

**INTRODUCTION :**

La régulation industrielle occupe une place importante dans le monde moderne, en raison des performances de plus en plus élevées que l'on réclame des commandes automatiques.

La régulation permet de maintenir une grandeur physique à une valeur constante quelques soient les perturbations extérieures. L'objectif global de la régulation peut se résumer par ces trois mots clefs : Mesurer, Comparer et Corriger.

Nous sommes donc amenés à effectuer des mesures pour obtenir certaines connaissances avant d'entreprendre une action. Ces mesures seront obtenues par l'intermédiaire d'appareillages spécifiques.

Le projet de la régulation est une opération très compliquée en raison des nombreux paramètres qui entrent en jeu. Dans ce chapitre on va introduire brièvement les généralités qui traitent l'étude d'une régulation industrielle.

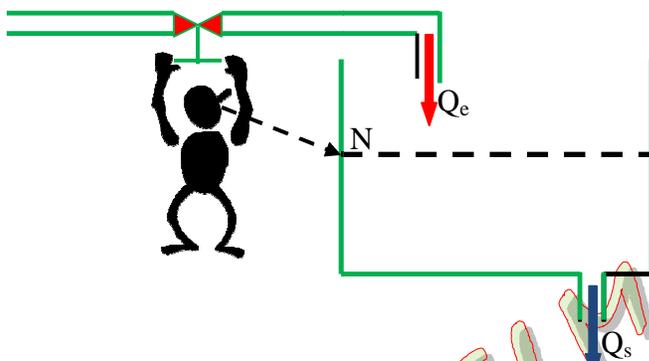
**1. Exemple de Régulation manuelle du niveau**

Figure 1.1 : Régulation manuelle du niveau.

Un exemple très simple pour comprendre le principe de la régulation est celui d'un homme qui veut contrôler le niveau d'un réservoir à partir d'une vanne manuelle, dont à chaque instant, ses yeux "mesurent" l'écart qui existe entre le niveau actuel et le niveau désiré (N). Son cerveau commande alors aux mains d'agir sur la vanne, en sorte que cet écart diminue, puis s'annule.

L'homme dans la figure ci-dessus réalise les fonctions suivantes: **mesure**, **transmission** de l'information, **réflexion** et réglage.

Afin d'obtenir le fonctionnement désiré, la régulation doit agir en continu sur le système. Pour cela il faut **observer** la grandeur à **contrôler** (observation), **comparer** cette grandeur à celle **désirée** et **déterminer** l'action à entreprendre (réflexion) puis **agir** sur une ou plusieurs grandeurs entrées du système (actions). On obtient alors une chaîne de régulation (ou bien une boucle de régulation).

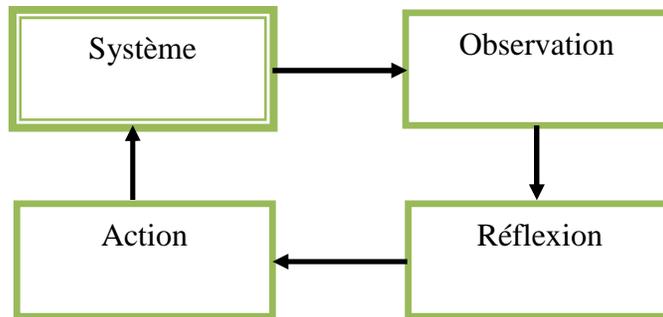


Figure 1.2 : Schéma d'une boucle (chaîne) de régulation.

Pour automatiser cette boucle, il faut remplacer chaque maillon humain par un appareil. Il faut également faire communiquer ces appareils les uns avec les autres.

Les yeux jouent alors le rôle d'organes de mesure (ou de capteurs), le cerveau celui de comparateur et les mains celui d'organe de puissance.

**Régulation :**

La régulation regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à contrôler une grandeur physique soumise à des perturbations. Cette grandeur physique est alors appelée "grandeur réglée". Exemples de grandeur physique : pression, température, débit, niveau etc.... Cette grandeur donne son nom à la régulation. Exemples : Régulation de pression, Régulation de température, Régulation de débit, Régulation de

Toute une régulation comportera trois grandes fonctions nécessaires à sa bonne marche (fig. 1.3) :

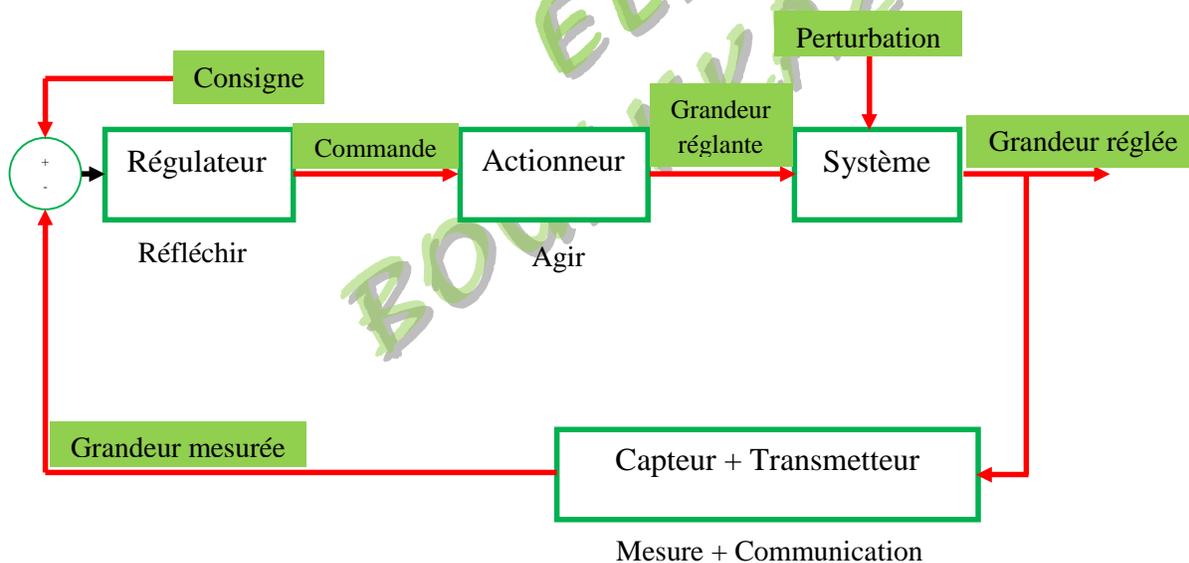


Figure 1.3 : Organisation fonctionnelle d'une régulation (schéma fonctionnel).

Pour réguler un système physique, il faut :

- **Mesurer** la grandeur **réglée** avec un capteur.
- **Réfléchir** sur l'attitude à suivre : c'est la fonction du **régulateur**. Le régulateur compare la grandeur réglée avec la consigne et élabore le **signal** de commande.
- **Agir** sur la grandeur **réglante** par l'intermédiaire d'un **organe** de **réglage**.

## 2. Organes constitutifs d'une boucle de régulation:

La régulation d'une grandeur physique  $y(t)$  élaborée par un système industriel ( $t$  représente l'entendu de temps) consiste à essayer d'obtenir :

$$y(t) = w(t)$$

où  $W(t)$  représente la loi de **consigne**

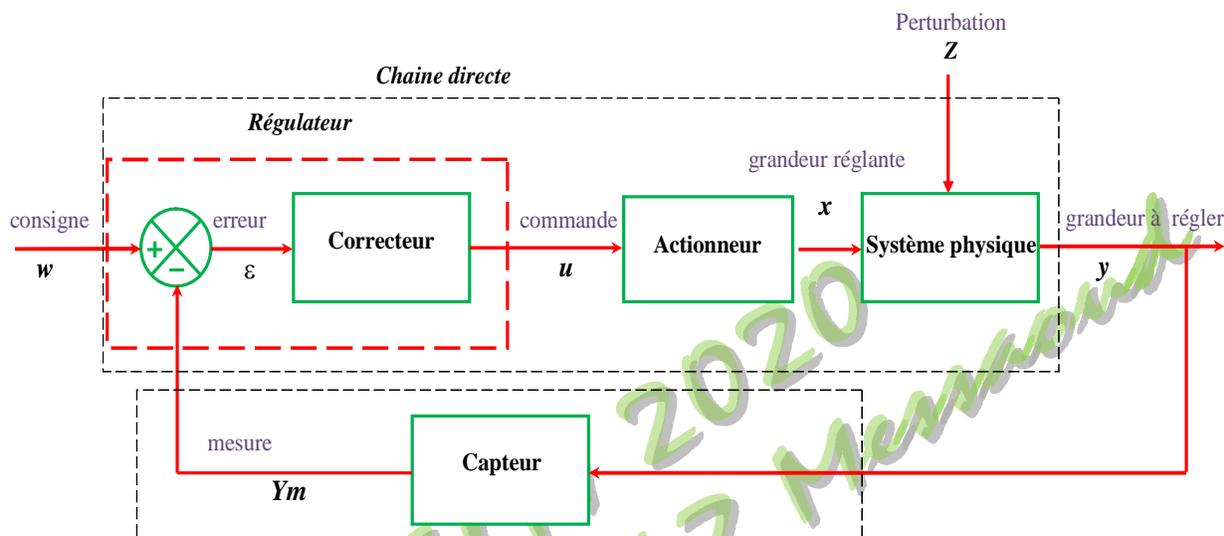


Figure 1.4 : Chaîne d'une régulation automatique.

**Dans** toutes les boucles de régulation, on retrouvera les éléments (organes) suivants:

- le système **physique** à commander et soumis à des **perturbations**, c'est un dispositif isolé soumis à des lois bien définies. Chaque système a plusieurs entrées et sorties par lesquelles on peut exercer une influence sur ce système.
- un **capteur** ;
- un Transmetteur
- une **consigne** (fixe ou variable dans le temps) ;
- un **comparateur** délivrant un signal d'écart (erreur) ; compare en permanence la consigne et la grandeur réglée et donne le résultat de cette comparaison au régulateur.
- un régulateur
- un organe de réglage et actionneur

- un Indicateur
- un Enregistreur

Dans toutes les boucles de régulation, on retrouvera les signaux (grandeurs physiques) suivants :

- **La grandeur réglée (y):**

C'est la grandeur physique que l'on désire contrôler. Elle donne son nom à la régulation, par exemple : régulation de température, niveau, débit,... etc.

- **La consigne (W) :**

C'est la valeur désirée que doit avoir la grandeur réglée, généralement c'est qui a été choisie pour contrôler la grandeur réglée.

- **Les grandeurs perturbatrices (Z):**

Sont les grandeurs physiques susceptibles non mesurables (non contrôlables) d'évoluer au cours du processus et d'influencer la grandeur réglée.

**La grandeur réglante (x) :** c'est la grandeur qui va agir sur le processus et influencer la grandeur à régler (ex : radiateur) pour permettre de modifier la température dans une salle.

**L'erreur :( $\epsilon$ ),** c'est le signal généré par le comparateur.

**Signal de Commande (u):**

**La mesure du Capteur ( $y_m$ ):**

### 2.1. Système physique (Procédé Industriel)

Un système physique est un terme général qui désigne un ensemble d'appareils destiné à obtenir un produit bien déterminé. L'évolution d'un système dépend de plusieurs grandeurs incidentes (**entrées**). Le système est caractérisé à l'aide d'une ou plusieurs grandeurs physiques mesurables à maîtriser (contrôlables) qui vont permettre de contrôler l'objectif fixé (**sorties**) Figure suivante (Fig 1.5).

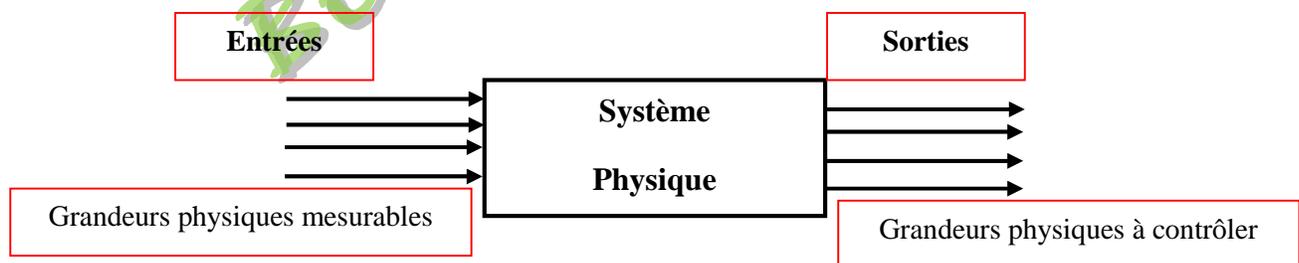


Figure 1.5 : Système physique

2.1.1. Exemple de Système : Mélangeur de lait et de chocolat :

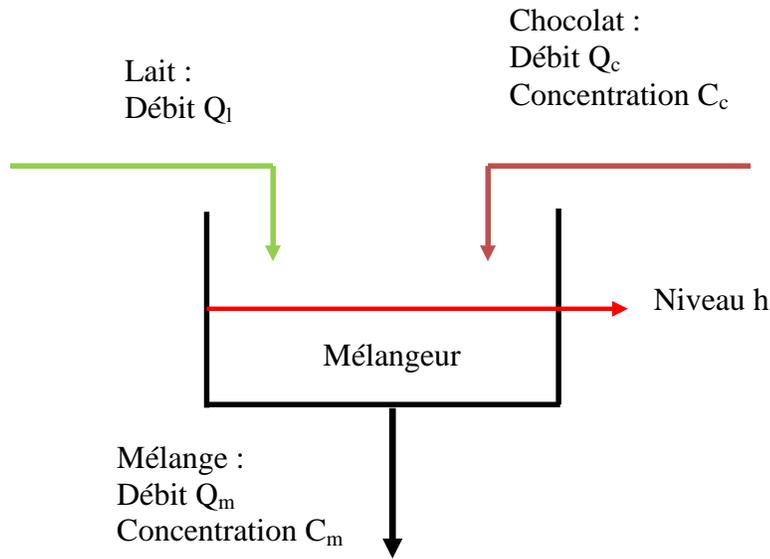


Figure 1.6 : Exemple de Système : Mélangeur de lait et de chocolat.

Afin de fabriquer industriellement du lait chocolaté, on mélange du chocolat à du lait. On souhaite contrôler la qualité du mélange obtenu à partir d’une analyse donnant la concentration en chocolat. Le niveau permet de connaître le volume dans le mélangeur.

Le système (mélangeur) est représenté par le schéma de la figure ci-dessus, tels que les grandeurs à maîtriser (grandeurs à contrôler ou bien les sorties) sont : le niveau  $h$  et la concentration du mélange  $C_m$ . Dans ce système le débit de lait  $Q_l$ , le débit de chocolat  $Q_c$  et le débit du mélange  $Q_m$  vont agir sur le niveau  $h$  ; et les grandeurs d’influence sur la concentration du mélange  $C_m$  sont le débit de lait  $Q_l$ , le débit de chocolat  $Q_c$  et la concentration en chocolat  $C_c$ . La figure suivante (Fig. 1.7) indique les grandeurs qui modifient l’état du système en entrées et les grandeurs qui caractérisent le système en sorties.

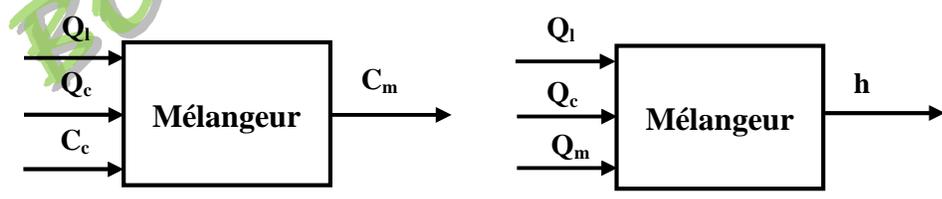
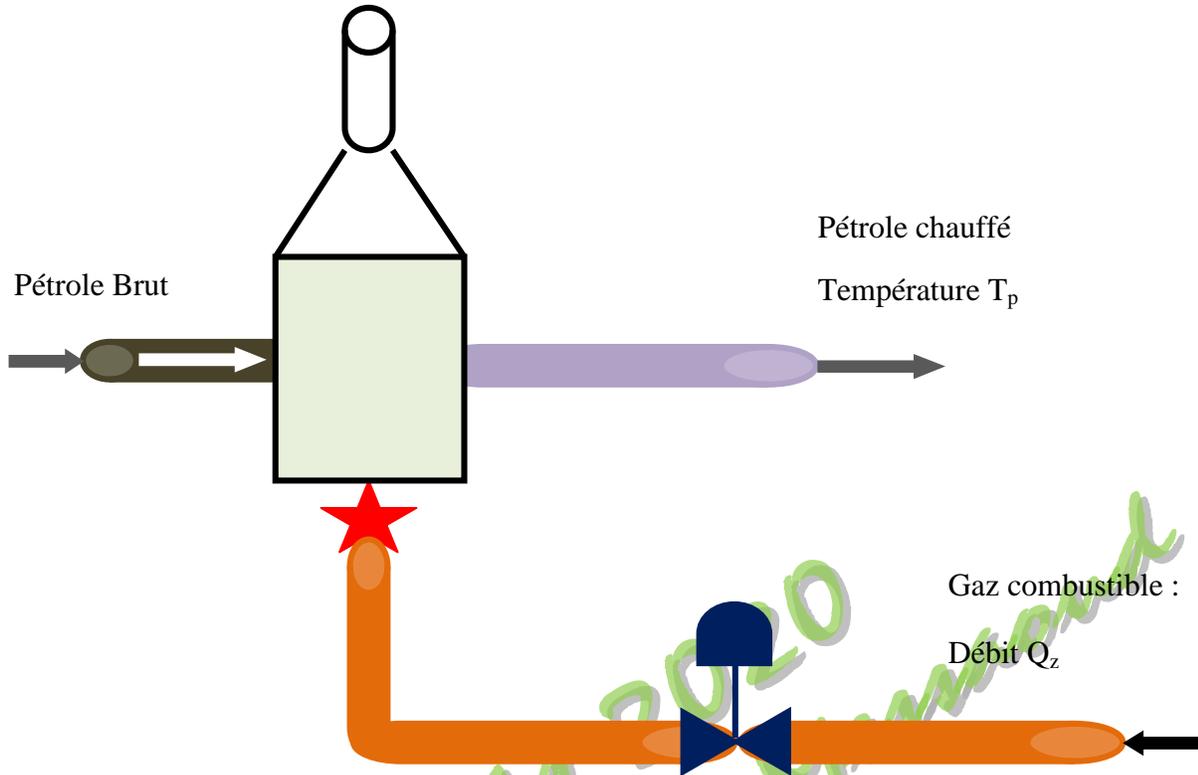


Figure 1.7 : Schéma de représentation d’un système mélangeur.

2.1.2. Exemple 2 : Four

La figure suivante (Fig 1.8) représente un système de **four** pour chauffer le pétrole **brut**. Dans cet exemple, en supposant que c'est un four à **gaz**, on pourra agir sur la **température** en faisant varier le **débit** de **gaz** dans les injecteurs par l'intermédiaire d'une **petite vanne**.



**Figure 1.8 :** Exemple de Système industriel (système four).

Le système (four) est représenté par le schéma suivant :

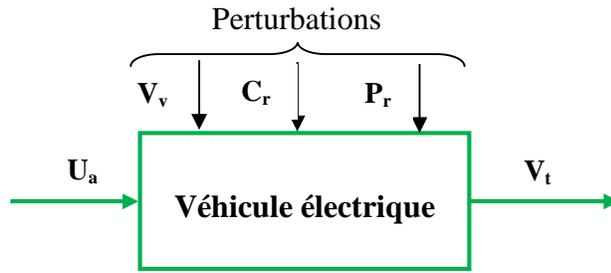


**Figure 1.9 :** Schéma de représentation d'un système four.

### Remarque :

Généralement des sorties des systèmes ne dépendent pas seulement des grandeurs mesurables mais sont aussi sensibles à d'autres grandeurs qui varient de façon imprévisible et qu'on appelle **perturbations**. Comme exemple, la variation de la vitesse  $V_t$  d'une voiture électrique est effectuée par la variation de la tension d'induit  $U_a$  (grandeur mesurable) des moteurs. Mais la vitesse du véhicule est aussi sensible à la vitesse frontale du vent  $V_v$  (et à son sens), à la pente de la route  $P_r$ , à

la charge  $C_r$ , etc... Qui sont des grandeurs non mesurables, ce système peut être représenté par le schéma suivant:



**Figure1.10:** Schéma de représentation d'un système véhicule électrique.

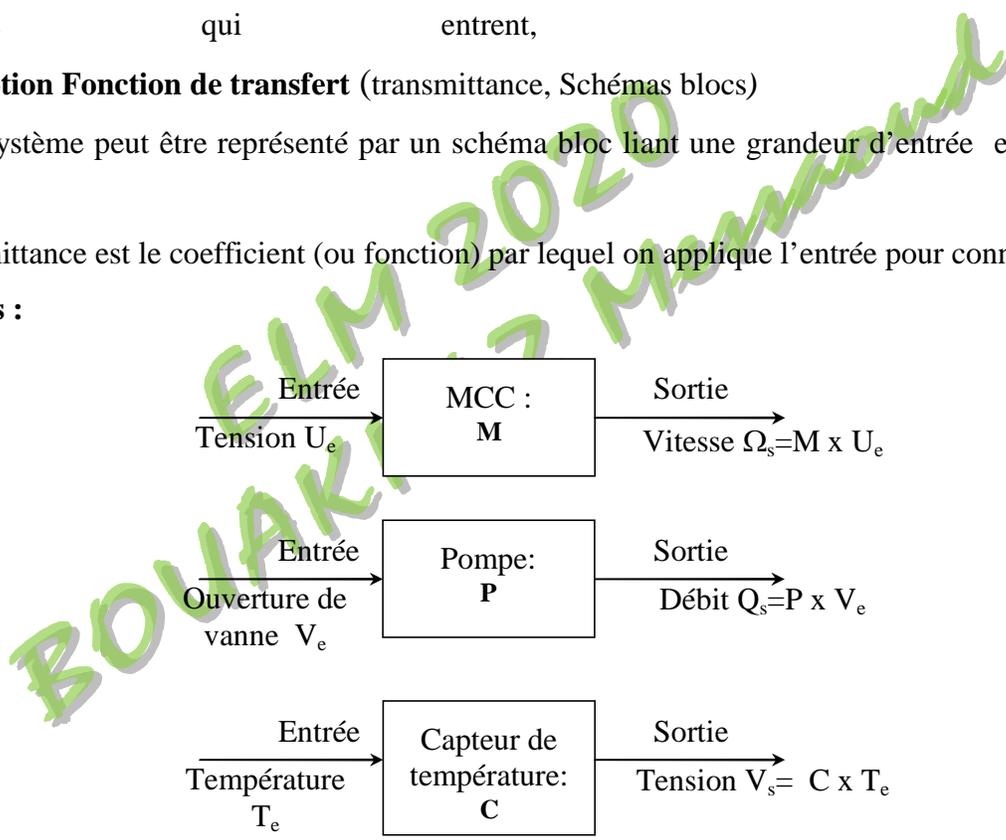
Un autre exemple de système de chauffage de la température au centre d'une salle par des radiateurs de chauffage central. Pour agir sur la température on fait varier le débit d'eau dans les radiateurs par l'intermédiaire d'une petite vanne. Mais la température dans le local est aussi sensible à la température de l'eau qui circule, à la température extérieure, à l'ouverture d'une porte ou d'une fenêtre, au nombre de personnes qui entrent, etc...

**2.1.3. Notion Fonction de transfert** (transmittance, Schémas blocs)

Chaque système peut être représenté par un schéma bloc liant une grandeur d'entrée et une grandeur de sortie.

La transmittance est le coefficient (ou fonction) par lequel on applique l'entrée pour connaître la sortie.

**Exemples :**



**Figure 1.11:** Exemples de transmittance.

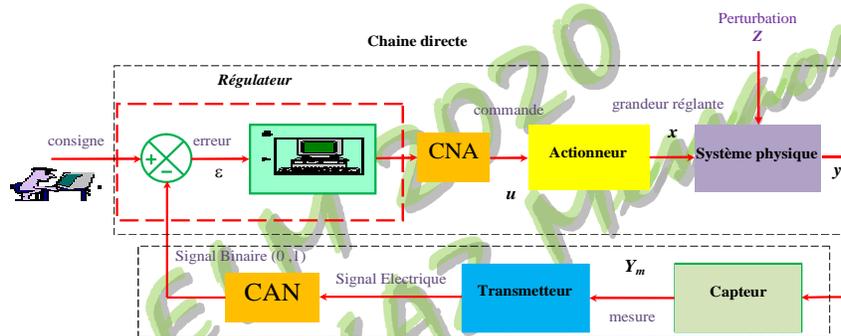
## 2.2. Régulateurs

Les **régulateurs** (contrôleurs, correcteurs) sont le centre d'une régulation industrielle. Ils reçoivent la mesure des grandeurs à régler, les comparent au point de consigne enregistré dans le régulateur et envoient un retour en tant que sortie du régulateurs pour contrôler le dernier élément de régulation (**organe** de **réglage**). Il existe des systèmes pneumatiques et électroniques ou programmables numérique. Un régulateur numérique utilise un algorithme mathématique complexe pour effectuer l'action de contrôle.

**Un régulateur** : sert à générer une **loi** de **commande** qui calcule le signal à envoyer sur l'actionneur de l'organe de réglage.

### 2.2.1. Classification Des Régulateurs

- Un **régulateur** peut être **analogique** il est réalisé avec des composants analogiques (essentiellement des amplificateurs opérationnels) et son signal de sortie évolue de manière continue dans le temps.
- Le **régulateur** peut également être **numérique** : il est réalisé à l'aide d'un système programmable (microprocesseur par exemple) et son signal de sortie est alors le résultat d'un algorithme de calcul.



**Figure 1.11:** une boucle de régulation numérique.

- CNA : convertisseur Numérique Analogique
- CAN : convertisseur Analogique Numérique
- On trouve également les **régulateurs T.O.R.** (Tout ou Rien). La grandeur réglante ne peut prendre que **deux** valeurs et l'actionneur de puissance ne dispose alors que de deux états de fonctionnement il est « **ouvert** » ou « **fermé** ». Le suivi de consigne est dans ces conditions beaucoup moins fin qu'avec les deux systèmes précédents, mais il peut être suffisant si l'on ne désire pas une grande précision (par exemple le **thermostat** qui met en route ou **arrête** le chauffage dans un appartement).

**2.3.Actionneur** : c'est l'élément qui agit sur la grandeur réglante.

Un **actionneur** est la partie la plus importante de l'élément de régulation finale, un dispositif qui **provoque** un **changement** physique dans l'élément de contrôle final (organe de réglage). Pour une vanne de contrôle, l'actionneur est la **tige** de la vanne et pour un dispositif de chauffage, il s'agit du **serpentin** de chauffage. Un actionneur peut être contrôlé en pneumatique, hydrauliquement, électriquement.

Les actionneurs **pneumatiques** utilisent la pression d'air de l'instrument pour appliquer une force sur la membrane afin de déplacer l'actionneur de la vanne, puis pour positionner la tige de la vanne.

La photo suivante montre une vanne de régulation, avec un actionneur pneumatique à membrane monté au-dessus du corps de la vanne.

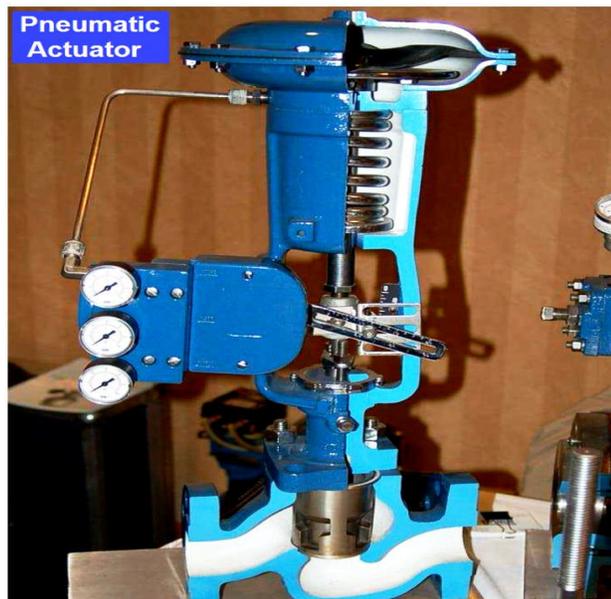


Figure 1.12 : vanne de régulation [www.instrumentationtools.com](http://www.instrumentationtools.com)

Dans cet exemple (Fig 1.12), le grand ressort hélicoïdal fournissant un **positionnement** par **défaut** de la vanne (la pression d'air agissant contre le diaphragme, déplace la vanne contre le ressort. La pression d'air **appliquée** au bas de la membrane soulève la tige coulissante de la vanne vers le haut.

La pression atmosphérique nécessaire pour motiver un actionneur pneumatique peut provenir directement de la sortie d'un régulateur pneumatique ou d'un **transducteur** (ou convertisseur) de signal traduisant un signal électrique en un signal de pression atmosphérique.

De tels transducteurs sont généralement appelés **convertisseurs I / P** ou "I à P", car ils traduisent généralement un signal de courant **électrique** (I) de 4 à 20 mA CC en un signal de pression d'air (P) de **0.2 à 1 bar**.

Certains actionneurs de vannes pneumatiques sont équipés de **volants** utilisés pour positionner manuellement la vanne en cas d'absence de la pression d'air. La photo suivante montre une vanne de régulation à tige coulissante avec actionneur pneumatique à membrane et "volant" sur le dessus

[Www. Instrumentationtools.com](http://www.instrumentationtools.com)

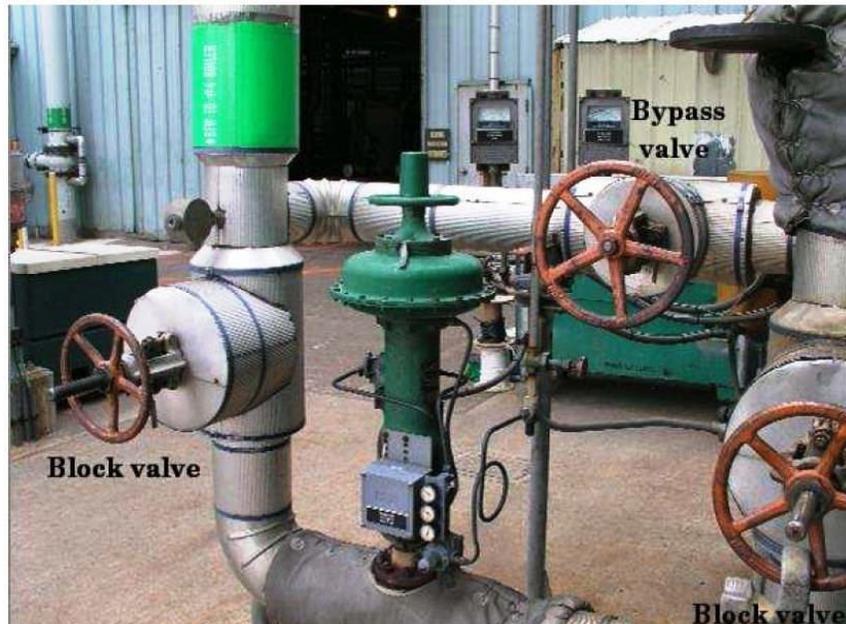


Figure 1.13 : vanne de régulation équipée de volant

#### 2.4. Indicateurs

Un **indicateur** est un périphérique lisible par l'homme qui affiche les variables d'un processus industriel. Il existe des indicateurs analogiques tels que ceux utilisés dans le capteur de pression et de température et des indicateurs numériques qui affichent les grandeurs à régler sous forme de chiffres. Même si la grandeur à régler est connectée au régulateur, les indicateurs sont utilisés par les industries à des fins différentes.



Figure 1.14 : Exemple d'un indicateur.

[Www. Instrumentationtools.com](http://www.instrumentationtools.com)

## 2.5. Les capteurs

Un capteur est un instrument qui fournit une sortie utilisable en réponse au mesurande d'entrée. Un capteur est également appelé élément de **détection**, capteur primaire ou détecteur primaire. Le mesurande est la grandeur **physique** à mesurer.

Un **transducteur** d'entrée produit une **sortie électrique** représentative du mesurande d'entrée. Sa sortie est conditionnée et prête à être utilisée par l'électronique de réception, telle que **PLC** ou **DCS**.

L'électronique de réception peut être un **indicateur**, un **régulateur**, un **ordinateur**, un **automate** programmable, un système de **contrôle-commande**, etc. Le terme «**transmetteur**», tel qu'il est couramment utilisé avec les instruments de régulation, a une définition plus étroite que celle d'un capteur ou d'un transducteur:

**Le capteur-transmetteur** : Le capteur-transmetteur est constitué de 2 parties principales :

- **Le corps d'épreuve** qui se trouve en contact avec la grandeur physique à mesurer.
- **Le transmetteur** est chargé de mettre en forme normalisée le signal  $y_m$  et transporte l'information. Ce transmetteur est aussi appelé **conditionneur**.

**Le corps d'épreuve** :

- **Exemples** :

La **sonde** qui se trouve plongée dans le milieu dont on mesure la température et dont la résistance varie quand la température varie.

La membrane qui détecte une variation de pression par rapport à une pression de référence (vide ou atmosphère).

- **Le transmetteur ou conditionneur** : C'est lui qui traite la mesure recueillie par le corps d'épreuve de façon à en tirer la valeur de la grandeur physique que l'on mesure.

**Exemples** :

Pour la mesure de température, le transmetteur mesure la résistance de la sonde et lui affecte la température correspondante puis transforme cette valeur en pourcentage et enfin génère le signal de transmission.

Pour la mesure de pression, le transmetteur relève la déformation de la membrane, lui associe la pression correspondante...

### 2.5.1. Choix du capteur-transmetteur :

Il existe 2 types de capteur-transmetteurs, les capteur-transmetteurs dits "**actifs**" et les capteur-transmetteurs dits "**passifs**".

Les capteur-transmetteurs actifs sont alimentés en 220 V et produisent le signal d'information (par exemple une intensité dans la gamme 4-20 mA).

Les capteur-transmetteurs passifs ne sont pas alimentés en 220 V. dans ce cas, il faut ajouter un générateur.

Le choix du corps d'preuve est effectué en fonction du procédé. Pour le choix du transmetteur, il est effectué en fonction de la nature du signal d'information transmis.

Chaque instrument a au moins une entrée et au moins une sortie. Pour les instruments à réponse linéaire, la correspondance entre entrée et sortie est proportionnelle :

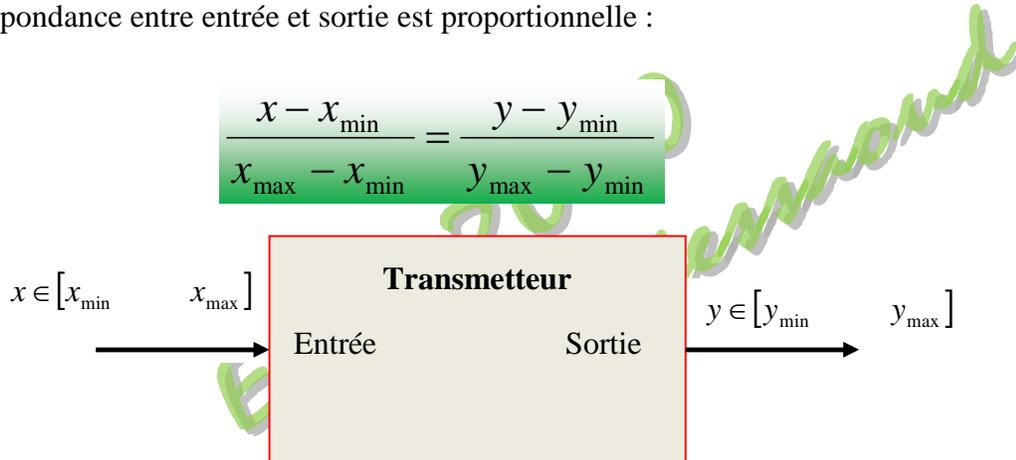


Figure 1.15 : Entrées- sorties d'un transmetteur.

**Exemple :**

Un exemple pratique en est un transmetteur de pression, dans ce cas, avec une plage d'entrée de 0 à 70 bar et une sortie de 4-20 mA.

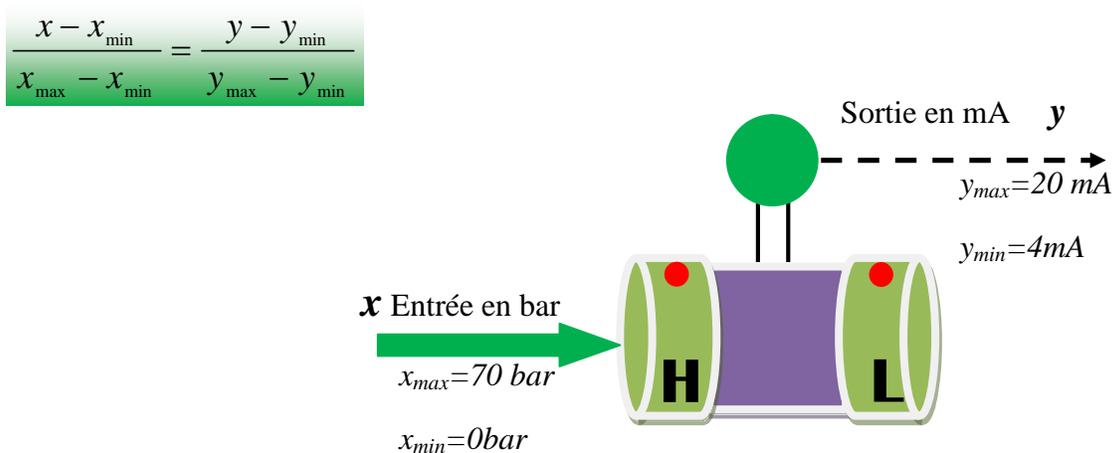


Figure 1.16 : Entrées- sorties d'un transmetteur de pression différentielle.

$$\frac{x - 0}{70 - 0} = \frac{y - 4}{20 - 4} \Rightarrow \frac{x}{70} = \frac{y - 4}{16}$$

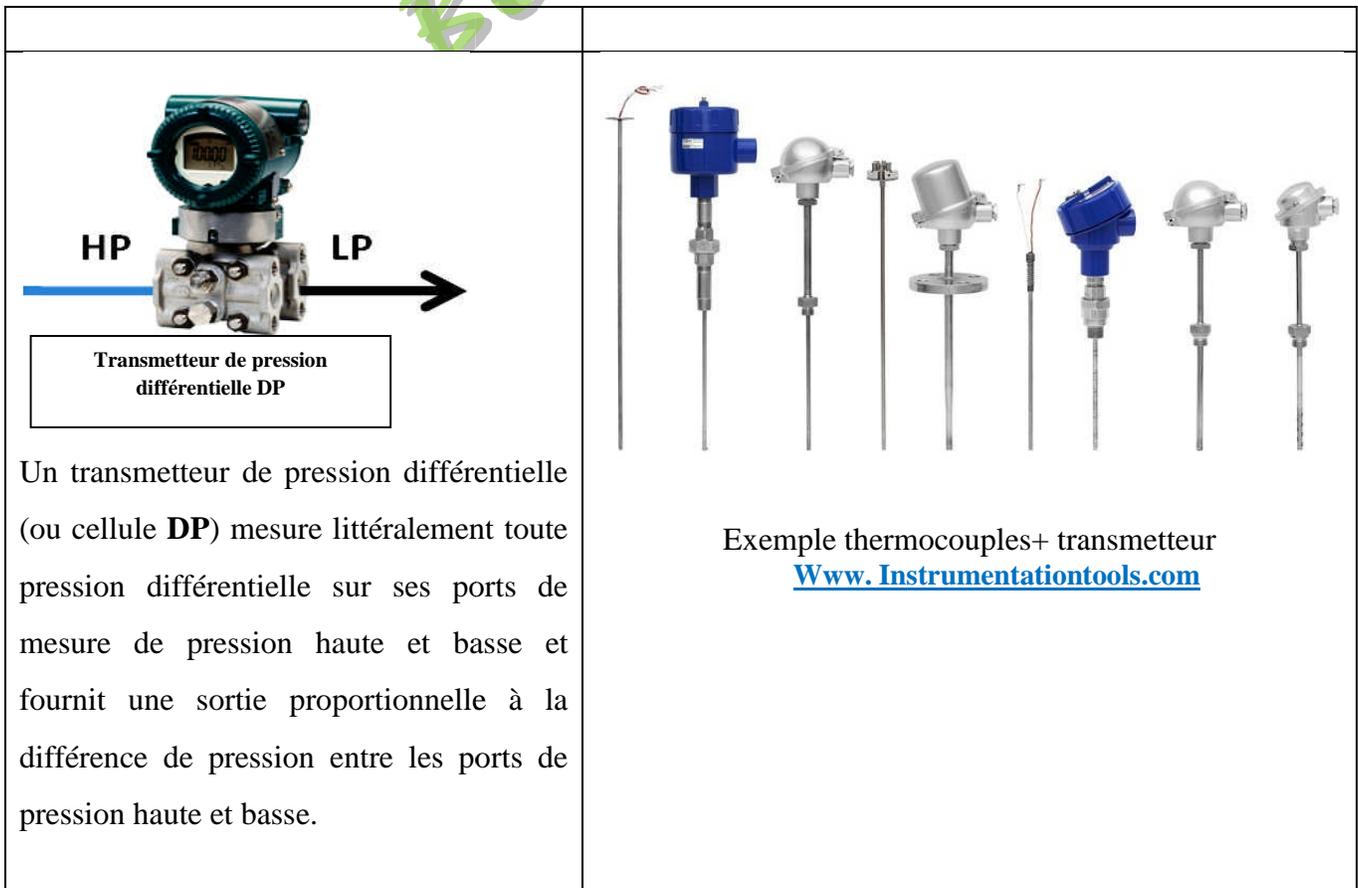
- Si la mesure en courant de sortie est **15 mA** à partir de ce transmetteur de pression

$$16 \times x = 70 \times (y - 4) \Rightarrow x = \frac{70}{16} \times (y - 4) = \frac{70}{16} \times (15 - 4) = 48.125 \text{ bar}$$

Ce serait une tâche simple pour calculer la pression d'entrée correspondante à **48.125 bar**

- Pour une pression d'entrée de **22 bar**, on peut calculer facilement le courant généré par le transmetteur en sortie

$$16 \times x = 70 \times (y - 4) \Rightarrow \frac{16}{70} \times x = (y - 4) \Rightarrow y = \frac{16}{70} \times x + 4 = \frac{16}{70} \times 22 + 4 = 9 \text{ mA}$$



**Figure 1.17 :** Exemples d'un capteur-transmetteur.

Dans le cas de capteur- transmetteur DP, on prend comme exemple la mesure de pression d'un liquide dans une cuve, d'après les propriétés hydrauliques mécaniques d'un liquide à l'intérieur d'un récipient, le liquide exerce une pression spécifique sur le fond du récipient, en fonction de la hauteur du niveau de liquide (h = mètres), de la densité (g = 9,8 m / s) et la densité (rho kg / m3) du liquide.

La formule pour calculer cette pression est :

$$P = \rho \times g \times h$$

Une cellule DP peut ainsi être utilisée pour mesurer la pression du liquide au fond de la cuve et mise à l'échelle pour donner une valeur de niveau de pourcentage proportionnelle à la pression mesurée.

	
<p>Transmetteur de diaphragme à distance pour application sous vide.  <a href="http://www.instrumentationtools.com">www.instrumentationtools.com</a></p>	<p>Un débitmètre à orifice pour mesurer le débit de pétrole, de gaz et d'autres liquides acheminés par le pipeline.</p>

Figure 1.18 : Exemples d'un capteur-transmetteur.

### 3. Les signaux de communication- câblage entre différents organes :

#### 3.1. Nature des signaux transmis :

Généralement l'information se transmet en utilisant un support physique facilement contrôlable. Il sera soit électrique soit pneumatique (pressions d'air dans des tubes).

- **Signal électrique - Intensité électrique** : Les signaux de communication sont en général un courant continu variant de 4 à 20 mA. Suivant le type de capteur utilisé, deux cas peuvent être trouvés : Un capteur passif nécessite d'utiliser un générateur externe et Un capteur actif c'est lui qui est un générateur.

Le signal électrique, contenant l'information sur  $y$ , est émis par le capteur-transmetteur sous forme d'une intensité électrique, le courant transite par le régulateur et retourne au capteur puisque la boucle

de courant est fermée. Le régulateur mesure ce courant lors de son passage et connaît ainsi l'information véhiculée.

➤ **Signal électrique - Tension électrique :**

L'information avec ce type de signal est transmise de la même façon que pour le 4-20 mA mais avec maintenant une tension normalisée qui varie de 0 à 10 V ou 0 à 5 V.

➤ **Signal pneumatique –Pression :**

L'information avec ce type de signal est transmise de la même façon que pour le 4-20 mA mais avec un signal transmis dans ce cas est une pression qui varie entre 0,2 et 1 bar.

**Exemple:**

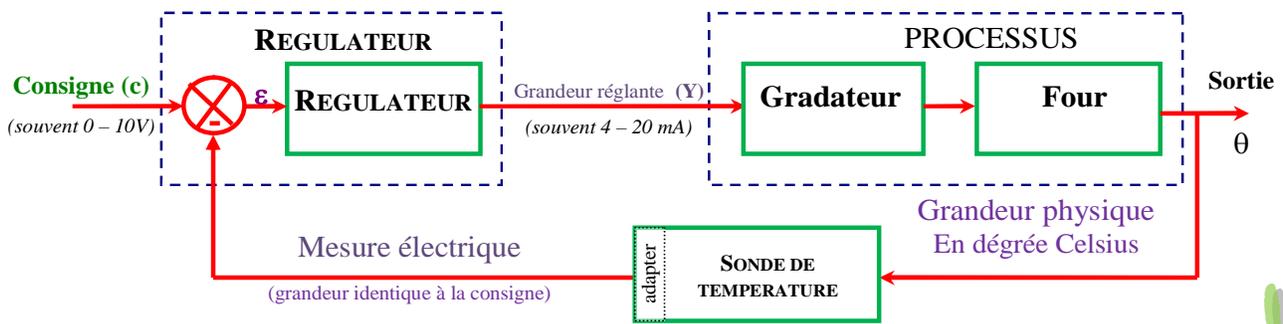


Figure 1.19 : chaîne de mesure.

**4. Exemples de systèmes de régulation :**

**Exemple 01 :**

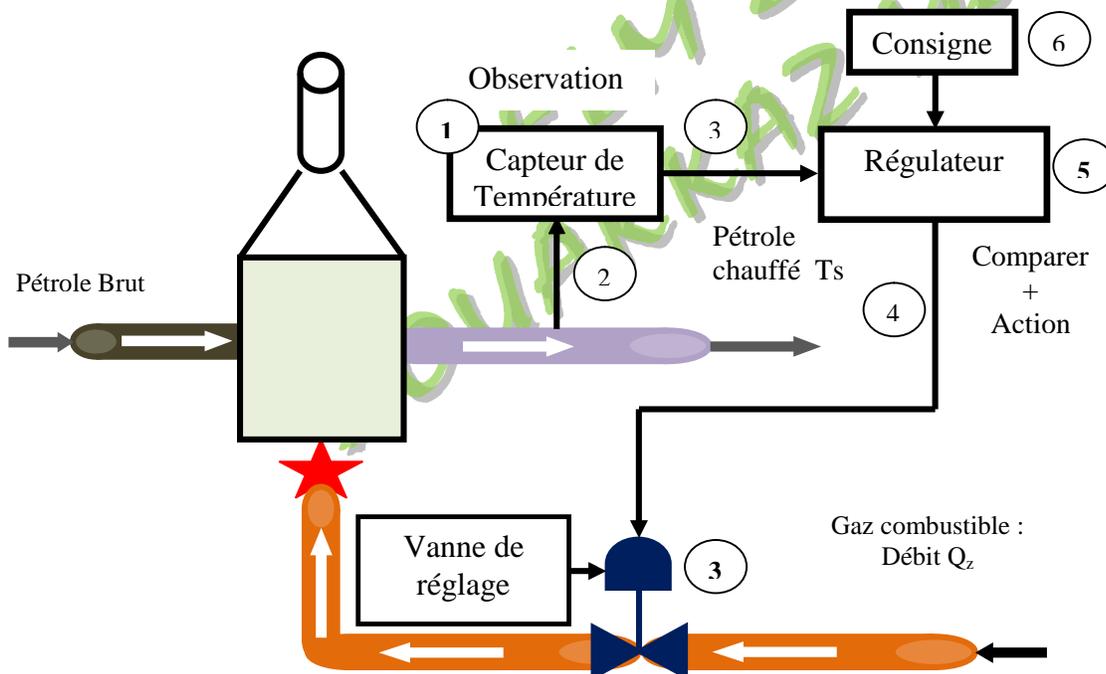


Figure 1.20 : Exemples d'une régulation de température.

- (1) **Capteur** : contrôle la grandeur réglée (2) et en rend compte au régulateur. Il doit en donner une image fidèle. Sa sensibilité impose les limites de la précision de la régulation.
- (3) **Actionneur (organe de réglage)**: il maîtrise la puissance à fournir au processus à partir du signal issu du régulateur (4).
- (5) **Régulateur** : il élabore un signal de commande à partir de l'écart (erreur) entre l'entrée (consigne) (6) et la mesure (3) et permet d'améliorer les performances du système.

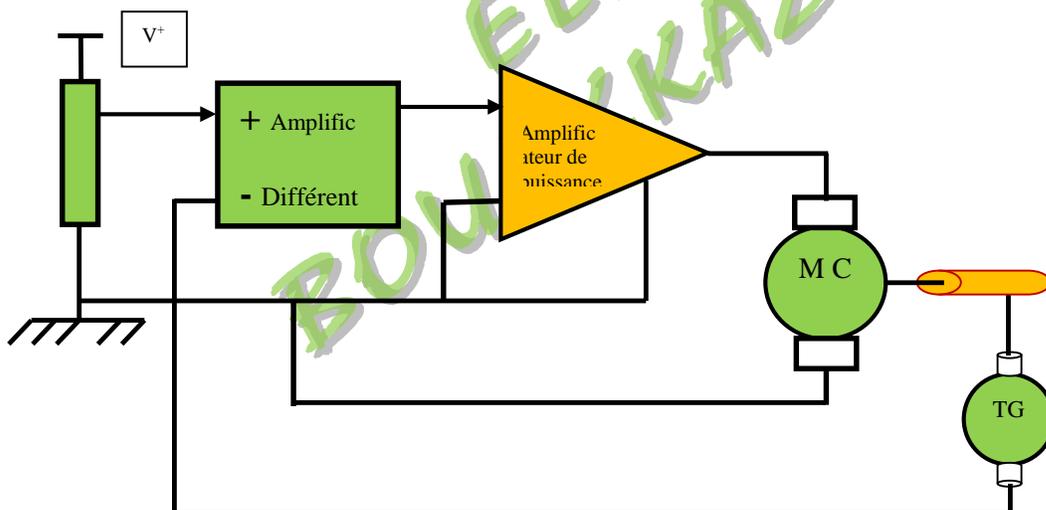
➤ **Remarque :**

Avant de pouvoir réguler  $y(t)$ , il faut pouvoir agir sur  $y(t)$  par modification d'une grandeur de commande  $x(t)$ . Par exemple dans le cas du four, en supposant que c'est un four à gaz, on pourra agir sur la température en faisant varier le débit de gaz dans les injecteurs par l'intermédiaire d'une petite vanne proportionnelle motorisée.

**Exemple 02 :**

Que l'on veuille maintenir constante la vitesse ( $V$ ) d'une voiture. A la valeur ( $V$ ) de la vitesse correspond une valeur ( $e$ ) de la course de l'accélérateur. Il suffirait donc, en principe, de maintenir ( $e$ ) constant pour que ( $V$ ) le soit. Chacun sait que la réalité est différente. En effet, le vent, les variations de pente et le mauvais état de la route modifient ( $V$ ). Ces paramètres extérieurs qui influent sur la vitesse sont appelés *grandeurs perturbatrices* ou *perturbations*. Si elles n'existaient pas, la boucle de régulation serait inutile.

**Exemple 03 :**



**Figure 1.21 :** Exemples d'une régulation de vitesse d'un moteur à courant continu.

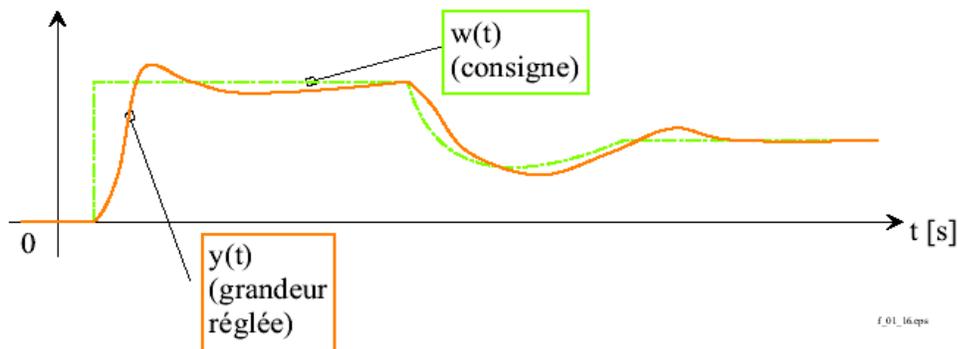
## 5. Distinction asservissement/ régulation

Il est bon de faire la distinction entre boucle d'asservissement et boucle de régulation. Toutes les deux fonctionnent sur le même principe, mais leur finalité diffère sensiblement:

Un **asservissement** impose à la grandeur de sortie (grandeur à régler) du système de suivre rapidement les variations de la consigne avec une certaine précision (la grandeur de sortie est identique ou proportionnelle à une grandeur d'entrée) (ex : la position de l'antenne d'un radar de poursuite de satellites doit suivre la consigne imposée par la position du satellite chaque instant ; poursuite de **trajectoire**  $\Leftrightarrow$  consigne variable).

Un **système asservi** est un système dit suiveur, c'est la consigne qui varie.

**Exemple :** une machine outil qui doit usiner une pièce selon un profil donné, un missile qui poursuit une cible, pilotage automatique d'un avion, radar de poursuite de satellites.



**Figure 1.22:** Principe d'asservissement vs régulation.

Une **régulation** impose à la grandeur de sortie d'atteindre une valeur de consigne et d'y rester quelles que soient les **perturbations** éventuelles (ex : régulation de pression, de température  $\Leftrightarrow$  **consigne fixe** : la température dans un logement doit être constante quelles que soient les conditions extérieures).

Dans une **régulation**, la consigne est **fixée** et le système doit compenser l'effet des perturbations,

**Exemple** : le réglage de la température dans un four, de la pression dans un réacteur, le niveau d'eau dans un réservoir.

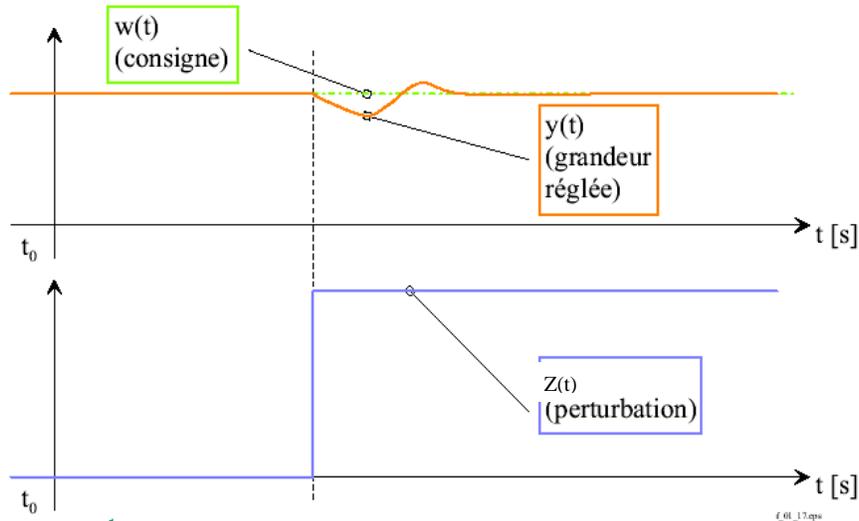


Figure 1.23: Principe de régulation (rejet de perturbation) vs asservissement

• **Exemples :**

✓ **Exemple 01 :**

On prend comme exemple un conducteur de voiture qui veut maintenir l'accélérateur réglé pour deux positions 60km/h et 100km/h.

**Notion de perturbations extérieures (régulation) :**

La voiture roule sur le plat à une vitesse constante 60km/h, une pente se présente et entraîne un ralentissement du véhicule qui reprend sa vitesse initiale dès que la voiture roule de nouveau sur le plat.



Figure 1.24 : exemple de régulation (rejet de perturbation).

Suivant le type de voiture (puissance), le ralentissement provoqué par la montée ne sera pas le même. Ceci introduit la notion de caractéristique du système.

**Notion de changement de la consigne (asservissement) :**

La voiture roule sur le plat à 60km/h, lorsque le conducteur veut rouler à 100km/h, donc il doit passer à la seconde position de l'accélérateur.



Figure 1.25 : Exemple d'asservissement.

✓ **Exemple 2 :** Asservissement de température.

On souhaite que la température dans un four pour traitement thermique, à partir de la température ambiante, monte lentement de 10°C par minute jusque 200°C, puis reste constante pendant 10 minutes, puis monte rapidement de 20°C par minute jusque 540°C, reste alors constante pendant 15 minutes, avant de redescendre de 10°C par minute jusque 250°C...

Cette fonction du temps ainsi décrite est la loi de consigne  $W(t)$ . C'est l'utilisateur de l'asservissement qui choisit la loi de consigne un signal en fonction du temps. L'automaticien doit réaliser l'asservissement pour qu'il fonctionne pour toute loi de consigne dans des limites (en valeurs extrêmes et en vitesse maximale de variation) définies dans le cahier des charges.

✓ **Exemple 3 :** Régulation de température.

Un cas particulier consiste à définir une loi de consigne constante. Dans ce cas le mot asservir devient réguler, et l'asservissement devient une Régulation.

La régulation est un cas particulier de l'asservissement. La de régulation consiste donc à maintenir une grandeur physique  $y(t)$  élaborée par un processus technologique ( $t$  représente bien l'entendu de temps) à une valeur constante.

**6. Notion de Boucle ouverte**

Un système est en **boucle ouverte**. La sortie  $y$  peut être réglée en agissant sur l'entrée  $u$ .

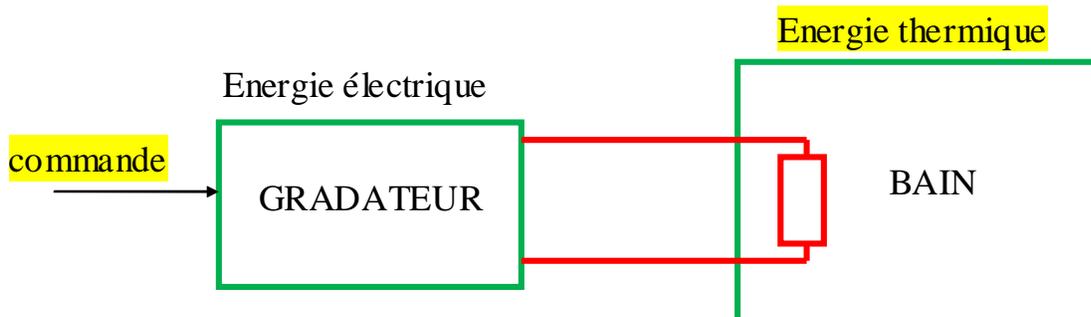


Figure 1.26 : Exemple de régulation en boucle ouverte

Cette situation présente deux inconvénients majeurs :

- on ne sait pas a priori à quelle valeur va se stabiliser  $y$  et en combien de temps;
- $y$  va varier en fonction des perturbations extérieures (par exemple variation de la température externe).

## 7. Qualités d'une bonne régulation :

L'objectif d'un asservissement ou d'une régulation est assuré le bon fonctionnement d'un système (procédé) selon un critère prédéfini par un cahier des charges, ce cahier des charges définit des critères qualitatifs à imposer qui sont traduits le plus souvent en critères quantitatifs, comme par exemple **de stabilité, de précision et de rapidité**.

La boucle de régulation peut apporter les avantages suivants:

- Améliorer la rapidité de fonctionnement du système
- Augmenter la précision
- Diminuer l'influence des perturbations
- Rendre contrôlable un système qui ne l'est pas en boucle ouverte
- Diminuer les effets non linéaires des processus

Voici quelques exemples d'objectifs qualitatifs : Obtenir une combustion correcte Gaz- Air dans un bruleur, maintenir un débit de fluide constant dans une conduite en fonction des besoins, maintenir une qualité constante d'un mélange de produits dans un réacteur.

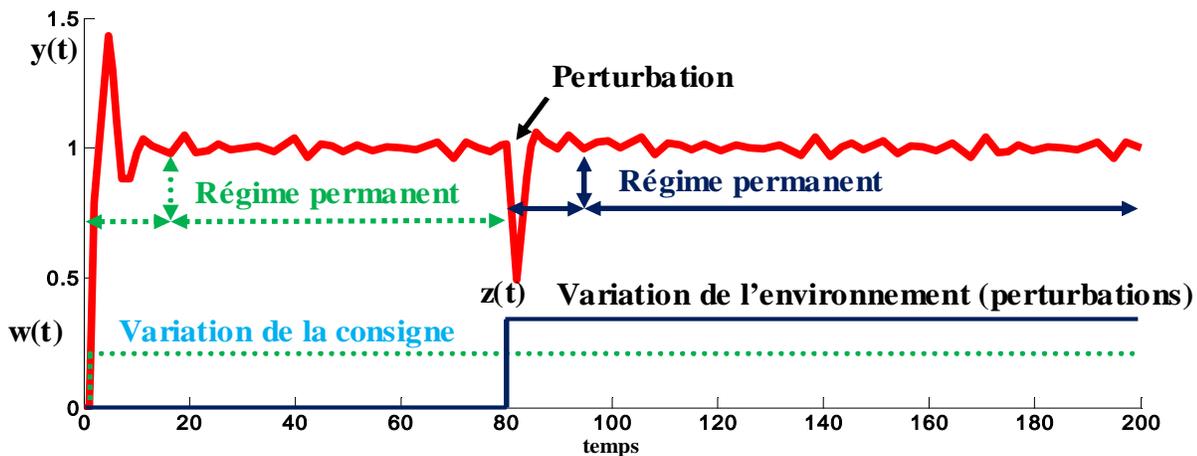


Figure 1.27: critère de performances d'une régulation.

### 7.1. Stabilité

- Procédés naturellement stables:

Un procédé (système) est dit naturellement stable si à une variation finie de la grandeur réglante  $x$  (entrées bornées) correspond une variation finie de la grandeur réglée (sortie bornée).

Le système constitué du procédé et de la boucle de régulation est dit stable si, soumis à une perturbation ou à une variation de consigne, la grandeur réglée retrouve un état stable.

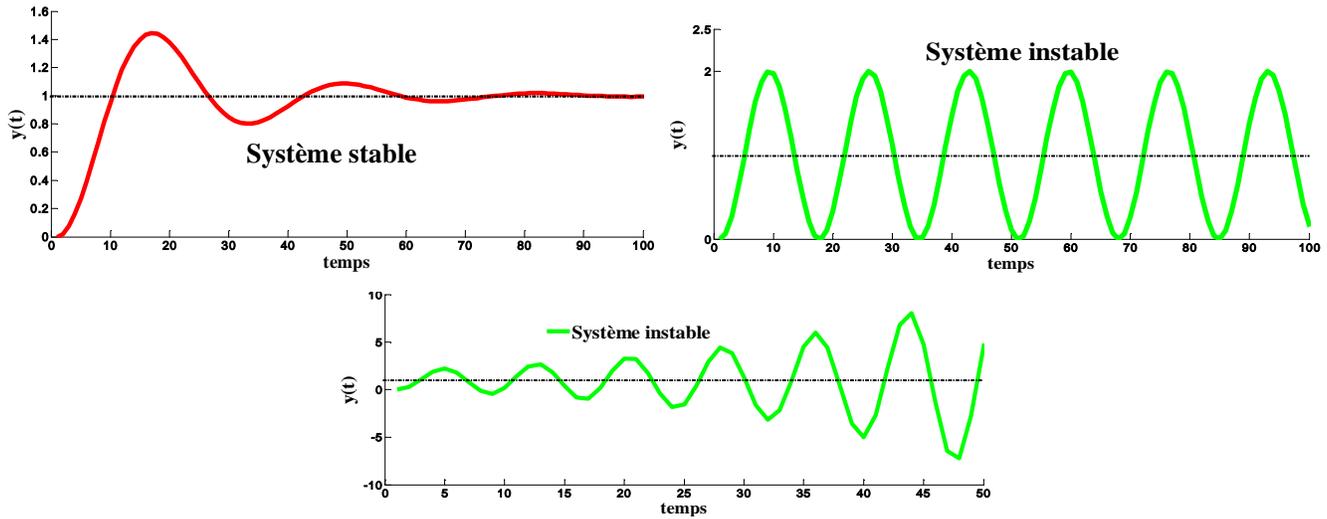


Figure 1.28: Critère de performances d’une régulation (stabilité)

**7.2. Paramètres caractéristiques de la réponse d’un procédé**

La connaissance des paramètres caractéristiques d’un procédé aide à la mise au point de la boucle de régulation.

**7.2.1. Caractéristiques statiques d’un procédé**

➤ **7.2.1.1. Caractéristique statique:**

La caractéristique statique est la courbe représentative de la grandeur de sortie  $Y$  en fonction de la grandeur d'entrée  $U$ , dont on ne peut tracer la caractéristique statique que d’un système stable

$$Y = f(U)$$

Généralement, pour tracer cette courbe on prend en compte les valeurs de la sortie, en régime stable, en fonction du signal de commande. La figure suivante représente la caractéristique linéaire d’un transmetteur (niveau-courant)

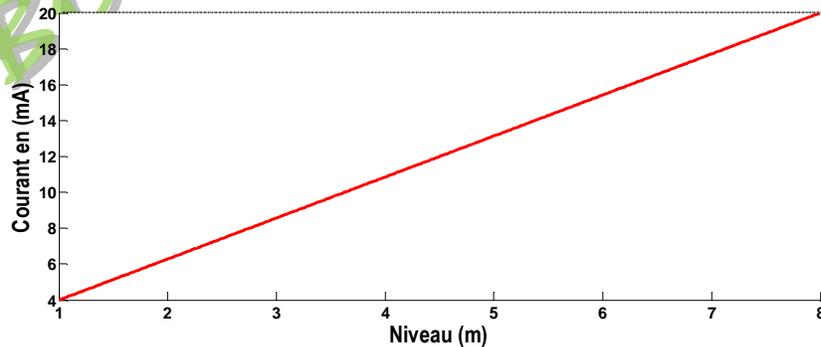


Figure 1.29: Caractéristiques **statiques** d’un système.

**Remarque :** On ne peut tracer la caractéristique statique que d'un système stable.

Pour tracer cette courbe on prend en compte les valeurs de la sortie, en régime Stable (régime statique), en fonction du signal de commande.

### 7.2.1.2. Gain statique :

Si le système est naturellement stable, le gain statique  $K$  est le rapport entre la variation de la grandeur de sortie  $y$  et la variation de la grandeur d'entrée  $x$ .

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Le gain statique d'un système est constant.

### 7.2.1.3. Erreur statique :

Si le système est stable, l'erreur statique  $\varepsilon$  est la différence entre la consigne  $W$  et la mesure de la valeur réglée  $y_m$ . La figure (1.30) représente l'erreur statique, due à une entrée échelon pour un système, dont,  $\varepsilon$  est l'écart entre la valeur finale de la consigne et la valeur finale de la réponse en régime permanent.

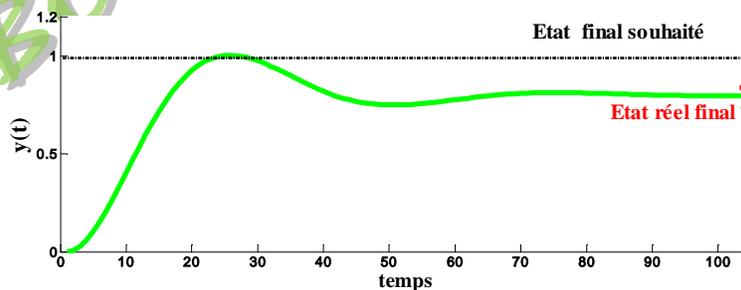


Figure 1.30: Erreur statique d'un système.

$$\varepsilon = W - y_m$$

Il existe deux types d'erreur pour les processus non intégrateurs : l'erreur statique : pour une entrée de type échelon (ex : consigne  $W$  fixe) ; l'erreur dynamique (ou erreur de traînage) : pour une entrée de type rampe (ex : consigne  $W$  variable en fonction du temps). Pour éliminer ces erreurs, le régulateur doit comporter un ou plusieurs intégrateurs (action intégrale).

Nota : un processus est dit intégrateur lorsque la sortie varie linéairement en fonction du temps quand l'entrée ou la consigne est constante, ex : vanne motorisée, vérin.

Le calcul de l'erreur statique n'est valide que si le système est stable. Il faut donc s'assurer de stabiliser le système étudié avant toute considération de l'erreur statique.

## 7.3. Caractéristiques dynamiques d'un procédé

### 7.3.1. Temps de réponse (mesure de la rapidité)

C'est l'aptitude du système à suivre les **variations** de la grandeur **réglante**. Dans le cas d'un échelon de la grandeur réglante, la croissance de la grandeur réglée définit les différents temps de réponse.

Comme exemple le temps de réponse à 5% est le temps mis par la grandeur réglée pour atteindre l'état final à  $\pm 5\%$  tout en se maintenant dans cette plage  $\pm 5\%$ :

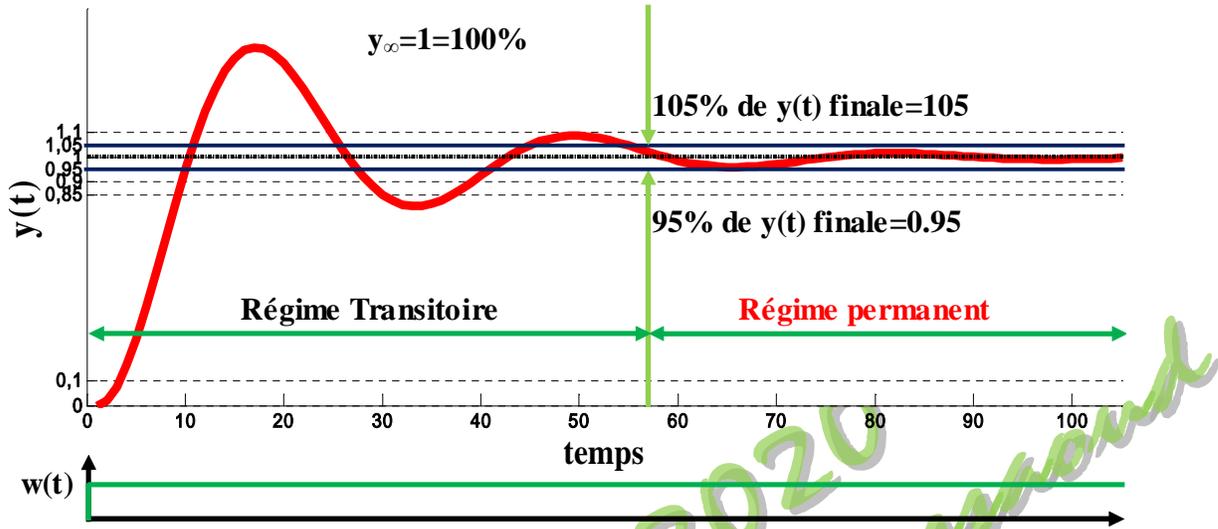


Figure 1.31: Notion du temps de réponse et régime transitoire.

Dans l'exemple suivant, on mesure le temps de réponse à 20%, à 10% et à 5%, le dernier traduit généralement la durée du régime transitoire.

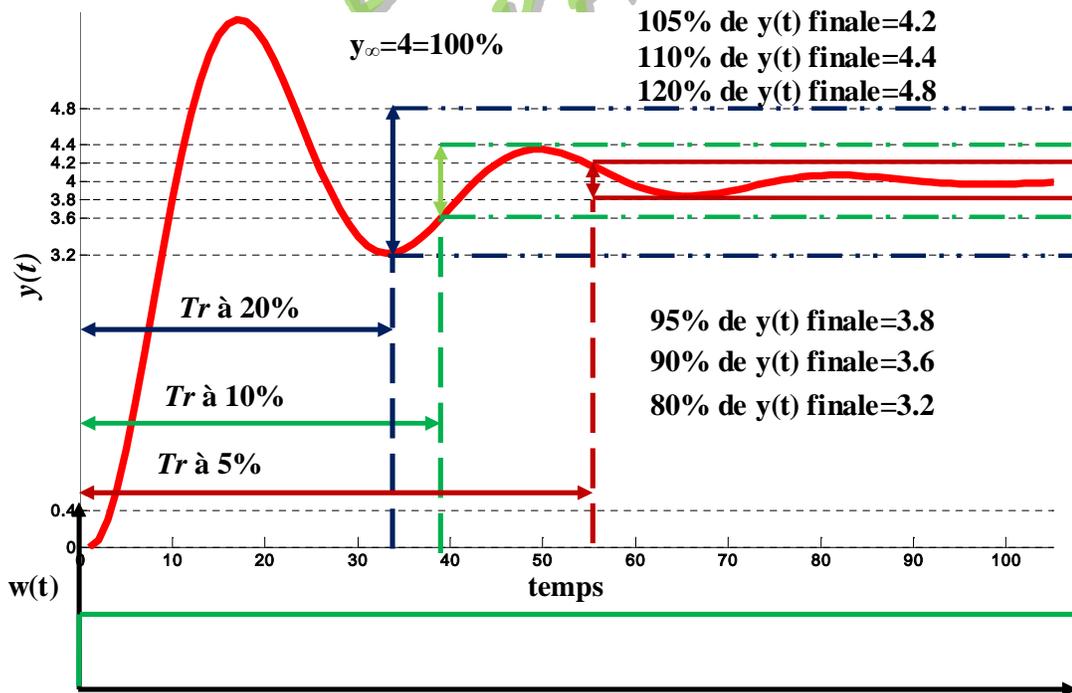


Figure 1.32: Exemple du temps de réponse

### 7.3.2. Dépassement

Le premier dépassement permet de qualifier la **stabilité** d'un système, plus celui-ci sera important, plus le système sera proche de l'instabilité. Dans certaine régulation, aucun dépassement n'est toléré. Dans la réponse indicielle de la figure (1.33) le premier dépassement est de 20 %.

Dans la figure (1.33), certaines caractéristiques d'un système sont relevées à partir de la réponse indicielle. (Réponse à un échelon).

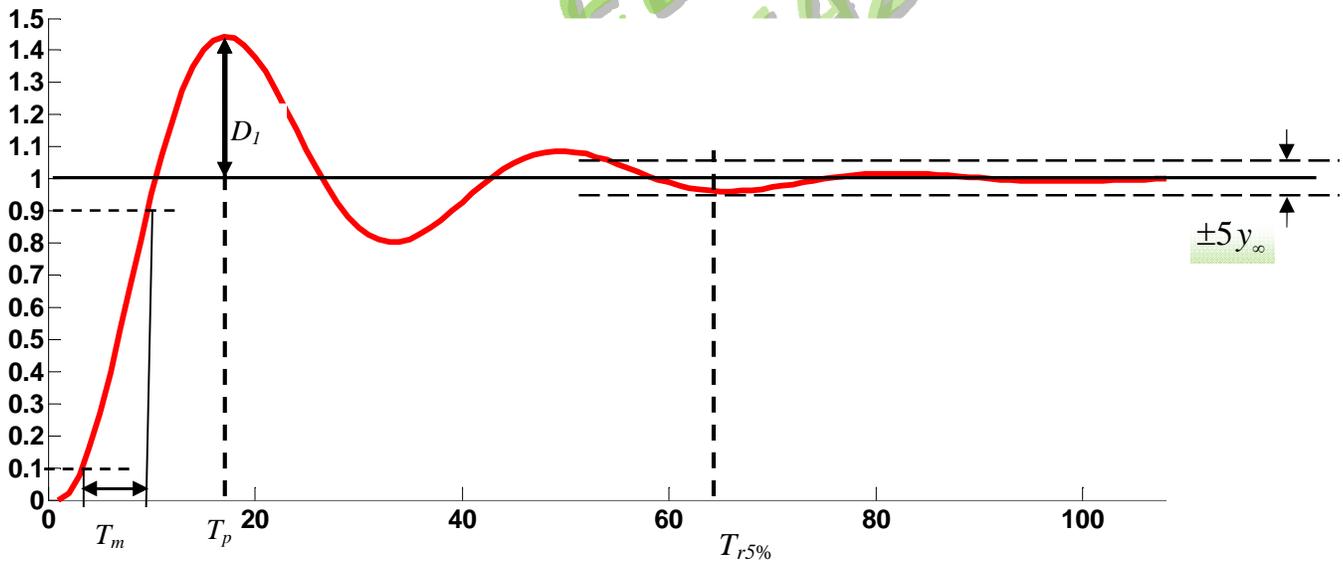


Figure 1.33: Caractéristiques dynamique et statique d'un système.

$T_m$ Temps de montée :	Intervalle de <b>temps</b> correspondant à la croissance de $s$ de 10 % à 90 % de sa variation totale
$Tr_{5\%}$ Temps de réponse :	Le temps nécessaire pour qu'elle demeure dans l'intervalle $\pm 5\%$ de la valeur finale.
$T_p$ Temps de premier pic :	Le temps mis par le système pour atteindre le premier pic du dépassement
$D_1$ : premier Dépassement :	La différence entre sa valeur maximale et la valeur finale (parfois exprimée en valeur relative).

Figure 1.1: Caractéristiques dynamique et statique d'un système.

### 7.3.3. L'amortissement

Généralement on définit l'**amortissement** par l'allure de la réponse: système très amorti, amorti ou peu amorti. Il est caractérisé par l'amplitude maximum du dépassement de la valeur finale et le nombre d'oscillations.

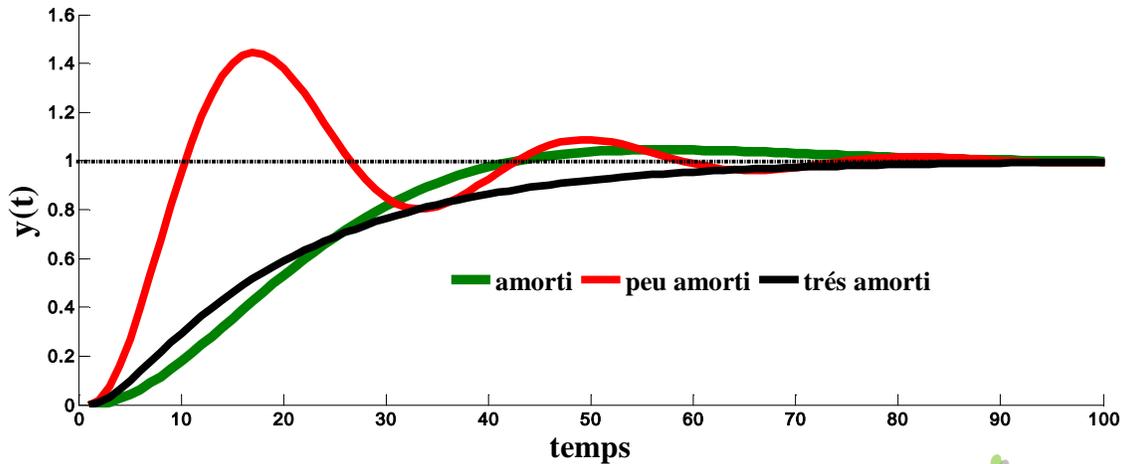


Figure 1.34: Amortissement d'un système.

#### Critères de performance d'une régulation

Obtenir un temps de réponse le plus court possible (rapidité, stabilité) avec une meilleure précision

ELM 2020  
BOUAKKAZ MENTOR