

Une science du contrôle ou Qu'appelle-t-on "théorie du contrôle" en science ?

Alban Quadrat

INRIA Saclay - Île-de-France,
projet DISCO, Supélec, L2S,
3 rue Joliot Curie,
91192 Gif-sur-Yvette, France.
Alban.Quadrat@inria.fr.

Contrôle et contrainte en science-fiction

Université de Picardie - Jules Verne (24-25/04/2014)

Les images de ce document ont été trouvées sur internet. Elles appartiennent à qui de droit.

- **Thème des journées d'étude :**

Contrôle et contrainte en Science-Fiction.

- **But de l'exposé :** Interroger la science au sujet du contrôle.

- Plus précisément, interroger les mathématiques, les sciences physiques et les sciences de l'ingénieur.

- **Question :** Vers une science du contrôle ?

Ou qu'appelle-t-on "théorie du contrôle" en science ?

- **Définition (Littré) :** **CONTRÔLE** n. m. (de contre, et rôle.)

- ① Registre double qu'on tient pour la vérification d'un autre.
- ② Vérification administrative.

Dans le langage politique et administratif **le contrôle est opposé à l'action** ; c'est un principe que le contrôle et l'action doivent être séparés.

- ③ *Fig.* Examen, censure.
 - ④ Etat nominatif des personnes qui appartient à un corps.
- **Etymologie :** Vaugelas dit que Ronsard fut le premier à écrire contrôler, contrôleur, au lieu de contre-roler, contre-roleur.

- **Définition (Littré) : CONTRÔLER**

- ① Porter sur le contrôle.
- ② *Terme d'administration.* Vérifier.
- ③ *Fig.* Examiner, censurer.

- **Wikipédia** : “avoir le contrôle de”, maîtriser quelqu'un (y compris soi-même), au plan physique ou psychique, ou quelque chose, vérifier ou surveiller une ou des données à leur égard.

- Le terme de contrôle a donc (au moins) deux significations :
 - vérification,
 - action afin de garantir que quelqu'un/quelque chose suive un comportement désiré.

- **Aristote**, *Politique*, Livre I, Chapitre III, paragraphe 4 (traduction Champagne, revue et corrigée par Hoefler) :

“L’esclave n’est, par sa nature, qu’un instrument plus parfait et susceptible de manier d’autres instruments.

[...] Si un outil pouvait pressentir l’ordre de l’artiste et l’exécuter, si la navette courait d’elle-même sur la trame, si le plectrum tirait spontanément des sons de la cithare, l’art n’aurait pas besoin d’ouvriers, ni le maître d’esclaves”. [1253b].

(<http://remacle.org/bloodwolf/philosophes/Aristote/politique1.htm>).

- **La théorie du contrôle** est une science qui a pour but de remplacer les “esclaves” par le “contrôle d’instruments” (!).
- **La théorie du contrôle** : le mariage des sciences et des techniques.

La théorie du contrôle ou automatique

- **Noms** : **Théorie du contrôle**, automatique, cybernétique, ...
- Le mot “**automatique**” provient du nom “**automate**” mais a pour origine scientifique et technique le **domaine de la régulation**.
- **Nouveau Petit Robert** : L'ensemble des disciplines scientifiques et techniques utilisées pour le concept de la commande et du contrôle des processus.
- **Trésor de la Langue Française** : science visant l'emploi d'une machine où l'intervention humaine est limitée à la préparation préalable, intellectuelle et matérielle, d'un programme incorporé à la machine qui le suivra seule, **en le modifiant d'elle-même s'il y a lieu**, par des décisions logiques conditionnées par les circonstances de déroulement des opérations.

La théorie du contrôle ou automatique

- “L’automatisation est aujourd’hui dans une **situation paradoxale**.

Les systèmes automatisés occupent et contrôlent l’ensemble des secteurs de l’économie. De fait, le rôle dans les sociétés industrialisées de la science dénommée automatique est crucial : une défaillance du système de contrôle d’un quelconque procédé peut entraîner la mise hors service de toute la chaîne.

Malgré cette importance, l’automatique reste une science méconnue de la plupart des individus en dehors et, parfois même, à l’intérieur des cercles scientifiques.

De plus, elle génère une image négative lorsqu’elle s’associe aux processus de production pour provoquer la mise hors circuit du monde du travail d’un certain nombre de personnes”.

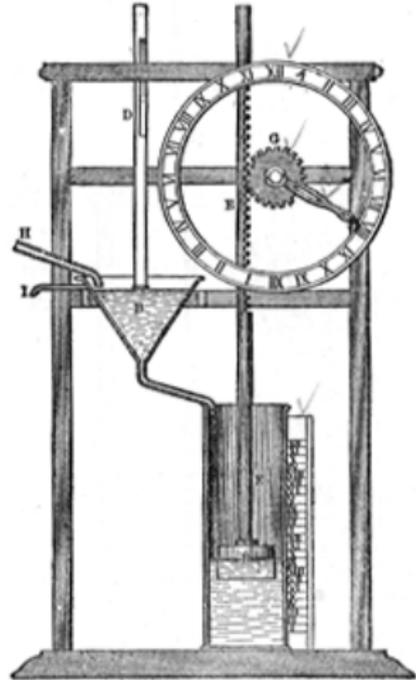
P. Renaud, *Une histoire de la genèse de l’automatique en France 1850-1950*, Thèse de doctorat, CNAM de Paris, 2004.

Les grandes étapes vers la théorie du contrôle

- 1 Quelques mécanismes antiques : les horloges
- 2 Le début de la physique moderne : la navigation
- 3 La révolution industrielle : les machines à vapeur
- 4 Les réseaux de télécommunication : les téléphones
- 5 Théorie du contrôle
- 6 Dans nos vies quotidiennes

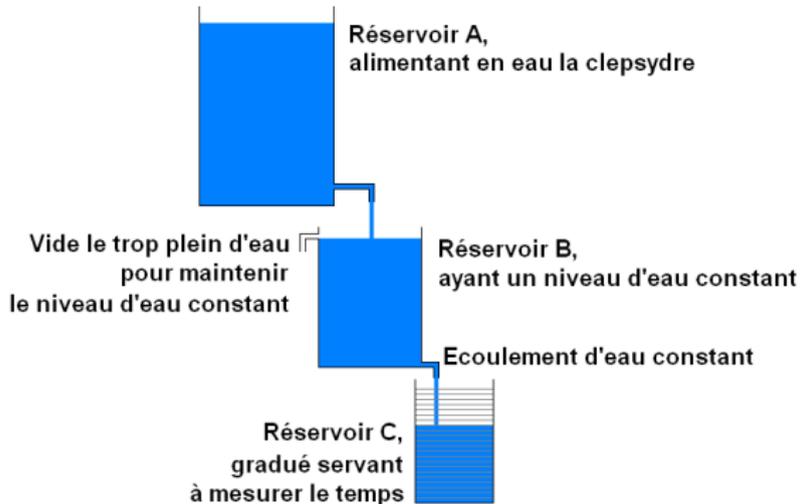
Quelques procédés antiques

- La clepsydre (-1400 Egypte, -270 Grèce) : **Mesure du temps**



La clepsydre : Ctésibios d'Alexandrie

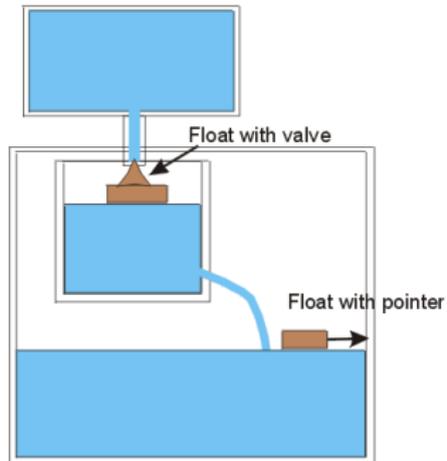
- La pression à la sortie du réservoir chute avec la hauteur d'eau !
- Ctésibios d'Alexandrie (3^{ème} siècle avant J.-C.)



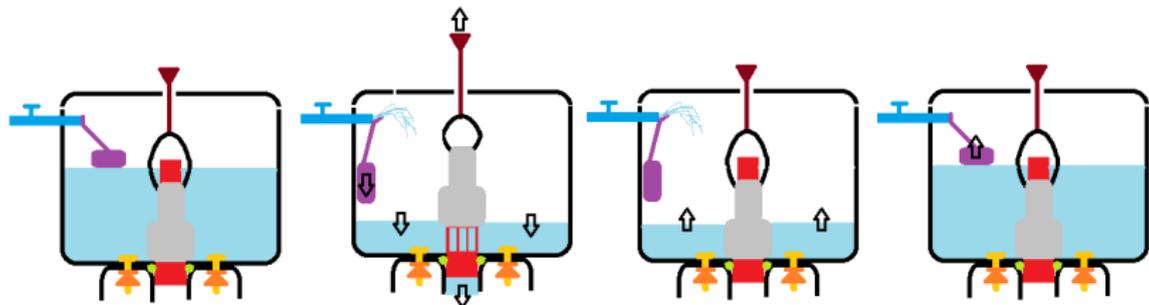
⇒ Ctésibios essaye de réguler/contrôler le débit (= constant) de B.

(<http://www.youtube.com/watch?v=s9i5ny9NB0U>)

Flotteur/pointeau/soupape

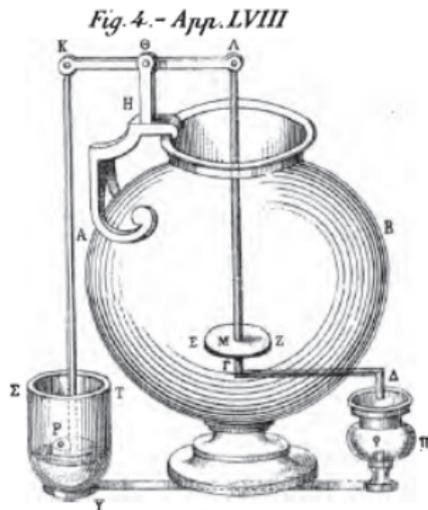
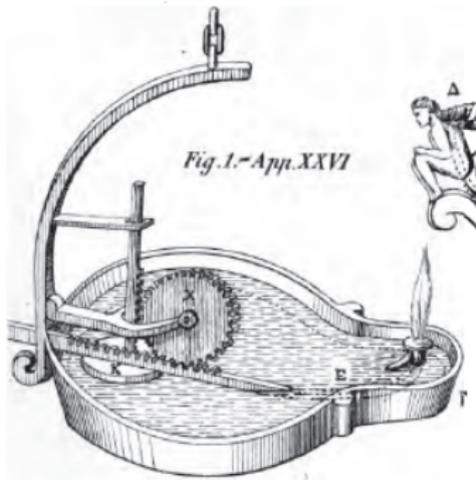


- Le principe de la **chasse d'eau** (premiers brevets : 1775 !)



Régulateurs de lampes à huile et de fontaines à vin

- Héron d'Alexandrie (1^{er} siècle après J.C.) : *Les pneumatiques*.

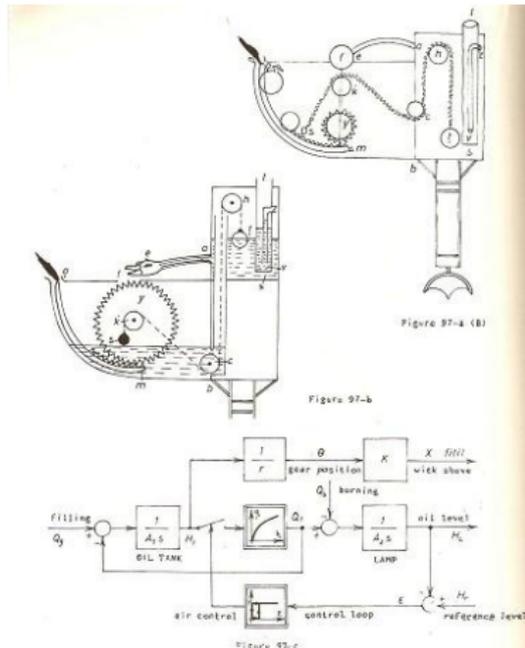


- Construire une lampe qui s'entretienne d'elle-même.
- Etant donné un vase contenant du vin et muni d'un goulot au-dessous duquel est placée une coupe, faire que, quelle que soit la quantité de vin qu'on enlève de la coupe, il en coule une égale par le goulot.

(capteur = flotteur \neq actionneur = soupape)

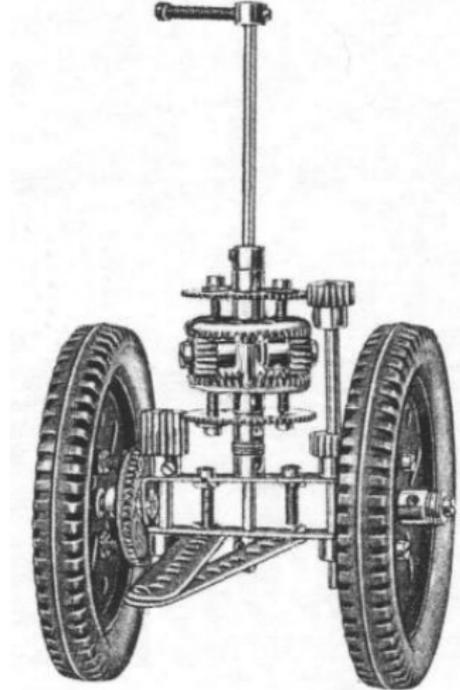
L'horloge de l'éléphant

- **Banou Moussa** (9^{ème} siècle) : flotteur fermant un robinet.
- **Al-Djazari** (1136-1206), *Livre de la connaissance des procédés mécaniques*, 1206 (<http://www.youtube.com/watch?v=doYPP-gaJ0o>).



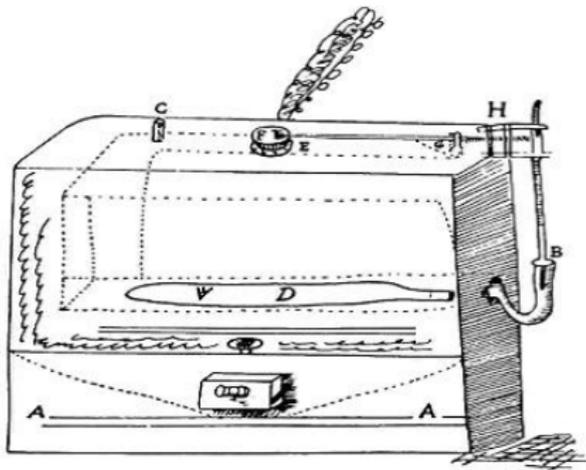
Chariot pointant le sud

- **Chine** (premières constructions \sim 200-265) :



(<http://www.youtube.com/watch?v=9JxHefqiLRM>)

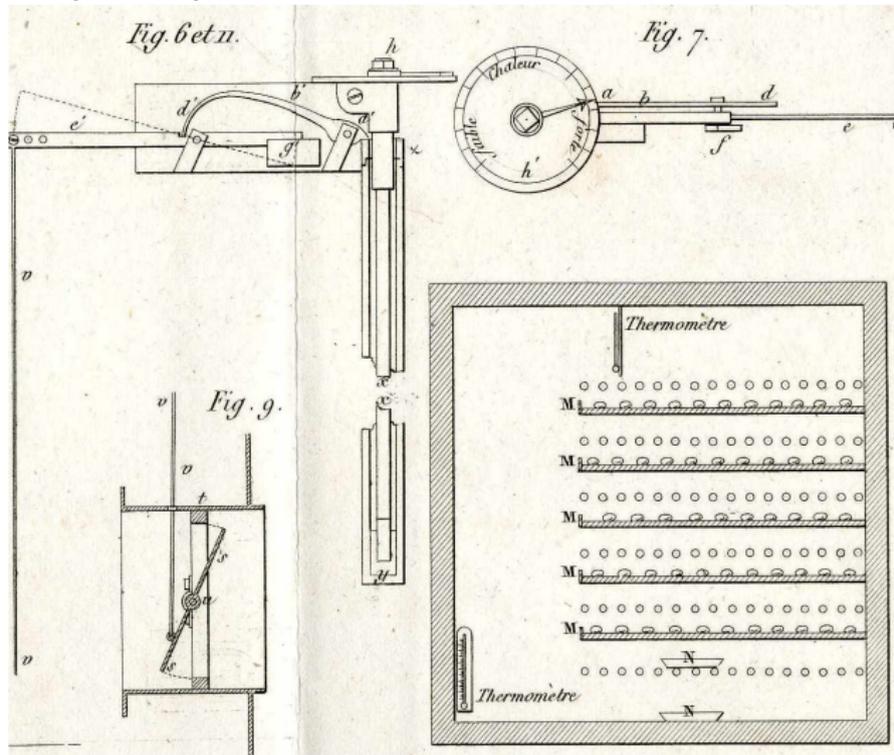
- **Cornelis Drebbel** (1572-1633) essaye d'asservir la température d'un four en combinant des effets thermiques et mécaniques.



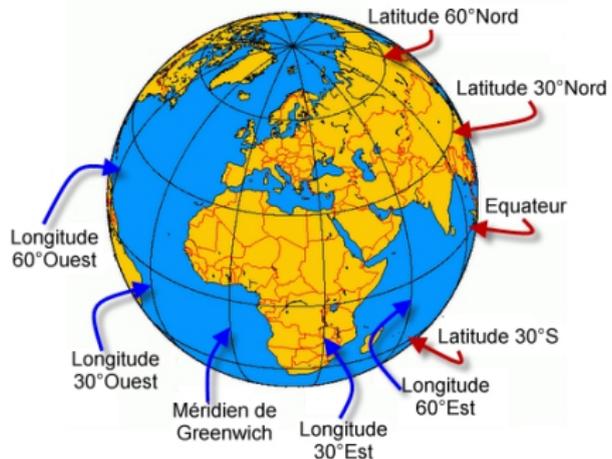
- Grâce à ce four (**l'athanor**), il veut transmuter le plomb en or.
- **Climatisation** (contrôle de la température).

Thermostat de Bonnemain

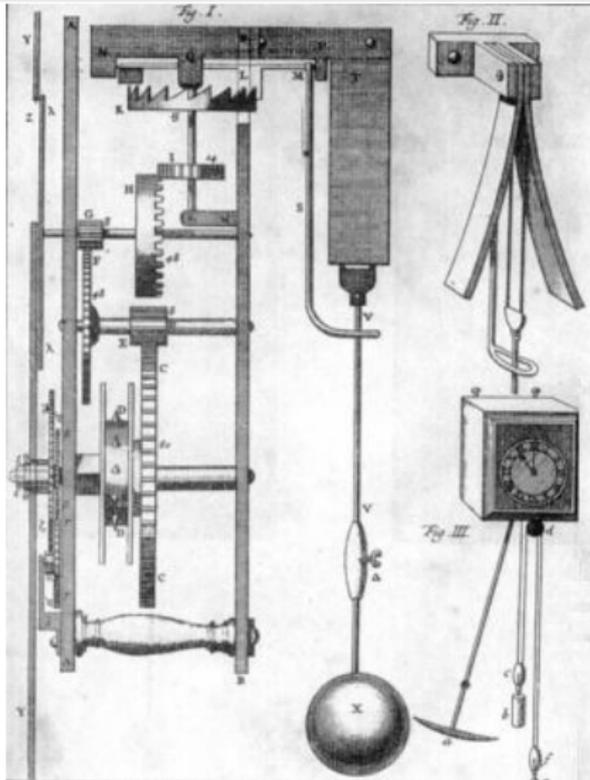
- **Bonnemain** développe un thermostat précis (1783) qu'il utilise dans un dispositif permettant le **contrôle d'une chaudière**.



- **Christian Huygens** (1629-1695) invente le **régulateur de vitesse** pour des horloges à pendules [**Robert Hooke** (1635-1703)].
- **La précision des horloges est cruciale pour la navigation** : calcul de la **longitude** : rotation de la Terre : 1 degré / 4 min. On compare l'heure d'un point terrestre donnée par une horloge embarquée avec l'heure du soleil à son zénith (midi).



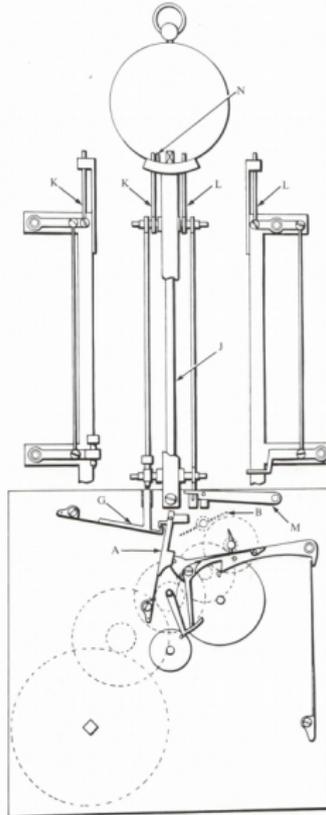
Pendule cycloïdal de Huygens et isochronisme



- $T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \alpha}{g}}$

La pendule sympathique de Breguet

www.timezone.com

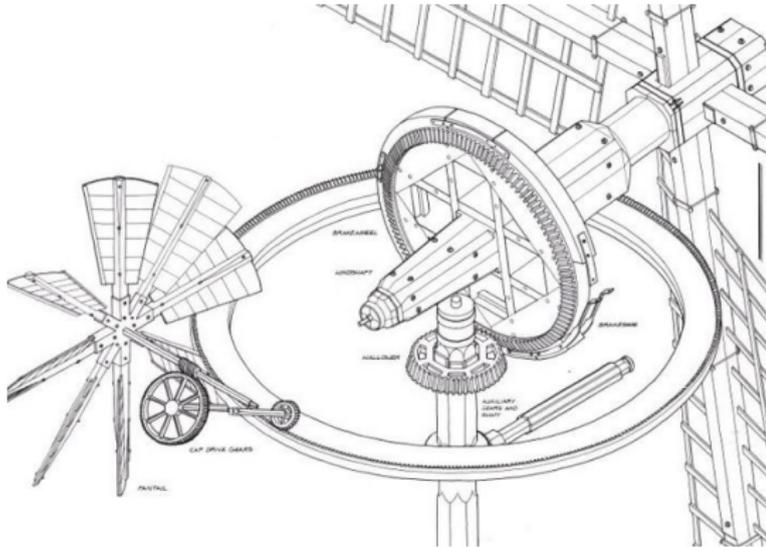


Mechanism for setting and winding the watch for a Breguet sympathique clock



Le contrôle des moulins à vent

- Prise au vent, “self-regulating wind machine”, E. Lee (1745).



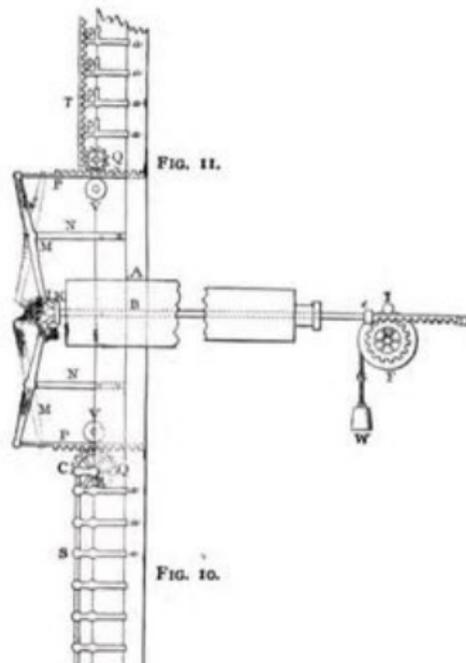
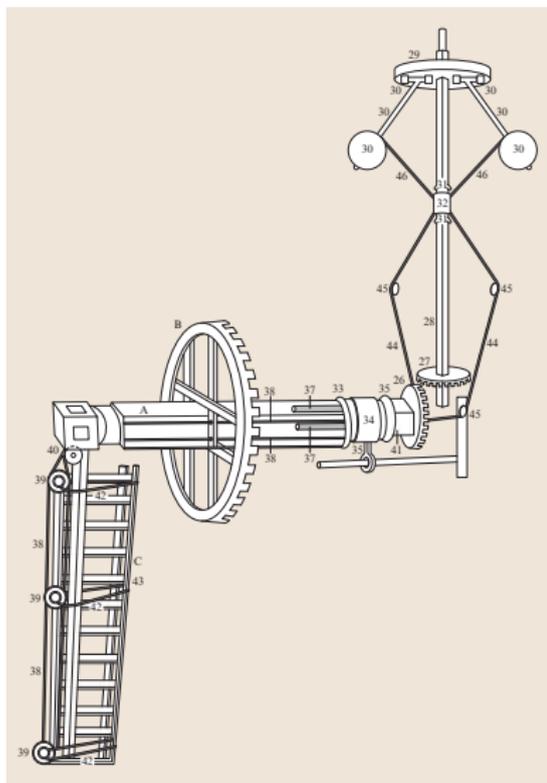
Régulateur à boules pour les moulins à vent



- 1 L'axe vertical est entraîné par la vitesse de rotation des ailes.
- 2 Avec la force centrifuge, les boules s'écartent vers l'extérieur.
- 3 Cela permet d'actionner une barre : "serre-meules".

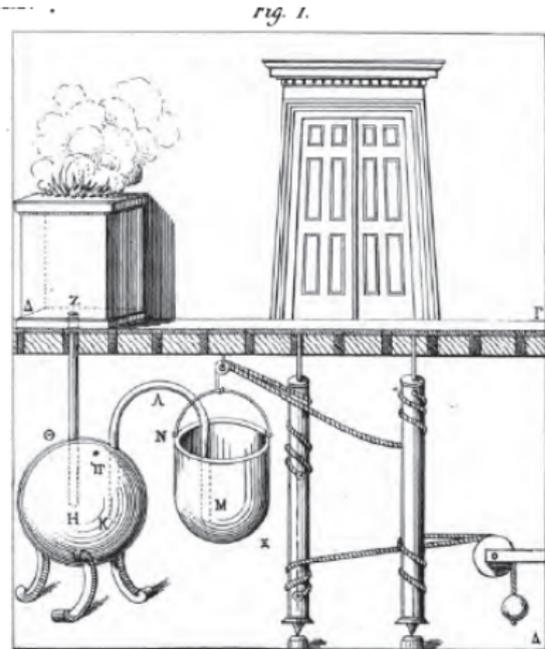
Le contrôle des moulins à vent

- Ajustement de la surface des ailes (T. Mead (1787), Cubit (1807)).



Les premières machines à vapeur

- **Eolipyle**, **Héron d'Alexandrie** (1^{er} siècle après J.C.).



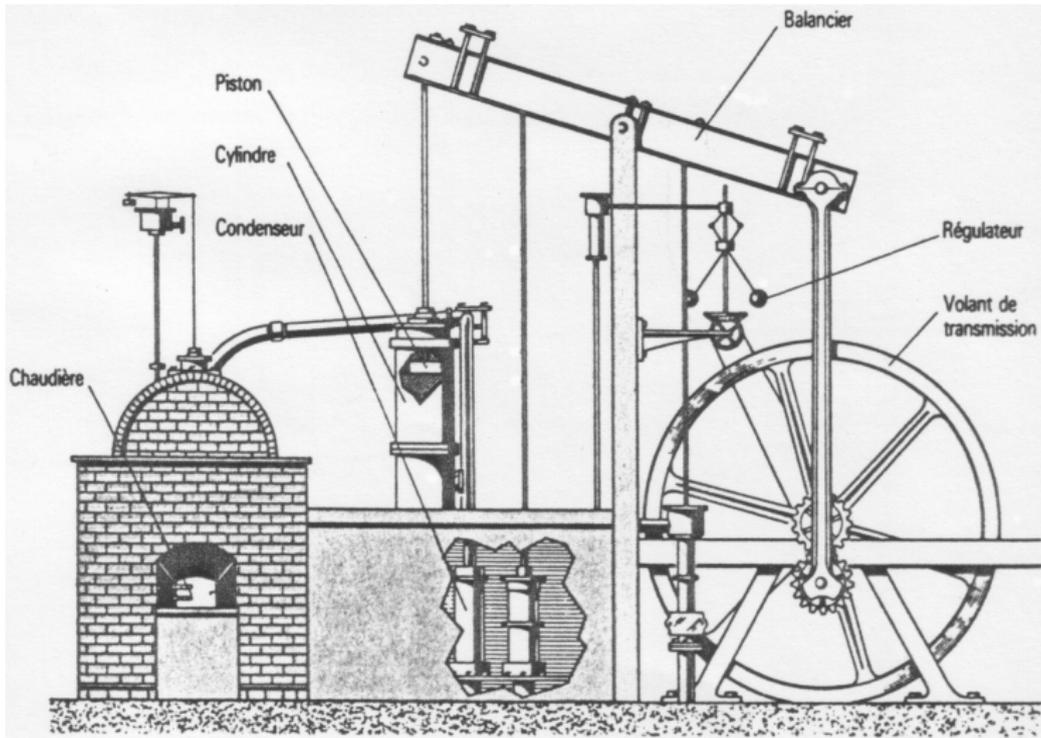
(<http://www.youtube.com/watch?v=NKs3pbkaF04>)

Révolution industrielle

- **La machine à vapeur :**
 - **Denis Papin** (1647-1712) : chaudière, soupape, piston.
 - **Thomas Savery** (1650-1715) : pompe pour l'exploitation minière (système de drainage).
 - **Thomas Newcomen** (1664-1729) : machine à balancier.
 - **James Watt** (1736-1819) : régulateur de Watt, ...
- **Moteur à combustion** : transformation de l'énergie thermique de la vapeur d'eau en énergie mécanique (\Rightarrow **thermodynamique**).
- “ It is extremely important to realize that the Industrial Revolution did not start until the invention of improved engines and **automatic control systems to regulate them**”
(F. L. Lewis, *Applied Optimal Control and Estimation*, Prentice-Hall, 1992.).

Premières machines à vapeur

- **Thomas Newcomen** (1664-1729) : système de drainage de mines.



Régulateur de Watt

- Régulateur à boules (~ 1783) : James Watt (1736-1819)

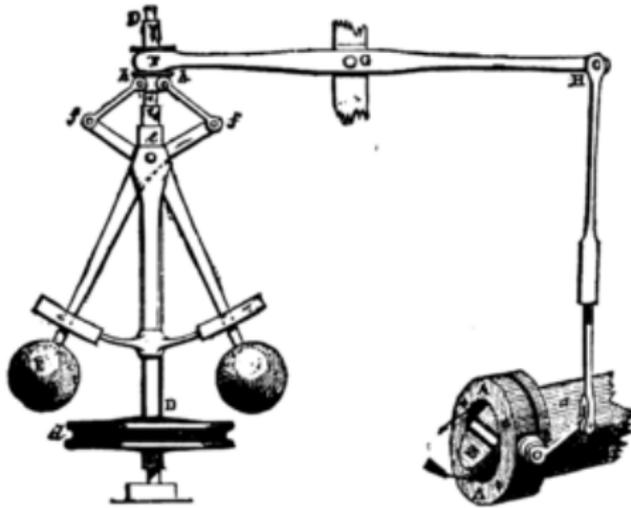


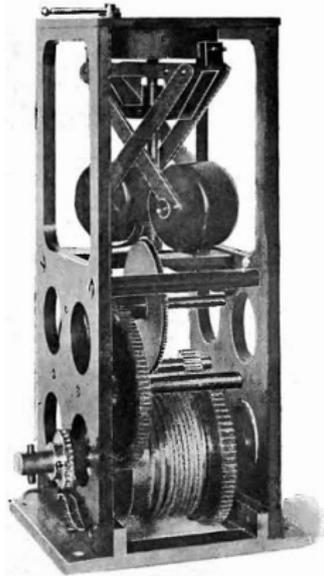
FIG. 4.—Governor and Throttle-Valve.



(<http://www.youtube.com/watch?v=M2LsvSQ--wc>
http://www.youtube.com/watch?v=3x3Mo6_8zGc)

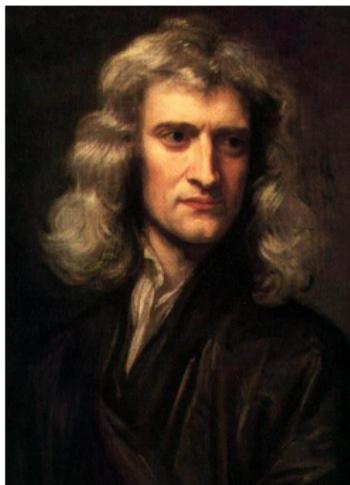
Les prémisses de la théorie du contrôle

- **George Biddell Airy** (1801-1892) construit un régulateur pour les télescopes afin de compenser l'effet de la rotation de la Terre.
- De tels régulateurs induisent des **oscillations indésirables**.
- Airy établit **la première étude mathématique** du problème.



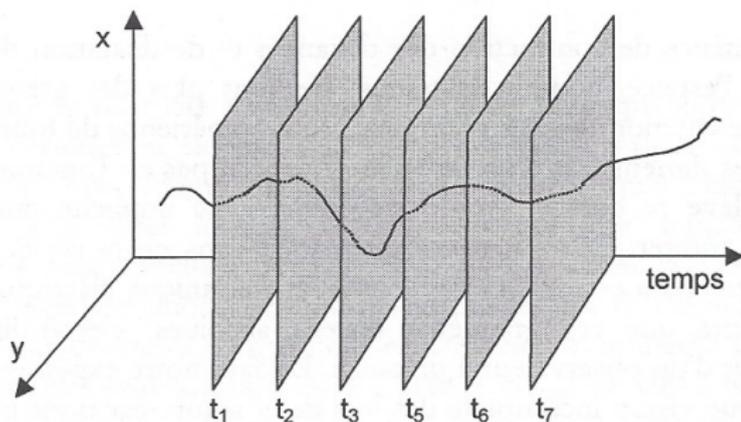
Mécanique et calcul différentiel

- **Mécanique** : Détermination du mouvement des corps et de l'évolution de leur mouvement avec le temps.
⇒ détermination de leurs positions, vitesses, accélérations. . .
- Nécessité de développer un nouveau calcul : **le calcul différentiel**
- **Isaac Newton (1643-1727)**, **Leibniz (1646-1716)**



Temps en mécanique

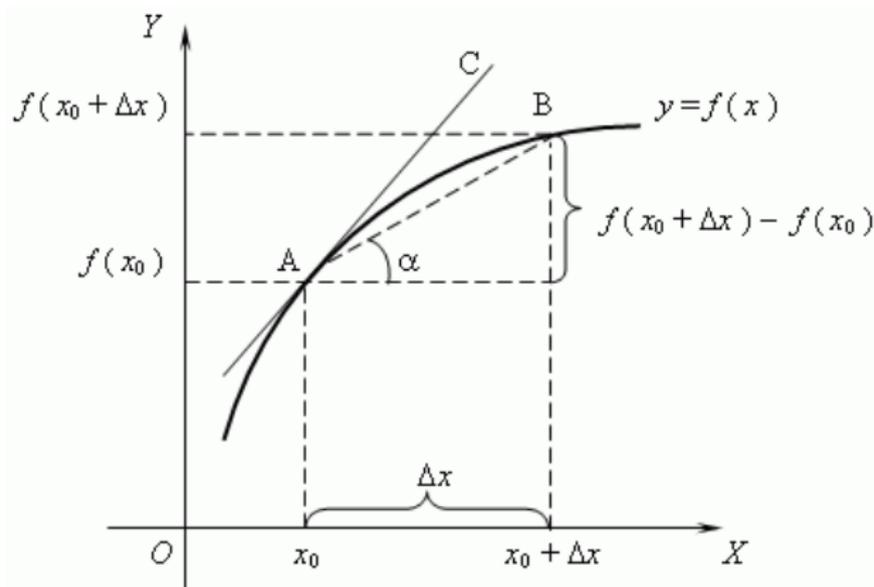
- Le temps conduit l'évolution des phénomènes.
- Le temps est une **structure ordonnée** : passé, présent, futur.
- **Temps universel** : une seule horloge bat les secondes partout à la même cadence $(t \in \mathbb{R} \mapsto (x(t), y(t), z(t)) \in \mathbb{R}^3)$.
- **Simultanéité** : 2 événements sont simultanés s'ils surviennent au même instant.



Calcul différentiel

- La **vitesse instantanée** en t_0 de $t \mapsto y = f(t)$ est définie par :

$$v(t_0) = \frac{df}{dt}(t_0) := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(t_0 + \Delta t) - f(t_0)}{\Delta t}.$$



Calcul différentiel

- La **vitesse instantanée** en t_0 de $t \mapsto y = f(t)$ est définie par :

$$v(t_0) = \frac{df}{dt}(t_0) := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(t_0 + \Delta t) - f(t_0)}{\Delta t}.$$

- On peut considérer la **vitesse de $f(t)$ pour tout t** :

$$t_0 \mapsto v(t_0).$$

- L'**accélération instantanée** en t_0 de $t \mapsto f(t)$ est définie par :

$$a(t_0) = \frac{dv}{dt}(t_0) = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{v(t_0 + \Delta v) - v(t_0)}{\Delta v} = \frac{d^2 f}{dt^2}(t_0).$$

- On peut considérer l'**accélération de $f(t)$ pour tout t** :

$$t_0 \mapsto a(t_0).$$

Les 3 lois de la mécanique

- **Newton** : *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687)
- **1^{ère} loi** : “Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état”.
- **2^{ème} loi** : “Une force agissant sur un corps lui donne une accélération qui est dans la direction de la force et a la grandeur inversement proportionnelle à la masse du corps”.
- **3^{ème} loi** : “Toutes les fois qu'un corps exerce une force sur un autre corps, le dernier exerce une force de la grandeur égale et de la direction opposée sur le premier”.
- **2^{ème} loi** : $m \vec{a}(t) = \vec{F}_1(t) + \dots + \vec{F}_r(t)$, $\vec{f}(0) = \vec{A}$, $\vec{v}(0) = \vec{B}$.
- **1^{ère} loi** : $m \vec{a}(t) = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}(t) = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v}(t) = \text{const.}$

Chute des corps

- **Newton** : Loi de la gravitation universelle :

$$\vec{F} = G \frac{m M}{r^2} \vec{u} \quad (g := G \frac{M}{r^2} \sim 9.81).$$

- **Chute d'un corps** de la hauteur h avec une vitesse initiale v_0 :

$$m \frac{d^2 z(t)}{dt^2} = -m g \Rightarrow \frac{d^2 z(t)}{dt^2} = -g \Rightarrow z(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 t + h.$$

- ★ Si $v_0 = 0$, le corps touche **le sol** au temps T :

$$-\frac{1}{2} g T^2 + h = 0 \Rightarrow T = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

- ★ La vitesse au sol est : $v(T) = \frac{dz}{dt}(T) = -g T = -\sqrt{2gh}$.

- James Clerk Maxwell (1831-1879) : “On Governors”, Proceedings of the Royal Society of London, 16 (1868), 270-283.



“A GOVERNOR is a part of a machine by means of which the velocity of the machine is kept nearly uniform, notwithstanding variations in the driving-power or the resistance”.

Distinction between Moderators and Governors.

In regulators of the first kind, let P be the driving-power and R the resistance, both estimated as if applied to a given axis of the machine. Let V be the normal velocity, estimated for the same axis, and $\frac{dx}{dt}$ the actual velocity, and let M be the moment of inertia of the whole machine reduced to the given axis.

Let the governor be so arranged as to increase the resistance or diminish the driving-power by a quantity $F\left(\frac{dx}{dt} - V\right)$, then the equation of motion will be

$$\frac{d}{dt}\left(M\frac{dx}{dt}\right) = P - R - F\left(\frac{dx}{dt} - V\right). \dots\dots (1)$$

When the machine has obtained its final rate the first term vanishes, and

$$\frac{dx}{dt} = V + \frac{P - R}{F}. \dots\dots (2)$$

Hence, if P is increased or R diminished, the velocity will be permanently increased. Regulators of this kind, as Mr. Siemens* has observed, should be called moderators rather than governors.

In the second kind of regulator, the force $F\left(\frac{dx}{dt} - V\right)$, instead of being applied directly to the machine, is applied to an independent moving piece, B, which continually increases the resistance, or diminishes the driving-power, by a quantity depending on the whole motion of B.

If y represents the whole motion of B, the equation of motion of B is

$$\frac{d}{dt}\left(B\frac{dy}{dt}\right) = F\left(\frac{dx}{dt} - V\right). \dots\dots (3)$$

and that of M

$$\frac{d}{dt}\left(M\frac{dx}{dt}\right) = P - R - F\left(\frac{dx}{dt} - V\right) + Gy. \dots\dots (4)$$

where G is the resistance applied by B when B moves through one unit of space.

Les premiers réseaux de télécommunications

- Premier télégraphe : **Samuel Morse** (1791-1872), 1837, USA.
- Première ligne entre Baltimore et Washington : 1844.
- Cable transatlantique : 1866.
- **L'invention du téléphone** est brevetée en 1876 par **A. G. Bell** (1847-1922).
- Premier appel téléphonique par le système Bell : 1878.
- Première ligne longue distance entre Boston et Salem : 1881.



Les premiers réseaux de télécommunications

- Le réseau téléphonique se développe rapidement sur la côte Est (**American Telephone & Telegraph Company (AT&T)**) (1891).

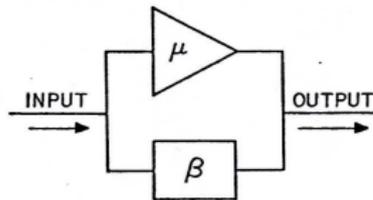


Vaincre la distance !

- 1915, exposition panaméricaine : AT&T fait l'expérience d'une ligne téléphonique longue distance : New York-San Francisco.
- Le but est de montrer que AT&T a la capacité de réaliser des liaisons transcontinentales.
- Comment vaincre l'atténuation du son sur une longue distance ?
- AT&T utilise des amplificateurs et des répéteurs de manière régulière sur la ligne.
- Les triodes (Lee Forest) puis les tubes à vide (Harold Arnold) utilisés introduisent une distorsion du signal de sortie.
- Ces distorsions s'ajoutent sur toute la ligne !

Vaincre la distance !

- **Harold Black** (1898-1983) **redécouvre le feedback négatif** utilisé dans la clepsydre, le régulateur de Watt, ... (**Bell Laboratories**).
- Le “**negative feedback amplifier**” de Black permet de **stabiliser un amplificateur** quitte à une **perte du gain** de ce dernier.



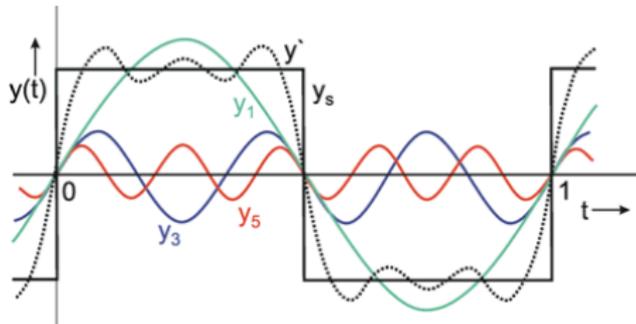
$$\begin{aligned}\frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} &= A_F = \frac{\mu}{1 - \mu\beta} \\ &= \frac{1}{-\beta} \left[1 - \frac{1}{1 - \mu\beta} \right]\end{aligned}$$

Fig. 2. A copy of the famous Lackawanna Ferryboat sketch made in 1927 by H. S. Black. (Provided to J. E. Brittain by Black on Feb. 14, 1977.)

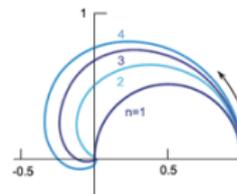
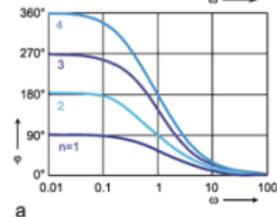
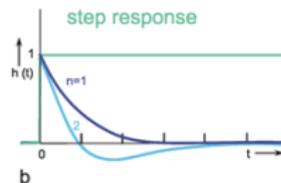
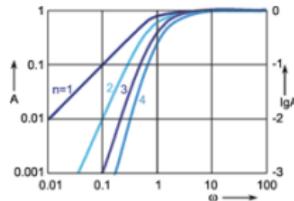
- Les travaux de Black sont repris et développés par **Harry Nyquist** (1889-1976) et **Hendrik Wade Bode** (1905-1982) (**Bell Labs**).

La naissance de la théorie du contrôle

- Ils développent l'approche fréquentielle de l'automatique



les schémas-blocs et les diagrammes de Black, Nyquist et Bode.



- Le développement de la théorie du contrôle s'amplifiera durant la seconde guerre mondiale.
- **Norbert Wiener** (1894-1964) crée la **cybernétique** (1947) dont l'étymologie vient du mot grec "kubernêtikê" (**pilote, gouverneur**).
- **Platon** l'utilisait déjà pour désigner l'art de gouverner les navires et les hommes.
- Il est repris par **André-Marie Ampère** (1775-1836) dans *Essai sur la philosophie des sciences ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*, 1834, §IV, 3.
- Quelques grands noms de l'**automatique moderne** :
 - **L. S. Pontriaguine** (1908-1988),
 - **C. E. Shannon** (1916-2001),
 - **R. E. Bellman** (1920-1984),
 - **R. Kalman** (1930- -), ...

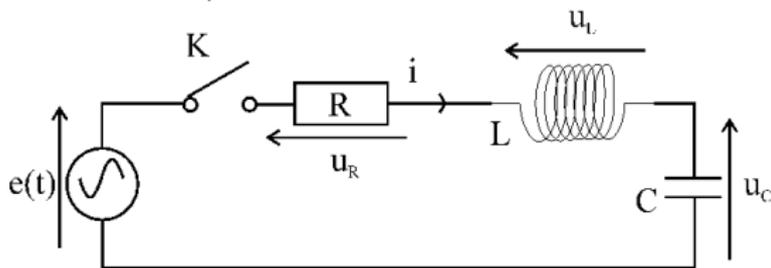
Théorie mathématique des systèmes

- Les **phénomènes naturels** peuvent être modélisés par des systèmes différentiels, c-à-d par des systèmes d'**équations entre certaines dérivées de fonctions inconnues**.

⇒ **systèmes mécaniques, chimiques, biologiques, économiques, ...**

- “La nature est un livre écrit en langage mathématique”, Galilée.

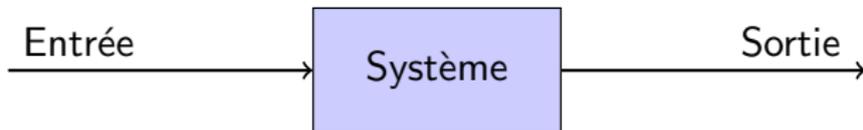
- **Exemple** : Circuit électrique RLC : e tension du générateur, R résistance, L inductance, C condensateur



$$\Rightarrow LC \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + RC \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = e(t).$$

Théorie des systèmes et théorie du contrôle

- La **théorie mathématique des systèmes** a pour but l'étude des systèmes via leur modélisation mathématique.
- On représente un système comme ci-dessous (**schéma-bloc**) :

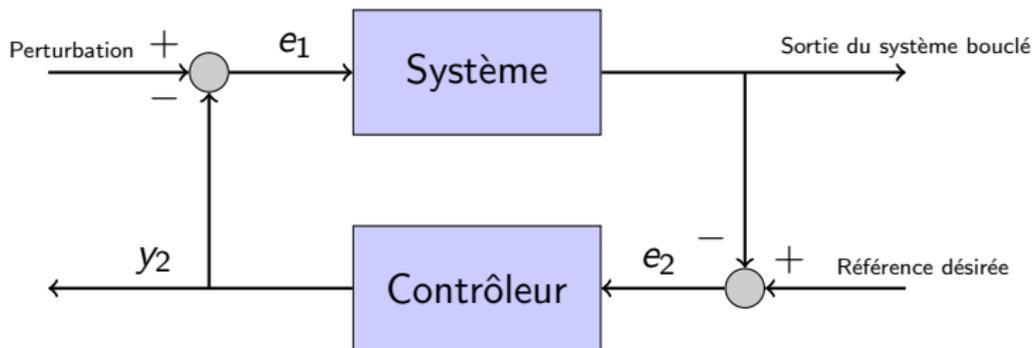


Entrée : commande du système, **Sortie** : production du système.

- La **théorie du contrôle** est une branche de la théorie des systèmes qui s'intéresse à la **commande/au contrôle/à la régulation des systèmes** en respectant un cahier des **charges/contraintes** (stabilité, rapidité, performances, énergie utilisée, ...).

Contre-réaction ou feedback

- Un problème central de la théorie du contrôle est la construction de **lois de commande/contrôleurs/feedbacks** du système afin de contrôler, stabiliser, optimiser, faire suivre une référence, réduire la sensibilité aux perturbations, . . . , la sortie du système bouclé.



e_2 = différence entre la référence désirée et la sortie du système.

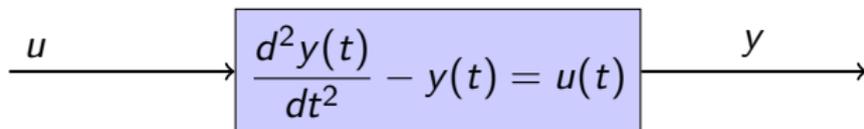
- **Problème** : Développer une loi de commande qui stabilise un système instable (avec des modes résonnants).
- **James Clerk Maxwell** (1831-1879) est le premier à avoir étudié ce problème et à avoir apporté une réponse générale :

$$a_n \frac{d^n z(t)}{dt^n} + \dots + a_2 \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dz(t)}{dt} + a_0 z(t) = 0 \quad (1)$$

$$\Rightarrow a_n x^n + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 = 0 \quad (2)$$

- **Théorème** : Le système (1) est *exponentiellement stable* si les n solutions complexes $x := \operatorname{Re}(x) + i \operatorname{Im}(x)$ du polynôme (2) ont une *partie réelle $\operatorname{Re}(x)$ strictement négative*.
- **Routh** et **Hurwitz** ont donné des tests de la stabilité basés sur les coefficients a_i de (2) (aucun calcul explicite des solutions).
- **A. M. Lyapunov** (1857-1918) : *méthode basée sur l'énergie*.

Etude de la stabilisation



- Si $u = 0$ (pas de commande), le système est **instable** :

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} - y(t) = 0 \Rightarrow x^2 - 1 = 0 \Leftrightarrow x = \{-1, 1\}.$$

- Si l'on considère le **contrôle/feedback** $u(t) = k_1 y(t) + k_2 \frac{dy(t)}{dt}$

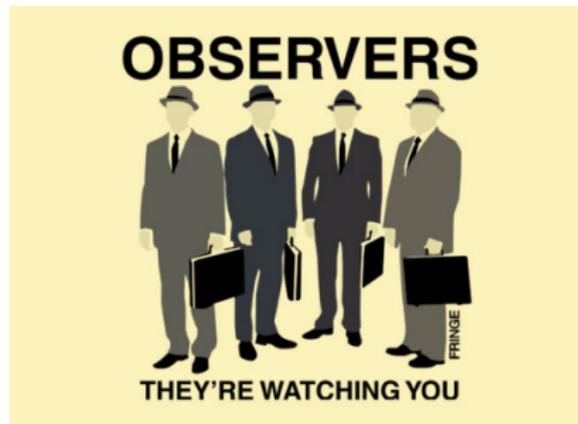
$$\Rightarrow \text{système bouclé : } \frac{d^2y(t)}{dt^2} - k_2 \frac{dy(t)}{dt} - (k_1 - 1)y(t) = 0. \quad (*)$$

- On choisit k_1 et k_2 afin que (*) soit stable.
- Avec $k_1 = 0$, $k_2 = -2$, nous avons :

$$x^2 - k_2 x - (k_1 - 1) = 0 \Rightarrow x^2 + 2x + 1 = (x+1)^2 = 0 \Leftrightarrow x = \{-1, -1\}.$$

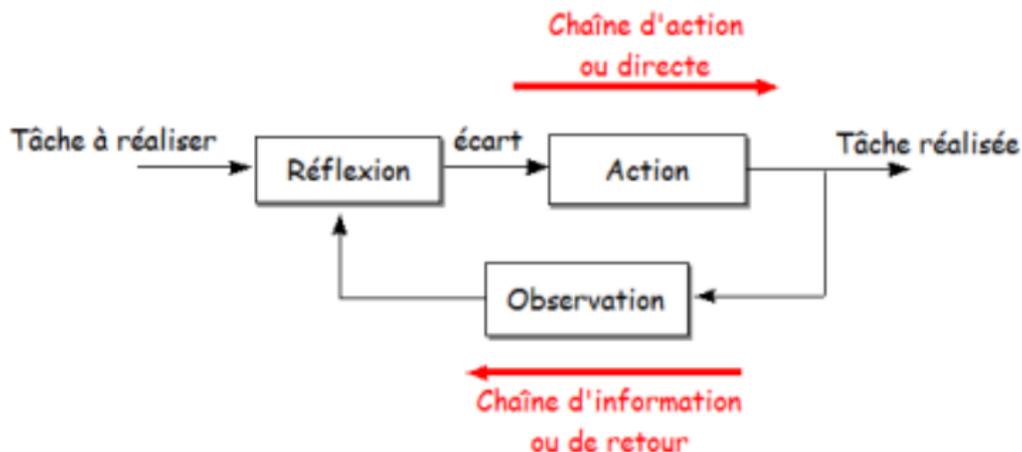
Observateurs

- Pour la **loi de commande** $u(t) = -2 \frac{dy(t)}{dt}$, il faut **mesurer** $\frac{dy(t)}{dt}$.
 - Pour cela, il faut soit :
 - construire un **observateur** (“observer”), c-à-d un système donnant une bonne approximation de la dérivée $\frac{dy(t)}{dt}$ de $y(t)$.
 - **filtrer** la dérivée $\frac{dy(t)}{dt}$ du signal $y(t)$ (**sensibilité aux bruits**).
- ⇒ **Problème de la mesure!** (estimation, filtrage, capteurs, ...).

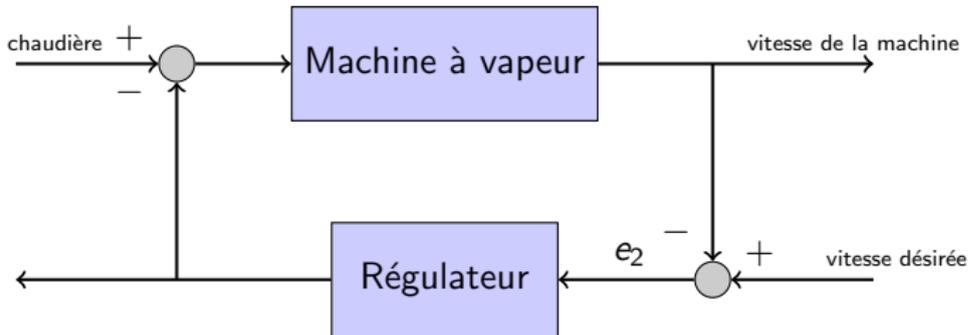
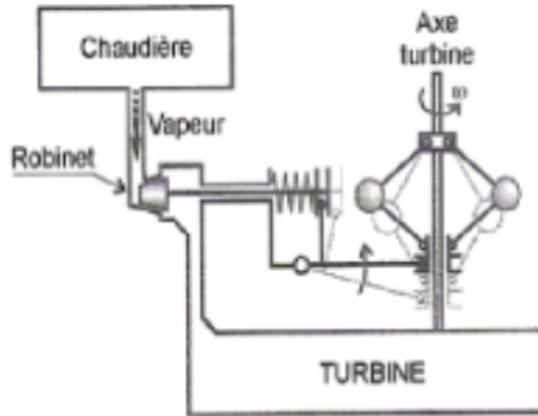


Contrôleurs et observateurs, actionneurs et capteurs

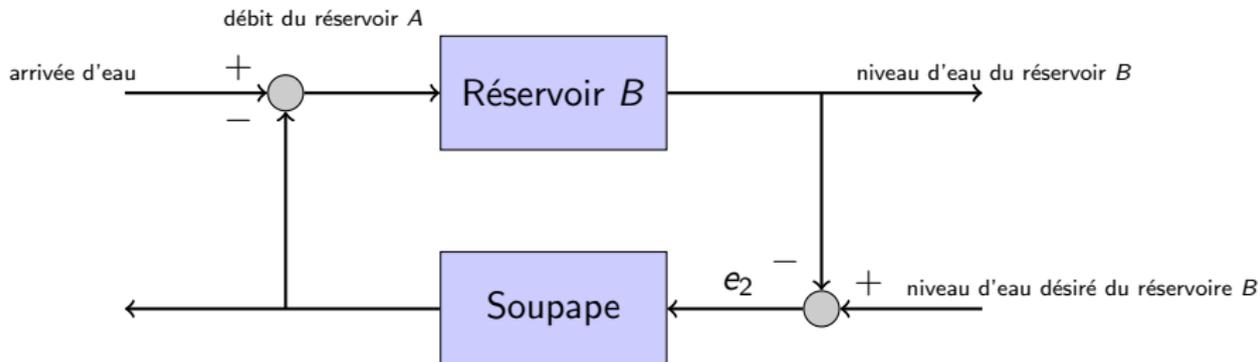
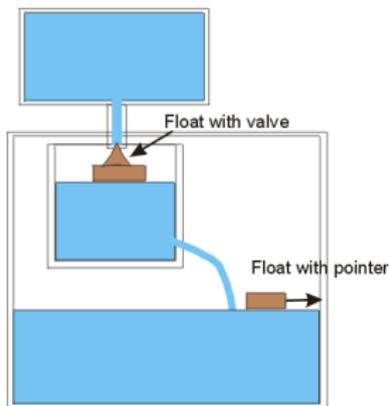
- Contrôleurs et observateurs, actionneurs et capteurs.



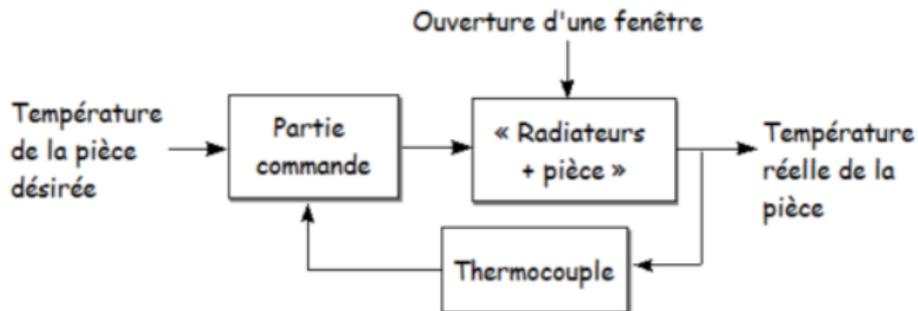
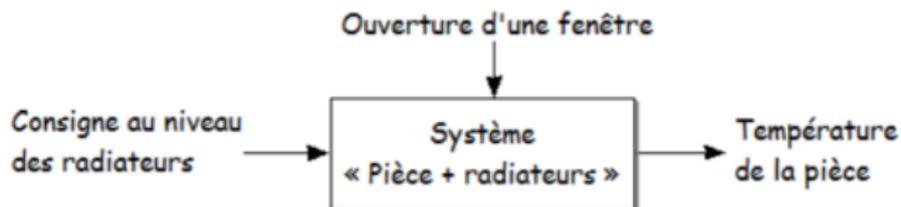
Régulateur de Watt



Contrôle du réservoir B de la clepsydre



Régulation de la température d'une pièce



Phénomène de résonance

- **Wikipédia** : La **résonance** est un phénomène selon lequel certains systèmes physiques (électriques, mécaniques. . .) sont sensibles à certaines fréquences.

Un système résonnant peut **accumuler une énergie**, si celle-ci est appliquée sous forme périodique, et proche d'une fréquence dite "fréquence de résonance" . . .

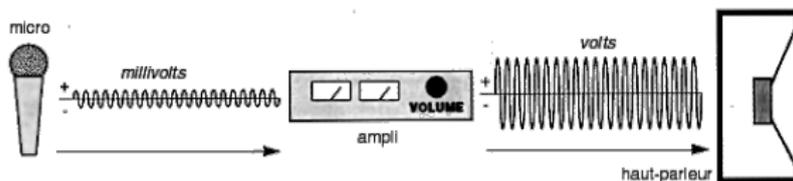
Soumis à une telle excitation, **le système va être le siège d'oscillations de plus en plus importantes, jusqu'à atteindre un régime d'équilibre qui dépend des éléments dissipatifs du système, ou bien jusqu'à une rupture d'un composant du système.**

(<http://www.youtube.com/watch?v=QhwuYDfATLc>)

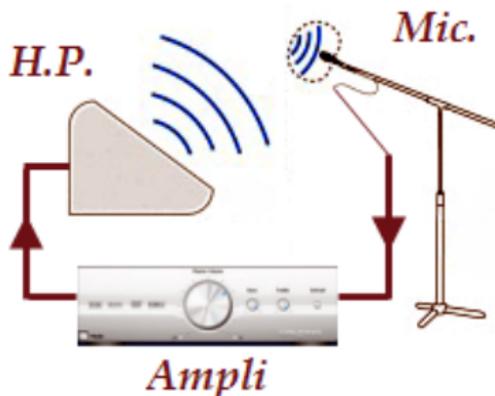
(<http://www.youtube.com/watch?v=AAo9NOAFLqw>)

Effet Larsen : feedback positif

- **Système** : micro-amplificateur-haut-parleur



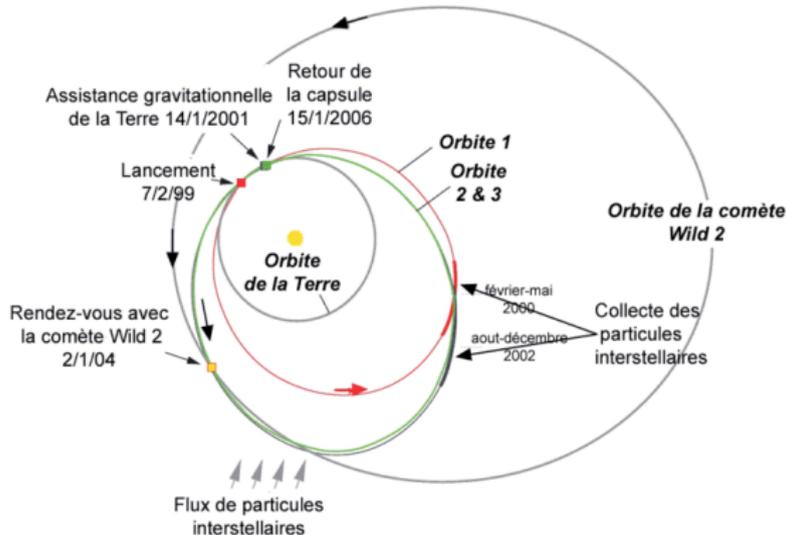
- **Effet Larsen** : Le signal en sortie d'un système d'amplification est injecté en entrée de ce système.



(<http://www.laboiteverte.fr/un-pendule-a-effet-larsen/>)

Stabilisation, optimisation et contraintes

- **Problème central** : Trouver des contrôleurs qui :
 - 1 stabilisent,
 - 2 optimisent des critères
(e.g. minimiser l'énergie ou le temps pour atteindre une cible),
 - 3 satisfont certaines contraintes.



Théorie du contrôle

- “Feedback control is the basic mechanism by which systems, whether mechanical, electrical, or biological, maintain their equilibrium or homeostasis.

In the higher life forms, the conditions under which life can continue are quite narrow. A change in body temperature of half a degree is generally a sign of illness. The homeostasis of the body is maintained through the use of feedback control [Wiener 1948].

A primary contribution of C.R. Darwin during the last century was the theory that feedback over long time periods is responsible for the evolution of species.

In 1931 V. Volterra explained the balance between two populations of fish in a closed pond using the theory of feedback”.

Lewis, Applied Optimal Control and Estimation, Prentice-Hall, 1992.

- Economie : David Hume (1711-1776), Adam Smith (1723-1790).

Dans notre vie quotidienne

- Les systèmes automatisés/contrôlés jouent des rôles de plus en plus importants dans notre vie quotidienne :
 - Robotique = automates + contrôle
 - Réseaux de production (électricité, eau, transport, ...)
 - Usines d'assemblages
 - Rames de métro automatisées
 - Autopilotes d'avions
 - Régulateurs de vitesse des voitures
 - Systèmes de stationnement automatique
 - Casque audio à contrôle actif de bruit, ...

(http://www.dailymotion.com/video/x2xdah_xpark-creneau-automatise-op-ii_auto)

- S. Bennett, *A History of Control Engineering 1800-1930*, Peter Peregrinus Ltd, 1979.
- E. Fernández-Cara, E. Zuazua, "On the history and perspectives of control theory", *Matapli*, 74 (2004), 47-73.
- F. L. Lewis, *Applied Optimal Control and Estimation*, Prentice-Hall, 1992.
- O. Mayr, *The Origins of Feedback Control*, MIT Press, 1970.
- P. Renaud, *Une histoire de la genèse de l'automatique en France 1850-1950*, Thèse de doctorat, CNAM de Paris, 2004.
- M. Triclot, *Le moment cybernétique. La constitution de la notion d'information*, Champ Vallon, 2008.