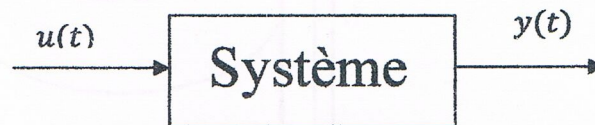


## Introduction à la régulation industrielle

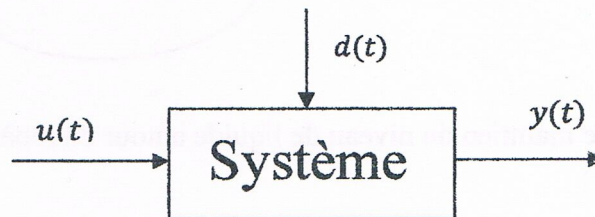
La régulation consiste à amener une grandeur physique (vitesse, position, température, etc...) à une valeur fixe, appelée consigne  $W$ . On utilise pour cela un régulateur.

### 1.1. Notions de systèmes

Un **système**, agrégation d'éléments interconnectés, est constitué naturellement ou artificiellement afin d'accomplir une tâche prédéfinie. Son état est affecté par une ou plusieurs variables, les **entrées** du système. Le résultat de l'action des entrées est **la réponse** du système qui peut être caractérisée par le comportement d'une ou plusieurs variables de **sorties**.



Les entrées affectant un système peuvent être de nature différente. Les unes ont pour but d'exercer des actions entraînant le fonctionnement souhaité du système; ce sont les **commandes**. Les autres entrées troublent le fonctionnement désiré et sont définies comme des **perturbations**,



L'étude et la commande d'un système s'effectue à partir d'un modèle de ce système. Il existe plusieurs types de modèles, principalement les modèles de connaissances et les modèles de représentation.

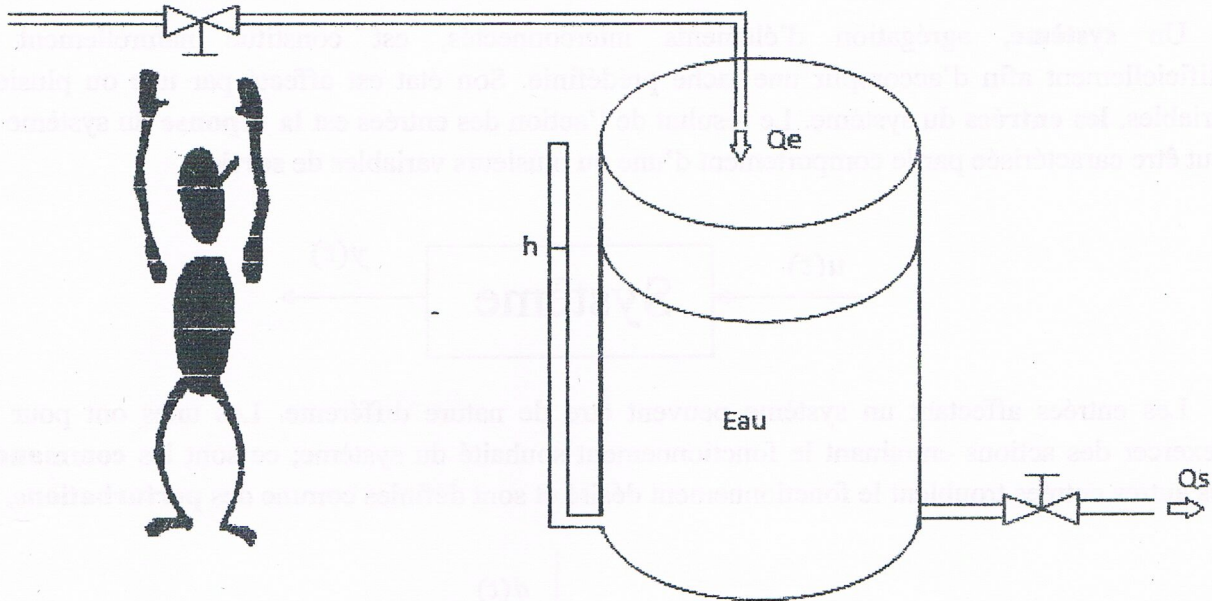
- ❖ Le **modèle de connaissance** est un modèle dont les caractéristiques et les équations ont été établis en faisant appel des lois physique. Les paramètres d'un tel modèle ont alors une interprétation physique directe.
- ❖ Les **modèles de représentations** ne permettent pas, le plus souvent, d'interprétation physique des phénomènes étudiés. Ils sont constitués d'un ensemble de relation mathématique qui va relier dans un domaine d'évolution donné, les différentes variables des systèmes. Les paramètres de tel modèle peuvent n'avoir aucun sens physique particulier connu.

Ce cours a pour but la régulation des systèmes décrits par des équations différentielles ordinaires déterministes linéaires à coefficients constants de la forme mathématique suivante :

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 y(t) + a_0 = b_m \frac{d^m u(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} u(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 u(t) + b_0$$

## 1.2. Boucle de régulation

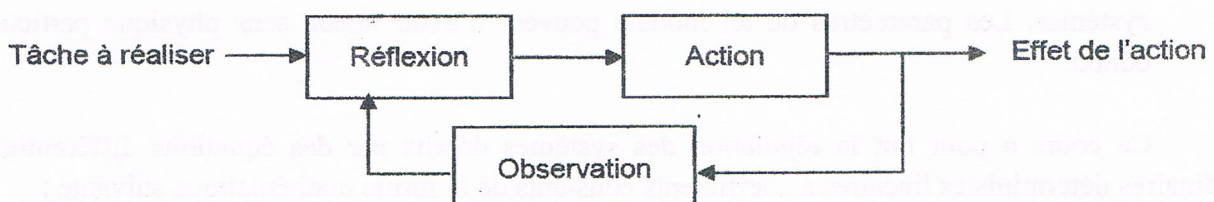
L'idée retenue est celle du modèle humain que nous allons traduire à l'aide de l'exemple d'une régulation de niveau.



L'opérateur assure le maintien du niveau de liquide autour du repère R. il réalise ou utilise pour cela plusieurs fonctions :

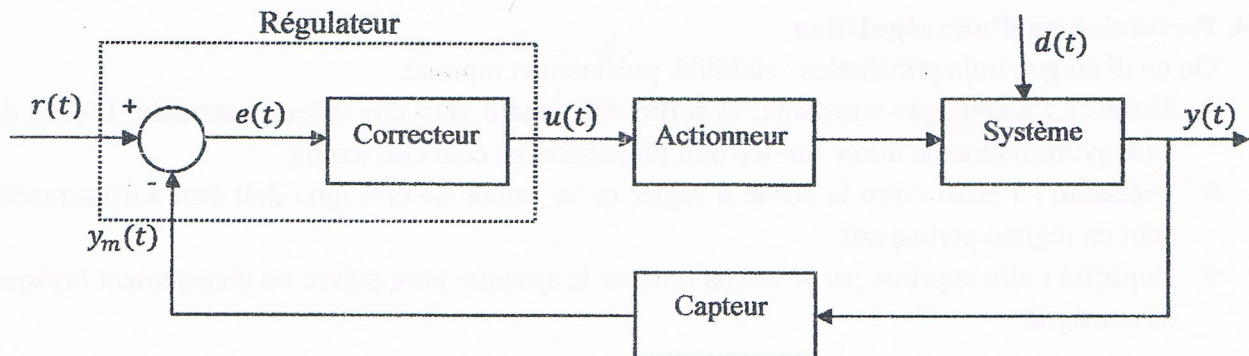
- ❖ **Fonction mesure** : le niveau est mesuré à l'aide d'un type transparent monté en dérivation sur le réservoir.
- ❖ **Fonction transmission de l'information** : l'utilisateur visualise la différence  $e$  entre le repère R et le niveau dans le type.
- ❖ **Fonction réflexion** : à partir de l'estimation de l'écart  $e$ , l'opérateur décide alors de réagir selon le signe et l'amplitude de cet écart.
- ❖ **Fonction réglage** : il tourne manuellement la vanne pour régler le débit d'eau et amener ainsi le niveau de liquide juste en  $h$  et sans dépassement.

Ce comportement humain peut se symboliser par le schéma de la figure suivante.



### 1.3. Éléments et signaux caractéristique d'une régulation

Si on recopie le comportement précédent sur un système matériel on obtient le schéma de la figure suivante.



Une boucle de régulation comporte donc, outre la chaîne de commande avec amplification de puissance, une chaîne de retour et un outil de comparaison. Observons un à un l'ensemble de ces éléments :

- ❖ Le **système** est soumis aux excitations constituées par l'entrée de commande et les perturbations. Il y répond par une grandeur qui lui est propre. Cette grandeur porte le nom de *grandeur réglée* ou asservie
- ❖ Le **capteur** élabore la mesure de la *grandeur à réglée* et la transmet au régulateur.
- ❖ Le **régulateur** est composé de deux parties
  - Le **comparateur** reçoit le signal de référence et le signal de mesure dont il effectue la différence. Le résultat de cette différence est appelée *écart* ou erreur.
  - Le **correcteur** dont le rôle d'élaborer un signal de commande à partir de l'écart constaté afin d'obtenir les performances fixées par le cahier de charge (stabilité, rapidité, précision,...), c'est l'organe intelligent de la régulation.
- ❖ L'**actionneur** reçoit du régulateur la *grandeur réglante* et l'amplifier en puissance c'est le 'muscle' de la chaîne qui va piloter l'évolution du système (par exemple : moteur, vérin, vanne, ...)

Les **grandeur et signaux** intervenant dans le schéma général d'une régulation sont résumés ci-dessous.

- ❖ L'**entrée consigne**,  $r(t)$ , est l'entrée de référence, généralement déterministe et défini pour une application donnée.
- ❖ La **sortie réglée**,  $y(t)$ , grandeur physique (avec ses unités propres [°C], [m], [m/s])
- ❖ La **sortie réglée mesurée**,  $y_m(t)$ , image de la grandeur physique, généralement une tension électrique [V]

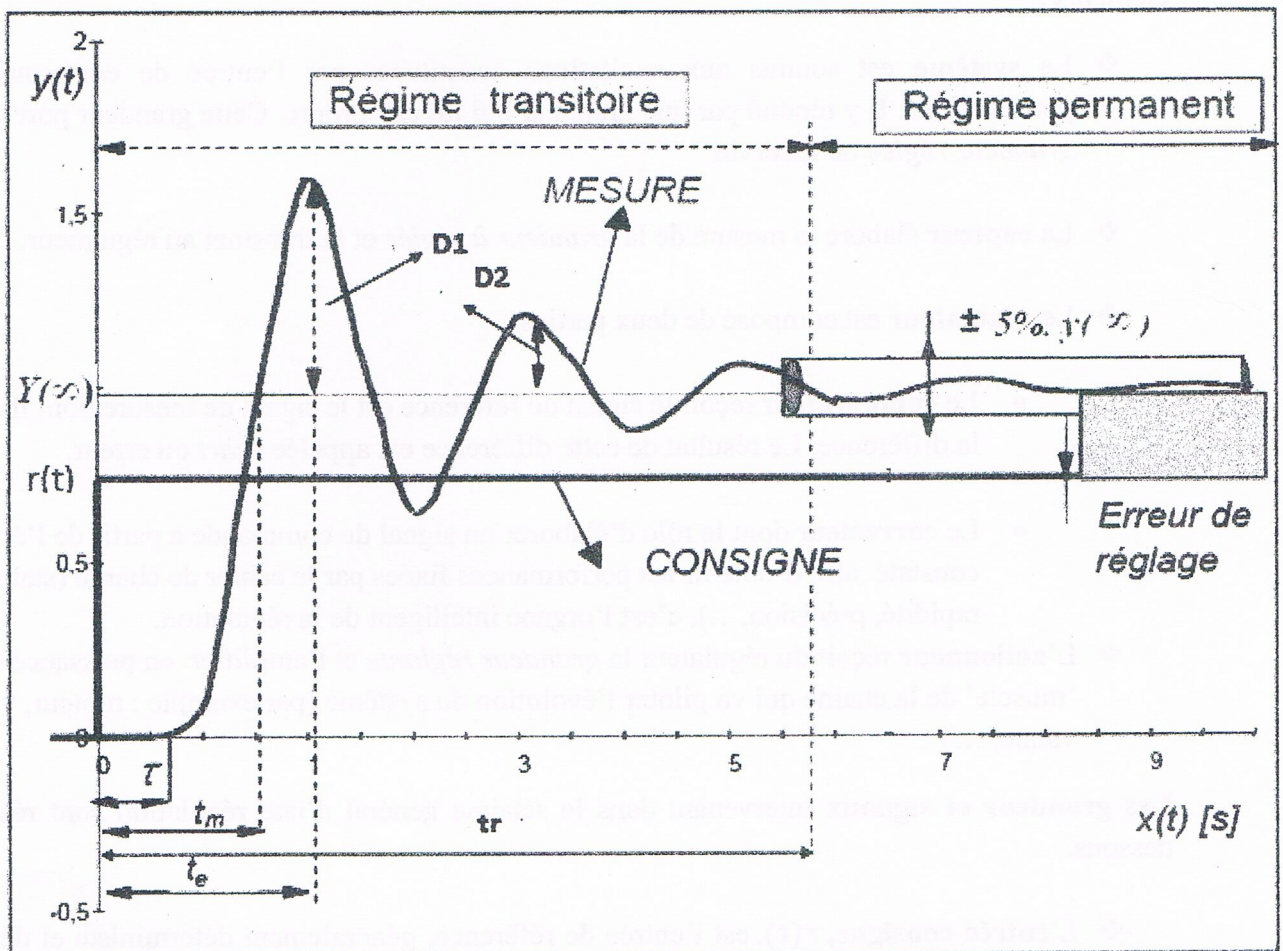
- ❖ **L'entrée de commande,  $u(t)$** , signal délivré par le régulateur à l'actuateur, c'est la grandeur réglant du système.
- ❖ **Perturbations,  $d(t)$** , signal aléatoire représentant les perturbations intervenant sur le système à réglé
- ❖ **Ecart (erreur),  $e(t)$** , différence entre la consigne et la grandeur réglée mesurée.

#### 1.4. Performances d'une régulation

On en distingue trois principales : stabilité, précision et rapidité.

- ❖ **Stabilité** : à consigne constante, la sortie doit tendre vers une valeur constante. L'effet de toute perturbation de durée limitée doit disparaître au cours du temps.
- ❖ **Précision** : l'écart entre la sortie à régler et sa valeur de consigne doit être suffisamment petit en régime permanent.
- ❖ **Rapidité** : elle exprime par le temps mis par le système pour suivre un changement brusque de consigne.

Ces diverses propriétés peuvent le plus souvent être testées en soumettant le système à une brusque variation (échelon) de la valeur de la consigne supposée constante hors de cette variation.



### 1.4.1. Performances en Rapidité

- **Temps de réponse  $t_{pr}$**  : Théoriquement, le temps de réponse est le temps nécessaire pour que le régime transitoire ait totalement disparu. Toutefois en pratique, on convient, en fonction de la précision exigé que c'est le temps au bout duquel la réponse du système pénètre dans le couloir de plus ou moins 5% de la valeur finale sans en sortir.
- **Temps de montée  $t_m$**  : Temps pour lequel la réponse atteint pour la première fois la valeur finale. Il caractérise la vitesse de réaction du système aux premiers instants.
- **Temps de retard pur  $\tau$**  : Temps pendant lequel la sortie est insensible à l'entrée. Il est du a l'inertie du système, insensibilité, jeu mécanique etc....
- **Temps d'établissement  $t_e$**  : Temps pour lequel la réponse atteint pour la première fois la valeur maximale.

### 1.4.2. Performances d'amortissement

- **Dépassement** : en pratique il est recommandé pour avoir un système «agile» un dépassement de 10%  $D_1\% = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\%$
- **Taux d'amortissement** : en pratique il est recommandé un taux d'amortissement de 0,75  $\psi = \frac{D_1 - D_2}{D_1}$

### 1.4.3. Performances en précision

#### 1.4.3.1. Précision statique

Il correspond à la différence entre la sortie du système et la consigne, en régime permanent.

$$\Delta = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (y(t) - r(t)) = \lim_{s \rightarrow 0} s(Y(s) - R(s))$$

#### 1.4.3.2. Précision dynamique

Pour avoir une bonne précision dynamique d'un système à une entrée échelon, il faut que le régime transitoire soit caractérisé par un faible dépassement et un temps de réponse optimal. Pour cela, les paramètres d'un régulateur sont choisis de manière à minimiser l'erreur dynamique  $e(t) = y(t) - r(t)$ , donc on doit minimiser l'un des critères suivants :

#### 1.5.1.1- L'intégrale de la valeur absolue de l'erreur (IAE):

L'intégrale de la valeur absolue de l'erreur est donnée par :

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

Ce critère exprime la surface générée par la différence entre la valeur de consigne et la valeur réelle, et son rôle c'est de supprimer les petites erreurs.

#### 1.5.1.2- L'intégrale du carré de l'erreur (ISE):

L'intégrale du carré de l'erreur est donnée par:

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt$$

L'intérêt de cet indice de performance est de corriger les systèmes dont le régime transitoire qui dure trop longtemps, et tient beaucoup moins compte des dépassements inférieure à 1.

#### **I.5.1.3- L'intégrale de la valeur absolue de l'erreur pondérée par le temps (ITAE):**

L'intégrale de la valeur absolue de l'erreur pondérée par le temps est donnée par :

$$ITAE = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt$$

L'introduction du paramètre temps, va corriger les systèmes à réponse très oscillatoire.

#### **I.5.1.4- L'intégrale du carré de l'erreur pondérée par le temps (ITSE):**

L'intégrale du carré de l'erreur pondérée par le temps est donnée par :

$$ITSE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) dt$$

Ce critère met peu l'accent sur les erreurs initiales et pénalise fortement les erreurs qui se produisant vers la fin de la réponse transitoire à une entrée échelon.