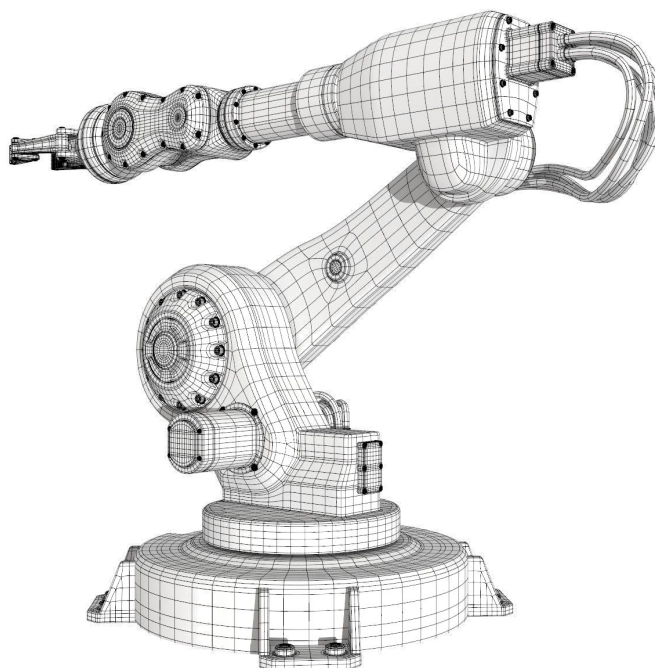


# SYSTÈMES LINÉAIRES CONTINUS ET INVARIANTS

## INTRODUCTION À L'ASSERVISSEMENT



### Compétences visées:

- A3-12** Identifier la structure d'un système asservi.
- A4-02** Caractériser les écarts entre les performances.
- B2-04** Établir un modèle de connaissance par des fonctions de transfert.
- B2-05** Modéliser le signal d'entrée.
- B2-07** Modéliser un système par schéma-blocs.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Expression du besoin</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Principe</b>	<b>3</b>
2.1	Définitions . . . . .	3
2.2	Classification des systèmes automatiques . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Notion de système asservi</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Représentation schématique des systèmes asservis</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Modélisation des entrées d'un système asservi : signaux tests</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Performances d'un système de commande</b>	<b>8</b>
6.1	Stabilité . . . . .	8
6.2	Précision . . . . .	8
6.3	Rapidité . . . . .	9
6.4	Dépassement . . . . .	9
6.5	Sensibilité aux perturbations . . . . .	10

# 1 Expression du besoin

Prenons l'exemple d'un régulateur de vitesse de véhicule léger. De plus en plus de voitures sont équipées d'un régulateur de vitesse automatique. Grâce à cette option, le conducteur peut régler une vitesse de consigne et ainsi retirer son pied de l'accélérateur : l'ordinateur de bord commande directement le moteur pour respecter la vitesse de consigne. Le système se déconnecte en cas d'action sur la pédale de frein, d'accélérateur ou d'embrayage. Il est nécessaire d'adapter la vitesse, car la pente de la route, le vent ou la qualité de la route évolue au cours du trajet. Sans régulateur, c'est l'information visuelle donnée par le compteur au conducteur qui lui permet d'adapter sa conduite. Le régulateur de vitesse va directement utiliser l'information de vitesse pour la comparer à la vitesse demandée. Suivant l'écart calculé, il modifiera la puissance du moteur. Cet écart est bien sûr calculé en temps réel.

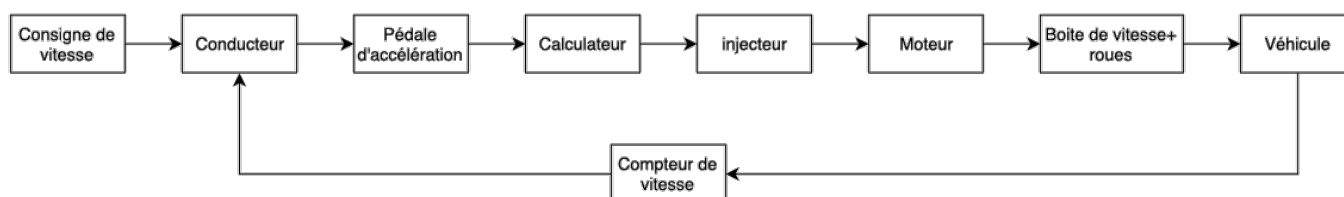


FIGURE 1 – Schéma de principe sans régulateur automatique

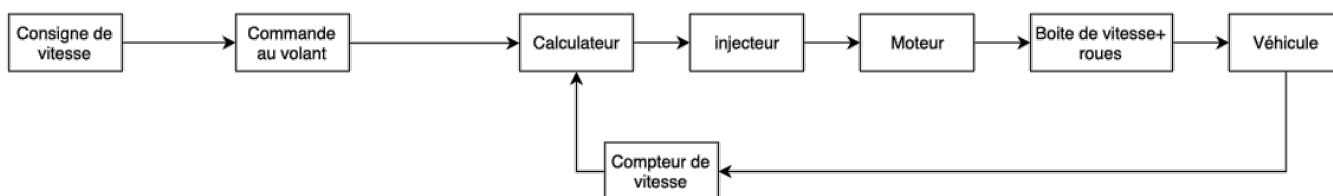


FIGURE 2 – Schéma de principe avec régulateur automatique

Il faut non seulement que le régulateur de vitesse permette de remplir sa fonction, c'est-à-dire maintenir une vitesse constante, mais aussi être capable de garantir que le système n'entraînera jamais une accélération non contrôlée du système. On dit que le système doit être stable.

## 2 Principe

### 2.1 Définitions

**Définition** *Système automatique*

Un système automatique est un système dont les éléments le constituant se coordonnent entre eux pour réaliser des opérations et pour lequel l'intervention humaine est limitée à la programmation du système et à son réglage préalable.

**Définition** *Automatique*

L'automatique est la discipline scientifique traitant, d'une part, de la caractérisation des systèmes automatiques et d'autre part, du choix de la conception et de la réalisation du système de commande afin d'obtenir, en sortie du système, un comportement déterminé. Les systèmes de commande automatiques

s'inspirent le plus souvent du comportement de l'homme.

### Exemple :

Les systèmes automatiques permettent généralement :

- De réaliser des tâches trop complexes ou dangereuses pour l'homme (Exemple : Module d'exploration martien)
- De substituer la machine à l'homme pour faire des tâches répétitives et pénibles (Exemple : Bras de soudage de chaîne d'assemblage automobile)
- D'accroître la précision (Exemple : Robot chirurgical)



## 2.2 Classification des systèmes automatiques

Les systèmes automatiques sont classés en fonction de la nature de leurs informations de commande et de mesure. On distingue deux types d'informations : analogiques et discrètes.

On peut alors découper les systèmes automatiques suivant 3 catégories :

### Définition *Système asservi*

Les signaux traités sont analogiques ou numériques et leurs valeurs ne peuvent pas être prédéterminées. Une mesure du signal de sortie est en permanence réalisée par un capteur et la valeur est comparée à l'entrée, puis corrigée. La distinction entre système asservi numérique ou analogique est fonction du type de partie commande utilisée. On représente son fonctionnement par un **schéma-bloc fonctionnel** (voir paragraphe 4).

### Définition *Système automatique à logique combinatoire*

Un signal logique (ou une combinaison de signaux logiques) conduit toujours à un unique état de la sortie du système. Dans ces systèmes, l'information logique est traitée de manière instantanée (Exemple : Digicode). On représente son fonctionnement par un **logigramme**.

### Définition *Système automatique à logique séquentielle*

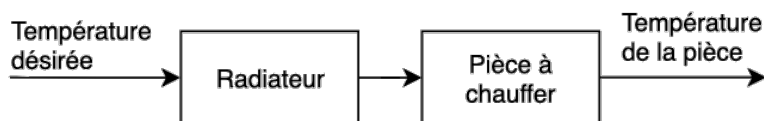
La sortie du système est élaborée à partir d'un ensemble de signaux logiques d'entrée, mais elle prend également en compte la chronologie des événements logiques. On représente son fonctionnement par un **diagramme de séquence**, un **diagramme d'état** ou un **grafcet**.

## 3 Notion de système asservi

Un système simple peut être tout à fait satisfaisant du point de vue de son comportement s'il n'est pas perturbé. On parle dans ces conditions d'un **système en boucle ouverte** ou d'un système commandé. **Ce n'est pas un système asservi.**

**Exemple :**

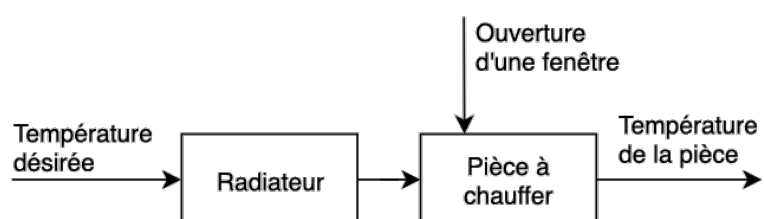
Schéma fonctionnel d'un système commandé de chauffage



Cependant, lorsqu'un système commandé est perturbé par un événement extérieur, la valeur de la sortie ne correspond pas à la valeur attendue et peut même être très éloignée de la valeur attendue. On parle alors de **perturbation**.

**Exemple :**

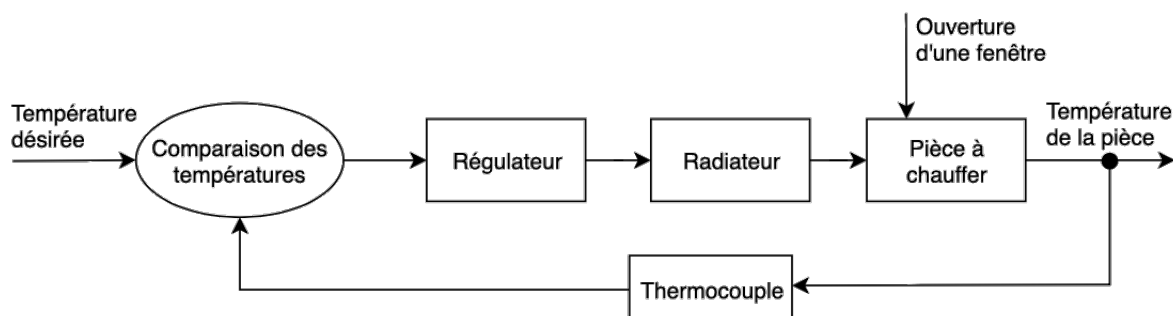
Schéma fonctionnel d'un système commandé de chauffage avec perturbation



Pour automatiser le système, on introduit alors une **boucle de retour** (ou **boucle de rétroaction**). Le système est alors appelé **système en boucle fermée** ou **système asservi**. La boucle de retour, constituée d'un capteur, permet d'évaluer la situation à l'instant  $t$  sur la partie opérative et fournit un état de la sortie à la partie commande. Cette information est analysée par la partie commande et comparée à la consigne d'entrée. Elle élabore ensuite un signal qui permet de commander la partie opérative. La température désirée (fixée par un thermostat) est comparée à la température de la pièce mesurée par un thermocouple. Si une perturbation intervient (ouverture de la fenêtre), le régulateur déclenche alors une action correctrice dont le sens et l'intensité dépendent de la valeur et du signe de l'écart entre la température souhaitée et la température de la pièce.

**Exemple :**

Schéma fonctionnel d'un système asservi de régulation de chauffage



Les systèmes asservis peuvent être classés en deux grandes familles :

- **Système suiveur** Les systèmes asservis suiveurs ou en poursuite d'une loi de référence dans lesquels la consigne d'entrée varie en permanence, comme par exemple pour une machine- outil à commande numérique, un missile, un radar de poursuite... L'objectif de ce système est d'ajuster en permanence le signal de sortie au signal d'entrée.

- **Système régulateur** Les systèmes régulateurs pour lesquels la consigne d'entrée est fixe, comme par exemple pour une régulation de température, de débit... Ils sont destinés à maintenir une sortie constante pour une consigne d'entrée constante.

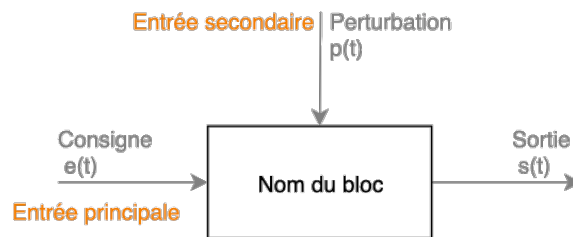
## 4 Représentation schématique des systèmes asservis

Pour représenter un système asservi, on utilise toujours un **schéma-bloc fonctionnel** qui met en relation les entrées et sorties du système et qui permet de comprendre la structure du système selon un point de vue commande. On distingue quatre types d'éléments graphiques :

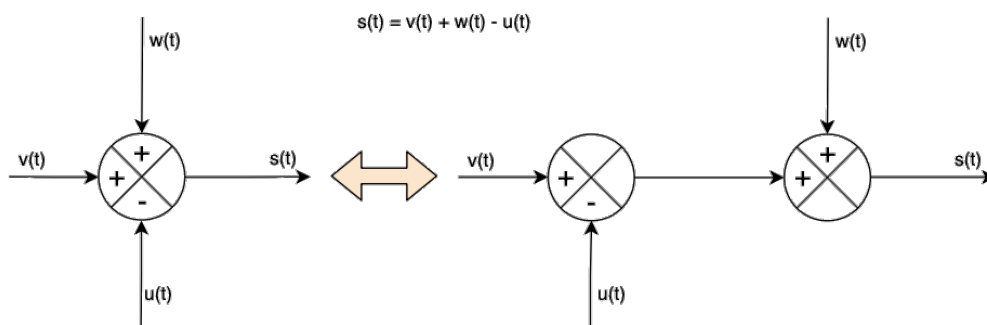
- **La flèche** qui représente une grandeur d'entrée ( $e(t)$ ) ou de sortie ( $s(t)$ ) ainsi que son orientation.



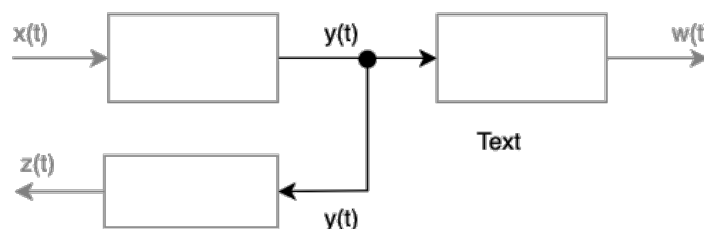
- **Le bloc** le nom du bloc est en général le nom du composant (moteur, réducteur, roue...) ou bien encore l'opérateur mathématique associé à une fonction particulière (exemple : l'opérateur  $\int$  pour décrire une intégration du type passage d'une vitesse à une position, mais qui n'a pas de matérialisation physique). Une entrée secondaire correspond en général à une perturbation.



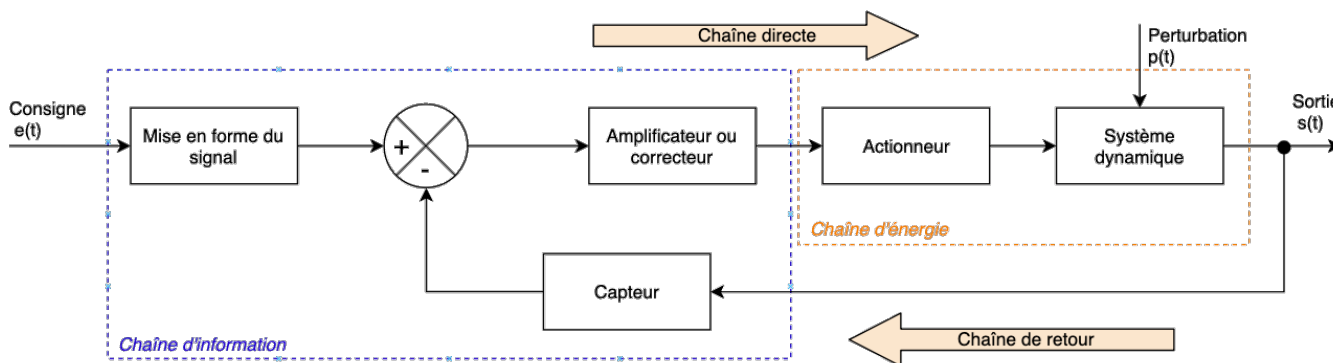
- **Le point de sommation** (ou sommateur, soustracteur, comparateur) qui réalise des opérations du type addition ou soustraction.



- **Le point de prélèvement** ou de jonction : une variable est réutilisée comme entrée d'un bloc.



Les systèmes industriels sont par nature complexes et la représentation en schéma-bloc fonctionnel permet de décomposer ce système en plusieurs sous-systèmes élémentaires. Chaque sous-système, plus facilement modélisable, correspondra à un bloc. Par « assemblage » des différents blocs, il est ensuite possible d'étudier le comportement global du système complexe. Un diagramme chaîne énergie/chaîne d'information est très utile pour s'aider à construire un schéma-bloc fonctionnel. Un système asservi pluri-technologique présente généralement une structure en schéma-bloc fonctionnel comme celle présentée ci-dessous.

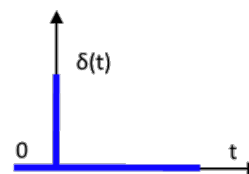


## 5 Modélisation des entrées d'un système asservi : signaux tests

Pour étudier un système d'un point de vue expérimental ou pour réaliser une validation d'un modèle, il est nécessaire d'utiliser des consignes simples ou signaux d'entrée test. On utilise majoritairement les modèles de signaux suivants :

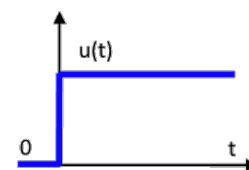
**Impulsion de Dirac**  $\delta(t)$  avec  $\delta(t) = 0 \forall t \neq 0$ .

Cette fonction modélise une action s'exerçant pendant un temps très court (supposé infiniment petit). La réponse à une impulsion de Dirac s'appelle une réponse impulsionnelle.

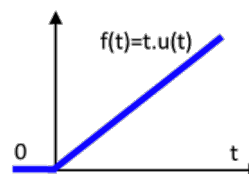


**Échelon unité**  $u(t)$  avec  $u(t) = 0$  si  $t < 0$  et  $u(t) = 1$  si  $t \geq 0$ .

Cette fonction modélise un signal qui passe très rapidement de 0 à 1 et qui reste ensuite à 1. La réponse à un échelon s'appelle une réponse indicielle.

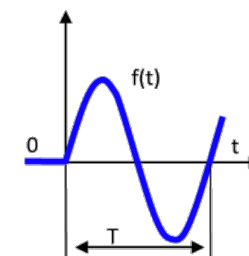


**Rampe de pente unitaire**  $f(t)$  avec  $f(t) = 0$  si  $t < 0$  et  $f(t) = t.u(t)$  si  $t \geq 0$



**Signal sinusoïdal**  $f(t)$  avec  $f(t) = 0$  si  $t < 0$  et  $f(t) = \sin(\omega t).u(t)$  si  $t \geq 0$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$




## 6 Performances d'un système de commande

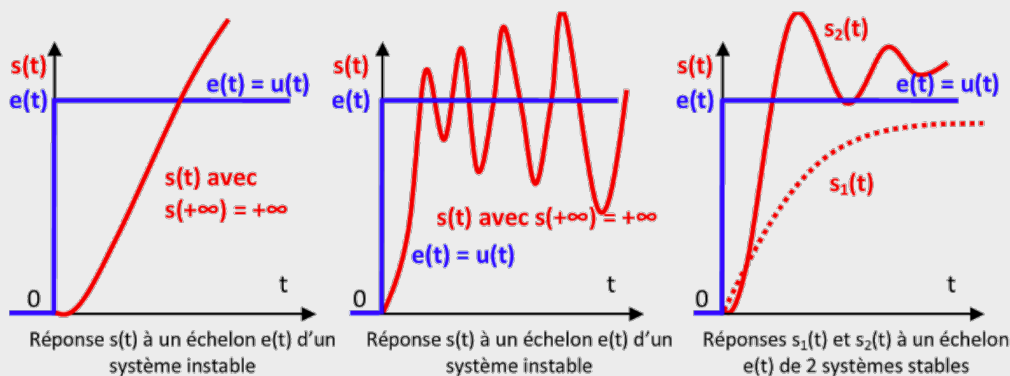
L'asservissement d'un système est évalué suivant différents critères de performances. Les cinq principaux critères sont la stabilité, la précision, la rapidité, le dépassement et la sensibilité aux perturbations. C'est le cahier des charges fonctionnel qui définit les performances que doit réaliser le système.

On évalue ces performances en plaçant en entrée du système un des signaux tests décrits ci-dessus.

### 6.1 Stabilité


 **Définition** *Stabilité*

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

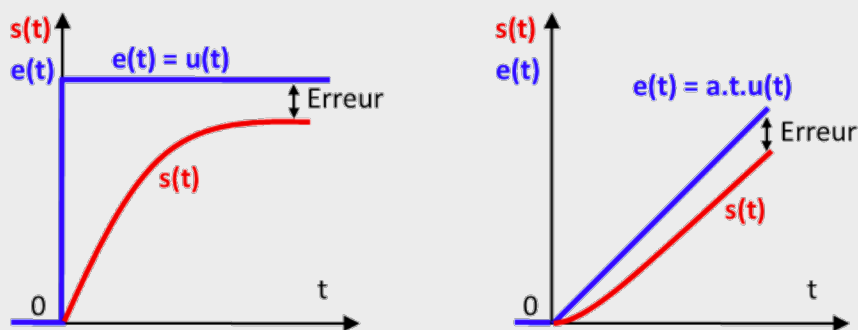


Le bouclage peut déstabiliser un système. C'est le critère que l'on regarde en premier, car sinon on ne peut pas analyser les autres critères. On souhaite toujours que le système asservi soit stable.

### 6.2 Précision

 **Définition** *Précision*

La précision qualifie l'aptitude du système à atteindre la valeur visée. Elle est caractérisée par l'erreur entre la consigne en entrée et la valeur asymptotique effectivement atteinte par la grandeur de sortie. Si l'erreur est nulle, on dit que le système est précis.

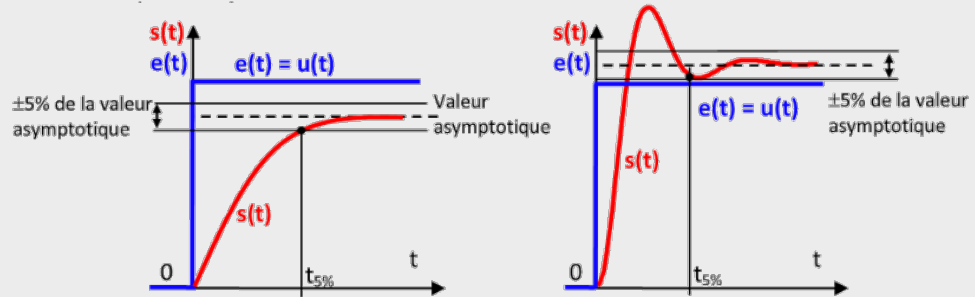




### 6.3 Rapidité

#### Définition *Rapidité*

La rapidité est caractérisée par le temps que met le système à réagir à une variation brusque de la grandeur d'entrée. Cependant, la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique, on retient alors comme principal critère d'évaluation de la rapidité d'un système, le temps de réponse à  $n\%$ .

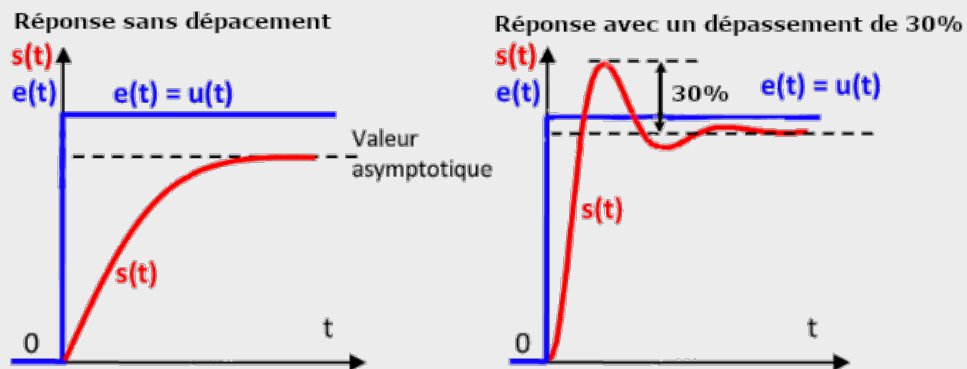


Dans la pratique, on utilise le temps de réponse à 5%, noté  $t_{5\%}$ , c'est le temps mis par le système pour atteindre sa valeur de régime permanent à  $\pm 5\%$  près et y rester.

### 6.4 Dépassement

#### Définition *Dépassement*

On dit que la réponse d'un système présente des dépassements si elle dépasse la valeur à convergence avant de converger.

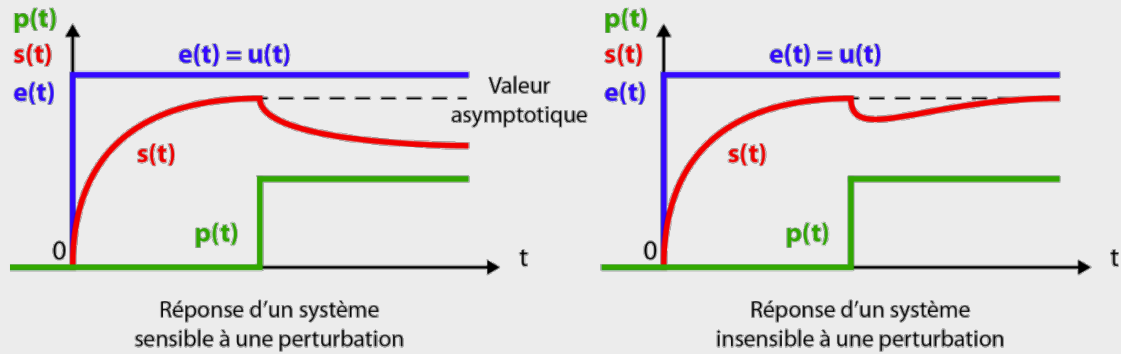


Dans certaines applications, les dépassements sont à proscrire : l'usinage, le remplissage d'un contenant jusqu'à un certain niveau, la prévention d'un risque de collision, ...

## 6.5 Sensibilité aux perturbations

### Définition *Sensibilité aux perturbations*

Un système est dit sensible aux perturbations si l'apparition d'une perturbation modifie la valeur à convergence de la réponse du système pour une même consigne.



Un système insensible aux perturbations peut voir sa grandeur de sortie évoluer transitoirement lors de l'apparition de la perturbation. Cependant, lorsque la perturbation est constante, la valeur à convergence est la même que sans perturbation.