



# **Systemes automatisés**

# Table des matières

<b>I - Généralités</b>	<b>3</b>
1. Système automatisé.....	3
2. Classification des systèmes automatisés .....	4
<b>II - Systèmes asservis</b>	<b>6</b>
1. Rétroaction.....	6
2. Structure d'un système asservi.....	7
3. Performances d'un système asservis (généralités) .....	7
3.1. Rapidité.....	7
3.2. Précision.....	8
3.3. Stabilité.....	9
<b>III - Architecture des systèmes automatisés</b>	<b>12</b>
1. Schéma blocs causal .....	12
2. Schéma blocs acausal.....	13

# I Généralités

## 1. Système automatisé

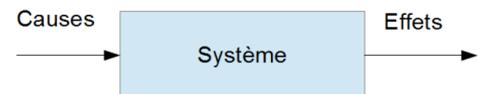
### Az Définition

Un système technique pour lequel tout ou une partie du **savoir-faire** est **confié à une machine** est appelé système automatique ou **système automatisé**.

Les **entrées** sont des grandeurs issues du milieu extérieur, ce sont des **causes**. Elles ne sont pas influencées par le système.

Ce sont soit :

1. des **consignes** si l'on peut agir sur elles, donc les maîtriser
2. des **perturbations** dans le cas contraire (même si elles peuvent être prévisibles)



Les **sorties** fournissent la réponse du système, ce sont des **effets**.

### Remarque

Les **objectifs** de ces systèmes automatisés sont :

- de réaliser des tâches trop complexes ou dangereuses pour l'Homme, voire irréalisables (inspection des canalisations de centrale nucléaire)
- de réaliser des tâches pénibles et/ou répétitives (assemblage de pièces dans l'industrie, conditionnement de produit)
- ou encore d'accroître la précision des tâches (robot chirurgical)

Un système automatisé est généralement constitué d'une **partie commande** (appelé aussi système de commande) et d'une **partie opérative**.



Robot Tribar



Robot Flexpicker



Robot chirurgical

## Automatique

Az Définition

L'**automatique** est la discipline scientifique traitant :

1. de la description des systèmes automatisés
2. de la conception et de la réalisation des **systèmes de commande**

## 2. Classification des systèmes automatisés

Les systèmes automatisés sont souvent classés en fonction de la nature des informations/signaux de commande (**causes**) et de mesure (**effets**).

Ces informations peuvent être de deux types : **analogiques** ou **discrètes**.

### Information analogique ou discrète

Az Définition

Analogique	Discrète	
Elle peut prendre <b>toutes les valeurs possibles de manière continue</b> .	Elle ne peut prendre <b>qu'un nombre fini de valeurs</b> .	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• représenté par une <b>courbe continue</b></li> <li>• les grandeurs physiques sont des informations continues</li> </ul>	<b>logique :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• associée à une variable qui ne peut prendre que 2 valeurs</li> <li>• qualifiée de "binaire" ou "tout ou rien"</li> </ul>	<b>numérique :</b> généralement issue d'un traitement (échantillonnage et codage) d'une information analogique

### Système logique ou asservi

Az Définition

logique - à événement discret		asservi	
logique <b>combinatoire</b>	logique <b>séquentielle</b>	Les signaux sont analogiques ou numériques. Les causes ne peuvent pas être prédéterminées pour un effet imposé. Une <b>mesure</b> du signal de sortie est <b>réalisée en permanence</b> , sa valeur est <b>comparée</b> à l'entrée et <b>corrigée</b> .	
		<b>régulateur</b>	<b>suiveur</b>

logique - à événement discret		asservi	
<p>Une <b>combinaison</b> de signaux d'entrée → unique état de la sortie du système.</p> <p>information logique traitée de manière <b>instantanée</b>.</p>	<p>La sortie du système dépend :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. de signaux logiques d'entrée</li> <li>2. de la <b>chronologie</b> des événements</li> </ol>	<p>Maintient une sortie constante pour une consigne d'entrée constante en luttant contre les perturbations.</p>	<p>Ajuste en permanence le signal de sortie au signal d'entrée qui varie en permanence.</p>
(digicode)	(chaîne d'assemblage d'un véhicule)	(régulation du niveau d'eau, régulation de température...)	(missile à tête chercheuse)

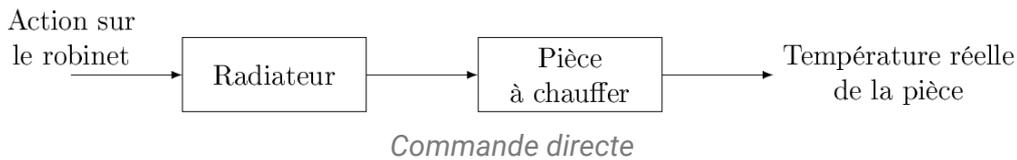
# II Systèmes asservis

## 1. Rétroaction

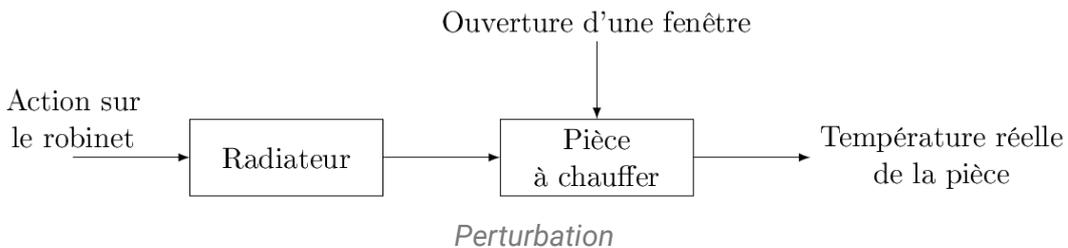
💡 **Fondamental**

Un système bien conçu peut être tout à fait satisfaisant du point de vue de son comportement s'il n'est pas perturbé.

C'est l'utilisateur qui commande directement le système en fonction de son ressenti (le système n'est donc pas automatisé). On dit alors que la commande est en **boucle ouverte** ou en commande directe.

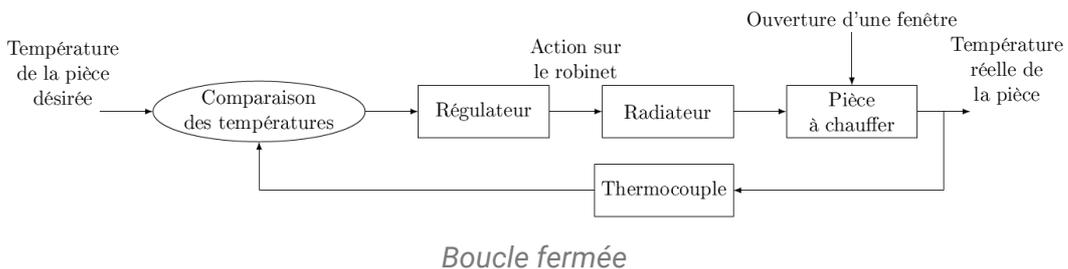


Lorsque le système est perturbé par un événement extérieur (appelé **perturbation**), la valeur de la sortie ne correspond pas à la valeur attendue.



Pour automatiser le système sans intervention humaine, on introduit une **boucle de retour** (ou rétroaction). Le système est alors dit en **boucle fermée**.

La boucle de retour, constituée d'un capteur, permet d'évaluer la situation à chaque instant et fournit un état de la sortie à la partie commande. Cette information est analysée par la partie commande et comparée à la consigne. Cette dernière élabore alors un signal qui permet de commander la partie opérative.

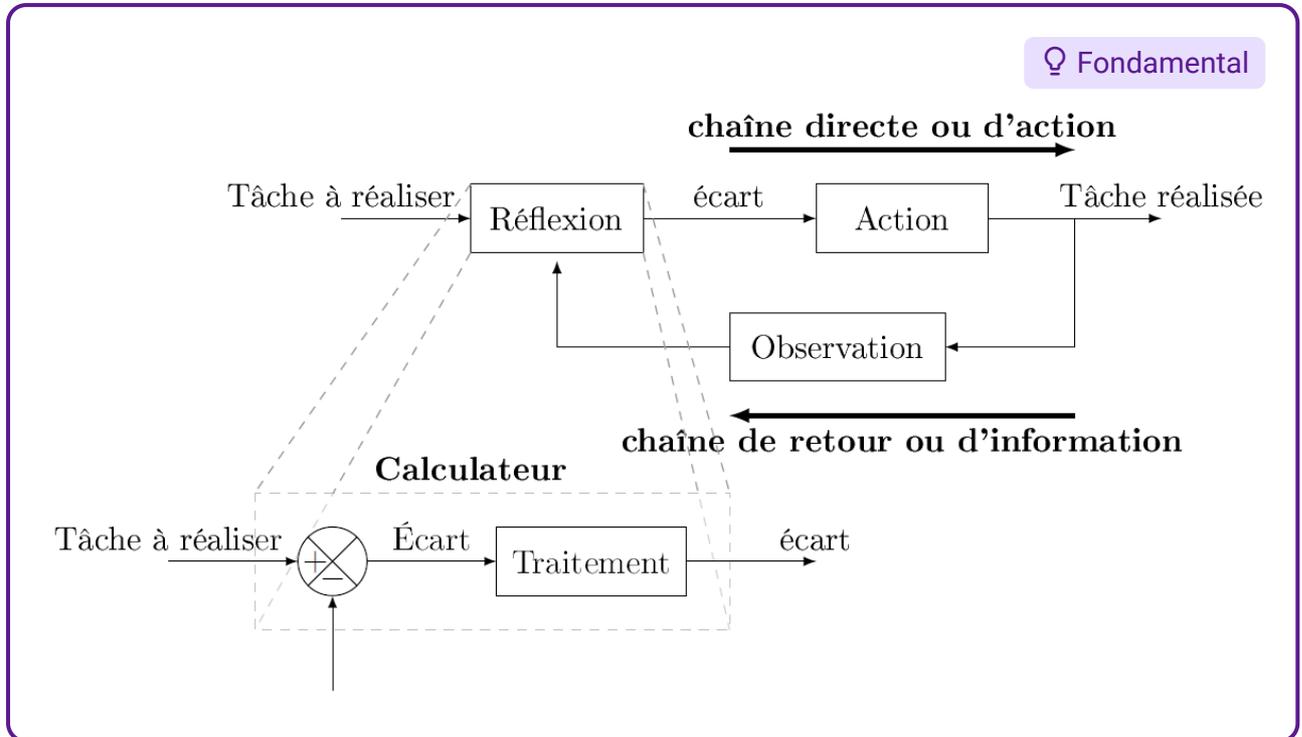


💬 **Remarque**

Lorsque la boucle de retour est constituée d'un capteur, que l'information délivrée par ce capteur est utilisée et que la nature de la grandeur de sortie est identique à celle de consigne, on parle d'**asservissement**.

Il existe des systèmes qui sont physiquement et naturellement bouclés (moteur, vérin...), où la boucle de retour ne correspond pas à un capteur ajouté par l'Homme. Dans ces conditions, on parle juste de **boucle fermée mais pas d'asservissement**.

## 2. Structure d'un système asservi



## 3. Performances d'un système asservis (généralités)

### Introduction

Le comportement d'un système asservi est évalué suivant **trois** critères de performances.

On étudie la réponse du système à partir de signaux d'entrée standard.

### 3.1. Rapidité

#### Rapidité

**Az Définition**

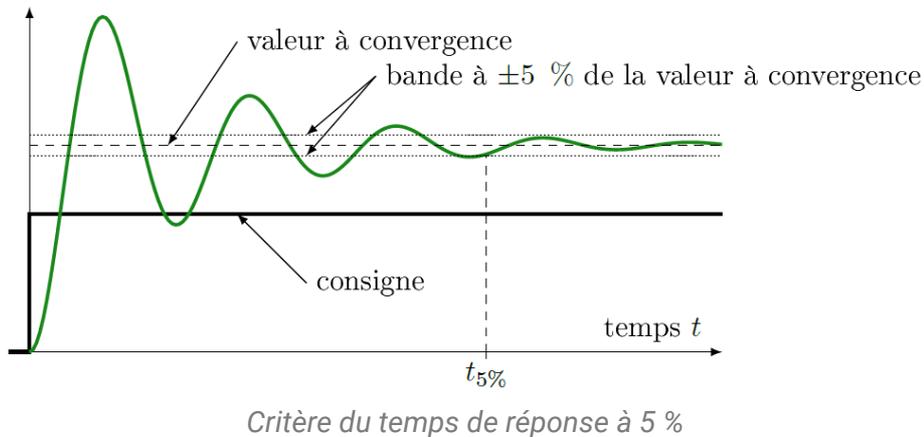
Un système est dit **rapide** s'il converge en un temps court au regard de son contexte d'utilisation.

Dans la plupart des cas, la valeur finale est atteinte de manière asymptotique voire oscillante ; on retient alors comme critère d'évaluation de la rapidité d'un système, le **temps de réponse à n%**. Dans la pratique, c'est le temps de réponse à 5% (noté  $t_{5\%}$  ou  $t_{r5\%}$ ) qui est le plus souvent utilisé.

### Temps de réponse à 5 %

Az Définition

Il correspond au temps mis par le système pour atteindre la valeur à convergence appelée aussi valeur finale (donc en régime permanent) à  $\pm 5\%$  près et à y rester.



### Autre critère de rapidité

Remarque

On utilise parfois le temps de montée comme critère de rapidité. Il s'agit du temps que met le système pour couper la première fois la valeur de convergence.

## 3.2. Précision

### Précision

Az Définition

La précision d'un système qualifie son aptitude à atteindre la valeur visée (consigne), indépendamment des éventuelles perturbations.

Elle est caractérisée par l'**écart final** entre la valeur de la **consigne visée** et la valeur **réellement atteinte** par la grandeur de sortie.

$$\varepsilon = \lim_{t \rightarrow \infty} (e(t) - s(t))$$

### Homogénéité

Attention

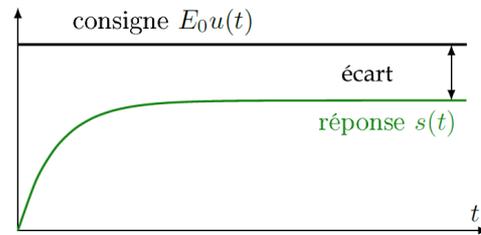
Cette valeur ne peut être déterminée que si les grandeurs d'**entrée et de sortie sont de même dimension** !

#### a) Écart statique (ou en position)

Fondamental

L'entrée est constante (cf. échelon) d'amplitude  $e_0$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_p = \lim_{t \rightarrow \infty} (e_0 - s(t))$$

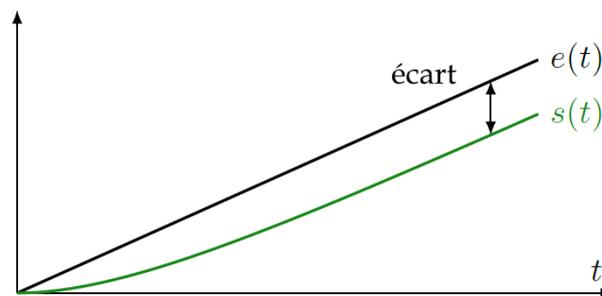


## b) Écart de traînage (ou de poursuite)

Fondamental

L'entrée est non constante (cf. rampe)

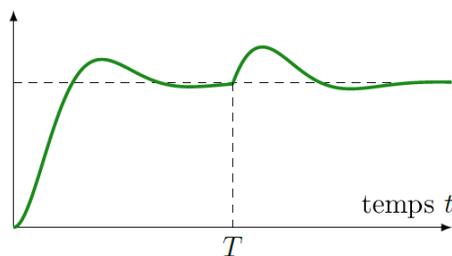
$$\varepsilon_v = \lim_{t \rightarrow \infty} (e(t) - s(t))$$



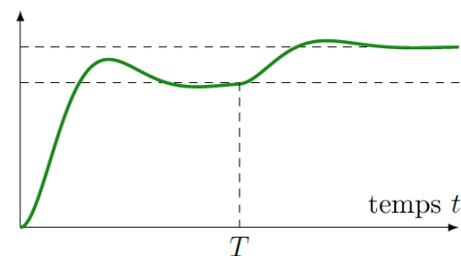
## c) Sensibilité aux perturbations

Complément

Un système est dit **sensible aux perturbations** s'il ne converge pas vers la même valeur selon qu'une perturbation extérieure est présente ou non.



(a) Insensible à la perturbation



(b) Sensible à la perturbation

## 3.3. Stabilité

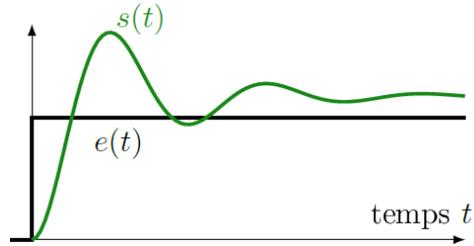
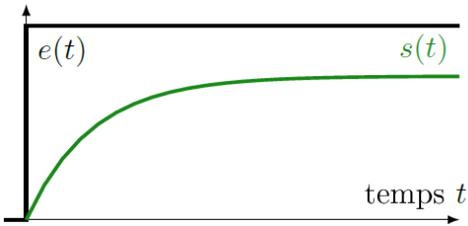
**Stabilité**

Az Définition

Un système est **stable** si à une entrée **bornée** correspond une sortie **bornée**.

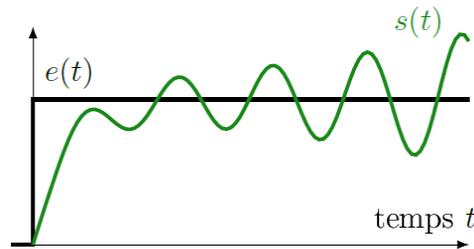
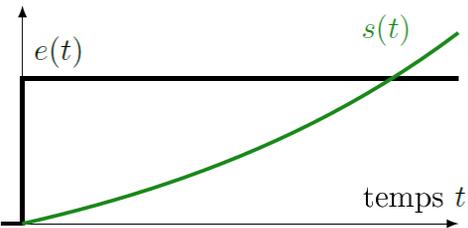
### Systemes stables

👁 Exemple



### Systemes instables

👁 Exemple



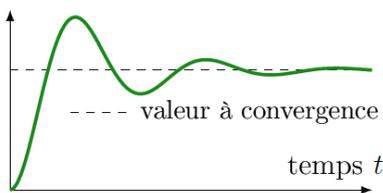
#### a) Caractérisation des systèmes stables

### Amortissement

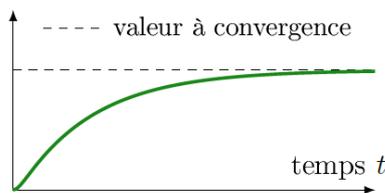
Az Définition

L'**amortissement** est caractérisé par le rapport entre les amplitudes successives des oscillations de la sortie.

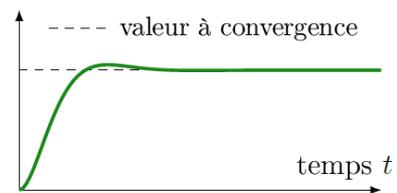
Plus ces oscillations s'atténuent rapidement, plus le système est amorti.



(a) Système mal amorti



(b) Système très amorti



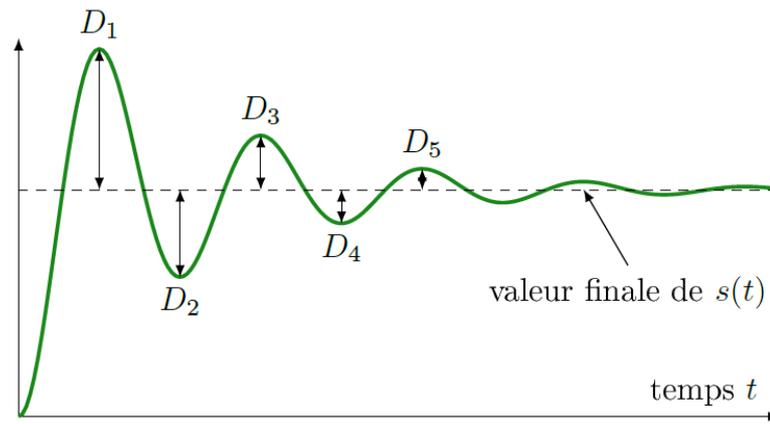
(c) Système bien amorti

### Dépassement relatif

Az Définition

Le **dépassement relatif** (en pourcentage) est défini par le **rapport** de l'amplitude  $s(t_1)$  du premier dépassement (maximal pour un système stable) sur la valeur asymptotique  $s_\infty$  de la réponse :

$$D_1(\%) = 100 \times \left| \frac{s(t_1) - s_\infty}{s_\infty} \right|$$



Définition et numérotation des dépassements

# III Architecture des systèmes automatisés

## Introduction

Les systèmes industriels étant complexes, il est nécessaire de **décomposer le système en sous-systèmes** plus faciles à analyser ou à modéliser. Par assemblage des différents modèles associés à chaque sous-système, il sera alors possible de déduire le comportement global du système.

On utilise la notion de **blocs fonctionnels** pour représenter un système, un sous-système, un composant élémentaire, un phénomène... Ces blocs possèdent un comportement et permettent de décrire les relations entre une ou plusieurs entrées et une ou plusieurs sorties, ou bien de montrer les flux de **Matière, d'Énergie ou d'Informations (MEI)** entre les éléments.

Le langage SysML propose deux diagrammes utilisant des blocs associés à des sous-systèmes ou composants :

- le *diagramme de définition de blocs*, centré sur la composition structurelle du système
- le *diagramme de blocs internes*, davantage utile dans la description des flux entre éléments.

## 1. Schéma blocs causal

### Causalité

Az Définition

On parle de **causalité** lorsque l'entrée précède nécessairement la sortie (principe de cause à effet).

### Schéma blocs causal

Az Définition

Pour les schéma-blocs causaux, on définit à l'avance la grandeur d'entrée (cause) et la grandeur de sortie (effet) de chaque composant, en les choisissant parmi les grandeurs physiques intervenant dans le comportement d'un constituant, et en se basant sur la notion de causalité.

Remarque

La source d'énergie n'est pas représentée ; elle est cependant indispensable pour que le système puisse fonctionner.

### Trois éléments graphiques principaux

Fondamental

1. **Bloc** : contient un nom ou une fonction, et possède une ou plusieurs entrées / sorties choisies parmi les grandeurs physiques qui interviennent dans le comportement du constituant. Le nom du bloc est en général le nom du composant (moteur, réducteur, roue...) ou encore l'opérateur mathématique associé à une fonction particulière (exemple : l'opérateur  $\int$  pour décrire une intégration du type passage d'une vitesse à une position mais qui n'a pas de matérialisation physique). Les variables d'entrée et sortie de chaque bloc sont décrites par des flèches entrantes ou sortantes

2. **Sommateur** : réalise des opérations mathématiques du type addition, soustraction, seuil . . . (opérations réalisées par la partie commande en général)
3. **Jonction** : une variable est réutilisée comme entrée d'un bloc

### Méthode

Pour réaliser un schéma-blocs, on place la grandeur de consigne tout à gauche, la grandeur que l'on souhaite étudier à droite, puis on relie les blocs entre eux. Outre la construction du schéma-blocs à partir de la chaîne fonctionnelle, vous devez être capable de construire un schéma-blocs à partir d'une description littérale d'un système, voire même en présence visuelle d'un système.

### Description de l'asservissement en vitesse de rotation d'un bras de robot

#### Exemple

Une consigne de vitesse de rotation  $\omega_c$  [rad/s] est adaptée à l'aide d'un adaptateur en une tension de consigne  $u_c$  [V]. Cette tension de consigne est comparée à la tension  $u_m$  [V] délivrée par le capteur de type génératrice tachymétrique, proportionnelle à la vitesse réelle  $\omega$  [rad/s]. L'écart de tension  $\varepsilon$  [V] est corrigé par un correcteur qui fournit la tension de commande  $u_{com}$  [V] au variateur pilotant le moteur par une tension  $u_{mot}$  [V]. Le moteur convertit cette tension en vitesse de rotation  $\omega_{mot}$  [rad/s], puis cette vitesse est adaptée par un réducteur pour obtenir la vitesse de sortie  $\omega$  [rad/s].



(a) Carte de commande et de puissance (comprenant l'adaptateur, le comparateur et le correcteur)



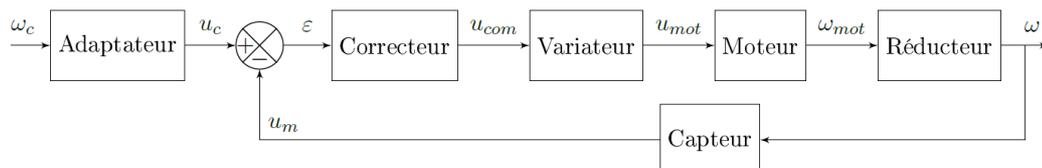
(b) Moteur



(c) Réducteur



(d) Capteur



## 2. Schéma blocs acausal

### Schéma blocs acausal

#### Az Définition

Le schéma-blocs acausal **ne présuppose pas à l'avance** des grandeurs d'entrées (causes) et de sorties (effets) à choisir pour un composant.

 Remarque

Le schéma-blocs acausal est très proche de l'architecture du système (cf. chaînes d'énergies et d'informations) et nécessite de savoir traiter un très grand nombre d'équations ; ce type de description est donc récent compte-tenu de l'évolution des ordinateurs.

La difficulté posée par ce genre de schéma-blocs est de comprendre les modèles des constituants (équation "cachée" associée à chaque bloc) de manière à pouvoir saisir les paramètres demandés. Il peut également être complexe de trouver parmi les blocs disponibles dans les bibliothèques des logiciels de simulation ceux qui correspondent au système étudié.

# Modélisation acausale d'un gyropode "Segway"

Exemple

