

III Décrire la structure fonctionnelle d'un asservissement

Décrire la structure fonctionnelle d'un asservissement permet de définir les composants et fonctions intervenant dans un asservissement en précisant celles réalisées par l'unité de commande.

III.1 Définition d'un système asservi

Un **système asservi** assure le **suivi d'une consigne par la matière d'œuvre** (sortie), indépendamment de **perturbations** qui viennent modifier le comportement du système.

Un **système** est dit **régulateur**⁴ lorsque la sortie doit prendre une valeur définie par une **consigne fixe**, ou variant ponctuellement.

Un **système** est **suiveur** si la sortie doit suivre une **consigne variant au cours du temps**.

Exemples de systèmes asservis :

Système	Type	Grandeur asservie	Perturbations
Étuve thermique 	Régulateur	Température	Ouverture de porte, ajout d'éléments à chauffer, température de la pièce
Régulateur de vitesse automobile 	Régulateur	Vitesse	Vent, inclinaison de la route, chargement du véhicule
Vérin hydraulique d'un simulateur 	Suiveur	Longueur du vérin	Charges extérieures, inertie des pièces, effet du poids en fonction de la position

III.2 Structure fonctionnelle d'un système asservi : IHM, comparateur, correcteur, capteur

Un **système asservi** comprend un **capteur** pour **mesurer** la réponse et **réagir** en fonction de **l'erreur**, différence entre **la consigne** et **la réponse**, afin d'**annuler celle-ci**.

Les **composants** spécifiques d'un **système asservi** sont :

- **interface H/M** traduit la consigne $e_c(t)$ en un signal $e'_c(t)$ utilisable par l'unité de commande
- **capteur** permet, après éventuelle adaptation, d'obtenir une **image $s'(t)$ de la réponse $s(t)$**

et l'unité de commande dans laquelle on distingue les sous-ensembles suivants :

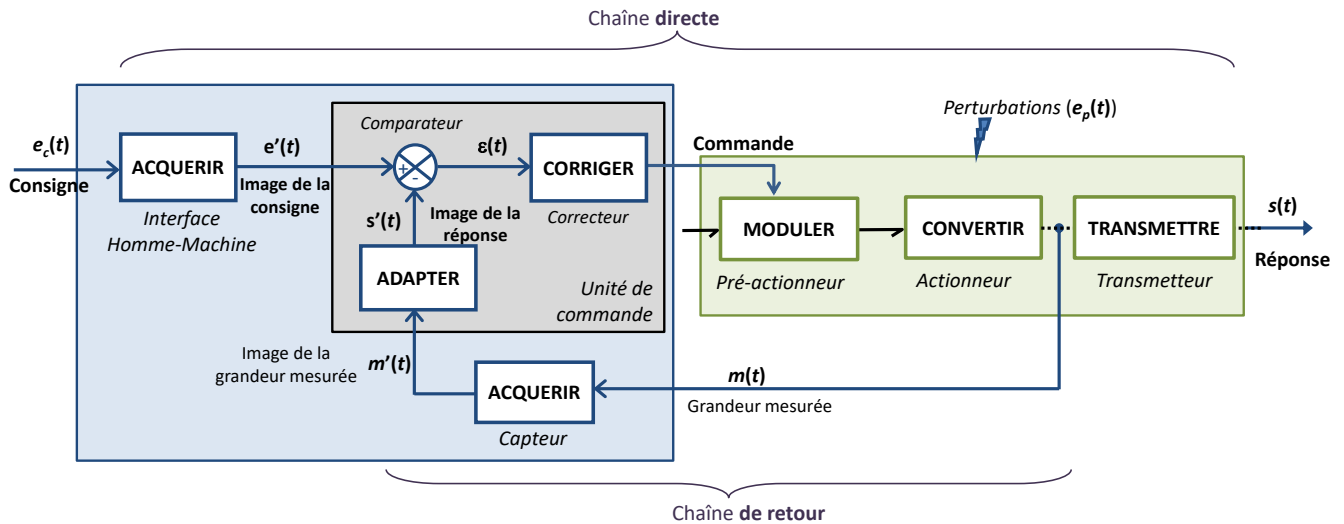
- **comparateur** calcule (ou délivre) un signal $\varepsilon(t) = e'_c(t) - s'(t)$ (tension ou variable numérique), **image de l'erreur $e_r(t) = e_c(t) - s(t)$** :
- **correcteur** définit le signal de **commande** du pré-actionneur à partir de l'erreur pour améliorer les performances du système

La **structure fonctionnelle de l'asservissement** est construite à partir de la chaîne fonctionnelle en :

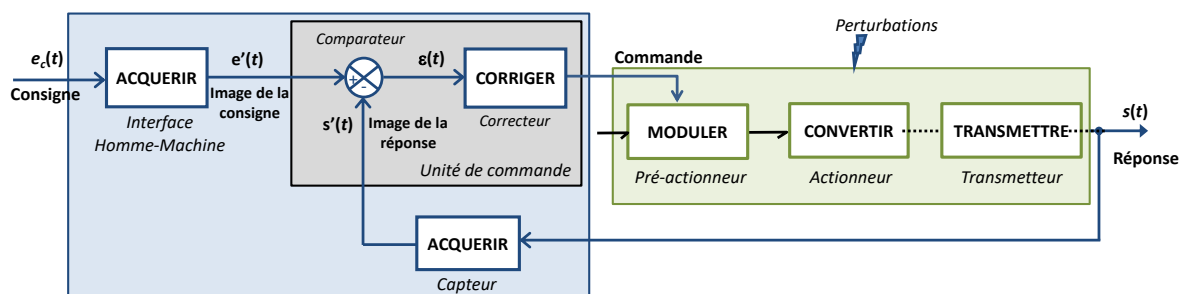
- ne conservant que les composants intervenant directement dans l'asservissement (unité d'alimentation et IMH ne sont pas représentés) ;
- détaillant les **fonctions**⁵ **réalisées par l'unité de commande** : **comparateur**, **correcteur** / **CORRIGER**, fonction **ADAPTER** si la grandeur mesurée par le capteur n'est pas la réponse ;
- spécifiant les **grandeurs temporelles** de la chaîne d'information.

⁴ Développé pour réguler les vitesses de rotation des machines à vapeur au 18ème siècle (régulateur de Watt, 1788).

⁵ En pratique, ces fonctions sont réalisées par un même composant programmable et correspondent à des lignes de code.



Si le capteur mesure directement la réponse, la fonction ADAPTER de l'unité de commande n'est pas nécessaire :



IV Performances en poursuite d'un système asservi

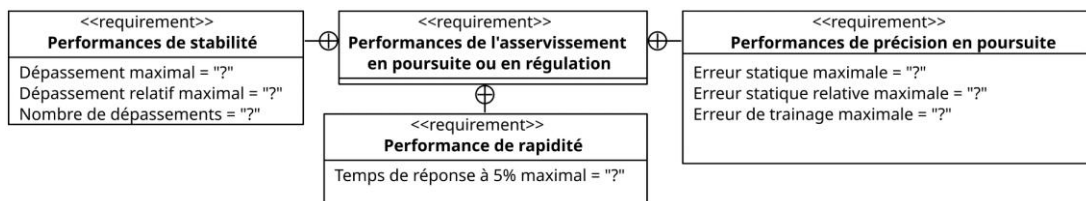
Le **comportement et les performances en poursuite** d'un **système asservi** caractérisent l'aptitude du système à **imposer des variations** à la réponse du système (une grandeur physique) en fonction de la consigne.

Les **perturbations** sont supposées **constantes**.

Nous retiendrons les **performances** suivantes :

- la **stabilité**, propriété de **convergence** temporelle (et asymptotique) vers un **état d'équilibre** ;
- la **rapidité**, caractérisant la promptitude de **réaction aux variations** de la consigne des systèmes stables ;
- la **précision**, aptitude des **systèmes stables et asservis** à présenter une réponse tendant vers la valeur de consigne.

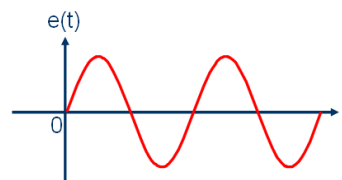
Remarque : stabilité et rapidité sont des performances applicables aussi à des sous-systèmes. Hacheurs et moteurs ont leurs propres performances de stabilité et rapidité, par exemple.



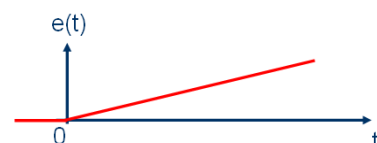
Les **performances** sont des propriétés intrinsèques du système. Elles sont **évaluées**, par simulation ou expérimentalement, à partir des caractéristiques de la **réponse du système à des signaux tests**.

Les principaux signaux tests que nous utiliserons sont :

- **l'échelon** qui permet de caractériser le système à partir de son comportement transitoire ;
- la **sinusoïde** qui permet de caractériser le système à partir de son comportement fréquentiel en régime permanent⁶.



On utilise aussi la **rampe**, signal linéairement variable, et **l'impulsion**, qui modélise un choc.



Consigne en rampe



Consigne en impulsion

Pour l'étude des performances en **poursuite**, le signal test est appliqué à la **consigne**.
Les éventuelles **perturbations** sont supposées **constantes**.

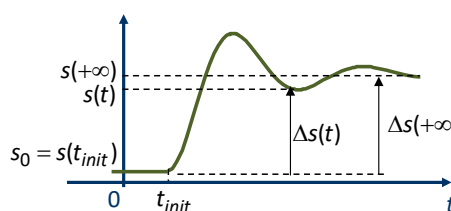
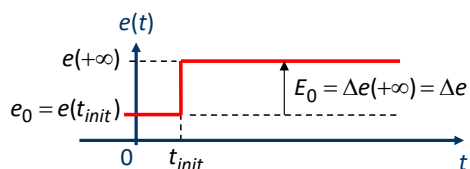
IV.1 Caractéristiques des tests et signaux pour une consigne en échelon

Caractéristiques des tests et signaux pour une consigne en échelon :

- avant l'**instant initial** t_{init} , entrée et réponse sont stabilisées à des **valeurs initiales** notées e_0 et s_0 ;
- un **échelon d'amplitude** E_0 (positive ou négative) est appliqué à l'instant initial t_{init} . La réponse est étudiée à partir de cet instant et par rapport à la valeur initiale s_0 .

Si la réponse converge on note :

- la **valeur finale** $s(+\infty)$ (ou $s_{+\infty}$) ;
- la **variation finale** $\Delta s(+\infty) = s(+\infty) - s_0$.



Caractéristiques de l'échelon de test et de la réponse

Remarque : un échelon d'amplitude 1 est appelé échelon unitaire ou échelon indiciel.

⁶ Vu au 2nd semestre et en physique

IV.2 Caractériser la stabilité : valeur finale et dépassements

Un système est **stable** si, pour une **entrée en échelon**, la **valeur finale existe**, donc si la réponse converge vers une valeur constante.

Une réponse présente un **dépassement** lorsque sa courbe « coupe » la **valeur finale**⁷.

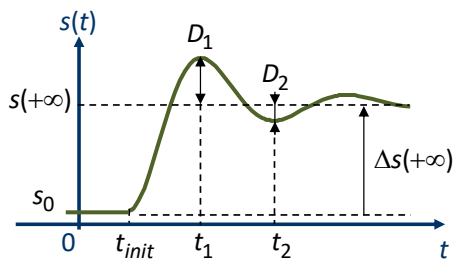
L'amplitude du $k^{\text{ième}}$ dépassement est caractérisée par :

- le **dépassement absolu** $D_k = |s(t_k) - s(+\infty)|$ avec t_k l'instant de l'extrémum ;
- le **dépassement relatif** $D_{k\%} = \left| \frac{D_k}{\Delta s(+\infty)} \right|$ (relatif à la variation finale de la réponse).

La **stabilité** est **caractérisée**, pour une **entrée en échelon**, par :

- l'**amplitude du premier dépassement** (le plus critique) D_1 ;
- et/ou le **nombre de dépassements** supérieurs à une valeur de référence (1% typiquement).

Exemple de réponse avec dépassement



Pour certains systèmes, il est impératif qu'il n'y ait aucun dépassement.

Exemple : l'amarrage du module ATV à la station ISS.



Application : le graphique ci-contre représente la réponse d'un système à une consigne dite "en échelon".

A3 - Estimer D_1 , $D_{1\%}$, D_2 , $D_{2\%}$ et le nombre de dépassements

$$\Delta s(+\infty) = 8 - 5 = 3$$

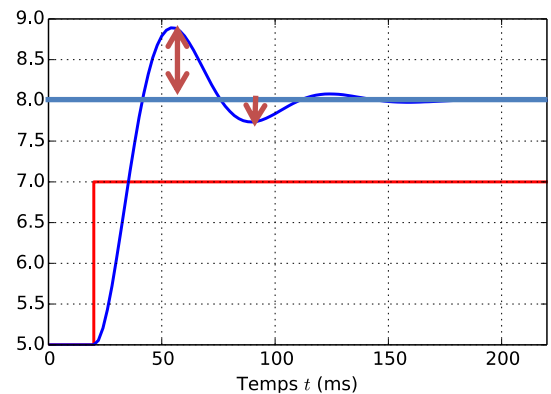
$$D_1 = |8,9 - 8| = 0,9$$

$$\text{et } D_{1\%} = 0,9 / 3 = 0,3 = 30\%$$

$$D_2 = |7,7 - 8| = 0,3$$

$$\text{et } D_{2\%} = 0,3 / 3 = 0,1 = 10\%$$

3 dépassements visibles.



⁷ Dans ce cas, la réponse étant continue, elle présente nécessairement un extrémum.

IV.3 Caractériser la rapidité d'un système stable : temps de réponse à 5%

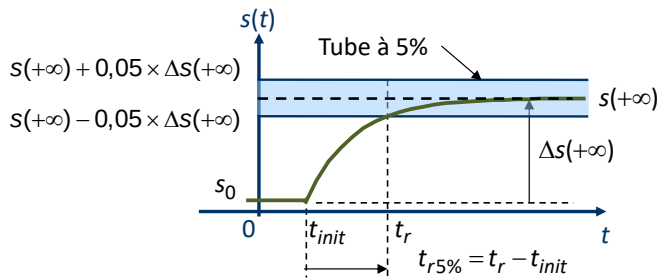
Par convention, la **rapidité d'un système stable** est caractérisée par le **temps de réponse à 5%** noté $tr_{5\%}$.

Pour une entrée en **échelon** et un système **stable**, le temps de réponse à 5% est la **durée**, après t_{init} , mise par la réponse pour **atteindre la valeur finale à $\pm 5\%$ de la variation finale de la réponse**.

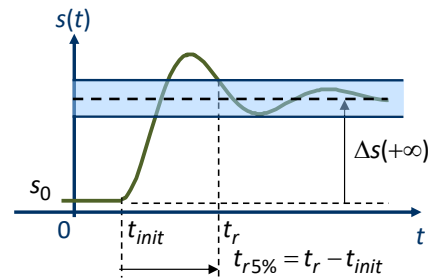
Le temps de réponse à 5% donne une **estimation** de la durée du **régime transitoire**.

Le "tube à 5%" est défini par l'intervalle : $s(+\infty) \pm 0,05 \Delta s(+\infty)$

👉 Le temps de réponse à 5% est atteint lorsque la sortie rentre dans le « tube des 5% » et n'en sort plus !



Réponse sans dépassement



Réponse avec dépassement

Application :

A4 - Déterminer le temps de réponse à 5%.

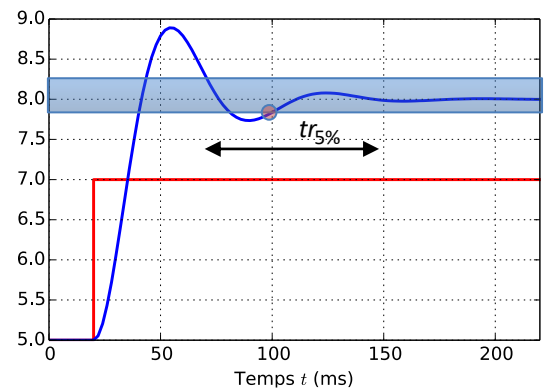
La valeur finale est : $s(+\infty) = 8$

La variation finale de l'entrée vaut $\Delta s(+\infty) = 3$.

Le "tube des 5%" correspond à l'intervalle $[8 - 3 \times 0,05 ; 8 + 3 \times 0,05]$, soit $[7,85 ; 8,15]$.

La réponse reste dans le tube à partir de $t = 100$ ms. La sollicitation débutant à $t_{init} = 20$ ms, on obtient :

$$tr_{5\%} = 100 - 20 = 80 \text{ ms}$$



IV.4 Précision en poursuite d'un système stable et asservi : erreur statique et erreur de trainage

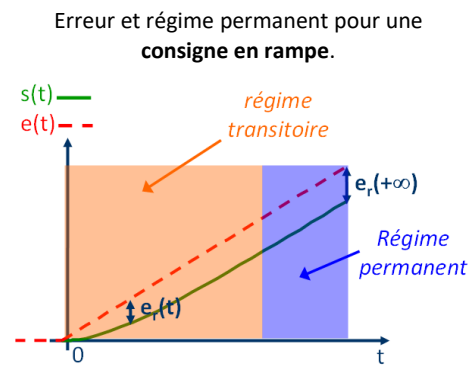
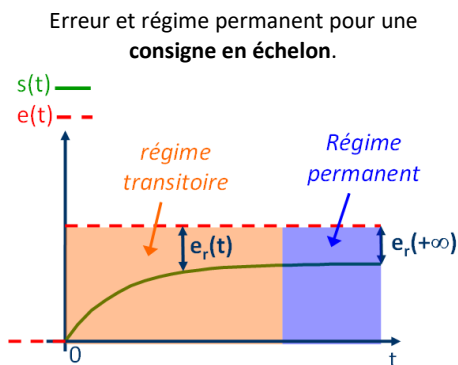
Erreur et régime permanent

L'**erreur** n'est définie que pour un **système asservi** : consigne et réponse de même nature et comparables.

L'**erreur**, notée $e_r(t)$ est la **différence** entre la **consigne** (valeur souhaitée) et la **réponse** (valeur atteinte) :

$$e_r(t) = e_c(t) - s(t) \text{ avec } e_c(t) \text{ la consigne et } s(t) \text{ la réponse.}$$

Pour un système **asservi stable**, le **régime permanent** est établi lorsque l'erreur n'évolue plus au cours du temps, soit pour un temps suffisamment grand.



Performances de précision en poursuite

La précision en poursuite est évaluée indépendamment des conditions initiales du système.

Si, par exemple, l'asservissement est celui d'une position, la question est : pour un échelon de consigne de 10 mm, est-ce que la réponse varie aussi de 10 mm ? Indépendamment d'une possible erreur initiale.

Pour un système **asservi stable**, les **performances de précision** en poursuite sont évaluées en régime permanent **relativement aux conditions initiales**.

L'**erreur statique** e_{stat} est définie pour une **consigne en échelon** :

$$e_{stat} = \Delta e_c(+\infty) - \Delta s(+\infty)$$

L'**erreur statique relative** vaut :

$$e_{stat\%} = \frac{e_{stat}}{\Delta e_c(+\infty)} = \frac{\Delta e_c(+\infty) - \Delta s(+\infty)}{\Delta e_c(+\infty)}$$

Application 1 : Le graphique ci-contre représente la réponse d'un système asservi à une consigne en échelon.

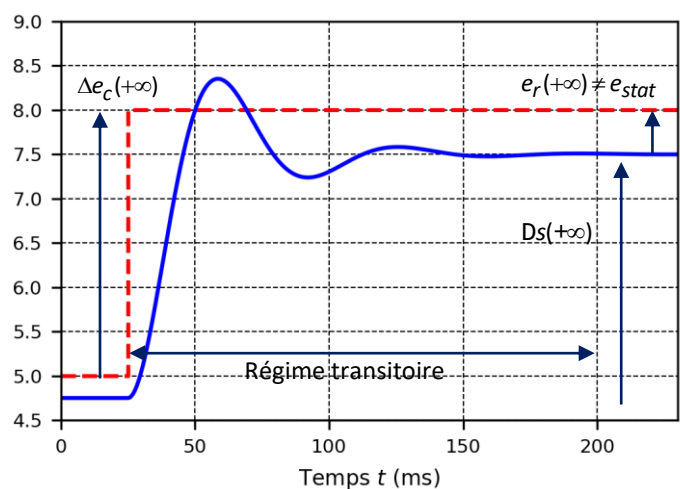
A5 - Déterminer approximativement l'instant de début du régime permanent.
Après 200 ms, la réponse est sensiblement constante.

A6 - Déterminer l'erreur statique et l'erreur statique relative

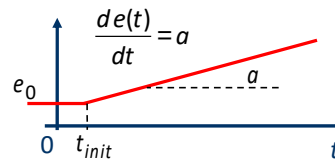
$$\Delta e_c(+\infty) = 8 - 5 = 3 \quad \Delta s(+\infty) = 7,5 - 4,75 = 2,75$$

$$\text{d'où } e_{stat} = \Delta e_c(+\infty) - \Delta s(+\infty) = 3 - 2,75 = 0,25$$

$$\text{et } e_{stat\%} = \frac{e_{stat}}{\Delta e_c(+\infty)} = \frac{0,25}{3} \approx 8,3\%$$



Une **consigne en rampe** est caractérisée par son instant initial, sa valeur initiale et sa pente.



L'**erreur de trainage** est définie pour une **consigne en rampe** :

$$e_{\text{trainage}} = \lim_{t \rightarrow +\infty} (e_c(t) - s(t))$$

si l'erreur initiale est nulle.

Application 2 : Le graphique ci-contre représente la réponse d'un système asservi à une consigne en rampe de pente 5/0,3.

A7 - Déterminer l'erreur de trainage

Conditions initiales identiques.

L'erreur se stabilise.

$$e_{\text{trainage}} = \lim_{t \rightarrow +\infty} (e_c(t) - s(t)) \approx 0,25$$

pour une rampe de pente 5/0,3.

