



# C2 : Modélisation des systèmes asservis

## C2-1 : Introduction à l'automatique

Émilien DURIF

Lycée La Martinière Monplaisir Lyon  
Classe de MPSI  
1 Octobre 2024



# Plan

- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations
- 3 Bref historique
- 4 Structure d'un système automatique
- 5 Différents types d'automatique
- 6 Notion de système asservi
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis



# Plan

- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations
- 3 Bref historique
- 4 Structure d'un système automatique
- 5 Différents types d'automatique
- 6 Notion de système asservi
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis



## Définitions de l'automatique

### Système automatisé

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

### 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.



## Définitions de l'automatique

### Système automatisé

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

### 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.



## Définitions de l'automatique

### Système automatisé

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

### 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.



## Définitions de l'automatique

### Système automatisé

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

### 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.



## Définitions de l'automatique

### Système automatisé

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

### 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.

## Définitions de l'automatique





# Plan

- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations**
- 3 Bref historique
- 4 Structure d'un système automatique
- 5 Différents types d'automatique
- 6 Notion de système asservi
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis



## Buts et motivations

### Buts et motivations

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

### Modélisation

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.





## Buts et motivations

### Buts et motivations

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

### Modélisation

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.





## Buts et motivations

### Buts et motivations

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

### Modélisation

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.





## Buts et motivations

### Buts et motivations

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

### Modélisation

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.





## Buts et motivations

### Buts et motivations

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

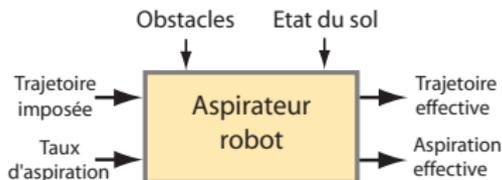
### Modélisation

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.



## Définition de l'automatique : exemple

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



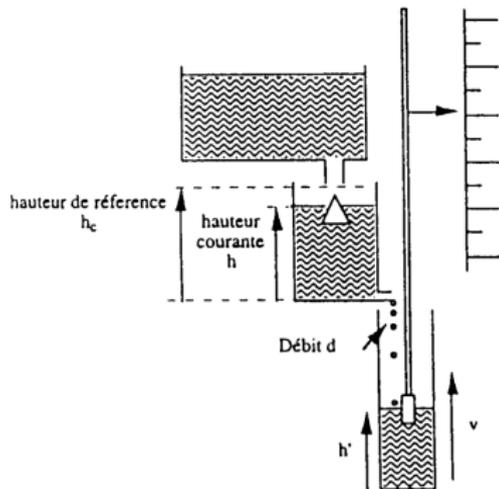


# Plan

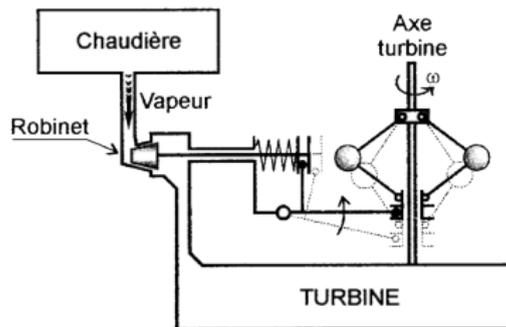
- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations
- 3 Bref historique**
- 4 Structure d'un système automatique
- 5 Différents types d'automatique
- 6 Notion de système asservi
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis



## Historique : antiquité et début de l'ère moderne



Clepsydre de Ktésybios (environ 250 av JC)



Le régulateur à boules de Watt (XVIII<sup>ème</sup> siècle)



## Historique : ère moderne

- 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** permet d'accroître et de faciliter la conception des systèmes automatisés de plus en plus performants.



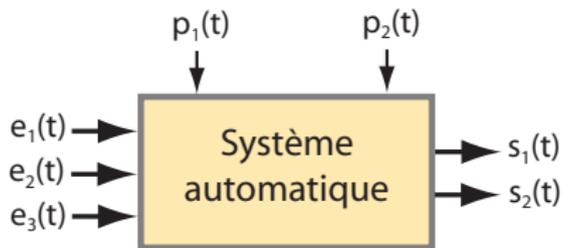


# Plan

- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations
- 3 Bref historique
- 4 Structure d'un système automatique**
- 5 Différents types d'automatique
- 6 Notion de système asservi
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis



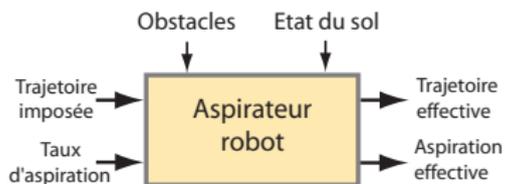
## Structure d'un système automatique



Un système automatisé est défini par :

- des **consignes** (entrées :  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$ , etc...),
- des **réponses** (sorties :  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ , etc...),
- **perturbations** ( $ep_1(t)$ ,  $p_2(t)$ , etc...).

## Structure d'un système automatique





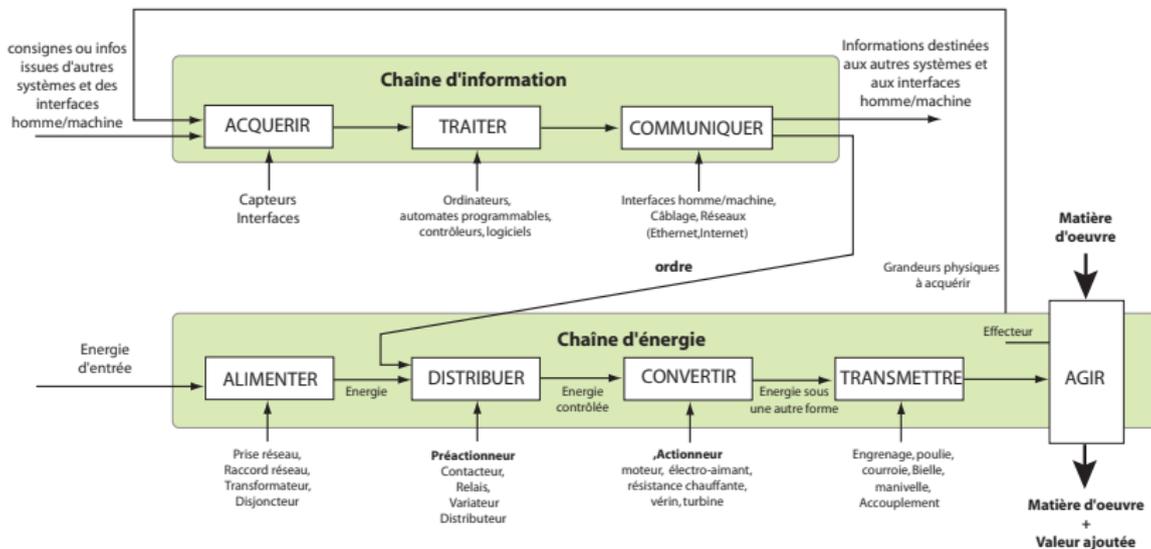
# Plan

- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations
- 3 Bref historique
- 4 Structure d'un système automatique
- 5 Différents types d'automatique**
- 6 Notion de système asservi
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis



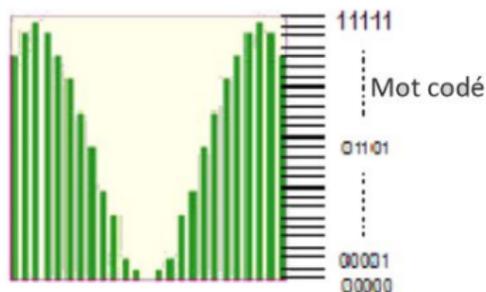
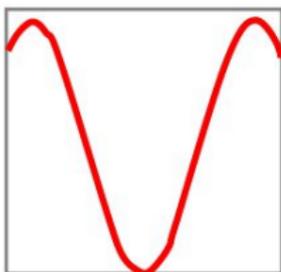
## Différents types d'automatique

Le type d'automatique dépend du type d'informations traités dans la chaîne d'information d'un système.



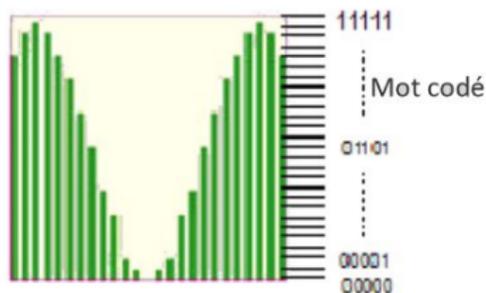
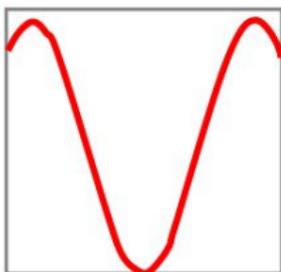
## Différents types d'automatique

- **Information (signal) analogique** : 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).



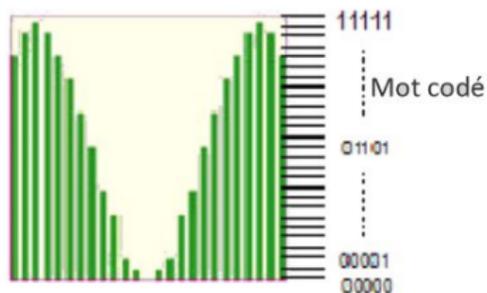
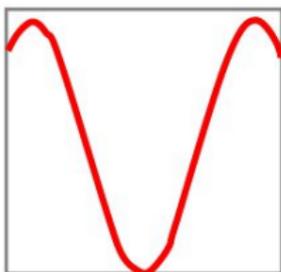
## Différents types d'automatique

- **Information (signal) analogique** : 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).



## Différents types d'automatique

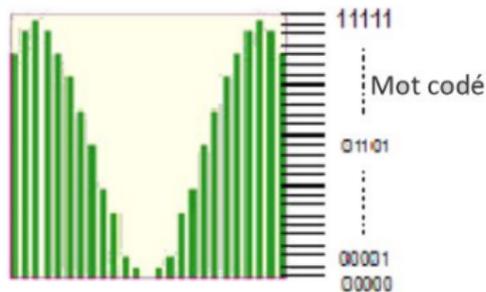
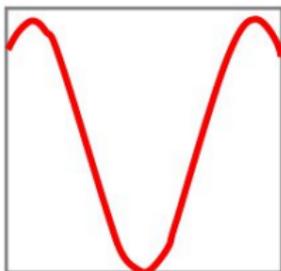
- **Information (signal) analogique** : une information analogique peut prendre, de manière continue, toutes les valeurs possibles dans un intervalle donné. Un signal analogique peut être représenté par une courbe continue.
- **Information (signal) discrète** : une information discrète est constituée 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).





## Différents types d'automatique

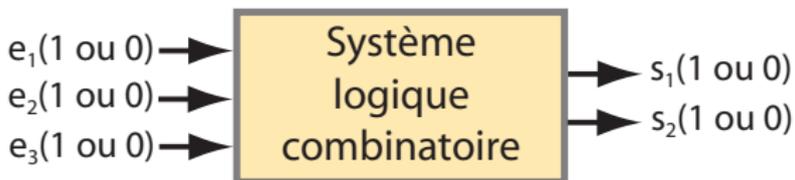
- **Information (signal) analogique** : une information analogique peut prendre, de manière continue, toutes les valeurs possibles dans un intervalle donné. Un signal analogique peut être représenté par une courbe continue.
- **Information (signal) discrète** : une information discrète est constituée 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).





## Différents types d'automatique : combinatoire

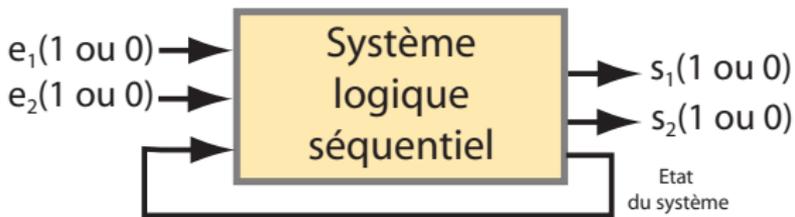
- information binaire (0 ou 1),
- état des informations de sortie dépend à chaque instant **uniquement** de l'état des informations d'entrée,
- à chaque combinaison d'entrée correspond une combinaison de sortie et une seule.
- Le traitement peut être fait par un API (automate programmable) ou un PC.





## Différents types d'automatique : séquentiel

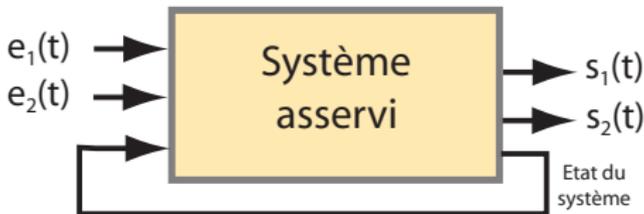
- information binaire (0 ou 1),
- état des informations de sortie dépend à chaque instant **uniquement** de l'état des informations d'entrée et de l'état actuel du système,
- à chaque combinaison d'entrée correspond une combinaison de sortie et une seule.
- Le traitement peut être fait par un API (automate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





## Différents types d'automatique : systèmes asservis

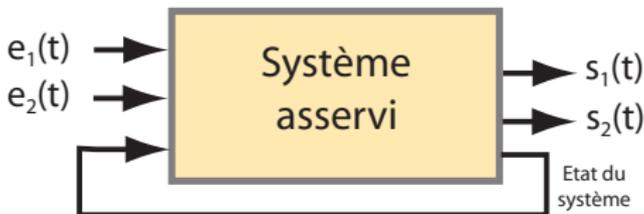
- Information peut être numérique ou analogique,
- Fonctionnement en régulation de maintien ou en poursuite d'une loi de référence en entrée,
- L'état des sorties dépend des consignes d'entrée et de l'état du système, (capteurs),
- Le traitement peut être fait par un PC ou des cartes informatiques.
- 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.





## Différents types d'automatique : systèmes asservis

- Information peut être numérique ou analogique,
- Fonctionnement 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, (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.



## Différents types d'automatique

### Combinatoire



Interrupteur électrique :

- *Entrée* : bouton enclenché ou non.
- *Sortie* : lumière allumée ou non.

### Séquentiel



Ascenseur.

- *Entrée* : consigne d'étage désiré.
- *Sortie* : étage atteint.

### Asservi



Four industriel.

- *Entrée* : température souhaitée.
- *Sortie* : température à l'intérieur du four régulée.

### Remarque

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

## Différents types d'automatique

### Combinatoire



Interrupteur électrique :

- *Entrée* : bouton enclenché ou non.
- *Sortie* : lumière allumée ou non.

### Séquentiel



Ascenseur.

- *Entrée* : consigne d'étage désiré.
- *Sortie* : étage atteint.

### Asservi



Four industriel.

- *Entrée* : température souhaitée.
- *Sortie* : température à l'intérieur du four régulée.

### Remarque

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

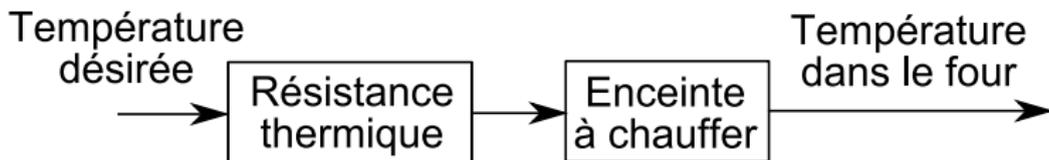


# Plan

- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations
- 3 Bref historique
- 4 Structure d'un système automatique
- 5 Différents types d'automatique
- 6 Notion de système asservi**
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis

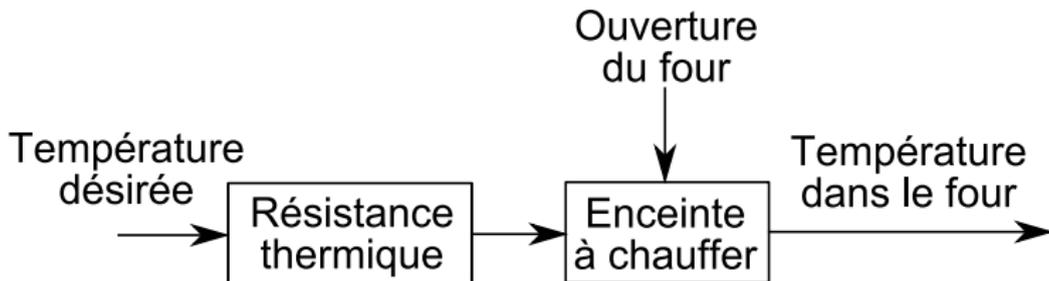


## Notion de système asservi



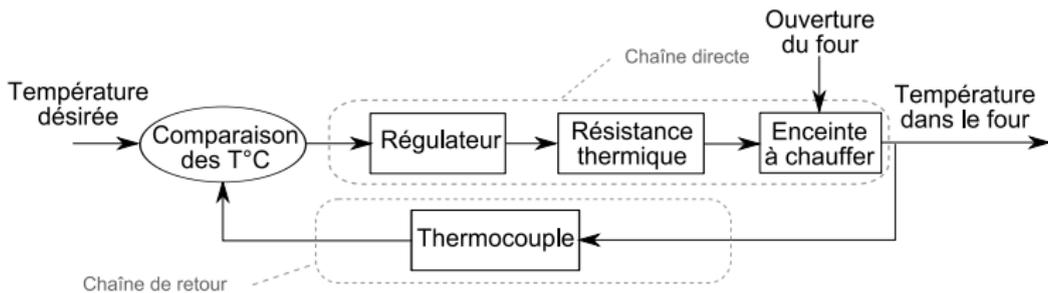


## Notion de système asservi





## Notion de système asservi



## Notion de système asservi

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").





## Notion de système asservi

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").





# Plan

- 1 Définitions
- 2 Buts et motivations
- 3 Bref historique
- 4 Structure d'un système automatique
- 5 Différents types d'automatique
- 6 Notion de système asservi
- 7 Démarche de modélisation des systèmes asservis**



## Démarche de modélisation des systèmes asservis

En automatique → modèle comportemental du système à commander pour pouvoir ensuite élaborer sa commande.

- **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.



## Démarche de modélisation des systèmes asservis

En automatique → modèle comportemental du système à commander pour pouvoir ensuite élaborer sa commande.

- **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.



## Démarche de modélisation des systèmes asservis

En automatique → modèle comportemental du système à commander pour pouvoir ensuite élaborer sa commande.

- **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.



## Démarche de modélisation des systèmes asservis

En automatique → modèle comportemental du système à commander pour pouvoir ensuite élaborer sa commande.

- **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.



## Démarche de modélisation des systèmes asservis

En automatique → modèle comportemental du système à commander pour pouvoir ensuite élaborer sa commande.

- **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.



## Démarche de modélisation des systèmes asservis

En automatique → modèle comportemental du système à commander pour pouvoir ensuite élaborer sa commande.

- **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.