

Chapitre 1 : Notion de base sur les systèmes asservis

Introduction :

Le progrès que connaît actuellement la commande automatique dans de vastes domaines d'application porte sans doute l'intérêt de tous les secteurs techniques et scientifiques. Elle est devenue ces dernières années une partie importante dans la formation des ingénieurs quelle que soit sa spécialité.

Dans la théorie des systèmes asservis, on peut la diviser en deux grandes parties :

- La partie **analyse**.
- La partie **synthèse**.

L'**analyse** consiste à réaliser :

Une étude détaillée de tous les éléments du système : **la mise en équation**

Son organisation : **schéma fonctionnel**

L'étude temporelle et fréquentielle du système : **régime statique et dynamique**

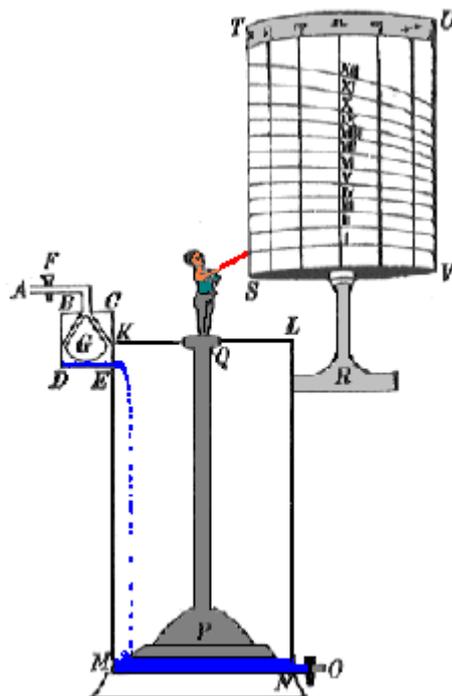
Évaluation de la qualité de réglage : **performances statiques et dynamiques**.

La **synthèse** consiste à **améliorer la qualité** de réglage du système en introduisant des réseaux correcteurs. Ces derniers permettent de corriger le régime statique ou le régime dynamique ou bien les deux régimes à la fois.

Historique

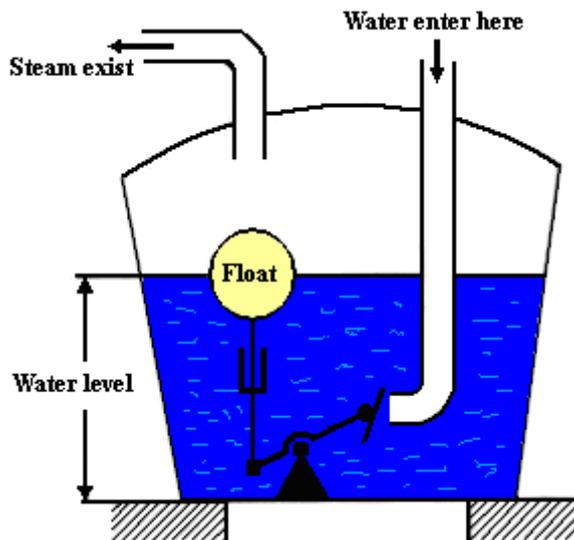
Il est commode d'établir d'abord un bref rappel de l'histoire de l'automatique. En effet depuis l'âge de pierre, l'être humain n'a pas cessé de développer ou de créer des dispositifs et des systèmes qui lui permette d'améliorer ses conditions de vie, de le libérer des tâches serviles et de diminuer les contraintes physiques et mentales imposées par les conditions de travail qui étaient à cette époque pénibles et dangereuses.

Au IX siècle les grecs ont été les premiers à réaliser un système du couplage du temps sous forme d'une horloge automatique à eau ou à sable (**clepsydre**). Un flotteur régulant le niveau d'un réservoir permet de fournir un débit constant dans un second réservoir dont le niveau établit la durée écoulée. Elle fut suivie par d'autres réalisations en particulier les aubes qui pour la première donne naissance à la commande tout ou rien.



Clepsydre de Ktesibio

La révolution industrielle débute réellement entre 1600 et 1800 avec la réalisation de nouveaux mécanismes tel que le régulateur de température (1625), le régulateur de niveau dans les chaudières (1746), la réalisation par le mineur de charbon Polzunov (1769) un régulateur a flotteur pour un moteur a vapeur et la réalisation très connu en 1784 qui est le régulateur centrifuge de la vitesse de rotation de l'arbre d'une machine à vapeur créer par James watt. Elle permet de maintenir constante la vitesse de la turbine.



Principe de la machine à vapeur de Polzunov

Vers la fin du XIX (19) siècle, grâce aux efforts des suivants tels que Lyapounov, Lognounge, Maxwell, Nyquist, Hamilton, etc..... on a vu apparaitre les premières études modernes et le concept mathématique tels que l'utilisation d'équation différentielle dans l'analyse des régulateurs et l'étude de la stabilité.

A partir de 1940 la deuxième guerre mondiale a joué un rôle stimulant dans le développement de la théorie classique des systèmes de commande automatique linéaires.

Les travaux de Bode, Evans, Ziegler, Nichols, etc.....est marqué cette période par différentes méthodes d'analyse dans le domaine temporel et fréquentiel ainsi que les concepts de la synthèse des systèmes asservis.

Après la seconde guerre mondiale et grâce au développement de l'électronique et de l'informatique le développement de l'automatique a passé à une étape supérieure avec le développement de l'industrie aéronautique, à spatiale et l'automobile.

Toutes ces contributions continuent aujourd'hui à alimenter les recherches et le champ d'application de la commande automatique, s'est considérablement étendu dans pratiquement tous les domaines.

L'automatique ne se limite pas uniquement aux domaines techniques mais n'étend aussi aux systèmes biologiques comme le corps humain. Par exemple, on cherche actuellement à réguler le taux de sucre dans le sang.

Asservissement et régulation :

Il est très important d'expliquer notre point de vue sur la distinction que plusieurs auteurs ont fait vis à vis de **la régulation industrielle et des asservissements**.

On établit parfois cette différenciation selon la nature de la grandeur à régler et de la chaîne de retour. Lorsque la totalité de la grandeur réglée est ramenée à l'entrée, en quelle que sorte des systèmes à retour unitaire, s'ils sont caractérisés par l'aptitude d'obéir fidèlement à des variations de la grandeur de référence, il s'agit des asservissements. Ils sont généralement des asservissements de position.

D'autre part, lorsque les grandeurs d'entrées et de sorties sont de nature différentes, c'est-à-dire que le retour n'est pas unitaire par conséquent, il comporte obligatoirement un bloc de mesure. Ces systèmes sont généralement des régulateurs. Ils sont caractérisés par l'aptitude de maintenir le signal réglé égal à une entrée constante quelle que soient les perturbations.

Parfois, cette différenciation est uniquement définie par la consigne d'entrée. Lorsque la grandeur réglée est maintenue constante pour une entrée constante malgré les perturbations, il s'agit alors d'un problème de régulation. Lorsque le système est essentiellement caractérisé par une valeur prescrite variable, il s'agit alors d'asservissement ou de système suiveur.

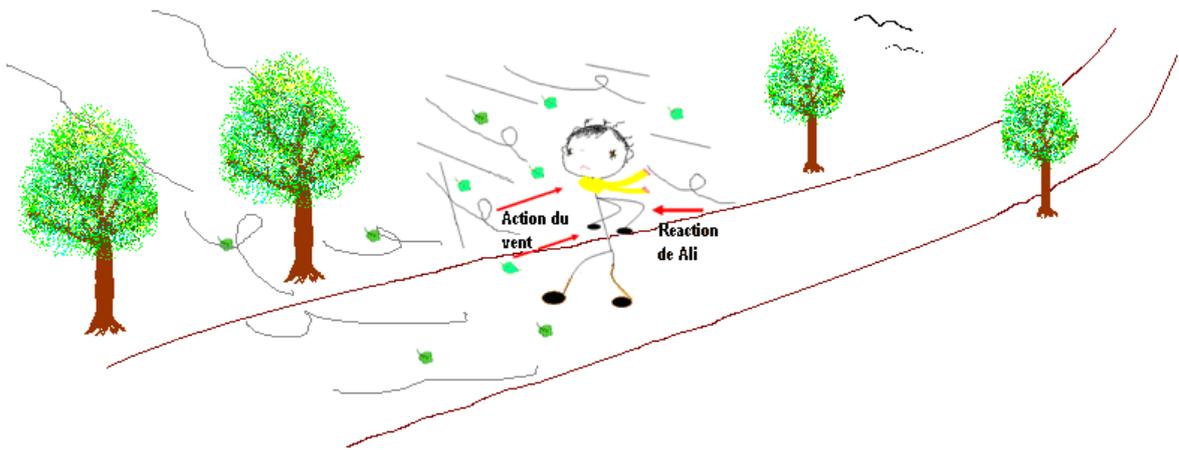
Souvent, la différenciation se fait en fonction du signal d'erreur. Dans un asservissement, le signal d'erreur est généralement nul, par contre dans un régulateur, l'erreur n'est jamais nulle.

Cette distinction entre asservissement et régulateur n'est pas absolue. En effet, il est intéressant de remarquer qu'un retour non unitaire peut être remplacé par un système à retour unitaire à partir d'une transformation du schéma fonctionnel. Ceci permet donc de ramener n'importe quel système de régulation à l'étude d'un asservissement à retour unitaire. Parfois, un asservissement peut être chargé de traiter les deux problèmes à la fois en fonction de la valeur prescrite. A notre avis, cette distinction ne concerne nullement l'action du système. Dans les deux cas, l'action consiste à comparer la valeur effective à la valeur prescrite (constante ou variable) déterminer l'écart et produit l'action opposée nécessaire pour maintenir l'écart nul ou constant. En outre, cette distinction n'est pas importante pour la suite de notre étude dans la mesure où les outils d'analyse et de synthèse mis en œuvre dans les deux cas sont exactement les mêmes. Pour cette raison, nous considérons dans notre ouvrage tous ces systèmes comme des systèmes asservis.

1.1. Définition

Asservir deux grandeurs physiques, c'est les relier de manière que l'une obéisse aux variations de l'autre. Nous pouvons citer plusieurs synonymes du verbe asservir, tels que, obliger, réguler ou bien assujettir. Techniquement, asservir une grandeur physique à une autre, c'est de créer un système automatique dont le fonctionnement tend à annuler l'écart entre une grandeur commandée et une grandeur de commande.

La notion de régulation ou d'asservissement peut être envisagée à l'aide d'exemples simples : Ali se promène au bord de la mer, une rafale de vent le surprend et le fait ralentir. L'action du vent a engendrée un écart entre la vitesse nouvelle et initiale. Pour régler sa vitesse a celle initiale, Ali décide alors de réagir et développe une force (**réaction**) qui lui permet d'annuler l'écart et maintenir sa vitesse initiale. Cet exemple nous permet de constater qu'Ali a réglé son effort pour s'opposer à l'action du vent et maintenir son état initial. Il devient donc possible de définir l'action de régulation par une réaction.

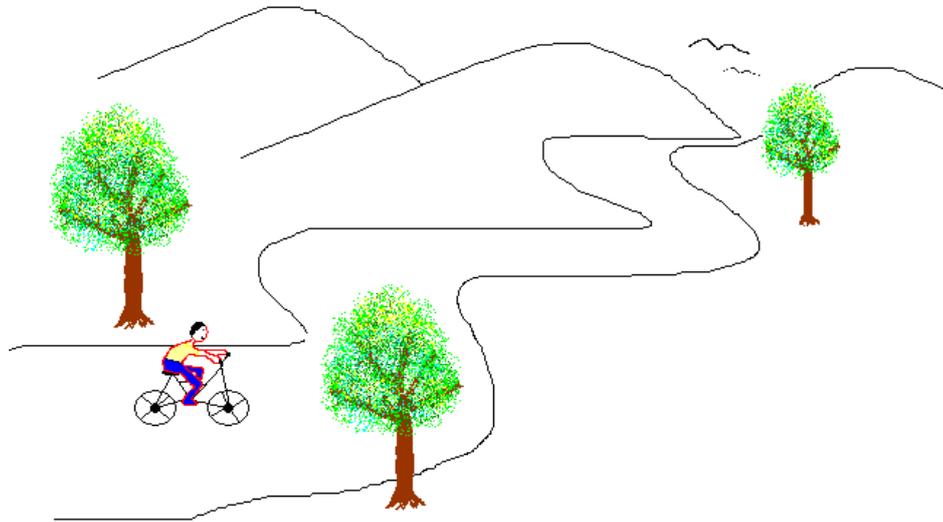


Les effets lors des premiers pas d'un enfant recherchant l'équilibre avec difficultés permet de montrer que la consigne est alors de rester en position debout ou verticale quelles que soient les perturbations extérieures.



L'enfant effectue donc en permanence des corrections (actions) et son corps réagit à toutes perturbations par une réaction afin de maintenir cette position.

Un cycliste sur son vélo corrige en permanence la trajectoire de son engin par rapport à la direction de la route. Pour cela, il observe et corrige en agissant sur le guidon l'écart entre la direction du vélo et celle de la route quelques soient les perturbations. Le cycliste, essaye donc de suivre la direction de route en maintenant l'écart égal à zéro.



Il devient donc possible de définir l'action de régulation par une réaction. Il est sans doute utile de noter que la réaction en générale peut être : soit naturelle (ressort, etc...), soit développée par l'homme (musculaire), soit créée par l'homme (technologique). Cette définition est restrictive par rapport à la notion générale de la régulation. Toutefois, dans une première approche, on peut dire que c'est une conception qui permet de rendre le fonctionnement d'une machine ou d'un système sans une présence humaine. Cette présence qui consiste à contrôler, comparer puis régler définit les différentes opérations qui peuvent être réalisées automatiquement. Ces opérations destinées à effectuer une action constamment orientée vers un but choisi, représentent un ensemble de moyens ou de dispositifs : mécanique, pneumatique, hydraulique ou électrique.

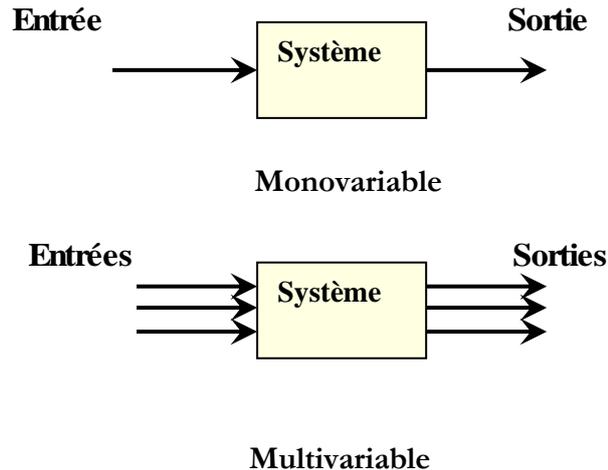
Par conséquent, selon la nature de l'énergie utilisée, il est possible de distinguer les systèmes asservis électriques, hydrauliques, pneumatiques ou les systèmes mixtes. Il peut être alors représenté comme un assemblage électrique, hydraulique ou pneumatique d'éléments physiques de telle sorte qu'ils puissent soit se commander, se régler lui même, soit commander un autre système.

Il nous paraît important de préciser le sens du mot système, car nous allons l'utiliser souvent.

Notion de système :

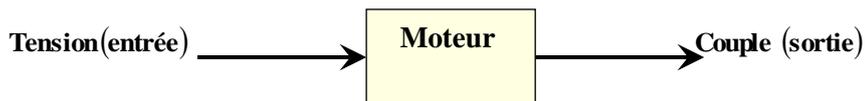
Pour les processus physiques, un système est un ensemble d'éléments, de composants, de dispositifs associés les uns aux autres par des relations de causes à effet afin d'accomplir une tâche prédéfinie. Un système peut être simple ou complexe.

En fonction des grandeurs qui le caractérise, on distingue les systèmes simples qui possèdent une seule entrée et une seule sortie qu'on qualifie généralement de systèmes mono variables et ceux qui possèdent plusieurs entrées et une ou plusieurs sorties appelés systèmes multi variables.



Exemple de système :

Commande d'un moteur

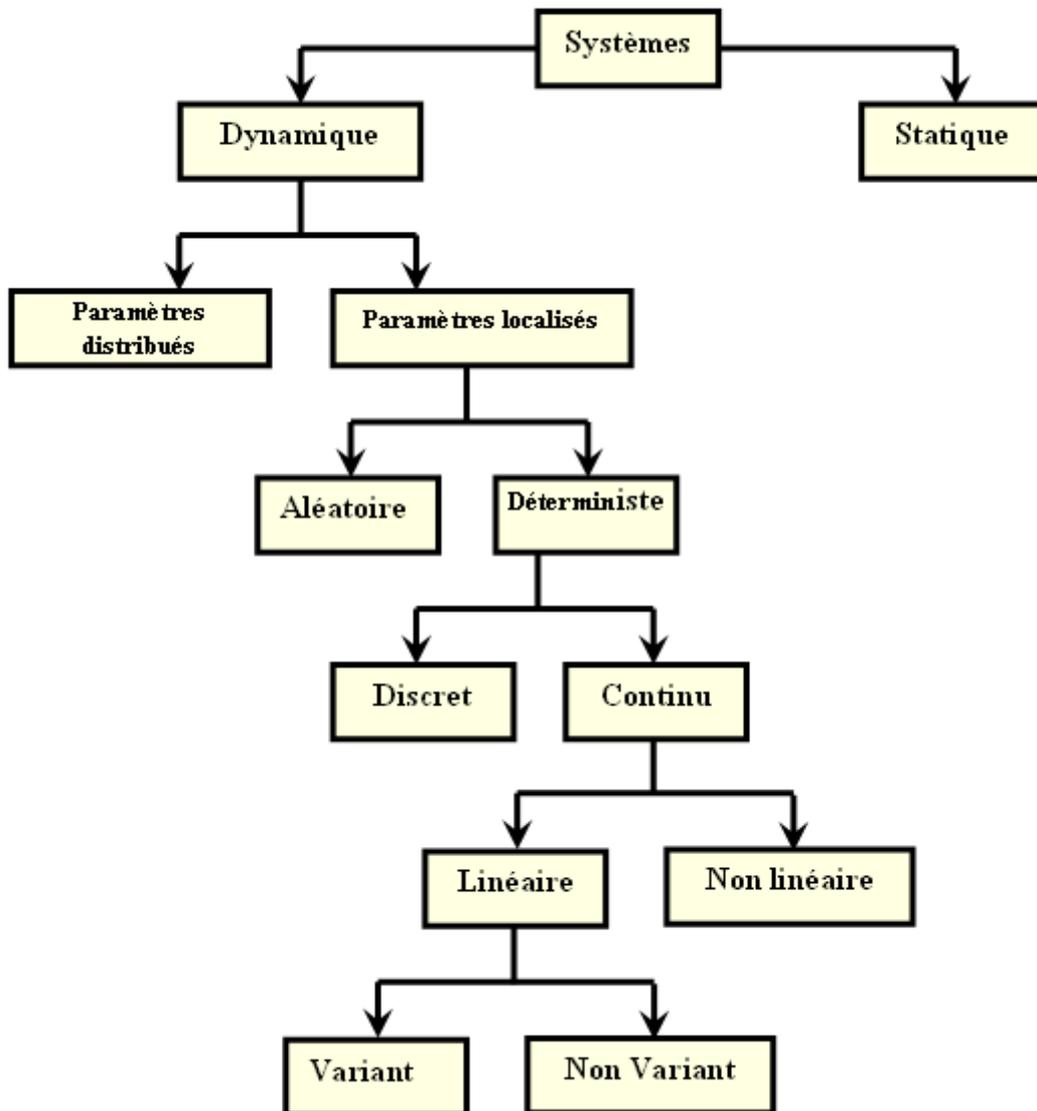


Le résultat de l'action de l'entrée est la réponse du système. En général les signaux d'entrée et de sortie d'un système ne sont pas de même nature. Les signaux d'entrée sont indépendants des systèmes, ils se décomposent en commandables et non commandables.

Les signaux commandables ont pour but d'exercer des actions entraînant le fonctionnement souhaité du système, ce sont les commandes. Les signaux non commandables troublent le fonctionnement désiré et sont définies comme des perturbations.

Les signaux de sortie dépendent du système et des signaux d'entrée.

8- Il est possible de classer les systèmes en :



Un système est dynamique si sa sortie dépend non seulement de l'entrée présente mais aussi des entrées passées. Le passé influence sa sortie présente. Un système dynamique peut être représenté mathématiquement par n équations différentielles d'ordre 1. Dans le cas où des paramètres tels que la résistance, les frottements, l'inertieetc. peuvent être définis ; le système est à constantes localisées et les équations différentielles sont aux dérivées totale.

Le système est dit continu si tous les signaux qu'on y rencontre sont des fonctions contenues au sens mathématique de terme.

Systèmes linéaires : Deux conditions :

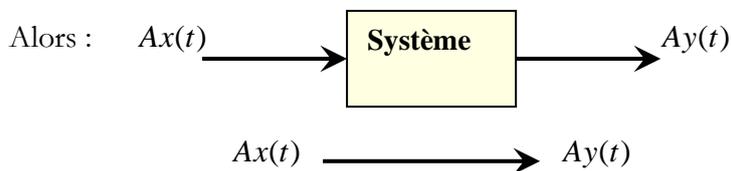
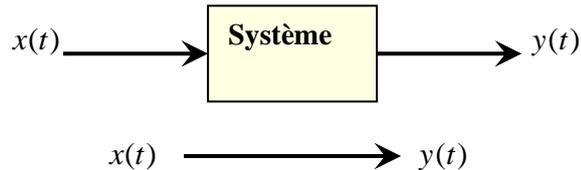
Un système décrit par des équations différentielles linéaires est dit système linéaire. Si elle n'est que rarement vérifiée en pratique, cette hypothèse de linéarité peut être acceptée pour de nombreux systèmes évoluant autour d'une position d'équilibre sous l'hypothèse de faibles

déviations. D'un point de vue purement technique un système est linéaire s'il doit au principe de superposition en d'autres termes il doit satisfaire deux conditions :

1. Homogénéité.
2. Additivité.

1. Homogénéité :

Soit le système défini par une entrée $x(t)$ et une sortie $y(t)$



Il y a proportionnalité de l'effet à la cause.

2. Additivité :

Soit le même système avec deux entrées différentes

Pour : $x_1(t) \longrightarrow y_1(t)$

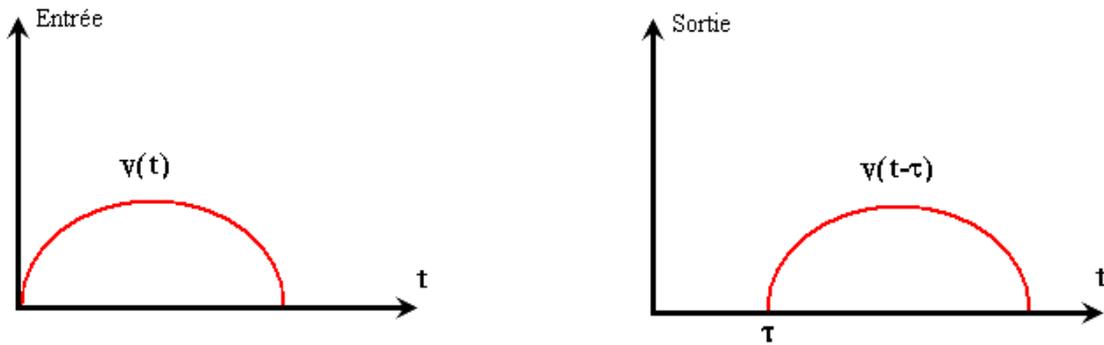
$x_2(t) \longrightarrow y_2(t)$

Alors : $x_1(t) + x_2(t) \longrightarrow y_1(t) + y_2(t)$

Les causes ajoutent leurs effets.

Systemes invariants :

On dit qu'un système est invariant lorsque les caractéristiques du comportement se ne modifient pas dans le temps.



On se limitera dans le cadre de ce cours aux systèmes linéaires dynamiques à constantes localisées représentables dans le cas générale par n équations différentielles linéaires d'ordre 1 :

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) + \dots + a_{1n}x_n(t) + b_1u(t)$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) + \dots + a_{2n}x_n(t) + b_2u(t)$$

.....

$$\frac{dx_n(t)}{dt} = a_{n1}x_1(t) + a_{n2}x_2(t) + \dots + a_{nn}x_n(t) + b_nu(t)$$

Ces n équations peuvent aussi être présentés sous la forme d'une seule équation différentielle d'ordre n.

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

Représentation graphique d'un système asservi :

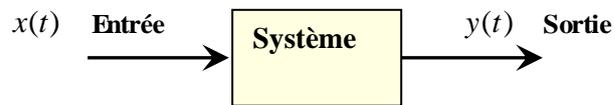
On peut mettre en évidence la structure d'un système asservi à partir d'une représentation graphique sous la forme d'un diagramme fonctionnel ou d'un graphe de fluence.

La représentation graphique sous forme d'un diagramme fonctionnel est un moyen à la fois utile et facile pour illustrer la structure de base est définir le comportement et le principe de fonctionnement de tous les éléments en indiquant le rôle de chaque variable et les relations fonctionnelles entre les différents éléments du système.

Le schéma fonctionnel le plus simple est constitué d'un seul élément.

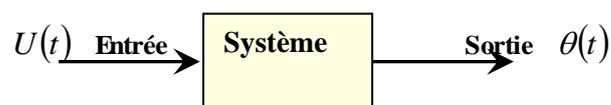
Il est représenté symboliquement par un dipôle dans lequel l'élément est représenté par le bloc. Chaque élément est soumis à une entrée et une sortie qui sont représentées par des

flèches. Ils représentent les grandeurs physiques qui traduisent l'existence d'une relation de cause à effet. Cette relation mathématique est le rapport de la grandeur de sortie sur la grandeur d'entrée.



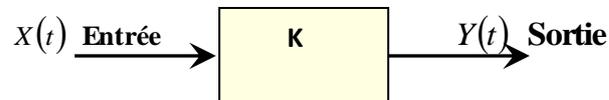
Exemple 1

1. Soit l'appareil de mesure de la tension : voltmètre analogique.



2. Soit l'équation mathématique : $y(t) = kx(t)$

Où $x(t)$ est la grandeur d'entrée et $y(t)$ est la grandeur de sortie.

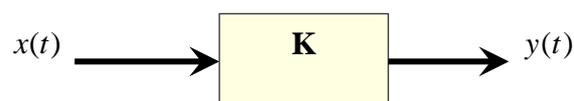


Exemple 2:

Soit l'équation mathématique :

$$y(t) = kx(t)$$

Où, $x(t)$ est la grandeur d'entrée et $y(t)$ est la grandeur de sortie.



L'orientation des flèches indique le sens dans lequel l'information se transmet. Ils sont toujours orientés de l'entrée vers la sortie, ce qui montre l'irréversibilité de la relation.

D'autre part, on représente les fonctions algébriques d'addition ou de soustraction par un cercle qu'on appelle soit un sommateur figure 1.4a soit un comparateur figure 1.4b.

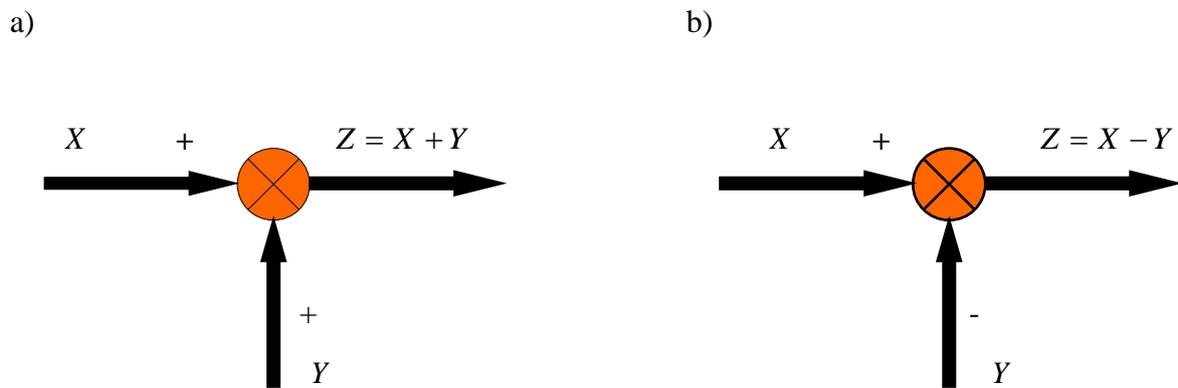


Fig 1.4

On représente aussi le symbole d'un prélèvement d'une même grandeur par une connexion (point de branchement) à partir de la branche principale figure 1.5.

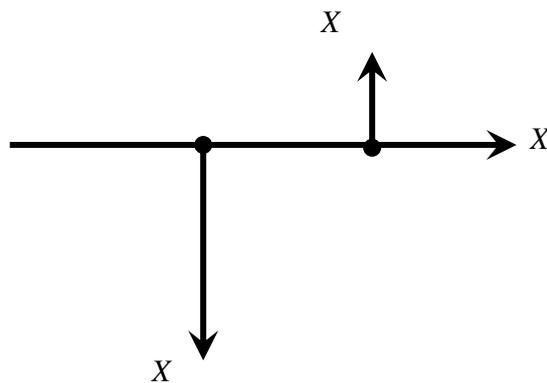
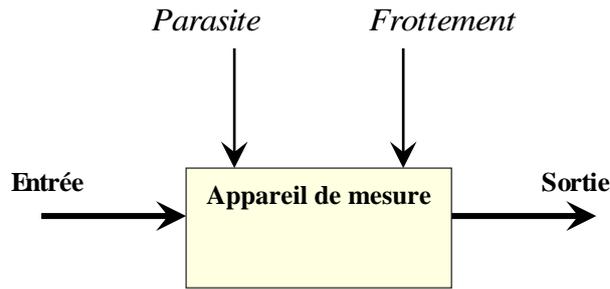


Fig 1.5

En pratique, les éléments sont soumis à des entrées secondaires (parasites ou perturbations) qui modifient la relation entre l'entrée et la sortie. La grandeur de sortie est donc la superposition de la grandeur d'entrée et de la grandeur de perturbation.

Exemple 3 :

Soit le schéma fonctionnel d'un appareil de mesure



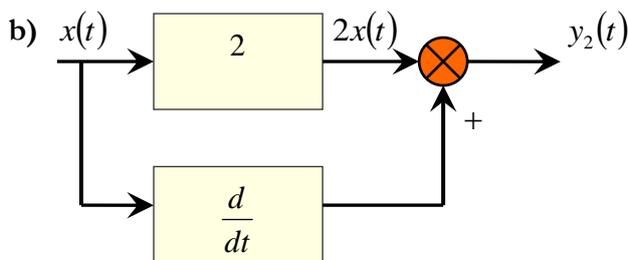
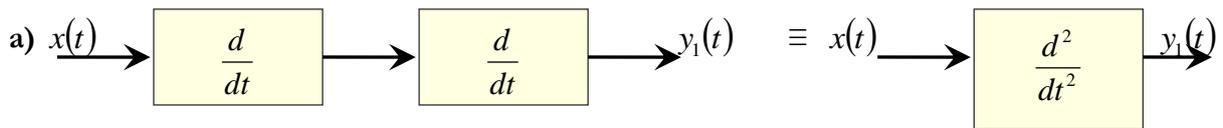
Quelquefois, lorsqu'on veut étudier le système vis à vis des perturbations, on est obligé alors à considérer cette dernière comme entrée principale et la grandeur d'entrée sera comme entrée secondaire

Exemple 4 :

C- Représentez le schéma fonctionnel des expressions suivantes :

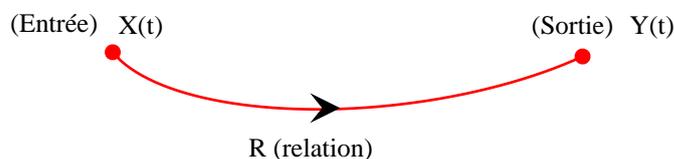
a) $y_1(t) = \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$

b) $y_2(t) = 2x(t) + \frac{dx(t)}{dt}$



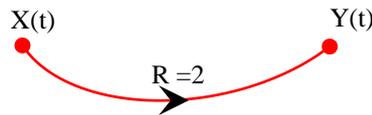
Le graphe de fluence qui constitue un autre modèle de représentation graphique des systèmes asservis et plus facile à tracer.

Symboliquement, un élément ou un système peut être représenté par deux points appelés nœuds, reliés par un arc muni d'une flèche.



Les nœuds représentent les variables d'entrée et de sortie du système ($x(t), y(t)$) et l'arc représente la relation ou la fonction de transmission (R) entre les deux grandeurs. Les flèches indiquent uniquement le sens dans lequel l'information se transmet.

Exemple 5: $y(t) = 2x(t)$



Dans notre cours, on étudiera les schémas fonctionnels plus en détail tout en montrant le passage au graphe de fluence par quelques exemples.

Structure de base :

Les systèmes asservis sont composés d'une part d'un circuit qui permet une **mesure** directe de la grandeur à asservir qu'on appelle généralement **chaîne de retour** ou **chaîne de réaction**, d'autre part d'un circuit qui agit d'une manière continue pour maintenir la valeur réelle égale à celle souhaitée quelle que soient les perturbations qu'on appelle **chaîne directe** ou **chaîne d'action**. Une **perturbation** est une action physique qui agit sur le système et modifie la valeur à asservir. Nous verrons plus loin plus en détail, la structure, le principe de fonctionnement et toutes les particularités des systèmes asservis.

Il est en outre important de savoir qu'un système asservi peut être décrit ou divisé en deux parties principales :

- La première partie caractérise l'objet à asservir (processus, machine, etc...). C'est la partie du système dont on souhaite lui réaliser le réglage souhaité, par conséquent, on ne peut lui apporter aucune modification. C'est la raison pour laquelle elle constitue la partie **invariable** du système. Si on veut maintenir par exemple la température d'un local constante, le local constitue l'objet à régler, ou, si on désire régler la vitesse d'un moteur électrique, le moteur sera l'objet à régler.

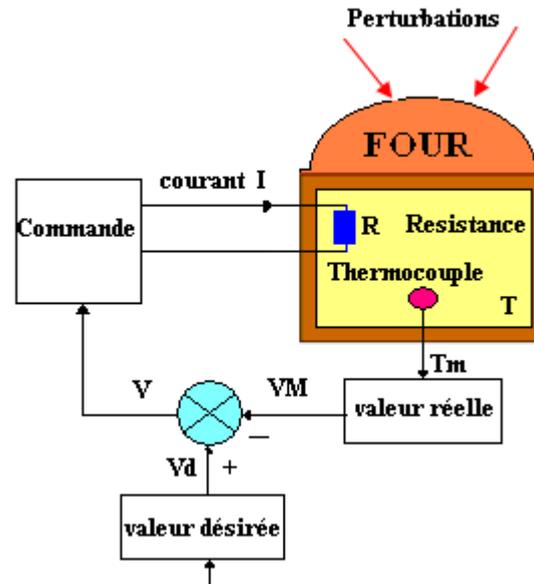
- La deuxième partie caractérise les éléments physiques du système asservi que l'automaticien pourrait choisir de telle manière qu'il peut assurer un comportement approprié aux exigences souhaitées. C'est la raison pour laquelle, elle constitue la partie **variable** du système.

Exemples introductifs :

On présente quelques exemples de systèmes asservis afin d'illustrer les différentes notions introduites précédemment.

Régulation de température dans un four :

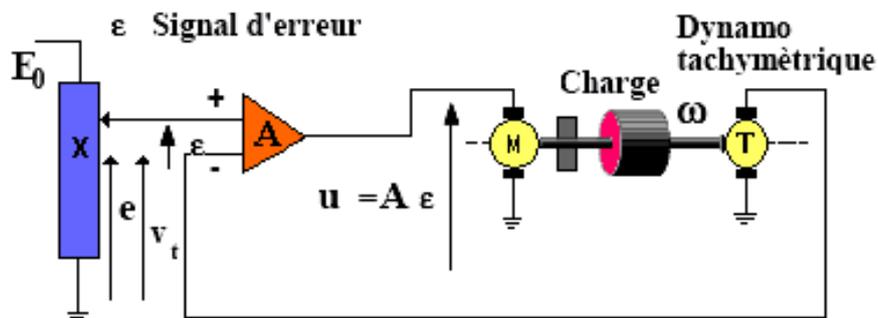
Un des problèmes qu'on rencontre souvent dans l'industrie est celui de la régulation de température dans un four. La température T_M du four est réglée à l'aide d'une résistance R . à l'aide de thermocouple on transforme la température réelle sous forme d'une grandeur électrique par comparaison entre la tension de consigne V_d (température souhaitée) et la tension mesurée V_M (température réelle), une tension de commande V est délivrée à l'actionneur modifiant le courant parcourant la résistance R .



Asservissement de la vitesse de rotation d'un moteur :

À l'aide d'une dynamo tachymétrique on transforme la vitesse réelle du moteur sous forme d'une grandeur électrique.

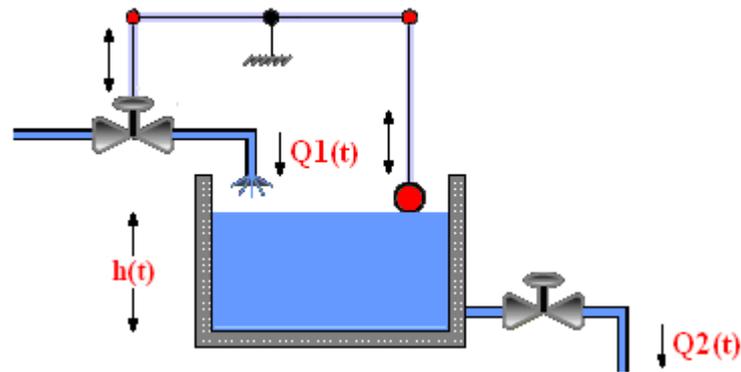
Par comparaison entre la tension de consigne e et la tension mesurée V_T , un signal d'erreur ϵ sera amplifié et délivré aux bornes de l'induit du moteur modifiant ainsi la vitesse de rotation ω du moteur.



Régulation de niveau d'un réservoir :

Par la position du flotteur, on choisit le niveau qu'on souhaite maintenir constant dans le réservoir.

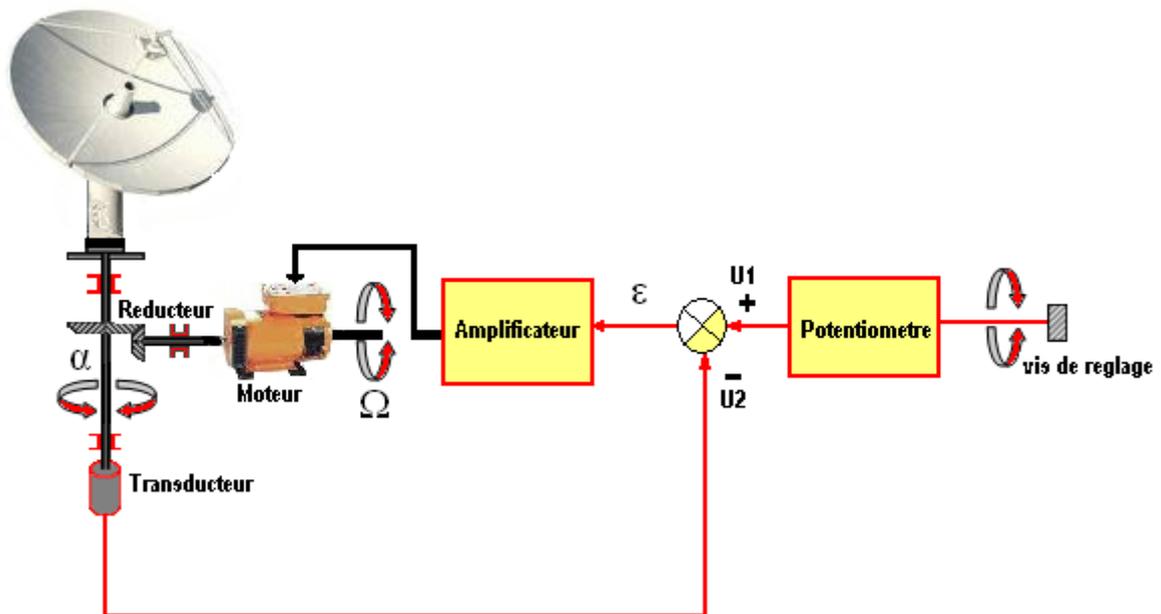
La variation du niveau (variation du débit $q_0(t)$) permet au flotteur de changer de position modifiant aussi le débit $q_1(t)$ pour le maintenir à la valeur désirée.



Asservissement d'une antenne parabolique :

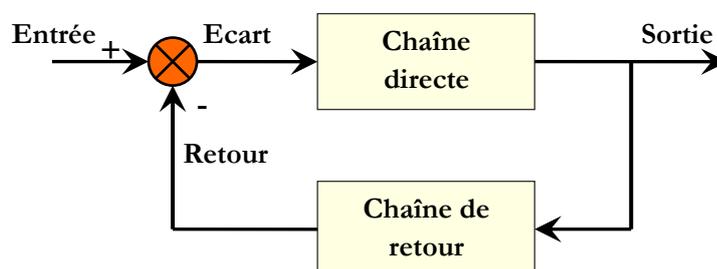
La position d'une antenne parabolique est réglée à l'aide d'un moteur électrique. A l'aide d'un transmetteur TR on transforme la position réelle de l'antenne sous forme d'une grandeur électrique.

Par comparaison entre la tension de consigne U_1 (position souhaitée) et la tension de mesure U_2 (position réelle), une tension de commande sera amplifiée et délivrée au moteur modifiant ainsi la position de l'antenne parabolique.



Structure générale :

Un système asservi et un système à boucle fermée que l'on peut décrire par le schéma fonctionnel suivant :

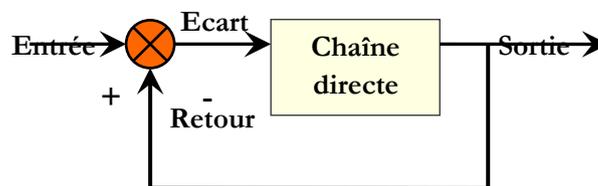


Il apparaît nettement sur la figure que cette structure est essentiellement composée de deux chaînes :

- Une chaîne directe ou d'action qui assure la commande de l'objet à régler appelée souvent chaîne de puissance.
- Une chaîne de retour ou de réaction généralement de faible puissance, qui transmet la variation du signal de sortie appelée souvent chaîne de précision.

D'autre part, suivant la nature de la chaîne de réaction, il est possible de mettre en évidence les asservissements dont le signal de retour et de même nature que le signal de sortie, ainsi, la grandeur d'entrée (référence) et de sortie sont forcément de même nature aussi. En d'autres termes, la totalité de la grandeur de sortie est transportée à l'entrée sans aucune transformation.

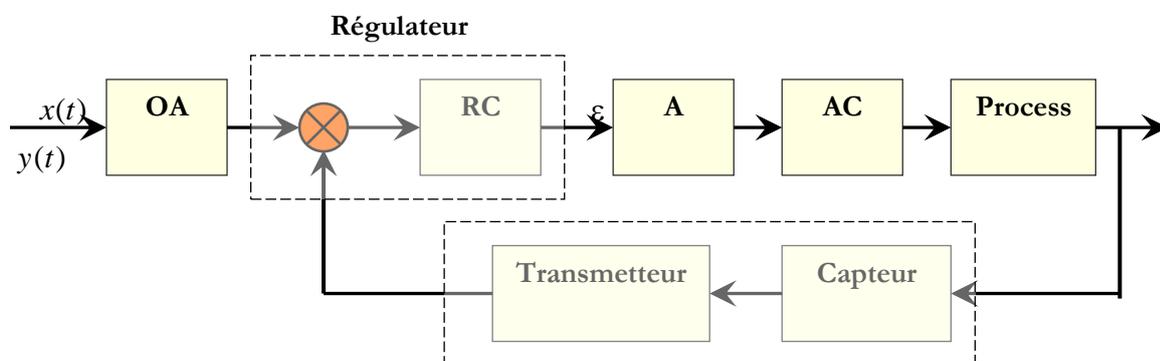
On dit que ces systèmes sont à retour unitaire et peuvent être représentés par le schéma fonctionnel suivant :



Les asservissements de position sont généralement des asservissements à retour unitaire. Nous verrons plus tard qu'il est possible de remplacer un système à retour non unitaire par celui d'un retour unitaire.

Organisation générale d'un système asservi :

IL est important de savoir que chaque système asservis exige un équipement différent pour obtenir la qualité exigée. En effet, la qualité d'un asservissement dépend essentiellement du comportement dynamique des équipements et notamment de l'influence des perturbations pour chaque élément du système de réglage. Si on veut caractériser les éléments d'un système asservi simplement par la fonction qu'ils assurent dans le fonctionnement du système, on remarque que le principe de fonctionnement de n'importe quel système asservi peut être décrit par le schéma fonctionnel suivant :



Organe de mesure

OA : Organe d'affichage

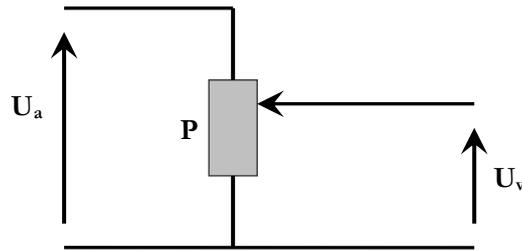
RC : Réseau correcteur

A : Amplificateur

C : Comparateur

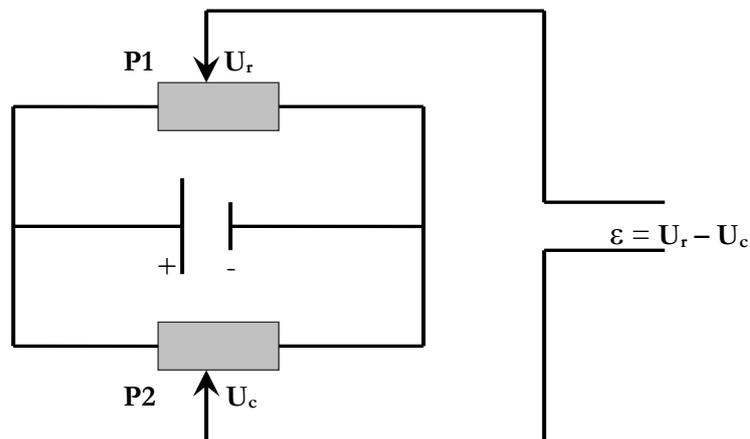
OM : Organe de mesure

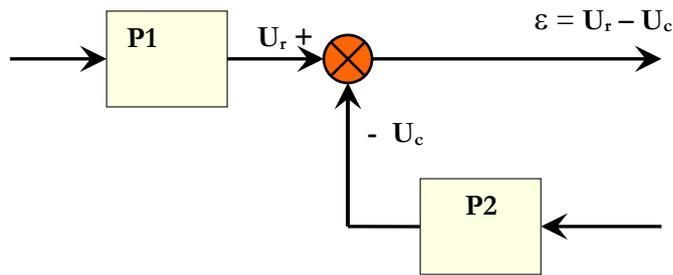
L'organe d'affichage ou l'organe de consigne est un circuit qui consiste à définir une grandeur de référence ajustable. L'élément le plus simple qui permet de fournir une grandeur de référence ajustable est le potentiomètre.



La valeur de la tension de sortie U_v ajustable selon la position du curseur du potentiomètre. (Variation de la résistance).

Le comparateur ou le détecteur d'écart doit définir à partir d'une opération arithmétique simple, la différence entre la grandeur de référence et la grandeur réelle. Il doit assurer ainsi une fonction fondamentale qui est la comparaison. Comme exemple, on peut voir sur la figure ci-dessous la représentation graphique d'un potentiomètre équilibré. Lorsque les deux curseurs des deux potentiomètres se trouvent en position centrale, la tension entre les prises médianes est nulle. Par conséquent l'écart entre la valeur réelle et celle de référence est nul.





Le réseau correcteur ou l'élément de correction est souvent placé juste après le comparateur. C'est un dispositif destiné à améliorer les performances du système asservi, notamment le régime statique et le régime dynamique de la réponse du système.

Le comparateur et le réseau constituant le régulateur de système asservi.

L'amplificateur est le dispositif employé souvent pour augmenter la sensibilité de la chaîne d'action ou bien, améliorer la précision du système asservi. Il assure une transformation quantitative de la valeur de l'écart à la sortie du comparateur.

La mesure est la fonction fondamentale des systèmes asservis. Elle est assurée par une chaîne de réaction constituée généralement par un capteur et un transmetteur. Son rôle consiste à convertir la grandeur à régler du système en une grandeur susceptible d'être mesurée. Cette mesure doit être à la fois continue et précise pour obtenir l'information nécessaire sur l'évolution de la grandeur de sortie.

On peut observer finalement les différentes fonctions fondamentales d'un système asservis :

- Fonction mesure.
- Fonction comparaison.
- Fonction amplification.
- Fonction d'action.
- Fonction de correction.