

# MEMO -Régulation/Asservissement

## 1. Généralités

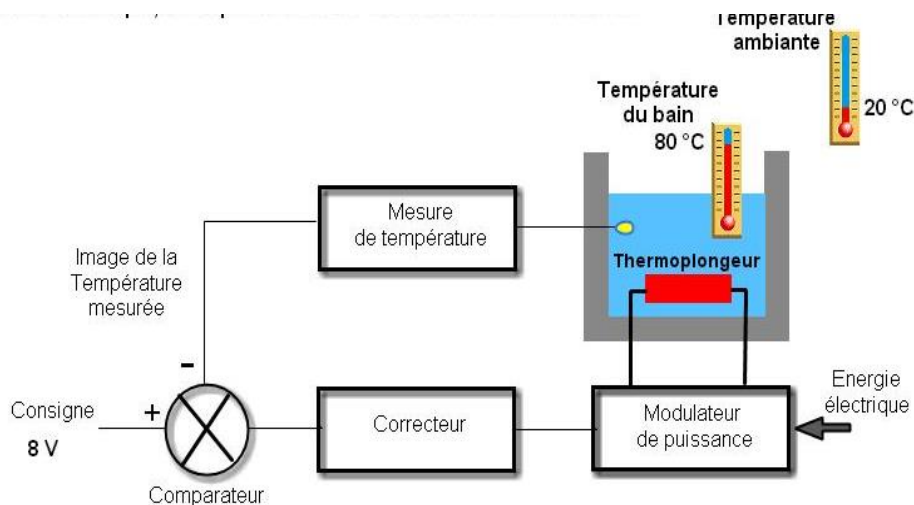
### 1.1. Position du problème :

Dans certains systèmes techniques, il est important de contrôler avec précision la valeur d'une grandeur (**exemple** : régulateur de vitesse automobile, température d'un bain...)

Dans d'autres cas, il peut être nécessaire de piloter avec précision l'évolution d'une grandeur en fonction d'une consigne préétablie (**exemple** : suivi de trajectoire d'une pièce mobile)

Ces deux cas de figure imposent l'utilisation d'une régulation ou d'un asservissement.

**Exemple** : asservissement de température d'un bain



### Fonctionnement et résultats attendus :

*On souhaite maintenir le bain à une température donnée.  
Il a tendance à refroidir, donc il faut maintenir une chauffe d'entretien en fonction du refroidissement*

*On mesure donc la température en temps réel, que l'on compare à une consigne de température voulue. Si on est trop bas, on réagit sur l'organe de chauffe en augmentant sa puissance. Si on est trop haut, on ne chauffe plus...*

### 1.1. Régulation ou Asservissement

Dans une **régulation**, on s'attachera à maintenir constante la *grandeur réglée* d'un système soumis à des *perturbations*.

Dans un **asservissement**, la *grandeur réglée* devra suivre rapidement et fidèlement les variations de la *consigne*. (voir 1.1)

### Exemples :

*Régulation de température (d'une maison, d'un four...), de vitesse (d'une voiture, d'un ascenseur...)  
Asservissement de position (pilotage d'un drone, d'un bras robotisé, pointeur d'une souris de PC...)*

# MEMO -Régulation/Asservissement

## 1.2. Définitions

- La **régulation ou l'asservissement** regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à contrôler une grandeur physique. Exemples de grandeur physique : Pression, débit, niveau, vitesse, position etc...
- La **grandeur réglée**, c'est la grandeur physique que l'on désire contrôler. Elle donne son nom à la régulation.  
Exemples : régulation de pression, régulation de vitesse...  
Cas de la régulation de température d'un bain : la **grandeur réglée** est donc ici la température.
- La **consigne** : C'est la valeur que doit prendre la grandeur réglée.
- La **grandeur réglante** est la grandeur physique qui a été choisie pour contrôler la grandeur réglée. Elle n'est généralement pas de même nature que la grandeur réglée.  
Exemples : Une tension, une intensité, une puissance, une fréquence....  
Cas de la régulation de température d'un bain : la grandeur réglante est la puissance électrique
- Les **grandeurs perturbatrices** sont les grandeurs physiques qui influencent la grandeur réglée. Elles ne sont généralement pas de même nature que la grandeur réglée.  
Exemples : frottements, charges, échauffements, fuites...  
Cas de la régulation de température d'un bain : température extérieure (pertes thermiques par refroidissement)
- L'**organe de réglage** est l'élément qui agit sur la grandeur réglante.  
Exemples : variateur (fréquence pour Mas, tension pour MCC), gradateur....  
Cas de la régulation de température d'un bain : un gradateur module la puissance électrique

## 1.3. Principe de fonctionnement

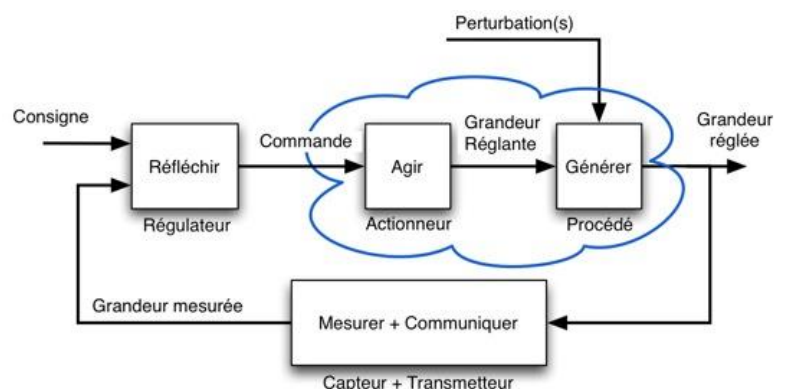
Pour réguler un système physique, il faut :

**Mesurer** la grandeur réglée avec un capteur.

**Réfléchir** sur l'attitude à suivre : c'est la fonction du régulateur.

Le régulateur compare la grandeur réglée avec la consigne et élabore le signal de commande.

**Agir** sur la grandeur réglante par l'intermédiaire d'un organe de réglage.



## 1.4. Modélisation par Schéma-blocs :

# MEMO -Régulation/Asservissement

Identifier les éléments et modéliser par schéma-blocs la régulation de température de bain.

*Grandeur réglée : la température de l'eau*

*Procédé : une résistance chauffante*

*Grandeur réglante : la puissance électrique de la résistance de chauffe*

*Actionneur : un modulateur de puissance (un gradateur)*

*Commande : une tension ou un courant*

*Refléchir : le régulateur qui compare, corrige et créer la grandeur de commande*

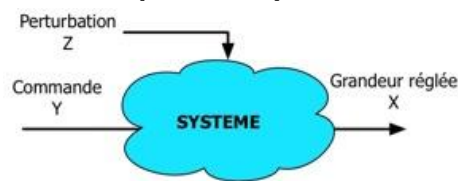
*Mesurer-communiquer : une sonde (PT 100 ?) et un convertisseur*

*Perturbation : l'air ambiant plus froid qui refroidit*

## 2. Fonctionnement d'un système asservi

### 2.1. Fonctionnement en boucle ouverte (Manuel)

On parle de fonctionnement en boucle ouverte quand c'est l'opérateur qui contrôle **directement** l'organe de réglage. **Ce n'est pas un asservissement.**

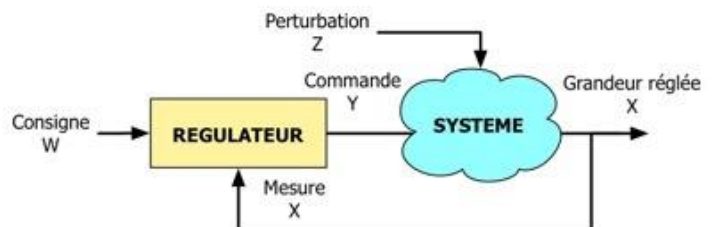


Boucle ouverte

Ce mode de fonctionnement est utilisé pour effectuer des tests et des réglages.

### 2.2. Fonctionnement en boucle fermée (Automatique)

C'est le fonctionnement normal d'une régulation. Le régulateur compare la mesure de la grandeur réglée et la consigne et agit en conséquence pour s'en rapprocher.



Boucle fermée

## 3. Les régulateurs

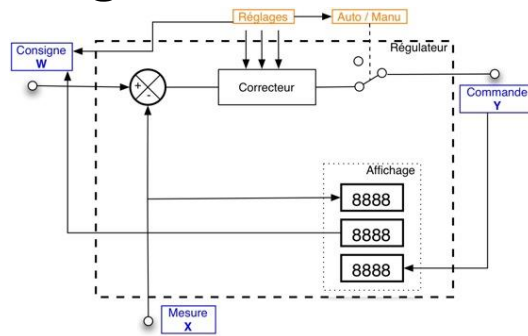
### 3.1. Structure de principe d'un régulateur

Tout système asservi nécessite un régulateur.

Ce dispositif permet :

- **De comparer** la consigne W à la mesure de la grandeur réglée X.
- **D'agir sur la grandeur réglante** grâce à la commande Y
- D'effectuer **les réglages grâce au correcteur** (P, PI ou PID). Ces réglages ont pour but d'améliorer les performances de l'asservissement.

# MEMO -Régulation/Asservissement



**Structure d'un régulateur**

- Le signal de mesure X est l'image de la grandeur réglée, provenant d'un capteur et transmetteur et transmise sous forme d'un signal électrique.
- La consigne W peut-être interne (fournie en local par l'opérateur) ou externe.
- Sur un régulateur industriel un affichage permet de vérifier les valeurs de la consigne, de la mesure et de la commande.
- Si un régulateur est en automatique, sa sortie dépend de la mesure et de la consigne. Ce n'est pas le cas s'il est en manuel, on est alors en Boucle Ouverte.

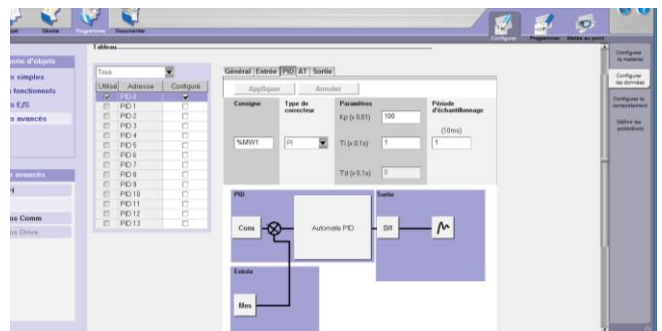
## 3.2. Types de régulateurs :

Selon le système et le type de régulation, on peut choisir d'employer :

- Un régulateur industriel : dispositif autonome
- Un régulateur embarqué dans un API
- Un régulateur embarqué dans un variateur.
- Une carte électronique spécifique



Régulateur autonome industriel



Régulateur API

## 3.3. Action continue et action discontinue

On peut séparer le fonctionnement d'un régulateur en deux types d'actions.

- Une action discontinue (TOR), dans laquelle la sortie Y du régulateur ne prend que deux valeurs 0% et 100%
- Une action continue (analogique) avec une sortie du régulateur qui peut prendre toutes les valeurs comprises entre 0% et 100%

On appelle aussi le fonctionnement discontinu fonctionnement Tout Ou Rien.

A la maison, le thermostat a une action TOR sur la régulation de température.

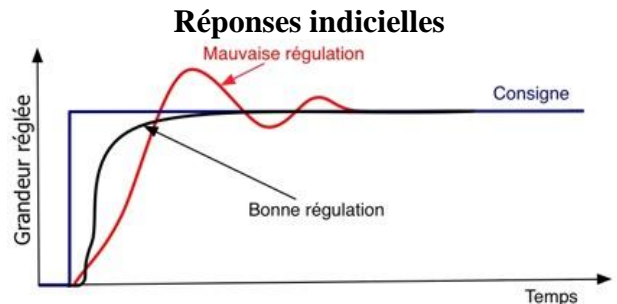
# MEMO -Régulation/Asservissement

## 4. Critères de qualité et réglages :

### 4.1. Le problème du réglage...

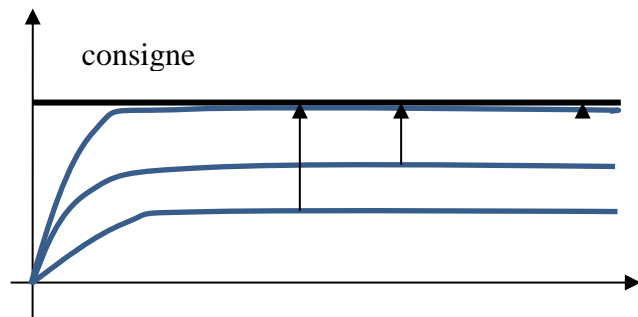
On reconnaît un bon réglage du régulateur par sa capacité à faire fonctionner le système de manière optimale, en atteignant rapidement la valeur souhaitée et sans entraîner de dépassement de la consigne.

Des critères de performances existent, qui permettent d'optimiser le fonctionnement : **rapidité, stabilité, précision.**



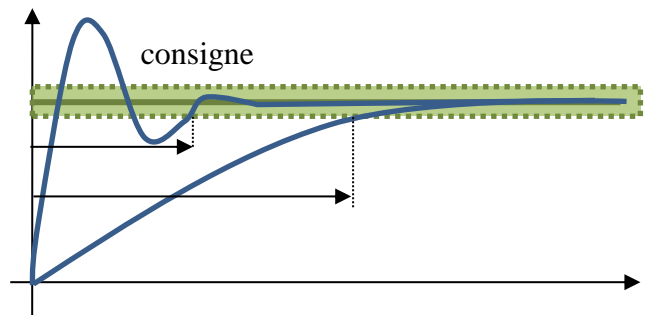
#### 4.1.1. Précision :

La **Précision** d'un asservissement est sa capacité à atteindre en régime permanent la consigne souhaitée.



#### 4.1.2. Rapidité (temps de réponse) :

La **Rapidité** d'un asservissement est le temps mis pour la grandeur réglée pour se stabiliser à  $\pm 5\%$  de sa valeur en régime permanent.

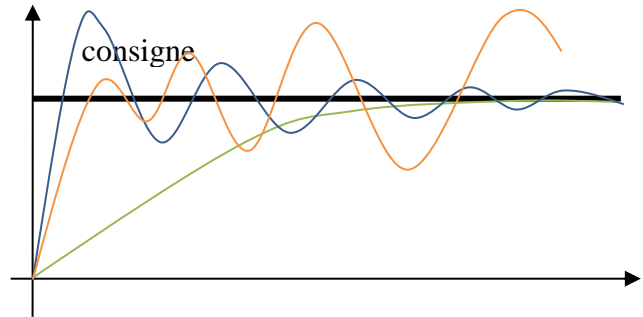


Note : on peut voir qu'un système très réactif (pente élevée) n'est pas forcément le plus rapide

# MEMO -Régulation/Asservissement

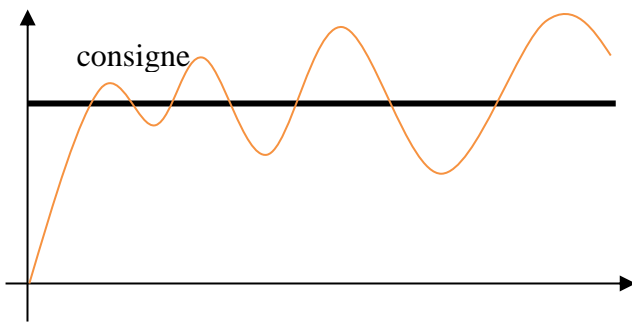
## 4.1.3. Stabilité :

La **Stabilité** d'un asservissement est son aptitude à atteindre sa consigne sans la dépasser.

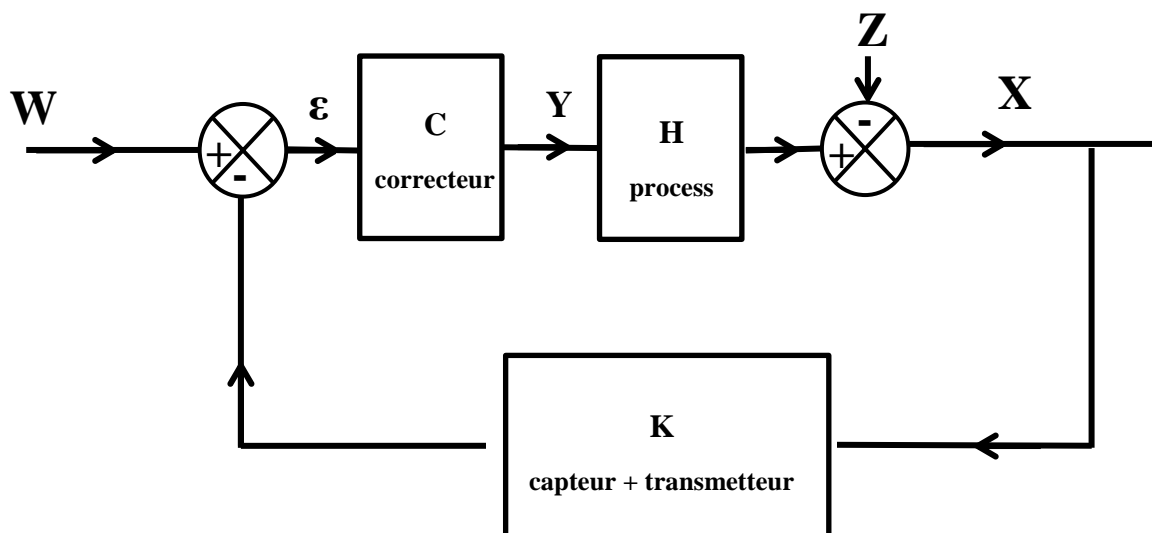


Le premier dépassement permet de qualifier la stabilité d'un système. Plus celui-ci sera important, plus le système sera proche de l'instabilité.

**NB : Système totalement instable :**



## 5. Paramètres correctifs du régulateur



Les critères de performance d'un asservissement de qualité sont :

- une bonne précision : avoir la sortie proportionnelle à ma consigne, même en cas de perturbations
- un temps de réponse rapide
- la stabilité

# MEMO -Régulation/Asservissement

## La précision :

En régime permanent, la précision est parfaite si la sortie est parfaitement proportionnelle à la consigne, et on a  $X = (1/K).W$ , c'est-à-dire  $W = K.X$ . Cela implique  $\varepsilon = 0$ .

$\varepsilon$ , que l'on appelle l'erreur statique, est donc l'écart entre ce que l'on a en sortie et la consigne.

On cherche donc à avoir la meilleure précision, donc à avoir  $\varepsilon$  qui tend vers 0, et cela même si on a des perturbations

exemple : on règle 110 km/h sur un régulateur de vitesse, on souhaite être le plus près possible de cette consigne même si la route monte beaucoup, ou descend. La perturbation engendrée par la route ne doit pas influencer, ou très peu.

## La rapidité :

On cherche à être rapide : on utilise souvent le critère du temps de réponse à 5%. Celui-ci est le temps nécessaire pour se stabiliser à 5% près de la valeur souhaitée. On joue alors sur la réactivité du système, sa rapidité de réaction. On est alors avec les notions de transitoires d'ordre 1, d'ordre 2....

## La stabilité

On ne souhaite pas d'oscillations de la grandeur réglée (ex régulation de vitesse de voiture...)

# MEMO -Régulation/Asservissement

## A- Le correcteur proportionnel P

**Ce correcteur est un amplificateur avec un coefficient constant.** On parle de gain proportionnel ( $K_P$ ) (Attention, en GE on a parfois la notion de bande proportionnel  $X_P = 100/K_P$ )

Le correcteur P élabore une commande  $Y$  du process proportionnelle à l'erreur  $\varepsilon$ . On va avoir  $Y = C \cdot \varepsilon$

Principe :

Au démarrage on a une erreur  $\varepsilon$  importante (la sortie est éloignée de la consigne). On multiplie  $\varepsilon$  par  $C$  pour créer un gros  $Y$  : on pilote le process avec une forte commande  $Y$  et donc la sortie  $X$  augmente fortement.  $X$  augmentant,  $\varepsilon$  va diminuer, donc  $Y$  aussi, et donc  $X$  va moins augmenter.  $X$  va « s'horizontaliser » pour tendre vers une valeur fixe. Un  $X$  fixe nécessite un  $Y$  non nul et fixe. Or si  $Y$  doit être non nul, comme  $Y = C \cdot \varepsilon$ , cela impose que  $\varepsilon$ , l'erreur statique, soit forcément non nulle.

➔  $\varepsilon$  est forcément différent de 0, on ne peut pas avoir une précision parfaite.

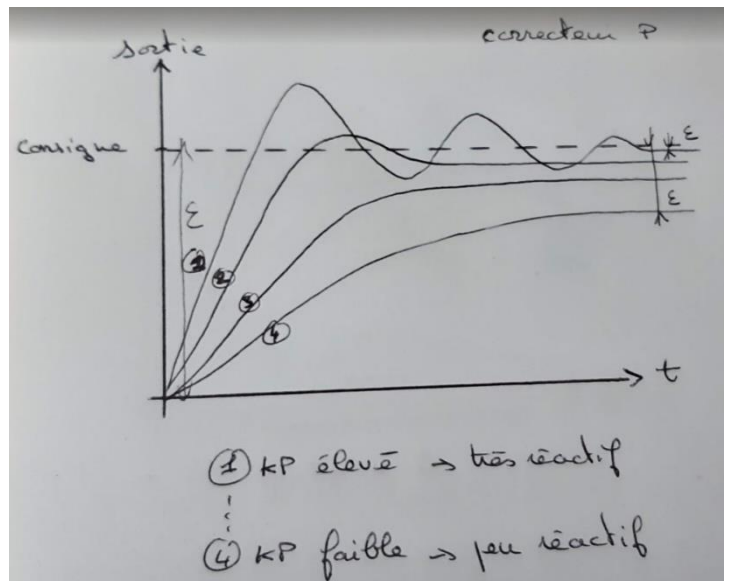
**Plus  $C$  est gros, plus on imposera par contre un  $\varepsilon$  final faible. Pour être précis, il faut un gros correcteur proportionnel  $C$ , un gros gain proportionnel  $K_P$**

Pour le transitoire, on multiplie l'erreur pour réagir.  
**Plus le gain proportionnel est élevé, plus on réagit fortement, plus on est réactif !**

Un gain proportionnel trop faible donne un système lent et présentant une erreur statique finale forte. Donc on est lent et peu précis.

Un gain proportionnel élevé donne une précision bien meilleure (mais qui reste non nulle), mais la réactivité forte peut être un souci : dépassements, oscillations, accélération trop brusque.

Un compromis est souvent pris pour avoir une précision satisfaisante et un temps de réponse court.



**Attention : réactivité n'est pas forcément synonyme de rapidité ! La rapidité est quand on se stabilise à 5% près de la valeur finale !**



# MEMO -Régulation/Asservissement

## B- Le correcteur intégral I

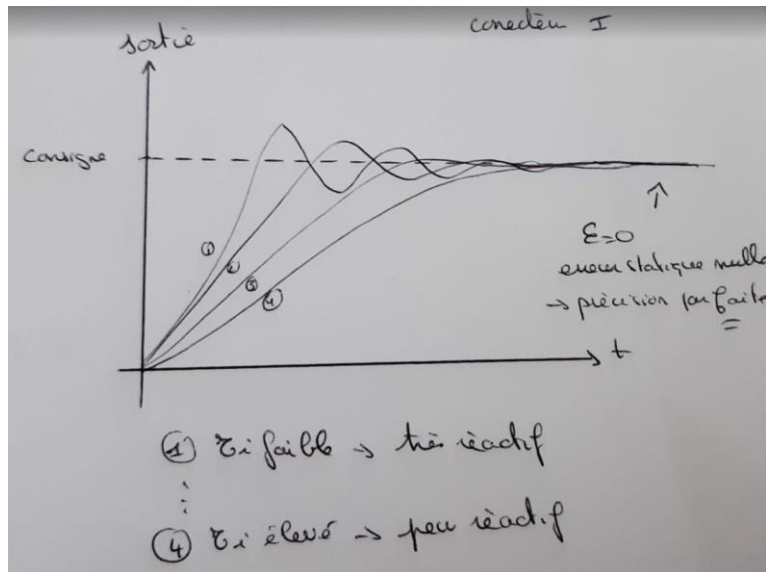
**Le correcteur est un intégrateur.** On règle son temps d'intégration  $\tau_i$

Le correcteur intégral élabore une commande Y du process qui intègre l'erreur  $\varepsilon$ .

**Quand  $\varepsilon > 0$ , alors Y augmente et quand  $\varepsilon < 0$ , alors Y diminue.**

La valeur de  $\tau_i$  influent sur la pente de l'augmentation ou de la diminution de Y, donc sur la réactivité.

**Quand le process est stabilisé, Y étant constant, cela impose forcément coup un  $\varepsilon = 0$  ! On a donc, dès que l'on a un correcteur intégral, une précision parfaite !**

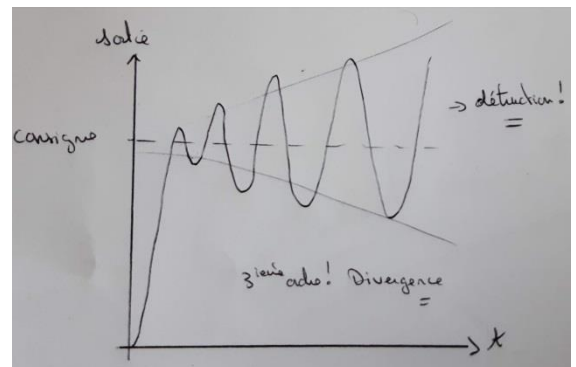


### ATTENTION

Mettre un correcteur intégral augmente l'ordre d'un système.

Un système de 1<sup>er</sup> ordre devient de 2<sup>nd</sup> ordre avec le correcteur : on a un risque d'avoir un m trop faible si  $\tau_i$  est faible, et donc d'avoir des oscillations.

Pire, si le système est déjà de 2<sup>nd</sup> ordre, on devient de 3<sup>ème</sup> ordre, avec une réponse qui peut devenir divergente : la sortie peut s'amplifier et on arrive à une casse du process.



Note : on n'a jamais de correcteur intégrateur pur.

# MEMO -Régulation/Asservissement

## C- Le correcteur PI – proportionnel et intégral

On associe proportionnel et intégral

**La correction intégrale sert à obtenir une précision parfaite. On choisit un  $\tau_i$  de manière à ne pas être trop lent, mais sans avoir d'oscillations.**

**Le correcteur P sera ajusté pour optimiser le temps de réponse.**

C'est le correcteur **le plus courant**.

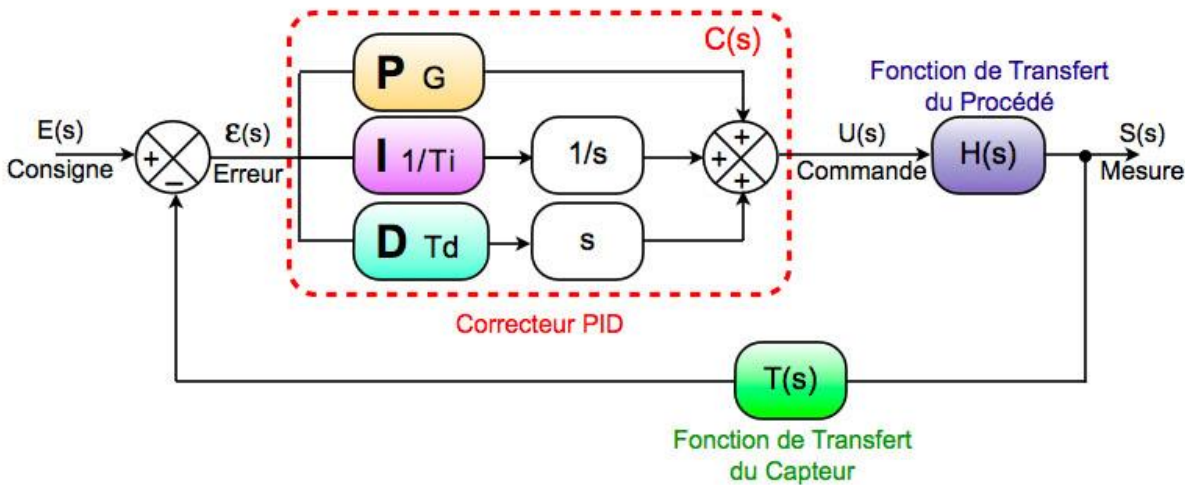
Donc le I rend la précision parfaite en régime permanent, on met un  $\tau_i$  pas trop faible pour éviter une réactivité trop brusque

Le P règle le temps de réponse : on ajuste le  $K_P$  pour optimiser le  $\tau_{5\%}$

## D- Le correcteur PID – proportionnel, intégral et dérivé

Quand le process est très réactif, et qu'avec un PI on n'arrive pas à éviter les oscillations ou les divergences, on installe un correcteur dérivé. Ce correcteur va diminuer l'ordre d'un système et donc le rendre plus calme ! **Le dérivé a donc un effet stabilisateur**. On ajuste son  $\tau_d$  pour régler le temps de réponse également.

NB : Il existe des correcteur PD, où les process ont nativement une précision parfaite et sont très réactif. Le D les calme et le P ajuste la rapidité.



|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| <b>P</b> | → pour ajuster le temps de réponse  |
| <b>I</b> | → pour avoir une précision parfaite |
| <b>D</b> | → pour stabiliser le système        |