Université Batna-2
Faculté de Technologie
Département Génie Industriel

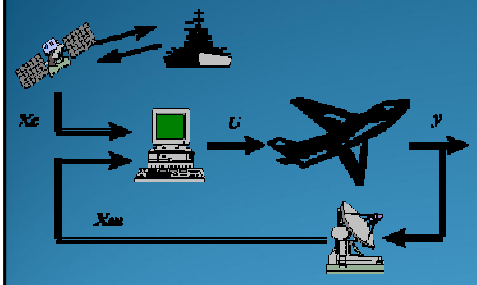
Systèmes Automatisés de Production

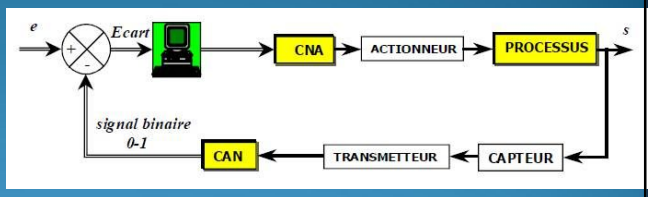
Prof Hayet Mouss

Master 1- Génie Industriel
Spécialité - Génie Industriel

1

Systèmes Automatisés de Production





Leila Hayet MOUSS

Directrice du LAP et Responsable de l'équipe de recherche 3S

Enseignement: Professeur au Département Génie Industriel

Mèl : h.mouss@univ-batna2.dz

2

Partie A

Rappel sur les systèmes asservis linéaires

Représentation d' état des systèmes linéaires

Représentation et analyse des systèmes dans l'espace d'état

Commande des systèmes linéaires

Partie B

Systèmes Echantillonnés Linéaires

Représentation d' état Systèmes Echantillonnés Linéaires

Commande des systèmes Echantillonnés linéaires

3

Plan du cours

Partie A

Chapitre 1. Généralités et systèmes linéaires et systèmes de Commande

Chapitre 2. Modélisation mathématique et dynamique des systèmes asservis

Chapitre 3. Représentation d'état d'un système linéaire

Chapitre 4. Représentation et analyse des systèmes dans l'espace d'état

Chapitre 5. Commande dans l'espace d' état

4

Partie B

Chapitre 6. Systèmes échantillonnés linéaires

Chapitre 7. La transformée en Z

Chapitre 8. La Fonction de Transfert en Z d'un Système

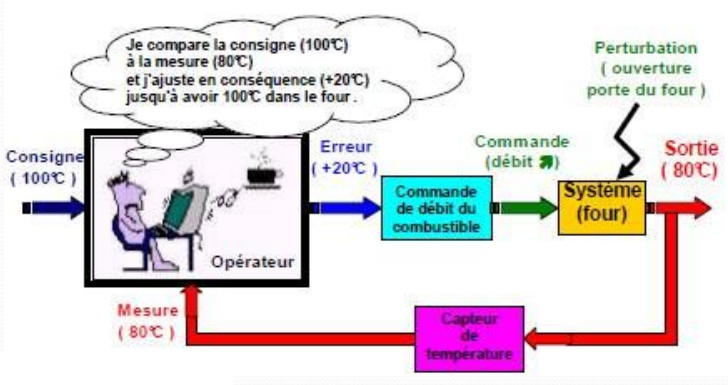
Chapitre 9. La Stabilité et la Précision d'un Système Echantillonné

Chapitre 10. Représentation d'état d'un Système Echantillonné

Chapitre 11. Commande dans l'espace d'état discret

5

Rappel sur les systèmes asservis linéaires



6

But de l'automatique

- Décharger l'homme des charges répétitives
- Améliorer le rendement d'une production
- Améliorer la précision, la qualité des tâches à effectuer

↳ Utilisation de **calculateurs**, **automates**, circuits **électroniques**

↳ Amélioration du contrôle

Objectifs de l'Automatique

- Décrire les systèmes Asservis
- Définir la terminologie des systèmes asservis linéaires
- Distinguer entre la structure de commande en boucle ouverte et celle en boucle fermée

7

Rappel sur les systèmes asservis linéaires

Chapitre 1

1. Généralités sur les systèmes linéaires
2. Systèmes de Commande

Chapitre 2

1. Modélisation mathématique des systèmes asservis
2. Dynamique des systèmes asservis

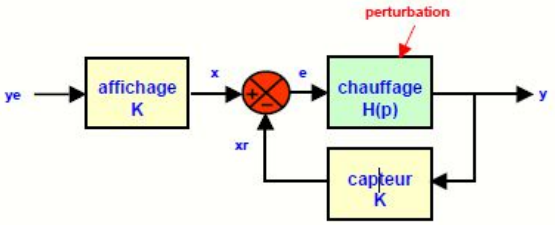
8

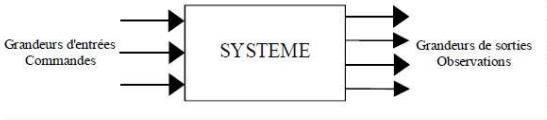
Chapitre 1

Généralités et systèmes linéaires et systèmes de Commande

1. Généralités sur les systèmes linéaires

2. Systèmes de Commande

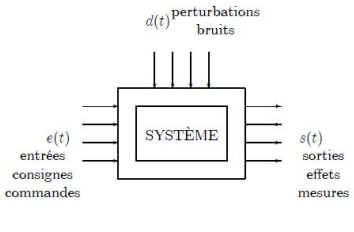




9

1. Généralités sur les systèmes linéaires

Introduction
1.1. Définition d'un système
1.2. Définition des grandeurs



10

Introduction

Lorsque l'on envisage la commande d'un système, la première étape consiste à le modéliser.

Modéliser un système cela peut consister à, d'une part, élaborer un objet mathématique qui permette de décrire et prédire le comportement dynamique du système lorsque ce dernier est soumis à des influences externes

Ou bien, d'autre part, cela peut consister à élaborer un objet mathématique qui permette d'appliquer des méthodes pour améliorer son comportement dynamique

On doit donc ici distinguer

la modélisation pour l'analyse, qui demande la construction de modèles précis et souvent complexes

et

la modélisation pour la synthèse qui va demander des modèles exploitables par des méthodes disponibles

Dans ce cadre c'est le deuxième point de vue que l'on va privilégier et l'on possède un arsenal de techniques et de méthodes basé sur le formalisme matriciel, on focalisera la modélisation sur les modèles linéaires à coefficients constants.

11

1.1. Définition d'un système

Système est un ensemble de pièces, d'objets ou d'entités qui réalise une opération spécifique.
Il y a donc une notion d'action sur l'environnement en fonction d'excitations extérieures.

Nous distinguons :

- Petits systèmes : ils se limitent à un processus type unique (réacteur, vanne etc…)
- Grands systèmes : ensemble de petits systèmes (usine chimique, colonne de distillation etc.)

1.2. Définition des grandeurs

- Grandeur physique générée par un appareil ou traduite par un capteur (température débit etc...)
- Quantité susceptible de changer de valeur,

elle est associée à la grandeur physique qu'elle représente à un instant donné dans un système

exemple : $T_1(11) = 100\ °C$ (à t=11 sec., $T_1 = 100\ °C$).

12

1.2.1. Les signaux d'entrée

Grandeurs indépendantes du système mais qui ont une action sur son état. Elles se décomposent en (commandable et non commandable perturbations).

- Commandables: grandeurs sur lesquelles il est possible d'avoir une action.
- Non Commandables : grandeurs sur lesquelles on ne peut avoir aucune action. Elles sont souvent appelées perturbations.

1.2.2. Les signaux de sortie

Signal dépendant du système et du signal d'entrée. Nous distinguons sortie observable et non observable.

- Observables: pouvant être captées en vue d'une exploitation, d'une utilisation, d'une vérification de fonctionnement.
- Non Observables: conditionnant éventuellement l'évolution future d'un système, mais auxquelles on n'a pas accès (résultat d'opérations mathématiques, absence de capteurs).

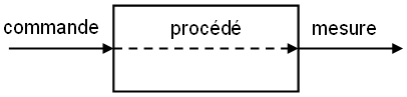
Exemples : Réacteur chimique, moteur , échangeur de chaleur.

13

1.2.3. Système Mono variable

Un système mono variable est un système présentant un bouclage entre une commande (et une seule) et une mesure.

Exemple : pour arroser sa pelouse, la pression en sortie du jet se règle avec le robinet d'arrivée. Rien d'autre ne fait varier la pression.



Système mono variable (S.I.S.O.):

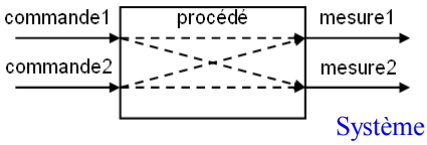
1.2.4. Système Multi variable

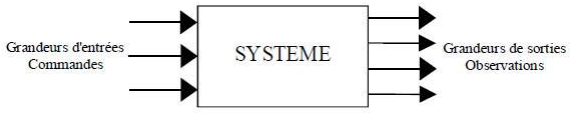
C'est le cas d'un procédé où une mesure peut être affectée par plusieurs commandes.

Exemple : la température d'un jet d'eau se règle grâce à un robinet d'eau chaude et à un robinet d'eau froide. Il s'agit d'une configuration multi variable simple (la même température pouvant être atteinte par des choix différents sur l'eau chaude et sur l'eau froide).

14

En revanche, le problème est plus complexe si l'on désire respecter la température et le débit. Dans ce cas, on ne peut plus régler chaque actionneur sans tenir compte de l'autre. Toute variation sur un actionneur fait varier la température et le débit.

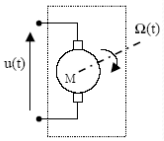


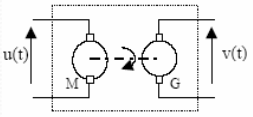


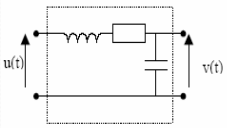
Système multi variable (M.I.M.O.) :

Ainsi généralisée, la notion de commande se confond à peu prés avec celle de la relation entre deux grandeurs (Entrée / Sortie) réalisée par un système matériel. Ce système est commandé par l'entrée qu'il transforme en grandeur de sortie.

Ce qui correspond à l'existence entre l'entrée (e) et la sortie (s) d'une relation:



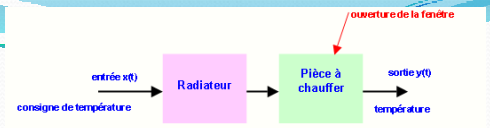




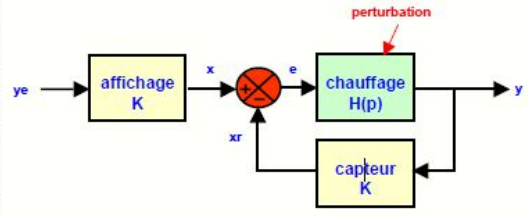
F(e,s) =o

15

2. Système de commande



Introduction
2.1. Système de commande
2.2. Commande en boucle ouverte
2.3. Commande en boucle fermée
2.4. Systèmes asservis et systèmes de régulation
2.5. Les différents types de régulation
2.6. Classification des systèmes
2.7. Qualités d'un système asservi



16

Introduction

La régulation est au cœur de toutes nos actions:

- Conduire sa voiture,
- Régler la température de sa douche le matin,
- Réaliser une recette de cuisine…

La régulation (ou asservissement) consiste à agir de façon à ce que une mesure soit égale à une consigne.

- Si l'on cherche à atteindre une consigne (de position ou de température), on parlera de poursuite ou asservissement

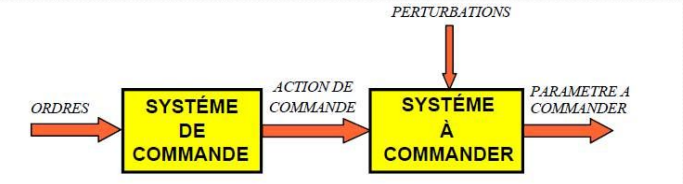
- Si l'on cherche à éliminer des perturbations pour qu'une valeur reste constante (ex : garder la température intérieure de la voiture constante quelle que soit la température extérieure), on parlera de régulation

17

2.1. Système de commande

Le Système de commande est composé d'un système de commande et du système à commander

Commander : c'est organiser un système dans un but fixé.



exemple : fixer une température à 37 °C ou fixer la trajectoire d'un avion.

Le système à commander : est le système sujet à la commande (four, moteur, réacteur...)

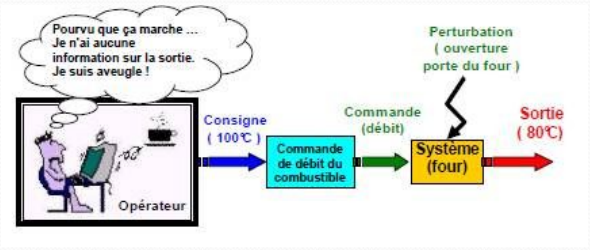
- **Action de commande :** Action susceptible de changer l'état du système à commander. Elle est élaborée en fonction des ordres.
- **Perturbations :** Variables aléatoires dont nous ne connaissons pas l'origine.
- **Paramètres à commander :** variables à contrôler.

18

2.2. Commande en boucle ouverte

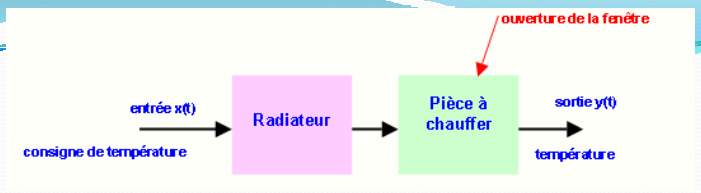
2.2.1. Définition

Un système est en boucle ouverte lorsqu'on n'a aucune information sur la sortie.



Prenons l'exemple du réglage de la température d'un four en agissant sur le débit du combustible assurant la production de chaleur

19



Dans le cas du chauffage d'une pièce, l'ouverture de la fenêtre provoque une diminution de la température ambiante et constitue une perturbation pour le système de chauffage.

Système réel :

- consigne x(t) = Xo
- la température y(t) fluctue
- causes : ouverture de porte ou de fenêtre, variation de la température extérieure …

Système idéal :

- consigne x(t) = Xo
- température y(t) = Yo

20

À cause des perturbations, la température y varie même si la consigne x est fixe

En boucle ouverte,

la commande n'est pas élaborée à partir de l'observation du système.
En somme, nous ne tenons pas compte des perturbations du système.

2.2.2. Inconvénients

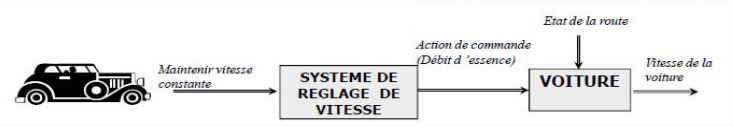
- Correction impossible : N'ayant aucune information sur la sortie, l'opérateur ne peut élaborer aucune stratégie d'ajustement pour obtenir la sortie désirée.

- Sensibilité aux perturbation : En admettant que la sortie soit conforme à la consigne; une perturbation peut, à un moment donné, affecter la sortie.
L'opérateur "aveugle" ne pourra corriger cette situation.

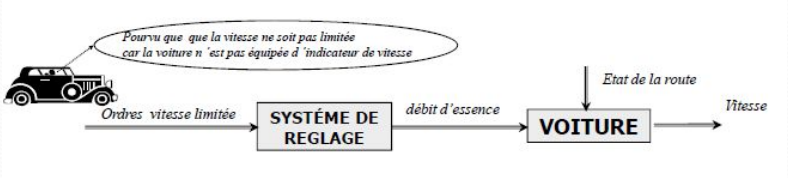
21

2.2.3. Exemples de systèmes de commande en boucle ouverte

- Réglage de vitesse d'une voiture

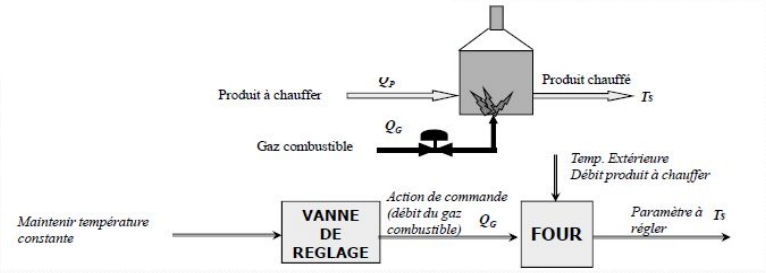


- Conception d'un système de commande en boucle ouverte

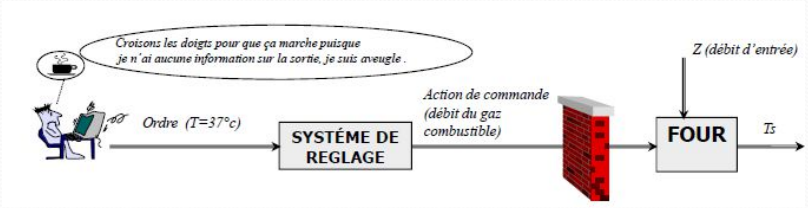


22

➢ Réglage de la température d'un four



➢ Conception d'un système de commande en boucle ouverte



23

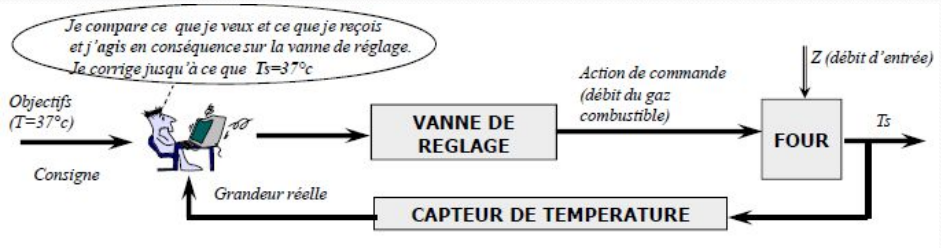
2.3. Commande en boucle fermée

Introduction

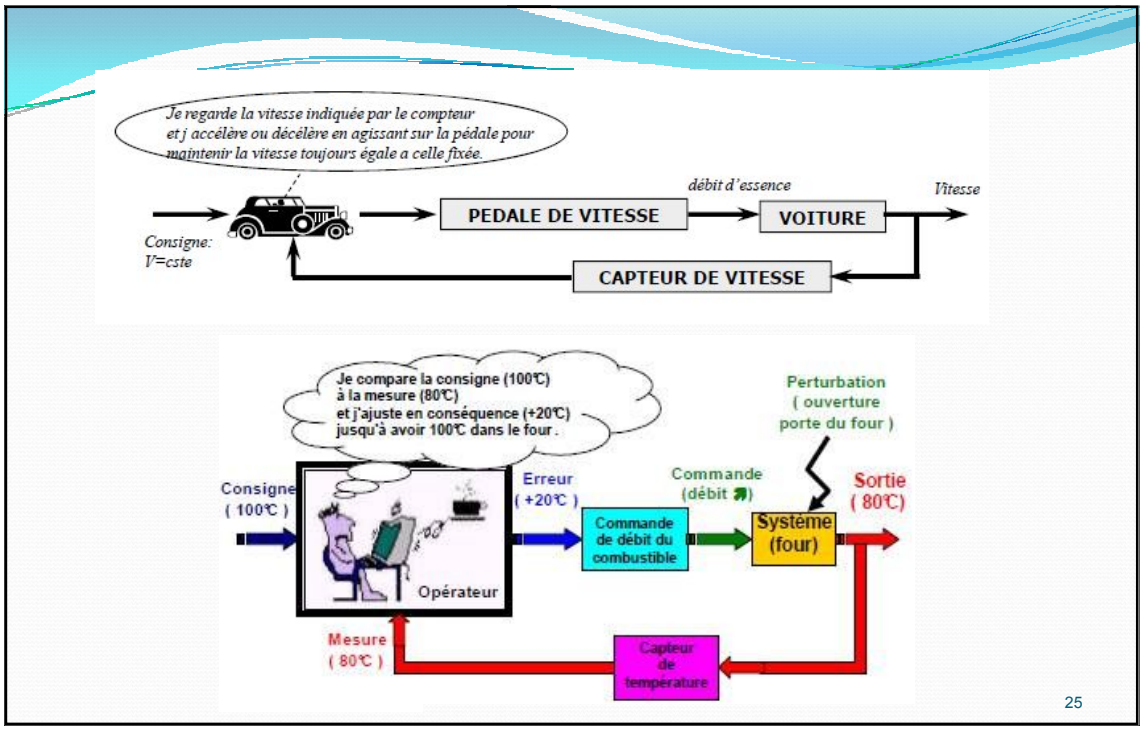
Nous allons donner une information supplémentaire à l'opérateur. Il s'agit de lui indiquer la température du four.

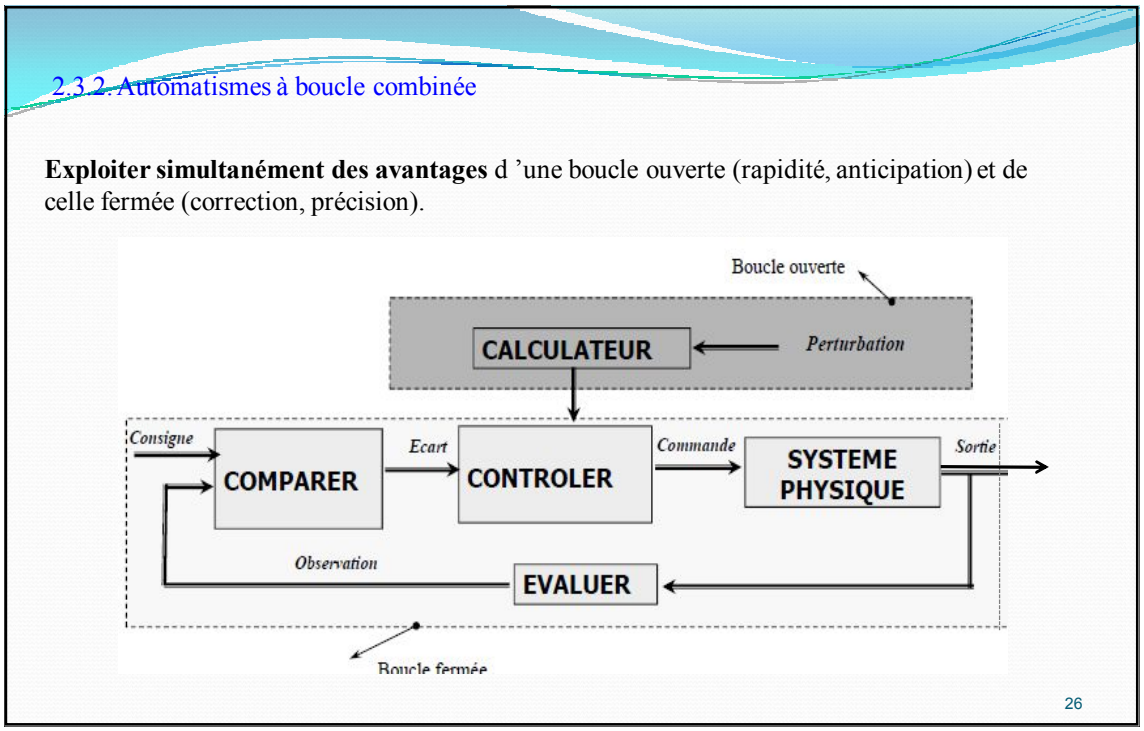
L'opérateur compare la température désirée (consigne) avec la température réelle (mesure) pour évaluer l'écart (erreur) et ajuster en conséquence (commande).

2.3.1. Conception d'un système de commande en boucle fermée



24

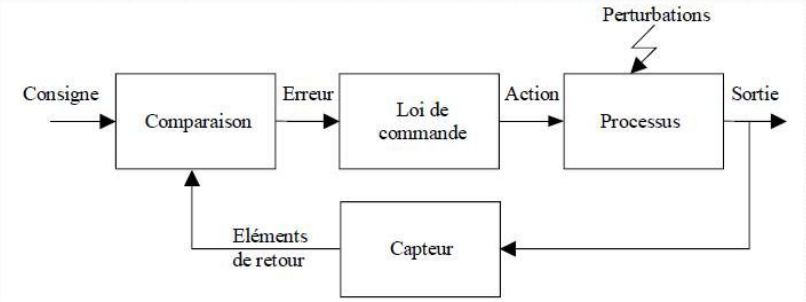

Je regarde la vitesse indiquée par le compteur
et j accélère ou décélère en agissant sur la pédale pour
maintenir la vitesse toujours égale a celle fixée.
Consigne:
V=cste
PEDALE DE VITESSE
débit d'essence
VOITURE
Vitesse
CAPTEUR DE VITESSE
Je compare la consigne (100℃)
à la mesure (80℃)
et j'ajuste en conséquence (+20℃)
jusqu'à avoir 100℃ dans le four.
Perturbation
(ouverture
porte du four)
Consigne
(100℃)
Opérateur
Erreur
(+20℃)
Commande
(débit)
Commande
de débit du
combustible
Système
(four)
Sortie
(80℃)
Mesure
(80℃)
Capteur
de
température
25


2.3.2. Automatismes à boucle combinée
Exploiter simultanément des avantages d 'une boucle ouverte (rapidité, anticipation) et de celle fermée (correction, précision).
Boucle ouverte
CALCULATEUR
Perturbation
Consigne
COMPARER
Ecart
CONTROLER
Commande
SYSTEME
PHYSIQUE
Sortie
Observation
EVALUER
Boucle fermée
26

2.3.3. Définition d'un système asservi

Un **système asservi** est un dispositif en boucle fermée qui permet d'asservir la sortie à une consigne donnée.

- La **consigne** est appelée : grandeur réglante
- La **sortie** est appelée : grandeur réglée ou observation



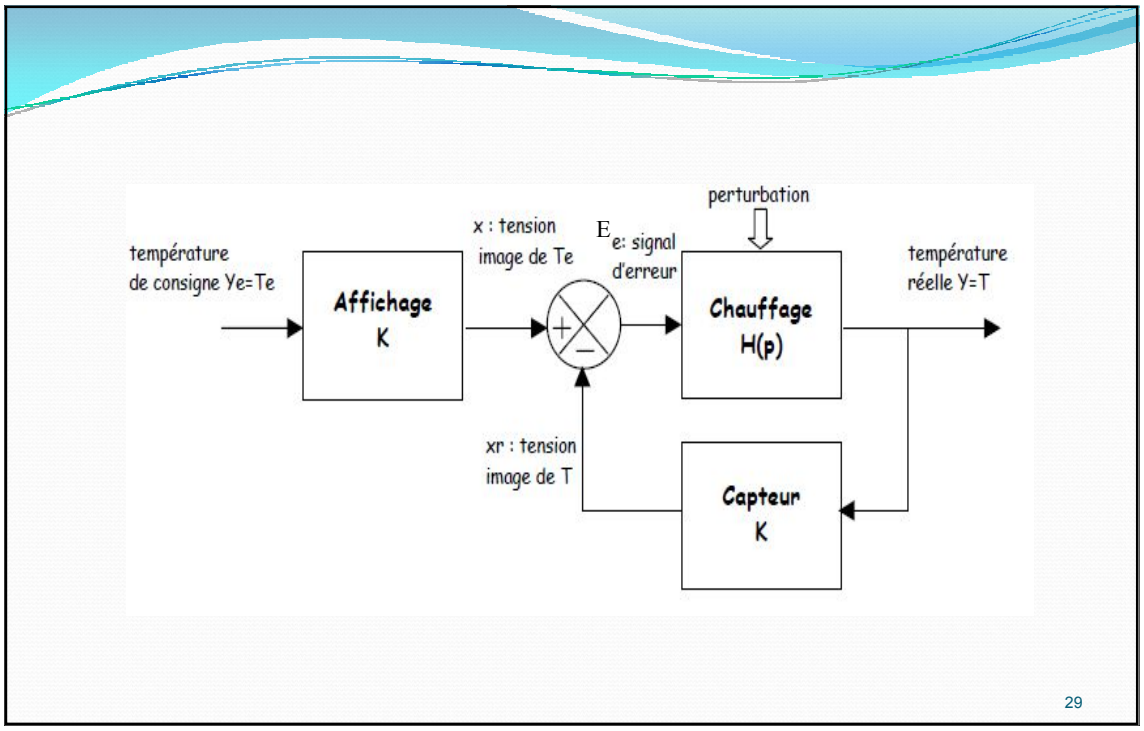
27

2.3.4. Structure d'un système asservi

Un système asservi est un système commandé possédant un dispositif de retour permettant de compenser le manque de fidélité d'un système physique. Il comprend :

- **la chaîne directe H(p) :** c'est le système commandé qui est soumis à l'influence des perturbations et manque donc de fidélité. Sa fonction de transfert est souvent notée H(p).
- **la chaîne de retour K :** elle convertit la grandeur de sortie en une tension qui est le signal de retour xr . Ce capteur doit être fidèle (insensible aux perturbations).
- **l'organe d'affichage K :** il transforme la valeur désirée Ye de y (consigne) en tension x. Il n'est pas présent dans tous les asservissements.
- **le comparateur :** il élabore le signal d'erreur e = x -xr

28



2.4. Systèmes asservis et systèmes de régulation

Introduction

Un système de commande en **boucle fermée permet de :**

- ❑ compenser des perturbations externes
- ❑ compenser des incertitudes internes au processus (ex : moteur qui chauffe).
- ❑ garantir la stabilité du système.

Par conséquent nous pouvons définir deux notions

2.4.1. Asservissement

C'est la poursuite par la sortie d'une consigne qui peut être variable au cours du temps. Si la consigne varie, la perturbation est supposée constante (variation de la perturbation nulle).

2.4.2. Régulation

C'est la compensation de l'effet de perturbations variables sur la sortie pour une consigne constante (variation nulle). Si la consigne est fixée, la perturbation varie.

30

Conclusion

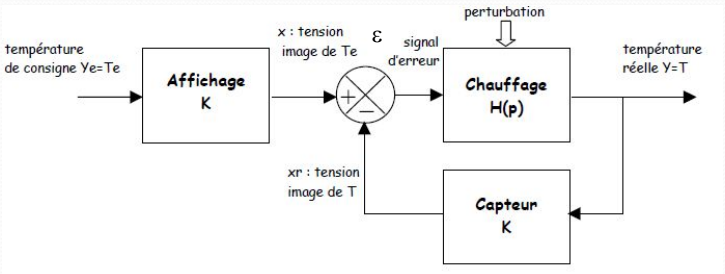
Il y a asservissement d'une grandeur Y à une grandeur de consigne X lorsque l'on force, par dispositif particulier, la grandeur Y à suivre l'évolution de la grandeur X

Si la consigne

- est constante ou varie par paliers (alimentation stabilisée, régulation de vitesse, de température …) , on parle de régulation
- est variable, on parle d'asservissement (poursuite) ou de système asservi

31

2.4.3. Exemple d'un système de régulation de température



Pour une régulation du chauffage électrique d'une pièce, la température ambiante T est asservie à la température désirée Te:

- en hiver l'ouverture d'une fenêtre est une perturbation qui fait baisser T et donc x_r
- le signal d'erreur ε augmente, ce qui fait augmenter la puissance de chauffe
- la température T remonte automatiquement

32

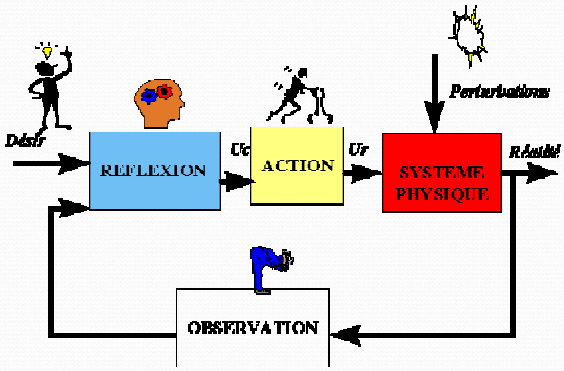
Conclusion

Un bon système asservi sera caractérisé par :

- ✓ une erreur très faible, et si possible nulle (y très voisin ou égal à yd) en régime permanent
- ✓ un temps de réponse tr 5% le plus court possible en régime transitoire

2.4. 4. Type d'un système asservi:

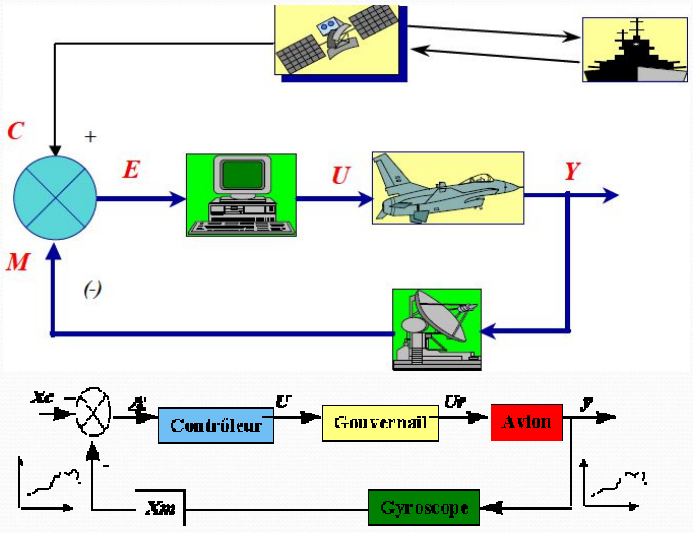
Le comportement humain



33

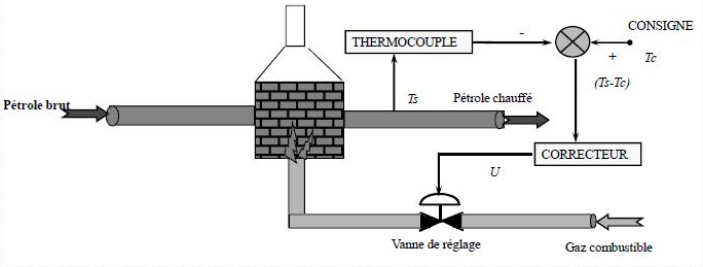
2.4.5. Exemples de systèmes automatiques:

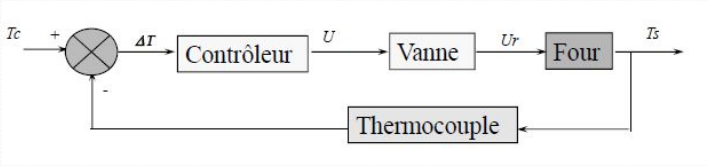
➢ Suivi de la trajectoire d'une cible



34

➢ Régulation de la température d'un four

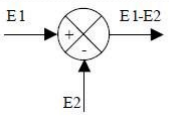




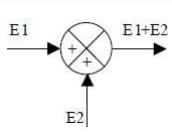
35

2.4.6. Représentation des systèmes asservis

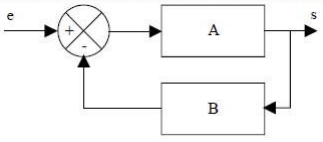
Comparateur :



Sommateur :



Boucle fermée :



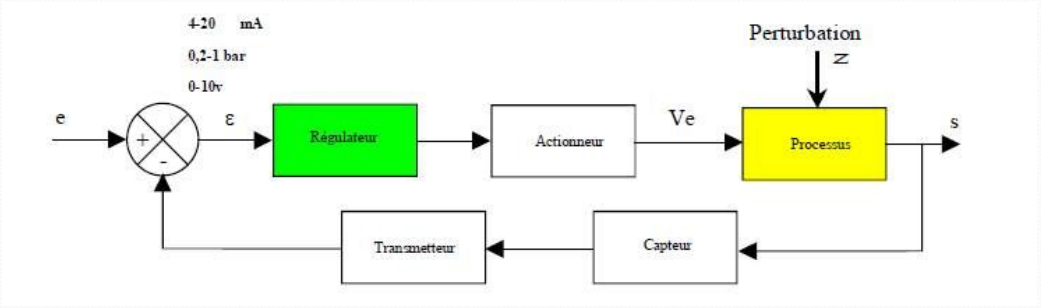
Le système asservi est constitué d'une chaîne directe ou d'action (A) et d'une chaîne de retour ou d'une chaîne de contre réaction ou d'observation (B).

36

2.5. Les différents types d'asservissements

Le type de régulation dépend de la loi de commande

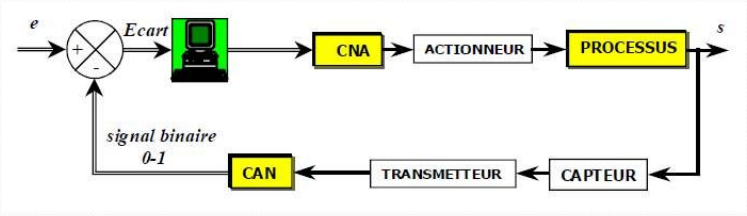
2.5.1. Asservissement analogique



37

2.5.2. Asservissement numérique

La loi de commande est donnée par un algorithme.

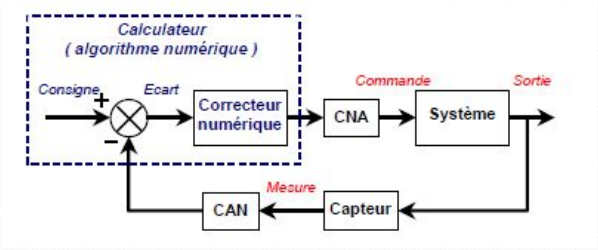


Dans un système asservi numérique (on dit aussi "système asservi échantillonné"), les grandeurs suivantes sont de type numérique :

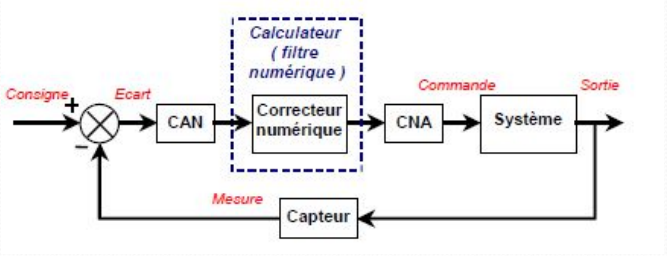
- ✓ la consigne : elle peut être contenue numériquement dans un tableau (signal numérique)
- ✓ le comparateur : c'est l'opération de soustraction qui est réalisée numériquement
- ✓ le correcteur : c'est un algorithme de même type que pour un filtre numérique.

38

Le CNA transforme la commande numérique en commande analogique.
Le CAN transforme la mesure analogique (sortie capteur) en mesure numérique.

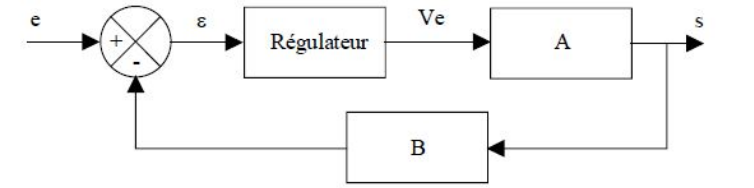


Dans certains cas, seul le correcteur est numérique. La consigne et l'opération comparaison sont alors de type analogique



39

2.5.3. Régulation tout ou rien



Loi de commande non linéaire :

si $\varepsilon > 0 \Rightarrow Ve = Vmax$
si $\varepsilon \leq 0 \Rightarrow Ve = 0$

40

2.6. Classification des systèmes

2.6.1. Systèmes **linéaires**

Un système est linéaire s'il est régit par une équation différentielle à coefficients constants.

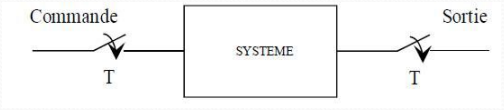
2.6.2. Systèmes **non linéaires**

Dual de la définition précédente mais les systèmes non linéaires peuvent être linéaires dans une plage de fonctionnement.

2.6.3. Systèmes **échantillonnés ou discrets**

La commande et l'observation sont effectués que pendant le temps d'échantillonnage (pendant le temps de fermeture des interrupteurs T).

Un système échantillonné peut-être linéaire ou non.



41

2.7. Qualités d'un système asservi

Un asservissement est caractérisé par trois facteurs révélateurs de ses performances

- La rapidité

  Un système est dit rapide s'il se stabilise à un niveau constant en un temps satisfaisant fixé par l'utilisateur. La rapidité est caractérisée par le temps de réponse (temps pour arriver entre +5% et -5% de la valeur finale de la sortie).

- La stabilité

  Un système est dit stable si sa sortie tend vers une constante pour une entrée constante.

- La précision

  Un système est précis s'il suit la consigne en toute circonstance (perturbations) et retourne à la valeur de consigne après une perturbation.

Remarque

le problème des systèmes asservis est d'aboutir à un bon compromis entre rapidité, précision et stabilité, ces trois facteurs étant antagonistes.

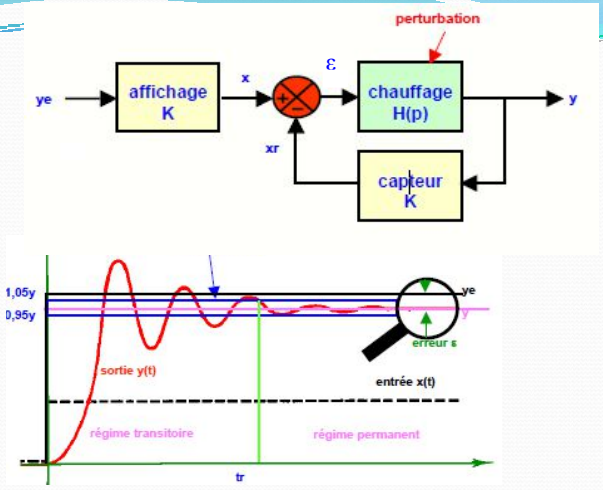
42

Les performances qu'on demande à un système asservi dépendent de la phase de fonctionnement:

- En régime transitoire,
  - On demande au Système Asservi d'être rapide en passant le plus rapidement possible d'un régime permanent à l'autre.
  - On caractérise le régime transitoire par le dépassement et le temps de réponse tr à partir duquel y(t) reste dans la bande des 5%
- En régime permanent (ou établi),
  - On demande au Système Asservi d'être précis. En pratique, cette précision n'est jamais absolue et
  - On la caractérise par l'erreur

la qualité du régime transitoire s'évalue en général en appliquant au système une entrée de forme particulière: l'échelon.:

43



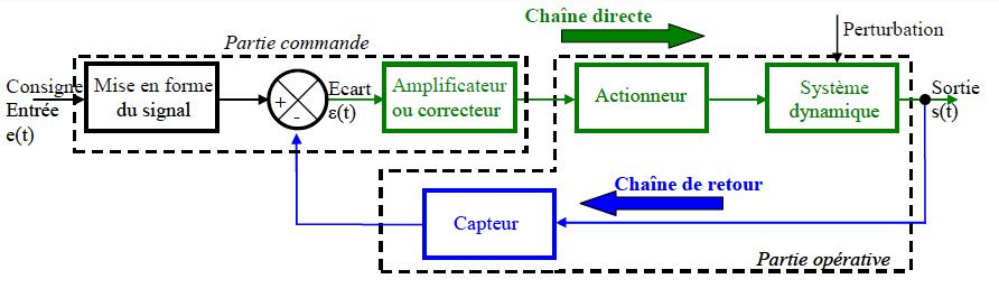
Asservissement idéal:
- y = ye et ε= 0
- x = xr et ε = 0

Asservissement réel:
- y différent de ye erreur ε
- x différent de xr signal d'erreur ε non nul

44

Conclusion

Pour représenter un système asservi, on utilise un schéma bloc fonctionnel qui permet de comprendre la structure du système du point de vue commande



45