

<h1>Cours</h1>	<h2>SAMP 1</h2>	TSI 1 Semestre 1
	Structure d'un asservissement Performances temporelles	1h
	Cycle 2 : Systèmes Asservis Multiphysiques	1 semaine

Les performances suivantes concernent la loi entrée - sortie du système en : position, vitesse, force, température...

ANALYSER : Identifier la structure d'un système asservi.
MODELISER : Modéliser un système par schéma-blocs.

1 Système asservi

Fonction d'un système asservi : contrôler l'écart entre une grandeur de sortie et une consigne d'entrée.

La présence de phénomènes perturbateurs non contrôlables (vent, frottement...) conduit à la nécessité d'adapter la commande à la grandeur effectivement atteinte dans le système.



Structure d'un système

asservi (c'est la grandeur de sortie qui est asservi à la consigne) :

- En pointillé vert, la chaîne d'information traite des signaux analogiques ou numériques.
- Ces signaux évoluent en synergie avec la chaîne d'énergie (trait fort continu rouge).

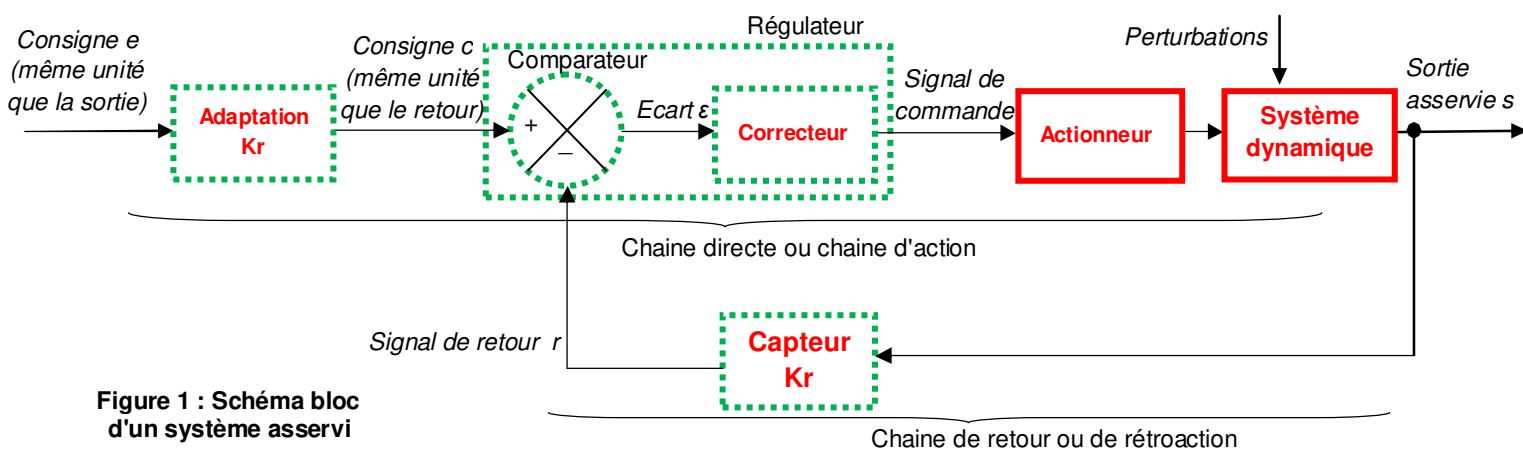


Figure 1 : Schéma bloc d'un système asservi

Les caractéristiques d'un système asservi sont :

- **d'être bouclé par une chaîne de rétroaction réalisée par un capteur,**
- **de générer un ordre de commande dont la valeur dépend de l'écart entre la grandeur de sortie et la consigne attendue (et tend à réduire cet écart).**

Blocs présents dans un système asservi :

- **l'adaptation** permet d'obtenir une consigne e comparable à la sortie s (même unité) et si $e=s$ alors $\varepsilon=0$,
- le **comparateur** élabore l'écart $\varepsilon = c - r$,
- le **correcteur** adapte le signal pour rendre le système plus performant,
- **l'actionneur** (par l'intermédiaire du préactionneur) transforme le signal commande en énergie,
- le **système dynamique** adapte l'énergie de l'actionneur à la matière d'œuvre.

Noms des signaux (information ou énergie) circulant entre les blocs :

- la **consigne e** : provient de l'IHM (Interface Homme Machine) ou d'un autre système,
- la **grandeur de sortie s** : située à la fin de la chaîne d'énergie (au niveau de la matière d'œuvre),
- les **perturbations** sont des phénomènes incontrôlables (efforts résistants, pertes énergétiques...) susceptibles de perturber la sortie.
- la **grandeur prélevée** est la grandeur mesurée par le capteur (la grandeur prélevée est parfois différente de la grandeur de sortie où est située la matière d'œuvre),
- la **grandeur de retour r** qui doit être rendue comparable à celle de la consigne c (rôle joué par le bloc d'adaptation).
- **l'écart** $\varepsilon = c - r$ proportionnel à **l'erreur** $\varepsilon_s = e - s$ (unité de la sortie) :
si la sortie est la grandeur mesurée : $\varepsilon = (Kr.e) - (Kr.s) = Kr.\varepsilon_s$
- le **signal de commande** : pilote le fonctionnement de l'actionneur par l'intermédiaire de son préactionneur.

Typologie des systèmes avec boucle de rétroaction

Le système à boucle de rétroaction assure :

- une **régulation** si la consigne e est constante.

Figure 2 : régulation de niveau d'une piscine



- un **asservissement** si la consigne e varie au cours du temps (on trouve aussi les appellations suiveur ou en poursuite).

Figure 3 : missile à tête chercheuse



2 Performance des systèmes asservis

RESOUDRE :

Proposer une démarche permettant d'évaluer les performances des systèmes asservis.
Déterminer les performances d'un système asservi.

Trois critères permettant de mesurer les performances d'un système asservi :

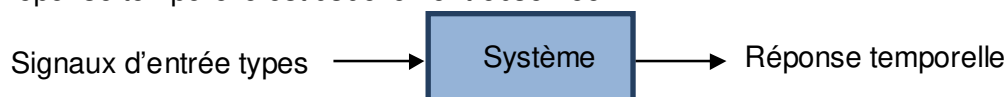
- **la précision** : écart entre la consigne et la sortie (en régime permanent : grandeur de sortie fixe ou stabilisée),
- **la rapidité** : durée nécessaire pour atteindre la valeur de consigne,
- **la stabilité** : quantifie la possibilité pour le système de sortir du régime transitoire (pour atteindre le régime permanent).

2.1 Les signaux canoniques d'entrée

Le comportement et les performances d'un système peuvent être caractérisés par sa réponse temporelle :

- on soumet le système à un signal d'entrée,
- on relève sa sortie à l'aide d'un dispositif d'acquisition.

L'analyse de la réponse temporelle permet de connaître et de caractériser une grande partie des performances attendues du système. Il existe un certain nombre de signaux d'entrées types à partir desquelles la réponse temporelle est usuellement observée.



Les signaux sous forme temporelle standard permettent de :

- comparer les réponses de différents systèmes réalisant la même fonction,
- établir ou valider des performances du cahier des charges fonctionnel.

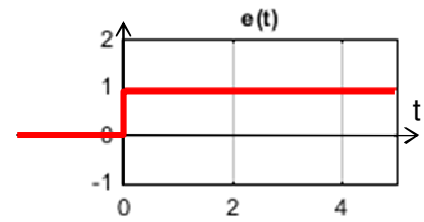
2.1.1 Echelon (step en anglais)

$$e(t) = 0 \quad \text{si } t < 0$$

$$e(t) = E_0 \quad \text{si } 0 \leq t$$

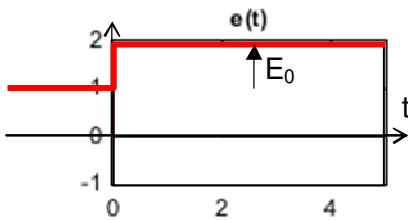
E_0 est l'amplitude de l'échelon.

Cette fonction porte aussi le nom d'Heaviside (parfois notée $u(t)$).

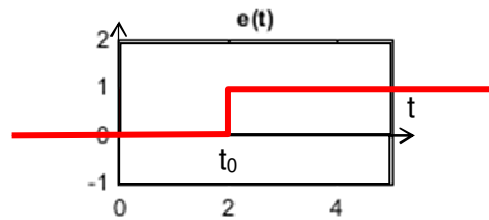


Echelon unitaire : $E_0 = 1$.

Complication liés aux commandes des systèmes en TP :



Echelon unitaire : $E_0 = 1$ mais avec un départ à 1 au lieu de 0



Echelon unitaire : $E_0 = 1$ mais à un départ à $t_0=2s$

L'échelon est la consigne privilégiée pour évaluer les performances d'une régulation.

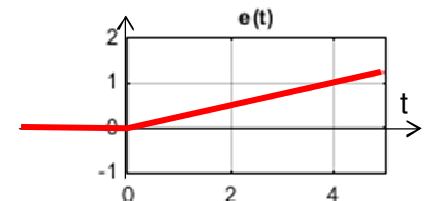
Elle permet notamment d'évaluer l'erreur statique (erreur en régime permanent) suite à un brusque changement de la valeur de consigne.

2.1.2 Rampe

$$e(t) = 0 \quad \text{si } t < 0$$

$$e(t) = a_0 \cdot t \quad \text{si } 0 \leq t$$

a_0 est la pente de la rampe.



Rampe de pente : $a_0 = 1/4$.

La rampe permet d'évaluer le comportement de l'asservissement

dans la poursuite d'une consigne variable. Elle permet notamment d'évaluer l'erreur en poursuite.

2.1.3 Impulsion

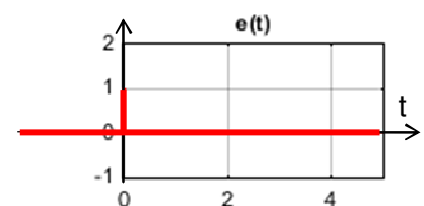
$$e(t) = 0 \quad \text{si } t \neq 0$$

$$e(t) = E_0 \quad \text{si } t = 0$$

E_0 est l'amplitude de l'impulsion.

Cette fonction est appelé dirac (noté $\delta(t)$ lorsque $E_0 = 1$)

Elle permet notamment d'évaluer la stabilité d'un système.

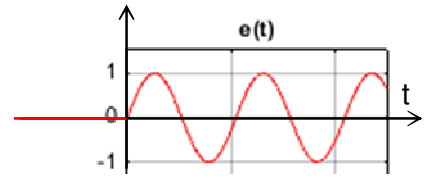


Impulsion unitaire : $E_0 = 1$

2.1.4 Entrée sinusoïdale

$$e(t) = 0 \quad \text{si } t < 0$$

$$e(t) = E_o \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad \text{si } 0 \leq t$$



Amplitude : $E_o = 1$
Période : $T=2s$

Cette sollicitation permet d'étudier la réaction du système en fonction notamment de la période du signal d'entrée.

2.2 La précision

La précision est évaluée par l'erreur résiduel défini par $e(\infty) - s(\infty)$ en régime permanent. Pour que l'erreur ait un sens l'entrée $e(t)$ et la sortie $s(t)$ doivent être homogènes.

On distingue cette erreur en fonction de la forme de la consigne :

- erreur statique (seulement pour un échelon) :** $\epsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} [e(t) - s(t)] = e(\infty) - s(\infty)$

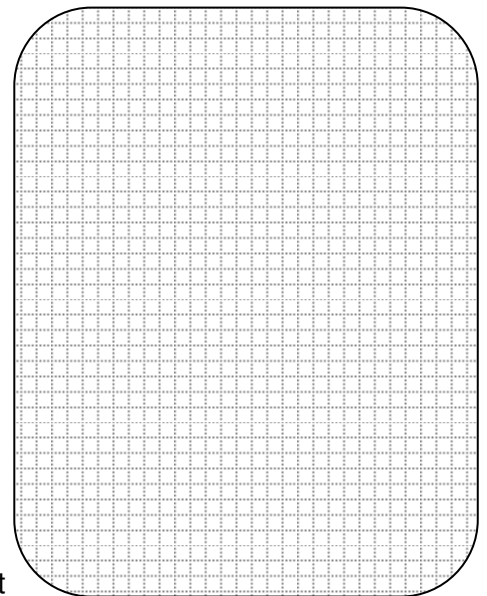
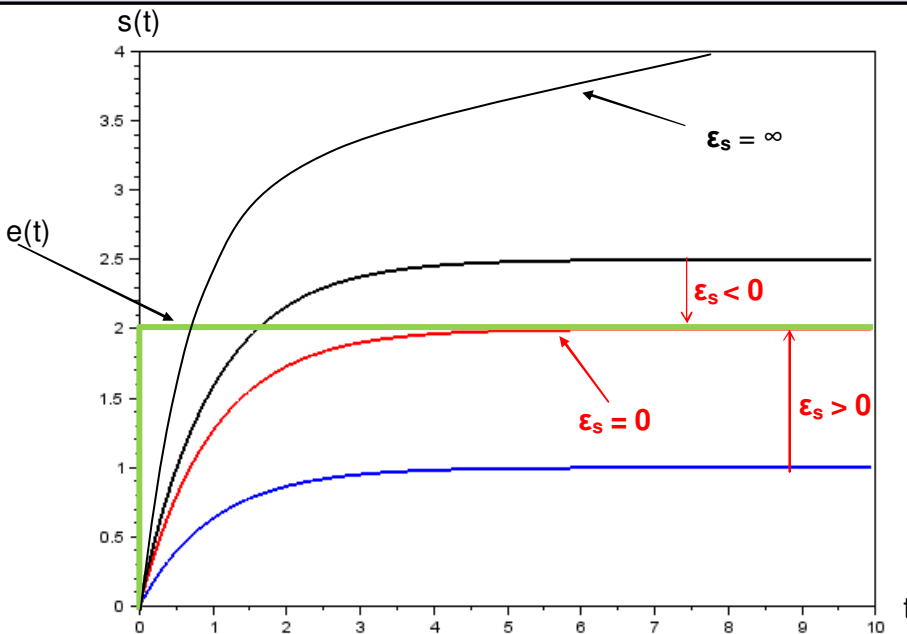


Figure 4 : Erreurs statiques de 4 réponses indicielles différentes (réponse indicielle = réponse à un échelon)

- erreur de traînage ou erreur de suivi (seulement pour une rampe) :** $\epsilon_t = e(\infty) - s(\infty)$

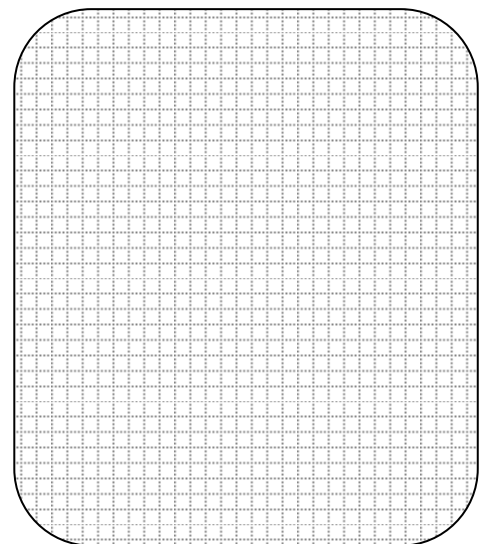
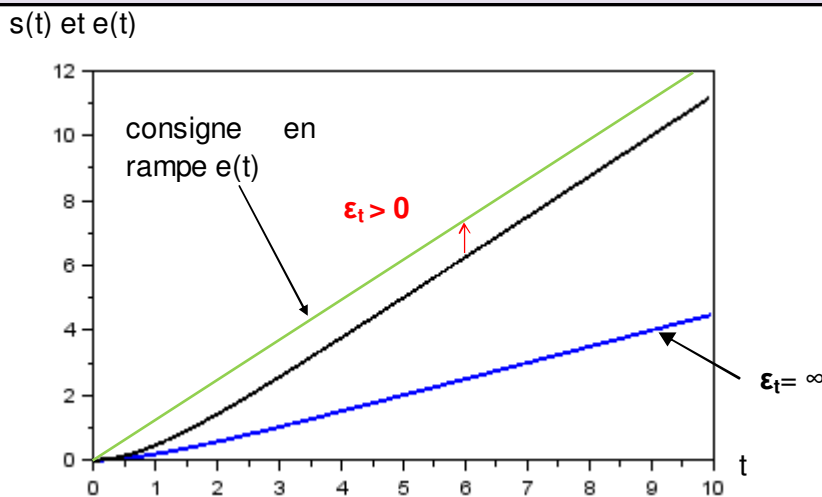


Figure 5 : Erreurs de traînage de 2 réponses différentes à la même consigne en rampe

Remarque :

On confond parfois l'écart $\varepsilon(t)$ (en sortie de comparateur) et l'erreur $e(t)-s(t)$ car ils sont proportionnels.

Si la sortie $s(t)$ est mesurée par un capteur de gain Kr : $\varepsilon(t) = Kr \cdot (e(t) - s(t))$

Pour définir l'erreur relative, on utilise l'entrée :

Erreur statique relative : $\varepsilon_{s\%} = \frac{\varepsilon_s}{E_0}$ où $\varepsilon_{s\%}$ est l'erreur statique relative (sans unité)
 ε_s est l'erreur statique dans l'unité de la consigne $e(t)$
 E_0 est l'amplitude de l'échelon en entrée

2.3 La rapidité

La rapidité est caractérisée par le temps de réponse : temps que met le système à réagir à une variation de l'entrée.

Le temps de réponse $t_{5\%}$ n'est défini que pour une réponse indicielle = réponse à une consigne en échelon.

Temps de réponse $t_{5\%}$:

temps que met la sortie pour entrer (sans en sortir) dans la bande des $\pm 5\%$ du saut de la sortie $\Delta S(\infty)$ autour de la valeur finale $s(\infty)$ après une sollicitation en échelon.

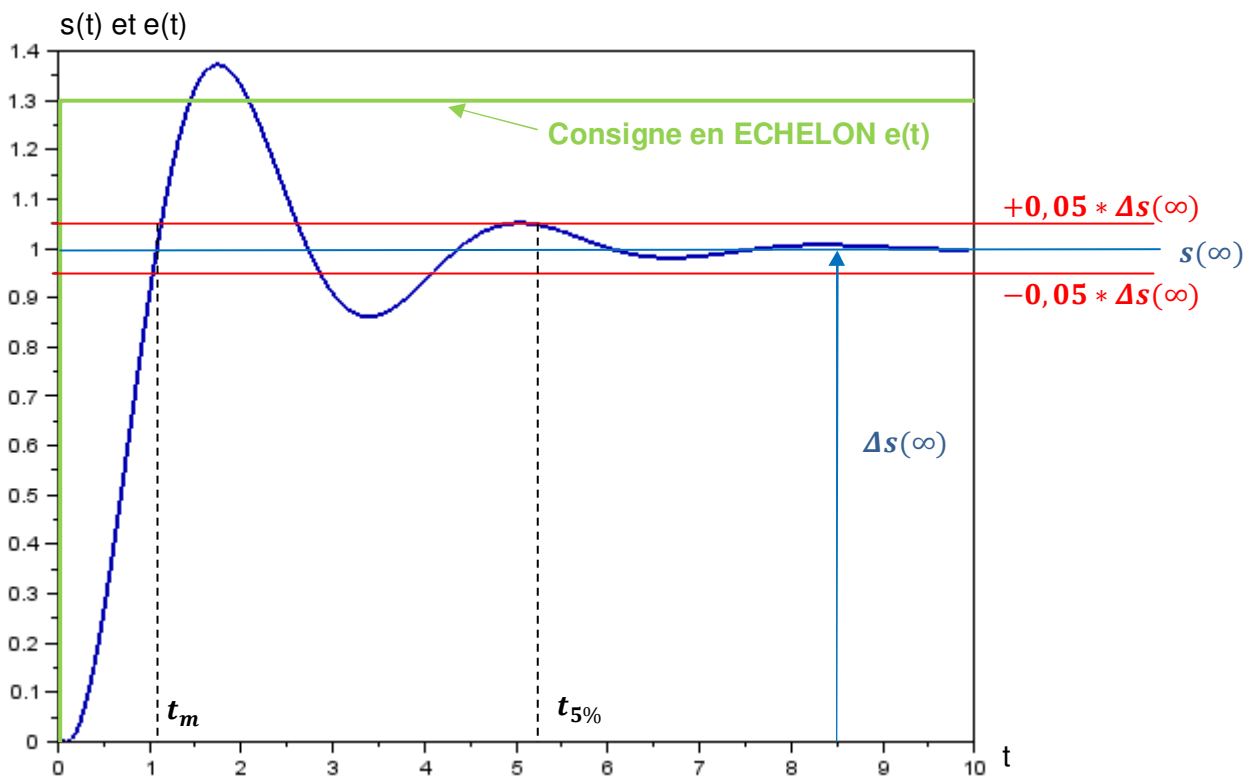


Figure 6 : Temps de réponse (réponses indicielles).

Le temps de montée t_m est la durée nécessaire pour que la sortie atteigne sa valeur finale suite à un échelon de l'entrée. Le temps de montée n'est défini que s'il y a un dépassement de la valeur finale.

On préfère donc utiliser $t_{5\%}$ qui permet de quantifier la rapidité des systèmes ayant un minimum de stabilité (exception : les oscillateurs qui par définition ne sont pas censés se stabiliser après un échelon).

2.4 La stabilité

Le système est stable si à une entrée bornée correspond une sortie bornée.
Les systèmes industriels sont toujours stables (sinon ils ne fonctionnent pas).

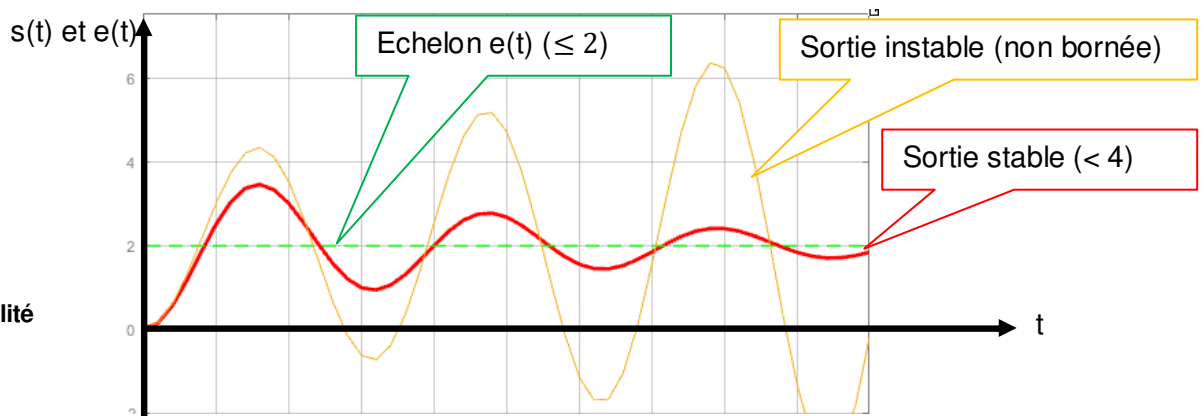


Figure 7 : Stabilité

Dépassement

Le dépassement $D\%$ est l'écart entre la valeur maximum de la sortie s_{max} et la valeur stabilisée de la sortie $s(\infty)$, exprimé en pourcentage de la valeur finale $s(\infty)$:

La stabilité est évaluée à partir du 1^{er} dépassement (généralement plus grand que les autres) pour une réponse indicielle (consigne en échelon) :

$$D_{1\%} = \frac{s_{max} - s(\infty)}{s(\infty) - s(0)}$$

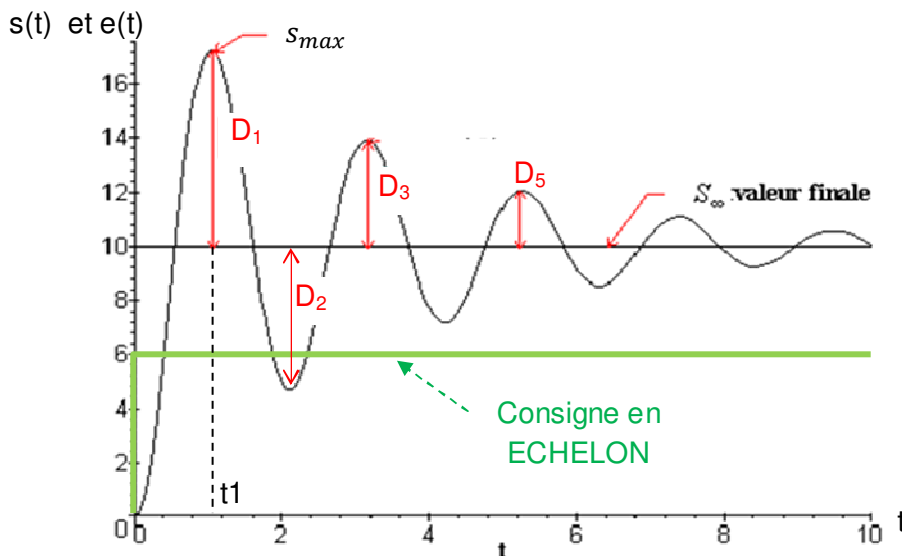


Figure 8 : dépassements d'une réponse indicielle

Plus le dépassement est important plus les risques d'instabilité augmentent.
Un système suffisamment rapide et stable conduit à un dépassement inférieur à 10%.

3 Systèmes linéaires continus et invariants

Pour que les systèmes puissent être étudiés analytiquement sans complication, ils doivent être linéaires, continus et invariants.

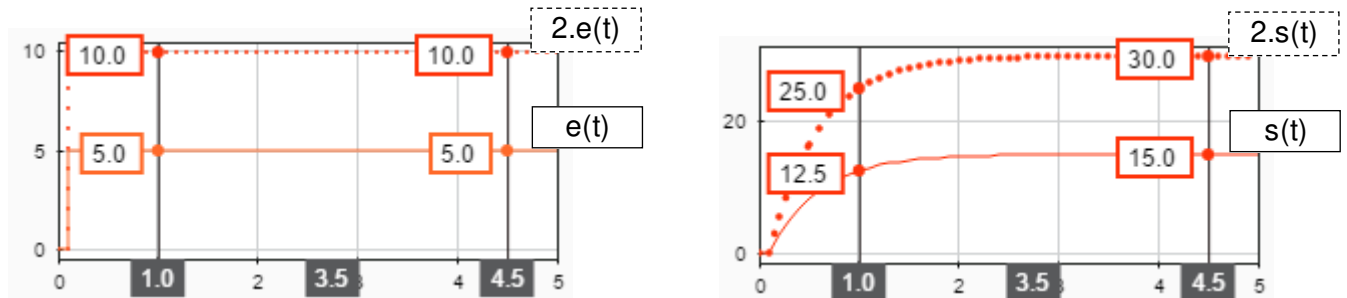
3.1 Linéaires

Un système est dit linéaire si la loi entrée/sortie respecte les lois suivantes :

- **proportionnalité** :

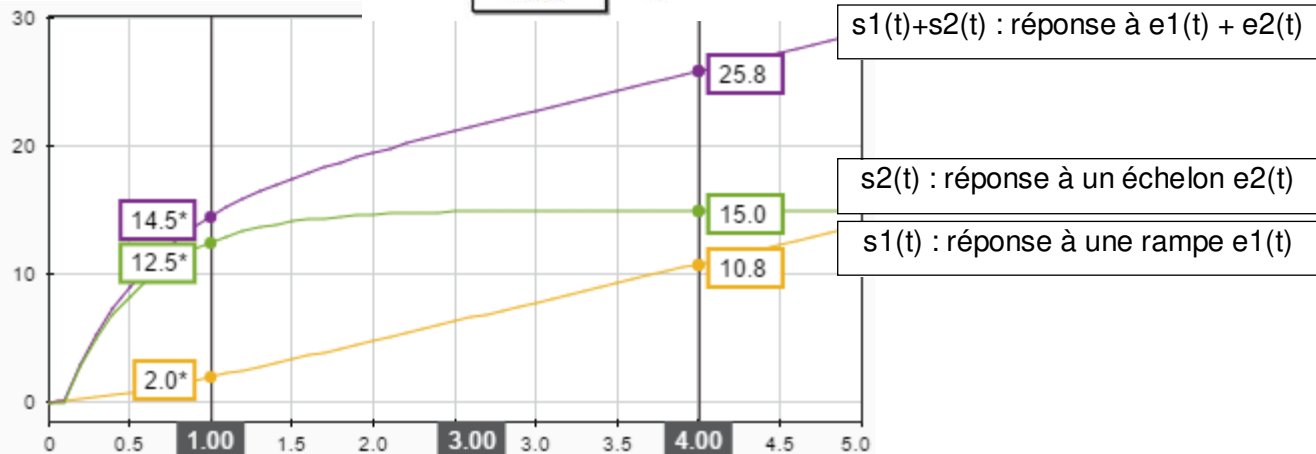
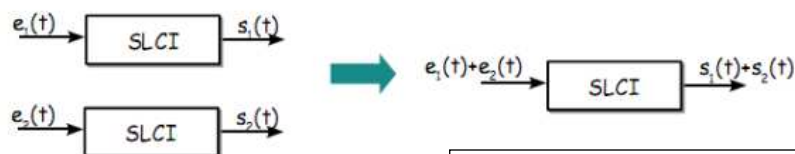


exemple : la tension d'un moteur est multipliée par $\lambda=2$ alors la vitesse en sortie aussi :



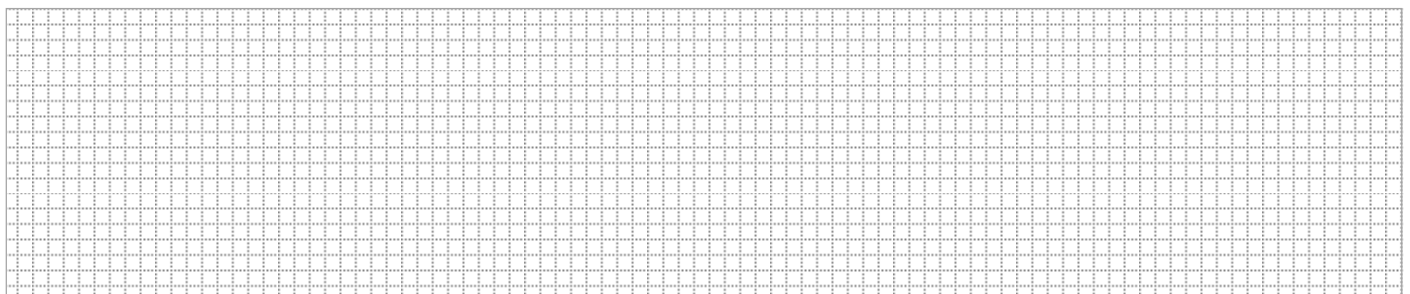
Attention : la proportionnalité est entre 2 sorties différentes (pas proportionnelle au temps).

- **superposition** :



De nombreux phénomènes physiques sont modélisables par des systèmes linéaires :

- charge et décharge de condensateur ou de bobine,
- déplacement ou déformation de matière soumis à des ressorts ou à des amortisseurs, transport et transfert de chaleur...



3.2 Non linéarités

Il est fréquent que des non-linéarités localisées soient présentes dans les systèmes étudiés.

La prise en compte des non-linéarités rend complexe la résolution analytique :

- soit on étudie les non-linéarités par des résolutions numériques,
- soit on fait des hypothèses permettant, malgré tout, une étude analytique simplifiée :

3.2.1 Non linéarité de courbure

La sortie ne double pas pour une valeur double de l'entrée.

exemple : certains mécanismes articulés comme les vérins pour pivots

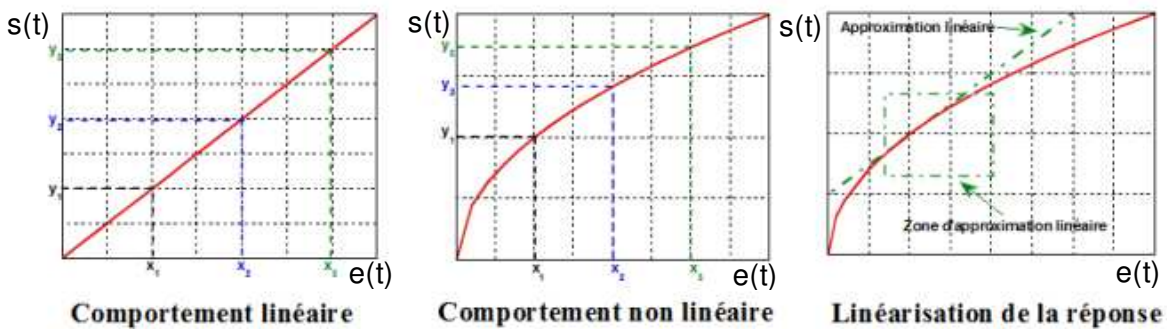


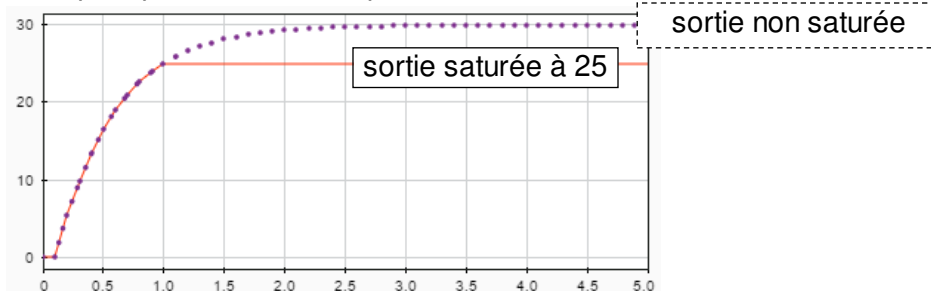
Figure 9 : Linéarisation autour d'un point de fonctionnement.

solution analytique : on traite l'étude autour d'un point de fonctionnement (pour de faibles amplitudes de variation, le comportement est quasi-linéaire).

3.2.2 Saturation

La sortie ou certaines grandeurs intermédiaires sont limitées par une valeur maximale ou minimale.

exemple : protection électrique des moteurs, limite de course des ressorts ou des amortisseurs



Lorsque ce sont des grandeurs intermédiaires qui sont saturées, les effets sur la sortie n'apparaissent pas aussi nettement. Seules des variations de performances sont visibles : le système avec saturation est plus mou que sans saturation et potentiellement moins précis.

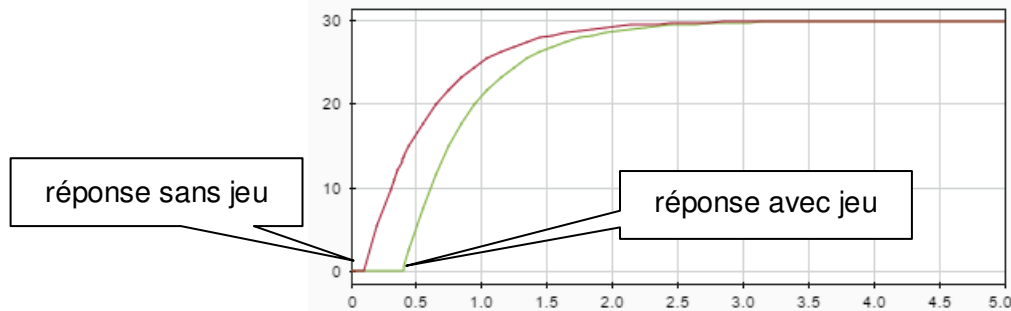
solution analytique : on traite l'étude autour d'un point de fonctionnement (pour de faibles amplitudes de variation, les saturations ont tendance à moins se produire car la commande sera moins brusque) ou on réduit l'amplification de la commande.

3.2.3 Seuil, hystérésis ou retard pur

La sortie n'évolue pas tant que l'entrée n'a pas atteint une certaine valeur de seuil, cela engendre notamment une hystérésis (la caractéristique lorsque l'entrée augmente est différente de la caractéristique lorsqu'elle diminue). Enfin le retard apparaît quand la propagation est lente entre l'entrée et la sortie.

Exemples :

- frottement sec : un solide ne glisse qu'à partir d'un effort tangent suffisant (loi de Coulomb),
- jeu : un solide ne bouge pas tant que le jeu dans la liaison n'a pas été rattrapé,
- le chauffage d'un radiateur n'est ressenti que lorsque la chaleur a eu le temps de se propager...



solution analytique : on étudie séparément la réponse lorsque l'entrée augmente de valeur et lorsqu'elle diminue.

3.3 Continu

Un système est **continu**, par opposition à un système **discret**, lorsque les variations des grandeurs physiques sont définies à chaque instant (il est caractérisé par des fonctions continues). On parle aussi dans ce cas d'un système **analogique**.

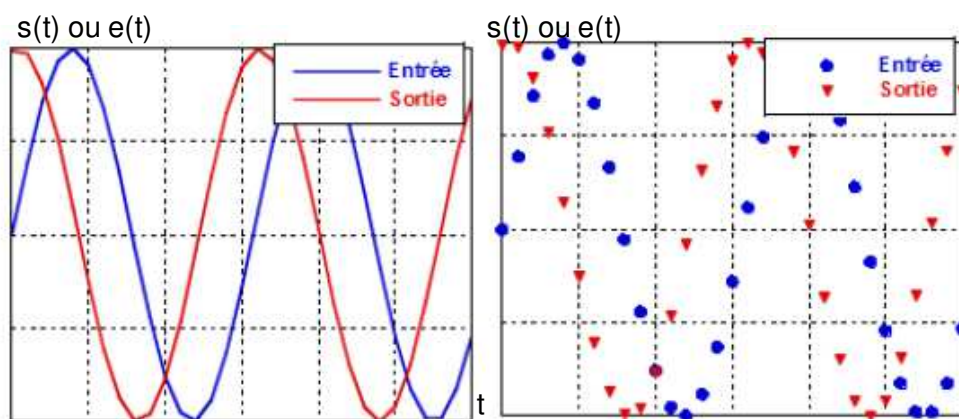


Figure 10 : Système continu / Système discret

3.4 Invariant

Un système est dit invariant si on suppose que les caractéristiques du système (masse, dimensions, résistance, impédance...) ne varient pas au cours du temps ("le système ne vieillit pas").

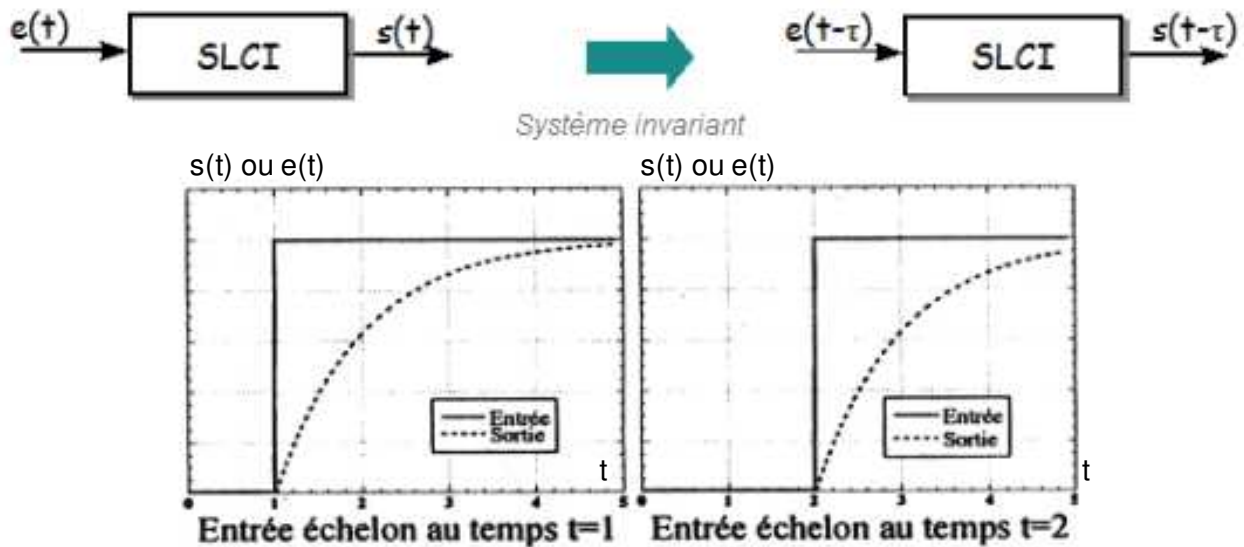


Figure 11 : Systèmes invariants (même comportement dans les mêmes conditions à des instants différents)

Références :

- [1] <https://www.upsti.fr>
- [2] <https://sciences-indus-cpge.papanicola.info/>
- [3] Sciences Industrielles pour l'ingénieur de P.Beynet chez Ellipses
- [4] <http://eavr.u-strasbg.fr/~laroche/student/FIP/AutomFIP1.pdf>
- [5] <http://florestan.mathurin.free.fr/>
- [6] Sciences industrielles pour l'ingénieur de G.Colombari chez Foucher
- [7] Génie électrique de C.François chez Ellipses