

## 1. PRÉSENTATION

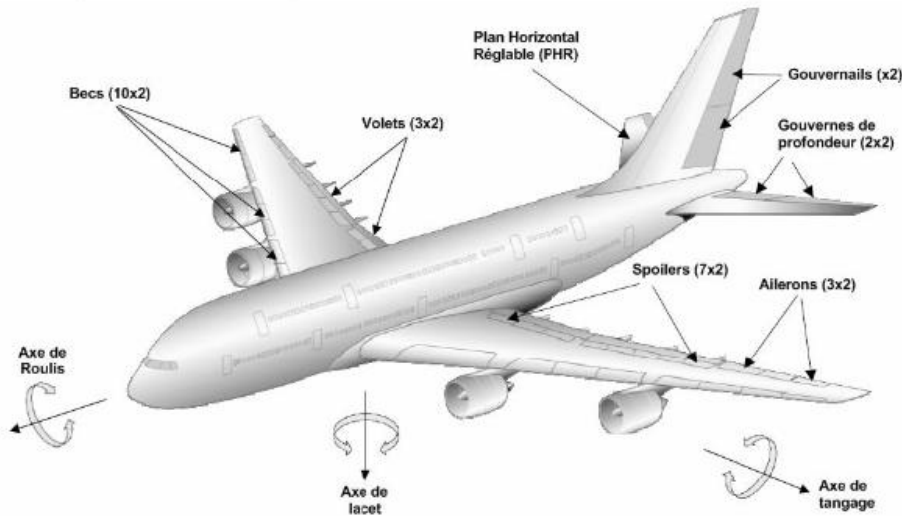
On dit qu'un système est asservi, lorsque la grandeur physique qui le caractérise est maintenue à une valeur préétablie et cela quelque soient les contraintes externes au système.

En fonction du nom de la grandeur de sortie et du type de fonctionnement, on rencontre les dénominations suivantes : l'asservissement et la régulation.

### 1.1. ASSERVISSEMENT

La grandeur de sortie suit une entrée de référence variable (asservissement de vitesse, asservissement de position...).

Exemple : l'airbus A380 est un avion de ligne civil gros-porteur long-courrier quadrimoteur à double pont produit par Airbus, filiale d'EADS, construit principalement en Allemagne, Espagne, France et Royaume-Uni et assemblé à Toulouse.

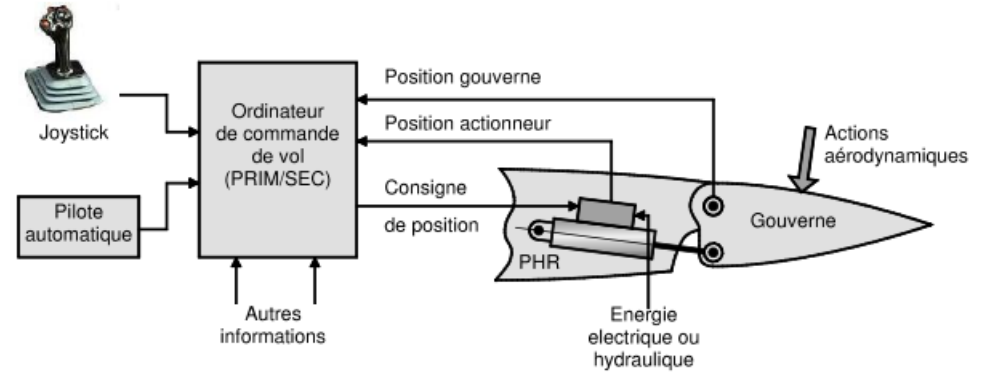


Les consignes émises par le pilote à l'aide du joystick ou par le pilote automatique sont transmises aux ordinateurs de commande de vol. Ces derniers déterminent, en fonction de lois de pilotage prenant en compte un certain nombre de paramètres (altitude, vitesse, etc.), les mouvements des gouvernes limitant éventuellement les évolutions de l'avion à son enveloppe de vol, c'est-à-dire aux régimes et attitudes sûrs.

La position de l'actionneur est déterminée par un capteur inductif linéaire implanté dans la tige du vérin. La position de la gouverne est déterminée par un capteur rotatif dont l'axe de rotation coïncide avec l'axe des charnières.

Les autres informations transmises aux ordinateurs de commande de vol proviennent essentiellement :

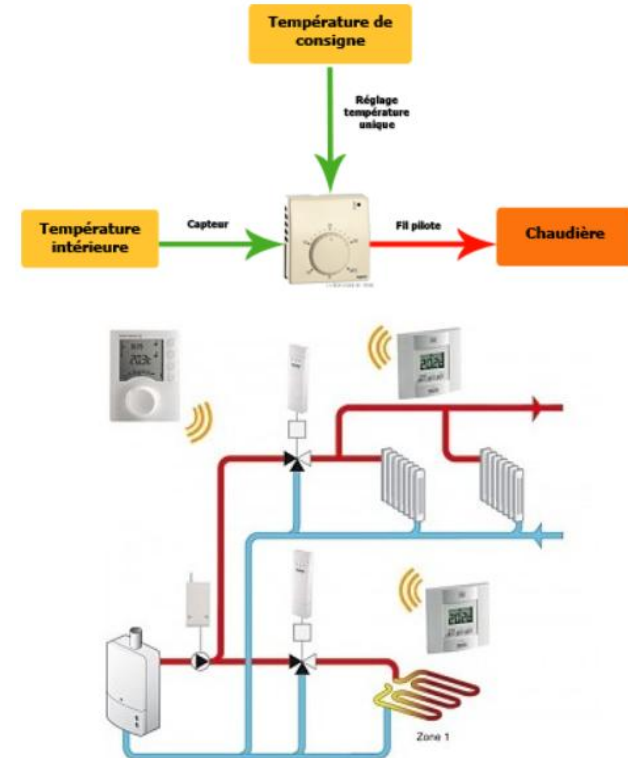
- des gyromètres (vitesses de rotation autour des axes de tangage, lacet et roulis) ;
- des accéléromètres (accélérations verticales et latérales).



### 1.2. RÉGULATION

La grandeur de sortie s'aligne sur une entrée qui est constante (régulation de température).

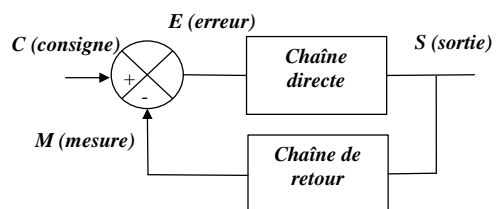
Exemple : régulation de température dans une habitation.



## 2. SCHÉMA FONCTIONNEL D'UN SYSTÈME ASSERVI

Il comporte :

- un comparateur ;
- une chaîne directe ou chaîne d'action ;
- une chaîne de retour ou chaîne de réaction.



### 2.1. LE COMPAREUR

Le comparateur permet à tout instant de comparer la valeur de consigne à la valeur mesurée (image de la sortie), de façon à élaborer le signal d'erreur ( $E=C-M$ ).

### 2.2. LA CHAÎNE DIRECTE OU CHAÎNE D'ACTION

Elle est composée :

- d'un correcteur qui a pour rôle de modifier le signal d'erreur pour donner naissance au signal de commande ( $Y$ ) et améliorer ainsi les performances du système ;
- d'un procédé qui a pour rôle de conférer à la matière d'œuvre la valeur ajoutée attendue.

#### 2.2.1. EXEMPLES DE CONSTITUTION DE PROCÉDÉ

La variation de vitesse d'un mobile : variateur de vitesse (préactionneur ou dans ce cas précis on parle de modulateur d'énergie), moteur(actionneur), réducteur+poulie+courroie (effecteurs).

Le chauffage d'un volume d'eau : gradateur (préactionneur ou modulateur d'énergie), réchauffeur ou thermoplongeur (actionneur), récipient (effecteur).

Le préactionneur est le constituant de gestion d'énergie qui, sur ordre du régulateur, distribue une énergie disponible vers un actionneur.

L'actionneur est un le dispositif qui convertit une énergie d'entrée en une énergie de sortie utilisable pour obtenir une action définie.

L'effecteur est le constituant qui utilise l'énergie en provenance de l'actionneur pour conférer une valeur ajoutée à la matière d'œuvre.

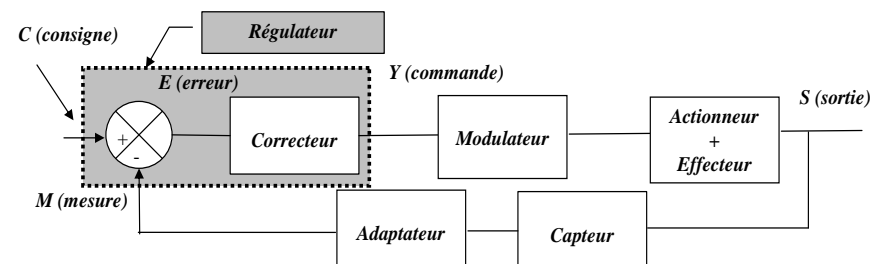
## 2.3. LA CHAÎNE DE RETOUR OU CHAÎNE DE RÉACTION :

Elle est composée :

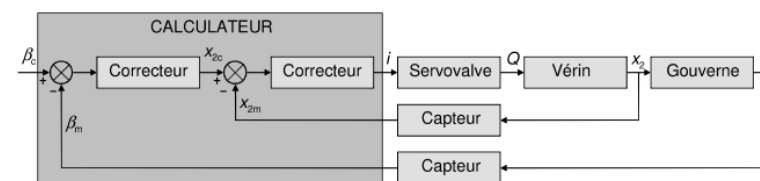
- d'un capteur : qui permet de donner une image fidèle de la grandeur de sortie ;
- d'un adaptateur : qui permet de transformer l'information en provenance du capteur pour qu'elle soit compréhensible par le régulateur (signal  $-10V/+10V$  ou  $4/20mA$ ).

## 2.4. STRUCTURE GÉNÉRALE D'UN SYSTÈME ASSERVI

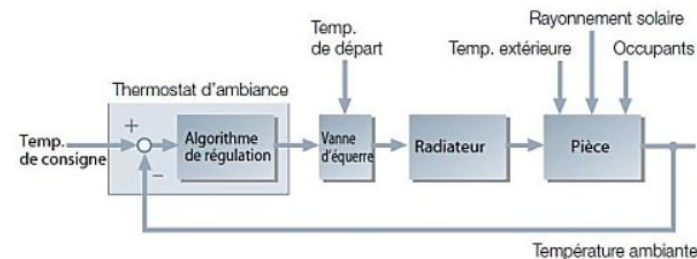
L'association des éléments cités précédemment forme la structure générale d'un système asservi et peut être représentée de la façon suivante:



Exemple 1: asservissement en position d'une gouverne



Exemple 2: régulation de température



### 3. LES TRANSMITTANCES

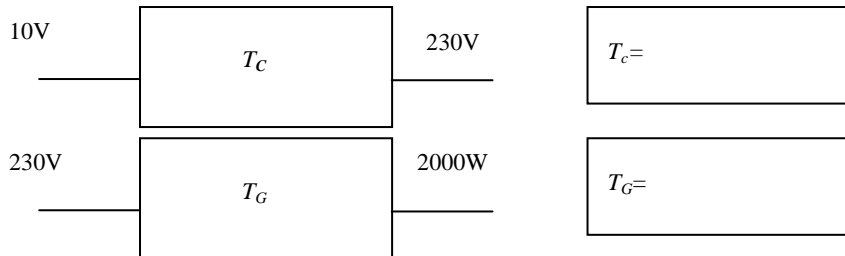
Les différents constituants d'un système asservi peuvent être représentés sous forme de transmittance complexe lors d'une étude en régime transitoire ou sous forme de transmittance réelle lors d'une étude en régime statique (régime établi).

Transmittance complexe	Transmittance réelle
$\underline{T} = \frac{\underline{X}}{\underline{Y}}$	$T = \frac{X}{Y}$

#### 3.1. EXERCICE N°1 :

Un convecteur C monophasé d'une puissance de 2 kW est commandé en puissance par un gradateur. Le temps de conduction des thyristors composant le gradateur G est fonction d'un signal de commande analogue 0-10V.

✍ Calculer la transmittance du gradateur, puis celle du convecteur.



✍ Calculer la transmittance globale  $T_s$ , puis calculer la puissance fournie par le convecteur pour deux tensions de commande 5V et 10V :

---

---

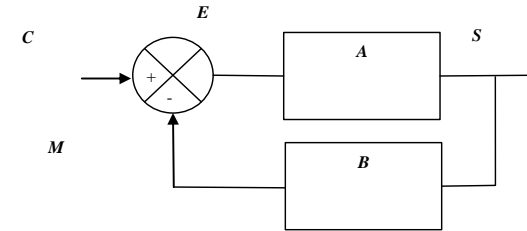
---

---

---

#### 3.2. EXERCICE N°2 :

✍ Calculer la transmittance du système en boucle fermée ( $T_{bf}$ ) ci-dessous :




---

---

---

---

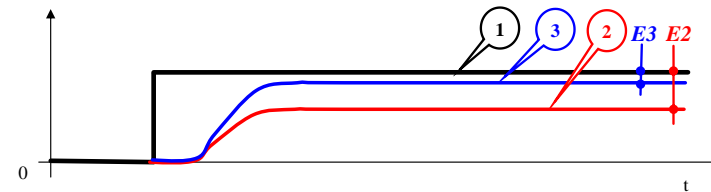
---

$T_{bf} =$

### 4. LES QUALITÉS D'UN SYSTÈME BOUCLE

#### 4.1. LA PRÉCISION

C'est la capacité du système à se rapprocher le plus possible de la valeur de consigne.



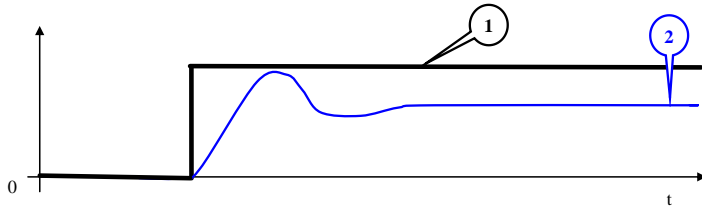
- 1 : consigne
- 2 : système peu précis.
- 3 : système précis.
- E2 : erreur statique liée à la courbe 2.
- E3 : erreur statique liée à la courbe 3.

L'erreur s'exprime en pourcentage de la valeur de consigne.

### 4.2. LA RAPIDITÉ

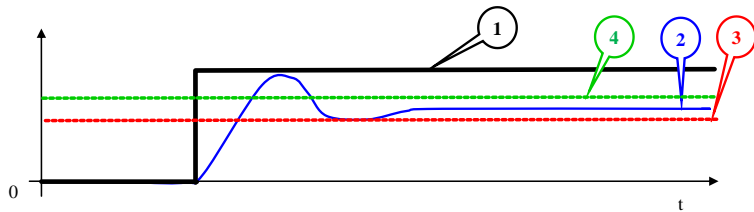
C'est la capacité du système à atteindre dans les meilleurs délais son régime stable (valeur finale qui peut être différente de la valeur de consigne si le système est mal réglé). La rapidité d'un système est défini par son temps de réponse  $t_r$  (plus  $t_r$  est petit plus le système est dit rapide).

Dans l'exemple suivant, la courbe noire (1) représente la consigne et la bleue (2) représente la réponse du système. La valeur finale du système est nommée  $v_f$



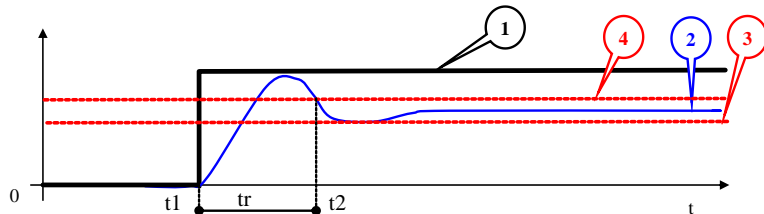
Pour déterminer le temps de réponse d'un système :

- on trace une droite à 95% de la valeur finale  $v_f$  (3);
- on trace ensuite une droite à 105% de la valeur finale  $v_f$  (4).

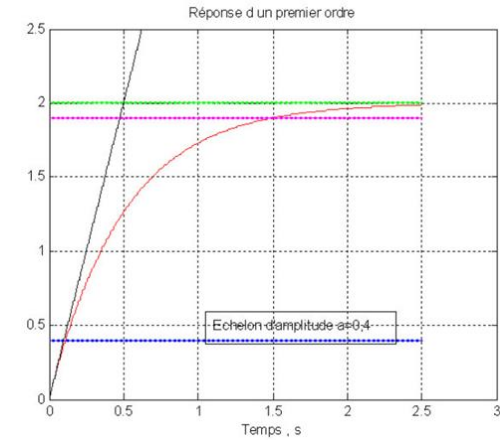


- 1 : consigne.
- 2 : valeur finale du système.
- 3 : droite à 95% de la valeur finale.
- 4 : droite à 105% de la valeur finale.

Le temps de réponse à 5 % correspond à la différence entre le temps  $t_2$  (temps à partir duquel la courbe entre dans l'intervalle 95% /105% sans en sortir) et le temps  $t_1$  (temps à partir duquel la consigne est active).

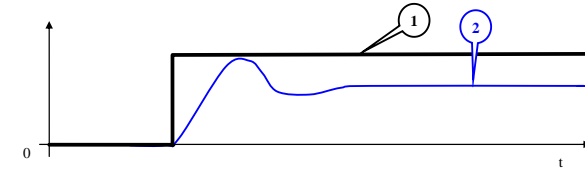


✍ Déterminer le temps de réponse du système ci-dessous :  $t_r =$  \_\_\_\_\_

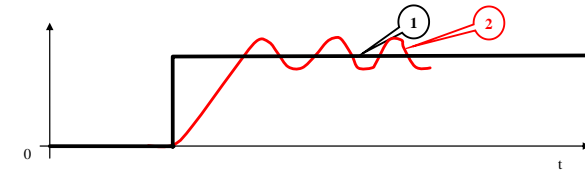


### 4.3. LA STABILITÉ

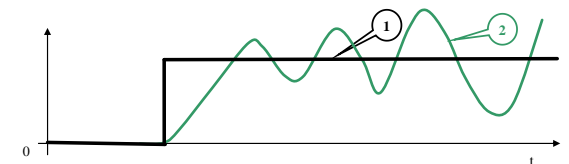
Pour une consigne constante la sortie doit tendre vers une constante.



- 1 : consigne.
- 2 : système stable.



- 1 : consigne.
- 2 : système oscillant.

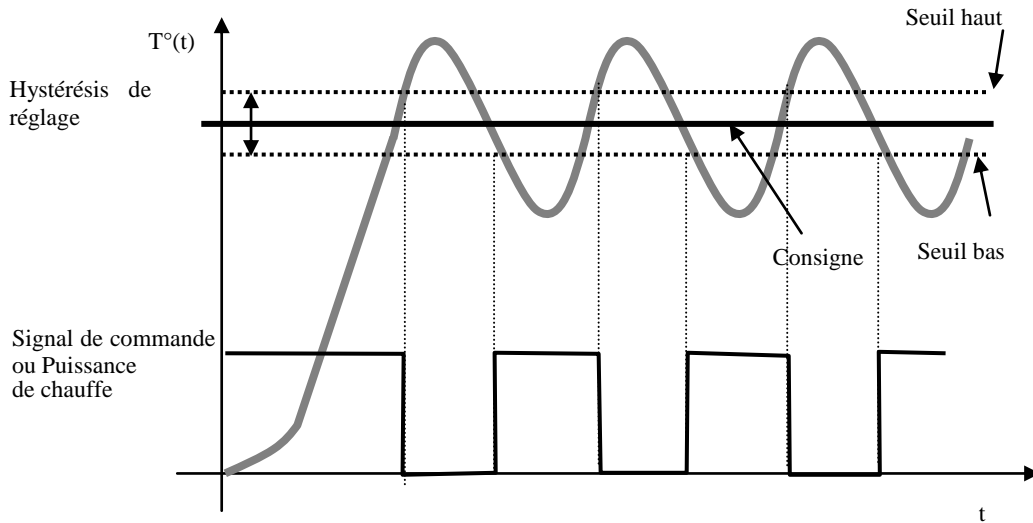


- 1 : consigne.
- 2 : système instable.

## 5. LES MODES DE RÉGULATION D'UN SYSTÈME BOUCLÉ

### 5.1. LA RÉGULATION TOUT-OU-RIEN

Ce mode de régulation est utilisé dans les systèmes statiques (systèmes de chauffage). Sur ordre du régulateur le modulateur fournit à l'actionneur la puissance maximale ou pas du tout de puissance. Dans ce mode de régulation, la précision dépendra de la valeur de l'hystérésis.

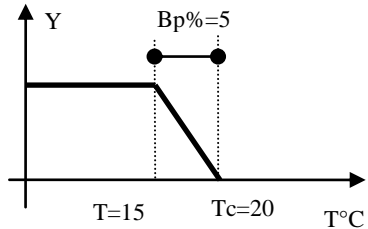


### 5.2. LA RÉGULATION PROPORTIONNELLE (P OU BP%)

L'action proportionnelle d'un régulateur s'exprime soit par le gain  $G_r$ , soit par la bande proportionnelle  $B_p$ .

$$B_p\% = \frac{100}{G_r}$$

Exemple :



Pour un chauffage, on chauffe au maximum au début, et on ne module l'énergie de chauffe que lorsque l'on approche de la température voulue : on est alors rentré dans la bande proportionnelle (sur le

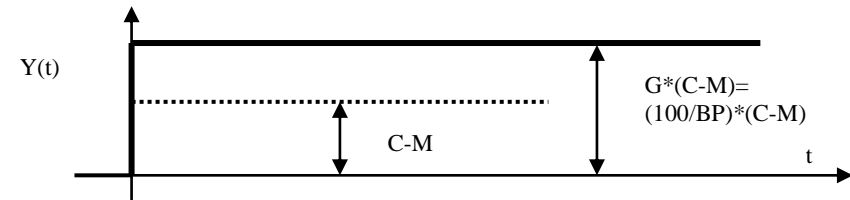
graphique, à partir de 15°C). Pour trouver 15°C il faut faire le calcul suivant : prendre 5% de la pleine échelle (100°C), puis soustraire la valeur trouvée à la valeur de consigne.

On voit sur la courbe que la sortie T n'est proportionnelle à la valeur de commande Y que dans la bande proportionnelle.

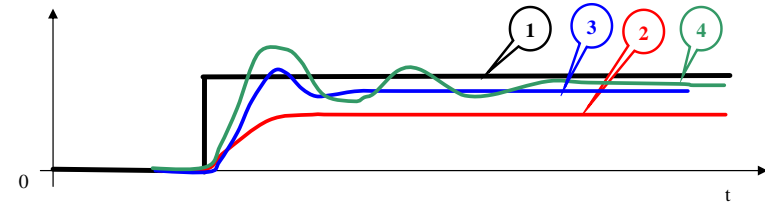
Les symboles utilisés pour l'action proportionnelle :

- pour le gain : G,K, Kp ;
- pour la bande proportionnelle : Bp, Pb, Xp, P%.

L'action proportionnelle permet de fournir au modulateur une tension de commande qui est proportionnelle à l'erreur. Il est bien évident que l'amplitude du signal de commande ne peut excéder 10V ou -10V.



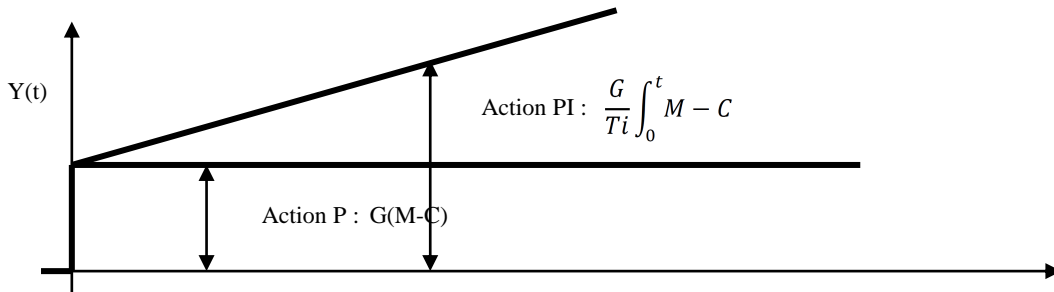
L'action proportionnelle permet de réduire le temps de réponse du système, donc d'augmenter sa rapidité. Plus le gain est élevé, plus le système devient rapide et plus l'erreur statique diminue sans s'annuler. Si on dépasse une certaine valeur du gain, le système devient oscillant ou instable. Il faut trouver un bon compromis entre rapidité et stabilité.



- 1 : consigne.
- 2 : gain trop petit.
- 3 : gain correct.
- 4 : gain trop grand.

### 1.1. LA RÉGULATION PROPORTIONNELLE INTÉGRALE (PI)

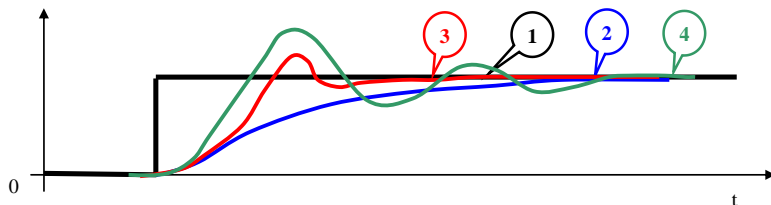
On associe dans ce mode de régulation une action proportionnelle et une action intégrale. L'action intégrale permet d'annuler l'erreur statique (écart entre la mesure et la consigne) avec une rapidité inversement proportionnelle à la constante de temps  $T_i$ , en fournissant un gain au système dans les basses fréquences (temps élevés) lorsque l'influence de l'action proportionnelle a disparu. Toutefois si cette constante est trop faible il y a risque de déstabilisation du système. Il faut donc trouver un bon compromis entre rapidité et stabilité.



En agissant avec une force proportionnelle à l'écart entre la sortie et la consigne, un écart subsiste en permanence. On décide dès lors que la force d'intervention aura deux composantes. La première, c'est la force proportionnelle à l'écart, comme dans la première solution. Mais une deuxième force la complète : une force proportionnelle à l'intégration de l'écart dans le temps, c'est-à-dire proportionnelle à la somme de tous les écarts mesurés en permanence.

Tous les "pas de temps", le régulateur va mesurer cet écart et l'additionner à la valeur d'une case "mémoire". Tant que la consigne ne sera pas atteinte, la composante Intégrale augmentera, jusqu'à atteindre cette fois la consigne. Une fois celle-ci atteinte, l'écart est nul et la composante intégrale n'est plus modifiée (puisqu'elle additionne une valeur "0"). Si la consigne est dépassée, l'écart sera négatif et la composante intégrale diminuera.

Dans le fond, cette composante intégrale ne pourrait-elle travailler seule ? Non, elle est trop lente pour réagir efficacement à des variations de la demande thermique. Il faudrait diminuer son pas de temps (diminuer le "temps d'intégration") mais alors à nouveau le système devient instable.



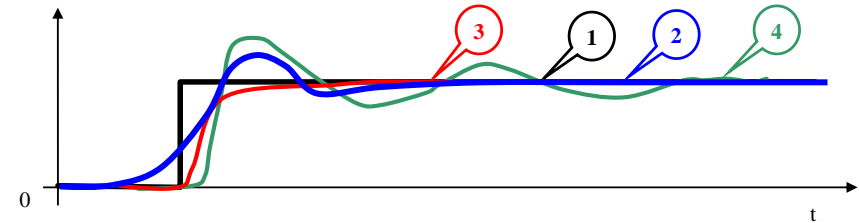
- 1 : consigne.
- 2 :  $T_i$  trop grand.
- 3 :  $T_i$  correct.
- 4 :  $T_i$  trop petit.

### 1.2. LA RÉGULATION PROPORTIONNELLE INTÉGRALE DÉRIVÉE (PID)

L'action dérivée est anticipatrice. En effet, elle ajoute un terme qui tient compte de la vitesse de variation de l'écart, ce qui permet d'anticiper en accélérant la réponse du processus lorsque l'écart s'accroît et en le ralentissant lorsque l'écart diminue.

Plus l'action dérivée est élevée ( $T_d$  grand), plus la réponse s'accélère !

Là encore, il faut trouver un bon compromis entre vitesse et stabilité.



- 1 : consigne.
- 2 :  $T_d$  trop petit.
- 3 :  $T_d$  correct.
- 4 :  $T_d$  trop grand.