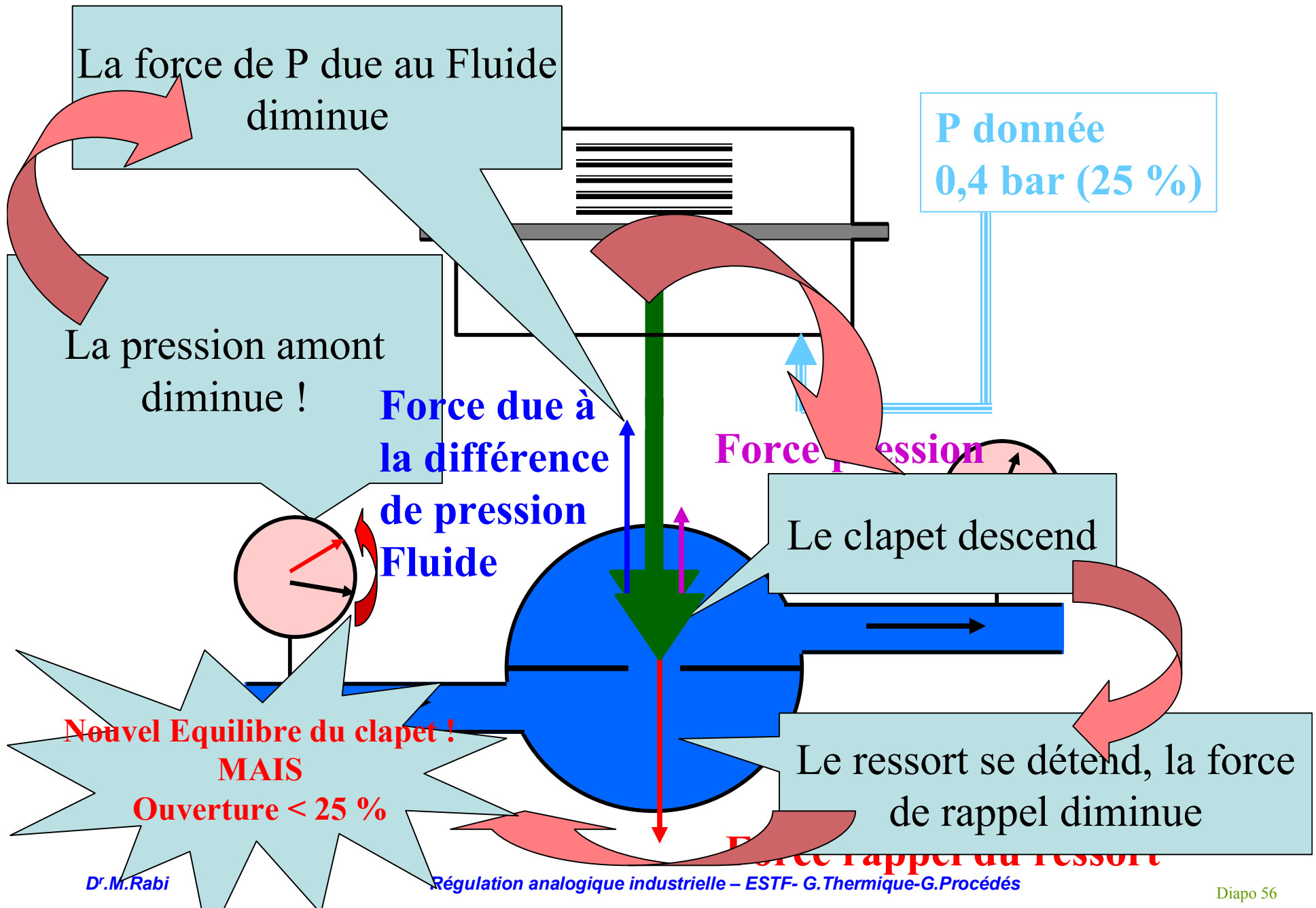
Clapet en équilibre sous l'effet de trois forces.

Equilibre des forces assurant une ouverture à 25 %


P donnée  
0,4 bar (25 %)

Conditions de pression nominales origine du dimensionnement du servomoteur

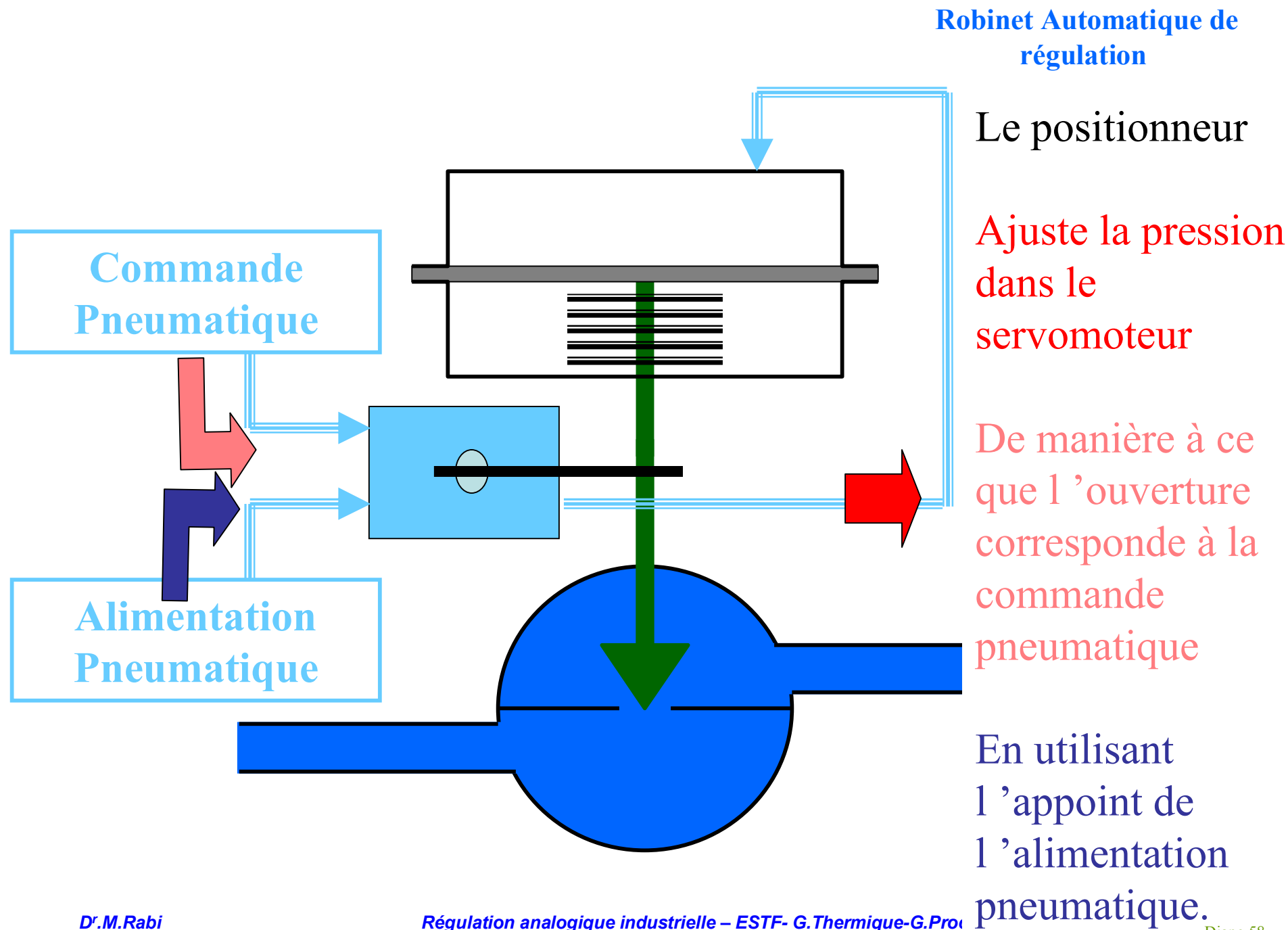




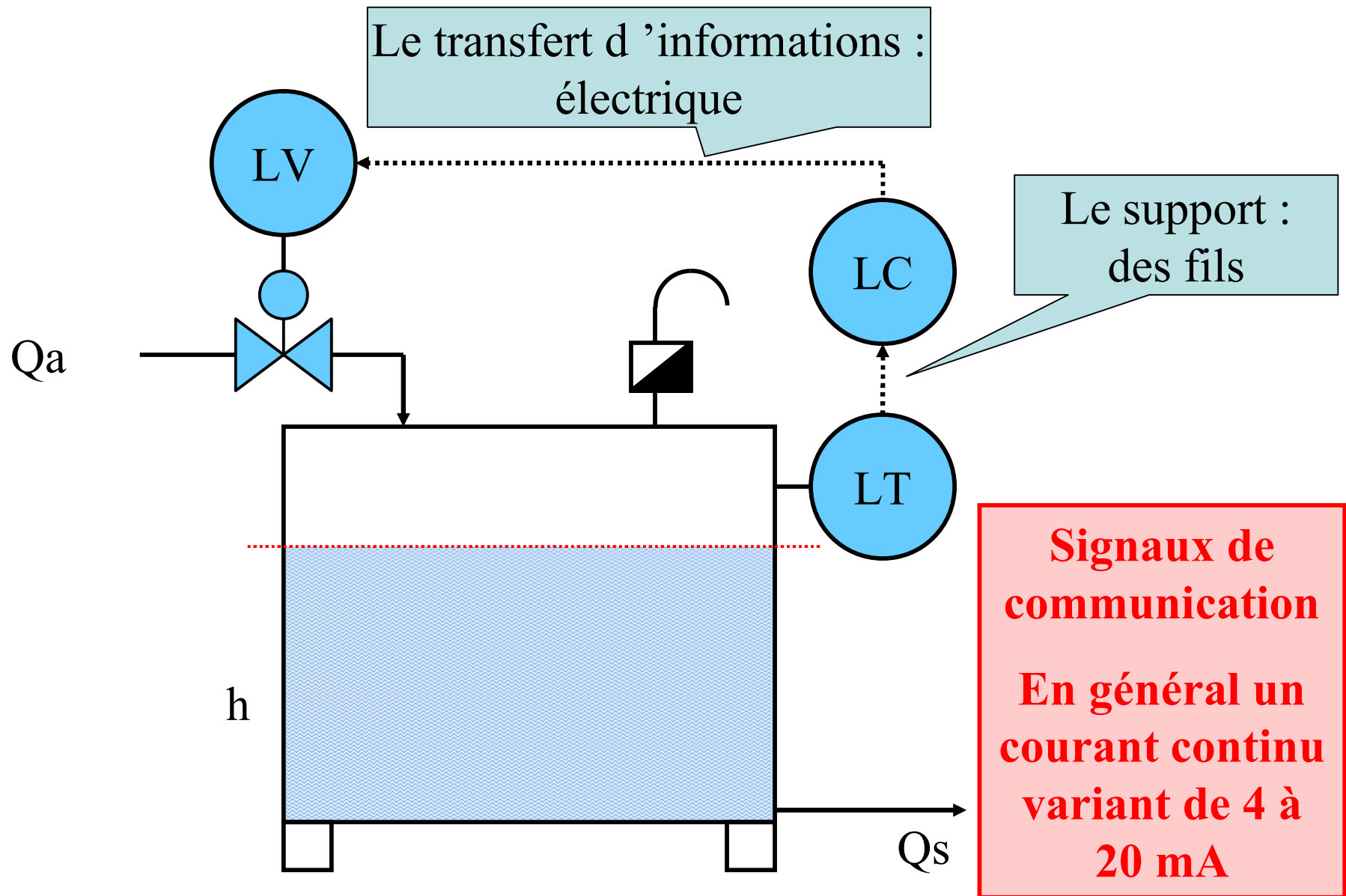




**Donc pour maintenir l'ouverture :  
il faut ajuster la pression  
C'est le rôle du  
POSITIONNEUR**



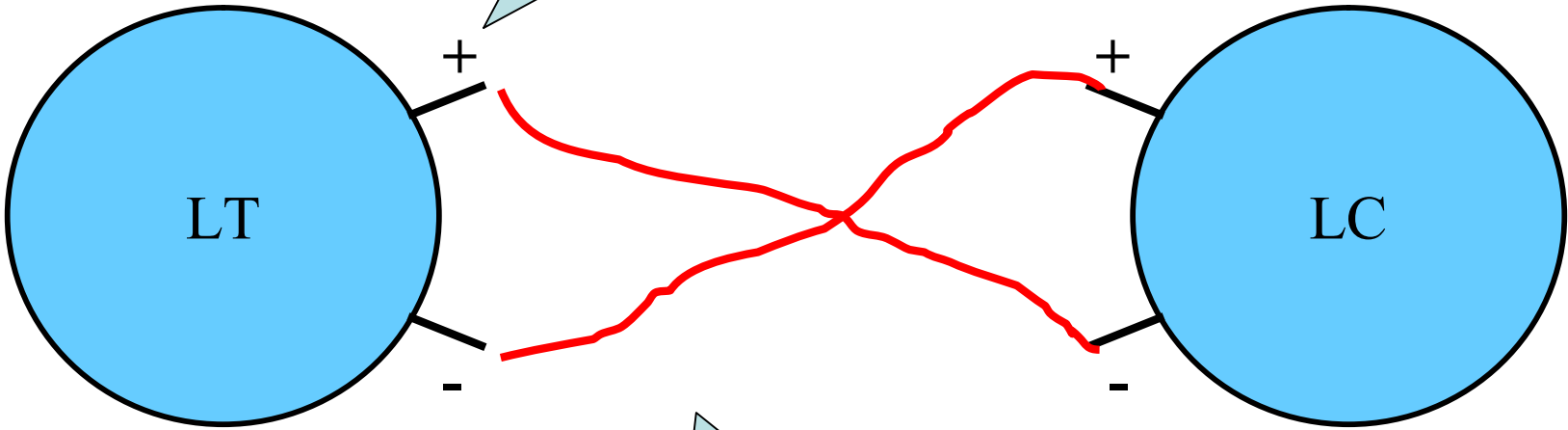
## 1.3 Signaux de communication-câblage



**Signal :**  
**un courant**  
**continu variant**  
**de 4 à 20 mA**

Comme ça ?

Polarités : courant continu

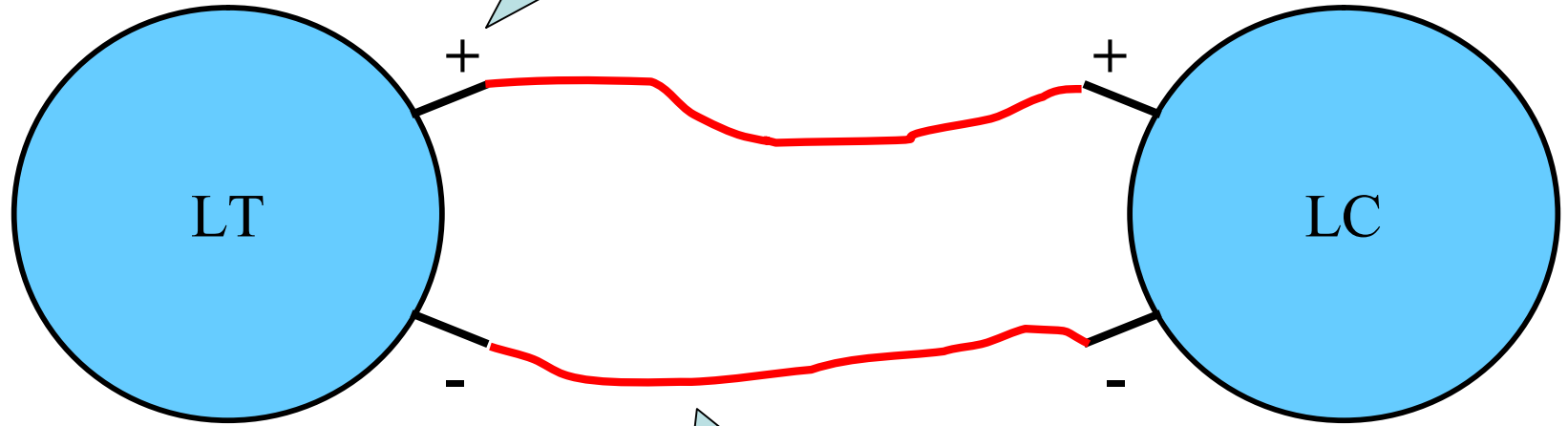


Brancher les fils

**Signal :**  
**un courant**  
**continu variant**  
**de 4 à 20 mA**

**Ou comme ça ?**

**Polarités : courant continu**



**Brancher les fils**

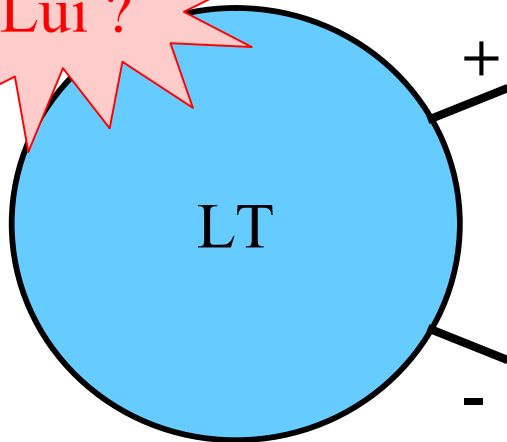
**Signal :**

**un courant  
continu variant  
de 4 à 20 mA**

Pour brancher les fils :

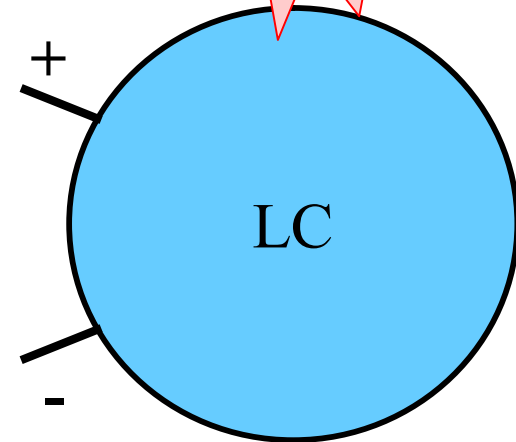
- chercher le générateur électrique du 4-20 mA...

Lui ?

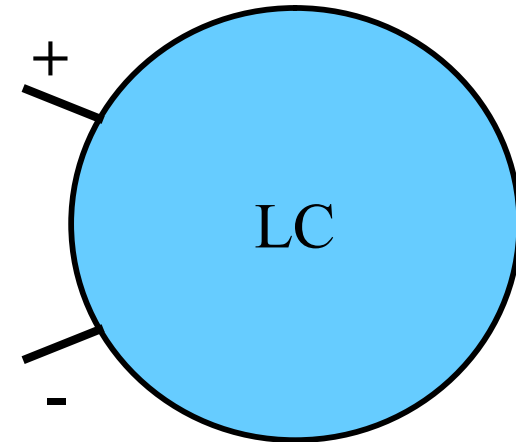
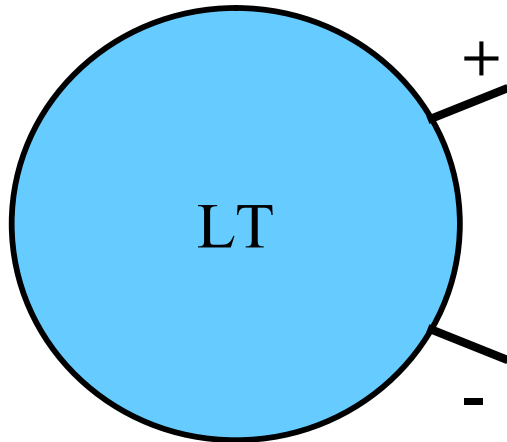


Ou encore  
un autre  
appareil ?

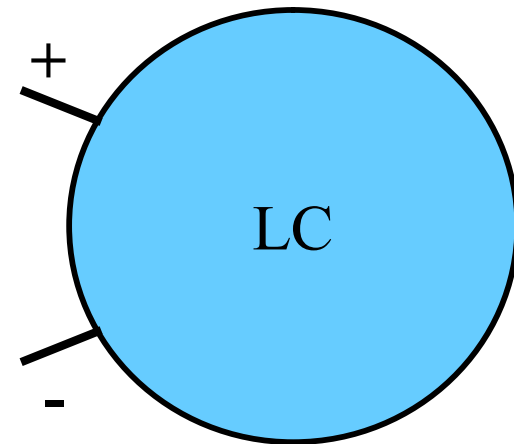
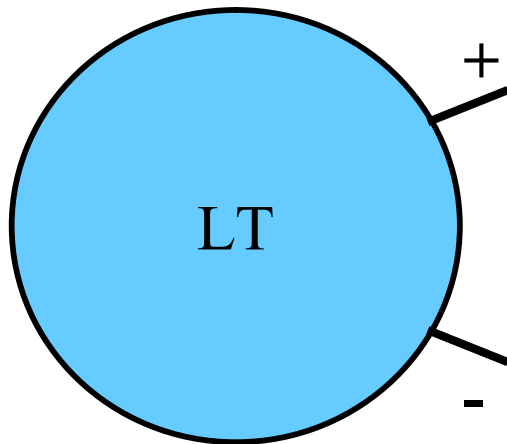
Ou lui ?



Si le capteur est passif (il n'est pas alimenté)  
et que le régulateur n'est pas capable d'alimenter la boucle de mesure.  
On installe un générateur externe : **transformateur-redresseur**  
230 V AC en 24 V DC

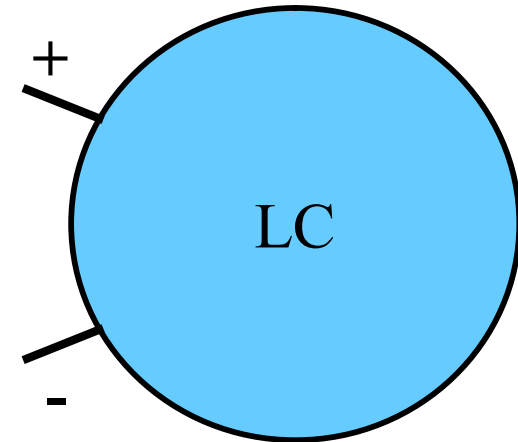
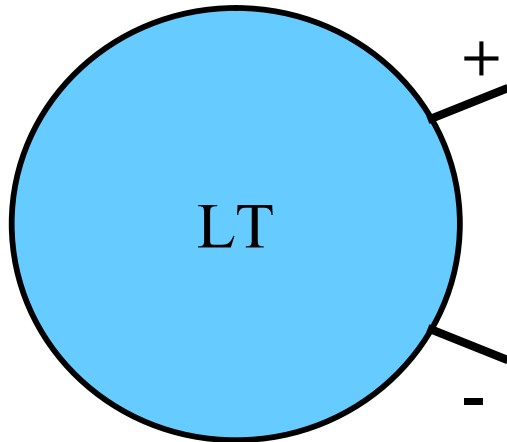


Si le capteur est actif (alimenté en 230 V)  
C 'est lui qui est générateur !

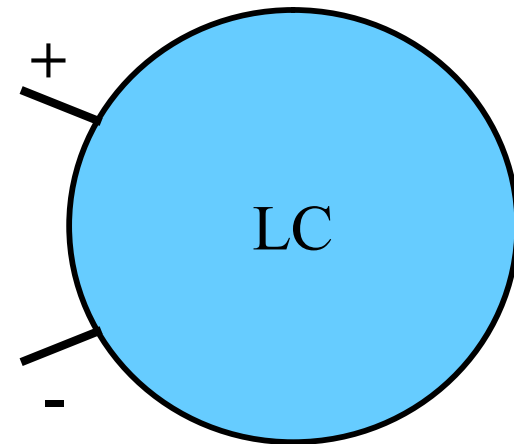
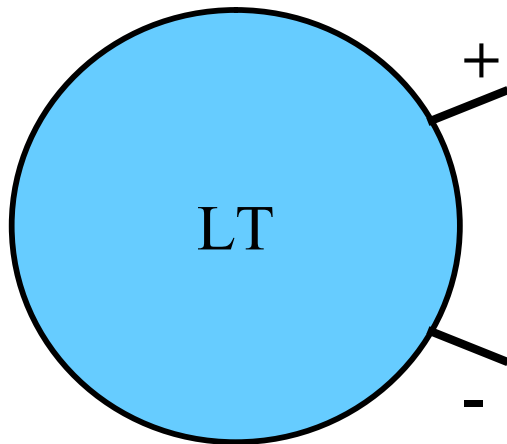




Si le capteur est passif (il n'est pas alimenté)  
C'est le régulateur qui est générateur !  
S'il en est capable !!!



Ca peut être les trois !



**Signal :**

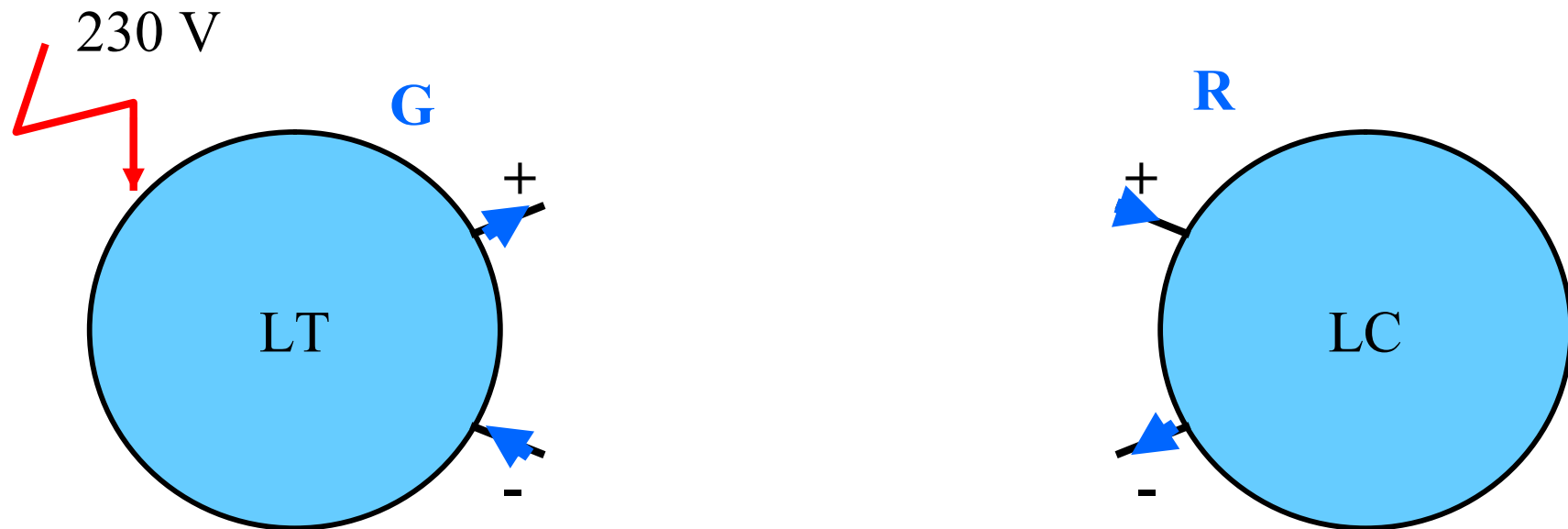
**un courant  
continu variant  
de 4 à 20 mA**

Pour brancher les fils :

- chercher le générateur électrique du 4-20 mA :

**Le capteur est actif : c'est DONC lui  
le générateur**

- placer la flèche du courant en fonction des polarités



Convention Générateur : le courant **sort** par la borne PLUS.

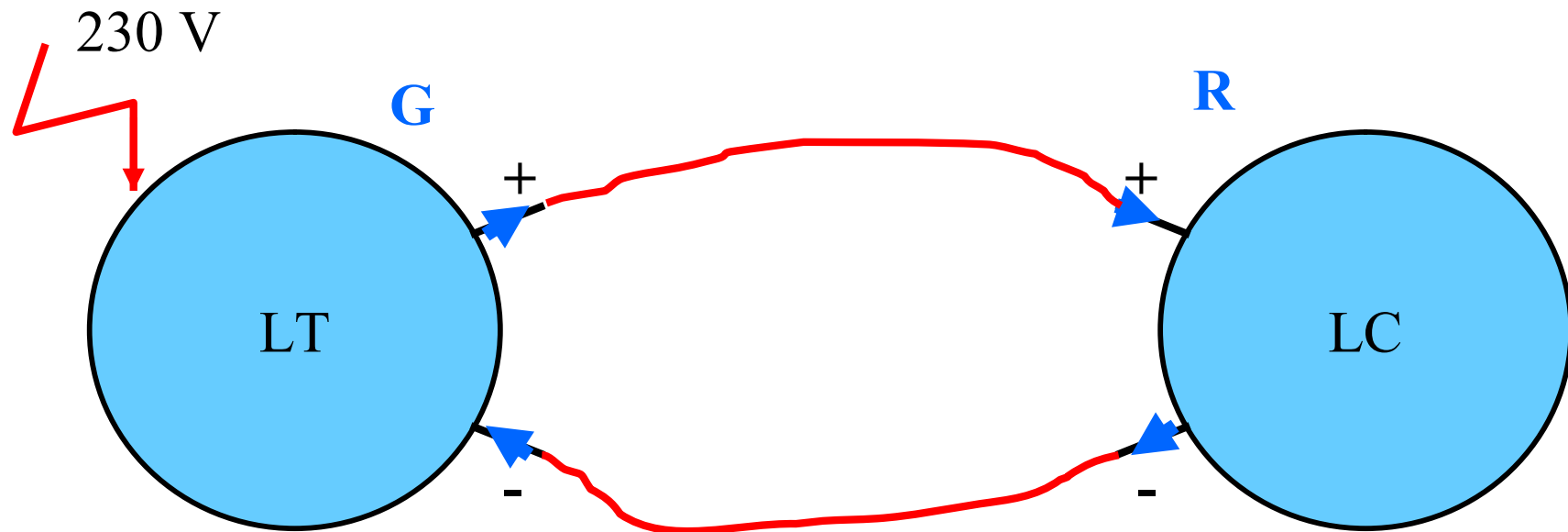
Convention Récepteur : le courant **entre** par la borne PLUS.

**Signal :**

**un courant  
continu variant  
de 4 à 20 mA**

Pour brancher les fils (coté mesure):

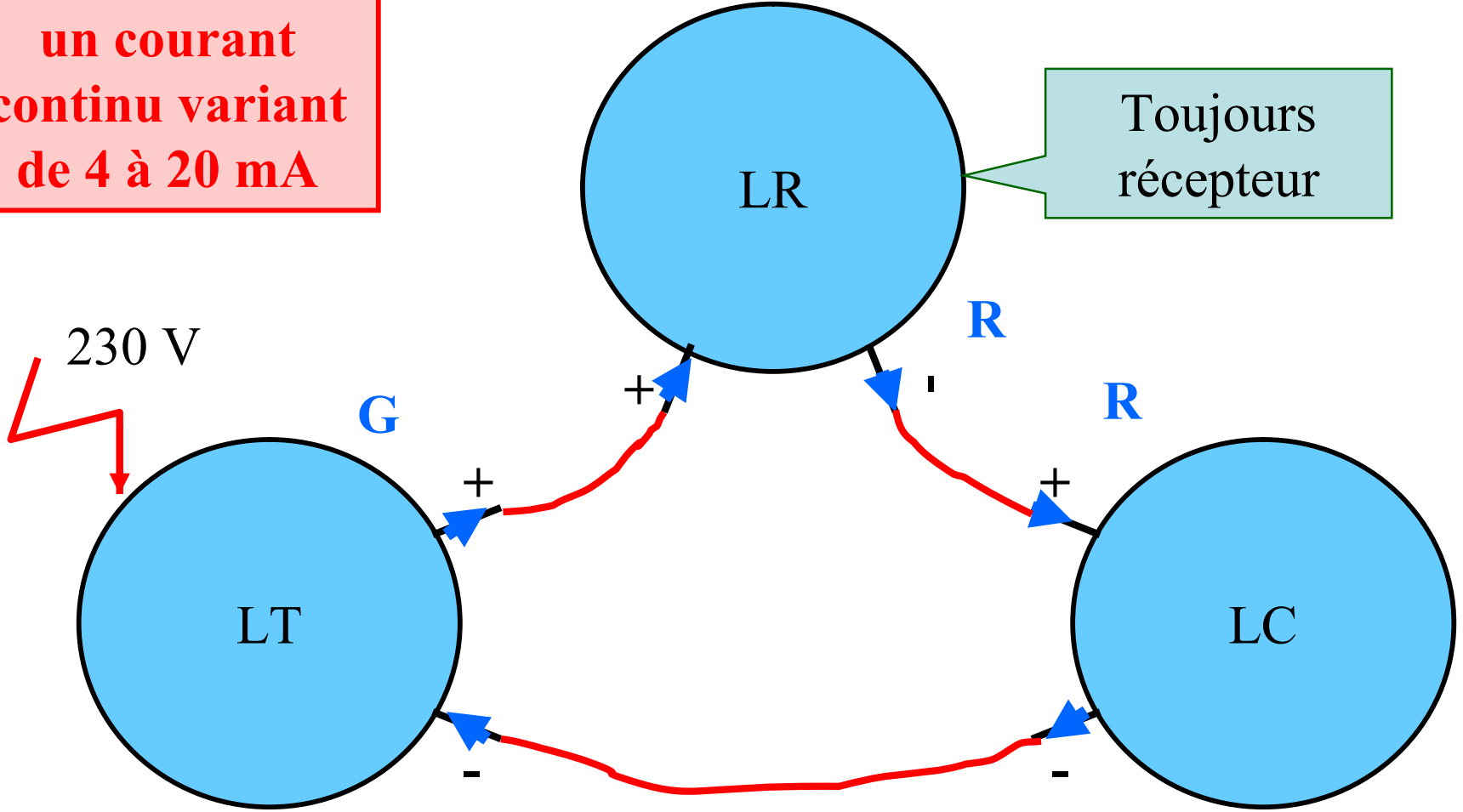
- chercher le générateur électrique du 4-20 mA :
- placer la flèche du courant en fonction des polarités
- câbler



C'est une intensité qui circule on veut la même information partout, il faut donc la même intensité : **montage série.**

**Signal :**  
**un courant continu variant de 4 à 20 mA**

On veut rajouter un enregistreur en entrée 4-20 mA



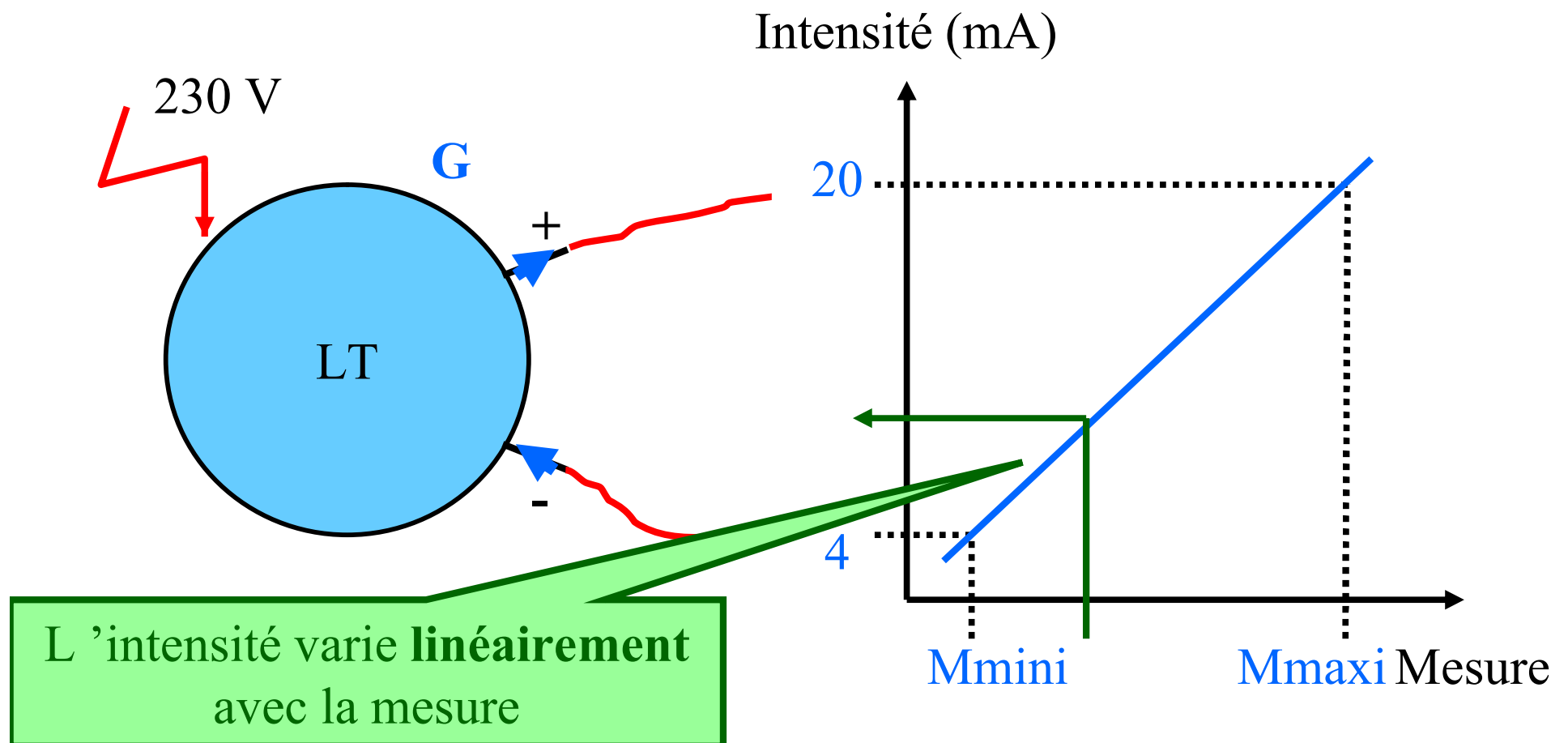
C'est une intensité qui circule on veut la même information partout, il faut donc la même intensité : **montage série**.

**Signal :**

**4-20 mA**

Le capteur possède une échelle réglable ou non :  
Mmini à Mmaxi.

**Attention** Mmini n'est pas forcément zéro !



Vérifier un capteur  
consiste à vérifier sa  
**linéarité** et recalibrer  
son échelle  
**(étalonner)**.

Tous les deux ans.  
**SAUF** Mesures  
Sensibles  
tous les trois mois  
en général.

Intensité (mA)

20

4

Mmini

Mmaxi Mesure

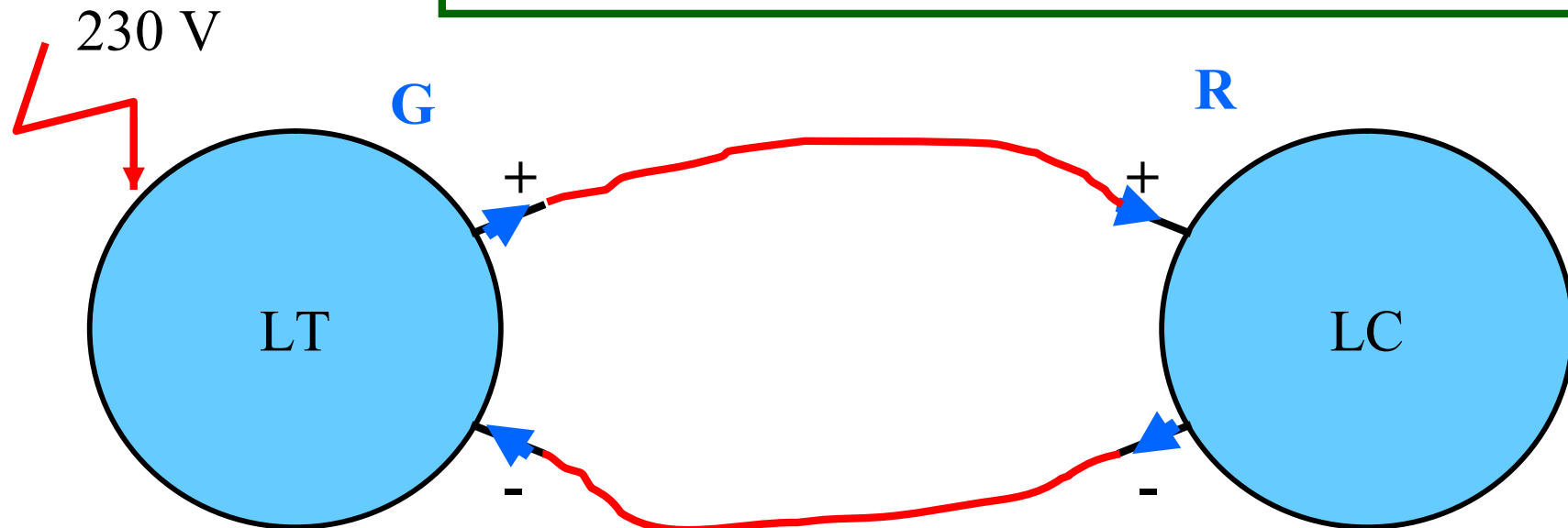
**Le langage :**

**PARLER LE**

**4-20 mA**

Comment calculer l'intensité en fonction de la mesure ?

- Définir l'étendue d'échelle...
- Calculer la mesure en pourcentage d'échelle...





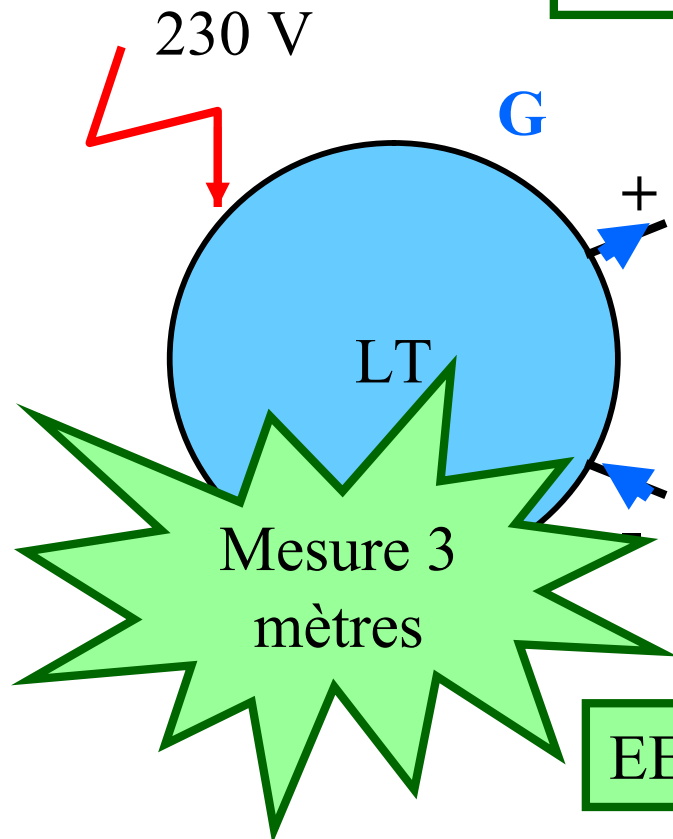
**Le langage :**

**PARLER LE**

**4-20 mA**

Comment calculer l'intensité en fonction de la mesure ?

- Définir l'étendue d'échelle...
- Calculer la mesure en pourcentage d'échelle...



$$M = \frac{h - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}}$$

$$I = M = 0,167$$

$$M = \frac{3 - 2}{8 - 2} = \frac{1}{6} = 0,167$$

$$\text{soit : } M = 16,7\%$$

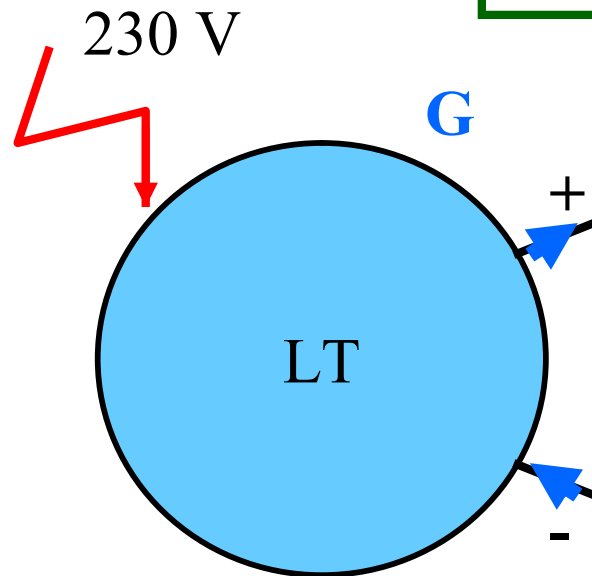
**Le langage :**

**PARLER LE**

**4-20 mA**

Comment calculer l'intensité en fonction de la mesure ?

- Définir l'étendue d'échelle...
- Calculer la mesure en pourcentage d'échelle...
- Calculer l'intensité...



$$I = M = 0,167$$

$$I = \frac{i - i_{\min}}{i_{\max} - i_{\min}}$$

$$I = \frac{i - 4}{20 - 4} = 0,167$$

$$\Rightarrow i = (20 - 4) \times 0,167 + 4$$

$$\Rightarrow i = 6,7\text{mA}$$

**Règle :** Egalité des Pourcentages  $M \% = I \%$

**Le langage :**

**4-20 mA**

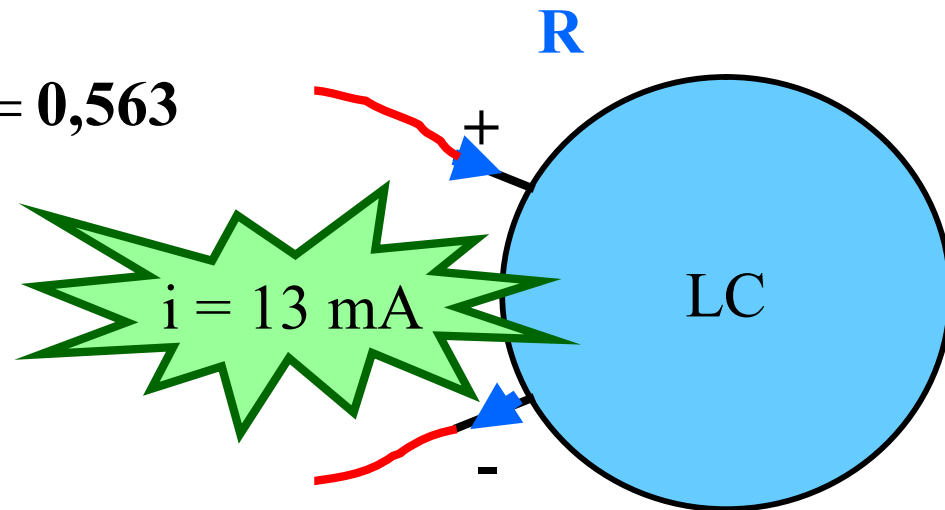
Quelle mesure pour quelle intensité reçue par le régulateur ?

- Calculer l'intensité en pourcentage...
- Utiliser la règle pour trouver la mesure...

$$I = \frac{i - i_{\min}}{i_{\max} - i_{\min}} = \frac{13 - 4}{20 - 4} = \frac{9}{16} = 0,563$$

**Soit :  $I = 56,3\%$**

**Soit :  $M = 56,3\%$**



**Règle : Egalité des Pourcentages  $M \% = I \%$**

D 'autres langage : signaux en tensions (1 à 5 VDC) ou en pression (0,2 à 1,0 bar)...

Même règle de calcul que pour l 'intensité...

**Le principe de base : c 'est qu 'il y a conservation du pourcentage !**

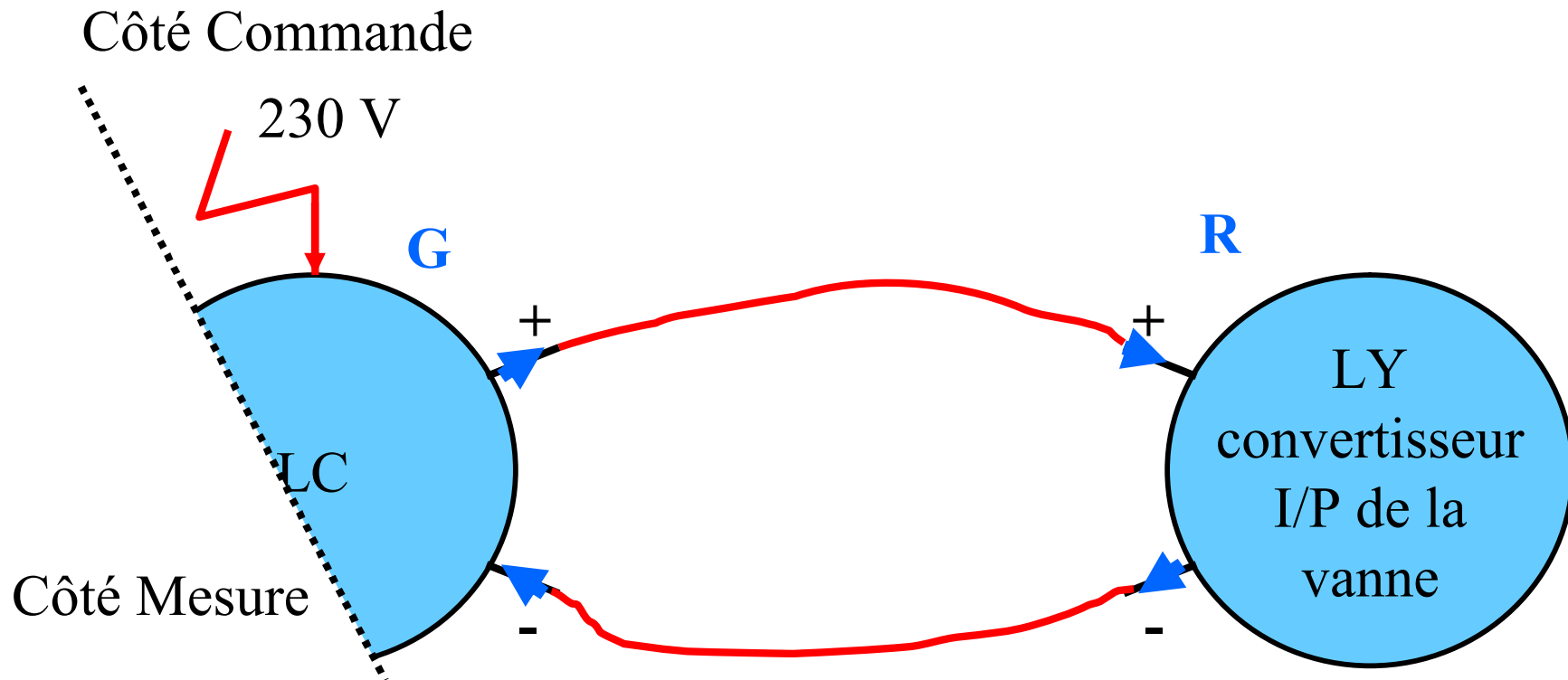
## Et le côté commande u ?

Pour brancher les fils :

- chercher le générateur électrique du 4-20 mA :

**C 'est toujours le régulateur qui est  
générateur côté correction**

- placer la flèche du courant en fonction des polarités  
- intensité donc câblage série.



## 2. Qualités attendues d'une régulation

Pour un procédé régulé ou asservi, les qualités exigées par le cahier des charges les plus rencontrées industriellement sont la stabilité, la précision et la rapidité.

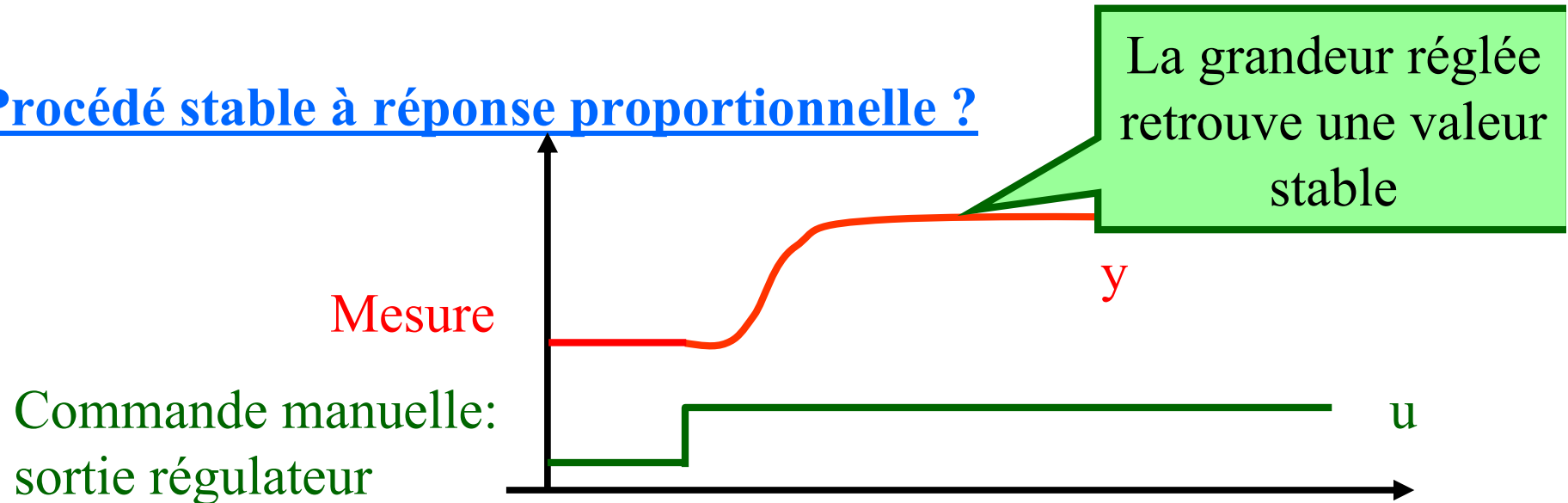
### 2.1 Stabilité

Un procédé en boucle fermée (régulé ou asservi) est considéré comme stable si, pour une variation d'amplitude finie de la consigne ou d'une perturbation, la mesure de la grandeur à maîtriser ou à réguler se stabilise à une valeur finie proche ou égale à la consigne.

De même un procédé en boucle ouverte (non régulé et non asservi) est considéré comme stable si, pour une variation manuelle d'amplitude finie de la commande  $u$ , la mesure de la grandeur à maîtriser ou à réguler se stabilise à une valeur finie.

Deux types de réponse stable possible, par exemple en BO  
(Régulateur manuel) :

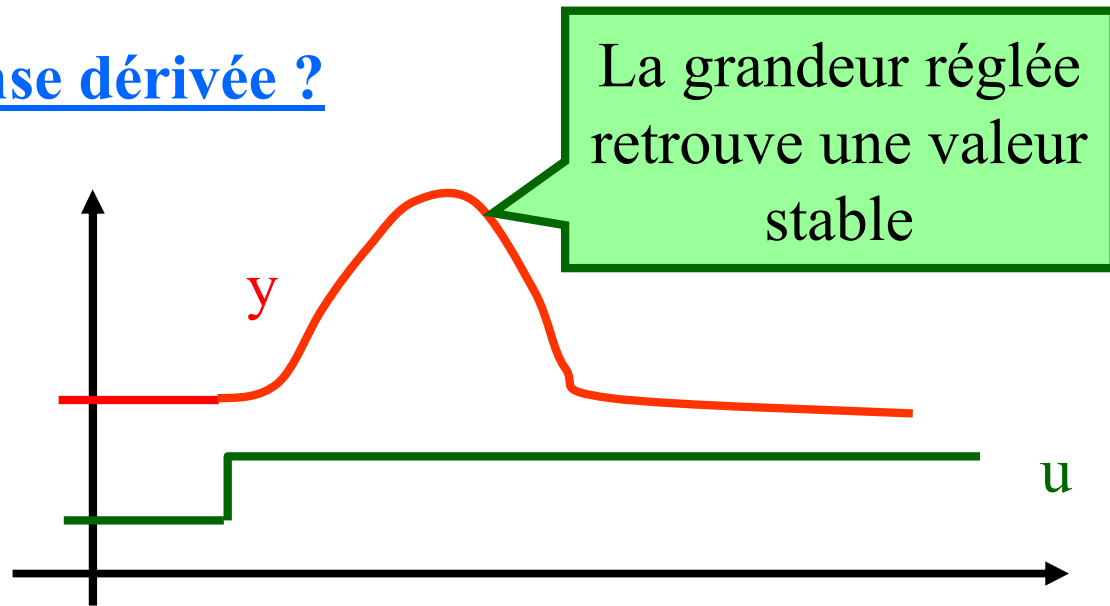
1-Procédé stable à réponse proportionnelle ?



Type régulation de température  
ou de niveau (extraction libre)

## 2-Procédé stable à réponse dérivée ?

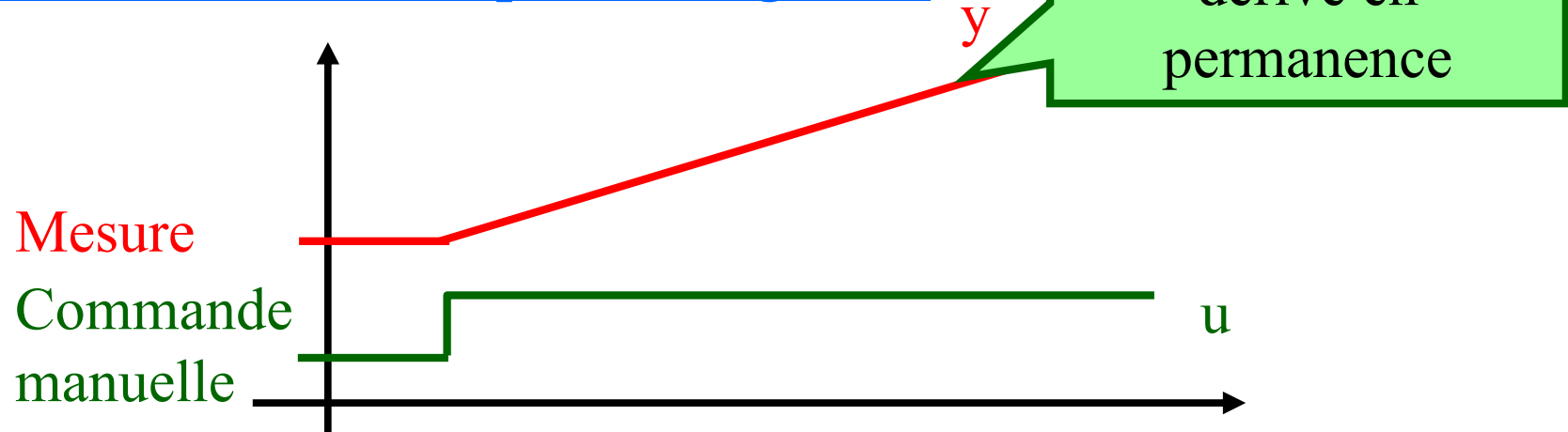
Mesure  
Commande manuelle:  
sortie régulateur





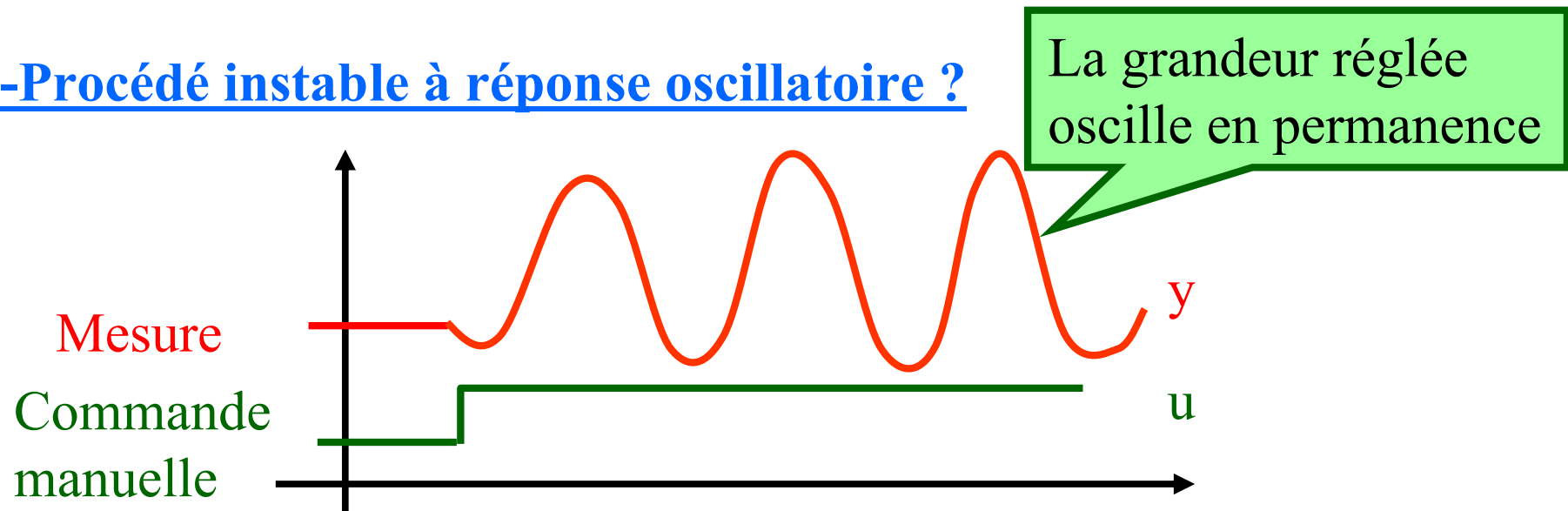
**Deux types de réponse instable possible, par exemple en BO  
(Régulateur manuel) :**

1-Procédé instable à réponse intégrale ?



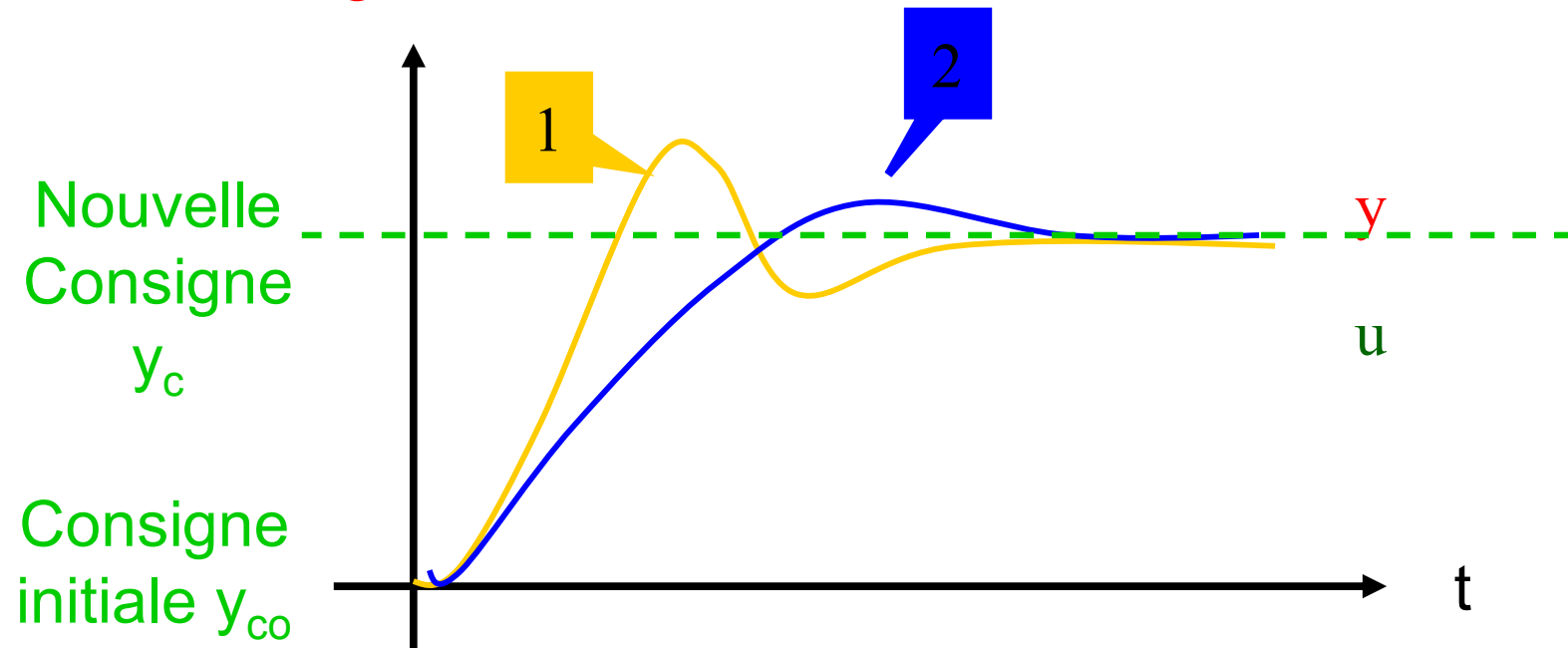
Type régulation de niveau  
(extraction forcée)

## 2-Procédé instable à réponse oscillatoire ?



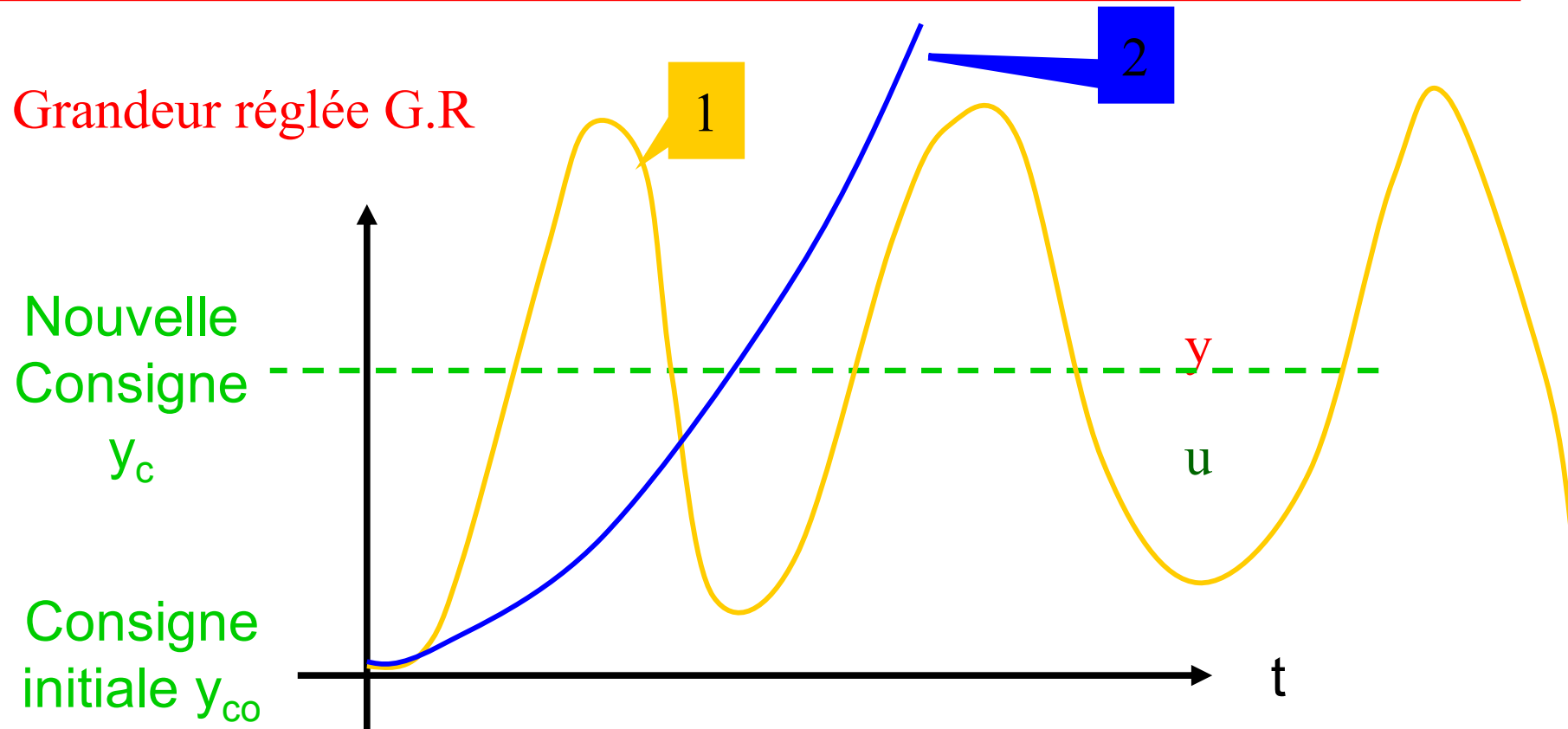
## Réponse stable en BF , suite à un changement de consigne : Asservissement

Grandeur réglée G.R



Procédés régulés stables avec amortissement acceptable. La réponse (2) est plus amortie que la réponse (1): le procédé (2) est plus stable que le procédé (1).

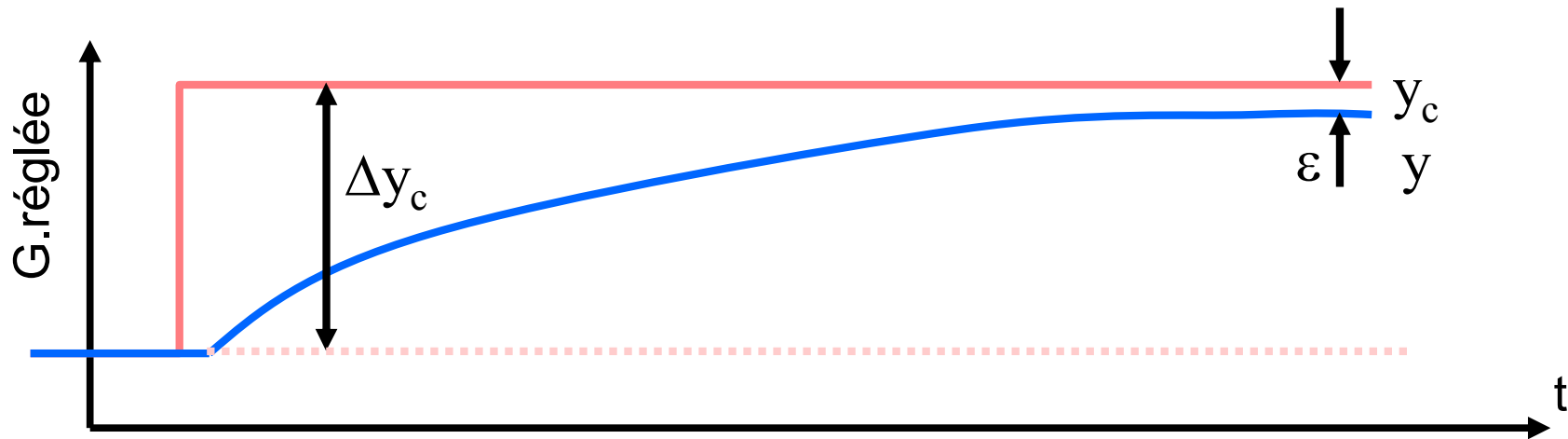
## Réponse instable en BF, suite à un changement de consigne : Asservissement



Evolution de deux procédés régulés instables: inacceptable. Dans les deux cas l'objectif n'est pas atteint, mais surtout il y'a risque de détérioration physique du procédé et de l'actionneur est donc d'insécurité

## 2.2 Précision

La précision d'un procédé ou système régulé se mesure par l'écart entre la consigne demandée et la mesure en régime permanent de la grandeur réglée; on parle alors de précision statique. Plus l'écart statique est petit, plus le système est précis. L'évaluation de la précision statique s'effectue en réalisant une variation rapide de consigne en amplitude.

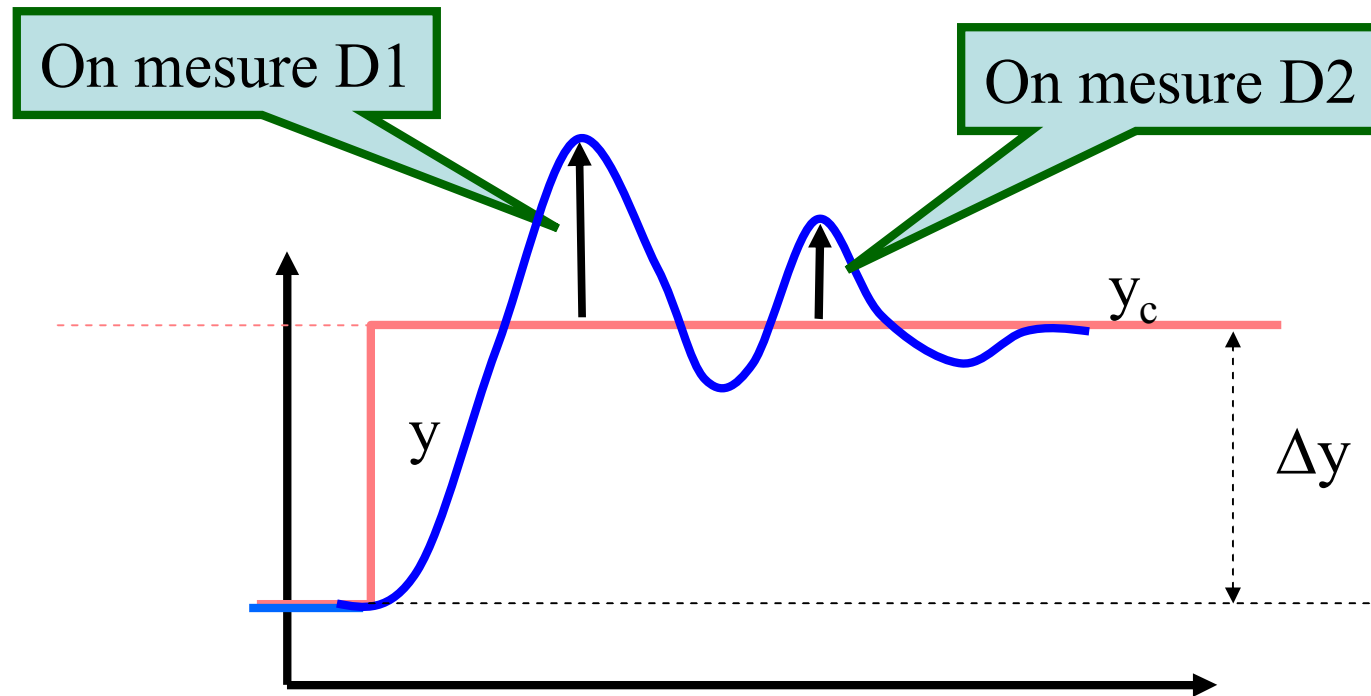


$$\text{Erreur de précision ou de position : } \varepsilon_p = \frac{\varepsilon}{\Delta y_c} \times 100$$

La précision statique est une quantité importante à respecter en régulation. Cependant il ne faut pas oublier qu'un écart trop important en régime transitoire peut s'avérer néfaste au produit ou à l'installation. Dans l'industrie alimentaire, une température montée trop haut détruira les qualités gustatives d'une confiture et une pression instantanée trop élevée peut détruire un réservoir sous pression.

La précision dynamique est donc à prendre en compte lors des réglages des régulateurs. On l'évalue généralement par le dépassement maximal  $D1$  que peut prendre la mesure par rapport à la consigne.

## Précision dynamique : Dépassement



On calcule :

- L'amortissement par période

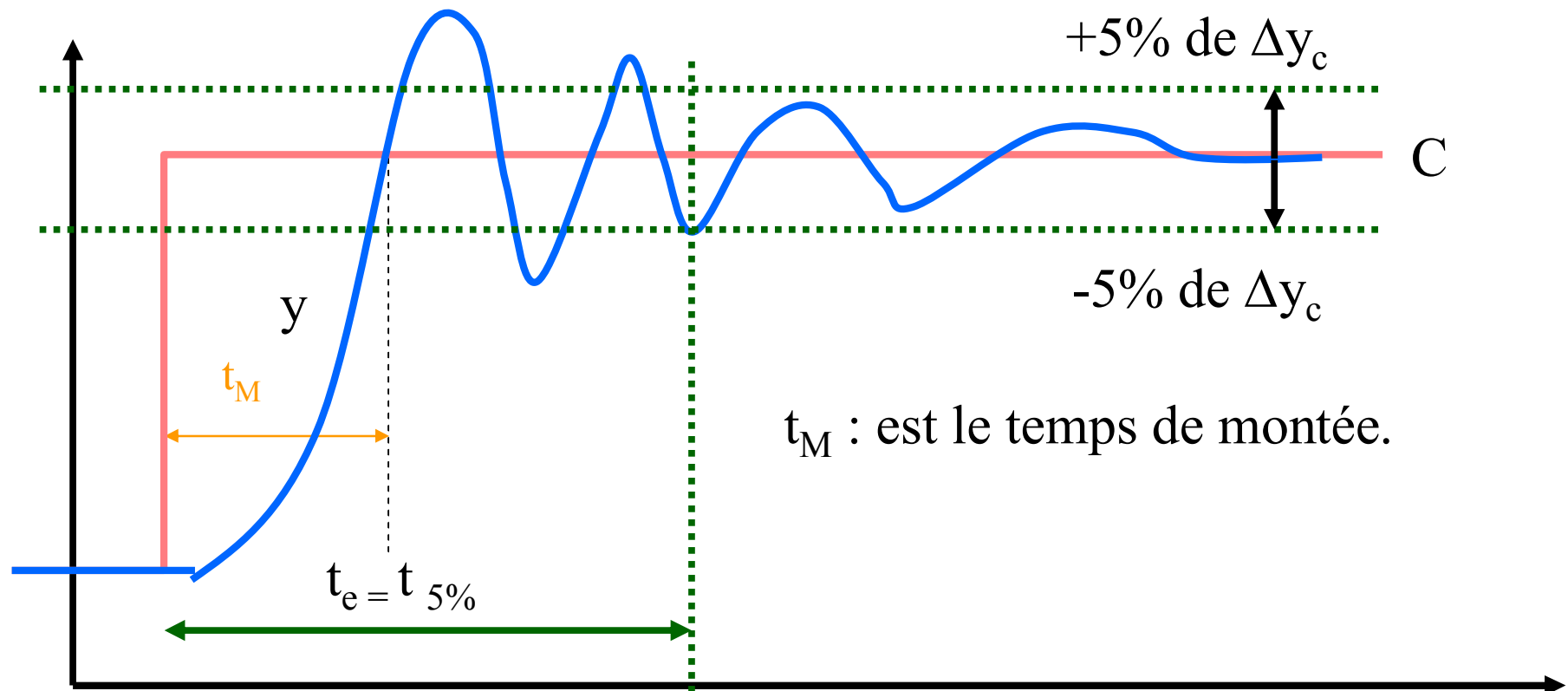
$$A = \frac{D2}{D1}$$

On calcule :

- Le dépassement

$$D = \frac{D1}{\Delta y}$$

## 2.3 Rapidité



Le temps d'établissement ou de réponse ( $t_e = t_{5\%}$ ) est le temps qui s'écoule entre le moment où on fait l'échelon sur la consigne (asservissement) et le moment où la mesure rentre définitivement dans la bande de  $\pm 5\%$  de la variation de consigne.



## 2.4 Compromis précision-rapidité

Il est souvent difficile, voire impossible , d'obtenir une très bonne précision dynamique avec une très grande rapidité pour un procédé régulé. Donc la précision et la rapidité sont deux objectifs du cahier des charges qui sont parfois contradictoires.

Donc il faut chercher un réglage optimal assurant le meilleur compromis entre la précision et la rapidité.