Systèmes en Boucle Fermée

LR

IUT de Béziers

Programme de l'exposé

Introduction

Il existe deux types de boucle fermée :

Introduction

Il existe deux types de boucle fermée :

- ***Boucle d'asservissement*** :perturbations fixes et *consigne variable*.

Introduction

Il existe deux types de boucle fermée :

- ***Boucle d'asservissement*** :perturbations fixes et *consigne variable*.
- ***Boucle de régulation*** :consigne fixe et *perturbations variables*.

schéma fonctionnel asservissement

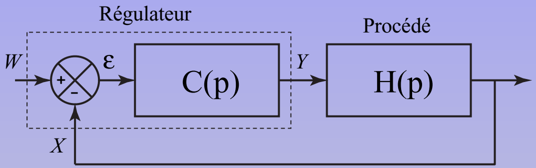
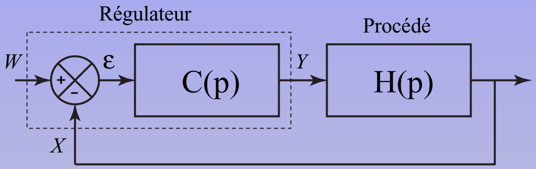


schéma fonctionnel asservissement



sens d'action du régulateur

$$\epsilon(p) = \begin{cases} X(p) - W(p) & \text{si le régulateur est à action } \textit{directe} \\ W(p) - X(p) & \text{si le régulateur est à action } \textit{inverse} \end{cases}$$

fonctions de transfert associées

$$H(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} \qquad C(p) = \frac{Y(p)}{\epsilon(p)} \qquad T(p) = \frac{X(p)}{\epsilon(p)} = C(p).H(p)$$

fonctions de transfert associées

$$H(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} \qquad C(p) = \frac{Y(p)}{\epsilon(p)} \qquad T(p) = \frac{X(p)}{\epsilon(p)} = C(p).H(p)$$

- $H(p)$est la fonction de transfert du procédé.
- $C(p)$est la fonction de transfert du correcteur.
- $T(p)$ est appelée *fonction de transfert en boucle ouverte* (FTBO).

fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO)

$$F(p) = \frac{X(p)}{W(p)} \quad \text{donc,} \quad F(p) = \frac{T(p)}{1 + T(p)}$$

Démo

fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO)

$$F(p) = \frac{X(p)}{W(p)} \quad \text{donc,} \quad F(p) = \frac{T(p)}{1 + T(p)}$$

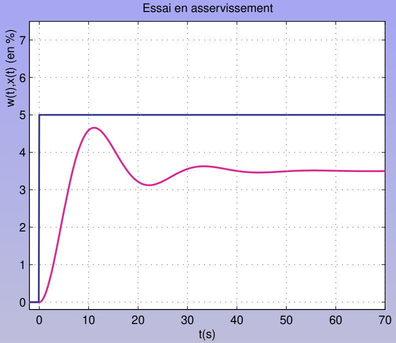
Démo

expression de l'erreur

$$\epsilon(p) = \frac{W(p)}{1 + T(p)}$$

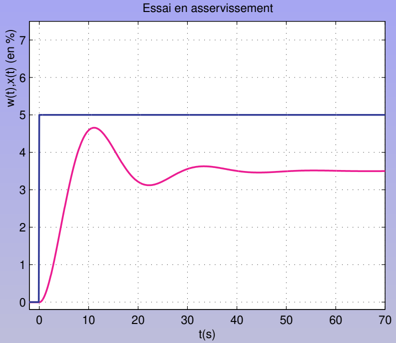
Démo

critères de qualité d'un asservissement



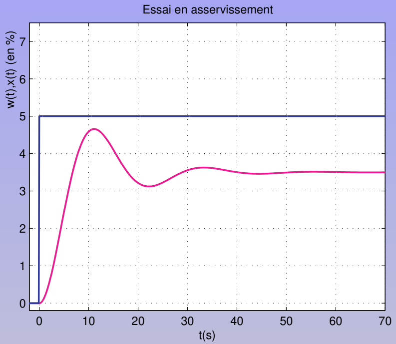
critères de qualité d'un asservissement

- *précision* en régime permanent (RP)



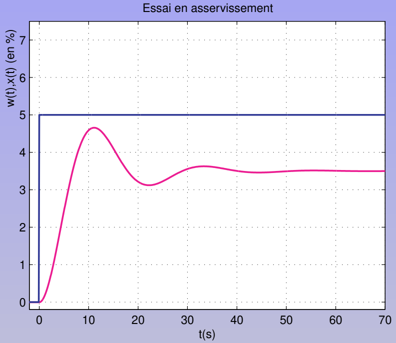
critères de qualité d'un asservissement

- *précision* en régime permanent (RP)
- *rapidité* (à atteindre le régime permanent)



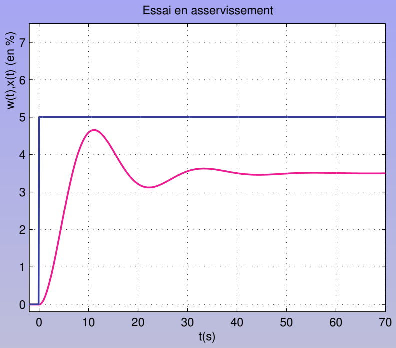
critères de qualité d'un asservissement

- *précision* en régime permanent (RP)
- *rapidité* (à atteindre le régime permanent)
- degré de stabilité
  - *stabilité absolue* : si pas d'oscillations
  - ou *stabilité relative* : si rebonds



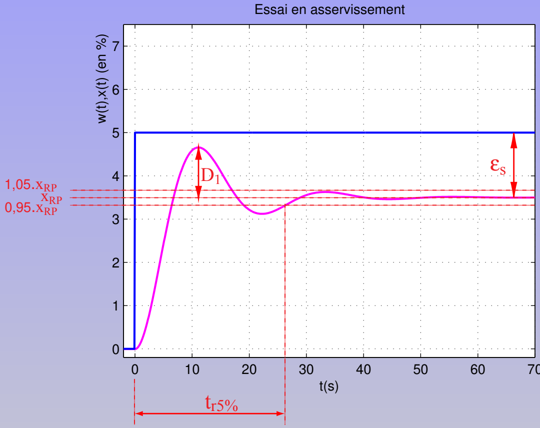
critères de qualité d'un asservissement

- *précision* en régime permanent (RP)
- *rapidité* (à atteindre le régime permanent)
- degré de stabilité
  - *stabilité absolue* : si pas d'oscillations
  - ou *stabilité relative* : si rebonds



critères de qualité d'un asservissement

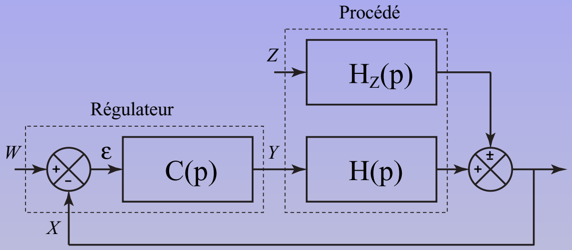
- *précision* en régime permanent (RP)
- *rapidité* (à atteindre le régime permanent)
- degré de stabilité
  - *stabilité absolue* : si pas d'oscillations
  - ou *stabilité relative* : si rebonds



Paramètres chiffrés associés aux critères de stabilité

Critère	Paramètre associé	Valeur idéale
Précision	*Ecart statique relatif* : $\epsilon_{Srelatif} = \frac{\epsilon_S}{\Delta W} \cdot 100$ en %	$\epsilon_{Srelatif} = 0\%$
Rapidité	*Temps de réponse à 5%* : $t_{r5\%}$ ou t_{rBF} : durée que met la mesure pour rester entre $\pm 0,05 \times \Delta X$	$t_{r5\%}$ le plus faible possible. Un procédé est dit rapide si $\frac{t_{rBO}}{t_{rBF}} > 2$
Stabilité relative	*Premier dépassement relatif* : $D_{1relatif} = \frac{D_1}{\Delta X} \cdot 100$ en %	$D_{1relatif}$ le plus faible possible (10%Maximum). Nombre d'oscillations le plus faible possible

Schéma fonctionnel régulation



$z(t)$ est la perturbation principale du procédé. $Z(p)$ est sa transformée de Laplace. $H_Z(p)$ est la fonction de transfert perturbatrice du procédé.

Fonctions de transfert en régulation

Expression de $X(p)$

$$X(p) = T(p).\epsilon(p) \pm H_Z(p).Z(p)$$

Deux cas de figure

Fonctions de transfert en régulation

Expression de $X(p)$

$$X(p) = T(p).\epsilon(p) \pm H_Z(p).Z(p)$$

Deux cas de figure

- *Cas n^o 1* : Le signal de perturbation est constant, donc $Z(p) = 0$. La consigne varie. On fonctionne en asservissement.

$$F(p) = \frac{T(p)}{1 + T(p)}$$

Fonctions de transfert en régulation

Expression de $X(p)$

$$X(p) = T(p).\epsilon(p) \pm H_Z(p).Z(p)$$

Deux cas de figure

- *Cas n^o 1* : Le signal de perturbation est constant, donc $Z(p) = 0$. La consigne varie. On fonctionne en asservissement.

$$F(p) = \frac{T(p)}{1 + T(p)}$$

- *Cas n^o 2* : Le signal de consigne est constant, donc $W(p) = 0$. La perturbation varie. On fonctionne en régulation.

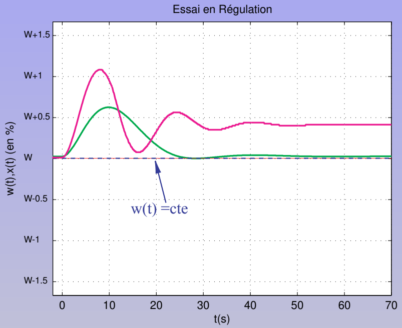
$$F_Z(p) = \frac{H_Z(p)}{1 + T(p)}$$

critères de performance d'une régulation

Les qualités d'une régulation sont les mêmes que celles d'un asservissement :

- la précision :écart statique ϵ_S,
- la rapidité : temps de retour à stabilisation $tr_{0\%}$,
- la stabilité : écart relatif maximal :

$$\epsilon_{maxrelatif} = \frac{\epsilon_{max}}{W} \cdot 100 \quad \text{(en \%)}$$

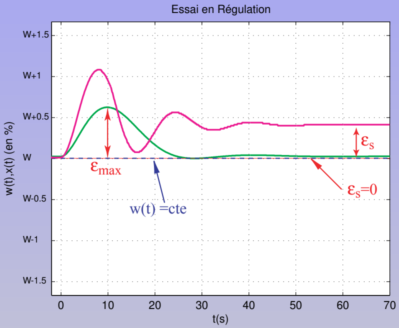


critères de performance d'une régulation

Les qualités d'une régulation sont les mêmes que celles d'un asservissement :

- la précision :écart statique ϵ_S,
- la rapidité : temps de retour à stabilisation $tr_{0\%}$,
- la stabilité : écart relatif maximal :

$$\epsilon_{maxrelatif} = \frac{\epsilon_{max}}{W} \cdot 100 \quad \text{(en \%)}$$



Influence des actions Proportionnelle, Intégrale ou Dérivée

Support de l'étude : Modèle de Strejc

$$H(p) = \frac{0.25}{(1 + 10p)^2}$$

Support de l'étude : Modèle de Strejc

$$H(p) = \frac{0.25}{(1 + 10p)^2}$$

Asservissement et Régulation

- essais en asservissement : échelon de consigne de 5% $w(t) = 5.u(t)$.
- essais en régulation : échelon de perturbation de 5% $z(t) = 5.u(t)$.

Rôle de l'action proportionnelle

Le rôle de l'action proportionnelle est **d'accéler la réponse de la mesure**, ce qui a pour conséquence de **réduire l'écart entre la mesure et la consigne**. La sortie de la commande $y(t)$ en sortie du régulateur est donnée par la relation :

Rôle de l'action proportionnelle

Le rôle de l'action proportionnelle est **d'accéler la réponse de la mesure**, ce qui a pour conséquence de **réduire l'écart entre la mesure et la consigne**. La sortie de la commande $y(t)$ en sortie du régulateur est donnée par la relation :

Equation du correcteur

$$y(t) = A.\epsilon(t) \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = A.\epsilon(p)$$

Rôle de l'action proportionnelle

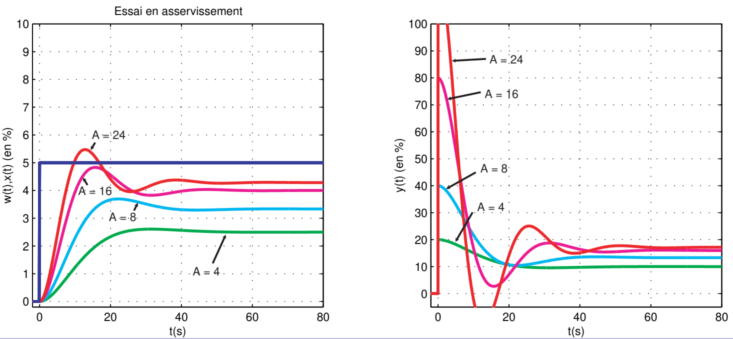
Le rôle de l'action proportionnelle est **d'accéler la réponse de la mesure**, ce qui a pour conséquence de **réduire l'écart entre la mesure et la consigne**. La sortie de la commande $y(t)$ en sortie du régulateur est donnée par la relation :

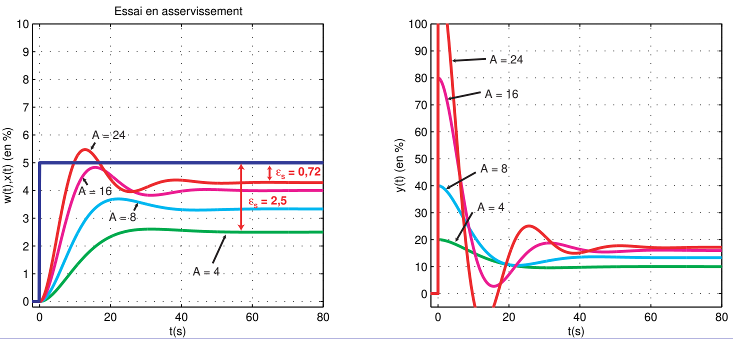
Equation du correcteur

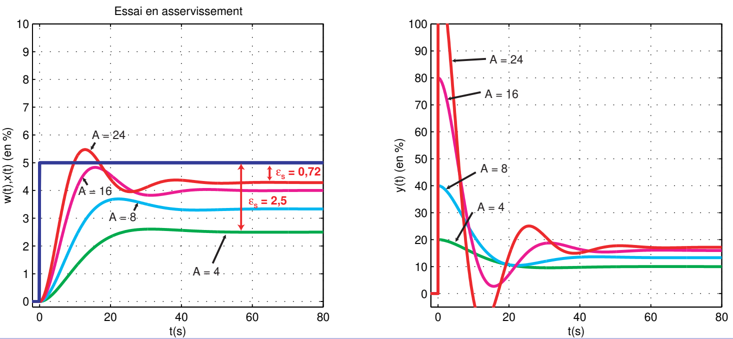
$$y(t) = A.\epsilon(t) \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = A.\epsilon(p)$$

Définitions

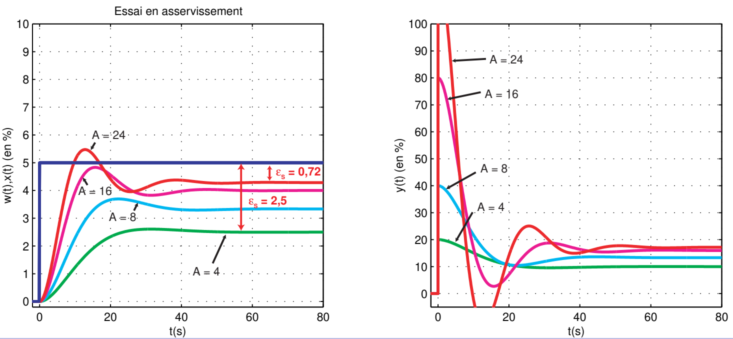
A est appelé *gain du régulateur*. Mais on saisit dans certains régulateurs la *bande proportionnelle BP* : $BP = \frac{100}{A}$


Essai en asservissement
w(t),x(t) (en %)
A = 24
A = 16
A = 8
A = 4
t(s)
y(t) (en %)
A = 24
A = 16
A = 8
A = 4
t(s)


Essai en asservissement
w(t),x(t) (en %)
t(s)
A = 24
A = 16
A = 8
A = 4
ε_s = 0,72
ε_s = 2,5
y(t) (en %)
t(s)
A = 24
A = 16
A = 8
A = 4

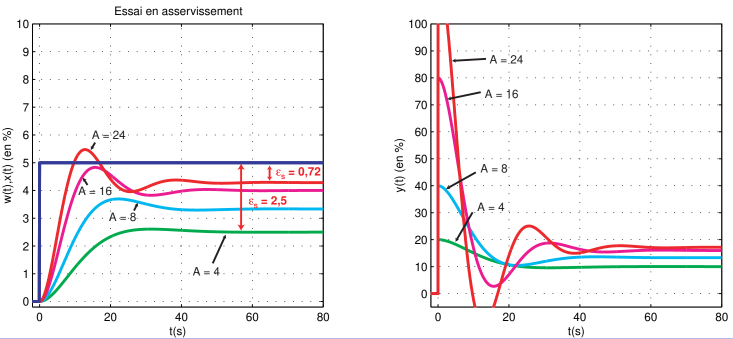


Plus le gain du régulateur A est élevé,



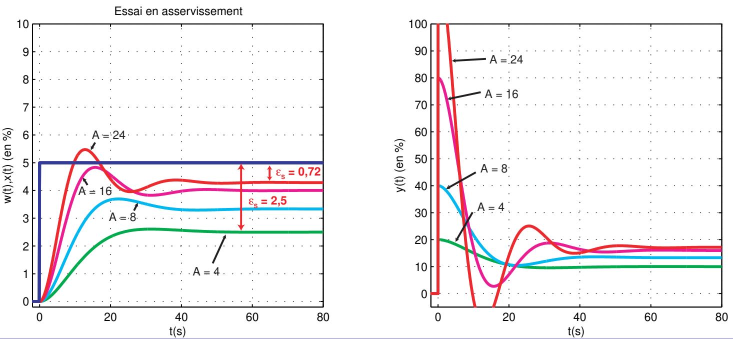
Plus le gain du régulateur A est élevé,

- plus le temps de montée de $x(t)$ est faible.



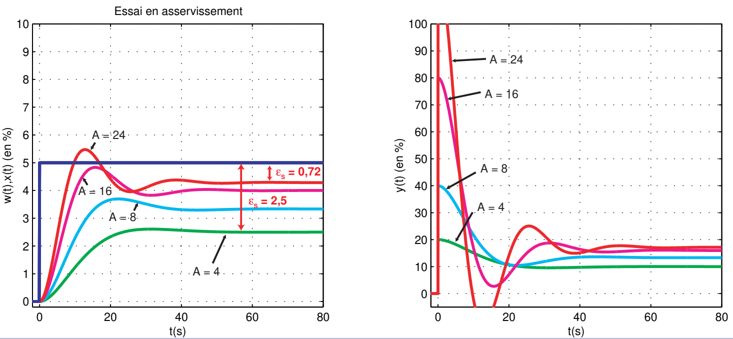
Plus le gain du régulateur A est élevé,

- plus le temps de montée de $x(t)$ est faible.
- plus l'écart statique ϵ_S est réduit.



Plus le gain du régulateur A est élevé,

- plus le temps de montée de $x(t)$ est faible.
- plus l'écart statique ϵ_S est réduit.
- moins le procédé est stable en boucle fermée

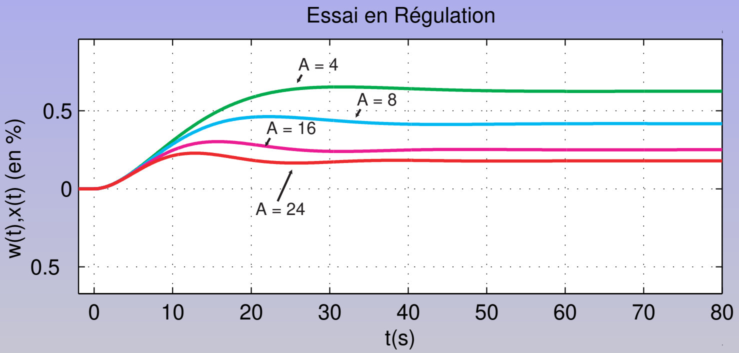


Plus le gain du régulateur A est élevé,

- plus le temps de montée de $x(t)$ est faible.
- plus l'écart statique ϵ_S est réduit.
- moins le procédé est stable en boucle fermée
- plus l'actionneur est sollicité à $t = 0$.

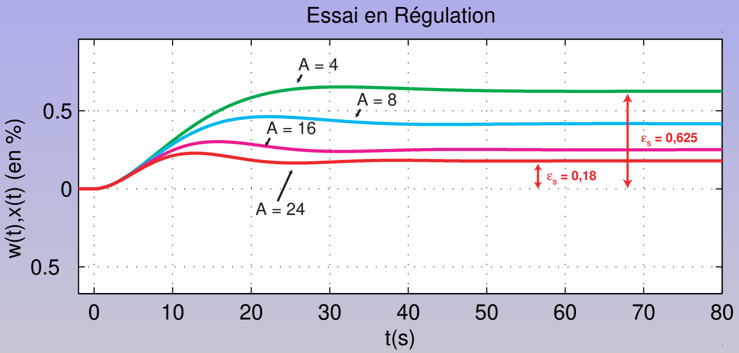
$C(p) = A$: Essai en régulation

L'essai en régulation réalisé ci-contre permet d'aboutir aux mêmes conclusions. Plus le gain A du régulateur est important, plus l'erreur statique est faible.



$C(p) = A$: Essai en régulation

L'essai en régulation réalisé ci-contre permet d'aboutir aux mêmes conclusions. Plus le gain A du régulateur est important, plus l'erreur statique est faible.



Rôle de l'action intégrale

Le rôle de l'action intégrale est de **supprimer l'écart statique**.

Rôle de l'action intégrale

Le rôle de l'action intégrale est de **supprimer l'écart statique**.

Equation du correcteur

$$y(t) = \frac{1}{Ti}\int_0^t \epsilon(t).dt \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = \frac{\epsilon(p)}{Ti.p}$$

Rôle de l'action intégrale

Le rôle de l'action intégrale est de **supprimer l'écart statique**.

Equation du correcteur

$$y(t) = \frac{1}{Ti}\int_0^t \epsilon(t).dt \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = \frac{\epsilon(p)}{Ti.p}$$

Définitions

L'augmentation de l'action intégrale dans un régulateur se fait *en diminuant* la valeur du temps d'intégration Ti.

Rôle de l'action intégrale

Le rôle de l'action intégrale est de **supprimer l'écart statique**.

Equation du correcteur

$$y(t) = \frac{1}{Ti}\int_0^t \epsilon(t).dt \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = \frac{\epsilon(p)}{Ti.p}$$

Définitions

L'augmentation de l'action intégrale dans un régulateur se fait *en diminuant* la valeur du temps d'intégration Ti.
Il faut donc en théorie régler la valeur de ce temps à $+\infty$ pour disposer d'une action intégrale nulle.

Rôle de l'action intégrale

Le rôle de l'action intégrale est de **supprimer l'écart statique**.

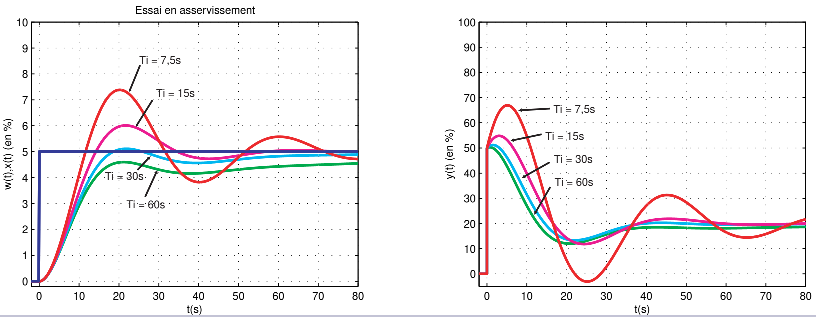
Equation du correcteur

$$y(t) = \frac{1}{Ti} \int_0^t \epsilon(t).dt \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = \frac{\epsilon(p)}{Ti.p}$$

Définitions

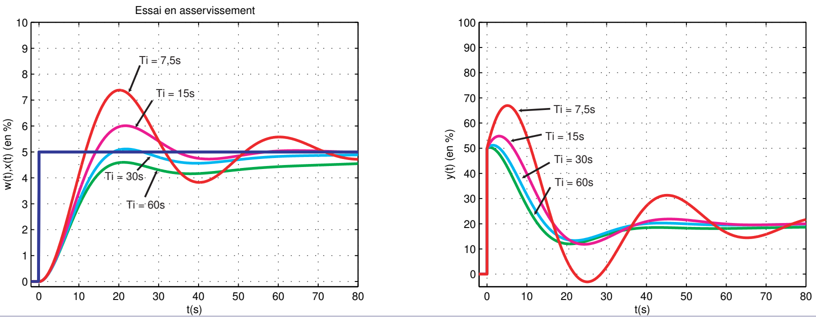
L'augmentation de l'action intégrale dans un régulateur se fait *en diminuant* la valeur du temps d'intégration Ti.
Il faut donc en théorie régler la valeur de ce temps à $+\infty$ pour disposer d'une action intégrale nulle.
Néanmoins, sur la plupart des régulateurs, la saisie de $Ti = 0s$ entraîne une valeur $Ti = +\infty$ et donc une action intégrale nulle.

Plus le paramètre *Ti* du régulateur est faible,



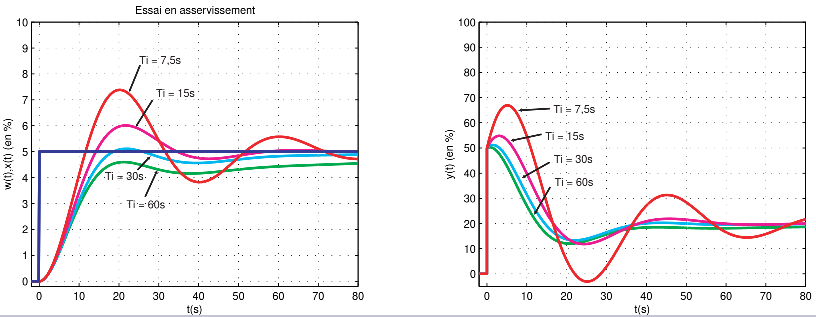
Plus le paramètre *Ti* du régulateur est faible,

- Plus l'erreur statique est annulée rapidement



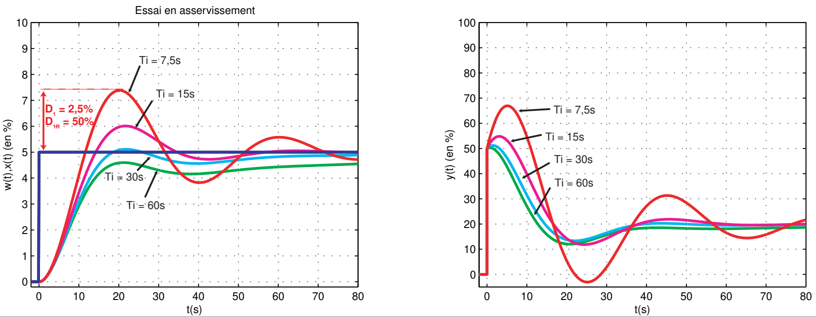
Plus le paramètre *Ti* du régulateur est faible,

- Plus l'erreur statique est annulée rapidement
- Plus le procédé devient instable



Plus le paramètre *Ti* du régulateur est faible,

- Plus l'erreur statique est annulée rapidement
- Plus le procédé devient instable

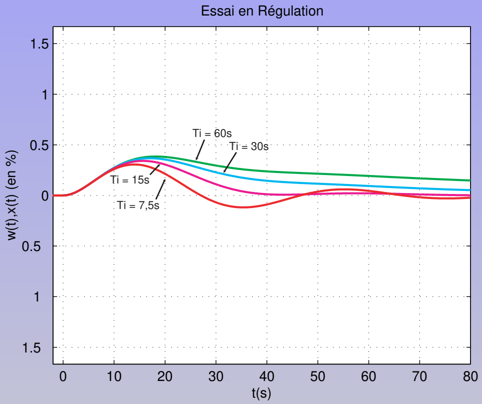


Compromis stabilité-précision

On observe un premier dépassement croissant, à mesure que Ti diminue. Il faut donc trouver une valeur de Ti permettant d'assurer un compromis entre une annulation rapide de l'écart mesure-consigne, et un premier dépassement acceptable.

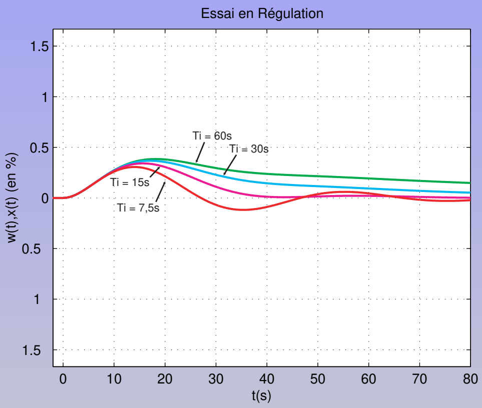
Essai en régulation

une diminution de *Ti* entraîne une baisse de la valeur du dépassement, ce qui est contraire à ce qui avait été observé en asservissement.



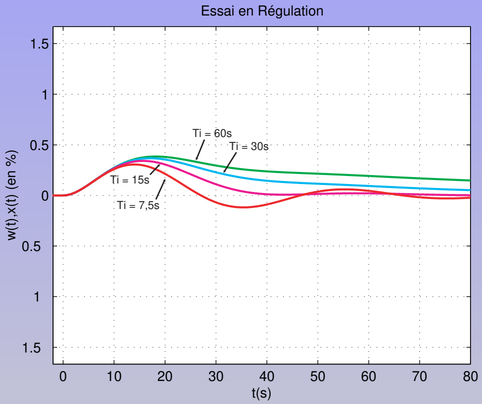
Essai en régulation

une diminution de *Ti* entraîne une baisse de la valeur du dépassement, ce qui est contraire à ce qui avait été observé en asservissement.
une valeur excessive de *Ti* entraîne des oscillations qui retardent le retour à l'équilibre.



Essai en régulation

une diminution de *Ti* entraîne une baisse de la valeur du dépassement, ce qui est contraire à ce qui avait été observé en asservissement.
une valeur excessive de *Ti* entraîne des oscillations qui retardent le retour à l'équilibre.
Une même valeur de *Ti* donnera donc parfois un dépassement inacceptable en asservissement et une bon comportement en régulation.



Rôle de l'action dérivée

L'action dérivée sert à **compenser le temps mort du procédé**.

Rôle de l'action dérivée

L'action dérivée sert à **compenser le temps mort du procédé**. Utilisée avec modération, elle permet également de stabiliser le procédé et notamment de **minimiser l'importance du premier dépassement**.

Equation du correcteur

$$y(t) = Td.\frac{d}{dt}\epsilon(t) \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = Td.p.\epsilon(p)$$

Rôle de l'action dérivée

L'action dérivée sert à **compenser le temps mort du procédé**. Utilisée avec modération, elle permet également de stabiliser le procédé et notamment de **minimiser l'importance du premier dépassement**.

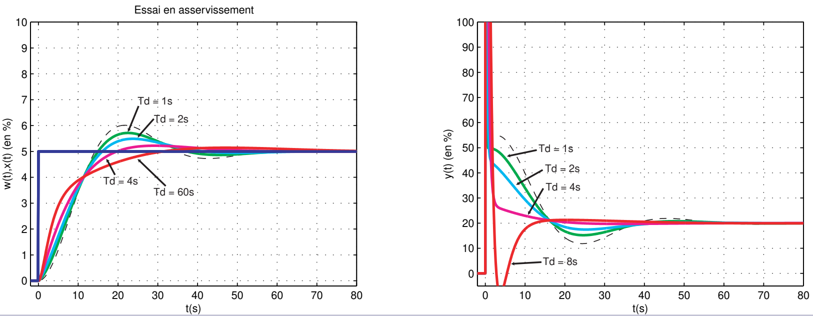
Equation du correcteur

$$y(t) = Td.\frac{d}{dt}\epsilon(t) \quad \text{,et donc} \quad Y(p) = Td.p.\epsilon(p)$$

Définitions

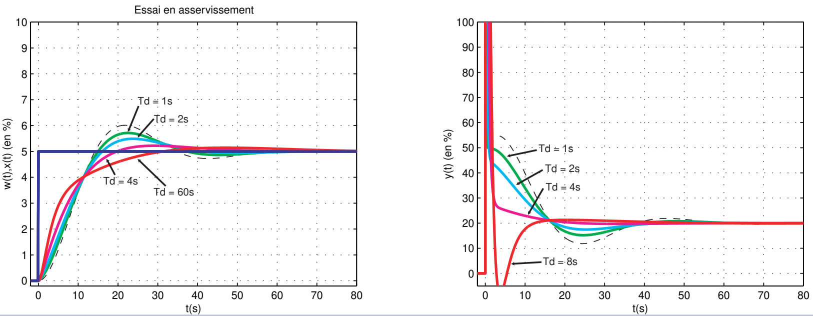
L'augmentation de l'action dérivée dans un régulateur se fait en augmentant Td.

Plus le paramètre *Td* du régulateur est important,



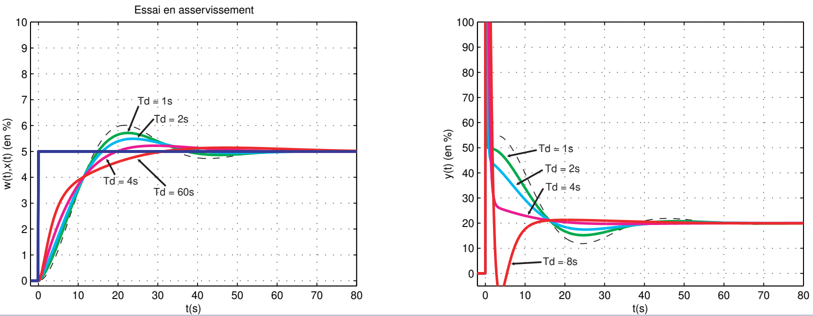
Plus le paramètre *Td* du régulateur est important,

- Moins le premier dépassement est important



Plus le paramètre *Td* du régulateur est important,

- Moins le premier dépassement est important
- Plus l'actionneur est sollicité à $t = 0$



Problème de saturation de l'actionneur

sur un échelon de consigne, la variation de l'écart mesure-consigne est infinie, ce qui entraîne une **saturation de l'actionneur**.

Problème de saturation de l'actionneur

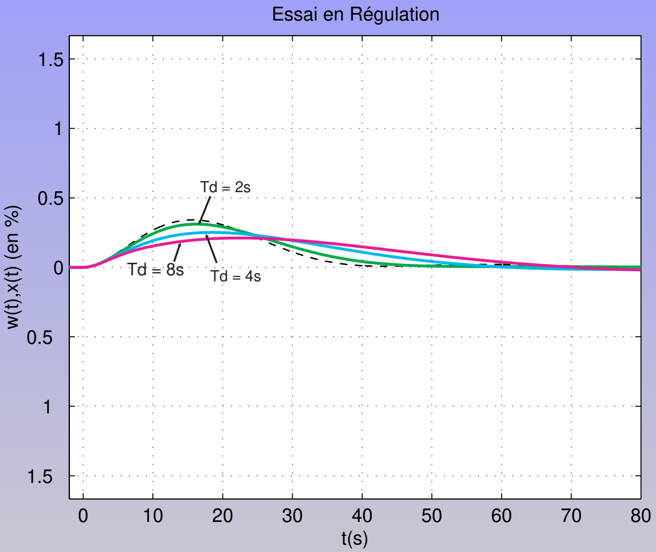
sur un échelon de consigne, la variation de l'écart mesure-consigne est infinie, ce qui entraîne une **saturation de l'actionneur**.
Pour éviter ce phénomène, la plupart des régulateurs sont configurables de manière à ce que l'action dérivée ne porte **que sur la mesure** (voir CRS n° 9).

Problème de saturation de l'actionneur

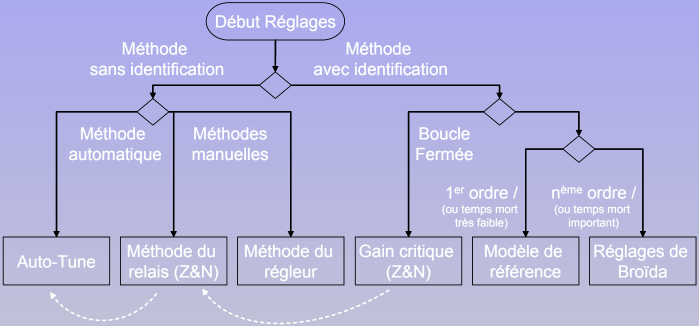
sur un échelon de consigne, la variation de l'écart mesure-consigne est infinie, ce qui entraîne une **saturation de l'actionneur**.
Pour éviter ce phénomène, la plupart des régulateurs sont configurables de manière à ce que l'action dérivée ne porte **que sur la mesure** (voir CRS n° 9).

Constante de filtrage

La mesure est souvant parasitée, c'est pourquoi l'action dérivée comporte un **terme de filtrage** (voir CRS n° 9).


Essai en Régulation
1.5
1
0.5
0
0.5
1
1.5
w(t),x(t) (en %)
Td = 2s
Td = 8s
Td = 4s
0
10
20
30
40
50
60
70
80
t(s)

Méthodes de réglage



$F(p) = \frac{T(p)}{1+T(p)}$: Détermination de la formule

$$X(p) = T(p) \cdot \epsilon(p)$$

, or $\epsilon(p) = W(p) - X(p)$, donc

$$X(p) = T(p)\,(W(p) - X(p))$$

$$X(p) = T(p) \cdot W(p) - T(p) \cdot X(p)$$

$$X(p)\,(1 + T(p)) = T(p) \cdot W(p)$$

$$\frac{X(p)}{W(p)} = \frac{T(p)}{1 + T(p)}$$

or $F(p) = \frac{X(p)}{W(p)}$ par définition, donc

$$F(p) = \frac{T(p)}{1 + T(p)}$$

$\epsilon(p) = \frac{W(p)}{1+T(p)}$: Détermination de la formule

$$\epsilon(p) = W(p) - X(p)$$

, or $X(p) = T(p) \cdot \epsilon(p)$, donc

$$\epsilon(p) = W(p) - T(p) \cdot \epsilon(p)$$

$$\epsilon(p)\,(1 + T(p)) = W(p)$$

$$\epsilon(p) = \frac{W(p)}{1 + T(p)}$$