

## TP - 2

# Asservissement de Température

### Liste du matériel

- Maquettes Didalab : Asservissement de température (ERD037780) ;
- Carte d'acquisition SP5 ;
- Alimentation stabilisée  $\pm 15V$  ;
- Alimentation de puissance 30V ;
- Multimètre.

Le but de ce TP est l'étude de l'asservissement de quelques grandeurs physiques : Température Fréquence et Tension

Pour la régulation de la température d'un four (résistance chauffante  $R_f$ ), nous allons utiliser la maquette Didalab : Asservissement de température (ERD-037780). Voir l'annexe 2 pour la présentation de cette maquette.

Voir annexe 1 et/ou un cours sur l'asservissement pour les différentes définitions des grandeurs relatives à l'asservissement.

## A. Asservissement de température

### 2.1 Température du four en fonction de la puissance électrique

Cette première manipulation consiste à déterminer quelques caractéristiques du four.

Les objectifs de cette partie sont :

- La détermination de la relation entre la température du four  $\theta_f$  et la puissance électrique  $P_f$  fournie au four ;
- La détermination de la résistance thermique  $R_{th}$  du four, définie par :  $\theta_f = R_{th}P_f$

#### 2.1.1 Manipulation 1 : Sans ventilation

[☞] Réaliser le montage de la figure 2.1.

[☞] Alimenter la maquette par  $+15/-15V$  sans allumer le ventilateur.

[☞] Relever la tension  $V_{Pt_1}$  et calculer la température ambiante  $\theta_{amb} = 50V_{Pt_1}$ .

[☞] Régler les potentiomètres du correcteur PID comme suit :

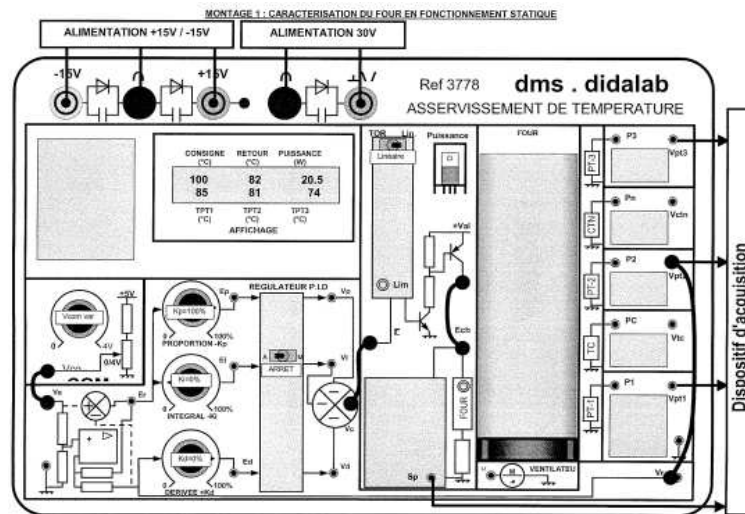


FIGURE 2.1 – Caractéristique statique du four

**P=0% ( $K_p = 0$ ) ; I = 0% (Interrupteur  $K_I$  à l'arrêt position gauche) ; D = 0%**  
**ET relier la borne de retour  $V_r$  à  $V_{Pt2}$**

Remarque 1 : Dans cette manipulation on va faire une caractérisation avec une correction P de la température  $\theta_{pt2}$  ( $V_{Pt2}$ ).

Remarque 2 : Les positions des potentiomètres sont approximatives (en %).

- [⚙️] Régler l'alimentation de puissance sur  $V_{al} = 30 \text{ V}$ .
- [⚙️] Ramenez le potentiomètre  $P=100\%$ .
- [⚙️] A l'aide du multimètre, mesurer les tensions :  $V_{Pt_1}, V_{Pt_2}; V_{Pt_3}$  et  $S_p$  pour différentes valeurs de la tension de commande  $V_{com}(0 \leq V_{com} \leq 3.5\text{V}$  avec un pas de  $0.5\text{V}$ ).

**Important : Avant chaque mesure, il faut attendre la stabilisation des températures (des tensions) pour avoir l'équilibre thermique (environ 3 à 5 min).**

- [✍️] Remplir le tableau suivant :

$V_{com}(\text{V})$	$S_p(\text{V})$	$V_{pt1}(\text{V})$	$V_{pt2}(\text{V})$	$V_{pt3}(\text{V})$	$\theta_{pt1}(\text{°C})$	$\theta_{pt2}(\text{°C})$	$\theta_{pt3}(\text{°C})$
0							
0.5							
...							
3,6							

- [✍️] Tracer les température  $\theta_{pti} (i = 1, 2, 3)$  en fonction de la puissance du four  $P_f$ .
- [✍️] Faire une modélisation et déterminer la résistance thermique  $R_{th}$  du four en chacun des trois points de mesure. Conclure.

### 2.1.2 Manipulation 2 : Avec ventilation

- [✍️] Refaire la même manipulation en allumant le ventilateur avec une tension  $+15\text{V}$ .
- Important : Il faut remettre  $V_{com}$  à 0 et attendre le refroidissement du four.

- [✍️] Tracer les température  $\theta_{pti} (i = 1, 2, 3)$  en fonction de la puissance du four  $P_f$ .
- [✍️] Faire une modélisation et déterminer la résistance thermique  $R_{th}$  du four en chacun des trois points de mesure. Conclure.

**Laisser le four se refroidir avec ventilateur allumé.**

## 2.2 Caractéristiques dynamiques du four

Le but de cette partie est :

- Déterminer le temps de retard  $T_r$  du four ;
- Constante de temps thermique  $\tau_t$  (Vitesse de montée maximum) du four.
- [⚙️] Réaliser le montage de la figure suivante :
- [⚙️] Alimenter la maquette par  $+15/ - 15\text{V}$ .
- [⚙️] Relever la tension  $V_{Pt_1}$  et calculer la température ambiante  $\theta_{amb} = 50V_{Pt_1}$ .
- [⚙️] Réaliser les réglages suivants :
  - Les potentiomètres du correcteur :  $P=100\%$  ;  $I = 0\%$  (Arret) ;  $D = 0\%$  ;
  - $V_{com} = 4 \text{ V}$  ;
  - $V_r = 0$  (à la masse).
- [⚙️] Régler l'alimentation  $V_{al}$  pour avoir une puissance du four  $P_f = 15 \text{ W}$  (valeur sur l'afficheur). Faire ce réglage le plus rapidement possible afin de ne pas trop chauffer le four avant le début des mesures.
- [⚙️] Ramenez le potentiomètre propotionnel à  $P=0\%$ .

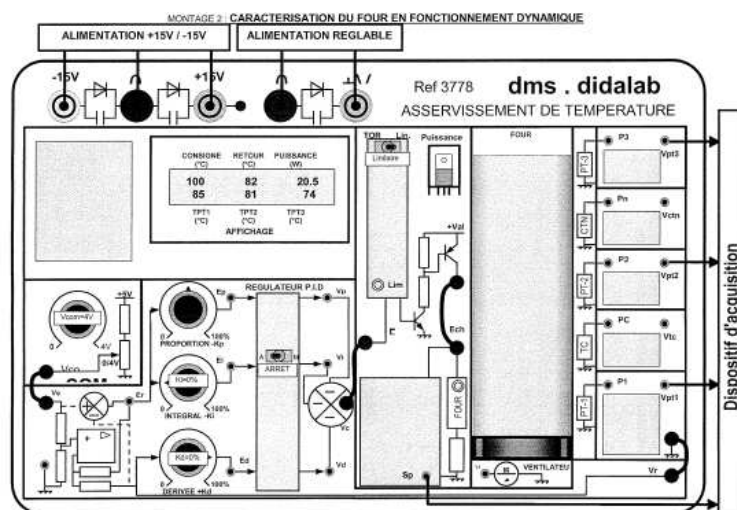


FIGURE 2.2 – Caractéristique dynamique du four

- [☞] Refroidir le four (avec le ventilateur à +15V) jusqu'à la température ambiante (équilibre thermmique).
- [☞] Brancher la carte d'acquisition des tensions  $V_{Pt_1}(t)$ ,  $V_{Pt_2}(t)$ ;  $V_{Pt_3}(t)$  et  $S_p(t)$  et régler les paramètres du logiciel pour une acquisition l'ordre de 15 min avec la ventilation
- [☞] Ramener **rapidement** le potentiomètre P à P=100% et lancer l'acquisition des tensions en fonction du temps. Laisser le ventilateur allumé +15V pendant l'acquisition.

Remarque : On va réaliser cette expérience avec ventilation du four car avec la ventilation la durée de l'expérience est de l'ordre de 15 min alors que sans ventilation, la durée de l'expérience sera de l'ordre de 80 min !

- [☞] Calculer le temps de retard  $T_r$  et la constante de temps thermique  $\tau_r$  pour les trois capteurs qui sont définis sur la figure 2.3.

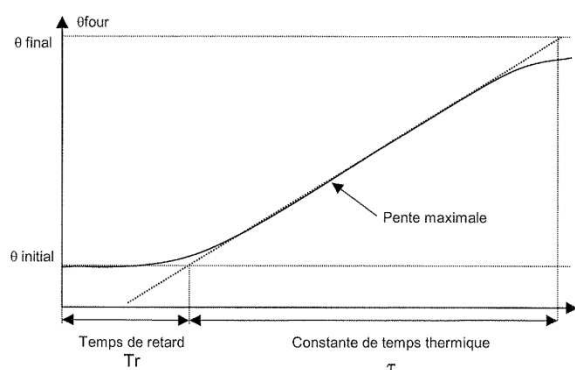


FIGURE 2.3 – Temps de retard et constante du temps

- [☞] Conclure.

## 2.3 Effet du correcteur proportionnel (P)

L'objectif de cette partie est de montrer l'effet du correcteur proportionnel P sur les caractéristiques de l'asservissement (en mode linéaire) : précision, stabilité et rapidité.

(voir annexe 2 pour plus de détails ou voir un cours sur l'asservissement).

[☞] Coupez toutes les alimentations et réaliser le montage suivant :

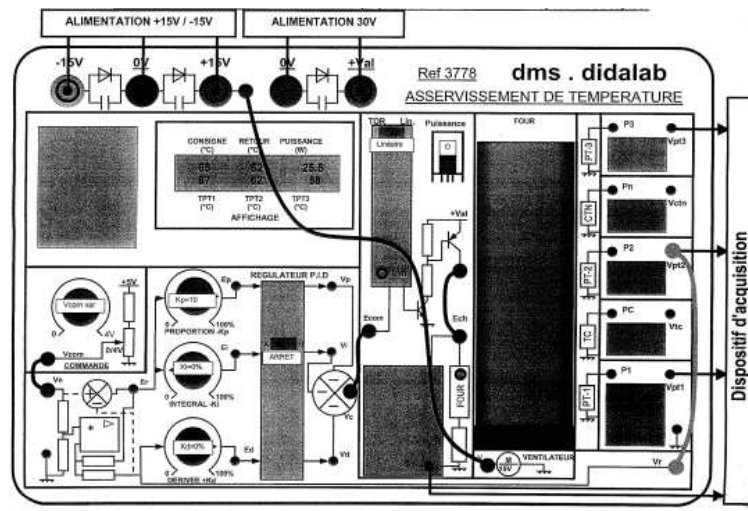


FIGURE 2.4 – Montage correcteur proportionnel P

[☞] Alimenter la partie commande +15/ – 15V (sans alimenter la partie puissance)

[☞] Régler  $V_{com}$  afin d'avoir une température consigne  $\theta_c$  (sur l'affichage) de l'ordre de  $25^\circ\text{C}$  (doit être supérieure à la température ambiante).

[☞] Mesurer la tension  $E_r$ . Régler  $K_p$  sur une valeur  $K_p = 5$  ( $E_{com} = K_p E_r$ ).

[☞] Régler la durée de l'acquisition sur 200 s et faire les branchements pour enregistrer la tension  $V_{Pt_2}(t)$  et la tension  $V_{com}$  en fonction du temps.

Pour différentes valeurs de  $K_p$  (approximativement : 25%, 50%, 75% et 100%). Lancer l'acquisition en appliquant la tension d'alimentation de la partie puissance (+30 V)

[☞] Tracer les courbes :  $\Delta\theta_{com} = 50(V_{com} - V_{Pt_2}(0))$  et  $\Delta\theta_f = 50(V_{Pt_2}(t) - V_{Pt_2}(0))$ .

[☞] Rappels :

— Valeur finale théorique de la température du four est :

$$\Delta\theta_{f_{fin}} = \Delta\theta_{com} \frac{A}{1 + A}$$

où  $A$  est le coefficient d'amplification :  $A = K_p K_\theta K_f R_{th}$

— Le dépassement relatif (%) :  $Dr_p = 100 \frac{(\Delta\theta_{f_{max}} - \Delta\theta_{f_{fin}})}{\Delta\theta_{f_{fin}}}$

— Vitesse maximale de montée  $V_{max}$  en  $^\circ\text{C/s}$  : La pente maximale de la courbe.

Pour chaque valeur de  $K_p$ , dresser un tableau et déterminer les quantités suivantes :

$K_p$	$\Delta\theta_{com}$	$A$	$\Delta\theta_{f_{theo}}$	$\Delta\theta_{f_{fin}}$	$Dr_p$	$V_{max}$
5						
10						
15						
20						

[4] Conclure sur l'effet du gain  $K_p$  du correcteur P sur : la stabilité, la précision et la rapidité de l'asservissement.

### 2.4 Effet du correcteur Proportionnel-Dérivé (PD)

L'objectif ici est de montrer l'influence des corrections proportionnelle et dérivé (PD) sur l'asservissement de la température du four.

[3] Coupez toutes les alimentations et réaliser le montage suivant :

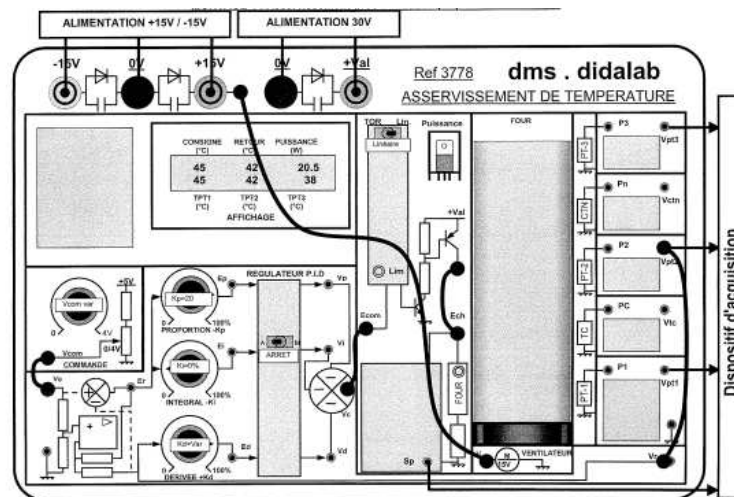


FIGURE 2.5 – Montage correction Proportionnelle-Dérivée

[3] Alimenter la partie commande +15/ - 15V (sans alimenter la partie puissance)

[3] Régler  $V_{com}$  afin d'avoir une température consigne  $\theta_c$  (sur l'affichage) de l'ordre de 25°C (doit être supérieure à la température ambiante).

[3] Réaliser les réglages des potentiomètres des correcteurs :

**P=100%** ( $K_p = 20$ ) ;  $K_I = 0\%$  .

[3] Régler la durée de l'acquisition sur 200 s et faire les branchements pour faire l'acquisition des tensions  $V_{Pt_2}(t)$  et  $V_{com}(t)$  en fonction du temps.

[3] Pour trois valeurs de  $K_d$  (0%, 50% , 100%) : lancer l'acquisition **en appliquant la tension d'alimentation** de la partie puissance (+30 V)

[3] Tracer les courbes :  $\Delta\theta_{com} = 50(V_{com} - V_{Pt_2}(0))$  et  $\Delta\theta_f = 50(V_{Pt_2}(t) - V_{Pt_2}(0))$  .

[3] A partir de ces résultats remplir le tableau suivant :

$K_d$	$\Delta\theta_{com}$	$A$	$\Delta\theta_{f_{theo}}$	$\Delta\theta_{f_{fin}}$	$Dr_p$	$V_{max}$
0 %						
50 %						
100%						

[A] Conclure sur l'effet du correcteur dérivé sur : la stabilité, la précision et la rapidité de l'asservissement.

## 2.5 Effet du correcteur Proportionnel-Intégrale (PI)\*

Voir Guide Technique page 34/92 (s'il y a le temps!)

## 2.6 Asservissement de température en mode TOR\*

Voir Guide Technique page 35/92 (s'il y a encore le temps!)

### B. Asservissement de la fréquence

## 2.7 Asservissement d'une fréquence et de phase (PLL)

voir Duffait page 234

### C. Asservissement d'une tension

## 2.8 Asservissement d'une tension (CAG)

voir Duffait page 186

## 2.9 Annexe 1 : Rappels sur l'asservissement

### 2.9.1 Système asservi

Dans un système asservi, on trouve les éléments suivants :

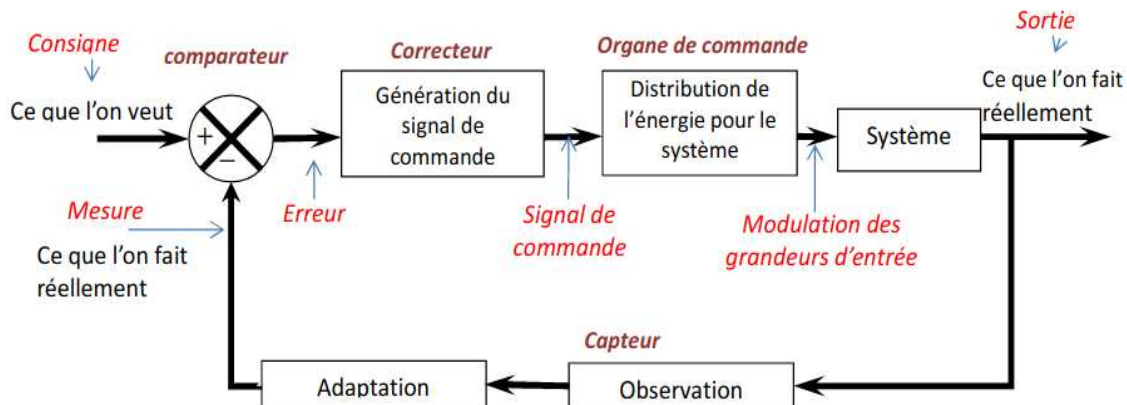


FIGURE 2.6 – Synoptique d'un système asservi

- un capteur pour mesurer la sortie
- un comparateur qui élabore l'erreur entre la consigne et la mesure de la sortie
- un correcteur qui élabore la commande en fonction du signal d'erreur
- un correcteur (PID) qui élabore la commande en fonction du signal d'erreur
- un organe de commande qui module le signal d'entrée du système

### 2.9.2 Réponse d'un système

Les caractéristiques de la réponse d'un système sont :

- **La précision** : c'est la capacité du système à se rapprocher le plus possible de la valeur de consigne.

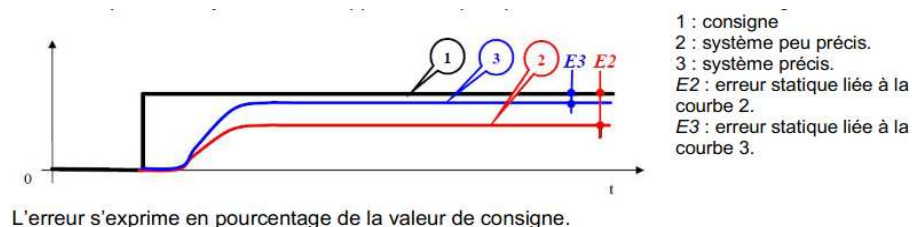


FIGURE 2.7 – Précision d'un système

- **La rapidité** : c'est la capacité du système à atteindre dans les meilleurs délais son régime stable. La rapidité d'un système est définie par son temps de réponse. Pour déterminer le temps de réponse d'un système :



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

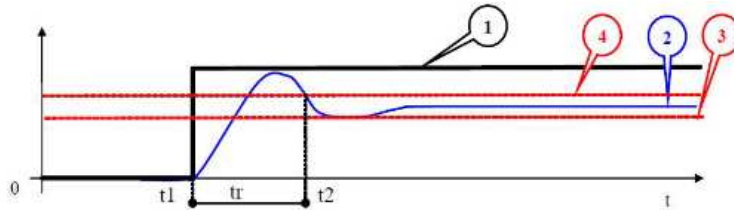


FIGURE 2.8 – Rapidité d'un système

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).

— **La stabilité** : Pour une consigne constante la sortie doit tendre vers une constante.

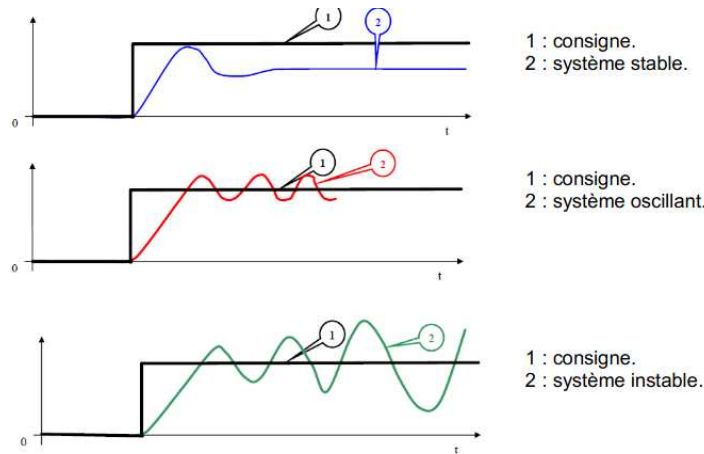


FIGURE 2.9 – Stabilité d'un système

— **Le dépassement** : Le taux de dépassement (en %) caractérise l'amplitude maximale des oscillations.

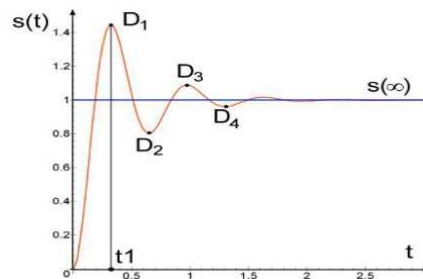


FIGURE 2.10 – Dépassement d'un système

On l'exprime à l'instant  $t$  de la façon suivante :

$$D = 100 \frac{S(t) - S(\infty)}{S(\infty)}$$

### 2.9.3 Correcteurs

Le schéma suivant résume l'effet des correcteurs PID sur les caractéristiques du système asservi : Précision, Stabilité et Rapidité :

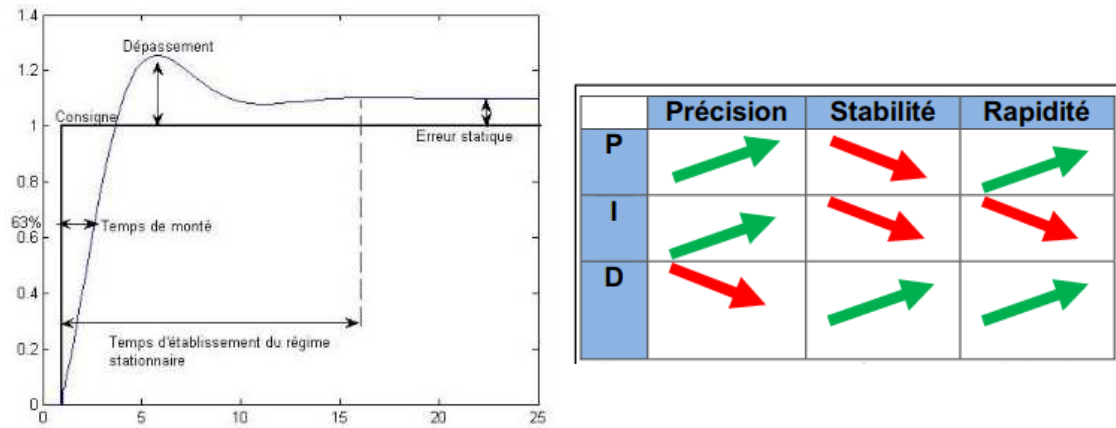


FIGURE 2.11 – Effet du correcteur PID sur la réponse d'un système

## 2.10 Annexe 2 : Présentation de la maquette asservissement de température

Le schéma synoptique de la maquette d'asservissement est le suivant :

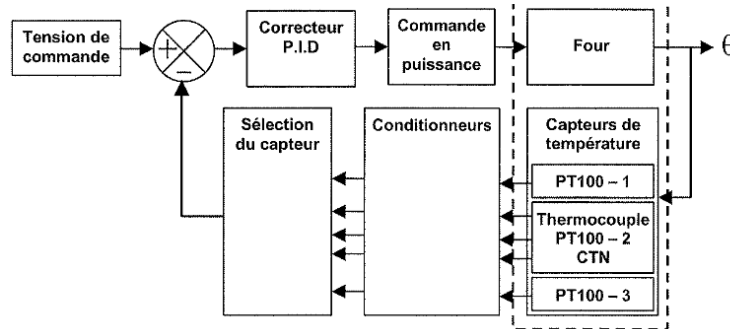


FIGURE 2.12 – Synoptique de la maquette d'asservissement de température

Comme tout système d'asservissement, la maquette est constitué des blocs suivants :

- Tension de commande  $V_{com}$  (c'est la consigne) : Il permet de fixer la valeur de la tension consigne qui correspond à la température voulue.
- Comparateur : il permet de comparer la consigne  $V_{com}$  à la valeur de retour  $V_r$  délivrée par le conditionneur du capteur et qui représente la température du four. Le comparateur utilisé ici est un soustracteur à base d'AO qui donne à sa sortie une tension d'erreur

$$E_r = V_e - V_r$$

Remarque : Si on utilise la tension consigne de la maquette alors  $V_e = V_{com}$ .

- Correcteur PID : La tension d'erreur  $E_r$  passe par le correcteur PID qui délivre une tension pour commander la puissance du four :
  - Le correcteur Proportionnel (P) est un amplificateur inverseur à base d'AO qui donne une tension

$$V_p = -K_p E_r$$

Un potentiomètre P permet de régler la constante  $K_p$  :  $0(0\%) < K_p < 20(100\%)$ .

Remarque : Plus la différence  $E_r$  entre la consigne  $V_{com}$  et le retour  $V_r$  est grande plus la tension  $V_p$  est grande plus la puissance fournie au four sera grande.

- Le correcteur Intégral (I) est un intégrateur inverseur à base d'AO qui donne une tension

$$V_i = -K_i \int E_r dt$$

Un potentiomètre I permet de régler la constante du temps :  $0(0\%) < K_i < 3,03 \cdot 10^{-2}(100\%) \text{ s}^{-1}$ .

Remarque : Un interrupteur KI permet d'annuler la tension aux bornes du condensateur (donc annuler l'effet de l'intégrateur selon le besoin)

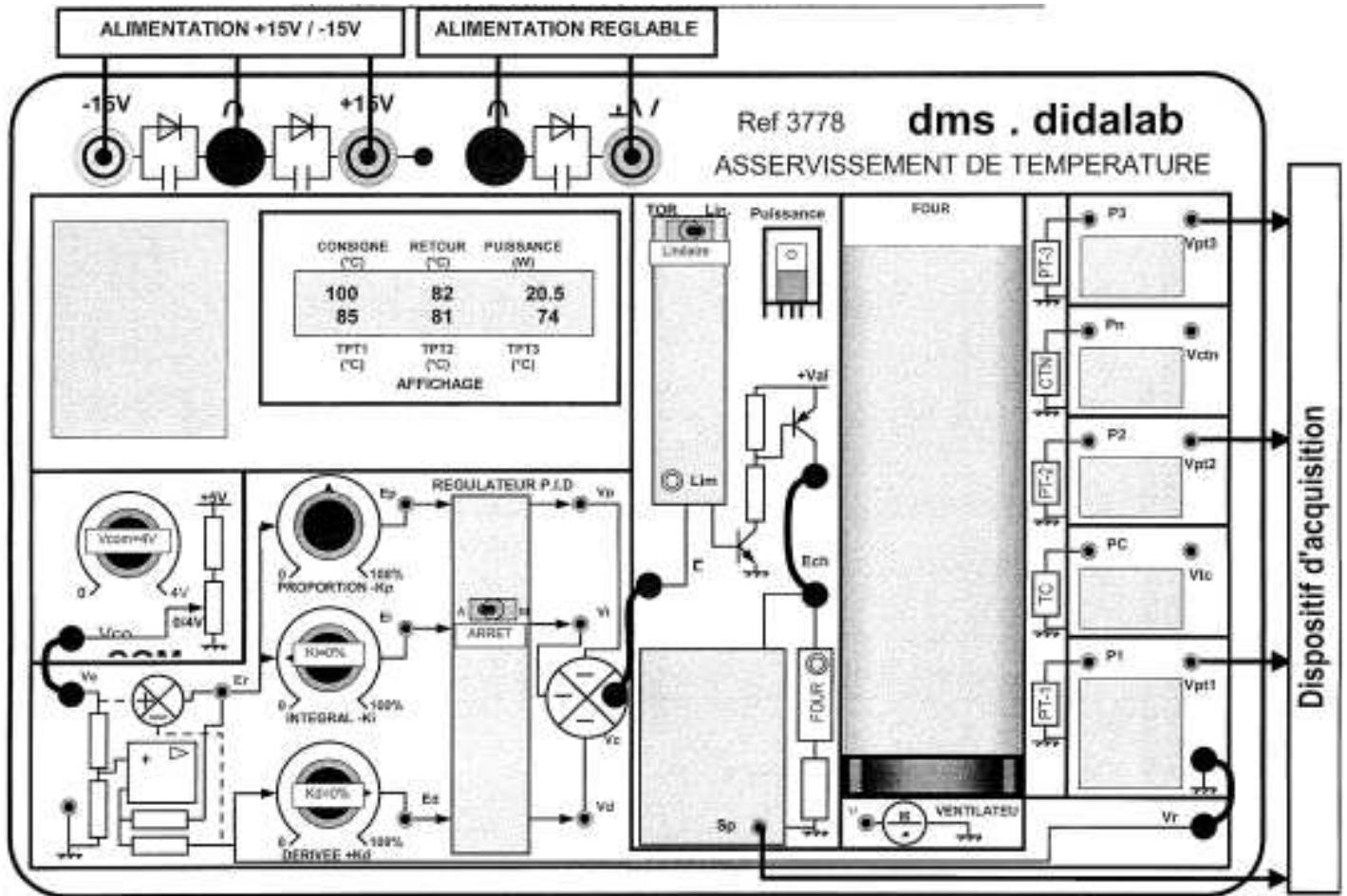


FIGURE 2.13 – Maquette d'asservissement de température

— Le correcteur Derivé (D) est un dérivateur non inverseur à base d'AO qui donne une tension

$$V_d = K_d \frac{dE_r}{dt}$$

Un potentiomètre D permet de régler la constante du temps :  $0(0\%) < K_d < 210(100\%)$  s.

- Un sommateur inverseur qui permet de donner la somme des tensions :  $V_c = -(V_p + V_i + V_d)$
- Circuit de commande de la puissance du four : C'est un hacheur qui est commandé par la tension  $V_c$  (en mode Linéaire ou TOR selon le besoin). Il permet de commander le transfert de puissance  $P_f$  de l'alimentation de puissance  $V_{al}$  vers la four (voir cours hacheur). La puissance moyenne dissipée dans la résistance du four est :

$$P_f = \frac{E_{com} V_{al}^2}{10R_f}$$

avec :  $E_{com}$  est la tension de commande du hacheur, ici on relie toujours  $E_{com}$  à  $V_c$  donc :  $E_{com} = V_c$  .  
et  $R_f$  étant la résistance de four ( $R_f = 15\Omega, 25W$ ) qui est fixée sur une plaque d'aluminium.

- Pour mesurer la puissance électrique du four un circuit à base de multiplieur et d'un filtre moyennneur. Il délivre une tension  $S_p$  (en V) proportionnelle à la puissance moyenne  $P_f$  (en W) :

$$S_p = \frac{P_f}{15}$$

- Un ventilateur est placé à l'extrémité du four permt d'accélérer le refroidissement du four entre deux manipulations (tension d'alimentation 5 à 15 V)
- Pour mesurer la température, 5 capteurs de température (3 Pt100, CTN et K) sont fixés sur la plaque du four. Ces capteurs permettent la mesure de la température rn trois points du four. La tension à la sortie des conditionneurs des sondes Pt100 est donnée par :

$$V_{pt} = 0.0201 \times \theta$$

La tension à la sortie du conditionneur de la sonde CTN est donnée par :

$$V_{ctn} = 0.0199 \times \theta$$

## 2.11 Références

- Asservissement de température, Guide technique, didalab, ERD037780
- <http://www.lycee-ferry-versailles.fr>