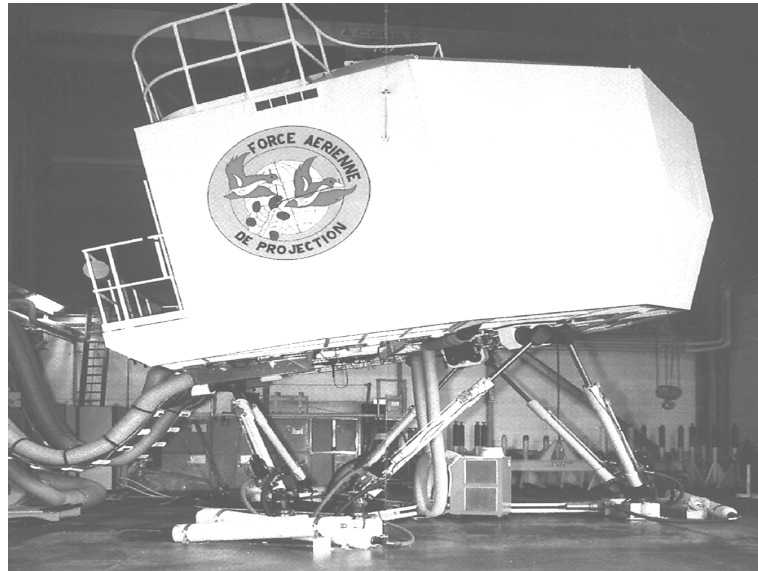




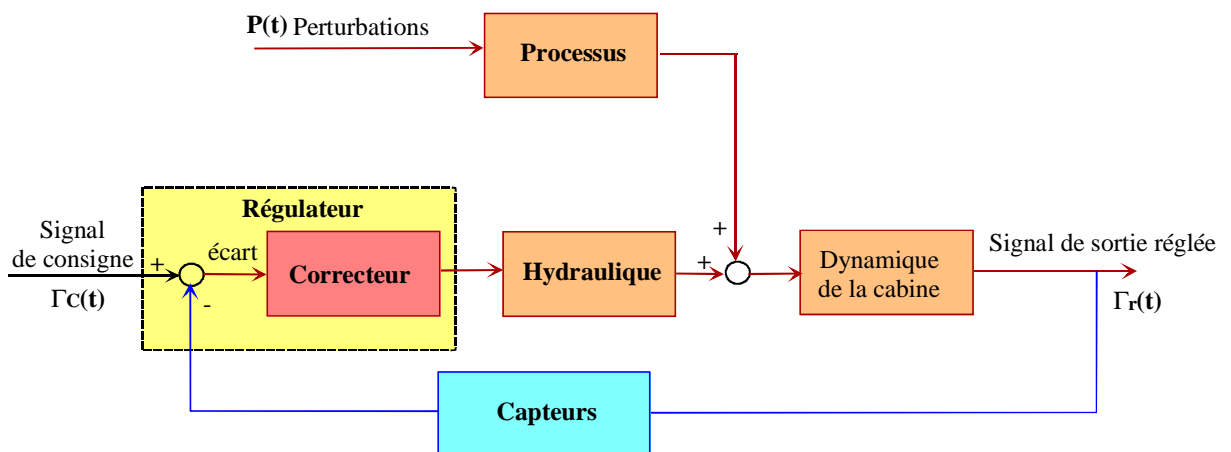
LES SYSTEMES AUTOMATISES

*Limites du modèle :
Systèmes linéaires continus et invariants*

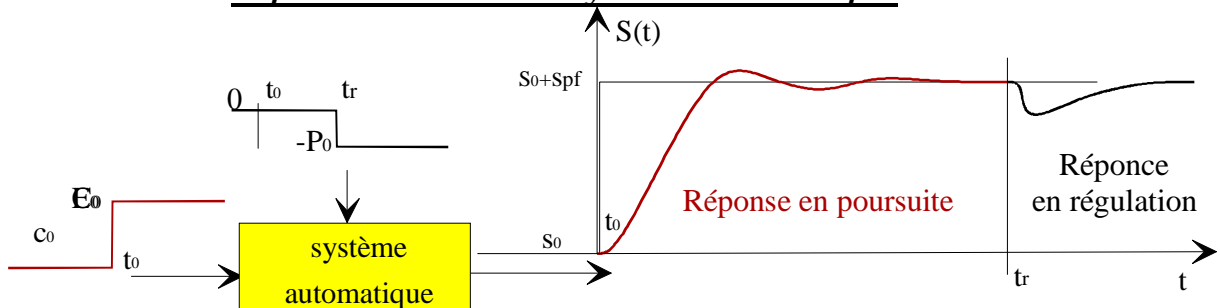


Simulateur de vol 6 axes : Thomson CSF

Schéma fonctionnel de l'asservissement



Réponse indicielle du système automatique



Plan (Cliquez sur le titre pour accéder au paragraphe)

1	INTRODUCTION ASPECTS GÉNÉRAUX	2
1.1	généralités sur l'automatique.....	2
1.2	Notion de systèmes.....	3
1.3	Rôle de l'automatique	5
1.4	Bref historique.....	7
1.5	Schémas fonctionnels.....	9
1.6	Structure d'un système de commande ou système asservi.....	11

1 INTRODUCTION ASPECTS GÉNÉRAUX

1.1 généralités sur l'automatique

Le substantif "**Automatique**" a été utilisé pour la première fois en 1914 dans la revue académique royale des sciences de Madrid publié par Torres y Quevedo.

- Le petit Larousse propose la définition suivante :

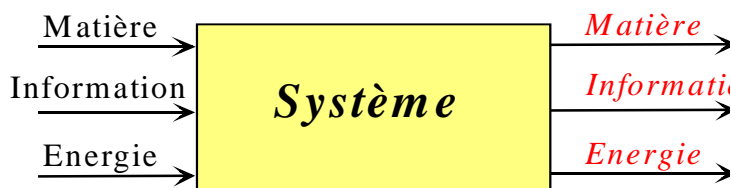
Automatique : Science et technique de l'automatisation, qui étudient les méthodes scientifiques et le moyen technologique utilisés pour la conception et la construction des systèmes automatiques.

Automatisation : Exécution automatique de tâches industrielles, administratives ou scientifiques, sans intervention humaine.

L'automatique peut se définir comme un ensemble de théories mathématiques et une technique de raisonnement concernant la prise de décision et la commande des systèmes. La dénomination anglaise est plus explicite 'Automatique Control' puisqu'elle précise la notion de commande. Le terme anglais "Control" est un faux ami à ne pas traduire comme contrôle, il signifie Commande.

Définition du mot système : Nous le verrons dans d'autre chapitre de cours mais nous pouvons ici retenir une définition littéraire : Un Système consiste en une combinaison de parties qui se coordonnent pour concourir à un résultat.

Le but d'un système est d'exécuter des actions qui sont regroupées en a activités. Chaque élément du système assume sa part d'activité. Une action est le résultat de l'organisation de matière, d'énergie et d'information. En quelque sorte, l'information, avec le concours de l'énergie, va modifier la matière en lui conférant un plus grand degré d'organisation.



Des objets agencés entre eux, c'est à dire ayant une certaine dépendance, constituent un système réalisant une certaine fonction ou action.

Les sorties-entrées sont les signaux qui apportent au système, les

informations du milieu extérieur. Les sorties fournissent la réponse du système par dépendance des entrées; on peut parler de causes (entrées) et d'effets (sorties).

On utilise de manière synonyme le terme de processus : process en anglais. Théoriquement, un processus se définit comme un ensemble de lois d'évolution de différentes grandeurs physiques, c'est la façon dont évolue un système sous l'effet des entrées. Dans le langage courant, on confond souvent le processus, notion abstraite, et l'installation matérielle dont le fonctionnement est régi par ces lois.

La commande d'un système consiste à exercer, via les entrées, une influence sur le système de manière à obtenir en sortie un comportement déterminé. Cette influence s'exerce souvent par l'intermédiaire d'une action sur le flux d'énergie ou de matériaux injectés dans le système. Lorsque cette influence est exercée par l'Homme, la commande est dite manuelle. Lorsque l'Homme est remplacé par des dispositifs techniques autonomes, on parle de commande automatique.

L'automatique s'est longtemps appliquée qu'aux systèmes mécaniques, électroniques et électromécaniques, mais maintenant elle est utilisée en gestion, biologie, économie, etc.

Les systèmes de commande automatique copient le plus souvent le comportement de l'Homme. Un exemple introductif simple s'obtient par observation d'un conducteur au volant de son véhicule. Le système que l'Homme commande est sa voiture dans un environnement de la route; le cerveau et les membres constituent les organes de commande. Les décisions concernant la direction l'accélération et le freinage sont mises en oeuvre, à partir des mesures effectuées par l'œil, de manière à satisfaire un critère de performance qui peut être un compromis entre la durée du trajet, le confort, la consommation ou les réglementations.

Cet exemple nous montre les trois opérations fondamentales accomplies par l'Homme.

- **l'observation**
- **la réflexion**
- **l'action**

Il est intéressant de noter que des types d'actions différentes peuvent être appliqués, suivant les critères intégrés lors de la phase de réflexion. Un conducteur pressé appliquera une succession de freinages et accélérations, au détriment de la consommation alors qu'un autre conducteur économe adoptera une conduite plus souple.

La structure à trois phases met en évidence une opération de bouclage ("Feed-back", nourrir en retour). Ce retour constitue l'une des notions importantes de l'automatique.

1.2 Notion de systèmes

Un système est un ensemble d'éléments liés entre eux dans le but de réaliser une tâche déterminée. Ce dispositif soumis aux lois physiques est caractérisé par des grandeurs de deux types : Les ENTREES et Les SORTIES.

En général, les entrées et les sorties sont multiples. On définit ses systèmes comme multivariables.

1.2.1 REPRESENTATION D'UN SYSTEME

Les entrées peuvent être classées en deux types :

- Des grandeurs de commandes du système appelées communément Entrées de commandes. Les entrées de commandes correspondent aux signaux que l'on pourra modifier afin d'agir sur le système.
- Des signaux parasites appelés communément Perturbations.

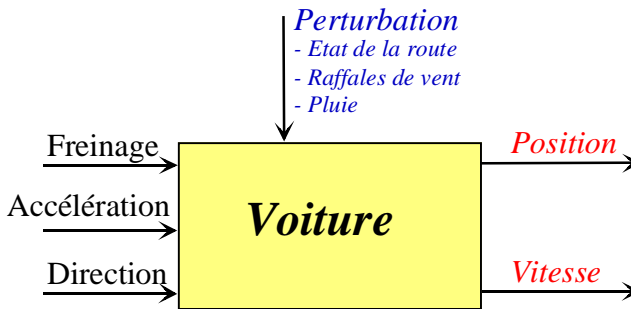
Les perturbations correspondent aux signaux que l'on ne pourra pas manipuler et que le système devra subir.

Par exemple : Pour un four, les grandeurs suivantes peuvent être relevées

- Entrée de commande: Débit de combustible

- Entrée de perturbation déperdition de chaleur
- Sortie : température à l'intérieur du four

Il est devenu maintenant naturel de modéliser un système quelconque. Une représentation graphique de système se représente par un schéma fonctionnel dont on verra la normalisation plus loin dans ce document.



Dans ce schéma fonctionnel sont indiquées les entrées accessibles à la commande, les entrées parasites subies (perturbations), et les sorties intéressantes. Par exemple pour qualifier le comportement d'un véhicule automobile, on dresse une liste sommaire de grandeurs utiles et on précise leur nature avec le schéma ci-contre.

1.2.2 SYSTEME

DYNAMIQUE

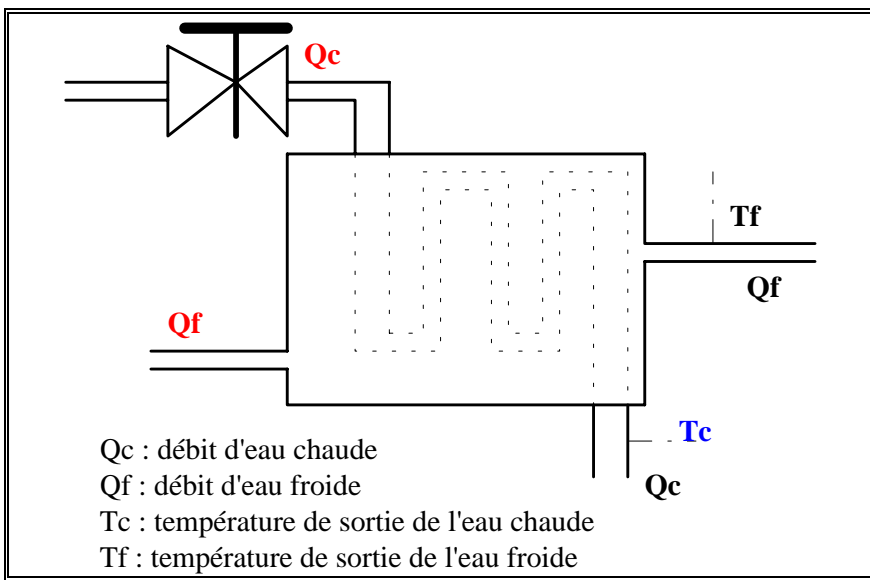
Un système dynamique est un système dont la réponse dépend simultanément de l'excitation présente et des excitations et réponses passées. Les systèmes qui répercutent instantanément l'effet d'une entrée en sortie, ou sous une autre forme, dont la sortie à un instant ne dépend que de la valeur de l'entrée au même instant, sont dits *instantanés*.

On se limitera dans un premier temps à des systèmes localisés (four, voiture, commande direction de bateau, etc.) dont le comportement est décrit par des équations différentielles ordinaires. Par opposition aux systèmes dits à paramètres distribués ou répartis dont la description du comportement met en oeuvre des phénomènes de propagation (ligne électrique) modélisés par des équations aux dérivées partielles.

Les systèmes réels sont en général des systèmes multivariables (plusieurs entrées-sorties). Cependant, la difficulté de réaliser une commande multidimensionnelle est telle que l'automaticien est incité à sélectionner un couple entrée-sortie conférant ainsi au système une représentation dite *monovariante*. L'effet des autres entrées ou perturbations est analysé séparément. Si le système subit plusieurs perturbations, on analysera leur effet en ne considérant qu'une seule perturbation présente à la fois puis on superposera les effets (Principe de superposition)

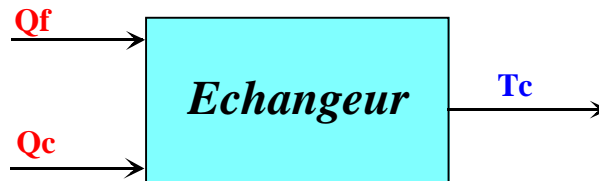
1.2.3 DEMARCHE D'APPROXIMATION D'UN SYSTEME COMPLEXE

Exemple : échangeur de chaleur.

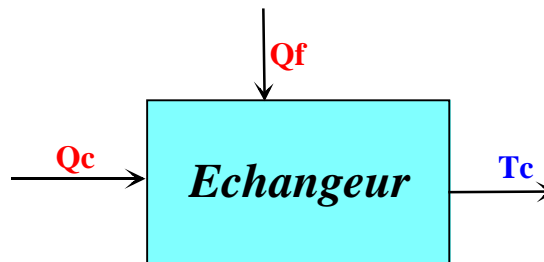


Un échangeur est constitué de deux enceintes dans lesquelles circulent des fluides de températures différentes. La proximité des fluides entraîne des échanges thermiques, permettant ainsi de refroidir ou réchauffer un fluide.

Si la fonction de service de cet échangeur est de refroidir le fluide chaud, T_c est considéré comme grandeur unique de sortie. Il semble évident que les débits Q_c et Q_f agissent sur cette température. Ce système est donc naturellement multidimensionnel.



L'automaticien pourra retenir comme seule variable d'entrée le débit Q_c et considérer en première approximation que Q_f est constant. une variation de Q_f serait considérée comme une perturbation, d'où le schéma fonctionnel simplifier suivant :



Cet exemple révèle en fait que les grandeurs physiques agissant sur les sorties sont de deux natures :

- Les grandeurs sur lesquelles il est exercé une action volontaire (le débit du fluide chaud réglé par la vanne).

Ces grandeurs seront appelées *grandeurs de Commande*.

- Les grandeurs laissées libres de leur évolution (le débit du fluide froid pour l'échangeur de chaleur), et cela généralement pour des raisons de coût économique prohibitif ou même, dans certain cas, en raison d'une quasi-impossibilité technique à maîtriser ces variables.

Dans ces conditions, ces grandeurs sont regroupées sous le terme de *Perturbations*.

Au cours de la synthèse d'un système asservi, on est conduit à donner aux perturbations des caractéristiques particulières du type : perturbation en échelon, en rampe ou parfois de nature aléatoire (bruit). Ces caractéristiques tendent à simuler les allures réelles des signaux auxquels le système est soumis lors de son fonctionnement normal. Parmi ses signaux on a :

- L'échelon (perturbation constante)
- La rampe (perturbation linéaire en fonction du temps)
- La sinusoïde (perturbation sur fréquence)
- Aléatoire, faisant l'objet de traitement probabiliste (perturbation sous forme de bruit)

1.3 Rôle de l'automatique

Il est clair maintenant que réaliser un système automatique, c'est concevoir un système capable d'effectuer une ou plusieurs opérations sans l'intervention de l'homme.

Les systèmes automatiques permettent :

- de réaliser les opérations trop complexes, pénibles ou délicates et ne pouvant être confiées à l'homme. (Alunissage d'un engin spatial)
 - de substituer la machine à l'homme dans des opérations trop répétitives ou dénuées d'intérêt (BDV automatique, appareillage électroménager).
 - d'accroître la précision : notion de bouclage
- Par exemple un obus tiré par un canon aura un point de chute dans un certain domaine lié aux imperfections et perturbations extérieures. A contrario, un missile téléguidé dont la position, vitesse et accélération, par rapport à l'objectif sont mesurée à chaque instant atteindra sa cible avec une bien meilleure précision.
- de permettre une action de stabilité. Par exemple, un oscillateur entretenu sera surveillé par un dispositif qui lui évitera de diverger ou de cesser d'osciller.

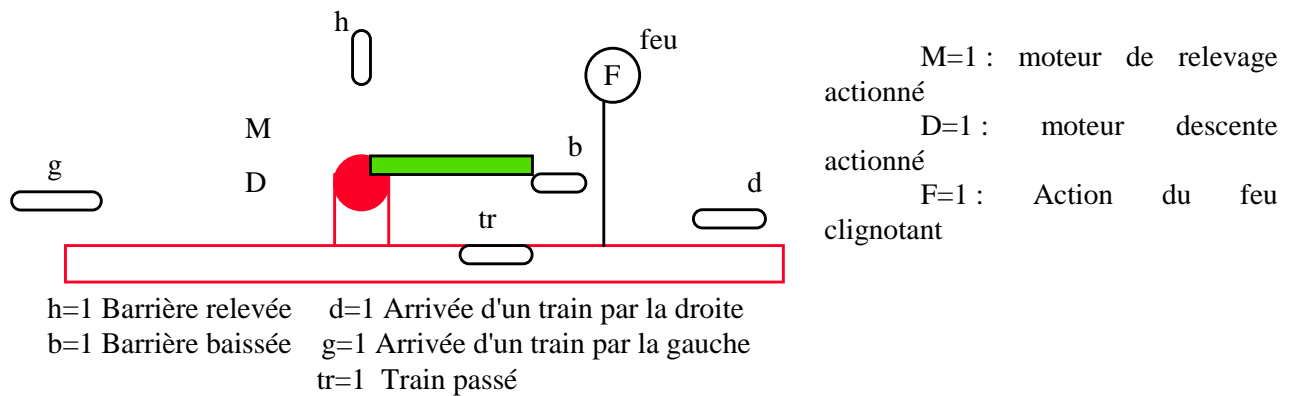
Il existe deux grands types de système automatiques :

1.3.1 LES SYSTEMES LOGIQUES COMBINATOIRES ET SEQUENTIELS

Les systèmes logiques combinatoires et séquentiels, câbles ou programmés, qui n'ont pas nécessairement une structure bouclée. Cette automatisation porte sur un nombre fini d'opérations prédéterminées dans leur déroulement. Par exemple un programmeur de machine à laver automatique est un tel système.

De tels systèmes sont appelés systèmes à "événement discret" ou "automatismes séquentiels". Les entrées et les sorties en automatisme séquentiel sont de type booléen (tout ou rien). Cette approche sera abordée en deuxième période.

Exemple : La barrière automatique d'un passage à niveau est un automatisme séquentiel.



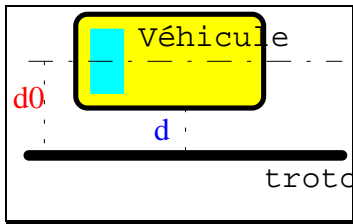
1.3.2 LES SYSTEMES ASSERVIS.

Les systèmes asservis fonctionnent en régulation de maintien ou en poursuite d'une loi de référence. Dans le cas des systèmes asservis, (toutes les situations possibles n'étant pas prévisibles (perturbations)), le déroulement des opérations ne peut être prédéterminé à l'avance. Les systèmes asservis sont nécessairement bouclés, C'est à dire qu'une mesure de la situation est en permanence prise en considération dans la détermination de la commande.

Les entrées et les sorties sont des variables à variation continue en amplitude. Ces systèmes sont appelés *système continu* ou *analogique*.

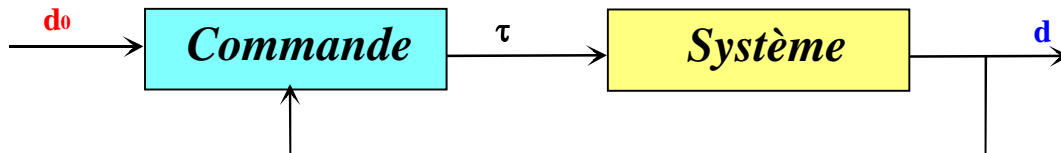
Exemple : La voiture est un système analogique.

Ce système comporte une entrée τ , angle de rotation du volant, et une sortie d, distance du véhicule au bord de la route.



Le système complet de commande comporte une distance d_0 qui fixe la distance désirée (consigne). d_0 n'est pas un signal matérialisé mais une consigne présente dans le cerveau du conducteur. L'angle τ est modifié pour que d soit en permanence égale à d_0 , ou tout au moins aussi proche que possible de cette consigne.

Le schéma fonctionnel se représente sous la forme ci-dessous :

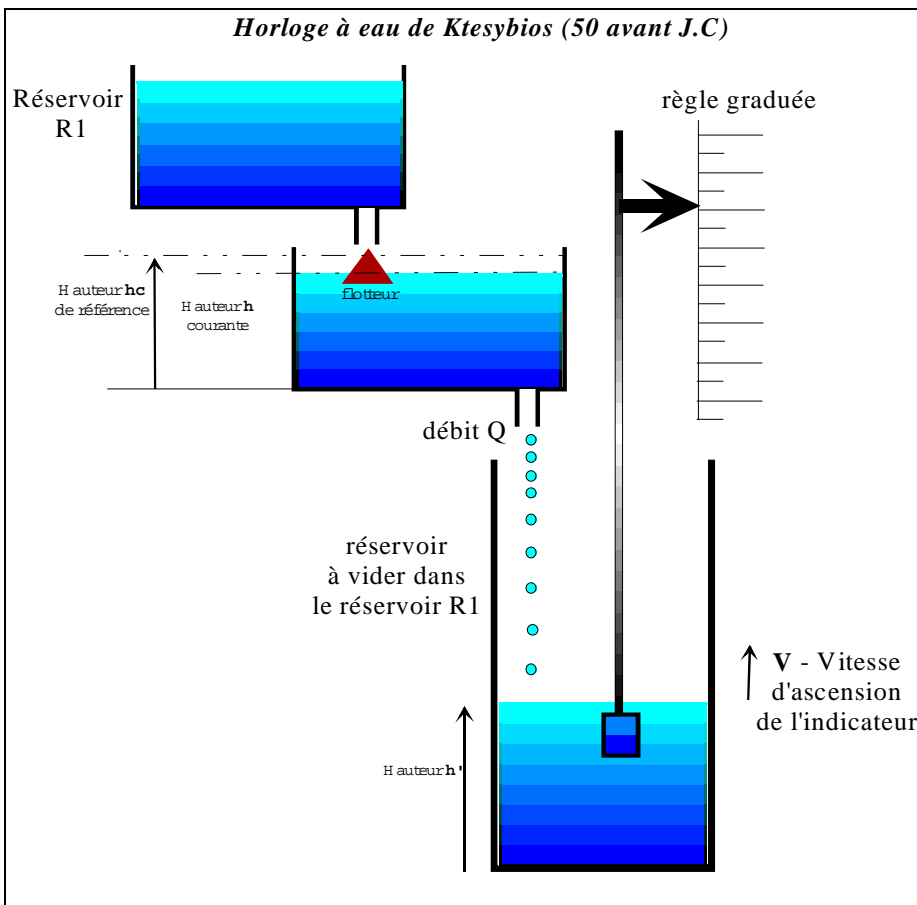


1.4 Bref historique.

Trois époques divisent l'histoire des systèmes automatiques :

1.4.1 LA PREMIERE EPOQUE

Qualifier de préhistoire, elle s'étend de l'antiquité au milieu du siècle dernier. Des inventeurs géniaux ont conçu des systèmes automatiques de manière intuitive.



Dès 50 avant J.C, des exemples de régulation de niveau existaient : horloge automatique à eau de Ktesibios (voir figure ci-contre), la lampe à huile de Philon de Byzance et la machine à doser le vin de Héron d'Alexandrie.

hc hauteur de référence pour obtenir le débit voulu en sortie.

h hauteur courante dans le réservoir intermédiaire.

v vitesse d'ascension de l'indicateur de temps.

h' hauteur d'eau dans le réservoir de sortie.

Le principe de cette horloge est d'animer la tige qui sert d'indicateur avec un mouvement à vitesse

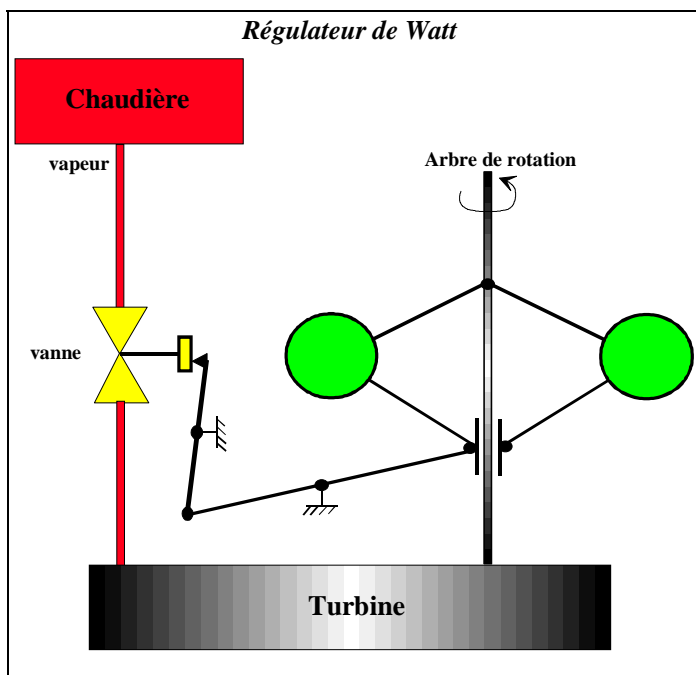
constante (amplitude proportionnelle au temps) . Pour obtenir le déplacement on fait varier le volume d'eau d'une manière proportionnelle au temps en utilisant le débit d'alimentation rigoureusement constant. L'intégrale d'un débit constant donne bien un volume variant linéaire ment avec le temps.

Le problème se ramène donc à générer un débit connu constant. Dans un réservoir à écoulement libre, le débit de sortie est en général fonction de la pression, donc de la hauteur d'eau dans le réservoir. Pour obtenir un débit de sortie constant il suffit de garantir un niveau constant.

Le niveau dans le réservoir intermédiaire est contrôlé à cause de une valve liée à un flotteur qui va garantir un niveau de référence.

En fonctionnement normal, cette valve assure un niveau constant égale au niveau de référence souhaité, ce qui implique que le débit corresponde bien à la valeur souhaitée.

Plus tard, Réaumur, Watt et son régulateur de vitesse (1788), Jacquard et son métier à cartes perforées, font progresser l'automatisation.



Le régulateur de Watt a pour but de maintenir constante la vitesse de rotation d'une turbine à vapeur. La commande d'admission de vapeur dans la turbine est contrôlée par une vanne dont on peut manœuvrer le pointeau.

Un ensemble mécanique déformable constitué de masselottes et de tringles permet une mesure de la vitesse de rotation par effet d'inertie. Plus la turbine tourne vite, plus les masselottes sont écartées de l'axe de rotation. Pour réaliser un asservissement en vitesse il suffit de transmettre mécaniquement une variation de cet écartement de commande de déplacement du pointeau de la vanne. Si la vitesse de rotation est trop faible, l'écartement insuffisant des masselottes engendre une ouverture de la vanne d'admission vapeur, entraînant une augmentation de la vitesse. Un comportement symétrique a lieu en cas de vitesse de rotation trop élevée.

1.4.2 LA SECONDE

EPOQUE :

Elle débute du milieu du XIX^{ème} siècle, et est caractérisée par la théorie du bouclage et des applications de l'algèbre de Boole. Les premiers travaux sur le bouclage sont dus à Maxwell (1868); à Routh avec son critère algébrique (1872) et à Hurwitz (1890).

L'étude analytique du régulateur de Watt fut commencée par Maxwell en 1868 et complétée en 1876 par Wichnegradsky. L'étude des systèmes bouclés doit beaucoup à l'approche fréquentielle de Nyquist, Bode, Nichols, Hall, Evans, qui ont laissé leur nom à des représentations et qui ont publié la plupart de leurs résultats à la fin de la seconde guerre mondiale. Les premières implantations des systèmes de commandes à cette époque reposaient sur l'utilisation de dispositif électronique à lampes.

1.4.3 LA TROISIEME EPOQUE :

Elle débute dans les années cinquante. L'apparition de calculateurs numériques révolutionne le monde de l'automatique. La puissance de calcul disponible fait naître les méthodes dites de *l'automatique moderne* ou *avancée*. Parmi les faits marquant, on peut citer :

- Introduction de la représentation d'état, particulièrement bien adaptée à l'utilisation des calculateurs numériques pour l'étude et la commande des systèmes complexes et multivariables. (Kalman 1960).