



C2 : MODÉLISATION DES SYSTÈMES ASSERVIS

C2-1 - Introduction à l'automatique

28 Septembre 2021

Table des matières

1	Définitions	1
2	Buts et motivations	2
3	Bref historique	2
4	Structure d'un système automatique	3
5	Différents types d'automatique	4
	a) Les systèmes logiques combinatoires :	5
	b) Les systèmes logiques séquentiels :	5
	c) Les systèmes asservis :	5
6	Notion de système asservi	6
7	Démarche de modélisation des systèmes asservis	8

Compétences

- **Analyser**
 - Identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.
 - Identifier la structure d'un système asservi.

1 Définitions



Définition 1 : *Système automatisé*

- Un **système automatisé** est un ensemble d'éléments ajustés entre eux pour permettre d'exécuter des tâches sans intervention de l'homme.
- L'homme n'intervient que pour programmer ou régler le système.



Définition 2 : *Automatique*

L'**automatique** est la discipline scientifique permettant de modéliser, concevoir, étudier ou optimiser un système automatisé. Elle se base sur un ensemble de théories mathématiques.
Les systèmes automatiques s'inspirent bien souvent de l'homme.



Exemple 1 : Exemples de systèmes automatiques



Robot aspirateur



Google Car

2 Buts et motivations

La réalisation de systèmes automatisés a pour but :

- de limiter l'intervention de l'homme dans des tâches pénibles sous conditions difficiles ou répétitives (Robot Curiosity) ;
- d'exécuter des tâches avec une bonne précision (Robot chirurgical) ;
- d'exécuter des tâches nécessitant une certaine puissance ;
- de réaliser des tâches avec une très bonne reproductibilité (Robot de manutention).

l'automatique possède donc beaucoup d'avantages mais nécessite néanmoins de développer des systèmes robustes qui répondent au mieux aux consignes souhaitées. Ainsi des modèles mathématiques ont été développés pour optimiser la modélisation et l'étude du comportement des systèmes automatisés.



Exemple 2 :



Robot Curiosity



Robot chirurgical



Robot de manutention

3 Bref historique

- La première problématique concernant la création d'un système automatisé date de l'antiquité et l'invention de **Ktésybios** (environ 250 av JC) est un système d'horloge à eau (**Clepsydre**) à trois niveaux de vases communiquant. Il a été imaginé dans le but de garantir une précision optimale sur la mesure du temps. La figure 1(a) illustre le principe de fonctionnement de cette horloge. Le deuxième niveau comporte un "trop plein" permettant de garantir un niveau constant et donc un débit constant d'écoulement vers le troisième niveau qui est gradué pour donner l'information du temps écoulé.
- **Le régulateur à boules de Watt** (XVIII^{ème} siècle figure 1(b)) a été conçu lors de l'avènement des machines à vapeur dans le but d'en limiter la vitesse de rotation avec un système de régulation de vitesse utilisant les effets

de la force centrifuge. Un levier articulé est mis en mouvement par la force centrifuge et vient agir sur une vanne pour limiter le transfert de chaleur vers les turbines de la machine à vapeur.

- Au $XIX^{\text{ème}}$ siècle, **des théories mathématiques** émergent pour étudier la stabilité des systèmes d'un point de vue fréquentiel (Nyquist, Bode, Black, Nichols, Hall et Evans) tout comme l'application de l'algèbre de Boole et les théorie de Bouclage de Maxwell (1868).
- Au cours du $XX^{\text{ème}}$ siècle l'utilisation de plus en plus importantes **de calculateurs** et de **l'informatique** (figure 1(c) permet d'accroître et de faciliter la conception des systèmes automatisés de plus en plus performants.

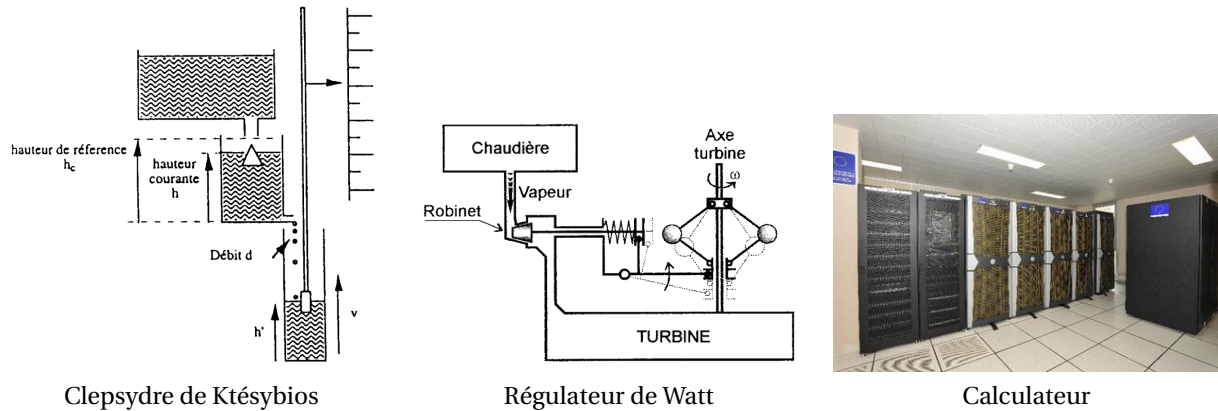


FIGURE 1 – Historique de l'automatique

4 Structure d'un système automatique

Un système automatisé est défini par des **consignes** (entrées : $e_1(t)$, $e_2(t)$, etc...) et des **réponses** (sorties : $s_1(t)$, $s_2(t)$, etc...) qui caractérisent son *comportement dynamique* (au cours du temps). Le comportement du système doit pouvoir s'adapter aux éventuelles **perturbations** ($p_1(t)$, $p_2(t)$, etc...).

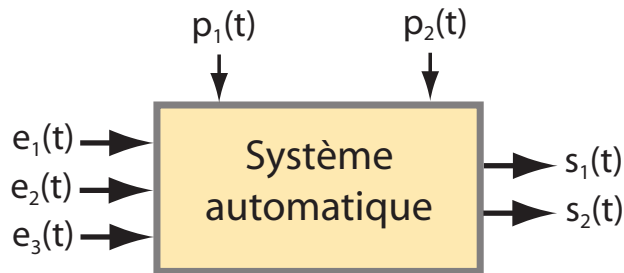


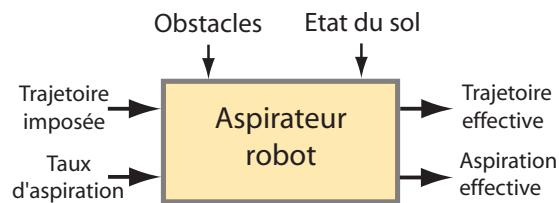
FIGURE 2 – Comportement dynamique d'un système automatique



Exemple 3 : Aspirateur robot

Prenons l'exemple d'un aspirateur robot. Ici,

- les consignes sont la trajectoire imposée et un taux d'aspiration.
- Les réponses du système sont la trajectoire effective et une aspiration effective.



5 Différents types d'automatique

Le type d'automatique dépend du type d'informations traités dans la chaîne d'information d'un système. On distingue deux types d'informations : **analogiques** et **discrètes**.

• Information (signal) analogique¹

Une information analogique peut prendre, de manière continue, toutes les valeurs possibles dans un intervalle donné. Un signal analogique peut être représenté par une courbe continue.

• Information (signal) discrète

Une information discrète est constituée d'un nombre fini de valeurs. On distingue :

- **une information logique** du type "vrai/faux" ou "0/1". Elle est associée à l'état d'une variable qui ne peut prendre que deux valeurs possibles. Ces informations peuvent aussi être appelées des informations binaires (bit) ou "Tout Ou Rien" (TOR).
- **une information numérique** sous la forme d'un mot binaire, constitué de plusieurs bits (variables binaires 0/1). Cette information numérique est en général issue d'un traitement (échantillonnage et codage) d'une information analogique (3).

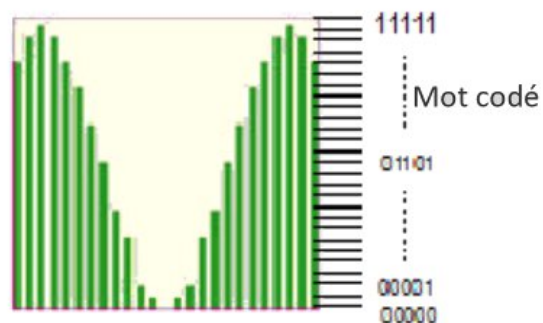
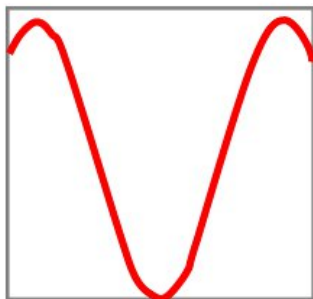


FIGURE 3 – Signal analogique (à gauche) et signal numérique (échantillonné puis codé) (à droite)

1. Les grandeurs physiques (vitesse, température, position, tension, ...) sont des exemples d'informations analogiques

a) Les systèmes logiques combinatoires :

L'information est binaire (0 ou 1), et l'état des informations de sortie dépend à chaque instant **uniquement** de l'état des informations d'entrée (fig.4) : à chaque combinaison d'entrée correspond une combinaison de sortie et une seule. Le traitement peut être fait par un API (automate programmable) ou un PC.

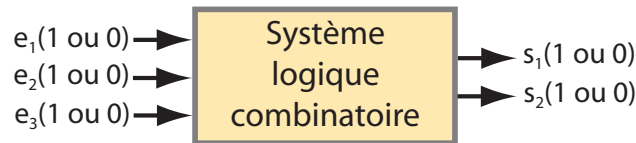


FIGURE 4 – Principe des systèmes logiques combinatoires

b) Les systèmes logiques séquentiels :

L'information est binaire (0 ou 1), et l'état des informations de sortie dépend à chaque instant de l'état des informations d'entrée et de l'état actuel du système (fig.5). Le traitement peut être fait par un API (automate programmable) ou un PC.

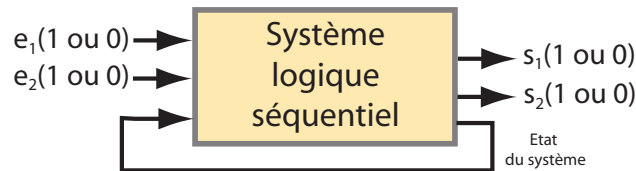


FIGURE 5 – Principe des systèmes logiques séquentiels

c) Les systèmes asservis :

L'information peut être numérique ou analogique. Ils fonctionnent en régulation de maintien ou en poursuite d'une loi de référence en entrée. L'état des sorties dépend des consignes d'entrée et de l'état du système (fig.6) que l'on peut prendre en compte grâce à des capteurs. Le traitement peut être fait par un PC ou des cartes informatiques.

Les systèmes asservis sont utilisés lorsque :

- la précision demandée est importante,
- des perturbations font évoluer le système de manière imprévue,
- le comportement du système est mal connu ou variable,
- la stabilité est en cause.

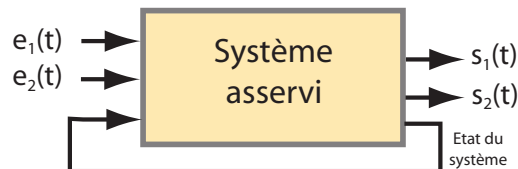


FIGURE 6 – Principe des systèmes asservis



Exemple 4 : Exemples de systèmes automatiques

- **Système combinatoire** : interrupteur électrique.
 - *Entrée* : bouton enclenché ou non.
 - *Sortie* : lumière allumée ou non.
- **Système séquentiel** : ascenseurs
 - *Entrée* : consigne d'étage désiré.
 - *Sortie* : étage atteint.
- **Système asservi** : four industriel.
 - *Entrée* : température souhaitée.
 - *Sortie* : température à l'intérieur du four réglée.



(a) Interrupteur



(b) Ascenseur



(c) Four industriel

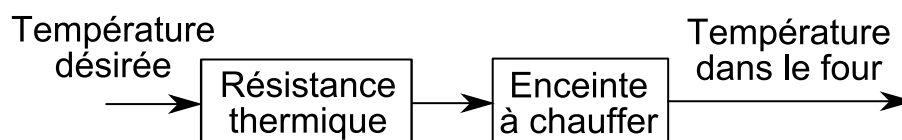


Remarque 1 :

- L'étude des systèmes asservi s'effectuera au premier semestre.
- L'étude des systèmes automatiques combinatoires et séquentielles s'effectuera au second semestre.

6 Notion de système asservi

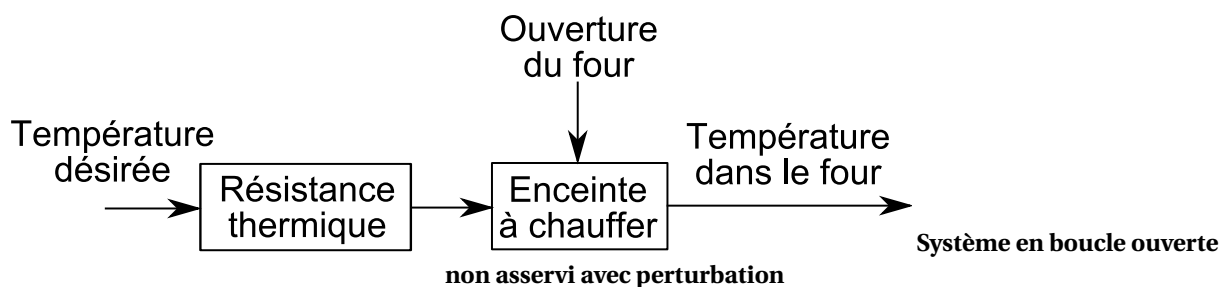
- Un système simple peut être tout à fait satisfaisant du point de vue de son comportement s'il n'est pas perturbé. On parle dans ces conditions d'un système en boucle ouverte ou d'un système commandé. Ce n'est pas un système asservi.



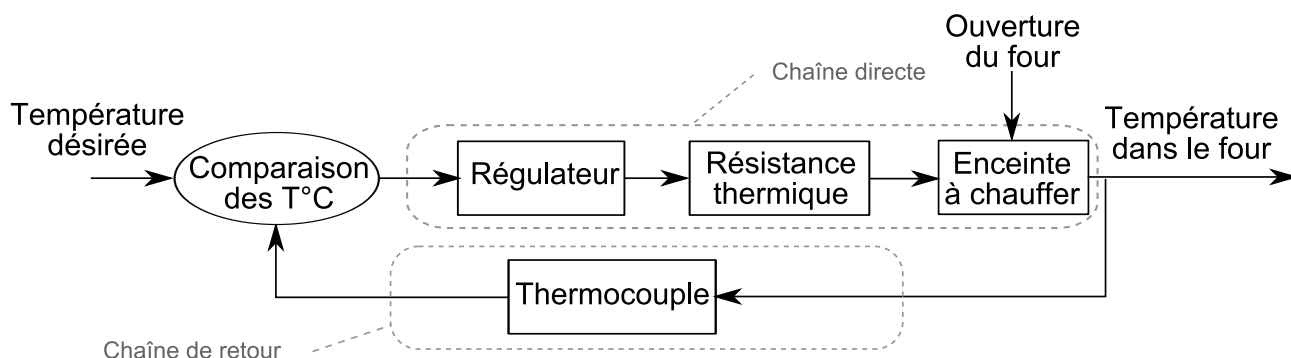
Système en boucle ouverte non asservi

- Cependant, lorsqu'un système commandé est perturbé par un événement extérieur², la valeur de la sortie ne correspond pas à la valeur attendue et peut même être très éloignée de la valeur attendue.

2. on parle alors de perturbation



- Pour automatiser le système, on introduit une **boucle de retour** (ou rétroaction). Le système est alors appelé **système en boucle fermée ou système asservi**. La boucle de retour, constituée d'un capteur, permet d'évaluer la situation à l'instant t sur la partie opérative et fournit un état de la sortie à la partie commande. Cette information est analysée par la partie commande et comparée à la consigne d'entrée. Elle élabore ensuite un signal qui permet de commander la partie opérative.



Les systèmes asservis peuvent être classés en deux grandes familles :

- Les **systèmes asservis suiveurs** ou en poursuite d'une loi de référence dans lesquels la consigne d'entrée varie en permanence, comme par exemple pour une machine-outil à commande numérique, un missile, un radar de poursuite... (exemple : "Trackeur solaire"). L'objectif de ce système est d'ajuster en permanence le signal de sortie au signal d'entrée.
- Les **systèmes régulateurs** pour lesquels la consigne d'entrée est fixe, comme par exemple pour une régulation de température, de débit... Ils sont destinés à maintenir une sortie constante pour une consigne d'entrée constante (exemple : "régulateur de vitesse").

Exemple 5 :



"Tracker solaire"



"Régulateur de vitesse automobile"

7 Démarche de modélisation des systèmes asservis

En automatique, l'objectif principal est d'établir un modèle comportemental du système à commander pour pouvoir ensuite élaborer sa commande. Ce modèle comportemental est obtenu après plusieurs étapes :

- **Modélisation** des entrées du système ainsi que le signal lui-même. Le modèle se base sur des relations mécaniques complexes non-linéaires.
- **Simplification du modèle : linéarisation** autour d'un point de fonctionnement. On obtient à l'issue de cette étape, un modèle de comportement dont la validité reste limitée à de petites variations autour du point de fonctionnement choisi. Le modèle de comportement est caractérisé par une fonction mathématique que l'on appelle fonction de transfert.
- **Simulation** du modèle à l'aide d'outils de simulation adaptés.
- **Validation** du modèle :
 - vis-à-vis des performances attendues ;
 - vis-à-vis des performances réelles.

