

ME-221 Systèmes dynamiques

Prof. Dominique BONVIN

Février 2017

dominique.bonvin@epfl.ch

ME-C2 407 693-3843

CONTENU DU COURS

1. **Modélisation mathématique**

- Notion de système
- Système dynamique
- Représentation par variables d'état
- Simulation

2. **Systèmes linéaires**

- Linéarisation
- Convolution
- Propriétés

3. **Transformation de Laplace**

- Définition
- Propriétés
- Concept de fonction de transfert

4. **Analyse de systèmes dynamiques linéaires**

- Réponse temporelle
- Réponse fréquentielle
- Diagrammes de Bode et de Nyquist

DEROULEMENT DU COURS

(voir sur MOODLE cours ME-221 ou <http://la.epfl.ch/page-53050.html>)

Systèmes dynamiques -- Printemps 2017				
Lundi		13 - 15 h	15 - 16 h	Home
		Cours (CM2)	Exos (CM4+5)	Exos Matlab
20	février	Notion de systèmes -- Typologie et propriétés		
27	février	Modélisation	Série 1	Démo 1
6	mars	Modélisation	Série 2	Démo 2
13	mars	Modélisation	Série 3	Démo 3
20	mars	Variables d'état	Série 4	Démo 4
27	mars	Linéarisation	Série 5	Démo 5
3	avril	Systèmes linéaires	Série 6	Démo 6
10	avril	Transformation de Laplace	Série 7	Démo 7

24	avril	Transformation de Laplace	Série 8	Démo 8
1	mai	Fonction de transfert	Série 9	Démo 9
8	mai	Analyse temporelle	Série 10	Démo 10
15	mai	Test		
22	mai	Analyse fréquentielle	Série 11	Démo 11
29	mai	Analyse fréquentielle	Série 12	Démo 12

- **Exercices**

Séries d'exercices à la fin du polycopié. |

Corrigé distribué à la fin de chaque séance d'exercices.

- **Assistants**

- Sandra <u>Brella</u>	ME-C2 391-35930	alexandra.brella@epfl.ch
- Predrag <u>Milosavljevic</u>	ME-C2 424-39644	predrag.milosavljevic@epfl.ch
- Martand <u>Singhal</u>	ME-C2 396-32922	martand.singhal@epfl.ch
- Diogo Rodrigues	ME-C2 424-35922	diogo.mateusrodrigues@epfl.ch
- Cyrille <u>Aeby</u>	GM-MA2	cyrille.aeby@epfl.ch
- Simon <u>Hayoz</u>	GM-MA2	simon.hayoz@epfl.ch
- Grégoire Gentile	GM-MA2	gregoire.gentile@epfl.ch
- Antoine <u>Alleon</u>	GM-MA2	antoine.alleon@epfl.ch

- **Support écrit**

D. Bonvin, Polycopié "*Systèmes dynamiques*", Février 2015.

- **Examen écrit en été**

avec possibilité de contrôle continu (test du 15 mai).

Bon semestre à toutes et à tous

Systèmes dynamiques

1. Examen écrit en été

- Résolution de problèmes similaires à ceux des exos. Accent sur la compréhension, c'est-à-dire peu de calcul mais réflexion préalable indispensable. Aucun élément de mémorisation.
- Vous trouvez d'anciens examens à la fin du polycopié, A et B (non résolus) et C et D (résolus).
- Durée 3h.
- Documents autorisés: tous.

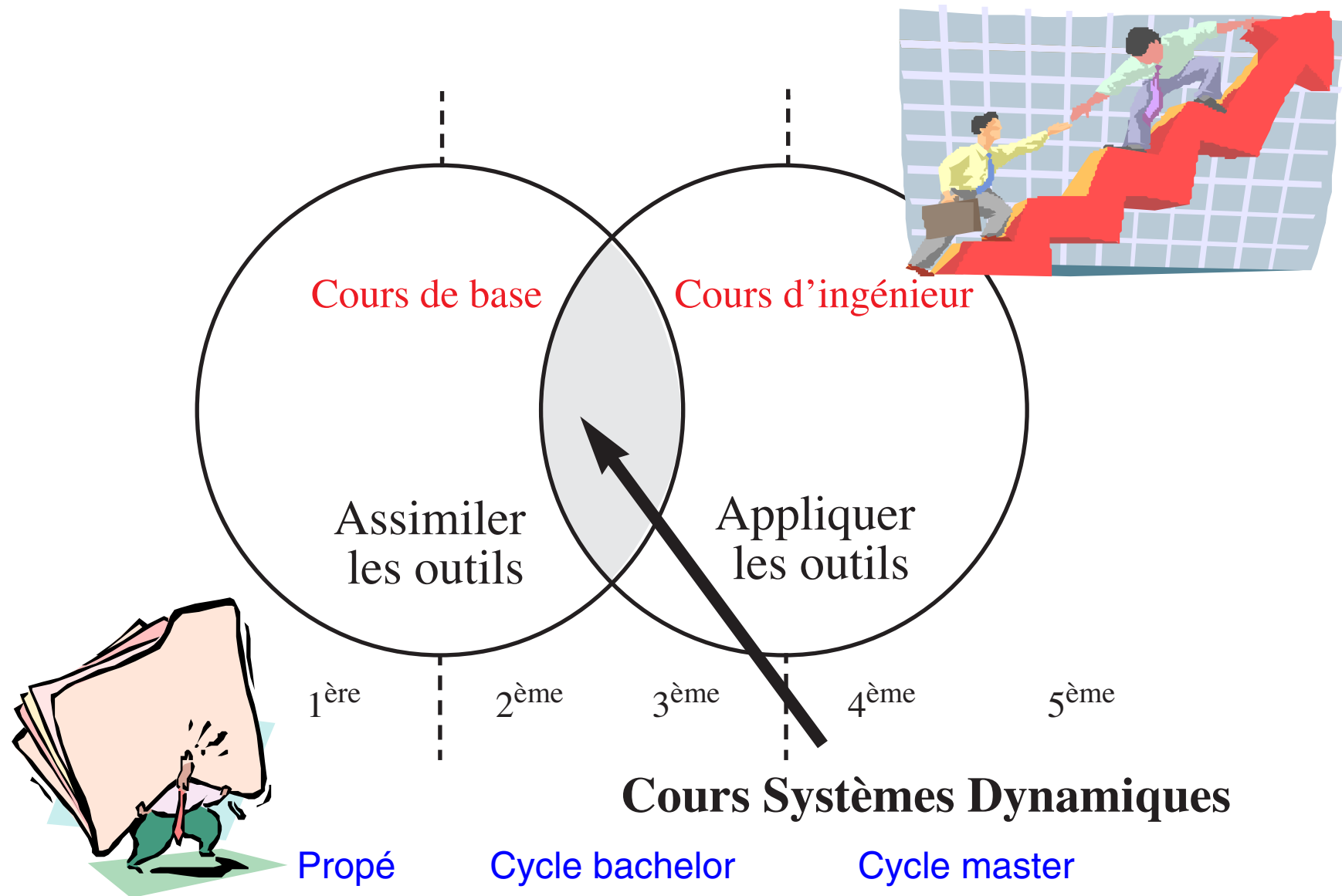
Remarques : Vous n'aurez pas le temps d'apprendre ou de chercher ; par contre, vous pourrez retrouver facilement une formule connue. Ça ne sert à rien de recopier le polycopié ; répondre brièvement et clairement.

Conseil : d'abord une esquisse au brouillon et ensuite votre solution sur la feuille d'examen.

2. Contrôle continu facultatif (test du 15 mai)

Le résultat de ce contrôle continu est utilisé uniquement s'il est supérieur à la note de l'examen. Dans ce cas, la note finale sera pondérée au 2/3 par la note de l'examen et à 1/3 par la note du contrôle continu.

Motivation du Cours



Objectifs

- Introduire de nouveaux outils mathématiques
- Placer des outils connus dans leur contexte d'application



- Préparation, entre autres pour les cours de d'automatique, électronique et mécanique vibratoire

Systèmes dynamiques

Système : Ensemble d'éléments en interaction
Entité ou objet "technique" que l'on désire étudier

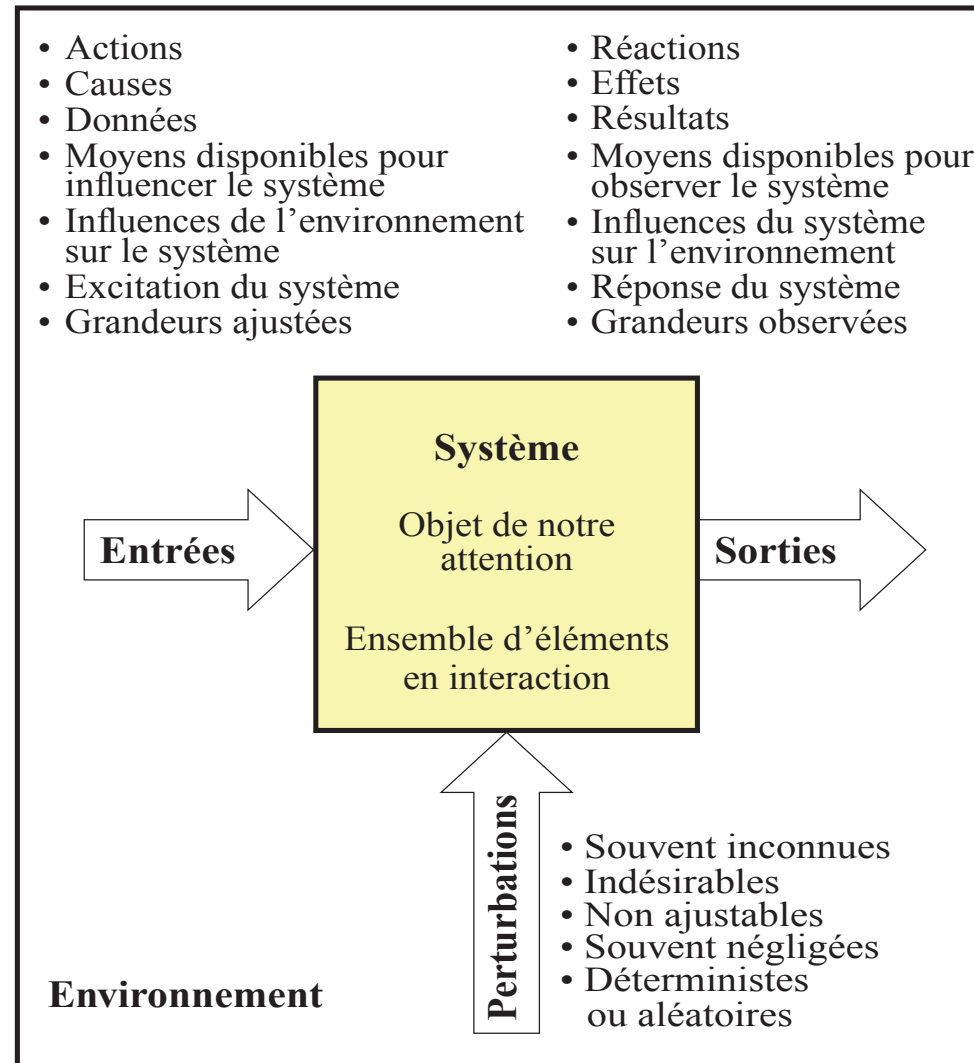
Dynamique : Etude de l'*évolution dans le temps* d'un système
≠ statique



Matériel : machine-outil, turbine, avion

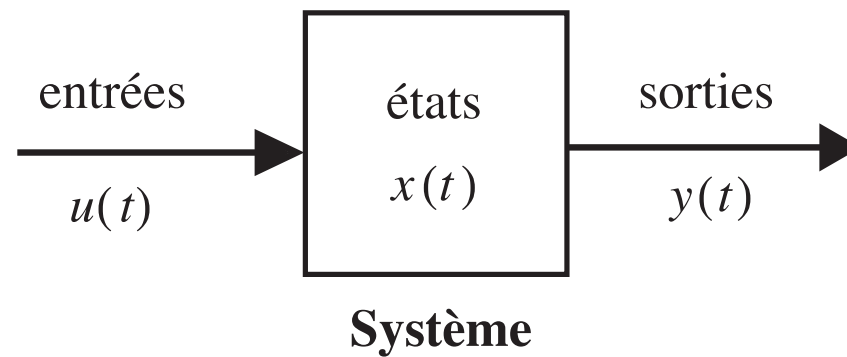
Immatériel : programme d'ordinateur, entreprise, société financière

Systeme et environnement



Etude des systèmes

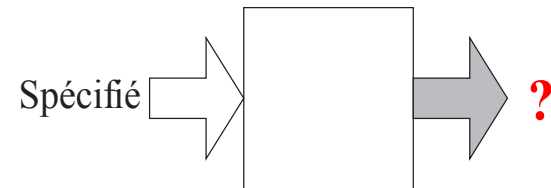
Etat d'un système : Grandeurs internes susceptibles d'évoluer au cours du temps



On représente souvent un système dynamique par un **système d'équations différentielles**

Domaines d'application

Simulation



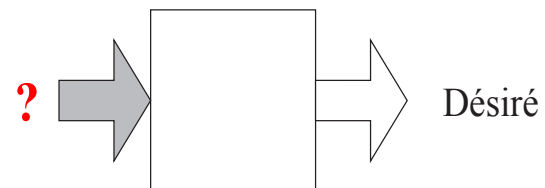
Conception



Identification

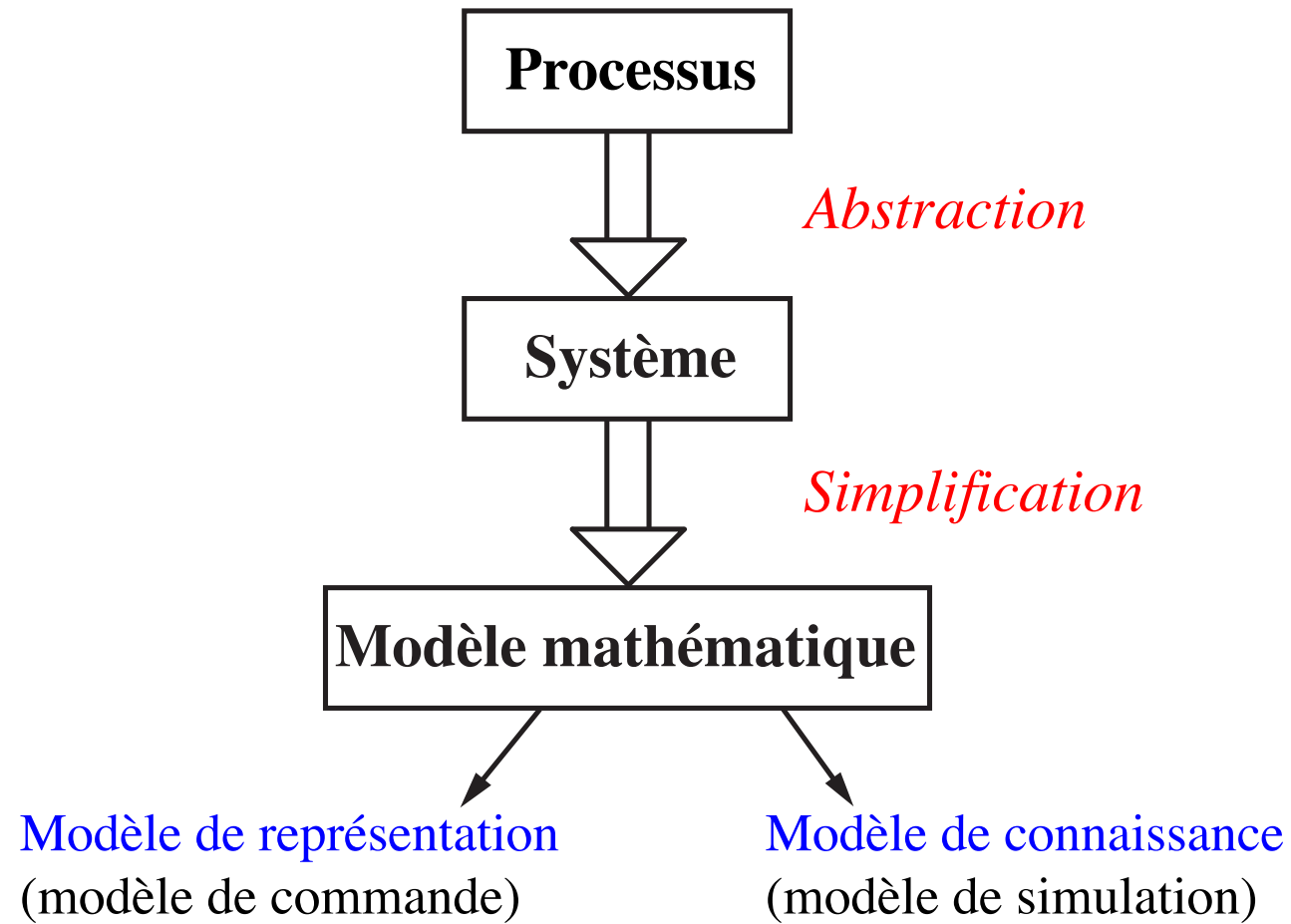


Commande



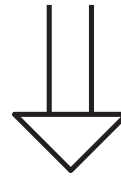
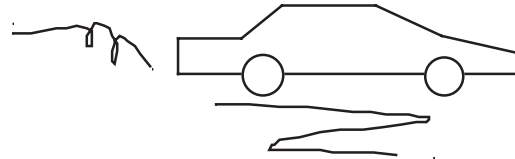
Démarche de modélisation

Modélisation



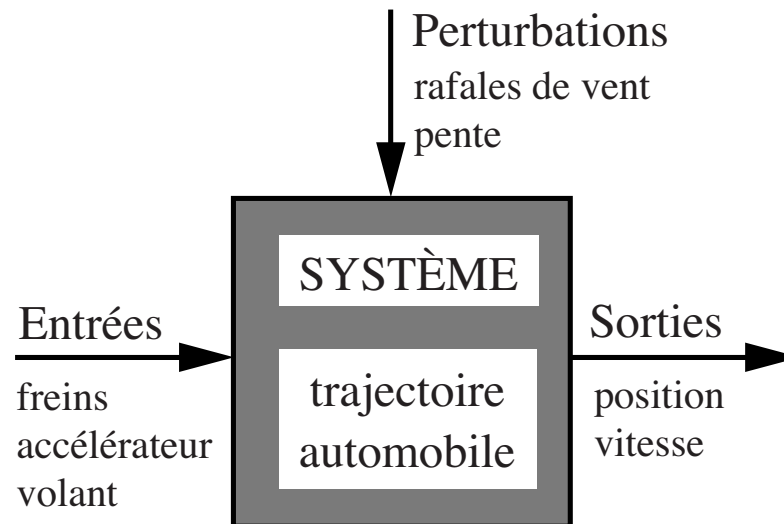
Trajectoire d'une automobile

Processus



Abstraction

Système



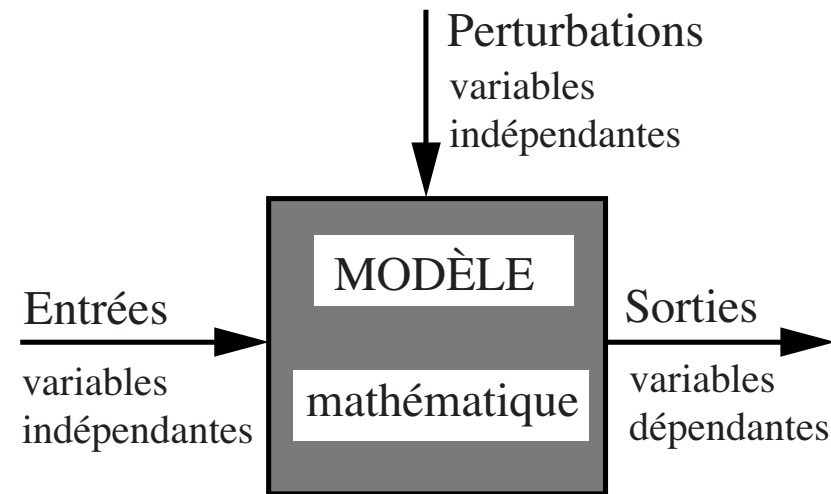
Trajectoire d'une automobile

Système



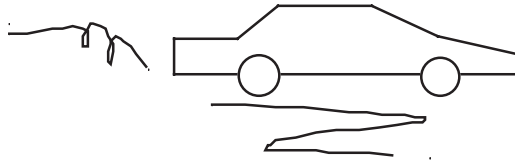
Simplification

Modèle



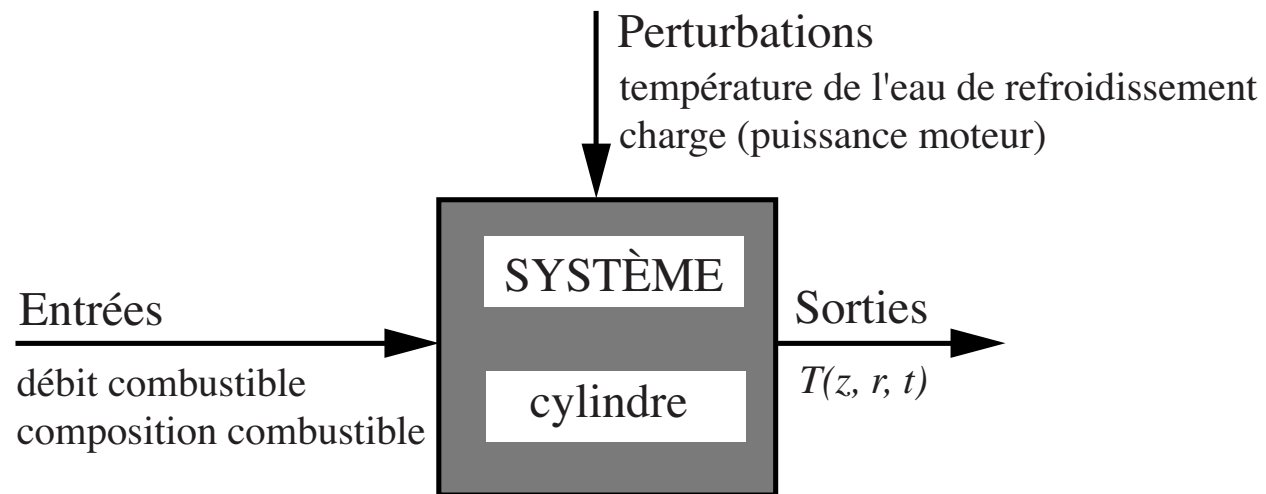
Etude thermique d'un moteur

Processus



Abstraction

Système



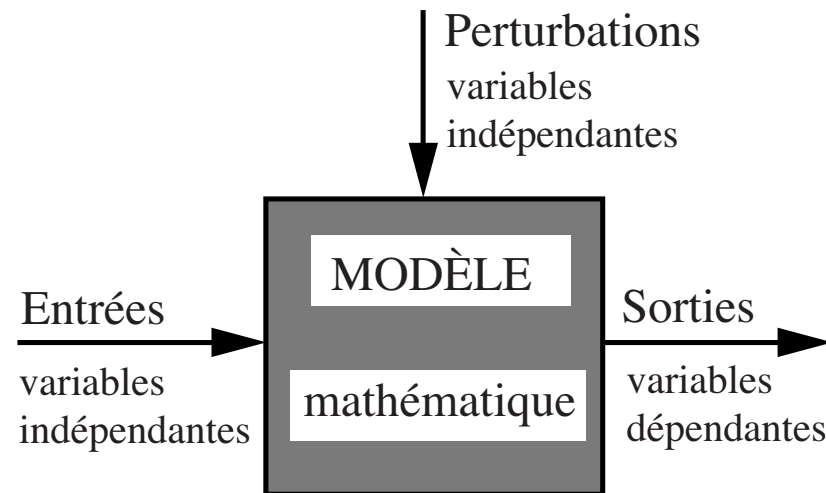
Etude thermique d'un moteur

Système

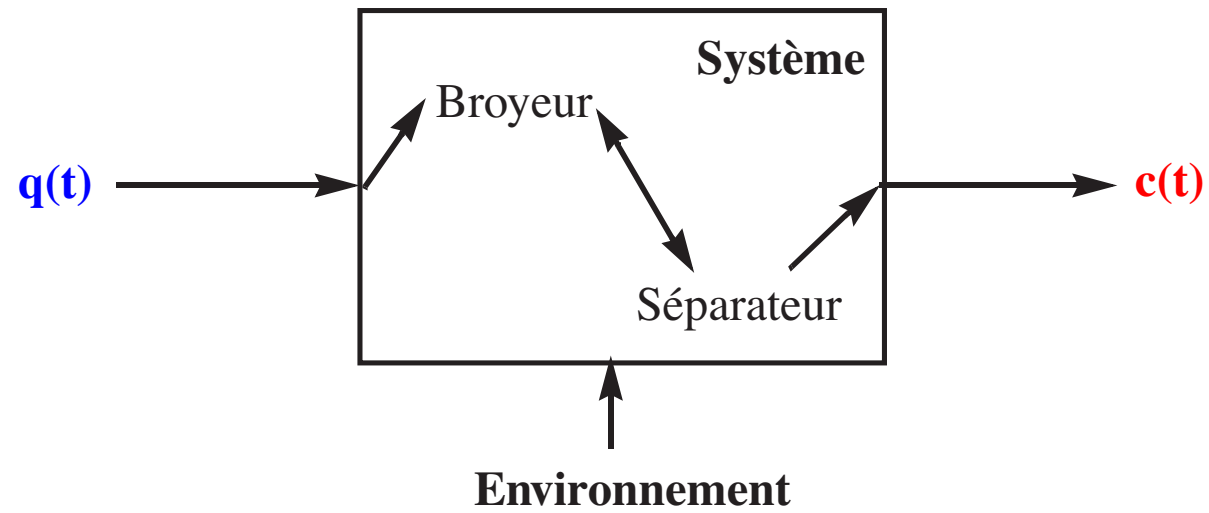
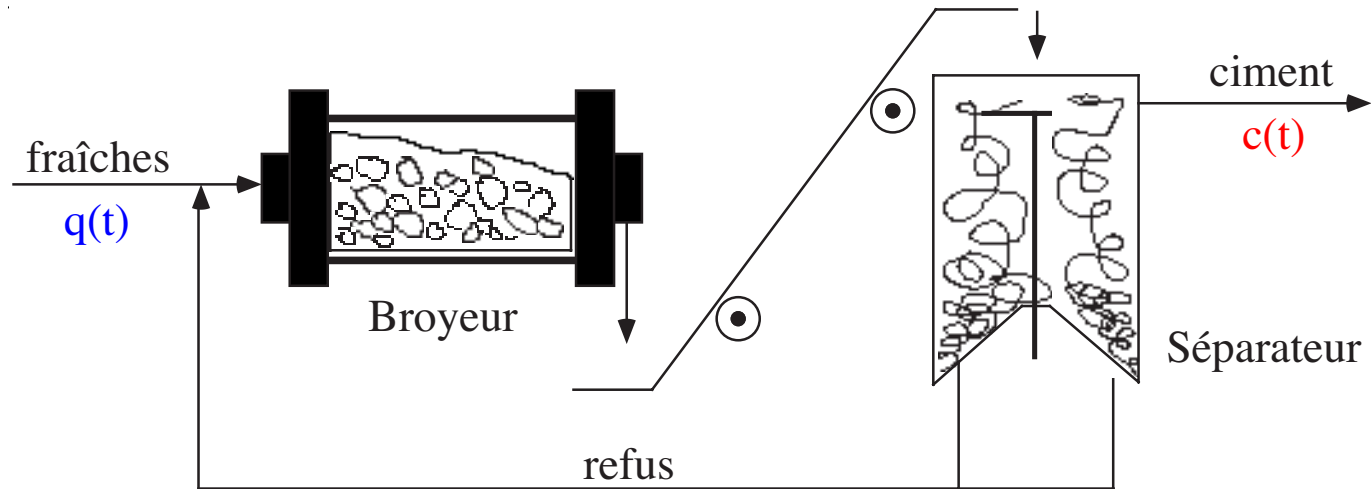


Simplification

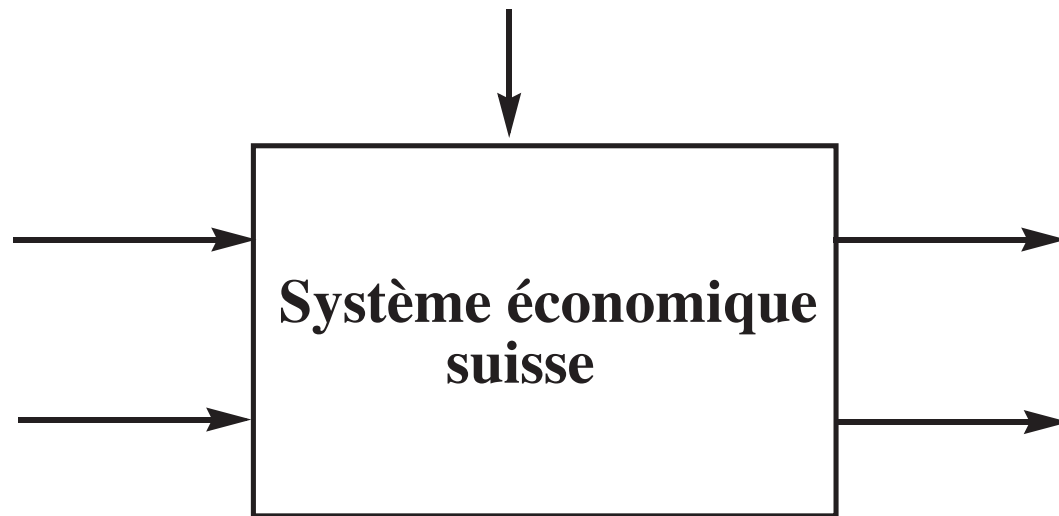
Modèle



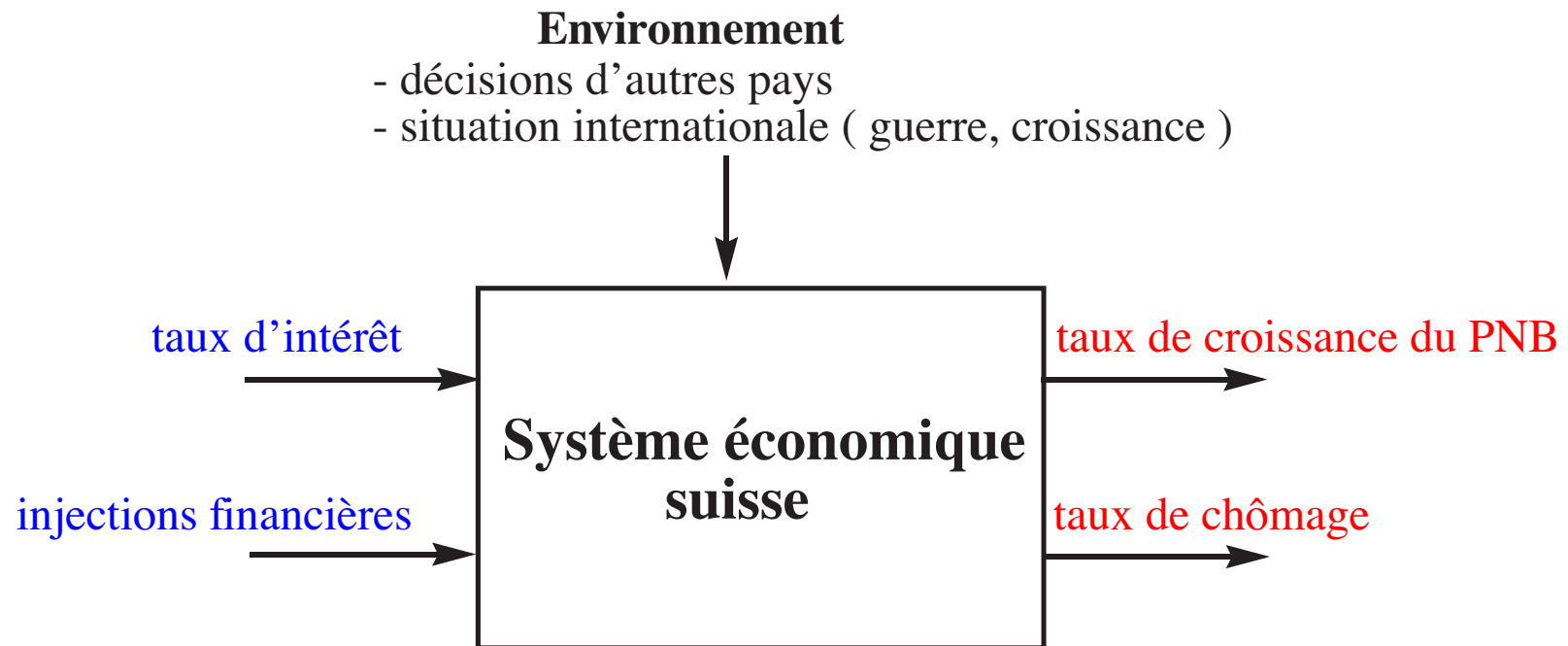
Broyeur à ciment



Systeme économique

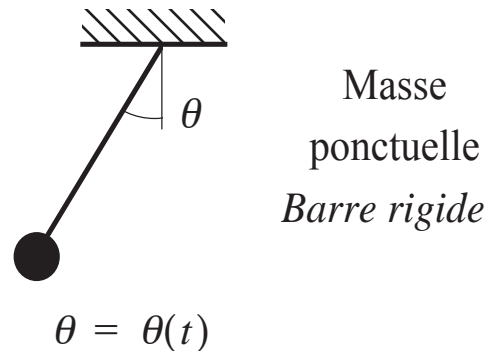


Système économique

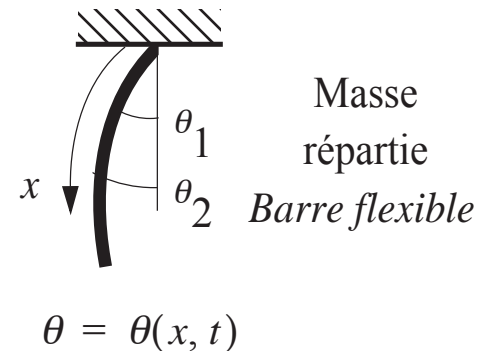


Typologie des systèmes

- **Dynamique** / Statique
- **Monovariante** / Multivariable
- **Déterministe** / Stochastique
- **Paramètres localisés** / répartis ou distribués



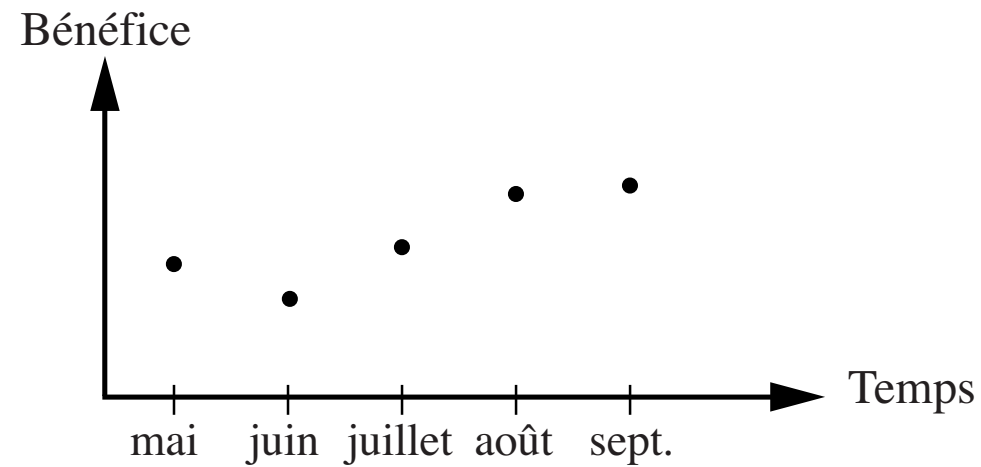
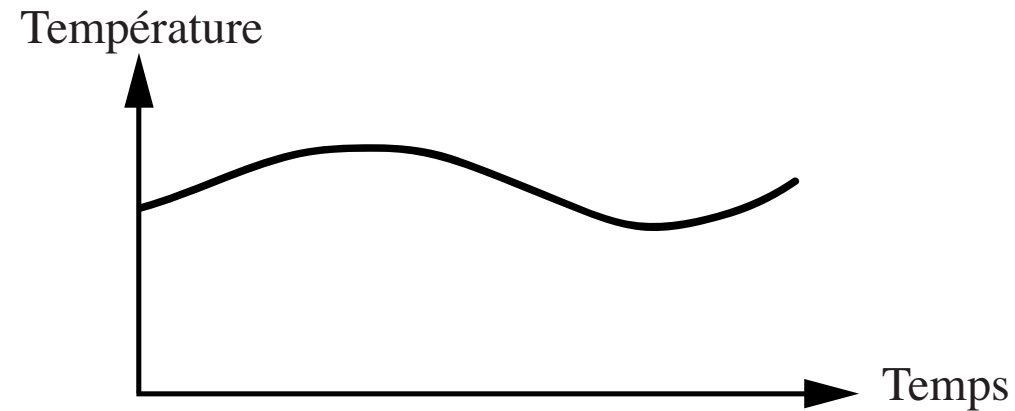
Paramètres localisés



Paramètres répartis ou distribués

Typologie des systèmes (suite)

- Temps continu / discret



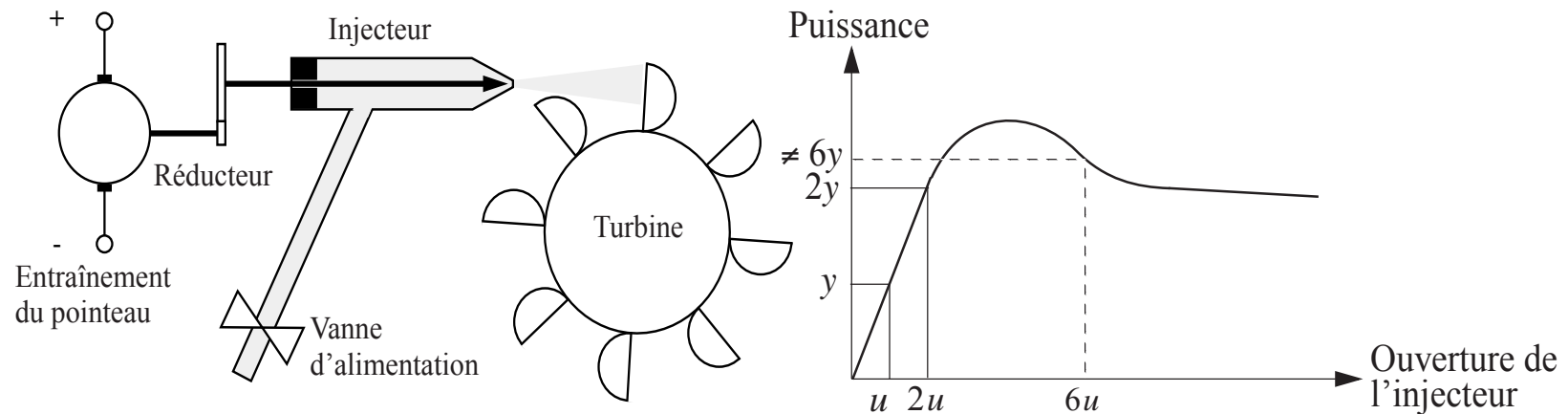
Propriétés des systèmes dynamiques

- **Linéarité** **Principe de superposition**
(additivité et homogénéité)

$$u_1 \rightarrow y_1$$

$$u_2 \rightarrow y_2$$

$$\alpha u_1 + \beta u_2 \rightarrow \alpha y_1 + \beta y_2$$



Propriétés des systèmes dynamiques (suite)

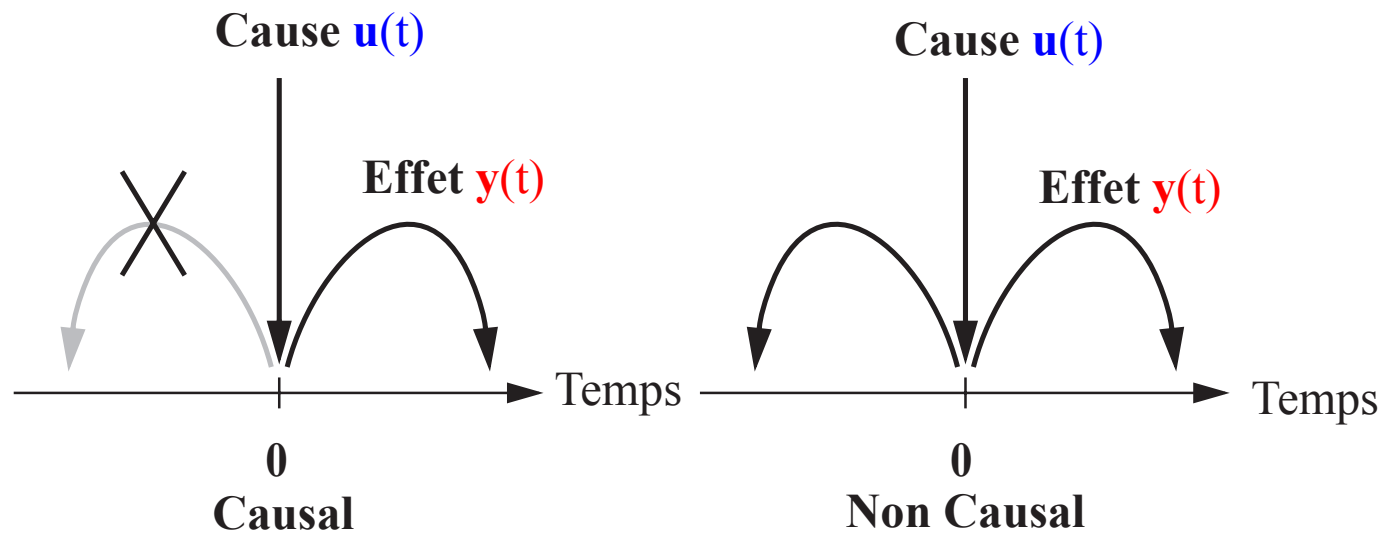
- **Stationnarité** Système invariant dans le temps
(ne vieillit pas, paramètres constants)

$$\ddot{y} + 2\dot{y} + 3y = 5u$$

$$\ddot{y} + 2\sin(t)\dot{y} + 3y = 5u$$

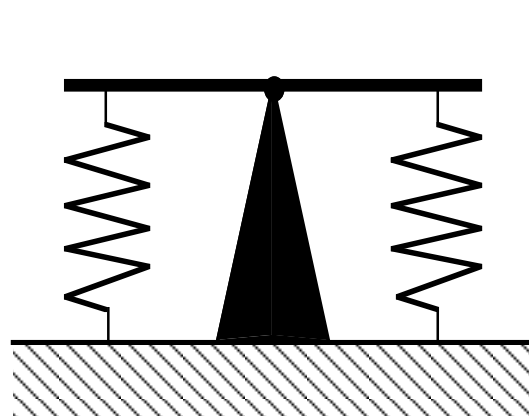
Propriétés des systèmes dynamiques (suite)

- **Causalité** La réponse à une excitation ne précède pas l'excitation elle-même

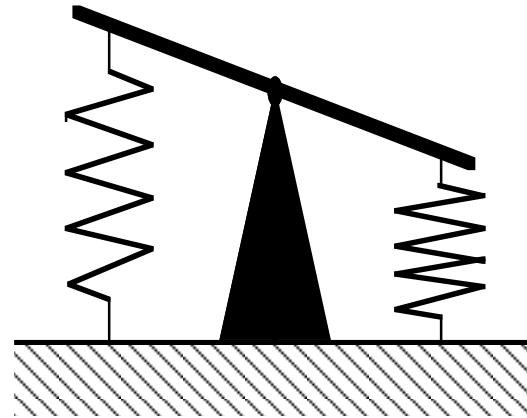


Conditions initiales

- **Au repos** Le système est relâché et ne subit donc pas l'influence d'une entrée passée



Au repos



Chargé

Système initialement au repos

Un système dynamique est **initialement au repos** s'il est relâché au temps 0, c'est-à-dire si ses conditions initiales correspondent à un point d'équilibre.

$$\dot{y}(t) = -2y(t) + u(t) \quad y(0) = y_0$$

Point d'équilibre ($\dot{y} = 0$):

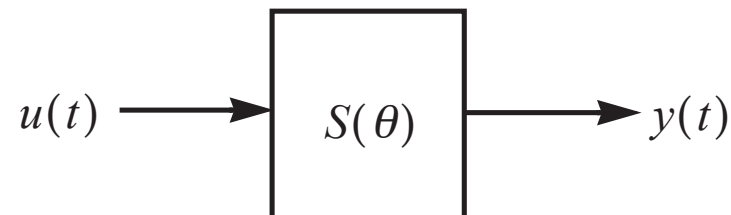
$$0 = -2\bar{y} + \bar{u} \quad \rightarrow \quad \bar{y} = \frac{1}{2}\bar{u}$$

Le point d'équilibre dépend de \bar{u} :

- Pour $\bar{u} = 0$ $\bar{y} = 0$ système au repos si $y_0 = 0$
- Pour $\bar{u} = 2$ $\bar{y} = 1$ $y_0 = 1$

Etude dans ce cours

Système	Représentation par une équation
dynamique à temps continu à paramètres localisés linéaire stationnaire initialement au repos	différentielle ordinaire linéaire à coefficients constants conditions initiales nulles



$$\frac{d\theta}{dt} = 0 \quad \text{système stationnaire (paramètres constants)}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{dy}{dt} = 0 \quad \text{système à l'état stationnaire (à un point d'équilibre)}$$

$$y(t) = f[u(t)] \quad \text{système statique (pas de mémoire)}$$