

Département de Génie Industriel
 3^{ème} Année Licence
 Module: Automatique Industrielle

Chapitre I : Introduction aux Systèmes Asservis Linéaires

I. Introduction :

Le but de l'étude et l'analyse des systèmes asservis est de commander un système physique en respectant un cahier de charges spécifiant les contraintes de stabilité, de vitesse et de précision. Ce chapitre présente une introduction générale aux systèmes asservis linéaires, continus, dynamiques invariants et mono-variables. Ce qui permet de faire une description du fonctionnement des systèmes asservis, d'introduire la terminologie conforme à ce type de systèmes et aussi d'aider à la distinction entre la structure de commande en boucle ouverte et celle en boucle fermée.

II. Systèmes linéaires :

II.1. Définition 1 :

D'une façon générale, un système peut être défini comme un ensemble d'éléments exerçant collectivement une fonction déterminée. Des actions sur le système (entrées) sont effectuées dans le but d'obtenir des objectifs donnés (sorties). Dans le domaine de l'automatique, un système automatique est un système qui fonctionne tout seul, sans intervention humaine.

Exemple: (L'ampèremètre)

L'ampèremètre représente un système qui établit une relation entre le courant et la position de l'aiguille;

$e(t)$: intensité du courant (grandeur électrique)

$s(t)$: position de l'aiguille (grandeur classique)

Les signaux relatifs à un système sont de deux types :

- Signaux d'entrées: Ils sont indépendants du système et peuvent être commandable (consignes) ou non commandable (perturbations).
- Signaux de sorties : Ils sont dépendants du système et du signal d'entrée.

Le schéma suivant illustre un système à une entrée de commande, une sortie et une entrée de perturbation.

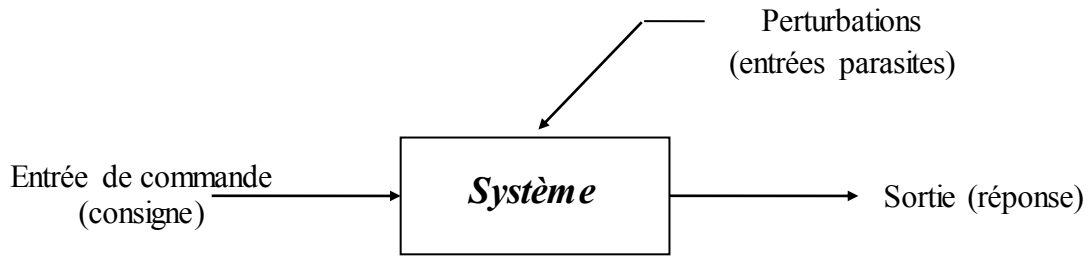


Figure I.1 Représentation d'un système

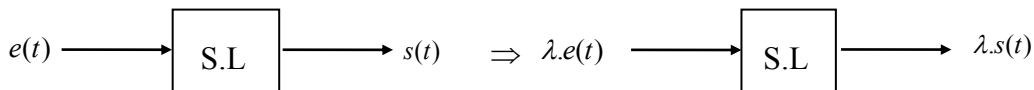
II.2. Définition 2 :

Un système à une seule entrée et une seule sortie est appelé système mono-variable (SISO). Un système à plusieurs entrées et plusieurs sorties est appelé système multi-variable (MIMO).

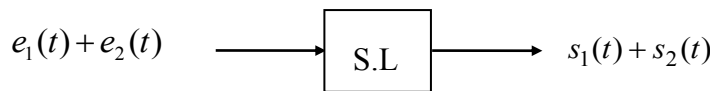
II.3. Définition 3 : (Linéarité)

Un système est dit linéaire si la fonction qui décrit son comportement est elle-même linéaire. Cette dernière vérifie alors les principes de proportionnalité et de superposition.

- *Principe de proportionnalité* : si $s(t)$ est la réponse à l'entrée $e(t)$ alors $\lambda.s(t)$ est la réponse à l'entrée $\lambda.e(t)$



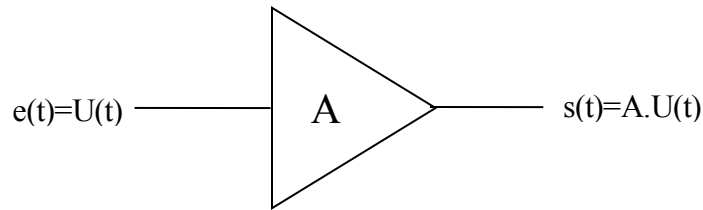
- *Principe de superposition* : si $s_1(t)$ est la réponse à l'entrée $e_1(t)$ et $s_2(t)$ est la réponse à l'entrée $e_2(t)$ alors : $s_1(t) + s_2(t)$ est la réponse à l'entrée $e_1(t) + e_2(t)$



Exemples :

1. Amplificateur parfait de gain A :

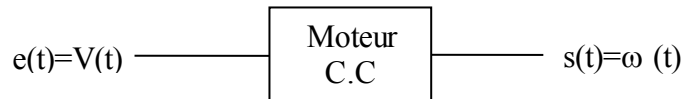
L'amplificateur opérationnel soumis à une tension d'entrée $U(t)$ délivre une tension de sortie proportionnelle $U(t) = A.U(t)$. Soumis à une tension $2.U(t)$, il délivrerait une sortie $U(t) = 2.A.U(t)$.



Amplificateur parfait

2. Moteur à courant continu :

On peut considérer qu'un moteur à courant continu est un système qui transforme une tension $V(t)$ en vitesse $\omega(t)$.



Moteur à courant continu

Pour un moteur à courant continu à commande d'induit et à aimants permanents, la relation entre la vitesse de rotation $\omega(t)$ et la tension de commande $V(t)$ est à couple constant avec les coefficients (R, f, k_c, k_t, J, L) liés au moteur et au mécanisme.

$$V(t) = \frac{1}{k_c} \left[(R.f + k_c.k_t)\omega(t) + (R.J + L.f) \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + L.J \cdot \frac{d^2\omega(t)}{dt^2} \right]$$

Il s'agit donc d'une équation différentielle linéaire du second ordre à coefficients constants de la forme :

$$V(t) = A.\omega(t) + B \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + C \cdot \frac{d^2\omega(t)}{dt^2}$$

Le régime permanent correspond à une vitesse stabilisée dont les dérivées sont nulles.

$$\omega(t) = cste \quad \Rightarrow \quad \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{d^2\omega(t)}{dt^2} = 0$$

La relation en régime permanent se réduit alors à $V(t) = A.\omega(t)$ qui est une relation linéaire (proportionnelle) entre tension de commande et la vitesse obtenue pour un couple donné.

II.4. Définition 4 : (Continuité)

Un système physique est dit continu si toutes les grandeurs qui le caractérisent sont de nature continue. L'information que représentent ces grandeurs est disponible à chaque instant et peut prendre toutes les valeurs possibles entre deux limites.

Par opposition à un système continu, un système est dit discret (échantillonné) lorsque les variations de ces grandeurs physiques sont données sous forme de fonctions numériques. La plupart des systèmes physiques sont continus, or la nécessité de la discrétisation est liée au traitement numérique par calculateurs.

II.5. Définition 5 : (*Invariance*)

Un système est dit invariant si on suppose que ces paramètres caractéristiques sont invariants au cours du temps. Dans le cas contraire, les systèmes sont dits variants dans le temps

II.6. Définition 6 : (*dynamique*)

Un système dynamique est un système évoluant dans le temps. Ces systèmes ont une réponse qui dépend simultanément de l'excitation présente et des réponses passées.

Contrairement aux systèmes dynamiques, les systèmes statiques ont une réponse instantanée à une excitation extérieure. Le temps n'intervient pas dans le fonctionnement de ce type de système.

III. Commande, automatique et asservissement :

III.1. Commande :

Les systèmes de commande existent dans plusieurs domaines de l'ingénierie de telle sorte que les composantes du système peuvent être électriques, mécaniques ou hydrauliques.

III.2. Automatique :

Un système automatique est un système qui fonctionne tout seul ou sans l'intervention humaine. Donc l'objectif d'un système automatisé c'est bien de remplacer l'homme dans une tâche spécifique. Le travail de l'automaticien est de régler convenablement le correcteur pour répondre aux mieux à ces exigences.

III.3. Asservissement :

Un système asservi est défini comme un assemblage de composants physiques branchés ou reliés les uns aux autres de telle sorte qu'il puisse se commander, se diriger ou se régler, ou bien commander, diriger ou régler un autre système. Asservir un système c'est obliger la sortie du système à se comporter à l'image de l'entrée en présence ou non de perturbations.

Types d'asservissement :

Régulation : Consigne constante.

Poursuite de trajectoire (asservissement) : consigne variable.

Objectifs de l'asservissement :

1. Stabilité : on dit qu'un système est stable si pour une entrée constante, la sortie reste constante quelles que soient les perturbations.
2. Précision : elle est caractérisée par l'écart entre la consigne et la sortie. En régime permanent, la sortie doit suivre le plus fidèlement possible la consigne.
3. Rapidité : Le système asservi doit répondre le plus rapidement possible aux variations de la consigne.

IV. Systèmes Asservis :

Les systèmes asservis sont basés sur le principe de la contre-réaction ou « feedback », réagit en fonction de ce qui est réalisé, connaissant ce qui est demandé.

Exemple : conducteur au volant d'un véhicule.

Le conducteur doit suivre la route, pour cela, il observe la route et son environnement et évalue la distance qui sépare son véhicule du bord de la route. Il détermine en fonction de l'environnement l'angle qu'il doit donner au volant pour suivre la route.

Il agit sur le volant (donc sur le système) ; puis de nouveau il recommence son observation pendant toute la durée du déplacement. Si un coup de vent dévie le véhicule, après avoir observé et mesuré l'écart, il agit pour s'opposer à cette perturbation. Cet exemple représente un asservissement où l'homme présente la partie commande.

Les structures des systèmes de commande sont classées en deux catégories :

1. Systèmes en boucle ouverte (B.O).
2. Systèmes en boucle fermée (B.F).

- Systèmes en B.O :

Un système dont la structure de commande est en boucle ouverte est définie comme un système où le signal de commande est indépendant du signal de sortie. Ce sont des systèmes en chaîne directe sans feedback.

Exemple : *Chauffage d'une salle*

Considérons le chauffage électrique d'une salle, où le système est constitué par l'ensemble chauffage+ salle. La sortie de ce système est la température de la pièce et la commande du système est la position 0 ou 1 de l'interrupteur.

Les perturbations peuvent être l'ouverture d'une fenêtre, de la porte ou les rayons du soleil. En boucle ouverte la commande est insensible à la sortie.

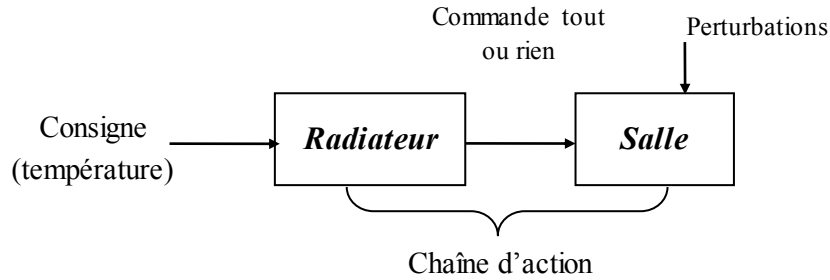


Figure I.2 Structure de commande en B.O

Les systèmes en B.O sont généralement simples et faciles à réaliser mais ils présentent les inconvénients suivants :

1. Les performances du système sont limitées :

- Si la valeur visée est dépassée, le système ne peut pas corriger l'erreur.
- Si une perturbation extérieure influence le fonctionnement du système, le système ne peut pas corriger son fonctionnement.
- La dynamique n'est pas maîtrisée.

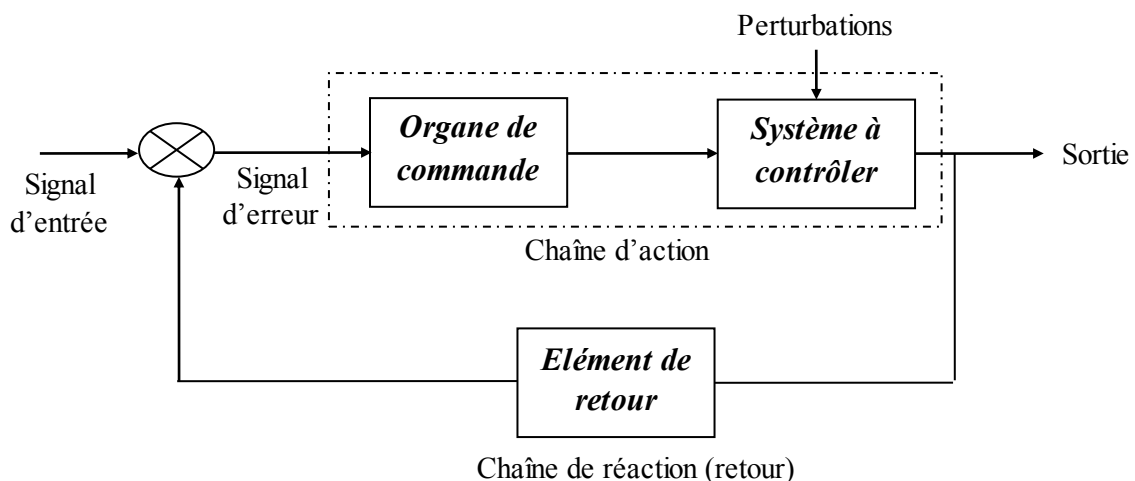
2. Les systèmes en B.O sont simples à commander et moins coûteux que les systèmes en B.F.

- **Systèmes en B.F :**

Une structure en B.F est définie comme un système où le signal de commande dépend d'une façon ou d'un autre du signal de sortie. Les systèmes en B.F sont couramment appelés des systèmes asservis.

Un système de commande en boucle fermée est un système qui vérifie que sa réponse correspond à l'entrée de référence (de commande). Tandis qu'un système en boucle ouverte commande sans contrôler l'effet de son action.

Exemple : fer à repasser si $T < T_s$ (déclenchement automatique).



I.3 Schéma fonctionnel d'un système en B.F

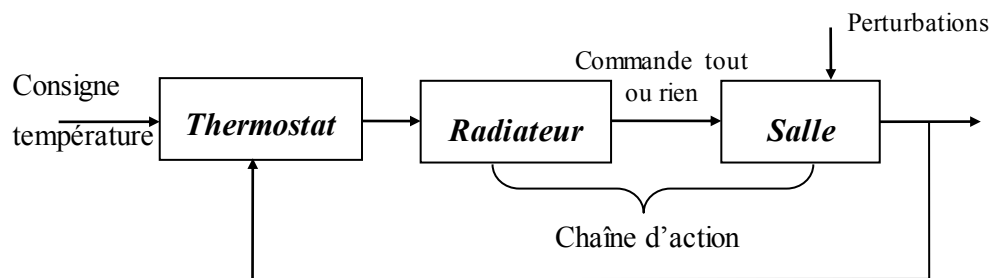
- Chaîne d'action : assure la commande de l'objet à régler.
- Comparateur : élément qui élabore la différence $\varepsilon = E - S$; le signal $\varepsilon(t)$ est directement appliqué à la chaîne d'action.
- Chaîne de retour : elle consiste en un capteur qui convertit le signal de sortie S en signal S_r , de même nature que l'entrée.

Ce type de système présente les caractéristiques suivantes :

- Réalisation pratique plus difficile (système plus complexe).
- Plus précis.
- Plus rapide mais risque d'oscillations (instabilité).

Exemple :

Pour l'exemple du chauffage d'une salle, on peut créer un feed-back ou une contre réaction en utilisant un thermostat. La commande est alors élaborée en fonction de la consigne (température souhaitée) et de la sortie (température de la pièce).



I.4 Schéma de la régulation de la température d'une salle par un thermostat

Donc, la boucle fermée est capable de :

- Stabiliser un système instable en B.O.
- Compenser les perturbations externes.
- Compenser les incertitudes internes au processus lui-même.