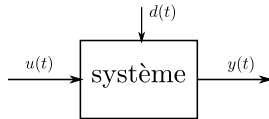


# Chapitre 1 : Introduction

Yassine ARIBA



# Sommaire

---

- ① Notion de signal et de système
- ② Un peu de vocabulaire
- ③ Qu'est-ce que l'automatique ?
- ④ Le système de commande

# Sommaire

---

- ① Notion de signal et de système
- ② Un peu de vocabulaire
- ③ Qu'est-ce que l'automatique ?
- ④ Le système de commande

## Remarques introductives

Avant de présenter l'*Automatique*, il est nécessaire de

- ▶ définir les notions de signal et système
- ▶ revoir du vocabulaire



## Remarques introductives

Avant de présenter l'*Automatique*, il est nécessaire de

- ▶ définir les notions de signal et système
- ▶ revoir du vocabulaire

L'*Automatique* manipule des concepts abstraits :

- ▶ volonté de développer des méthodes génériques...
- ▶ ... mais applications très concrètes, dans de nombreux domaines
- ▶ composante Mathématiques importantes...
- ▶ ... mais l'essentiel des résultats seront admis<sup>1</sup>

---

1. vous serez "utilisateurs" des résultats

## Qu'est-ce qu'un signal ?

### Définition

Un signal est la représentation physique de l'information qu'il transporte. Il est généralement décrit par une fonction mathématique à une ou plusieurs variables indépendantes (comme le temps ou l'espace).

## Qu'est-ce qu'un signal ?

### Définition

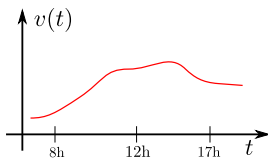
Un signal est la représentation physique de l'information qu'il transporte. Il est généralement décrit par une fonction mathématique à une ou plusieurs variables indépendantes (comme le temps ou l'espace).

- ▶ l'onde acoustique représente l'information de la parole
- ▶ la température représente le niveau de chaleur dans un four
- ▶ la tension électrique représente le rythme cardiaque (ECG)
- ▶ la vitesse de rotation d'un anémomètre représente la vitesse du vent

Un signal peut être de différentes natures. Il est souvent une quantité physique mesurable (tension, champs mag., température,...) par laquelle une information est transmise.

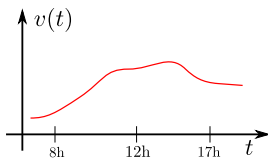
## Exemples

Signal temporel : vitesse anémomètre  
en fonction du temps  $t$

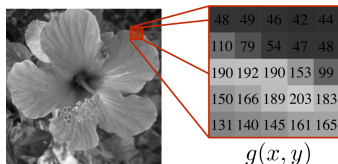


## Exemples

Signal temporel : vitesse anémomètre  
en fonction du temps  $t$

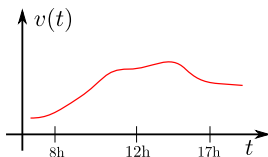


Signal spatial : niveau de gris pour  
chaque pixel  $(x, y)$



## Exemples

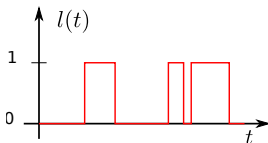
Signal temporel : vitesse anémomètre en fonction du temps  $t$



Signal spatial : niveau de gris pour chaque pixel  $(x, y)$

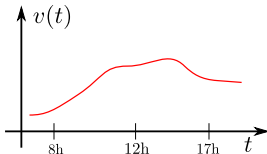


Signal logique : deux états, LED allumée ou éteinte

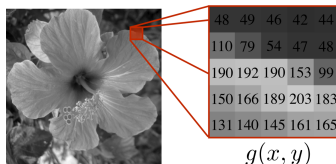


## Exemples

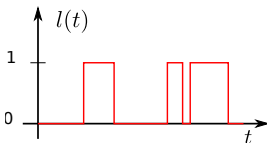
Signal temporel : vitesse anémomètre en fonction du temps  $t$



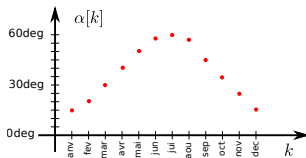
Signal spatial : niveau de gris pour chaque pixel  $(x, y)$



Signal logique : deux états, LED allumée ou éteinte



Signal temporel discret : angle élévation du soleil chaque mois  $k$



★ Dans ce cours, nous considérons seulement des signaux temporels continus

## Qu'est-ce qu'un système ?

### Définition

Un ensemble d'éléments, une collection d'organes, formant une unité cohérente et autonome, organisés pour un certain but. Il comprend aussi un ensemble de signaux définissant les relations/interactions entre les éléments et l'environnement.



## Qu'est-ce qu'un système ?

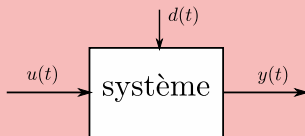
### Définition

Un ensemble d'éléments, une collection d'organes, formant une unité cohérente et autonome, organisés pour un certain but. Il comprend aussi un ensemble de signaux définissant les relations/interactions entre les éléments et l'environnement.

- ▶ Définition des limites du système dans son environnement.
- ▶ Des signaux d'entrée affectent le système.
- ▶ Des signaux de sortie découlent du comportement du système.
- ▶ Vision entrée-sortie, approche fonctionnelle.

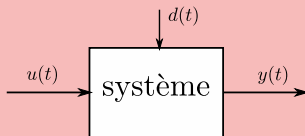
⇒ Objectif : approche abstraite pour formaliser des méthodes génériques.

## Vision entrée-sortie



- ▶  $u(t)$  : entrée, contrôlable agissant sur le système.
- ▶  $y(t)$  : sortie, caractérisant le comportement du système.
- ▶  $d(t)$  : perturbation, entrée incontrôlée affectant le système.

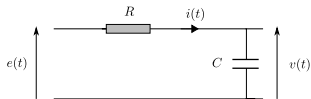
## Vision entrée-sortie



- ▶  $u(t)$  : entrée, contrôlable agissant sur le système.
  - ▶  $y(t)$  : sortie, caractérisant le comportement du système.
  - ▶  $d(t)$  : perturbation, entrée incontrôlée affectant le système.
- 
- ▶ Les signaux spécifient les interactions du système avec son environnement.
  - ▶ Approche indépendante de la nature physique des entités.

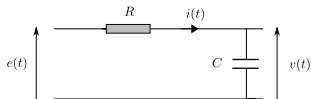
## Exemples

### Circuit électronique RC

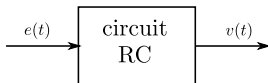


## Exemples

### Circuit électronique RC

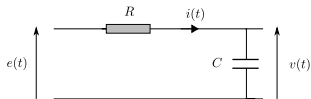


- ▶ entrée = tension  $e(t)$
- ▶ sortie = tension  $v(t)$

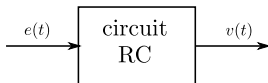


## Exemples

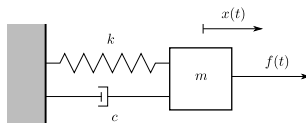
### Circuit électronique RC



- ▶ entrée = tension  $e(t)$
- ▶ sortie = tension  $v(t)$

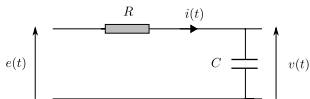


### Structure masse-ressort

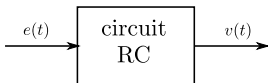


## Exemples

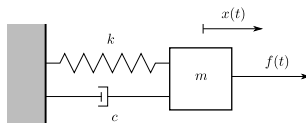
### Circuit électronique RC



- ▶ entrée = tension  $e(t)$
- ▶ sortie = tension  $v(t)$



### Structure masse-ressort

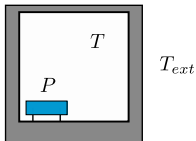


- ▶ entrée = force  $f(t)$
- ▶ sortie = position  $x(t)$



## Exemples

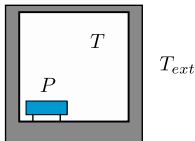
Enceinte thermique



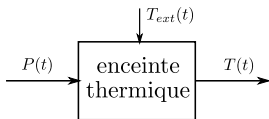


## Exemples

### Enceinte thermique

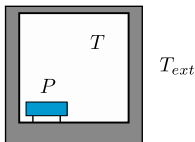


- ▶ entrée = puissance  $P(t)$
- ▶ sortie = température  $T(t)$
- ▶ perturbation = temp. ext  $T_{ext}(t)$

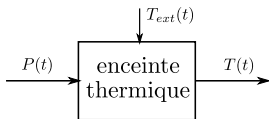


## Exemples

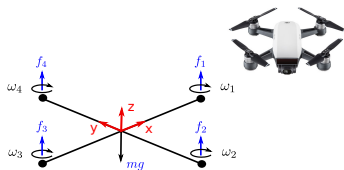
### Enceinte thermique



- ▶ entrée = puissance  $P(t)$
- ▶ sortie = température  $T(t)$
- ▶ perturbation = temp. ext  $T_{ext}(t)$

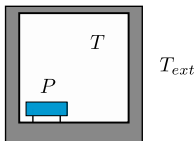


### Assiette d'un drone

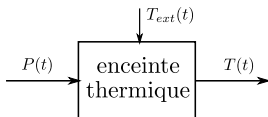


## Exemples

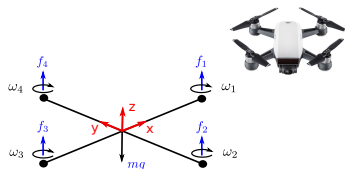
### Enceinte thermique



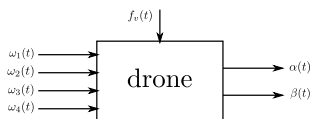
- ▶ entrée = puissance  $P(t)$
- ▶ sortie = température  $T(t)$
- ▶ perturbation = temp. ext  $T_{ext}(t)$



### Assiette d'un drone



- ▶ entrées = vit. rotation pales  $\omega_i(t)$
- ▶ sorties = roulis/tangage  $\alpha(t), \beta(t)$
- ▶ perturbation = force du vent  $f_v(t)$



# Sommaire

---

- ① Notion de signal et de système
- ② Un peu de vocabulaire
- ③ Qu'est-ce que l'automatique ?
- ④ Le système de commande

## Les capteurs

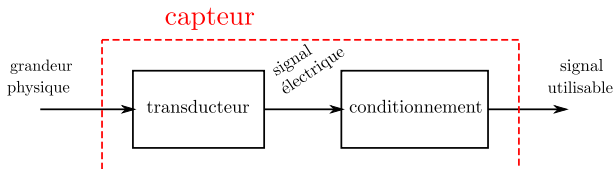
### Définition

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique en un signal utilisable, souvent un signal électrique.

## Les capteurs

### Définition

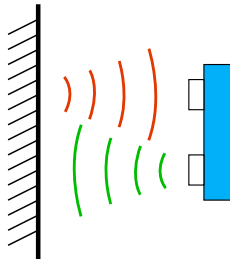
Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique en un signal utilisable, souvent un signal électrique.



- ▶ transducteur = passage du domaine physique au domaine électrique
- ▶ conditionnement = mise en forme du signal
- ▶ le signal électrique donne une "image" du mesurande

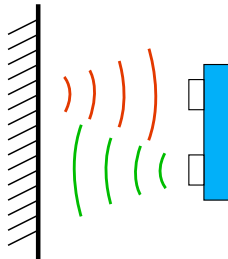
## Exemples

capteur de distance à ultrasons

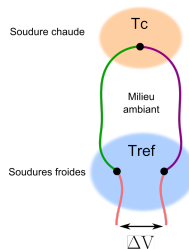


## Exemples

capteur de distance à ultrasons



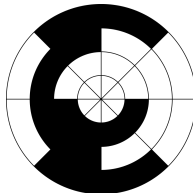
capteur de température thermocouple





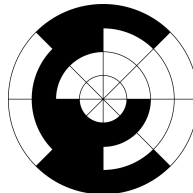
## Exemples

capteur de rotation encodeur

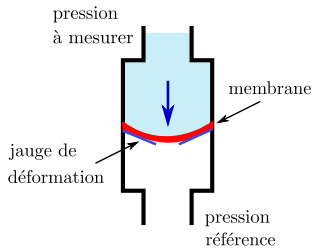
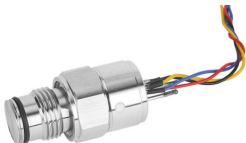


## Exemples

capteur de rotation encodeur



capteur de pression relative, à membrane



## Différents types de capteurs

### Capteurs analogiques

- ▶ le signal est une fonction continue par rapport à la grandeur physique
- ▶ la sortie est de types tension, courant, jauge (aiguille ou fluide)
- ▶ exemples : thermocouple, potentiomètre, thermomètre...

### Capteurs logiques (ou TOR)

- ▶ le signal est une fonction binaire par rapport à la grandeur physique
- ▶ la sortie est un état logique : 0 ou 1
- ▶ exemples : capteur de fin de course, LED...

### Capteurs numériques

- ▶ le signal est une fonction discrète par rapport à la grandeur physique
- ▶ la sortie peut être une combinaison/séquence d'états logiques
- ▶ exemples : l'encodeur

## Les actionneurs

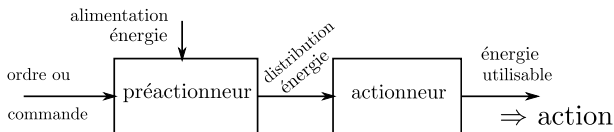
### Définition

Un actionneur est un dispositif qui transforme une énergie, fournie en entrée, en une énergie exploitable pour effectuer une action. Il est l'organe "moteur" d'un système.

## Les actionneurs

### Définition

Un actionneur est un dispositif qui transforme une énergie, fournie en entrée, en une énergie exploitable pour effectuer une action. Il est l'organe "moteur" d'un système.

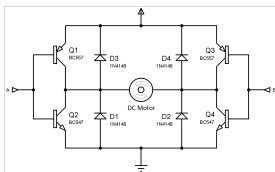


- ▶ énergies d'entrée types : électrique, pneumatique, hydraulique
- ▶ énergies de sortie types : mécanique, thermique, sonore
- ▶ le préactionneur reçoit les ordres et distribue l'énergie à l'actionneur

## Exemples

### Moteurs électriques

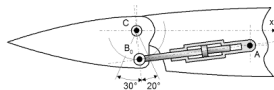
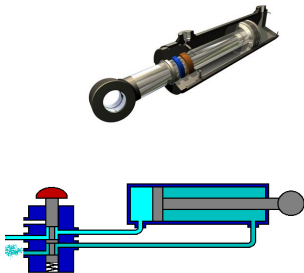
- ▶ convertit une énergie électrique en mouvement de rotation
- ▶ préactionneur : circuit d'électronique de puissance avec transistors



## Exemples

### Vérins hydrauliques

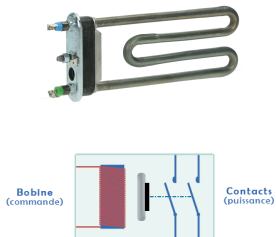
- ▶ convertit une énergie hydraulique en mouvement de translation
- ▶ préactionneur : distributeur du fluide sous pression dans les chambres du vérin



## Exemples

### Résistances chauffantes

- convertit une énergie électrique en une énergie thermique
- préactionneur : circuit d'électronique de puissance ou simple contacteur





## Les effecteurs

### Définition

Un effecteur est un dispositif ou outil mis en mouvement par un actionneur. Il s'agit de l'organe qui effectue l'action.

## Les effecteurs

### Définition

Un effecteur est un dispositif ou outil mis en mouvement par un actionneur. Il s'agit de l'organe qui effectue l'action.

- Exemples : roue, pince, aileron, outil,...



# Sommaire

---

- ① Notion de signal et de système
- ② Un peu de vocabulaire
- ③ Qu'est-ce que l'automatique ?
- ④ Le système de commande

## Qu'est-ce que l'automatique ?

Après quelques généralités, entrons dans le sujet !

- ▶ Il s'agit d'une discipline scientifique à part entière.
- ▶ De nombreuses connexions avec d'autres disciplines d'ingénierie : mécanique, électronique, thermodynamique, chimie, informatique,...
- ▶ Un large spectre d'applications : aéronautique et spatial, robotique, automobile, processus industriel,...
- ▶ Basé sur une approche système.

En anglais, on parle de "*Automatic Control*"

## Qu'est-ce que le “Control” ?

## Qu'est-ce que le "Control" ?

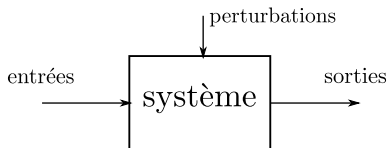
Faire en sorte qu'un système se comporte comme on souhaite

système = avion, voiture, satellite, machine-outil,  
réaction chimique, réseau de communication,...

## Qu'est-ce que le "Control" ?

Faire en sorte qu'un système se comporte comme on souhaite

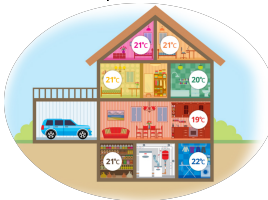
système = avion, voiture, satellite, machine-outil,  
réaction chimique, réseau de communication,...



- ▶ Système  $\Rightarrow$  l'objet d'étude
- ▶ Signaux d'entrée  $\Rightarrow$  action sur le système
- ▶ Signaux de sortie  $\Rightarrow$  réponse du système
- ▶ Signaux de perturbations  $\Rightarrow$  action incontrôlée sur le système

## Qu'est-ce que le "Control" ?

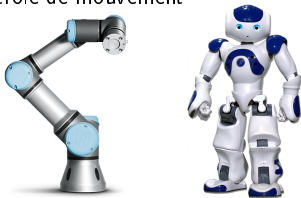
### Contrôle de température



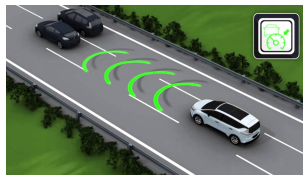
### Contrôle d'attitude et d'orbite



### Contrôle de mouvement



### Contrôle de vitesse





## Qu'est-ce que l' "Automatic" ?

## Qu'est-ce que l' "Automatic" ?

- ▶ Pas manuel !
- ▶ Pas d'opérateur humain
- ▶ Fonctionne de manière autonome

## Qu'est-ce que l' "Automatic" ?

- ▶ Pas manuel !
- ▶ Pas d'opérateur humain
- ▶ Fonctionne de manière autonome

Pourquoi ?

## Qu'est-ce que l' "Automatic" ?

- ▶ Pas manuel !
- ▶ Pas d'opérateur humain
- ▶ Fonctionne de manière autonome

### Pourquoi ?

- ▶ confort/pratique (il suffit de donner une consigne : température, vitesse, position... ; tâches répétitives)
- ▶ environnement hostile (espace, lieu chaud/froid, dangereux...)
- ▶ impossible pour un humain (petite échelle, performances : précision, rapidité, minimisation énergie...)

## Qu'est-ce que l' "Automatic" ?

Exemple : le régulateur de vitesse d'une voiture



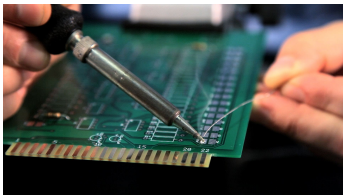
Manual



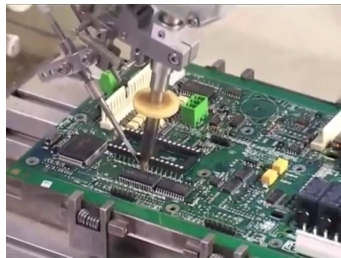
Automatic

## Qu'est-ce que l' "Automatic" ?

Exemple : Soudure de composants sur une carte électronique



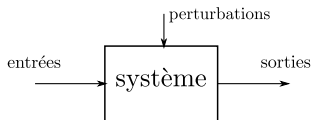
Manuel



Automatique

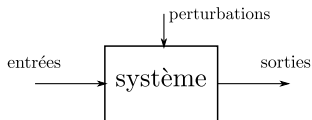
## Objectif général en Automatique

Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite



## Objectif général en Automatique

Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite

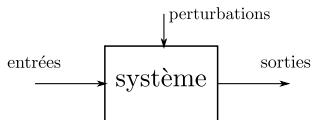


Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?



## Objectif général en Automatique

Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite

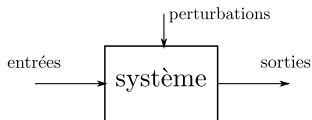


Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?

⇒ il faut certainement donner des valeurs précises en **entrée**

## Objectif général en Automatique

Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite



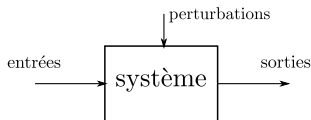
Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?

⇒ il faut certainement donner des valeurs précises en **entrée**

Question : comment calculer ces valeurs ?

## Objectif général en Automatique

Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite



Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?

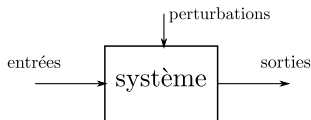
⇒ il faut certainement donner des valeurs précises en **entrée**

Question : comment calculer ces valeurs?

⇒ il faut... *to be continued*

## Objectif général en Automatique

Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite



Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?

⇒ il faut certainement donner des valeurs précises en **entrée**

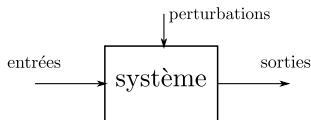
Question : comment calculer ces valeurs?

⇒ il faut... *to be continued*

Question : si c'est automatique, le calcul donne les valeurs et moi je fais quoi ?

## Objectif général en Automatique

Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite



Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?

⇒ il faut certainement donner des valeurs précises en **entrée**

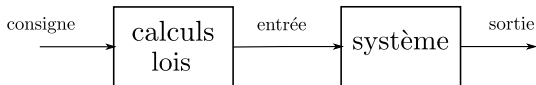
Question : comment calculer ces valeurs?

⇒ il faut... *to be continued*

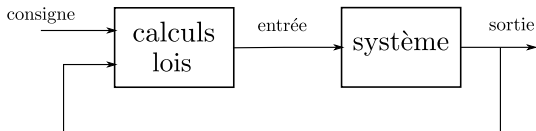
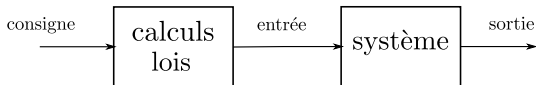
Question : si c'est automatique, le calcul donne les valeurs et moi je fais quoi ?

⇒ il faut donner la **consigne** à suivre pour la **sortie**

## Schémas de commande



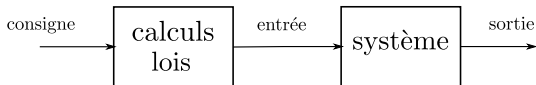
## Schémas de commande



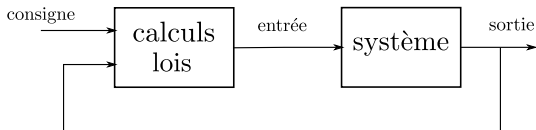
---

2. On parle aussi de principe de contre-réaction ou rétro-action ou d'asservissement

## Schémas de commande



⇒ schéma de commande en boucle ouverte



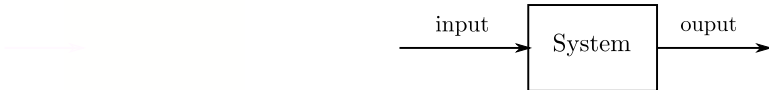
⇒ schéma de commande en boucle fermée<sup>2</sup>

---

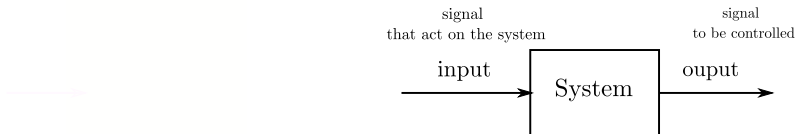
2. On parle aussi de principe de contre-réaction ou rétro-action ou d'asservissement



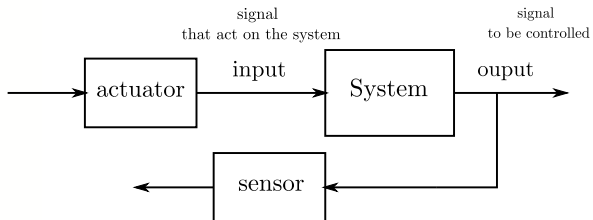
## Structure classique d'un asservissement



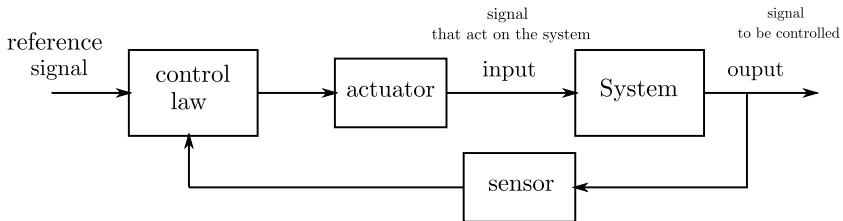
## Structure classique d'un asservissement



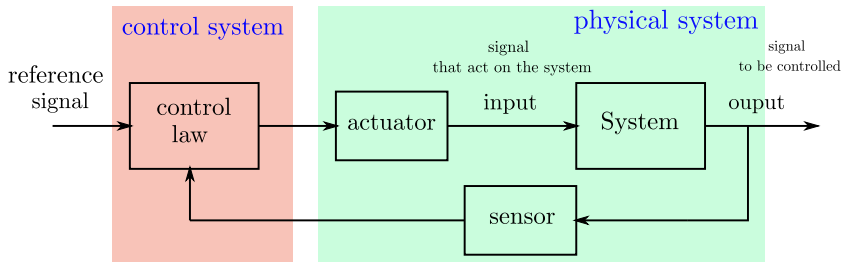
## Structure classique d'un asservissement



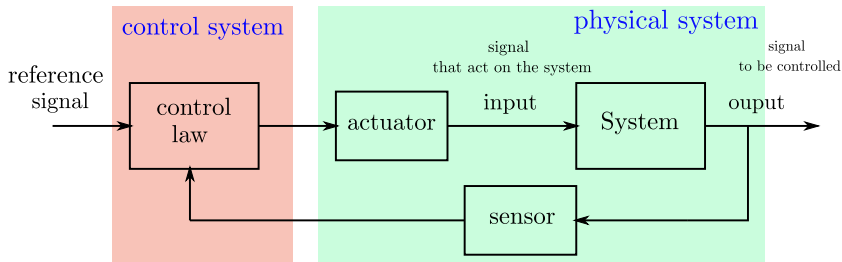
## Structure classique d'un asservissement



## Structure classique d'un asservissement



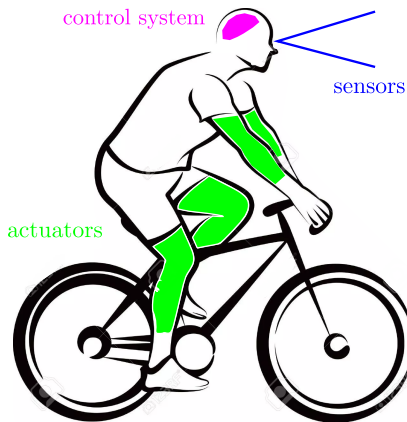
## Structure classique d'un asservissement



- ▶ le système de commande est le “cerveau” de l’asservissement
- ▶ en fonction de la consigne et la mesure...
- ▶ ...il génère le signal de commande
- ▶ la consigne est spécifiée par un utilisateur (IHM) ou un autre système

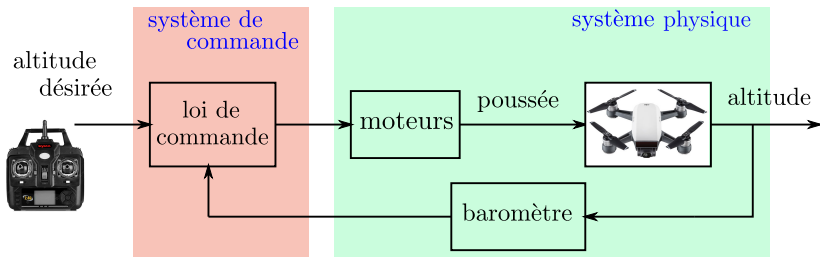
## Structure classique d'un asservissement

C'est un mécanisme que nous appliquons naturellement  
par exemple : faire du vélo



## Exemples

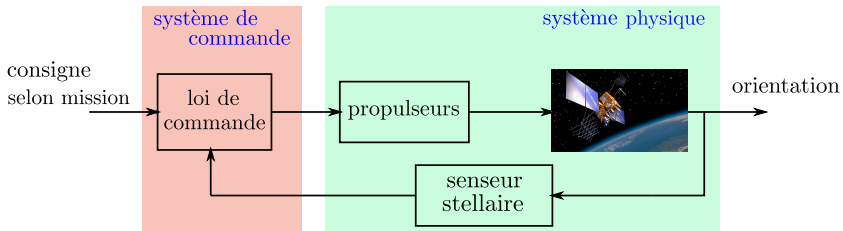
### Contrôle d'altitude d'un drone





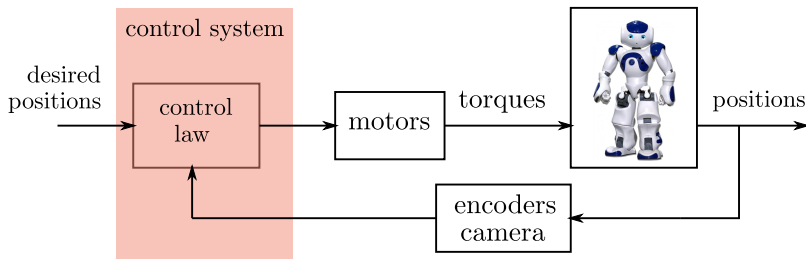
## Exemples

### Contrôle d'attitude d'un satellite



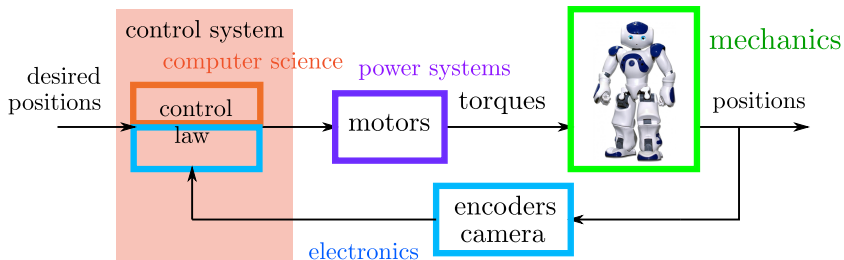
## Une approche pluridisciplinaire

La commande des systèmes implique souvent une interaction avec d'autres disciplines.



## Une approche pluridisciplinaire

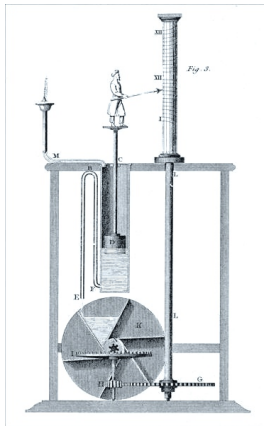
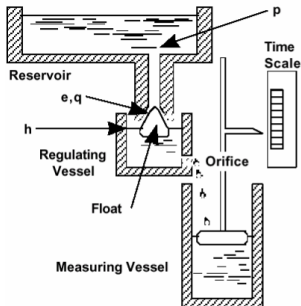
La commande des systèmes implique souvent une interaction avec d'autres disciplines.



## Exemples historiques

Horloge à eau automatique, ou clepsydre

Ctésibios (285–222 av. J.-C.), un inventeur grec d'Alexandrie, en Égypte éthique



## Exemples historiques

Régulation de vitesse d'une machine à vapeur

Le régulateur à boule (flyball governor) de James Watt, en 1788 durant la première révolution industrielle

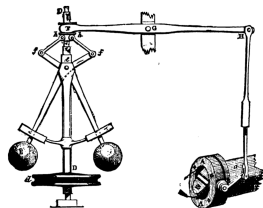
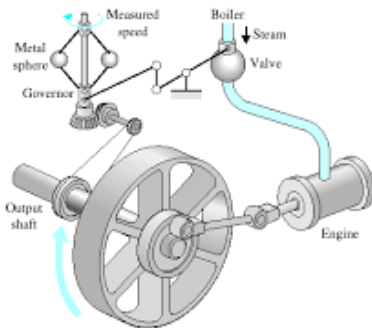


FIG. 4.—Governor and Throttle-Valve.

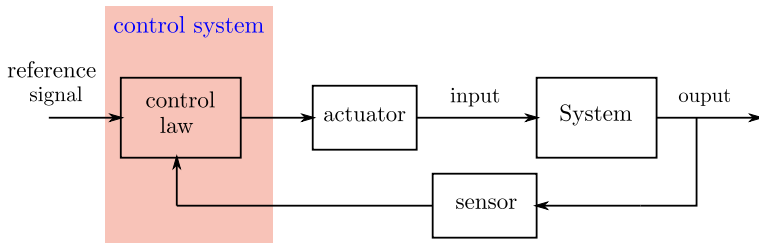
# Sommaire

---

- ① Notion de signal et de système
- ② Un peu de vocabulaire
- ③ Qu'est-ce que l'automatique ?
- ④ Le système de commande

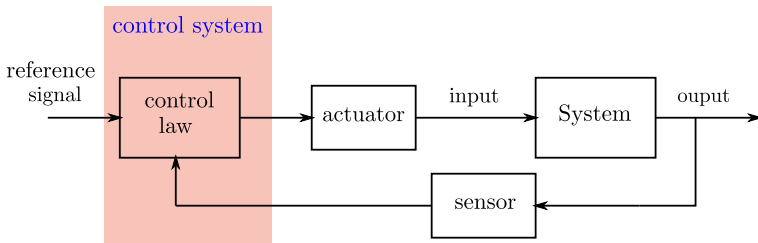
## Le système de commande

L'automaticien travaille sur le système de commande



## Le système de commande

L'automaticien travaille sur le système de commande



- ▶ conception de lois de commande / contrôleurs / correcteurs / compensateurs
- ▶ peut se traduire sous forme d'équations
- ▶ peut se traduire sous forme d'algorithmes



## Mise en oeuvre ?

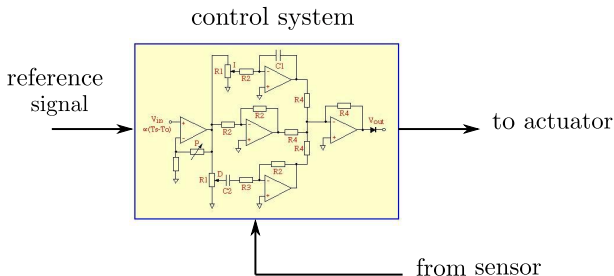
Avant, mise en oeuvre analogique...

## Mise en oeuvre ?

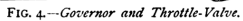
Avant, mise en oeuvre analogique...

contrôleur à base d'électronique analogique :

résistances, condensateurs, amplificateurs opérationnels...



ou mécanique



## Mise en oeuvre ?

De nos jours, implémentation sur calculateurs numériques

⇒ ordinateur, microcontrôleur, FPGA, automate indus...

## Mise en oeuvre ?

De nos jours, implémentation sur calculateurs numériques

⇒ ordinateur, microcontrôleur, FPGA, automate indus...

