

# Définir la structure fonctionnelle et identifier les performances d'un système asservi

Analyse fonctionnelle et structurelle  
Asservissement

## Objectifs

Identifier les éléments de chaînes de puissance et d'information à partir d'un IBD ou d'une description.

Définir la structure fonctionnelle d'un asservissement à partir des chaînes d'information et de puissance, d'un IBD ou d'une description

Valider les exigences de l'asservissement à partir de courbes expérimentales ou de simulations

## Sommaire

<b>I</b>	<b>Description par chaînes de puissance et d'information</b>	<b>3</b>
I.1	Activité et chaînes de puissance et d'information	3
I.2	Les types de puissances et de signaux	4
	Les types de puissance	4
	Notion de taux de rotation (vitesse angulaire)	5
	Les type de signaux portant l'information	5
I.3	Exemples génériques avec puissances entrante électrique ou hydraulique	6
	Système utilisant une puissance électrique et contrôlant une position	6
	Système utilisant une puissance hydraulique ou pneumatique	7
I.4	Structure et composants génériques des chaînes de puissance et d'information	8
	Structure générique	8
	Fonctions génériques des composants	9
<b>II</b>	<b>Décrire la structure fonctionnelle d'un asservissement</b>	<b>10</b>
II.1	Définition d'un système asservi	10
II.2	Structure fonctionnelle d'un système asservi : IHM, comparateur, correcteur, capteur	11
<b>III</b>	<b>Performances en poursuite d'un système asservi</b>	<b>12</b>
III.1	Caractéristiques des tests et signaux pour une consigne en échelon	13
III.2	Caractériser la stabilité : valeur finale et dépassements	13
III.3	Caractériser la rapidité d'un système stable : temps de réponse à 5%	14
III.4	Caractériser la précision en poursuite d'un système stable et asservi : erreur statique et erreur de trainage	15
	Erreur et régime permanent	15
	Performances de précision en poursuite	15
<b>IV</b>	<b>Performances en régulation d'un système asservi</b>	<b>16</b>
<b>V</b>	<b>Performances de précision : erreur statique nulle et insensibilité aux perturbations</b>	<b>17</b>

À partir des descriptions **structurelles** d'un système, l'objectif est d'identifier les composants intervenant dans le traitement de l'information et de la puissance.

Lorsque ce système est un **asservissement**, l'objectif est ensuite de décrire la **structure de cet asservissement** (Comment celui-ci est réalisé ?) et de déterminer ses **performances** à partir de résultats expérimentaux ou de simulations. Quelles sont les performances réelles ou simulées ? Les exigences du cahier des charges sont-elles validées ?

## I Description par chaînes de puissance et d'information

La description par **chaînes de puissance et d'information** permet de mettre en relation les **composants internes** avec leur **fonction** dans la réalisation d'une **activité** particulière.

### I.1 Activité et chaînes de puissance et d'information

**Hypothèses** : le système réalise **successivement** ou **simultanément** plusieurs **activités** afin d'assurer la fonction globale.

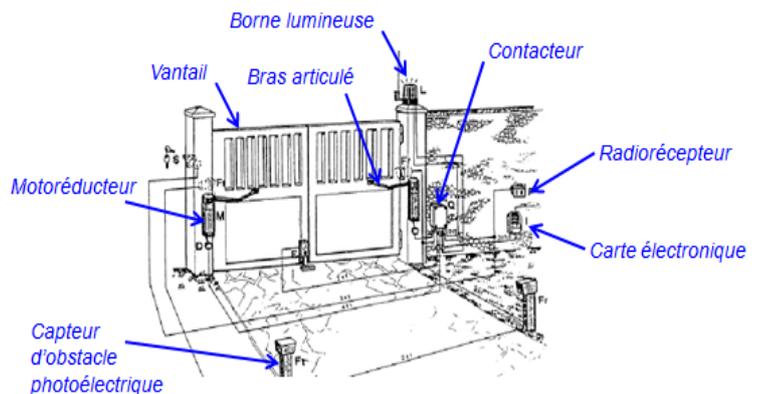
Chaque **activité** est mise en œuvre par **une chaîne fonctionnelle composée d'une chaîne d'information et d'une chaîne de puissance**.

Cette description permet de définir :

- les **composants** intervenant dans la réalisation **d'une activité** ainsi que leur **fonction** ;
- des **familles de constituants** réalisant des **fonctions similaires**.

**Exemple** : un portail automatique. Activité étudiée : fermeture du vantail

À la réception de la **consigne de fermeture** en provenance de la **radiocommande**, et à condition qu'aucune information de présence d'un obstacle ne provienne des **capteurs**, la **carte électronique** commande l'alimentation des motoréducteurs par l'intermédiaire d'un **contacteur**. Les motoréducteurs sont composés d'un **moteur** et d'un **réducteur** de vitesse. Ces derniers entraînent alors la fermeture des vantaux par l'intermédiaire des **bras articulés**. Un **capteur de surintensité** permet de détecter un blocage ou la fermeture du portail.

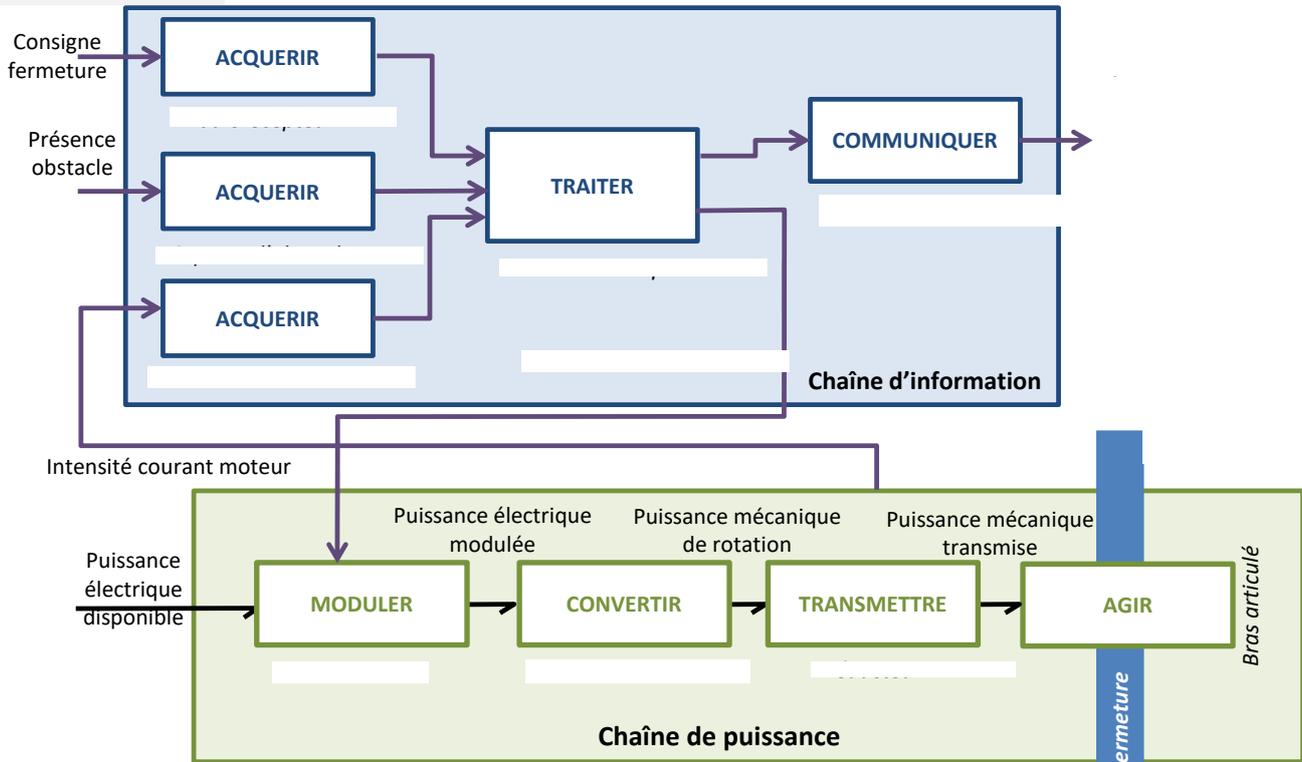


A1 - Questions pour comprendre le fonctionnement du système :

- Quelle grandeur est modifiée lors de la fermeture ? .....
- Quelle est la puissance disponible ? .....
- Quel composant convertit cette puissance ? .....
- Quel est le composant agissant directement sur le vantail ? .....
- Quel élément reçoit la consigne d'ouverture ? .....
- Quel élément traite l'information ? .....
- Quels sont les capteurs ? .....
- Quel composant restitue une information à l'utilisateur ? .....

L'ensemble des réponses est regroupé sur un schéma représentant deux chaînes. L'une s'intéresse au traitement de l'information (la chaîne d'information), l'autre à la conversion de la puissance (la chaîne de puissance).  
Les fonctions sont : CONVERTIR, MODULER, ACQUERIR, TRAITER, COMMUNIQUER, TRANSMETTRE, AGIR.

A2 - Compléter le schéma ci-après avec le nom des composants et leur fonction.



(1) Dans un système complexe, on peut recenser un nombre très important de chaînes de puissance et d'information.

**Chaînes de puissance et d'information** sont associées à une **unique activité**<sup>(1)</sup>, modifiant une grandeur physique appelée **matière d'œuvre** :

- la **chaîne de puissance** gère la **puissance** nécessaire pour modifier la **matière d'œuvre** par l'intermédiaire **d'un effecteur** ;
- la **chaîne d'information** traite l'**information** provenant de l'utilisateur et de capteurs afin de **définir les commandes** des **pré-actionneurs** et les informations communiquées à l'utilisateur.

Chaque composant des chaînes de puissance et d'information est associé à une **fonction** et à une **famille de composants**.

## I.2 Les types de puissances et de signaux

### Les types de puissance

L'énergie mesure la capacité d'un système à modifier un état ou à produire un travail.

L'unité dans le système international est le **joule (J)**.

Cette notion générale est à préciser par domaine physique : électromagnétisme, mécanique, thermique, chimie, etc.

La **puissance** est la **quantité d'énergie** échangée **par unité de temps** entre les composants d'un système ou entre les systèmes. C'est une **grandeur instantanée**.

L'unité dans le système international est le **watt (W)** ( $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

La puissance  $P$ , grandeur scalaire dépendant du temps, est toujours le **produit de deux grandeurs** scalaires ou vectorielles :

- l'une d'entre elle est appelée **flux** et notée  $f$  ;
- l'autre est appelée **effort** et notée  $e$ .

$$P(t) = e(t) \times f(t) \text{ ou } P(t) = \vec{e}(t) \cdot \vec{f}(t)$$

(1) Les définitions exactes de ces termes seront précisées en physique et en SI en 2<sup>e</sup> année.

(2) effort tournant

Les deux termes sont génériques. Le tableau suivant précise l'effort et le flux dans des domaines particuliers<sup>(1)</sup> :

Puissance	Grandeur effort $e(t)$	Grandeur flux $f(t)$
<b>électrique</b>	tension $u(t)$ (V)	intensité $i(t)$ (A)
<b>mécanique de translation</b>	force $F(t)$ (N)	vitesse $v(t)$ (m.s <sup>-1</sup> )
<b>mécanique de rotation</b>	couple <sup>(2)</sup> $C(t)$ (N.m)	Taux de rotation $\omega(t)$ (rad.s <sup>-1</sup> )
<b>hydraulique ou pneumatique</b>	pression $p(t)$ (Pa)	débit volumique $q_v(t)$ (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>Thermique, chimique...</b>		

### Notion de taux de rotation (vitesse angulaire)

Lorsqu'un **composant est en rotation** par rapport à un autre, sa **position** est définie par un **angle** entre **des directions** fixes sur chacun des composants. Cet angle définit une **position angulaire**. S'il y a un mouvement de rotation, il varie au cours du temps.

(3) de la même manière que la vitesse de translation d'un objet (en m/s) par rapport à un autre est la dérivée d'une distance qui, elle, définit la position.

Le **taux de rotation** (vitesse angulaire) est la **dérivée** de la **position angulaire**<sup>(3)</sup>. Elle définit la variation de la position angulaire par unité de temps.

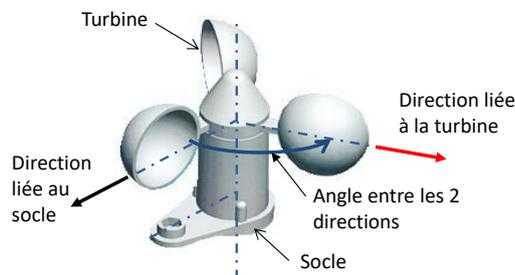
Unité : **rad/s**                      Unité usuelle : tr/mn (tr pour tour)     $1 \text{ tr/mn} \equiv \frac{2\pi}{60} \approx 0,1 \text{ rd/s}$

**Exemple** : anémomètre.

L'anémomètre tourne à un taux de rotation constant de 31,4 rad/s.

En 1 seconde, l'angle entre la direction liée au socle et la direction liée à la turbine augmente donc de 31,4 rad, soit  $31,4 / (2\pi) = 5$  tours.

Cette vitesse angulaire correspond aussi à 5 tr/s, soit 300 tr/mn.



### Les type de signaux portant l'information

Signal :	Modélisé par :
<b>Analogique</b>	une fonction continue du temps.
<b>Numérique</b>	une fonction discontinue du temps. Le signal prend des <b>valeurs discrètes</b> transmises sous la forme d'une combinaison de <b>digits</b> (bits) correspondant généralement à des <b>nombre entiers naturels ou relatifs</b> <sup>(4)</sup> .
<b>Logique</b>	Une fonction discontinue n'admettant que 2 valeurs distinctes : 0 ou 1, vrai ou faux...

(4) cf. représentation des nombres en cours d'informatique et de physique.

Le signal de sortie d'un capteur ou d'un bouton rotatif qui renvoie une tension électrique directement proportionnelle à la grandeur physique mesurée ou à la consigne de l'utilisateur, est de type analogique.

Le signal obtenu par échantillonnage d'un signal analogique par un convertisseur analogique / numérique est numérique.

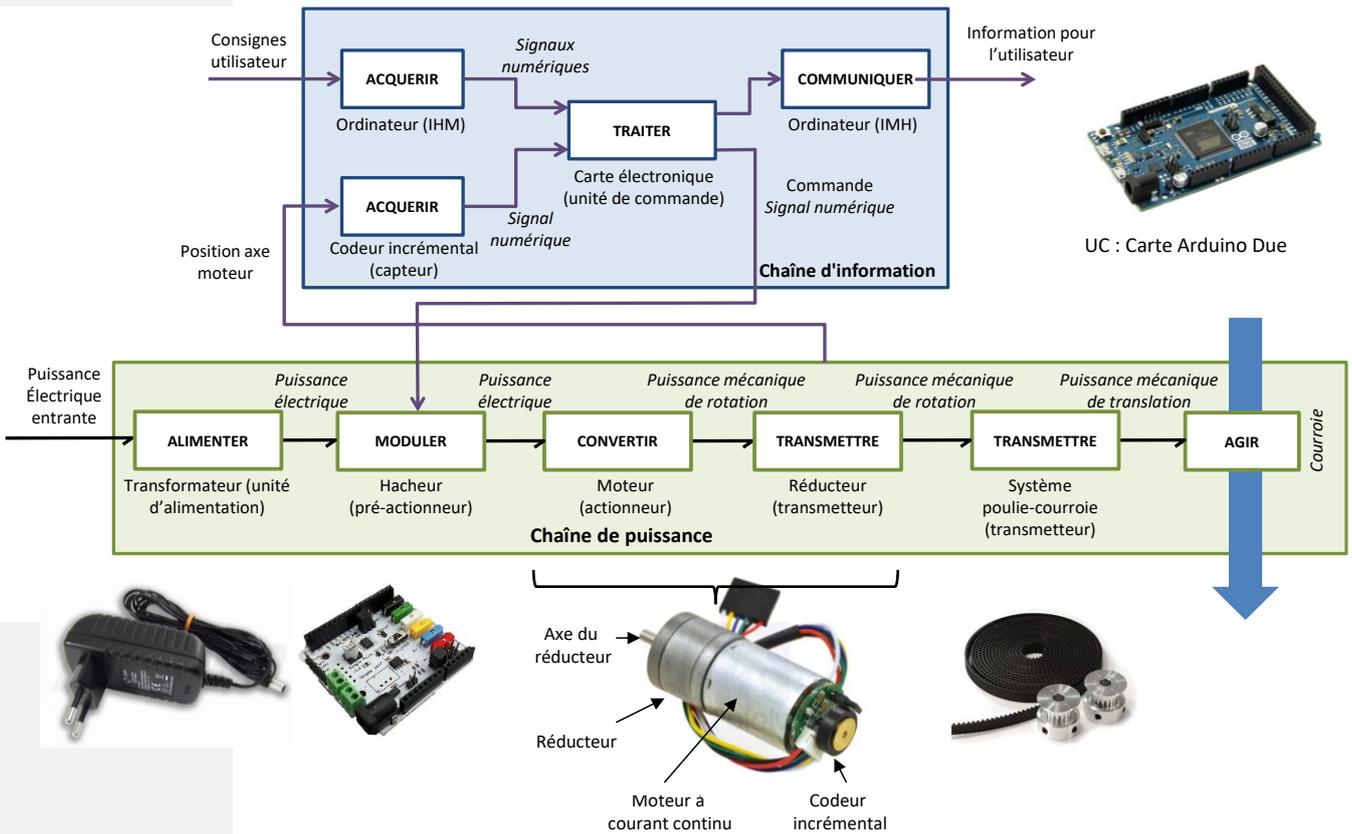
Le signal en sorti d'un bouton poussoir ou d'un détecteur de présence est de type logique.

La traduction d'un signal analogique en signal numérique est réalisée, à fréquence d'échantillonnage donnée, par un **convertisseur analogique numérique** (CAN), fonction TRAITER. L'opération inverse est réalisée par un convertisseur numérique analogique (CNA ou DAC en anglais).

### I.3 Exemples génériques avec puissances entrante électrique ou hydraulique

#### Système utilisant une puissance électrique et contrôlant une position

Le système est une maquette permettant de mettre en mouvement un chariot qui roule sur un rail. La structure du système est très proche de ce que l'on retrouve dans une imprimante à jet d'encre pour déplacer la tête d'impression ou dans les imprimantes 3D, les machines-outils...



Voir [Constituants des chaînes d'information et d'énergie](#) sur le site de SII du pôle pour plus d'informations.

Le **transformateur conditionne la puissance entrante** pour le reste de la chaîne de puissance : transformateur 230 alternatif vers 12 V continu.

Le **pré-actionneur module la puissance disponible**, électrique, pour contrôler le moteur : **hacheur**. Il délivre une tension continue proportionnelle à la commande. La tension varie entre -12 V et +12 V. Il est positionné sur une carte fille de l'unité de commande.

Le **moteur électrique convertit la puissance modulée**, électrique, en puissance mécanique de rotation : moteur à courant continu. En première approximation, sa vitesse de rotation est proportionnelle à la tension délivrée par le hacheur. Un changement de signe de la tension correspond à un changement du sens de rotation.

Les **transmetteurs transmettent la puissance en l'adaptant** : le réducteur réduit la vitesse de rotation et augmente le couple. Il est directement relié au moteur. Le système poulie-courroie transforme le mouvement de rotation en mouvement de translation.

L'**unité de commande (UC) traite les consignes et les informations en provenance du capteur et de l'IHM** pour définir la commande du hacheur et les informations communiquées à l'utilisateur : carte électronique de prototypage Arduino Due.

Le **capteur délivre une image d'une grandeur physique** : **codeur incrémental**. C'est un capteur qui, associé à la carte électronique, envoie un signal logique à chaque variation angulaire de l'axe du moteur électrique, appelé **incrément**. Ici, il y a 48 incréments par tour d'arbre. Chaque incrément correspond donc à  $360/48 = 7,5^\circ$ . Dans ce système, c'est la carte électronique qui compte le nombre d'incrément afin d'en déduire la position de l'axe du moteur et sa vitesse angulaire, et donc la position et la vitesse du chariot.

Le système comprend aussi deux détecteurs de fin de course, non représentés<sup>(1)</sup> sur le schéma.

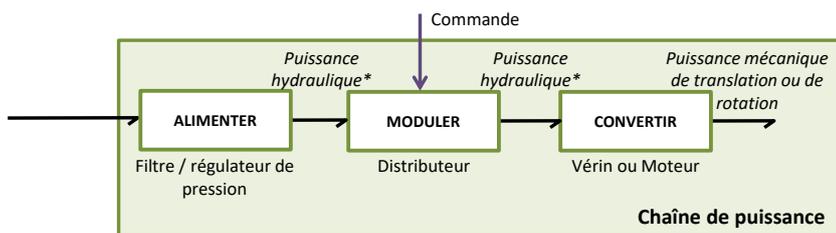


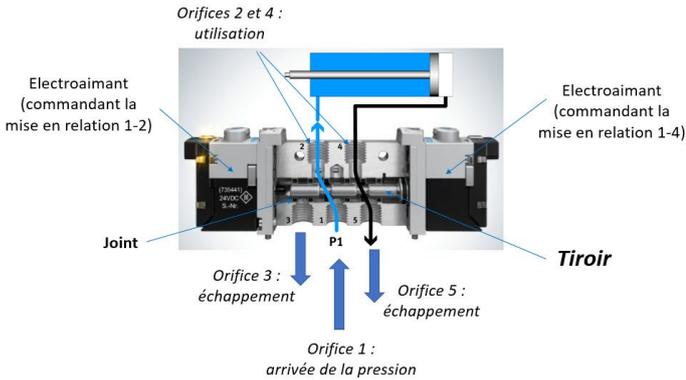
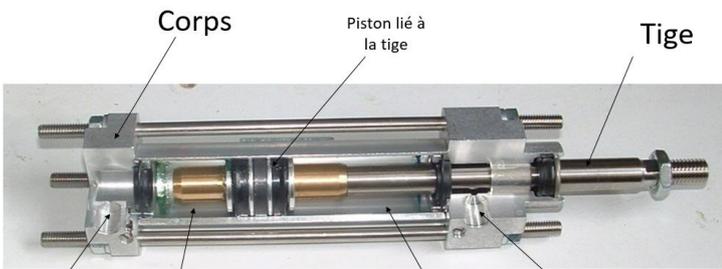
(1) Non représentés pour des raisons de clarté, mais qui auraient dû l'être.

**Système utilisant une puissance hydraulique ou pneumatique**

Si la puissance entrante est hydraulique (fluide sous pression) ou pneumatique (air sous pression), les composants génériques principaux sont précisés ci-dessous.

\* ou pneumatique



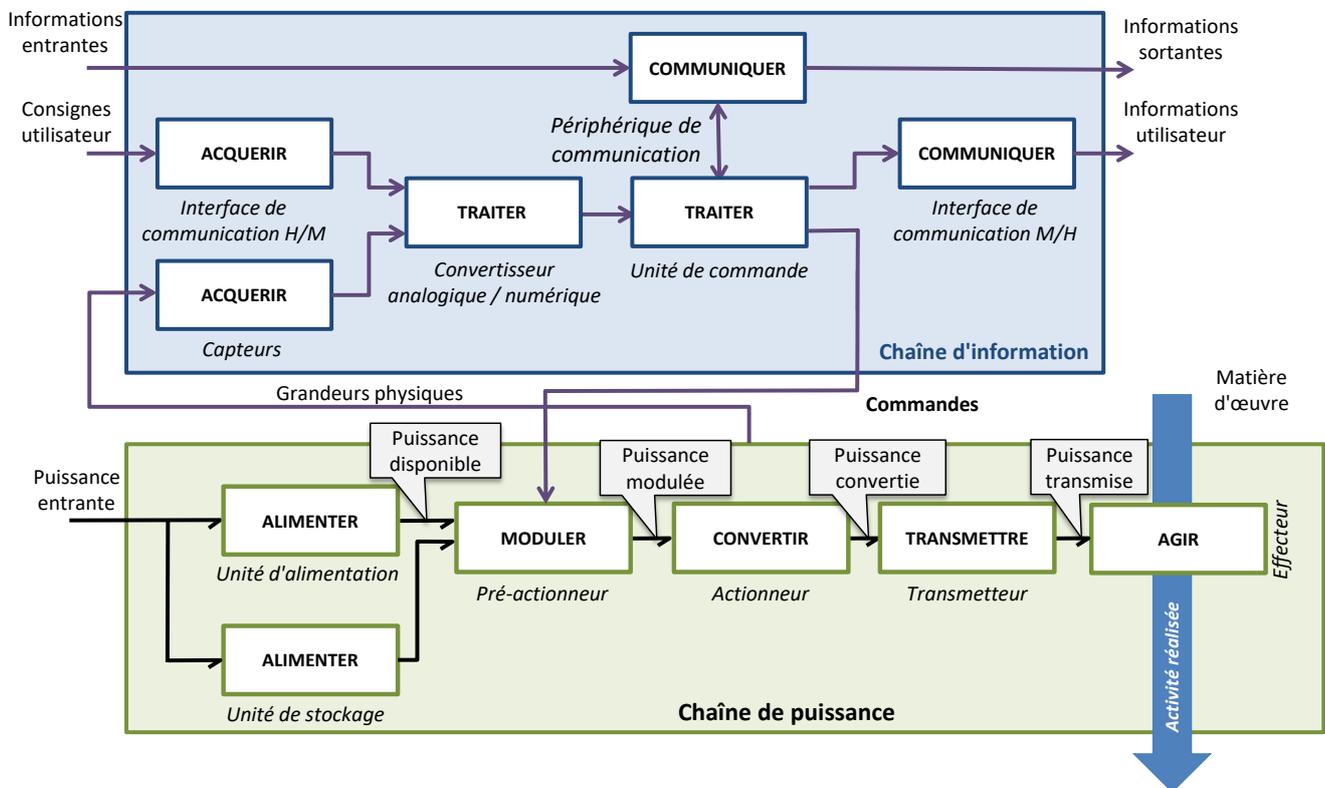
<p><b>Filtre et régulateur de pression</b></p>	<p>En pneumatique, l'unité d'alimentation comprend un <b>filtre</b> et un régulateur de pression, généralement réglable.</p> <p>Des composants similaires existent en hydraulique.</p> 
<p><b>Distributeur</b></p>	<p>Il est connecté à la source de puissance hydraulique ou pneumatique par un ou deux tuyaux (obligatoirement deux en hydraulique), dont un est sous pression.</p> <p>Il permet de contrôler les débits de fluide alimentant l'actionneur : vérin ou moteur hydraulique.</p>  <p>Labels in diagram: Orifices 2 et 4 : utilisation; Electroaimant (commandant la mise en relation 1-2); Joint; Orifice 3 : échappement; P1; Orifice 5 : échappement; Tiroir; Electroaimant (commandant la mise en relation 1-4); Orifice 1 : arrivée de la pression.</p>
<p><b>vérin (linéaire)</b></p>	<p>Convertie une puissance pneumatique ou hydraulique en puissance mécanique de translation.</p> <p>La tige est mise en mouvement par rapport au corps.</p> <p>Les tuyaux d'alimentations sont reliés au corps.</p> <p>Si l'air comprimé ou l'huile arrive par la chambre arrière, la tige sort et la longueur du vérin augmente. S'il arrive par la chambre avant, la tige rentre et la longueur du vérin diminue.</p>  <p>Labels in diagram: Corps; Piston lié à la tige; Tige; Orifice vers chambre arrière; Chambre arrière; Chambre avant; Orifice vers chambre avant.</p>

Voir [Constituants des chaînes d'information et d'énergie](#) pour plus d'informations.  
 Accessible à partir de <https://www.s2i-chateaubriand-joliotcurie.net/>

## I.4 Structure et composants génériques des chaînes de puissance et d'information

### Structure générique

Le schéma ci-dessous représente la structure générique des chaînes de puissance et d'information.



Structure générique des chaînes de puissance et d'information : fonctions et familles des composants

Pour un système donné :

- les noms des familles de composants sont à remplacer par les **noms des composants** ;
- le **type de puissance** (électrique, mécanique de rotation ou de translation, hydraulique, pneumatique) est à **préciser** ;
- le **type de signal** (analogique, numérique, logique) est à préciser ;
- les **grandeurs physiques acquises** par les capteurs sont à **préciser**.

Une **même fonction** peut être réalisée par **plusieurs composants**.

Un **même composant** peut réaliser **plusieurs fonctions**.

Un composant de la **chaîne de puissance relié à la chaîne d'information** est un **pré-actionneur**.

Les **actionneurs** sont les seuls composants ayant des **puissances d'entrée** et de **sortie** de types **différents** (puissances mécaniques de rotation et de translation sont du même type).

Les squelettes des chaînes de puissance et d'information sont à adapter à chaque système.

## Fonctions génériques des composants

(1) Il peut être nécessaire de faire apparaître le composant de conversion analogique – numérique (DAC), fonction TRAITER.

### Composants de la chaîne d'information :

- **l'Interface Homme Machine (IHM) acquière les consignes de l'utilisateur** et définit des images (analogiques, numériques ou logiques) de celles-ci pour l'UC ;
- **l'IHM communique** des informations à l'utilisateur ;
- un **capteur définit une image** (analogique, numérique ou logique) d'une **grandeur physique**<sup>(1)</sup> ;
- **l'unité de commande (UC) traite**, à l'aide d'un **programme**, les informations en provenance des **capteurs**, de **l'IHM** ou d'un ordinateur, afin de définir les **commandes** des **pré-actionneurs** et les informations communiquées à l'utilisateur par IHM.  
L'UC peut généralement commander plusieurs chaînes de puissance simultanément ;
- l'interface de communication permet au système de communiquer **des informations à d'autres systèmes**.

### Composants de la chaîne de puissance :

- **L'unité d'alimentation conditionne** la puissance entrante.
- Le **pré-actionneur module** la puissance disponible pour contrôler l'actionneur. Si la commande est logique, le pré-actionneur est un interrupteur (« tout ou rien »).
- **L'actionneur convertit** la puissance.
- Les **transmetteurs transmettent** la puissance convertie pour **l'adapter** à l'effecteur.
- **L'effecteur agit** sur la matière d'œuvre.

## II Décrire la structure fonctionnelle d'un asservissement

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

### II.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.

Fonctionnellement (et historiquement) on peut distinguer 2 types de système : régulateur et suiveur.

Un **système** est **régulateur**<sup>(1)</sup> 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** et dont l'évolution n'est pas toujours prédéterminée.

(1) Développé pour réguler les vitesses de rotation des machines à vapeur au 18<sup>ème</sup> siècle (régulateur de Watt, 1788).

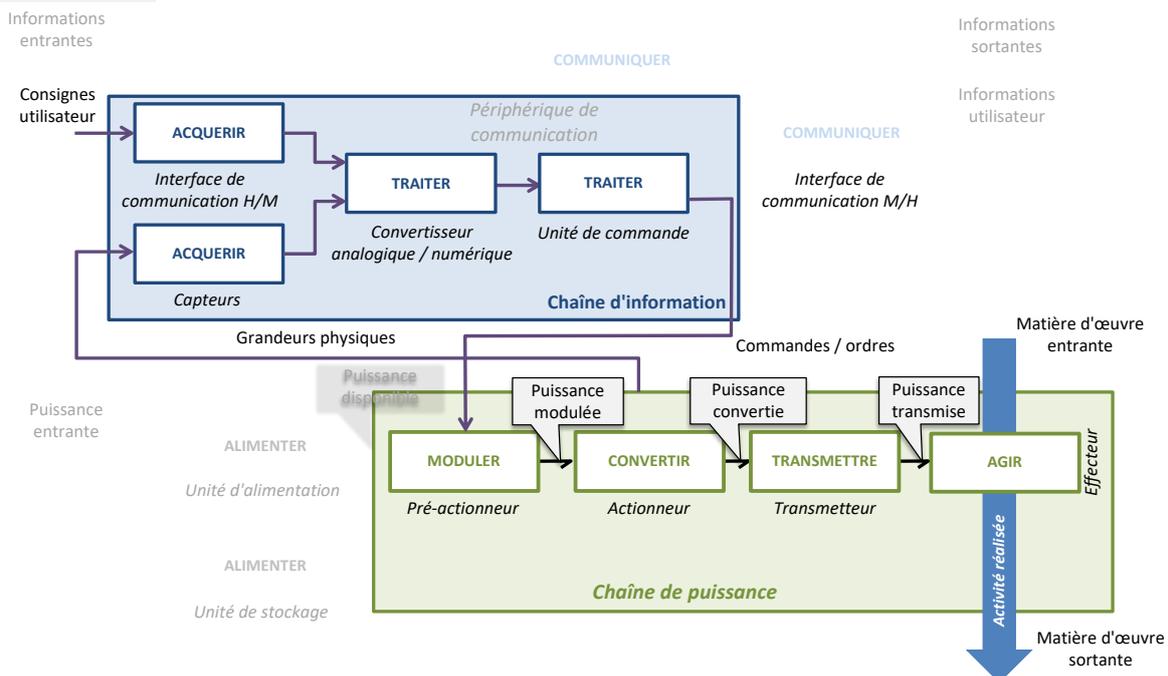
Exemples de systèmes asservis :

Système	Type	Grandeur régulée	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

Avec les hypothèses suivantes :

- **puissance disponible suffisante** et de caractéristiques indépendantes de l'intensité fournie ;
- consigne transmise par IHM ;

les fonctions de communication et d'alimentation en puissance n'interviennent pas dans le comportement de l'asservissement. L'étude se l'imité au sous-ensemble suivant :



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

Un **système asservi** comprend un **capteur** pour **observer** la grandeur de sortie et **réagir** en fonction de l'**erreur mesurée**, différence entre la **réponse**  $s(t)$  et la **consigne**  $e_c(t)$ , afin **d'annuler cette erreur**  $e_r(t) = e_c(t) - s(t)$ .

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

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

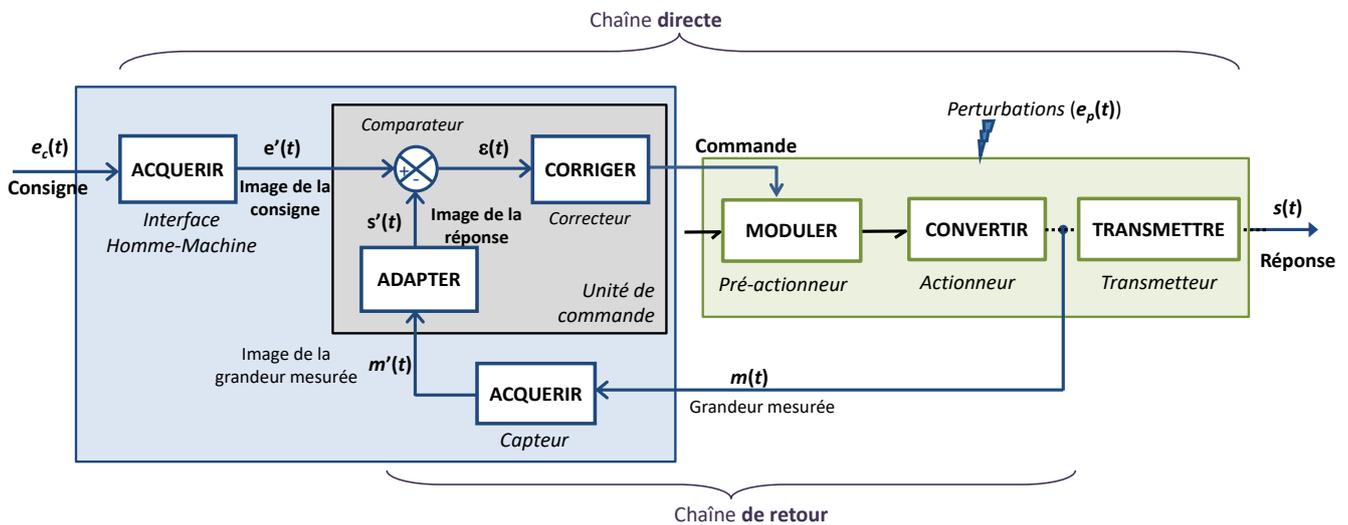
et l'unité de commande dans laquelle on distingue les sous-ensembles suivants :

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

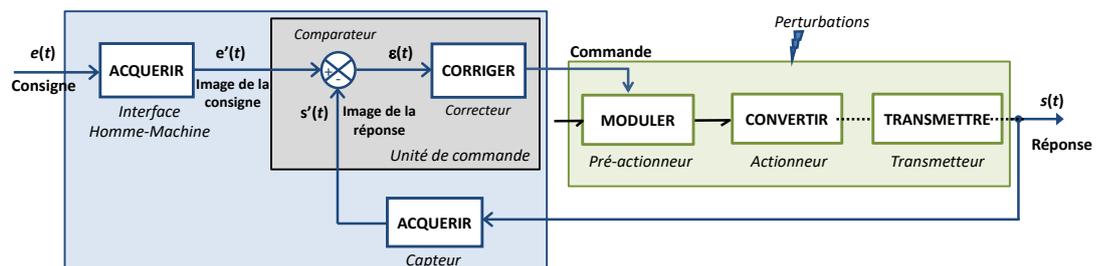
(1) en pratique, ces fonctions sont réalisées par un même composant programmable et correspondent à des lignes de code. Le comparateur est ainsi une simple soustraction entre deux variables.

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 ;
- détaillant les **fonctions**<sup>(1)</sup> 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 continues** en temps de la chaîne d'information.



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



### III Performances en poursuite d'un système asservi

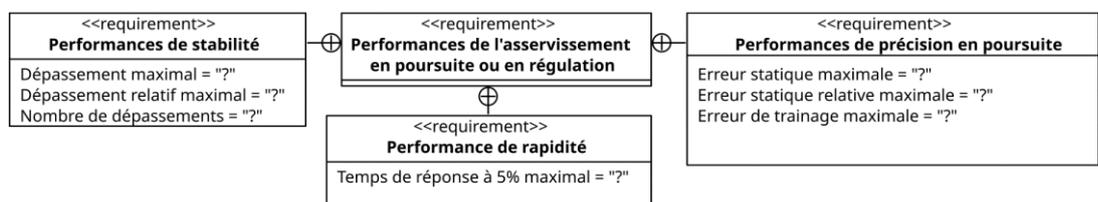
Le **comportement et les performances en poursuite** d'un **système asservi** caractérisent l'aptitude du système à **imposer des variations** à une grandeur physique en fonction de la consigne.

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.

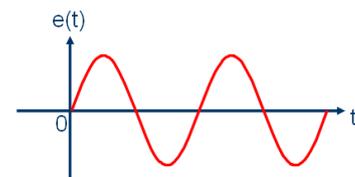
**Remarque** : stabilité et rapidité sont des performances applicables à des sous-systèmes d'un système asservi ; actionneurs et pré-actionneurs, par exemple.



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 :

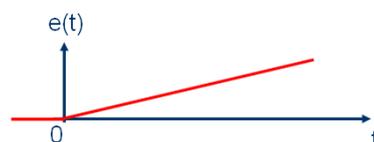
- l'**échelon** qui permet de caractériser le système à partir de son comportement transitoire ;
- la **sinusoïde** qui permet de caractériser le système à partir de son comportement fréquentiel en régime permanent<sup>(1)</sup>.



(1) vu au 2<sup>nd</sup> semestre.

La **rampe**, signal linéairement variable, est aussi utilisée pour caractériser le comportement à une consigne ou à une perturbation variable.

L'**impulsion**, qui modélise un choc, est un autre signal test usuel.



Consigne en rampe



Consigne en impulsion

Pour l'étude des performances en **poursuite**, le signal test est appliqué à la **consigne**.

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

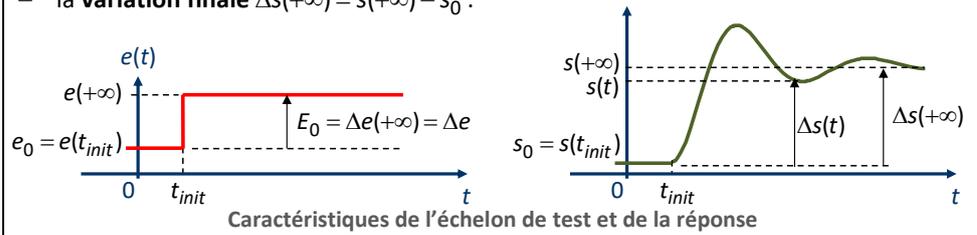
(1) Un échelon d'amplitude 1 est appelé échelon unitaire ou échelon indiciel.

#### 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<sup>(1)</sup>  $E_0$  (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  $\Delta s(+\infty) = s(+\infty) - s_0$ .



### III.2 Caractériser la stabilité : valeur finale et dépassements

Un système est **stable** si, pour une entrée en échelon, la valeur finale existe (si la réponse converge).

Une réponse présente un **dépassement** lorsque sa courbe « coupe » la valeur finale<sup>(2)</sup>.

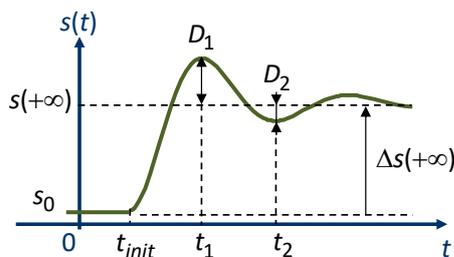
L'amplitude du k<sup>ème</sup> dépassement est caractérisée par :

- 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

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

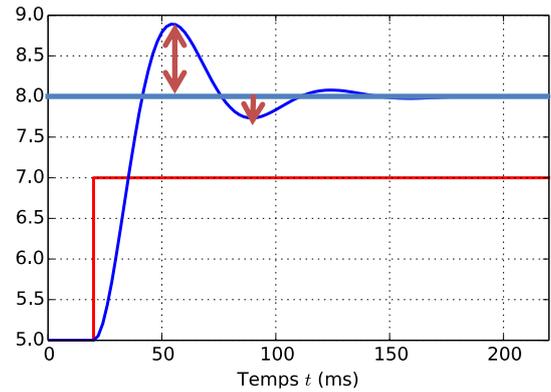
$$D_1 = |8,9 - 8| = 0,9$$

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

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

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

3 dépassements visibles.



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

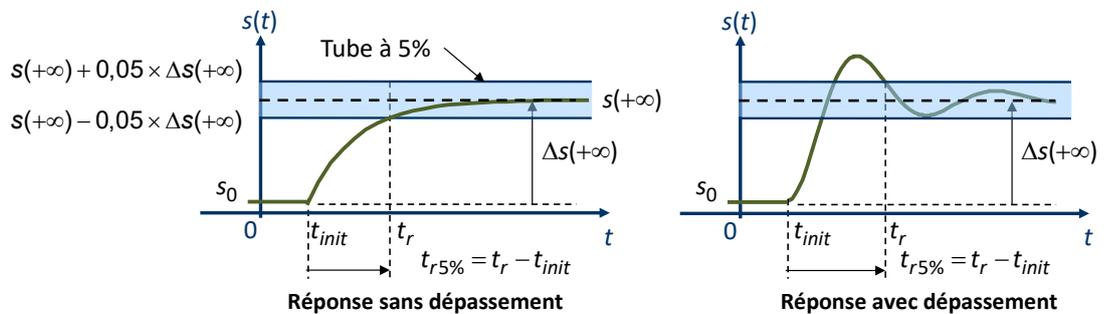
👉 Le temps de réponse à 5% est atteint lorsque la sortie rentre dans le « tube des 5% » et n'en sort plus !

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** 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 :  $s(+\infty) \pm 0,05 \Delta s(+\infty)$



**Application :**

A4 - Déterminer le temps de réponse à 5%.

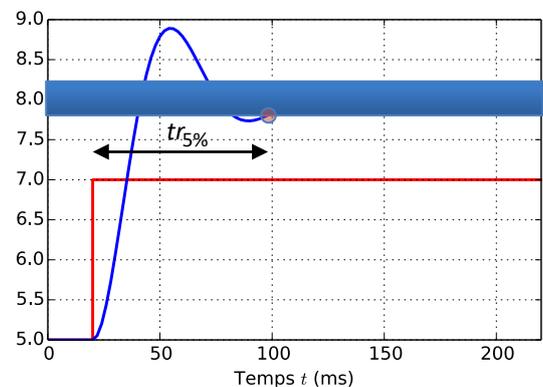
La valeur finale est :  $s(+\infty) = 8$

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 :

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



### III.4 Caractériser la précision en poursuite d'un système stable et asservi : erreur statique et erreur de trainage

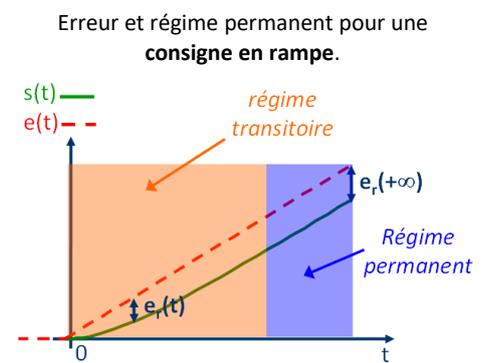
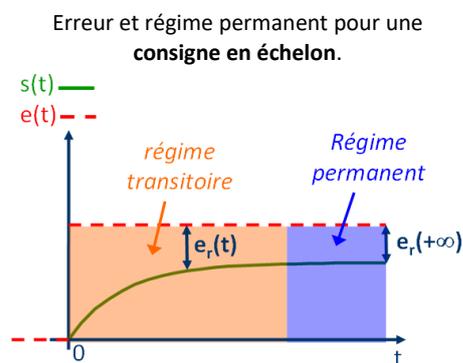
#### Erreur et régime permanent

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) :

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

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**.



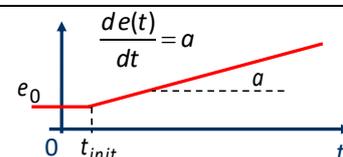
#### Performances de précision en poursuite

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** :

- **erreur statique** pour une **consigne en échelon** ;
- **erreur de trainage** pour une **consigne en rampe**.

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



Erreur statique ou de trainage :

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

Erreur statique relative :

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

**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.

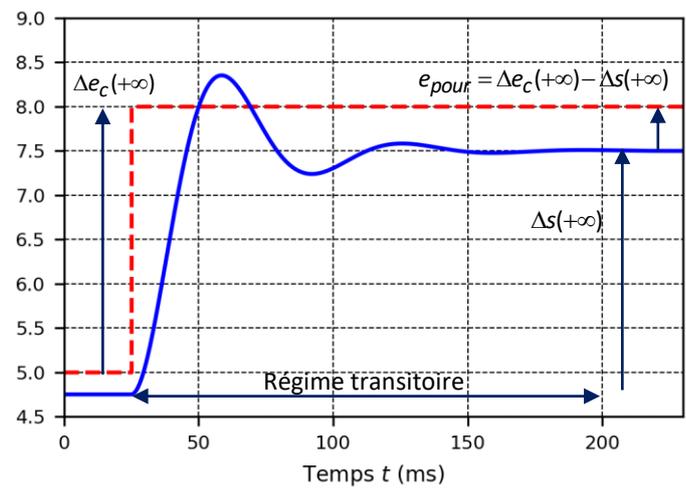
Après 200 ms, la réponse est sensiblement constante.

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

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

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

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



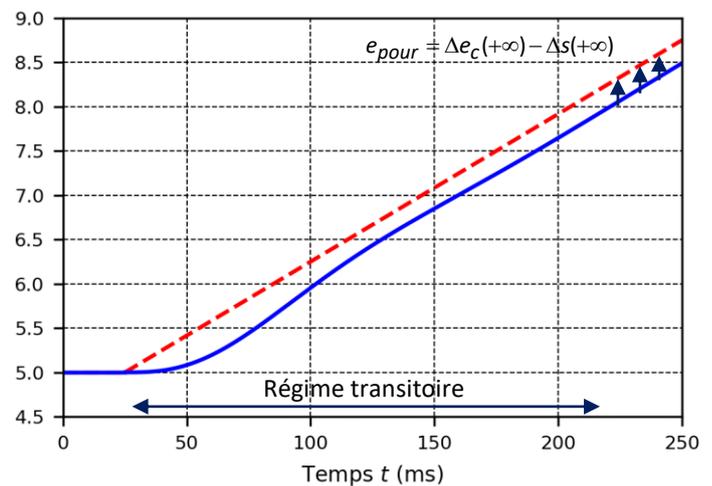
**Application 2 :** Le graphique ci-contre représente la réponse d'un système asservi à une consigne en rampe de pente 5/0,3.

A7 - Déterminer l'erreur de trainage

Conditions initiales identiques.

L'erreur se stabilise.

$e_{\text{pour}} = \Delta e_c(+\infty) - \Delta s(+\infty) \approx 0,25$   
pour une rampe de pente 5/0,3.



## IV Performances en régulation d'un système asservi

Le **comportement et les performances** en régulation d'un **système asservi** caractérisent l'aptitude du système à **maintenir** une grandeur physique constante malgré les perturbations.

La **consigne** est supposée **constante**.

Le signal test est un **échelon de perturbation** d'amplitude  $\Delta e_p(+\infty)$ .

On admettra qu'un système **stable en poursuite** est **stable en régulation**.

Si la **variation finale** induite par la perturbation est nulle :

- le système est dit **insensible aux perturbations**<sup>(1)</sup>. Il est sensible aux perturbations sinon ;
- les dépassements relatifs et la rapidité ne peuvent pas être définis.

**Erreur statique de régulation** = erreur en régulation pour une perturbation en échelon :

$$e_{\text{reg}} = -\Delta s(+\infty)$$

(1) C'est la caractéristique recherchée.

**Application 2** : Le graphique ci-contre représente la réponse d'un système asservi à une perturbation en échelon.

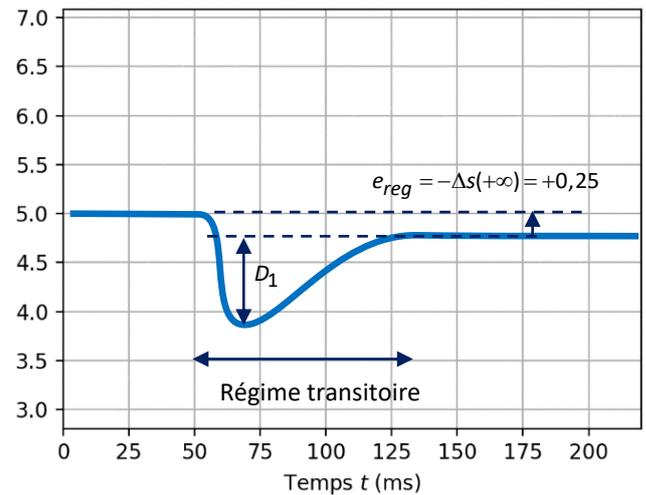
A1 - Quel est l'instant initial de l'échelon et le début du régime permanent ?

Approximativement 50 ms pour l'instant initial, 130 ms pour le régime permanent.

A2 - Le système est-il sensible aux perturbations ? Quel est la performance de précision en régulation ?

La variation finale n'est pas nulle : le système est sensible aux perturbations.

$$e_{reg} = -\Delta s(+\infty) = -(4.75-5) = +0,25$$



## V Performances de précision : erreur statique nulle et insensibilité aux perturbations

Par hypothèse, l'**erreur en régime permanent** est la **somme des erreurs** en poursuite et en régulation.

L'asservissement cherche à annuler cette erreur en régime permanent.

Un **asservissement** est **précis** si, au minimum :

- l'**erreur statique** est **nulle**
- et qu'il est **insensible aux perturbations** en échelon ou que les **perturbations** sont **négligeables**.

Le cahier des charges peut aussi imposer une exigence sur l'erreur de trainage.

## Savoirs

Je connais :

- la structure des chaînes d'information et de puissance
- le vocabulaire des fonctions et familles de composants des chaînes fonctionnelles
- les différents types de puissances
- les différents types de signaux
- la structure générique d'une chaîne ayant une puissance électrique entrante et contrôlant une position
- la structure générique d'une chaîne de puissance avec puissance entrante pneumatique ou hydraulique
- la structure fonctionnelle d'un système asservi
- les définitions de la stabilité, de la rapidité, de l'erreur et de la précision ainsi que les critères associés : dépassements, dépassements relatifs, temps de réponse, erreur statique et de trainage, sensibilité aux perturbations, de l'erreur en régime permanent.

## Savoir-faire

Je sais :

- identifier l'unité de commande et le pré-actionneur d'une chaîne fonctionnelle
- identifier, nommer et donner le rôle des constituants d'une chaîne fonctionnelle à partir d'une description textuelle
- identifier, nommer et donner le rôle des constituants d'une chaîne fonctionnelle à partir d'un IBD
- identifier les puissances transmises et les grandeurs flux et effort
- reconnaître un système asservi
- déterminer les performances d'un système asservi en poursuite ou en régulation à partir de résultats expérimentaux ou de simulations