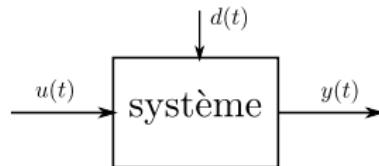


Chapitre 1 : Introduction

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 admis¹

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

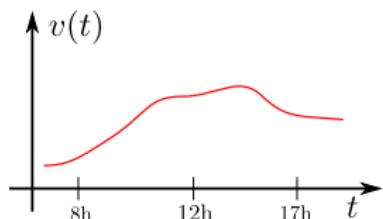
Un signal est la représentation physique de l'information qu'il transporte. Il est généralement décrit par une fonction mathématique à une ou plusieurs variables indépendantes (comme le temps ou l'espace).

- ▶ 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.

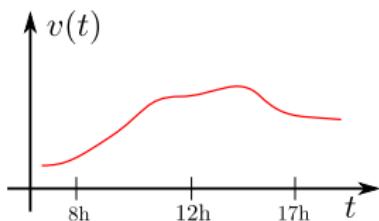
Exemples

Signal temporel : vitesse anémomètre
en fonction du temps t

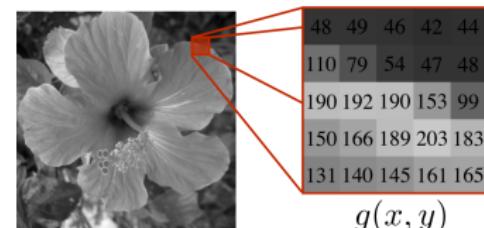


Exemples

Signal temporel : vitesse anémomètre en fonction du temps t

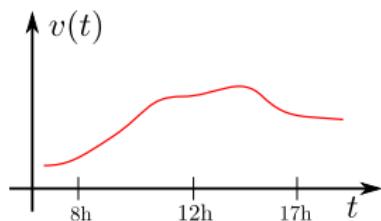


Signal spatial : niveau de gris pour chaque pixel (x, y)



Exemples

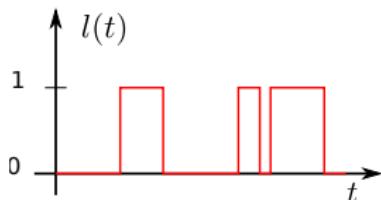
Signal temporel : vitesse anémomètre en fonction du temps t



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

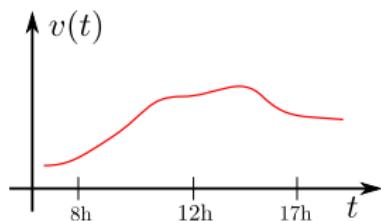


Signal logique : deux états, LED allumée ou éteinte

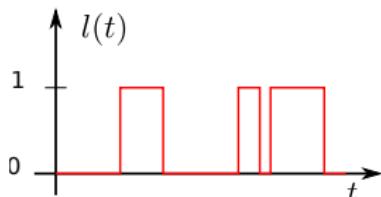


Exemples

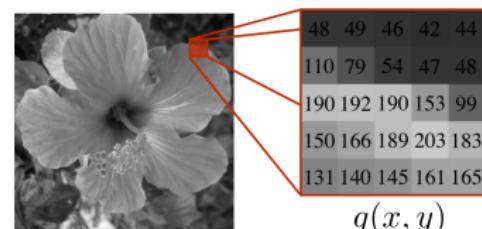
Signal temporel : vitesse anémomètre en fonction du temps t



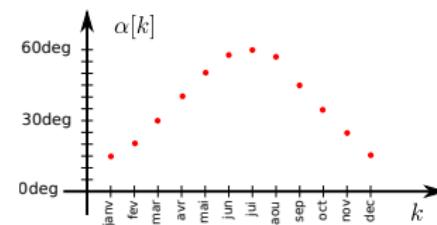
Signal logique : deux états, LED allumée ou éteinte



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



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 ?

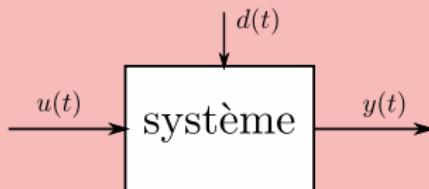
Définition

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.

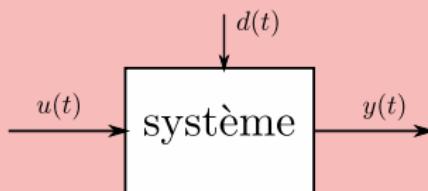
⇒ Objectif : approche abstraite pour formaliser des méthodes génériques.

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.

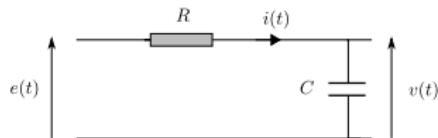
Vision entrée-sortie



- ▶ $u(t)$: 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.

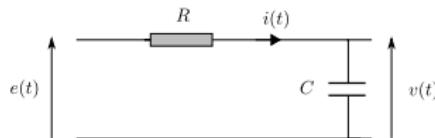
Exemples

Circuit électronique RC

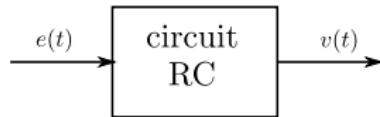


Exemples

Circuit électronique RC

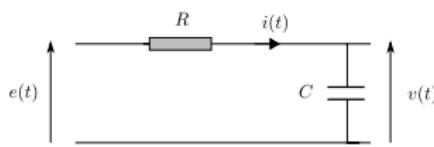


- ▶ entrée = tension $e(t)$
- ▶ sortie = tension $v(t)$

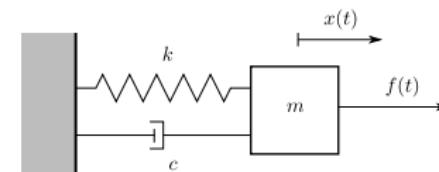


Exemples

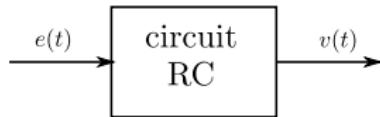
Circuit électronique RC



Structure masse-ressort

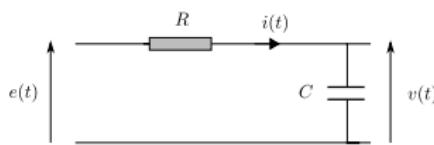


- ▶ entrée = tension $e(t)$
- ▶ sortie = tension $v(t)$

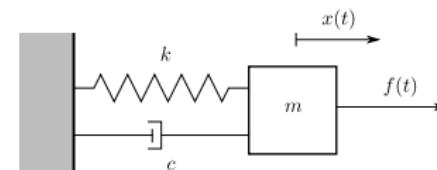


Exemples

Circuit électronique RC

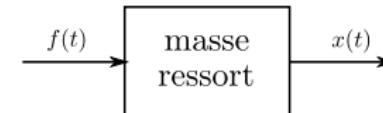
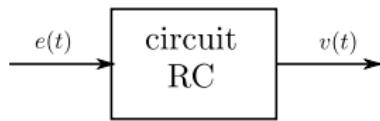


Structure masse-ressort



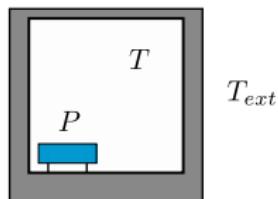
- ▶ entrée = tension $e(t)$
- ▶ sortie = tension $v(t)$

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



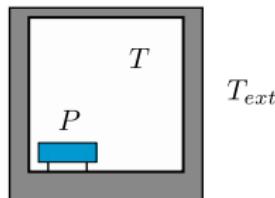
Exemples

Enceinte thermique

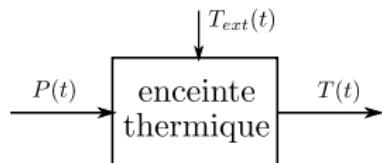


Exemples

Enceinte thermique

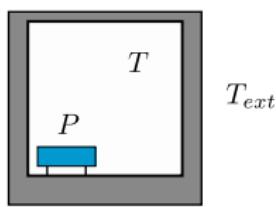


- ▶ entrée = puissance $P(t)$
- ▶ sortie = température $T(t)$
- ▶ perturbation = temp. ext $T_{ext}(t)$

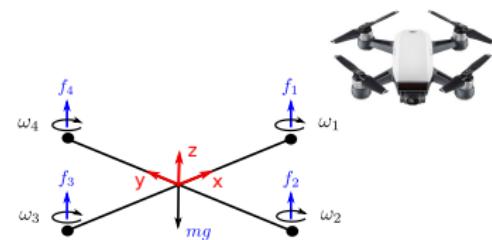


Exemples

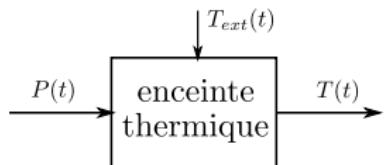
Enceinte thermique



Assiette d'un drone

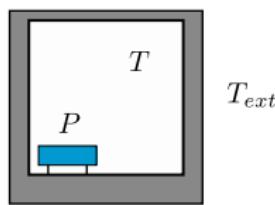


- ▶ entrée = puissance $P(t)$
- ▶ sortie = température $T(t)$
- ▶ perturbation = temp. ext $T_{ext}(t)$

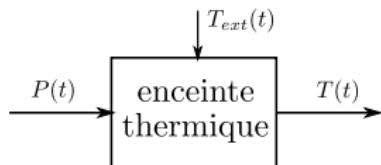


Exemples

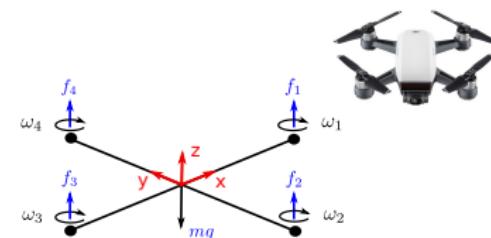
Enceinte thermique



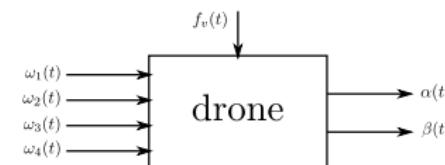
- ▶ entrée = puissance $P(t)$
- ▶ sortie = température $T(t)$
- ▶ perturbation = temp. ext $T_{ext}(t)$



Assiette d'un drone



- ▶ 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

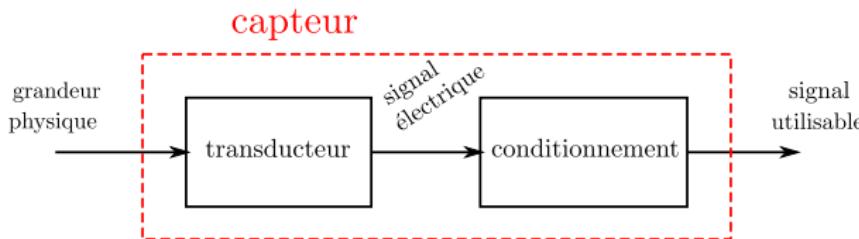
Définition

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

Les capteurs

Définition

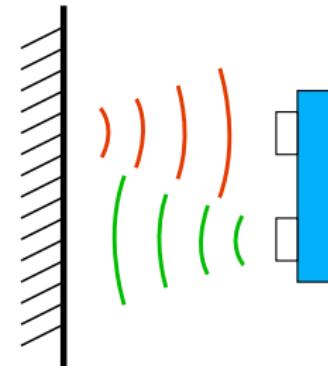
Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique en un signal utilisable, souvent un signal électrique.



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

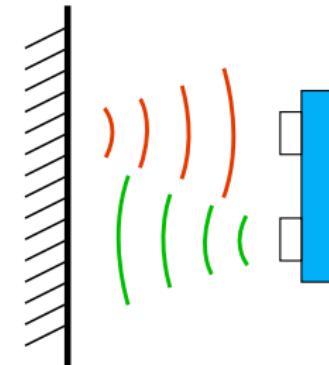
Exemples

capteur de distance à ultrasons

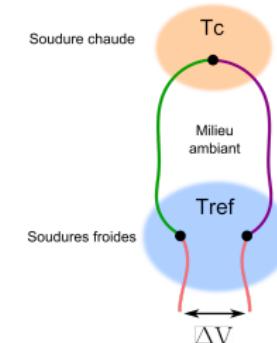


Exemples

capteur de distance à ultrasons

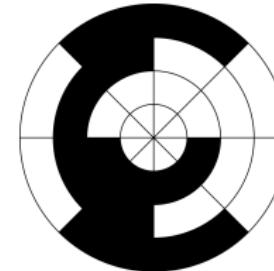


capteur de température thermocouple



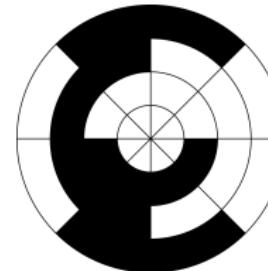
Exemples

capteur de rotation encodeur

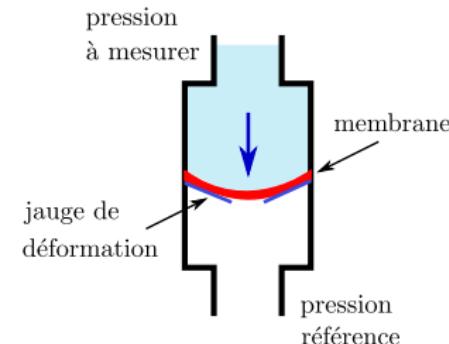


Exemples

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

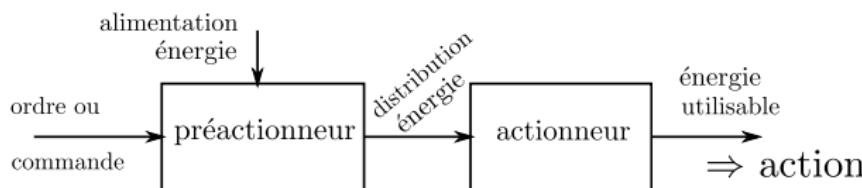
Définition

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.

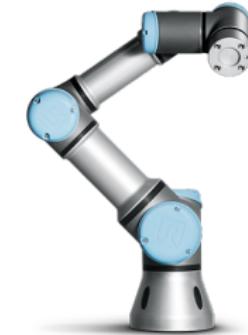
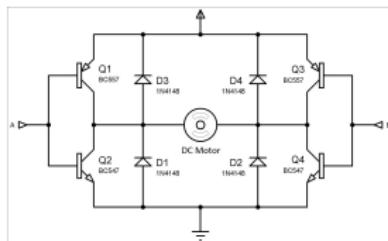


- ▶ énergies d'entrée types : électrique, pneumatique, hydraulique
- ▶ énergies de sortie types : mécanique, thermique, sonore
- ▶ le préactionneur reçoit les ordres et distribue l'énergie à l'actionneur

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

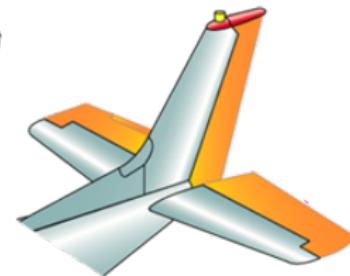
Un effecteur est un dispositif ou outil mis en mouvement par un actionneur. Il s'agit de l'organe qui effectue l'action.

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” ?

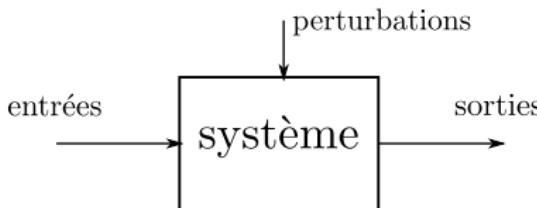
Faire en sorte qu'un système se comporte comme on souhaite

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

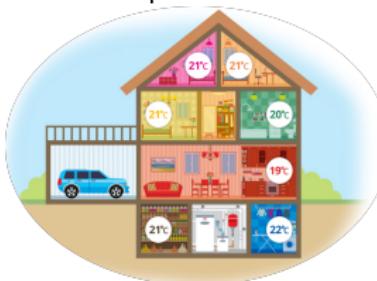
système = avion, voiture, satellite, machine-outil,
réaction chimique, réseau de communication,...



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

Qu'est-ce que le “Control” ?

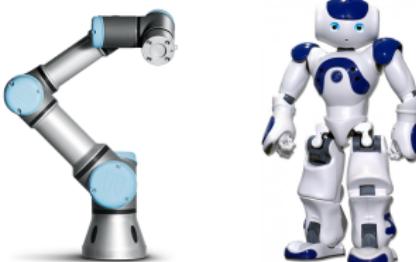
Contrôle de température



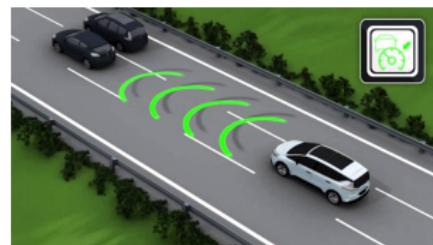
Contrôle d'attitude et d'orbite



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



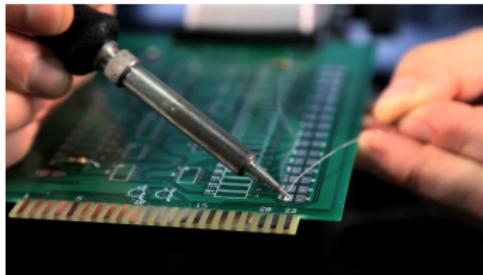
Manual



Automatic

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

Exemple : Soudure de composants sur une carte électronique



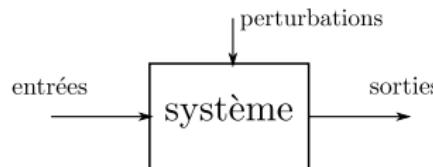
Manuel



Automatique

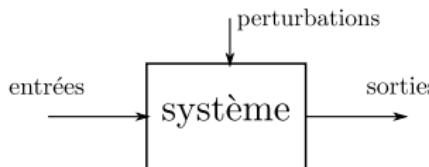
Objectif général en Automatique

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



Objectif général en Automatique

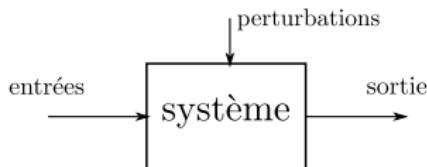
Objectif : faire en sorte que la **sortie** se comporte telle que l'on souhaite



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

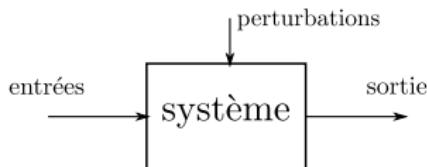


Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?

⇒ 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



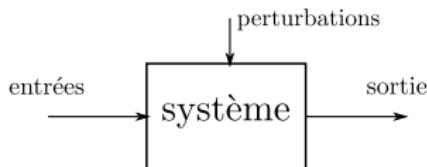
Question : comment agir sur le système pour atteindre cet objectif?

⇒ 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?

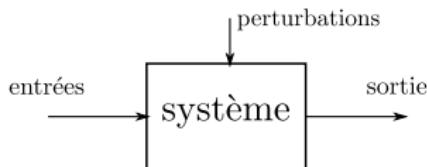
⇒ il faut certainement donner des valeurs précises en **entrée**

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**

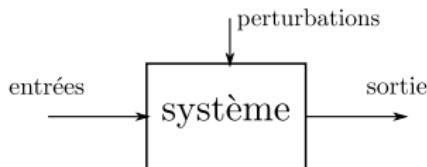
Question : comment calculer ces valeurs ?

⇒ 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**

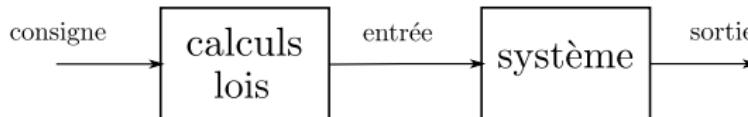
Question : comment calculer ces valeurs ?

⇒ il faut... *to be continued*

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

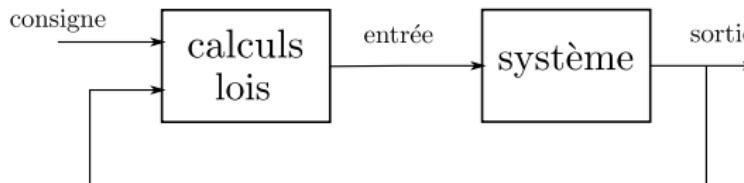
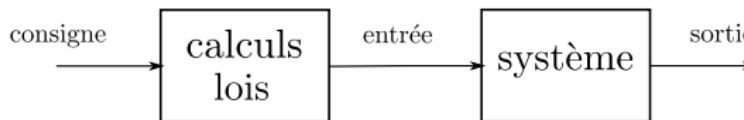
⇒ il faut donner la **consigne** à suivre pour la **sortie**

Schémas de commande



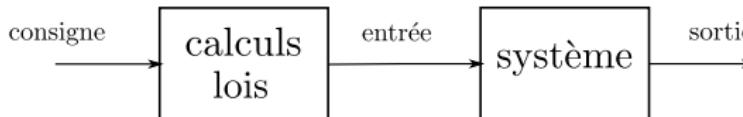
-
2. On parle aussi de principe de contre-réaction ou rétro-action ou d'asservissement

Schémas de commande

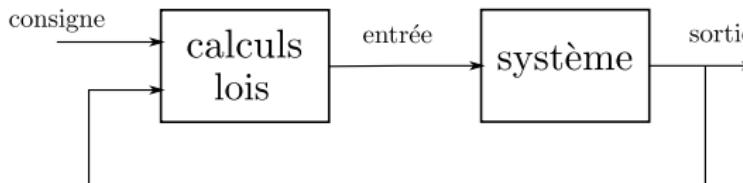


2. On parle aussi de principe de contre-réaction ou rétro-action ou d'asservissement

Schémas de commande



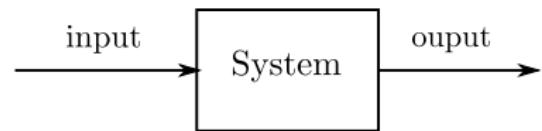
⇒ schéma de commande en boucle ouverte



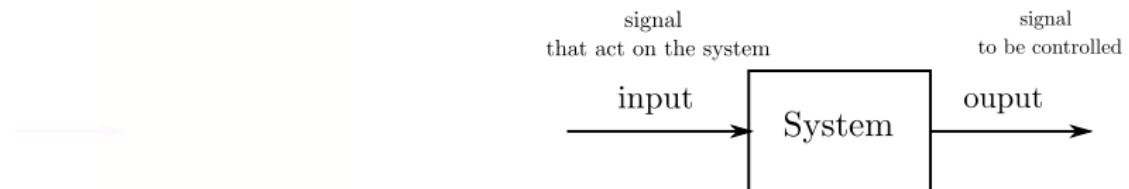
⇒ schéma de commande en boucle fermée²

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

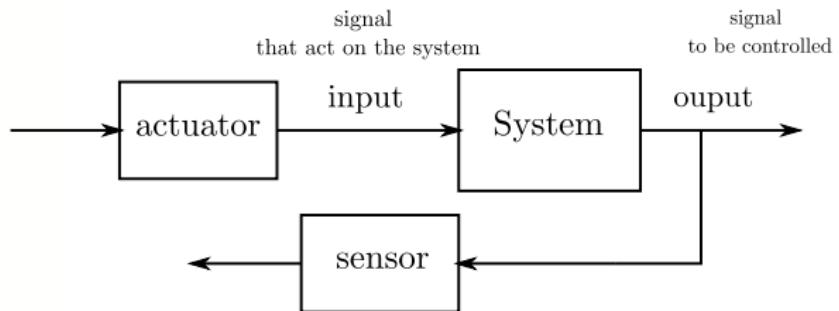
Structure classique d'un asservissement



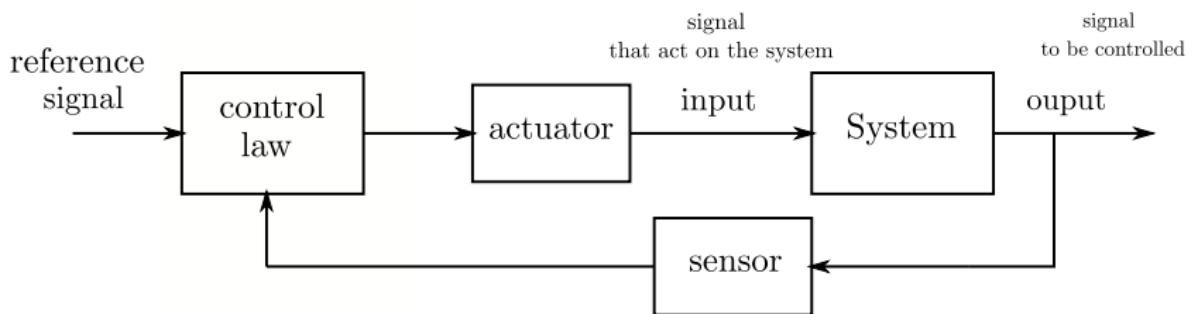
Structure classique d'un asservissement



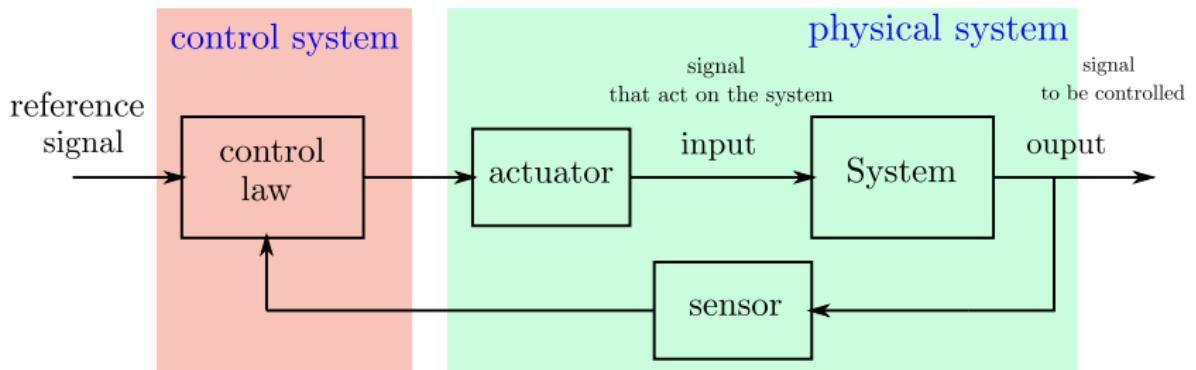
Structure classique d'un asservissement



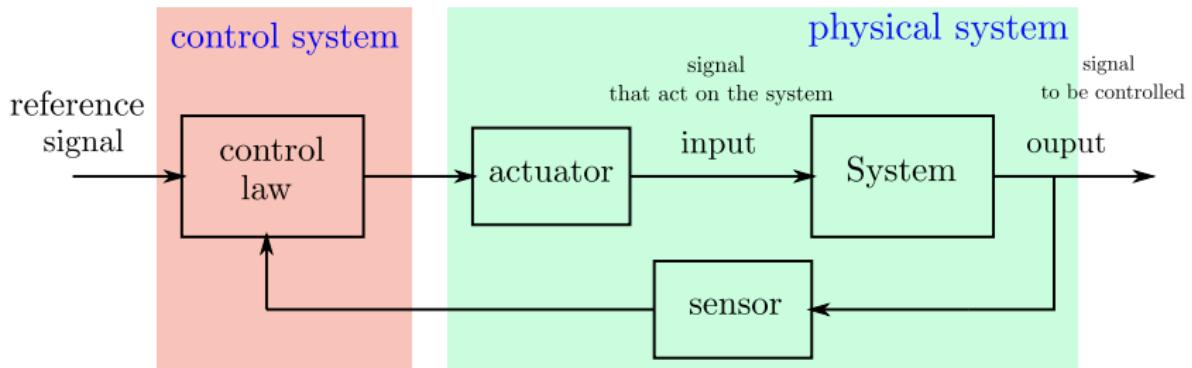
Structure classique d'un asservissement



Structure classique d'un asservissement



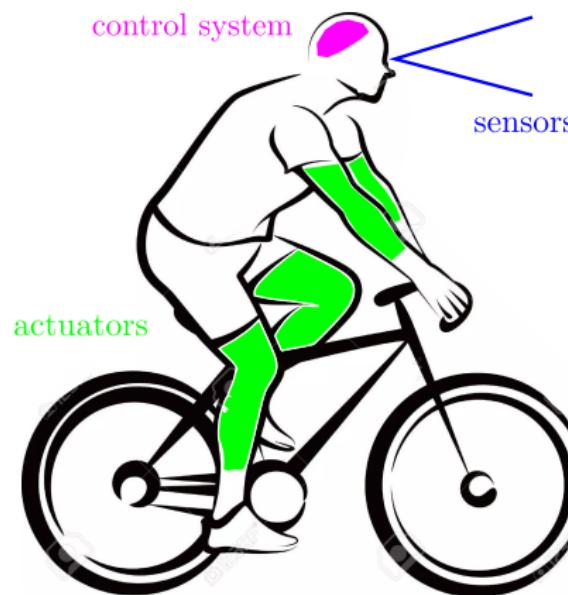
Structure classique d'un asservissement



- ▶ 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

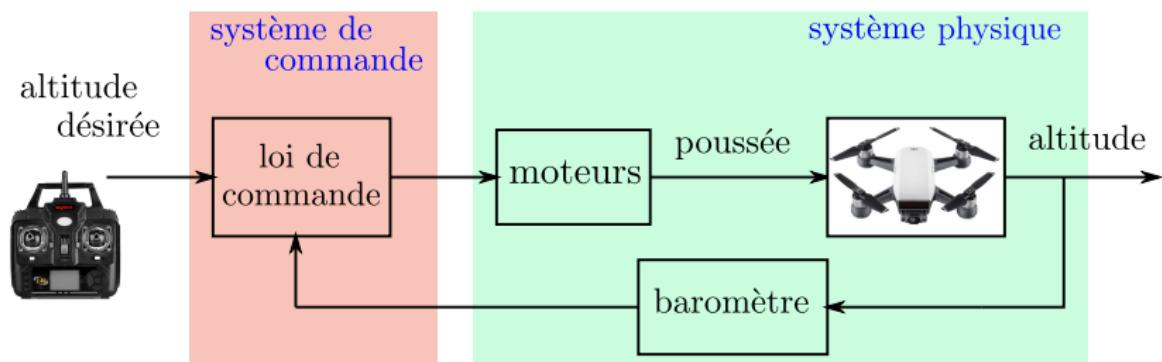
Structure classique d'un asservissement

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



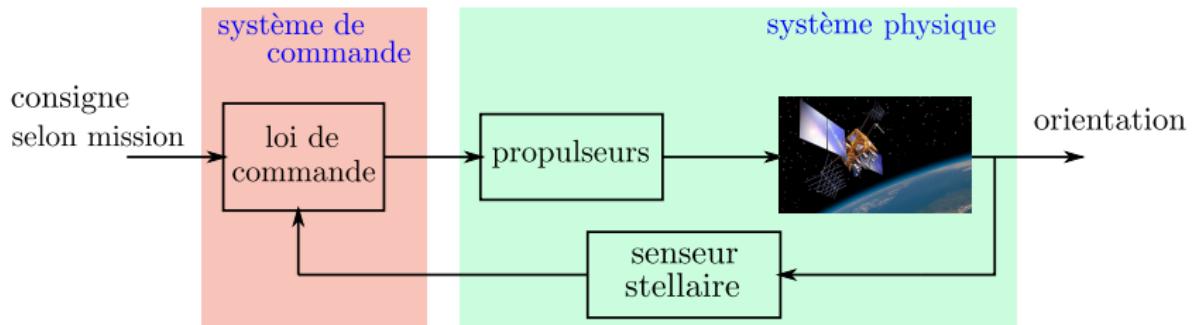
Exemples

Contrôle d'altitude d'un drone



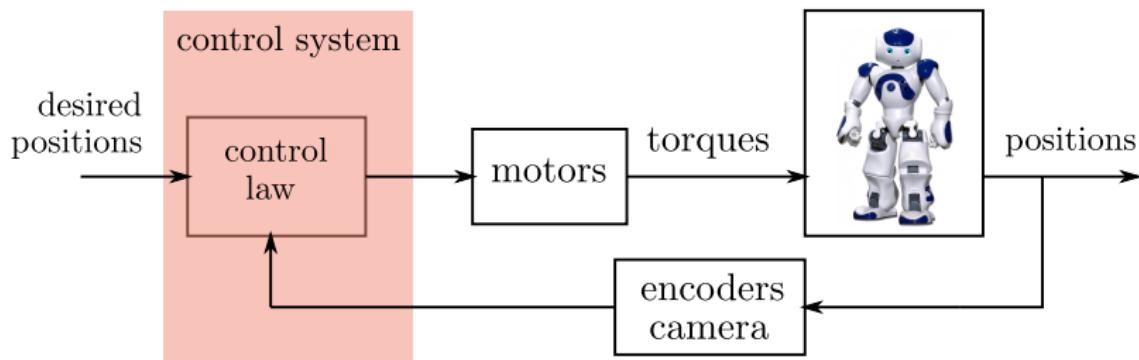
Exemples

Contrôle d'attitude d'un satellite



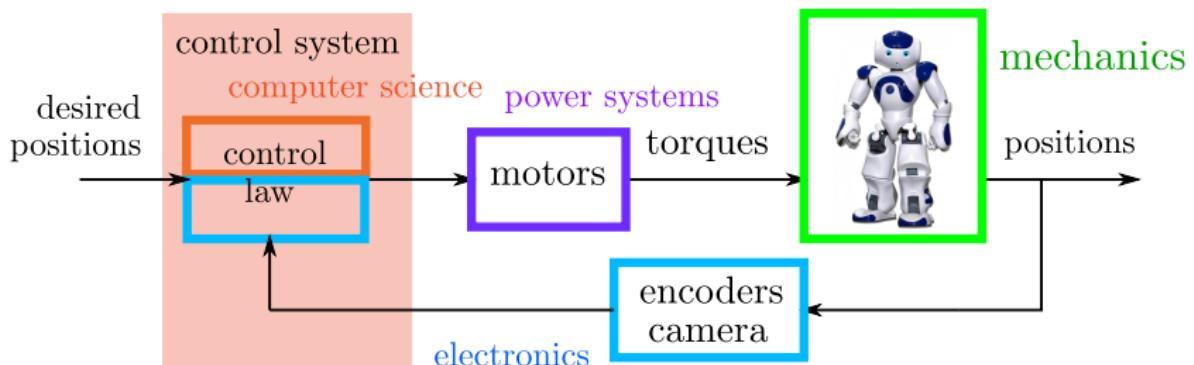
Une approche pluridisciplinaire

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



Une approche pluridisciplinaire

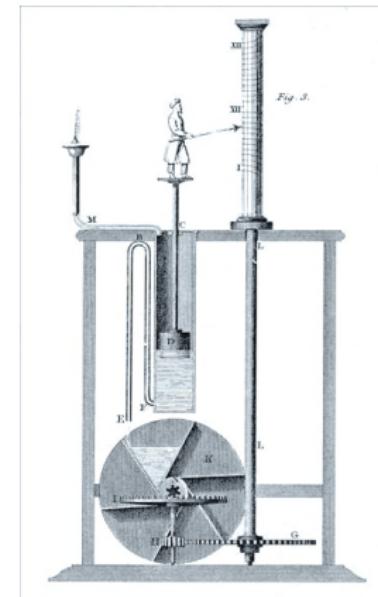
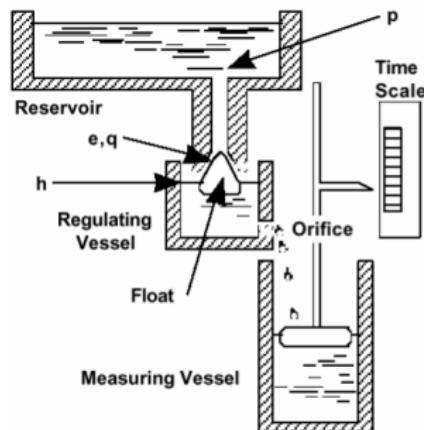
La commande des systèmes implique souvent une interaction avec d'autres disciplines.



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

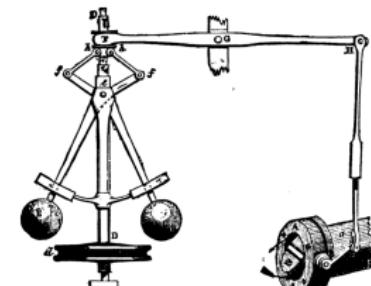
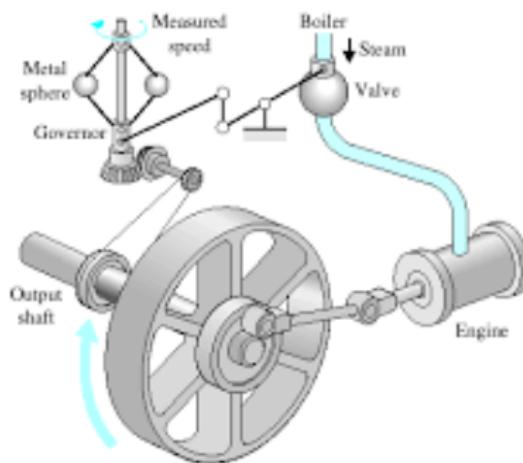


FIG. 4.—Governor and Throttle-Valve.

Sommaire

① Notion de signal et de système

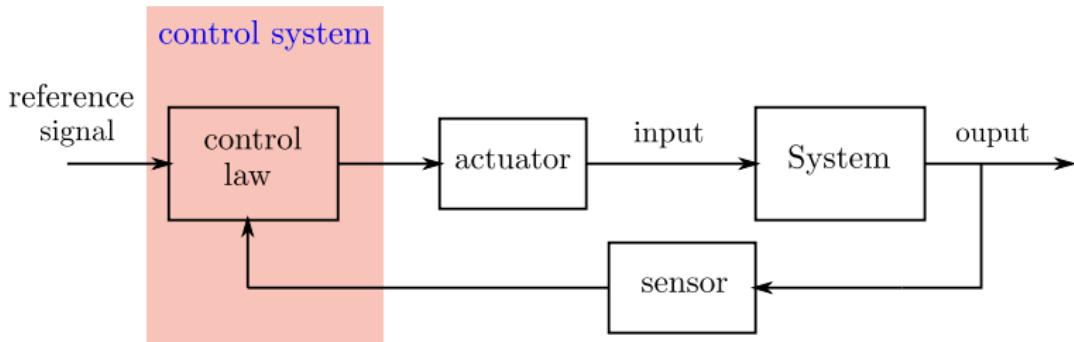
② Un peu de vocabulaire

③ Qu'est-ce que l'automatique ?

④ Le système de commande

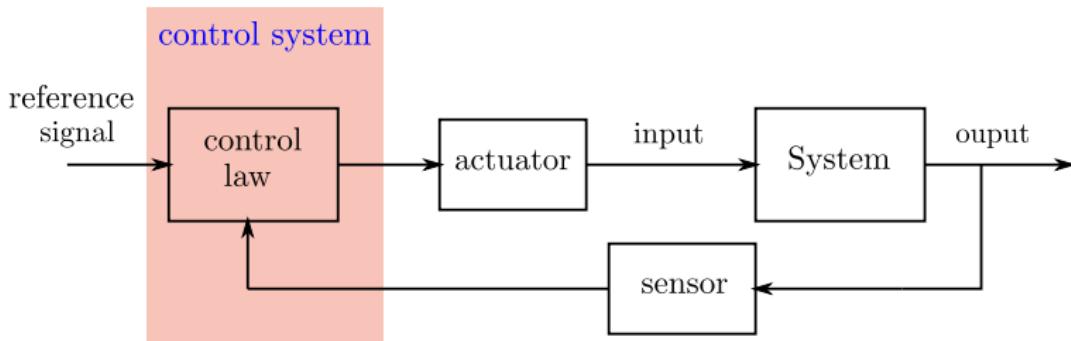
Le système de commande

L'automatien 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 ?

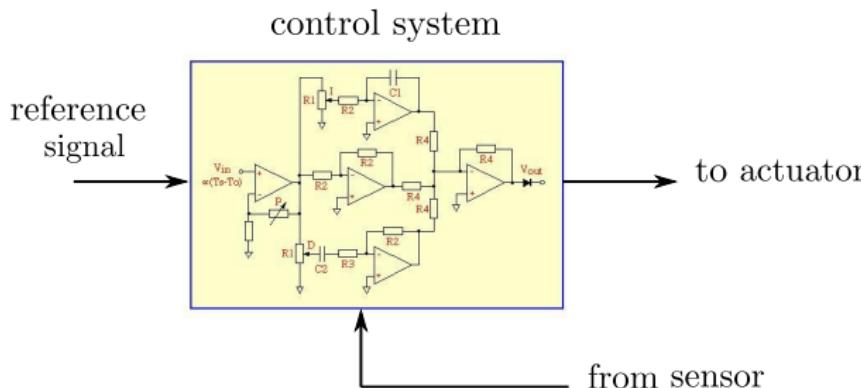
Avant, mise en oeuvre analogique...

Mise en oeuvre ?

Avant, mise en oeuvre analogique...

contrôleur à base d'électronique analogique :

résistances, condensateurs, amplificateurs opérationnels...



Mise en oeuvre ?

ou mécanique

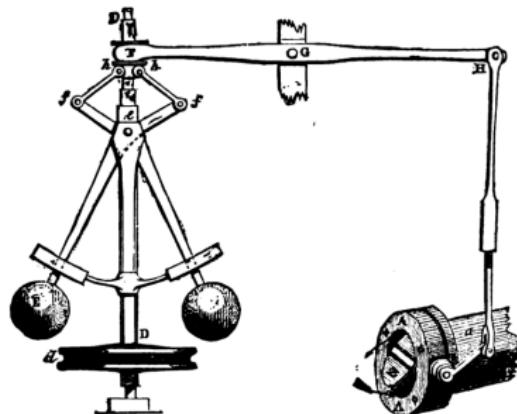


FIG. 4.—Governor and Throttle-Valve.

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...

