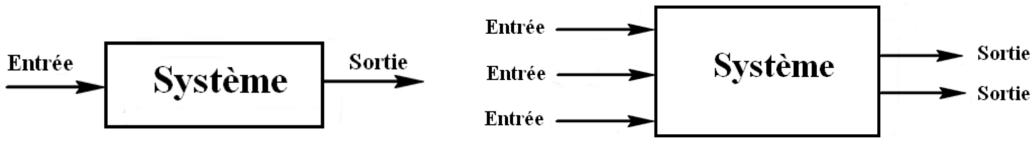
Chapitre 1. Introduction aux systèmes asservis

Ce chapitre introduit les principales définitions et notions nécessaires à l'étude des systèmes asservis linéaires (objet de ce cours). Nous illustrerons la différence entre la notion de commande en boucle ouverte et de commande en boucle fermée. Nous établirons aussi la distinction entre le fonctionnement en régulation et le fonctionnement en poursuite. Enfin, nous exposerons la procédure à suivre pour la réalisation d'un système de commande

I.1 DEFINITIONS :

Définition I.1 : l'automatique est la science qui traite de la modélisation, de l'analyse, de l'identification et de la commande des systèmes dynamiques (objets étudiés).

Définition I.2 : un système est un assemblage de composants ou éléments de manière à produire une fonction ou tâche donnée. Il possède un ou plusieurs signaux d'entrée exogène (extérieures au système) et un ou plusieurs signaux de sortie. Un système est dit mono variable si son entrée, ainsi que la sortie considérée sont uniques. Dans les autres cas le système est dit multi variable. Il est courant de représenter un système ou un des éléments le composant à l'aide d'un schéma, dit schéma bloc (ou diagramme fonctionnel). La Figure I.1 fournit un exemple d'une telle représentation.



Système mono variable **Système multi variable**

Figure I.1 : Schéma fonctionnel (schéma bloc) d'un système

Les entrées affectant un système sont généralement notées par la lettre *u* et les sorties par la lettre *y*. Les entrées d'un système peuvent être modifiées par l'utilisateur (commande) pour obtenir la sortie désirée. Il peut également exister des entrées qui ne peuvent être modifiées par l'utilisateur. Elles sont appelées perturbations et sont notées par la lettre *d*. Ces dernières troublent le fonctionnement désiré en sortie (Figure I.2).

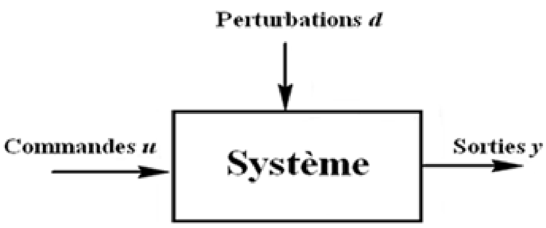


Figure I.2 : Commandes *u* et perturbations *d*

Le but de l'automatique est d'exercer des actions pour que la sortie d'un système ait le comportement désirée et ceci en manipulant les variables de commande.

Il est important de remarquer que l'automatique est une activité multidisciplinaire. Elle n'est pas limitée à aucune discipline spécifique. Exemple: systèmes mécatroniques (intégration des systèmes mécaniques, électriques, et informatiques). On souhaite donc commander (asservir) des grandeurs physiques issues de systèmes technologiques. Ces grandeurs pourront être mécaniques (force, vitesse, position, couple, ...), électriques (tension, courant, puissance, ...), thermiques (température, ...), hydrauliques (pression, débit, niveau, ...), optiques (éclairement, exposition, ...), chimiques (concentration, ...).

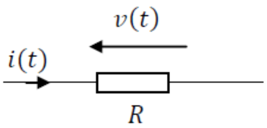
Un système est dit continu si entrées et sorties sont continués. Inversement, si en un endroit au moins de la chaîne des éléments le constituant, le signal n'est transmis qu'à des instants discrets privilégiés, **le système sera dit discret (ou échantillonné**).

> Ce cours concerne uniquement l'étude des systèmes linéaires, continus, invariants dans le temps et mono variables (systèmes décrits par des équations différentielles ordinaires linéaires à coefficients constants).

Définition 1.3 : un système est **dit invariant** si sa sortie est identique à tout instant.

Définition 1.4: si la sortie $y(t)$ à un instant donné ne dépend que de l'entrée $u(t)$ à cet instant ($y(t) = a*u(t)$) alors le système est **dit instantané ou statique**.

<u>**Exemple 1**</u> : Résistance électrique pure $(t) = (t) \Rightarrow i(t) = (1/R)*v(t)$

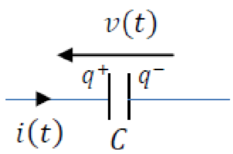


Entrée du système $(t) = (t)$: tension aux bornes de la résistance R.

Sortie du système $(t) = (t)$: courant qui traverse la résistance R.

Dans tous les autres cas, il est **dit, dynamique (**ce sont des systèmes décrits par des équations différentielles).

Exemple 2 : condensateur électrique de capacité C



Entrée du système $(t) = (t)$: tension aux bornes du condensateur C.

Sortie du système $(t) = (t)$: charge du condensateur. (t) est l'intensité de courant.

$$(t) = (1/C)^* \int (t)\, dt, \qquad (t) = dq/dt$$

Alors, la réponse est: $(t) = q_0 + C^*(t)$

où $q_0 = (t = 0)$ est la charge du condensateur à l'instant initial.

Définition 1.5 : un système **est linéaire** s'il vérifie le principe de superposition : la sortie $y(t)$ correspondante à la somme de plusieurs entrées $u_1(t) + u_2(t) +$…. est égale à la somme $y_1(t) + y_2(t) +$…. correspondant à chacune des entrées.

Définition 1.6 : on distingue deux régimes dans l'évolution de la sortie des systèmes :

- le régime transitoire ou libre représente l'évolution de la sortie $y(t)$ dans les premiers instants de la réponse et qui disparaisse progressivement,
- le régime permanent ou forcé correspond à la partie qui subsiste quand le régime transitoire est devenu négligeable.

Définition 1.7 : un modèle est un objet mathématique (équations différentielles) reliant le (s) entrée (s) et les sortie (s).

I.2 NOTION DE BOUCLE OUVERTE/FERMEE

On distingue en générale deux structures de commande : la commande en boucle ouverte et la commande en boucle fermée appelée également commande à contre-réaction.

I.2.1 Commande en boucle ouverte :

Un système de commande est en boucle ouverte lorsqu'aucune mesure de sortie $y(t)$ n'est utilisée (ne comporte pas de contre-réaction) pour élaborer la commande $u(t)$ (Figure 1.3). Cela nécessite la connaissance d'un modèle de fonctionnement du système à commander, par exemple la connaissance d'un modèle de fonctionnement d'un moteur à courant continu permettra de connaître la tension d'entrée qu'il faudra lui appliquer pour obtenir la vitesse de rotation désirée

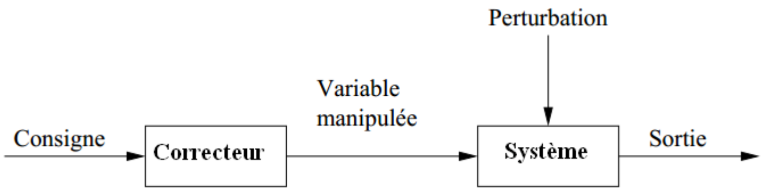


Figure I.3 : Commande en boucle ouverte

Cette solution est envisageable dans le cas où le système est parfaitement connu et modélisé et dans le cas où l'obtention d'une mesure de la sortie n'est pas économiquement possible.

Exemple 3 : la machine à laver fonctionnant sur la base de cycles préprogrammés ne possédant pas d'informations mesurées concernant le degré de propreté du linge. Toutefois, si des perturbations l'affectent (poids ou type du linge, quantité ou qualité de l'eau), le résultat obtenu ne seras pas celui souhaité

I.2.2 Commande en boucle fermée :

Afin de résoudre les problèmes de la commande en boucle ouverte et d'automatiser le système (supprimer l'action humaine) on introduit une boucle de retour (ou rétroaction). Dans cette stratégie de commande, une mesure de la sortie est utilisée et comparée avec la consigne par le correcteur (Figure I.4).

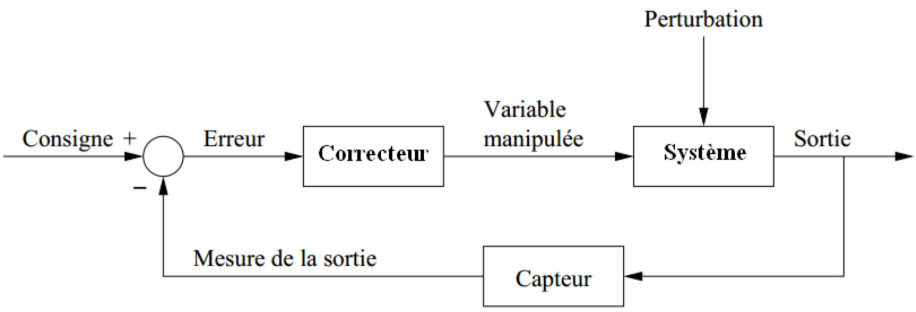


Figure I.4 : Commande en boucle fermée

Avec:

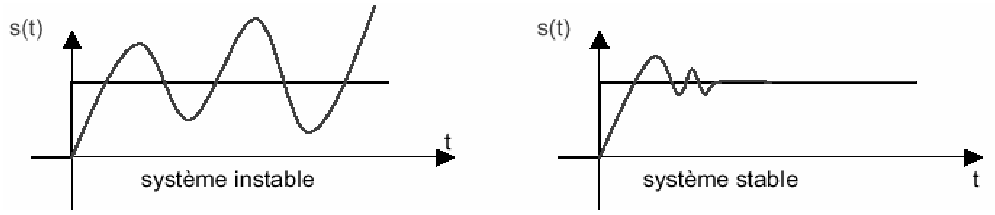
- **la consigne ($y_r(t)$ ou $y_c(t)$) :** elle correspond à la valeur souhaitée en sortie,
- **la sortie commandée $y(t)$ (asservie) :** représente le phénomène physique que doit asservir le système de commande (l'asservissement),
- **Écart ou erreur ($\varepsilon(t)$) :** représente la différence entre la consigne et la sortie,
- **Comparateur :** compare en permanence ce que l'on obtient à ce que l'on souhaite obtenir en sortie (élabore l'écart $\varepsilon(t)$),
- **Correcteur :** le correcteur (contrôleur) traite le signal d'écart et détermine le signal de commande,
- **Actionneur :** il reçoit du correcteur le signal de commande et agit directement sur le système à commander. Il représente le "muscle" qui va piloter l'évolution du système (par exemple : amplificateur de puissance, moteur, vérin, vanne, etc...),
- **Capteur :** organe de mesure qui donne une image aussi fidèle que possible de la sortie $y(t)$ et la transforme en un signal compréhensible par le comparateur (le plus souvent électrique). La sensibilité du capteur impose donc les limites de la précision de l'asservissement (par exemple : accéléromètre, thermomètre, gyroscopes, …).

On peut donc définir un **asservissement (système asservi)** comme un système bouclé (boucle fermée) dont le fonctionnement tend à annuler l'écart entre une grandeur commandée (la sortie $y(t)$) et une grandeur de commande (la consigne $y_r(t)$).

I.3 PERFORMANCES D'UN ASSERVISSEMENT :

I.3.1 Stabilité :

On dit qu'un système est stable, lorsque celui-ci tend à revenir à son état d'équilibre lorsqu'on lui applique une perturbation de courte durée.



I.3.2 Précision :

En appelant $y(t)$ la sortie correspondant à la consigne $yC(t)$, on peut caractériser à chaque instant la précision d'un asservissement par l'erreur : $\varepsilon(t) = yC(t) - y(t)$. on distingue deux types de précision :

- **Précision dynamique :** tant que la partie transitoire de la réponse n'est pas devenue négligeable, $\varepsilon(t)$ caractérise l'erreur dynamique,
- **Précision statique :** l'erreur statique est l'erreur qui subsiste en régime permanent, c'est-à-dire lim $\varepsilon(t)$ quand t tend vers l'infini.

I.3.3 Rapidité :

La rapidité d'un système peut se mesurer par le temps de réponse, à un pourcentage donné, à une entrée en échelon. On utilise fréquemment le temps de réponse à 5%, c'est-à-dire le temps à partir duquel la réponse est comprise entre 95% et 105% de sa valeur finale.

I.4 PROPRIETES DES SYSTEMES LINEAIRES

Quand un système est linéaire, il jouit de propriétés importantes qui permettent une étude plus commode, en particulier le ≪*principe de superposition* linéaire ≫qui se traduit par les relations:

Entrée ***Sortie***

Additivité: $$\begin{cases} e_1(t) & \Rightarrow S_1(t) \\ e_2(t) & \Rightarrow S_2(t) \\ e_1(t) + e_2(t) & \Rightarrow S_1(t) + S_2(t) \end{cases}$$

ou e(t) et s(t) sont les grandeurs d'entrée et de sortie

$$\textbf{\textit{Homogénéité}}: \quad \begin{cases} \boldsymbol{e}(\boldsymbol{t}) & \Longrightarrow \quad \boldsymbol{S}(\boldsymbol{t}) \\ \lambda * \boldsymbol{e}(\boldsymbol{t}) & \Longrightarrow \quad \lambda * \boldsymbol{S}(\boldsymbol{t}) \end{cases}$$

Ce principe traduit le fait que les effets sont proportionnels aux causes et que les causes ajoutent leurs effets