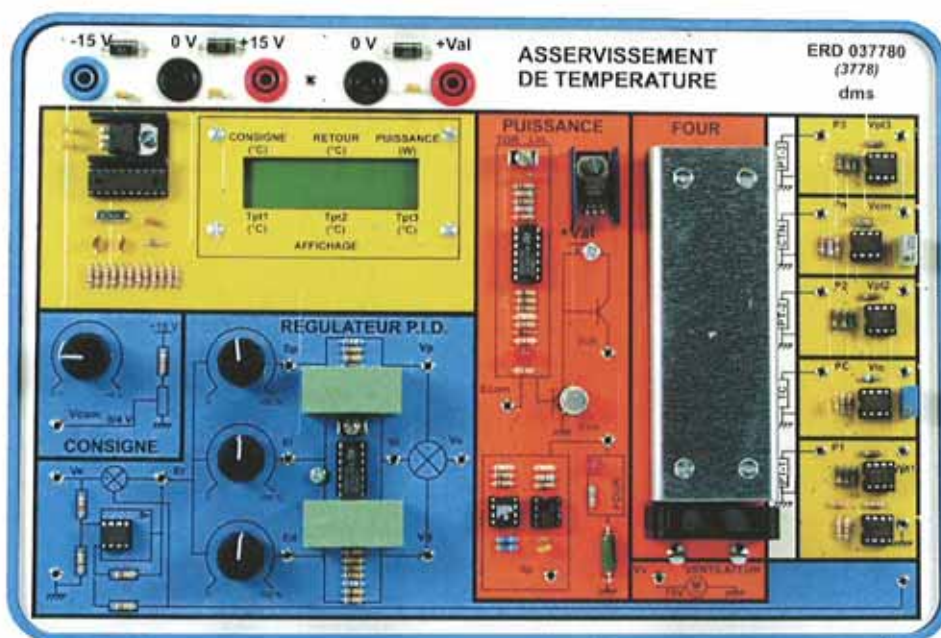


ERD037780

Asservissement de Température

Marc DEMONCHY
Professeur
L.S.I Gustave EIFFEL - CACHAN



TRAVAUX PRATIQUES

SOMMAIRE

I – Présentation de la maquette

I – 1 Caractéristiques générales	P - 2
I – 2 Tension de commande	P - 3
I – 3 Comparateur	P - 3
I – 4 Correcteur PID	P - 4
I – 5 Commande en puissance	P - 7
I – 6 Mesure de la puissance	P - 9
I – 7 Le four	P - 11
I – 8 Les capteurs de température	P - 11
I – 9 Les conditionneurs	P - 14
I – 10 L'affichage	P - 18

II – Expérimentation

II – 1 Caractérisation du four	P - 19
II – 2 Etude du régulateur P.I.D	P - 25
II – 3 Etude de la partie puissance	P - 27
II – 4 Etude de l' asservissement en fonctionnement linéaire	P - 29
II – 4 – 1 Schématisation de l'asservissement	P - 29
II – 4 – 2 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence du gain	P - 31
II – 4 – 3 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de l'emplacement du capteur	P - 33
II – 4 – 4 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de la saturation	P - 35
II – 4 – 5 Asservissement avec correction proportionnelle-dérivée	P - 36
II – 4 – 6 Asservissement avec correction proportionnelle-intégrale	P - 38

II - 5 Etude d'un asservissement de température en fonctionnement tout ou rien (TOR)

II – 5 – 1 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence du gain	P - 39
II – 5 – 2 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de l'emplacement du capteur	P - 41
II – 5 – 3 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de la correction dérivée	P - 43

II – 6 Etude des caractéristiques des différents capteurs

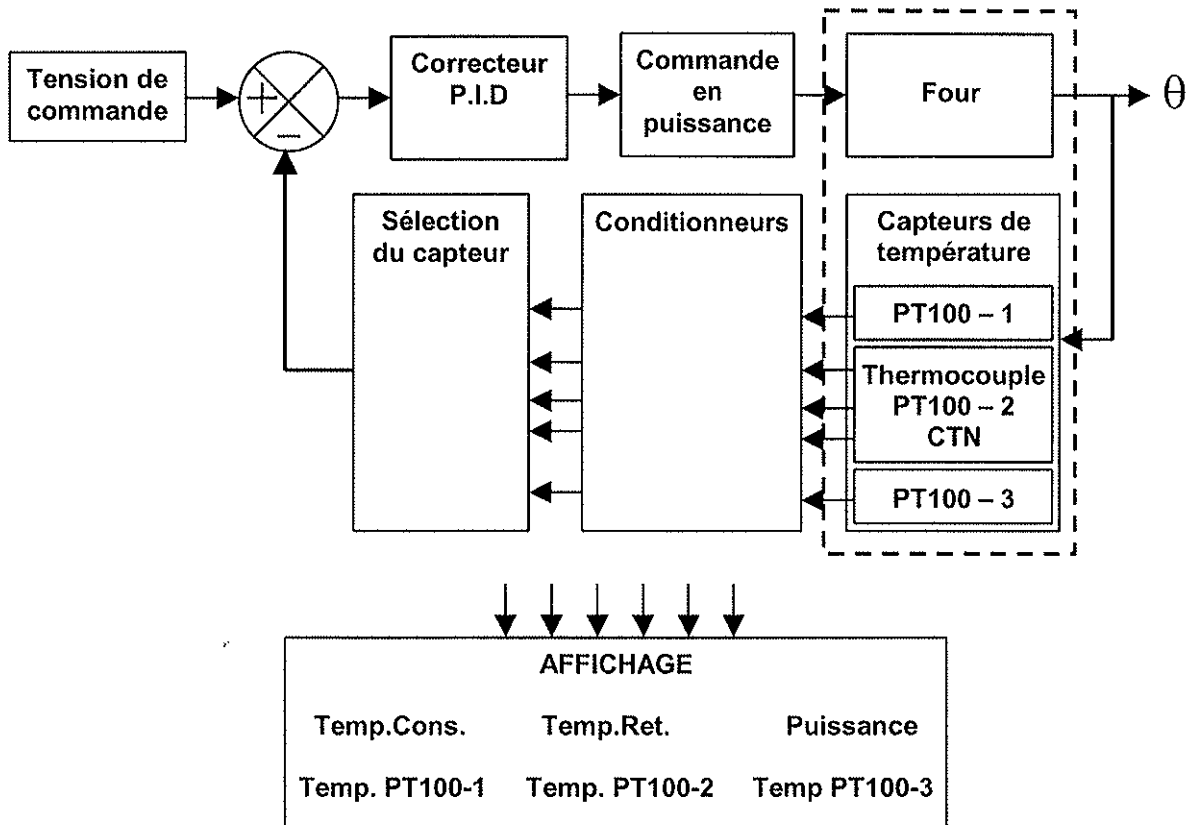
ANNEXE 1	P - 47
ANNEXE 2	P - 58
ANNEXE 3	P - 60
ANNEXE 4	P - 61
ANNEXE 5	P - 66
ANNEXE 6	P - 82
ANNEXE 7	P - 94

I – Présentation de la maquette

I –1 Caractéristiques générales

Cette maquette permet d'étudier la régulation de la température d'un four.

Synoptique :

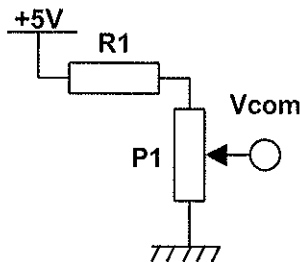


Caractéristiques :

Température maximale d'utilisation :	200 °C
Limitation en température :	240 °C
Puissance maximale électrique :	60 W
Tension de sortie des capteurs de températures :	20mV/°C (4V pour 200°C)
Tension de commande :	0 à 4V

I-2 Tension de commande

Schéma de principe :



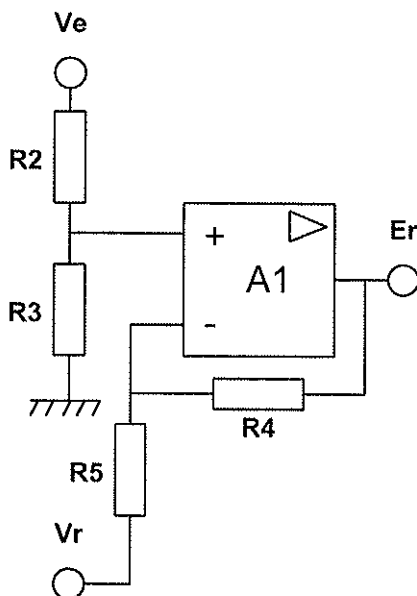
Vcom doit varier de 0 à 4V , soit une valeur maximale de 4V lorsque le potentiomètre est au maximum :

$$V_{comMax} = \frac{P1}{P1 + R1} \cdot 5V = 4V \Rightarrow \frac{R1}{P1} = \frac{1}{4} \Rightarrow P1 = 4 \cdot R1$$

En prenant une valeur de P1 de 10 kΩ donne R1=2,5 kΩ soit une valeur normalisée de 2,2 kΩ .

I-3 Comparateur

Schéma de principe :



Il s'agit d'un montage soustracteur à amplificateur opérationnel.
Er doit être égal à la différence de Ve et VR : $Er = Ve - Vr$

$$Er = Ve \cdot \frac{R3}{R2 + R3} \cdot \frac{R4 + R5}{R5} - Vr \cdot \frac{R4}{R5}$$

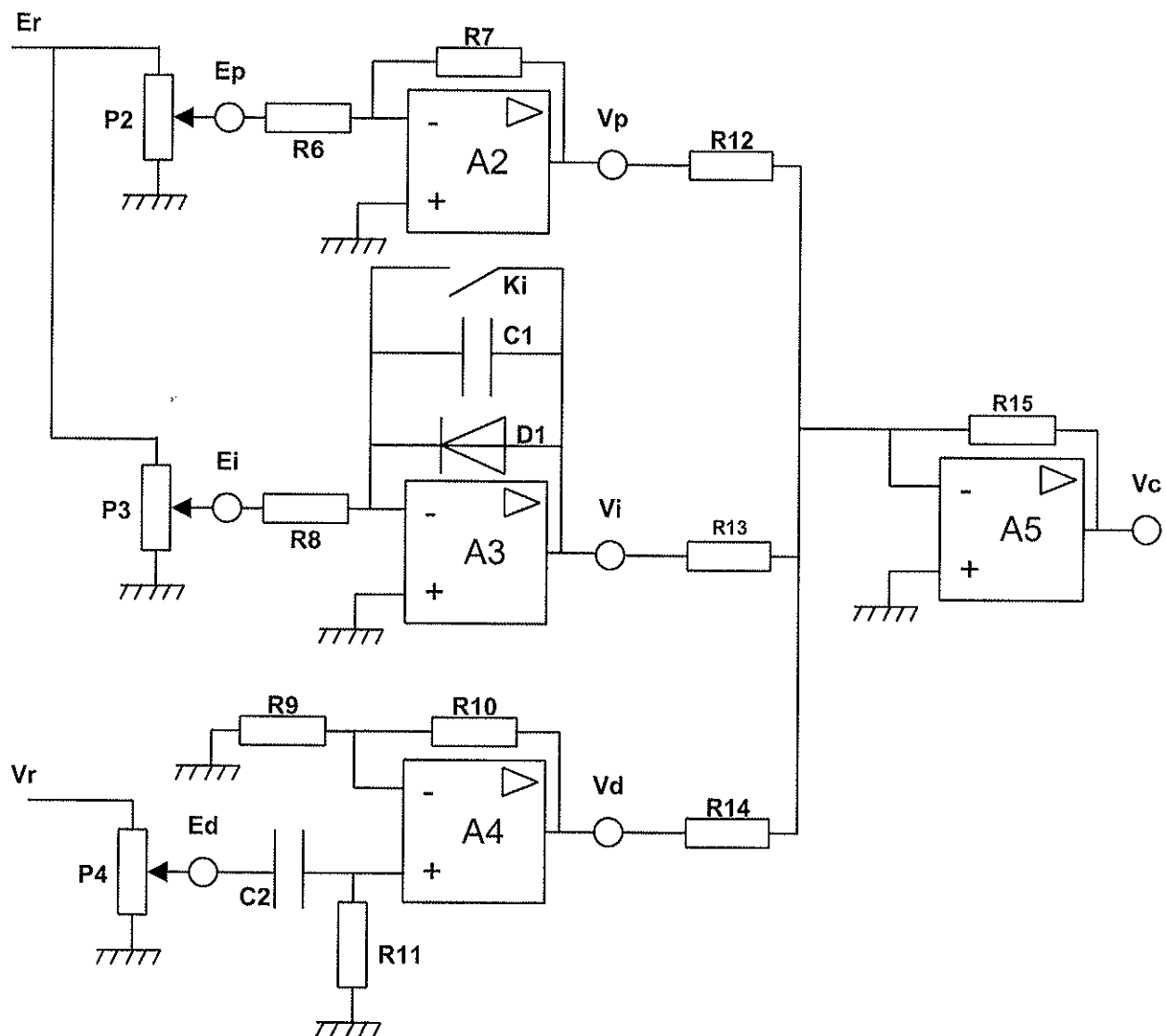
Pour avoir $E_r = V_e - V_r$, il y'a deux conditions :

$$\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_5} = \frac{R_4}{R_5} \quad \text{et} \quad \frac{R_4}{R_5} = 1$$

Ceci donne : $R_2 = R_3 = R_4 = R_5$

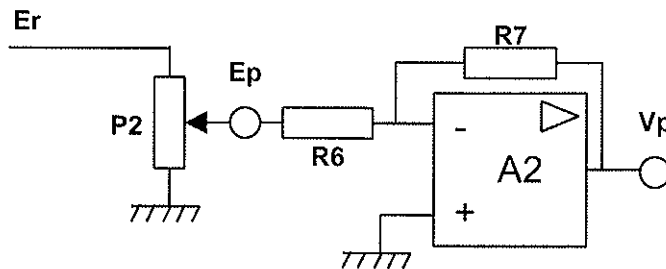
Choix : $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 100\text{k}\Omega$

I-4 Correcteur PID



Correcteur proportionnel :

Il s'agit d'un montage amplificateur inverseur précédé d'un potentiomètre pour la variation du gain.



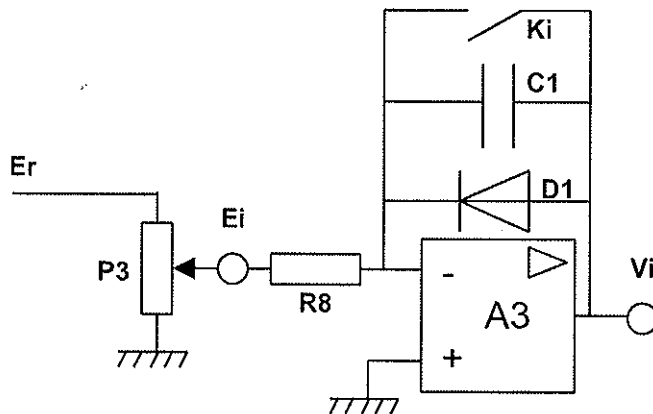
En posant α_p le coefficient du potentiomètre : $0 < \alpha_p < 1$

$$V_p = -\frac{R7}{R6} \cdot \alpha_p \cdot E_r = -K_p \cdot E_r$$

En prenant $R7 = 200 \text{ k}\Omega$ et $R6 = 10 \text{ k}\Omega$, K_p varie de 0 à -20

Correcteur intégral :

Il s'agit d'un montage intégrateur inverseur précédé d'un potentiomètre pour la variation de la constante de temps.



En posant α_i le coefficient du potentiomètre : $0 < \alpha_i < 1$

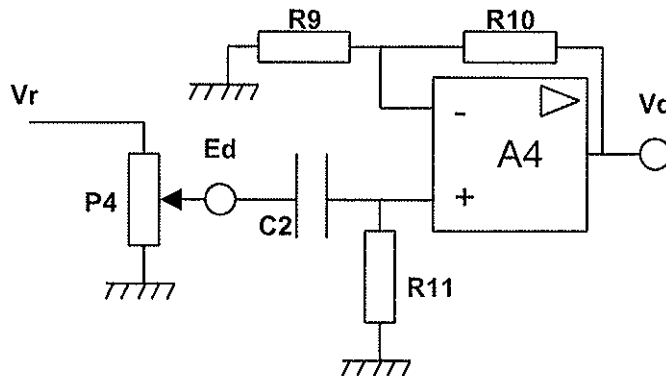
$$V_i = -\frac{\alpha_i}{R8 \cdot C1} \int E_r \cdot dt = -K_i \int E_r \cdot dt$$

En prenant $R8 = 3,3 \text{ M}\Omega$ et $C1 = 10 \text{ }\mu\text{F}$, K_i varie de 0 à $-3,03 \times 10^{-2} \text{ S}^{-1}$
Soit une constante de temps pouvant varier de 33S à l'infini.

L'interrupteur K_i permet d'annuler la tension aux bornes du condensateur et de ce fait d'annuler la tension V_i et de mettre hors circuit la correction intégrale. La diode D_i empêche l'intégrateur de dériver vers des valeurs positives.

Correcteur dérivé :

Il s'agit d'un montage dérivateur non-inverseur précédé d'un potentiomètre pour la variation de la constante de temps.



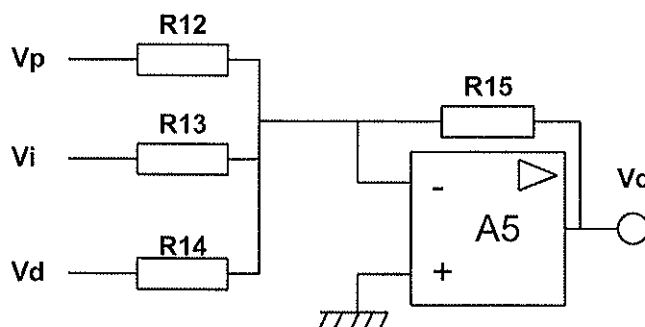
En supposant la tension aux bornes de la résistance R11 négligeable devant la tension Ed et en posant α_d le coefficient du potentiomètre : $0 < \alpha_d < 1$

$$V_d = \frac{R_{10} + R_9}{R_9} \cdot \alpha_d \cdot R_{11} \cdot C_2 \cdot \frac{dV_r}{dt} = K_d \cdot \frac{dV_r}{dt}$$

Avec $R_{10} = 200 \text{ k}\Omega$, $R_9 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{11} = 1 \text{ M}\Omega$ et $C_2 = 10 \mu\text{F}$: K_d varie de 0 à 210 S

Sommation des corrections

Il s'agit d'un montage sommateur inverseur.



$$V_c = -\frac{R_{15}}{R_{12}} \cdot V_p - \frac{R_{15}}{R_{13}} \cdot V_i - \frac{R_{15}}{R_{14}} \cdot V_d$$

En choisissant $R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{15} = 100 \text{ k}\Omega$:

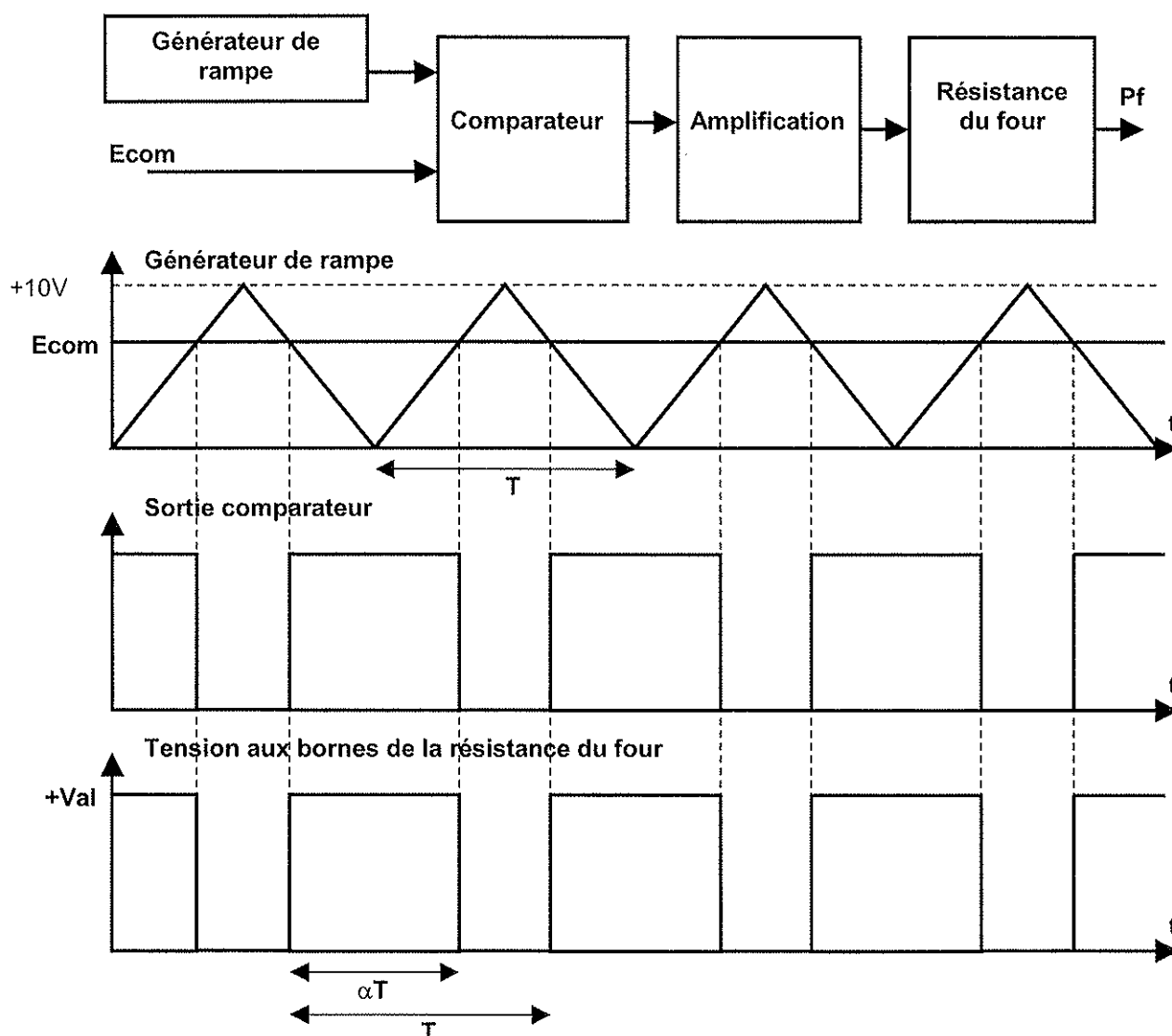
$$V_c = -V_p - V_i - V_d = K_p \cdot E_r + K_i \cdot \int E_r \cdot dt - K_d \cdot \frac{dV_r}{dt}$$

I-5 Commande en puissance

Afin d'avoir un fonctionnement linéaire de l'asservissement, ce dispositif de commande doit fournir une puissance P_f au four proportionnelle à la tension d'entrée E_{com} .

La solution retenue est une commande par hacheur qui a un fonctionnement similaire à une commande industrielle par train d'onde.

Schéma de principe :



Par la comparaison avec la tension issue du générateur de rampe, on obtient un rapport cyclique de la tension aux bornes de la résistance du four, proportionnelle à la tension E_{com} :

$$\alpha = \frac{E_{com}}{10} \quad \text{avec } 0 < E_{com} < 10V \text{ et } 0 < \alpha < 1$$

La puissance moyenne dissipée dans la résistance du four est égale à :

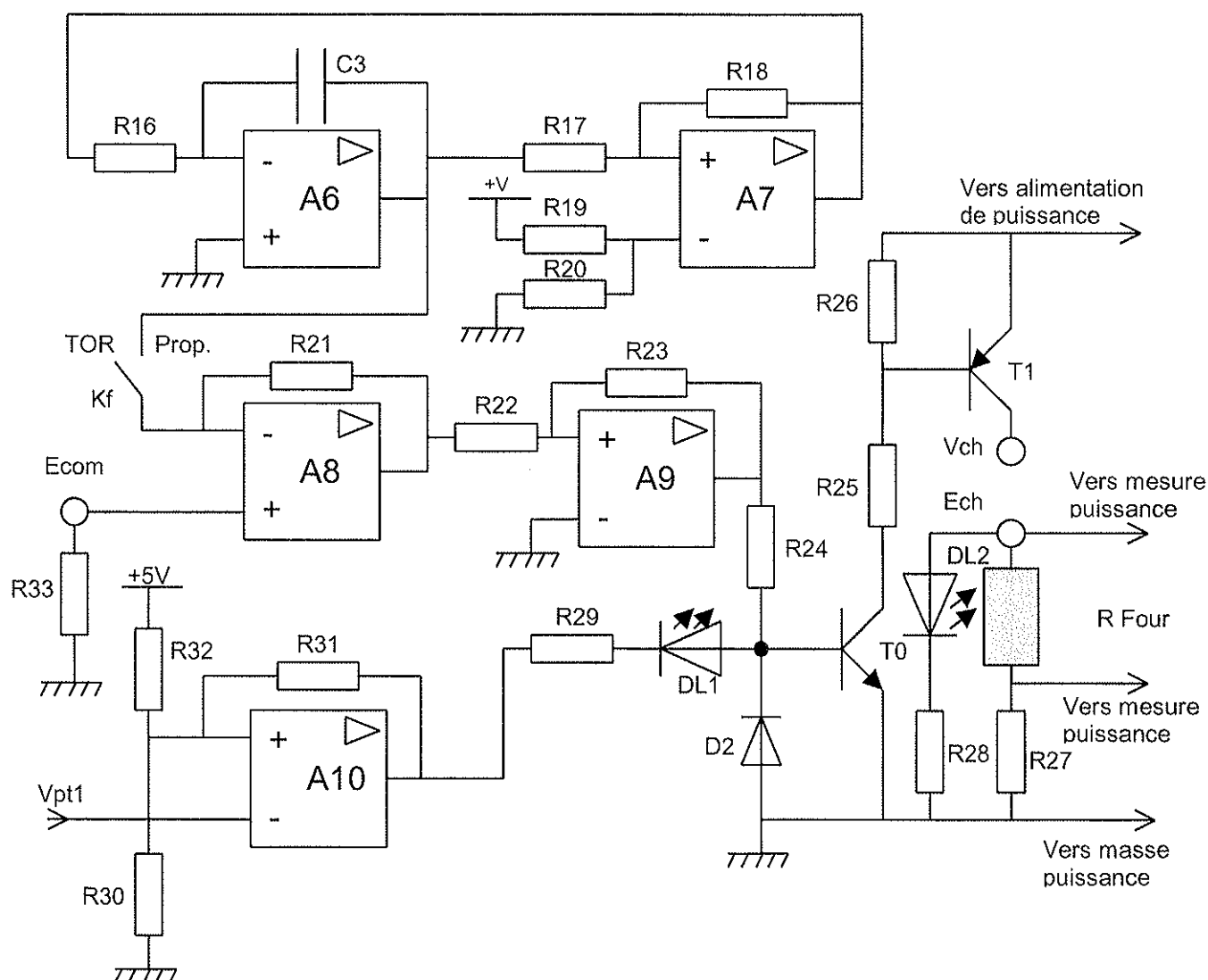
$$Pf = \frac{1}{T} \int_T \frac{Val^2}{Rf} .dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} \frac{Val^2}{Rf} .dt = \alpha . \frac{Val^2}{Rf} = \frac{Ecom}{10} . \frac{Val^2}{Rf}$$

La résistance du four est égale à 15 Ω . Pour une tension d'alimentation Val de 30V, on obtient une fonction Pf(Ecom) :

$Pf = 6 \cdot Ecom$ avec Pf en W et Ecom en V

soit une puissance du four variant de 0 à 60 W pour une tension Ecom variant de 0 à 10V.

Schéma complet de la commande



Les amplificateurs opérationnels A6 et A7 réalisent la fonction générateur de rampe(A6 fonctionne en intégrateur et A7 en comparateur à hystérésis, les résistances R19 et R20 réalisant un décalage des tensions de seuils pour un fonctionnement en 0-10V).

Le fonctionnement en mode linéaire est obtenu en fermant l'interrupteur Kf. Avec cette condition, l'amplificateur opérationnel A8 fonctionne en comparateur et A9 en comparateur à hystérésis. L'amplification de puissance est obtenue par les transistors T0 et T1.

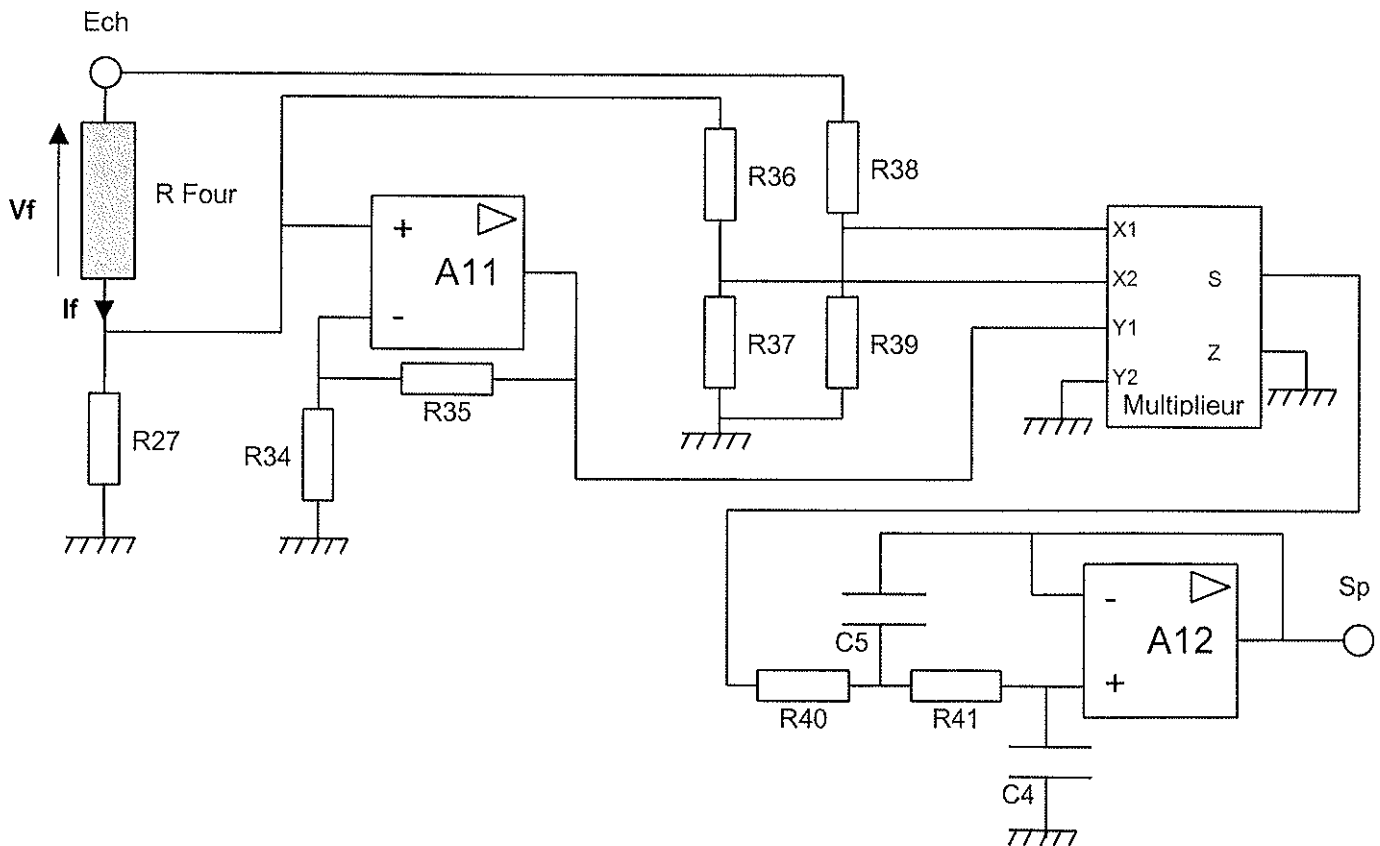
Le fonctionnement en Tout ou Rien (TOR) est obtenu en ouvrant l'interrupteur Kf. Avec cette condition, l'amplificateur opérationnel A8 fonctionne en suiveur et A9 en comparateur à hystérésis. Les seuils de ce dernier dépendent des résistances R22 ($10k\Omega$) et R23 ($390k\Omega$) soit de $\pm 0,38V$.

L'amplificateur opérationnel A10 est utilisé en comparateur à hystérésis et sert de limitation de température du four. Les seuils de commutation dépendent des résistances R30, R31, R32 et de la tension de 5V, leurs valeurs sont de 4,8V (correspondant à une température de $240^{\circ}C$) pour un basculement de tension négative qui provoque un blocage de T0 et ainsi de T1 et de 4V (correspondant à une température de $200^{\circ}C$) qui permet le fonctionnement de l'amplificateur.

I – 6 Mesure de la puissance

La mesure de la puissance est obtenue grâce à un circuit multiplieur qui réalise la fonction de multiplication de la tension aux bornes de la résistance du four et de la tension amplifiée aux bornes d'une résistance de shunt de $0,5\Omega$.

Schéma de principe :



Equation du multiplieur :

$$S = \frac{(X1 - X2) \cdot (Y1 - Y2)}{10} + Z$$

Les entrées Z et Y2 étant reliées à la masse, l'équation se simplifie :

$$S = \frac{(X1 - X2) \cdot Y1}{10}$$

La tension Y1 est égale à :

$$Y1 = R27 \cdot If \cdot \frac{R35 + R34}{R34}$$

Avec les valeurs suivantes : R27 = 0,5Ω , R35 = 10kΩ et R34 = 3,3kΩ

$$Y1 = 2 \cdot If$$

Les résistances R36, R38 de 20kΩ et R37, R39 de 10kΩ adaptent la tension Ech d'alimentation aux possibilités du multiplieur.

$$X1 = Ech \cdot \frac{R39}{R39 + R38} = \frac{Ech}{3} \quad X2 = R27 \cdot If \cdot \frac{R37}{R37 + R36} = \frac{R27 \cdot If}{3}$$

Soit une différence :

$$X1 - X2 = \frac{Ech - R27 \cdot If}{3} = \frac{Vf}{3}$$

Ce qui donne pour équation de S :

$$S = \frac{Vf \cdot If \cdot 2}{30} = \frac{Vf \cdot If}{15} = \frac{Pf}{15}$$

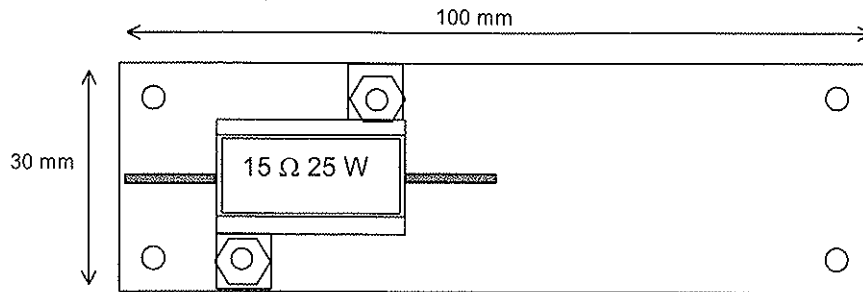
L'amplificateur A12 sert de filtre actif passe-bas du deuxième ordre pour éliminer les ondulation de la tension en S et obtenir une tension Sp égale à la valeur moyenne de la puissance dans le four.

$$Sp = \frac{\langle Pf \rangle}{15}$$

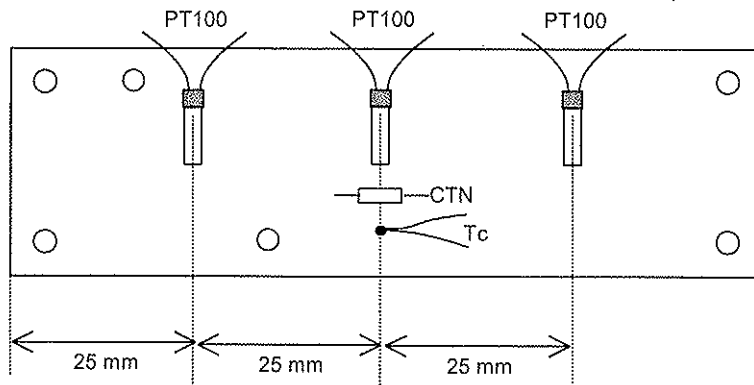
soit une caractéristique de 1V pour 15W

I – 7 Le four

Le four est principalement constitué d'une plaque d'aluminium sur laquelle est fixée une résistance de chauffage :



Sur le dessous de cette plaque, sont fixés les différents capteurs de températures :

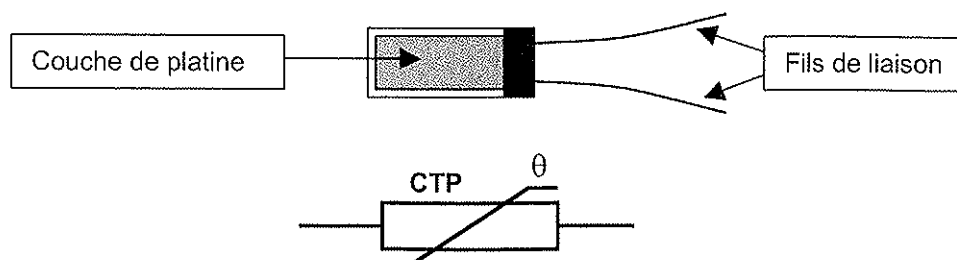


Un ventilateur positionné à l'extrémité du four permet d'une part de créer une perturbation dans la stabilisation thermique et d'autre part d'accélérer le refroidissement du four entre deux manipulations. Ce ventilateur pourra être alimenté par une tension continue variable de 5 à 15V.

I – 8 Les capteurs de température

Le four est équipé de 5 capteurs de températures de trois types différents :

Capteur résistif à coefficient de température positif : PT100



La résistivité d'un conducteur métallique croît en fonction de la température, cette propriété est utilisée pour la réalisation de sondes de températures résistives à coefficient de température positif. Le métal employé peut être l'or, le cuivre, le nickel, le platine ou l'argent. Le meilleur des ces trois métaux est le platine, qui présente une grande plage de température de fonctionnement et une très bonne linéarité. Sa pureté et son inertie chimique garantissent une remarquable stabilité de ces sondes. Une couche de platine de très faible épaisseur (quelques microns) est déposée sur un substrat de coefficient de dilatation thermique adaptée à celui du platine (généralement de l'alumine).

La relation de la résistance d'une sonde de platine avec la température est exprimée par la fonction suivante :

$$R_t = R_0 (1 + K T)$$

Où:

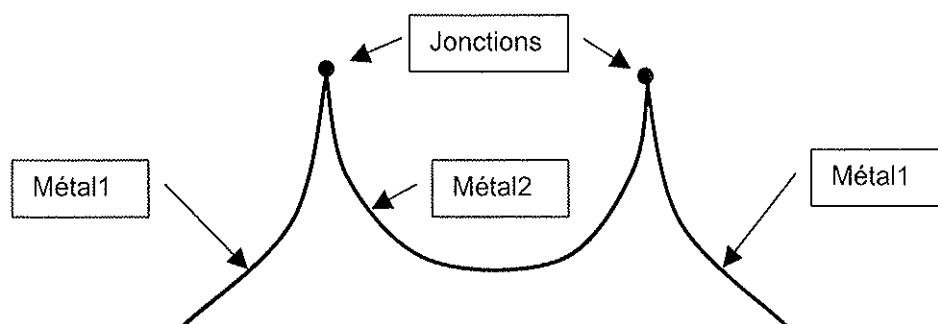
- R_t est la résistance du capteur à la température
- R_0 est la résistance du capteur à 0°C.
- K est le coefficient de température du capteur = 0,385 pour le platine
- T est la température en °C.

Dans le cas d'une sonde de platine de type PT100

$$R_0 = 100 \text{ ohms}$$

$$R(100^\circ\text{C}) = 138,5 \text{ ohms}$$

Thermocouple :



Lorsque l'on réalise des jonctions de métaux différents, plusieurs effets peuvent apparaître :

EFFET SEEBECK:

Lorsque deux conducteurs composés de métaux différents sont réunis à leurs extrémités et que celles-ci sont portées à des températures différentes, une force électromotrice apparaît et un courant s'établit. La force électromotrice entre les deux soudures dépend de la nature des conducteurs et de la différence de température entre les deux jonctions. C'est cet effet qui est utilisé dans les sondes à thermocouple.

EFFET PELTIER:

Si on applique un courant à un thermocouple dont les deux soudures sont initialement à la même température, la température de chacune des jonctions évolue en positif pour l'une , en négatif pour l'autre jonction.

Le tableau suivant donne quelques exemples de couple de métaux ainsi que leurs caractéristiques :

Nature du couple Elément Positif Elément négatif	Code	Sensibilité moyenne en $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	Domaine d'emploi en température
Cuivre / Constantan	T	51	-200°C à +350°C
Fer / Constantan	J	55	-200°C à +600°C
Nickel Chrome / Constantan	E	78	-200°C à +600°C
Nickel Chrome / Nickel allié	K	41	-200°C à +1000°C
Nicrosil / Nisil	N	38	0°C à +1150°C
Platine 10% Rhodium / Platine	S	11	0°C à +1550°C
Platine 13% Rhodium / Platine	R	12	0°C à +1550°C
Platine 30% Rhodium / Platine 6% Rhodium	B	8	0°C à +1650°C
Tungstène 5% Rhénium / Tungstène 26% Rhénium	W	13	0°C à +2150°C

Capteur résistif à coefficient de température négatif : CTN

Une thermistance est un élément semi-conducteur, dont la résistance électrique varie de façon importante en fonction de la température.

Une thermistance CTN voit sa résistance diminuer lorsque la température augmente.

La loi de variation de la résistance en fonction de la température peut s'écrire de la suivante forme :

$$R = R_1 \cdot e^{B(1/T - 1/T_1)}$$

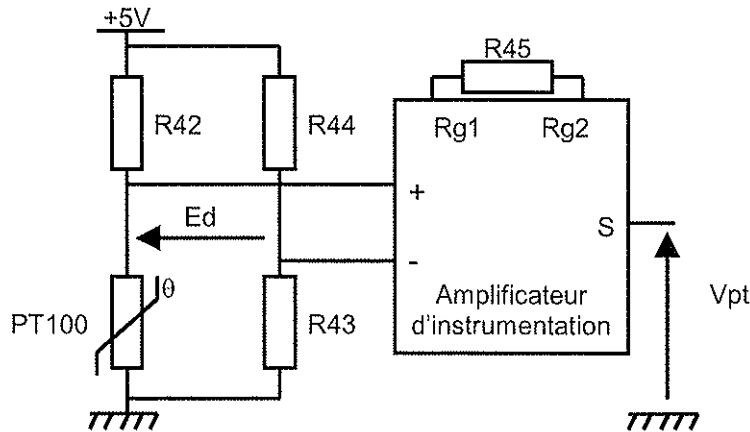
Dans laquelle R et R₁ représentent respectivement les résistances aux températures T et T₁, exprimées en °Kelvins, et B est le coefficient de sensibilité thermique qui dépend du matériau utilisé.

Ces thermistances sont intrinsèquement non linéaire et nécessite un dispositif de linéarisation.

I – 9 Les conditionneurs

Conditionneur pour capteur résistif à coefficient de température positif : PT100

Schéma de principe :



La sonde PT100 est montée dans un pont de Wheatstone, la tension différentielle E_d est amplifiée par un amplificateur d'instrumentation dont l'amplification A_d dépend de la valeur de la résistance R_{45} : $A_d = 5 + 80\text{k}\Omega/R_{45}$

En notant R_p la résistance de la sonde PT100 :

$$R_p = R_0.(1+K.\theta) = 100.(1+0,00385.\theta)$$

$$R_p(0^\circ\text{C}) = 100\Omega, R_p(200^\circ\text{C})=177\Omega$$

La tension différentielle E_d a pour équation :

$$E_d = 5.\left(\frac{R_p}{R_p + R_{42}} - \frac{R_{43}}{R_{43} + R_{44}}\right)$$

En prenant $R_{43} = R_0 = 100\Omega$ et $R_{42} = R_{44} = 2740 \Omega$

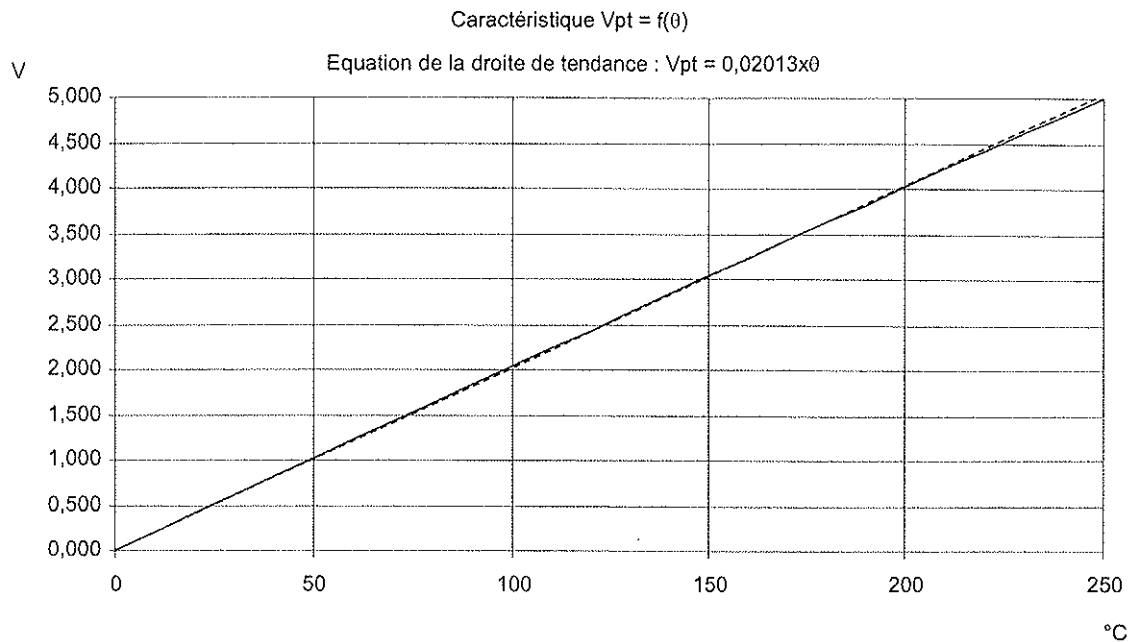
$$E_d = 5.\left(\frac{R_0(1+K.\theta)}{R_0(1+K.\theta) + R_{42}} - \frac{R_0}{R_0 + R_{42}}\right)$$

Pour $\theta=0^\circ\text{C}$: $E_d = 0$

Pour $\theta=200^\circ\text{C}$: $E_d = 0,12734 \text{ V}$

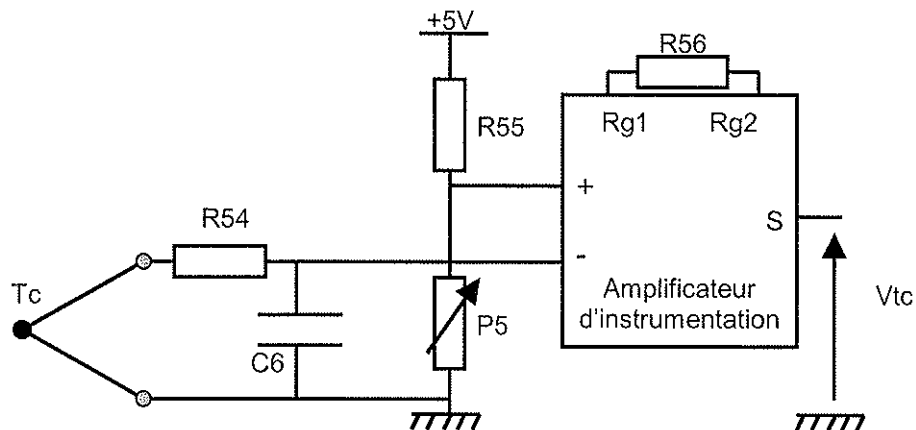
On désire une tension de sortie V_{pt} de 4V pour une température de 200°C , ce qui donne une amplification différentielle A_d de 31,41 soit une résistance R_{45} de 3010Ω

Remarque : la fonction de transfert du conditionneur n'est pas parfaitement linéaire. Les courbes suivantes montrent la caractéristique réelle et la droite de tendance en pointillé de la tension V_{pt} en fonction de la température.



Conditionneur pour capteur à thermocouple

Schéma de principe :

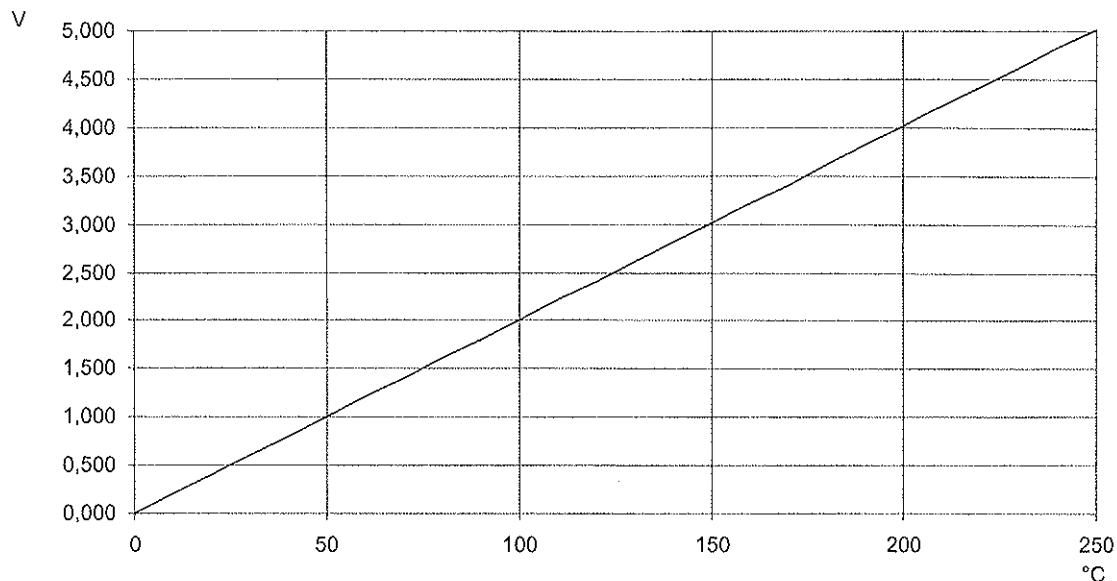


La tension issue du thermocouple est filtrée par R54 et C6 puis amplifiée par l'amplificateur d'instrumentation. Le potentiomètre P5 et la résistance R55 permet de compenser la tension due à la température des soudures des fils du thermocouple (compensation de la soudure froide).

Le thermocouple utilisé est de type K et présente une sensibilité de $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Pour obtenir une tension de sortie de $20\text{mV}/^\circ\text{C}$, l'amplification A_d nécessaire est de 487,8. L'amplification A_d dépend de la valeur de la résistance R56 : $A_d = 5 + 80\text{k}\Omega/\text{R56}$, ce qui donne une résistance R56 de 165Ω .

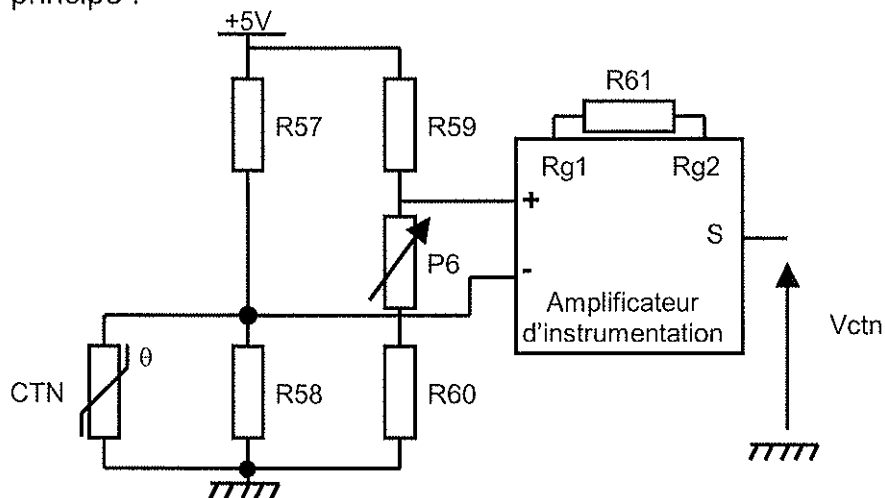
La caractéristique de la tension de sortie en fonction de la température est linéaire.

Caractéristique $V_{ctn} = f(\theta)$



Conditionneur pour capteur résistif à coefficient de température négatif : CTN

Schéma de principe :



La résistance R58 en parallèle sur la CTN joue le rôle de dispositif de linéarisation. La valeur de cette résistance est calculée par la relation suivante :

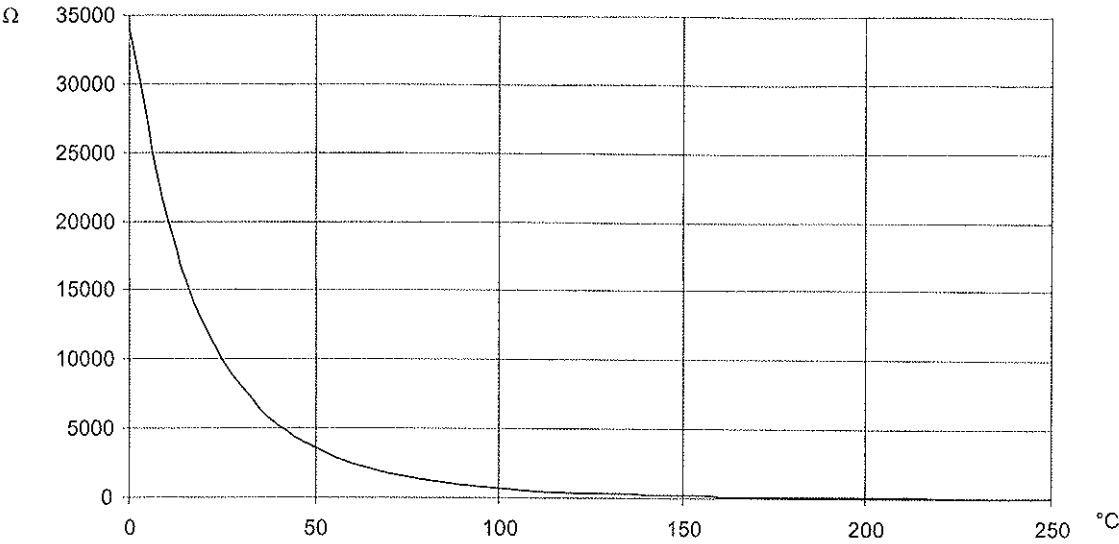
$$R58 = R_{ctn}(T_c) \cdot (B - 2 \cdot T_c) / (B + 2 \cdot T_c)$$

Où T_c est la température autour de laquelle on désire linéariser et $R_{ctn}(T_c)$ la valeur de la résistance de la sonde à la température T_c . En choisissant T_c à 100°C, cette relation donne $R58 = 617,8 \, \Omega$ soit un choix de 619 Ω .

Le pont diviseur R59, R60 et P6 permet d'ajuster la valeur initiale de V_{ctn} .

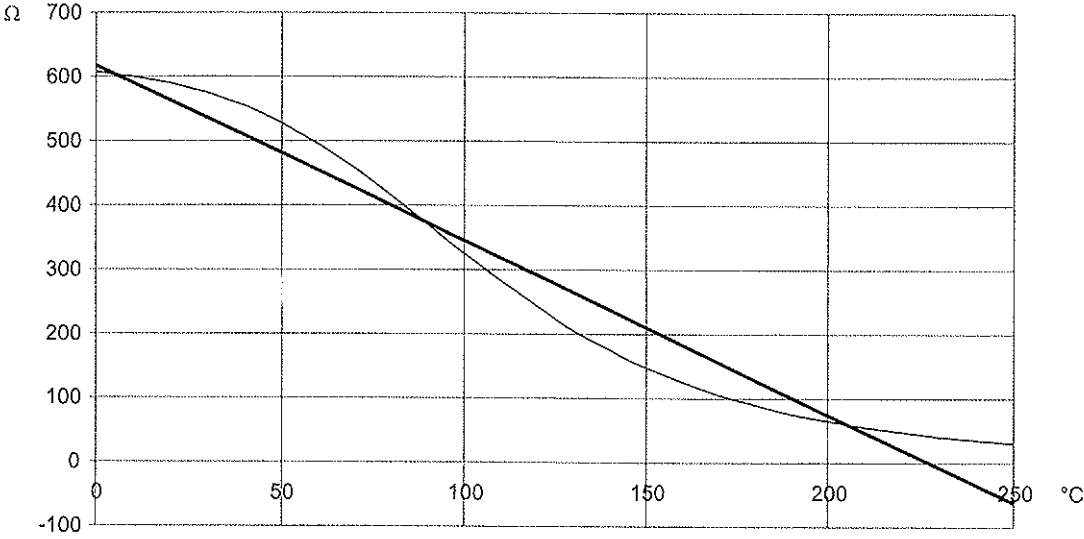
La caractéristique de transfert du conditionneur n'est pas linéaire. Les courbes suivantes montrent la valeur de la résistance équivalente de R_{ctn} seule et en parallèle avec la résistance R58 en fonction de la température ainsi que la tension de sortie V_{ctn} .

Caractéristique de la résistance Rctn en fonction de la température



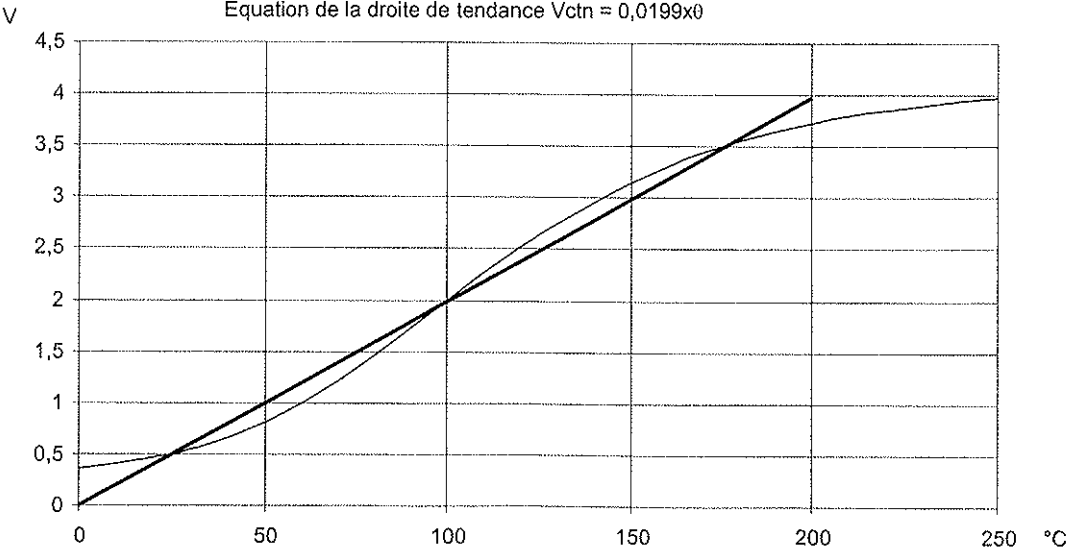
Caractéristique de la résistance équivalente en fonction de la température

Equation de la droite de tendance : $R = -2,72x0 + 618,6$



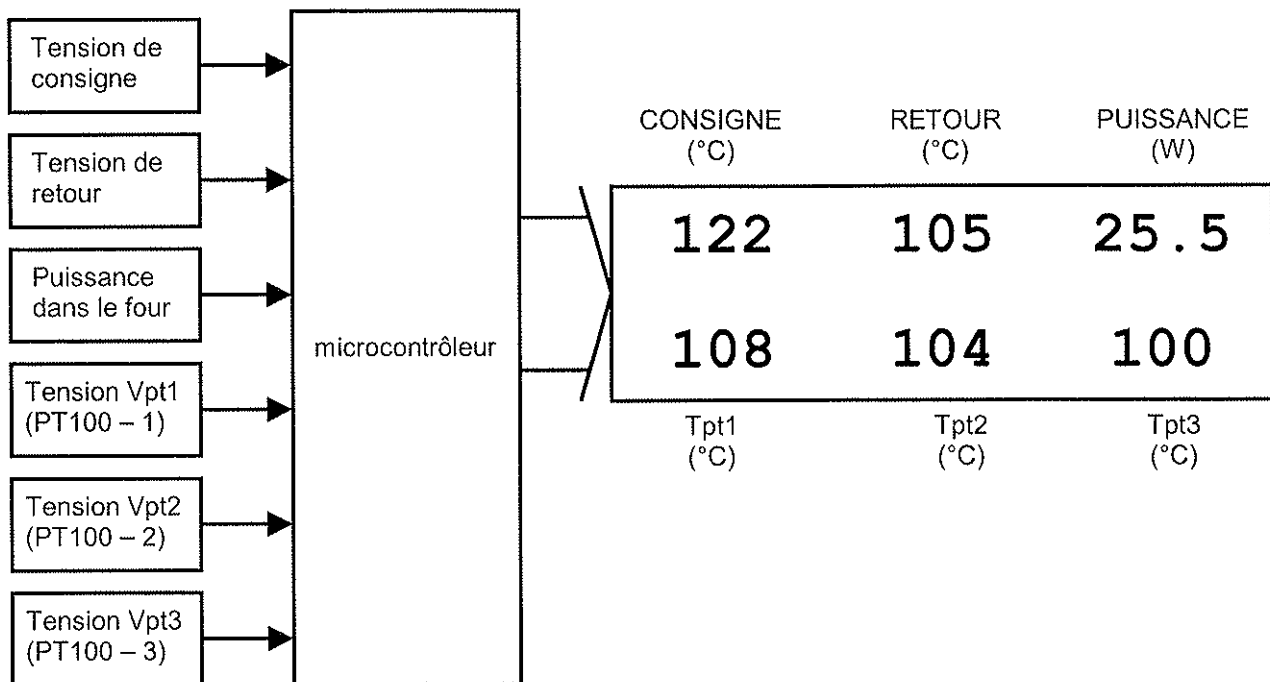
Caractéristique de la tension Vctn en fonction de la température

Equation de la droite de tendance Vctn = $0,0199x0$



I – 10 L'affichage

Ce dispositif utilise un microcontrôleur pour réaliser l'acquisition, le filtrage numérique et l'affichage de 6 grandeurs (5 températures et la puissance dans le four)



II – Expérimentation

Remarques :

Pour l'ensemble des manipulations suivantes, il sera nécessaire de réaliser des relevés temporels (chronogrammes) sur des durées longues (plusieurs minutes). Il est donc plus que préférable de disposer d'un matériel tel que oscilloscope numérique ou dispositif d'acquisition informatique.

Pour le traitement numérique des données, il est souhaitable d'utiliser des logiciels de calcul : tableur ou logiciel de modélisation.

Lors des manipulations la température du four à l'intérieur peut atteindre plus de 200°C, il est donc conseillé d'arrêter l'alimentation du four entre deux manipulations et d'éviter tout contact direct avec la partie interne du four. L'utilisation du ventilateur permet plus rapidement d'abaisser la température pour cela il suffit de l'alimenter sur la borne +15V de l'alimentation +15/-15V.

II – 1 Caractérisation du four

Cette caractérisation nécessite des acquisitions relativement longues (>30mn), il peut être préférable de les réaliser hors séance de travaux pratiques et de donner les résultats de celles-ci sous forme de courbes ou de tableaux de valeurs. En annexe 1 se trouve un exemple de ces caractéristiques ainsi que leurs modélisations.

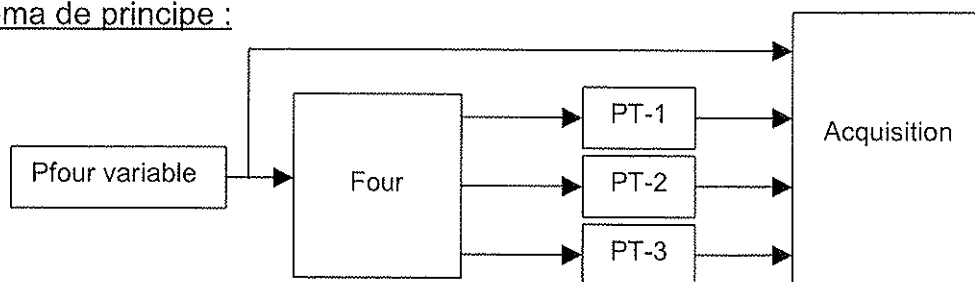
II – 1 – 2 Caractérisation du four en fonctionnement statique :

But de la manipulation :

En alimentant le four à puissance variable et en relevant les caractéristiques des températures en trois points du four en fonction de la puissance de chauffage, déterminer un modèle statique du four :

- linéarité entre la puissance de chauffage et la température
- notion de résistance thermique : $\theta_{\text{four}} = R_{\text{th}} \times P_{\text{four}}$

Schéma de principe :



Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe1)

- réalisez le montage 1 de l'annexe 1.
- relevez la tension V_{pt1} en sortie du conditionneur de la sonde PT-1, calculez la température ambiante : $\theta_{\text{amb}} = 50 \times V_{pt1}$.
- réglez le potentiomètre Proportionnel à 100%, la fonction Intégrale sur Arrêt, le potentiomètre Dérivée sur 0% et la borne de retour V_r reliée à V_{pt2} .
- amenez le potentiomètre Proportionnel à 0%.
- réglez la tension d'alimentation V_{al} à 30V.

- faites l'acquisition des tensions V_{pt1} , V_{pt2} , V_{pt3} et S_p pour différentes valeurs de V_{com} dans les deux modes de fonctionnement suivants: sans ventilation puis avec ventilation (Ventilateur relié sur le 15V).

Remarque importante : il est nécessaire d'attendre la stabilisation thermique du four ce qui correspond à un temps d'attente d'environ 3 à 5 min entre chaque mesure.

Les valeurs de V_{com} n'ont pas besoin d'être très précises et ne sont données qu'à titre indicatif. L'essai sous $V_{com} = 0$ permet d'obtenir les valeurs initiales correspondant aux valeurs des températures ambiantes au niveau de chaque capteur.

- **Fonctionnement statique sans ventilation** : remplir le tableau suivant

Tableau 1

V_{com} (V)	S_p (V)	V_{pt1} (V)	V_{pt2} (V)	V_{pt3} (V)	P_f (W)	θ_{pt1} (°C)	θ_{pt2} (°C)	θ_{pt3} (°C)
0	0	$V_{pt10} =$	$V_{pt20} =$	$V_{pt30} =$	0	$\theta_{1amb} =$	$\theta_{2amb} =$	$\theta_{3amb} =$
0,8								
1,2								
1,6								
2,0								
2,4								
2,8								
3,2								
3,6								

- tracez les caractéristiques θ_{pt1} , θ_{pt2} , θ_{pt3} en fonction de la puissance P_f fournie au four.
- peut-on assimiler ces caractéristiques à des droites ?
- à partir de celles-ci, calculez les pentes des droites obtenues qui correspondent à la résistance thermique du four à chaque point de mesure.

Résistance thermique au niveau de la sonde PT-1 : R_{th1_0}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-2 : R_{th2_0}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-3 : R_{th3_0}

- **Fonctionnement statique avec ventilation** : remplir le tableau suivant

(La borne Vv du ventilateur est relié au +15)

Tableau 2

Vcom (V)	Sp (V)	Vpt1 (V)	Vpt2 (V)	Vpt3 (V)	Pf (W)	θ_{pt1} (°C)	θ_{pt2} (°C)	θ_{pt3} (°C)
0	0	Vpt10=	Vpt20=	Vpt30=	0	$\theta_{1amb}=$	$\theta_{2amb}=$	$\theta_{3amb}=$
0,8								
1,2								
1,6								
2,0								
2,4								
2,8								
3,2								
3,6								

- tracez les caractéristiques θ_{pt1} , θ_{pt2} , θ_{pt3} en fonction de la puissance Pf fournie au four.
- peut-on assimiler ces caractéristiques à des droites ?
- à partir de celles-ci, calculez les pentes des droites obtenues qui correspondent à la résistance thermique du four à chaque point de mesure.

Résistance thermique au niveau de la sonde PT-1 : R_{th1v}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-2 : R_{th2v}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-3 : R_{th3v}

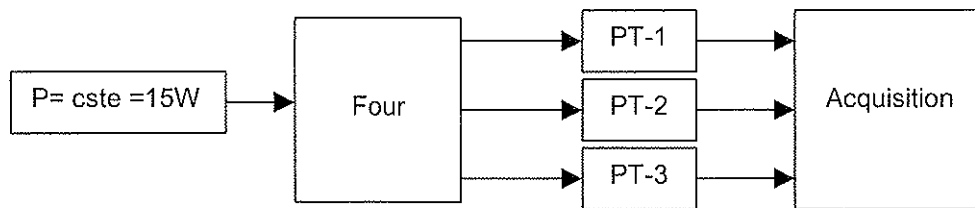
II – 1 – 2 Caractérisation du four en fonctionnement dynamique :

But de la manipulation :

En alimentant le four à puissance constante et en relevant les caractéristiques des températures en trois points du four en fonction du temps, déterminer un modèle dynamique du four et les valeurs caractéristiques suivantes :

- Temps de retard : T_r
- Vitesse de montée maximum (Constante de temps thermique : τ)

Schéma de principe :



Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe1)

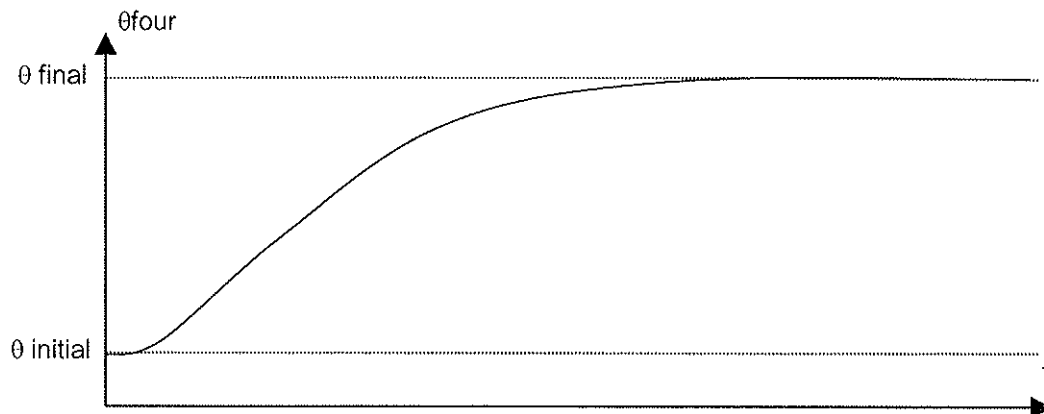
- réalisez le montage 2 de l'annexe 1.
- Relevez la tension V_{pt1} en sortie du conditionneur de la sonde PT-1, calculez la température ambiante : $\theta_{amb} = 50 \times V_{pt1}$.
- réglez V_{com} à 4V, le potentiomètre Proportionnel à 100%, la fonction Intégrale sur Arrêt, le potentiomètre Dérivée sur 0% et la borne de retour V_r reliée à la masse.
- réglez la tension d'alimentation V_{al} afin d'avoir une puissance de 15W (faire ce réglage le plus rapidement possible pour éviter l'échauffement du four).
- ramenez le potentiomètre Proportionnel à 0%.
- refroidissez le four à l'aide du ventilateur à une température d'environ 25°C .
- essai du four **sans** ventilation : lancez l'acquisition des tensions V_{pt1} , V_{pt2} , V_{pt3} et S_p pour une durée d'environ 80mn (5000s) en ramenant le potentiomètre Proportionnel à 100%.
- essai du four **avec** ventilation : lancez l'acquisition des tensions V_{pt1} , V_{pt2} , V_{pt3} et S_p pour une durée d'environ 15mn (1000s) en ramenant le potentiomètre Proportionnel à 100%.

Exploitation :

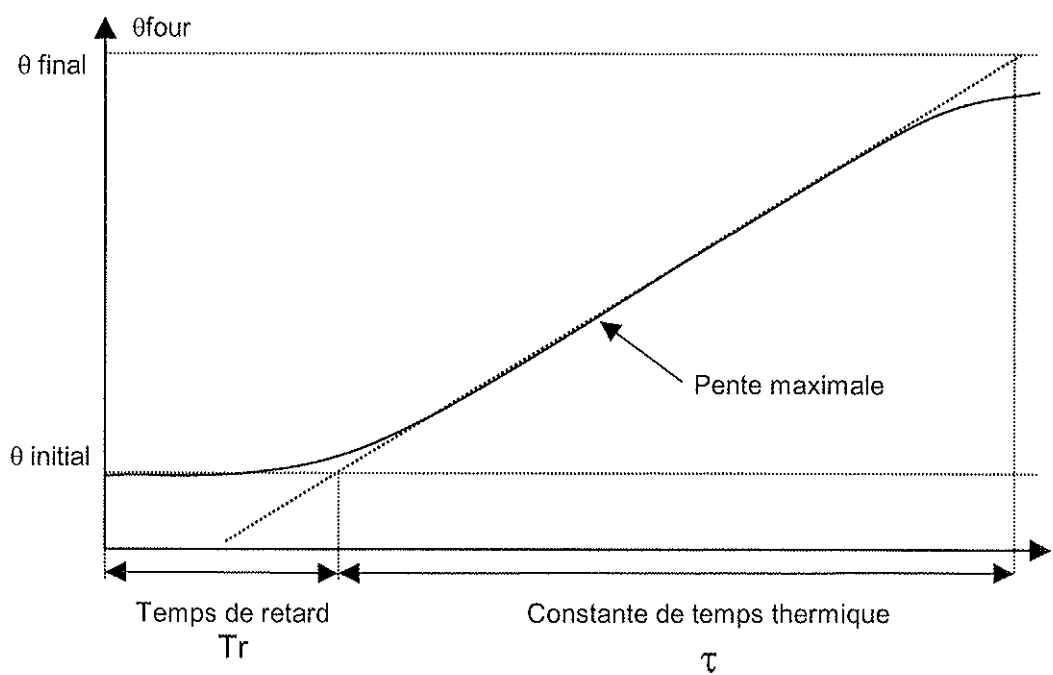
- Tracez les caractéristiques des températures en fonction du temps.
- Calculez les valeurs caractéristiques suivantes :
 - Temps de retard : T_r
 - Vitesse de montée maximum (Constante de temps thermique : τ)

Modélisation dynamique du four

Caractéristique de la température en fonction du temps :



En effectuant un zoom au début de la montée en température :



- Remplissez les tableaux suivants pour les deux modes de fonctionnement (sans puis avec ventilation) et pour les trois capteurs de températures (PT-1, PT-2, PT-3).

Fonctionnement sans ventilation :

Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-1	
Tr1sv (s)	
τ_{1sv} (s)	

Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-2	
Tr2sv (s)	
τ_{2sv} (s)	

Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-3	
Tr3sv (s)	
τ_{3sv} (s)	

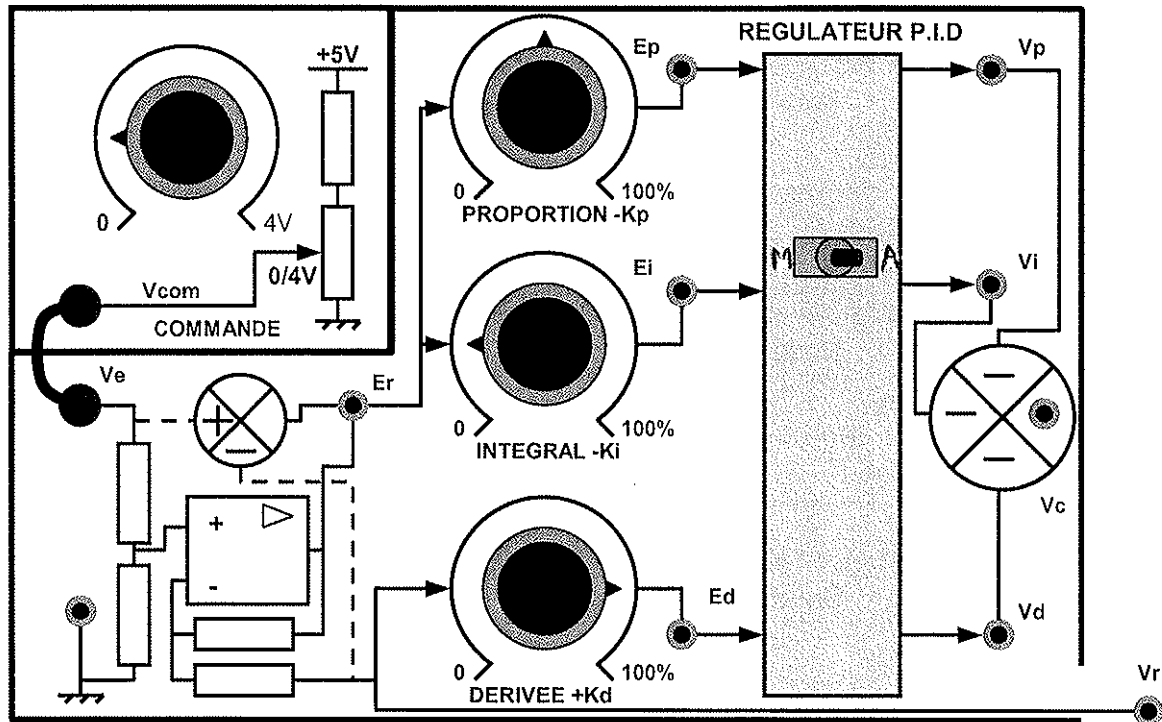
Fonctionnement avec ventilation :

Temps de retard et constante de temps du four avec ventilation Sonde de température PT100-1	
Tr1av (s)	
τ_{1av} (s)	

Temps de retard et constante de temps du four avec ventilation Sonde de température PT100-2	
Tr2av (s)	
τ_{2av} (s)	

Temps de retard et constante de temps du four avec ventilation Sonde de température PT100-3	
Tr3av (s)	
τ_{3av} (s)	

Par la suite ces résultats pourront être utilisés pour les calculs théoriques de l'asservissement de température.

II – 2 Etude du régulateur P.I.D

Equation du régulateur :

$$V_c = -(-K_p).V_e - (-K_i).\int V_e.dt - K_d.\frac{dV_r}{dt} = K_p.V_e + K_i.\int V_e.dt - K_d.\frac{dV_r}{dt}$$

But de la manipulation :

- Déterminez les caractéristiques de chaque élément du régulateur P.I.D :
 - Mesure de l'amplification maximum de la fonction proportionnelle.
 - Mesure de la constante de temps minimum de la fonction intégrale.
 - Mesure de la constante de temps maximum de la fonction dérivée.

Mesure de l'amplification maximum de la fonction proportionnelle:

- reliez la sortie Vcom sur l'entrée Ve.
- réglez Vcom à 0,5V.
- réglez le potentiomètre PROPORTIONNEL à 100% et le potentiomètre DERIVEE à 0%.
- mettez la fonction intégrale sur A (Arrêt) et reliez Vr à la masse.
- à l'aide d'un voltmètre, mesurez Ve et Vc, en déduire la valeur maximum de l'amplification proportionnelle.

Amplification maximum Kp =	
----------------------------	--

Mesure de la constante de temps minimum de la fonction intégrale :

- reliez la sortie Vcom sur l'entrée Ve.
- réglez Vcom à 4V.
- réglez le potentiomètre PROPORTIONNELLE à 0% , le potentiomètre DERIVEE à 0% et le potentiomètre INTEGRALE à 100%.
- mettez la fonction intégrale sur A (Arrêt) et reliez Vr à la masse.
- à l'aide d'un dispositif d'acquisition, mesurez Ve et Vc en fonction du temps sur une durée d'une minute en positionnant la fonction intégrale sur M , en déduire la valeur maximum du coefficient Ki ainsi que la constante de temps minimum d'intégration.

Valeur maximale de Ki	
Constante de temps minimale	

Mesure de la constante de temps maximum de la fonction dérivée :

- reliez la sortie Vcom sur l'entrée Vr.
- réglez Vcom à 0,25V.
- réglez le potentiomètre PROPORTIONNELLE à 0% , le potentiomètre DERIVEE à 0% et le potentiomètre INTEGRALE à 0%.
- mettez la fonction intégrale sur A (Arrêt) et reliez Ve à la masse.
- à l'aide d'un dispositif d'acquisition, mesurez Vr et Vc en fonction du temps sur une durée d'une minute en positionnant rapidement le potentiomètre DERIVEE à 100%. En déduire la constante de temps R11.C2 du dérivateur ainsi que la valeur maximum du coefficient Kd.

Dans cet essai le dérivateur est attaqué par un échelon de tension, l'équation de Vc est donné par la résolution de l'équation :

$$\frac{dVr}{dt} = -\frac{1}{21} \left(\frac{Vc}{R11.C2} + \frac{dVc}{dt} \right)$$

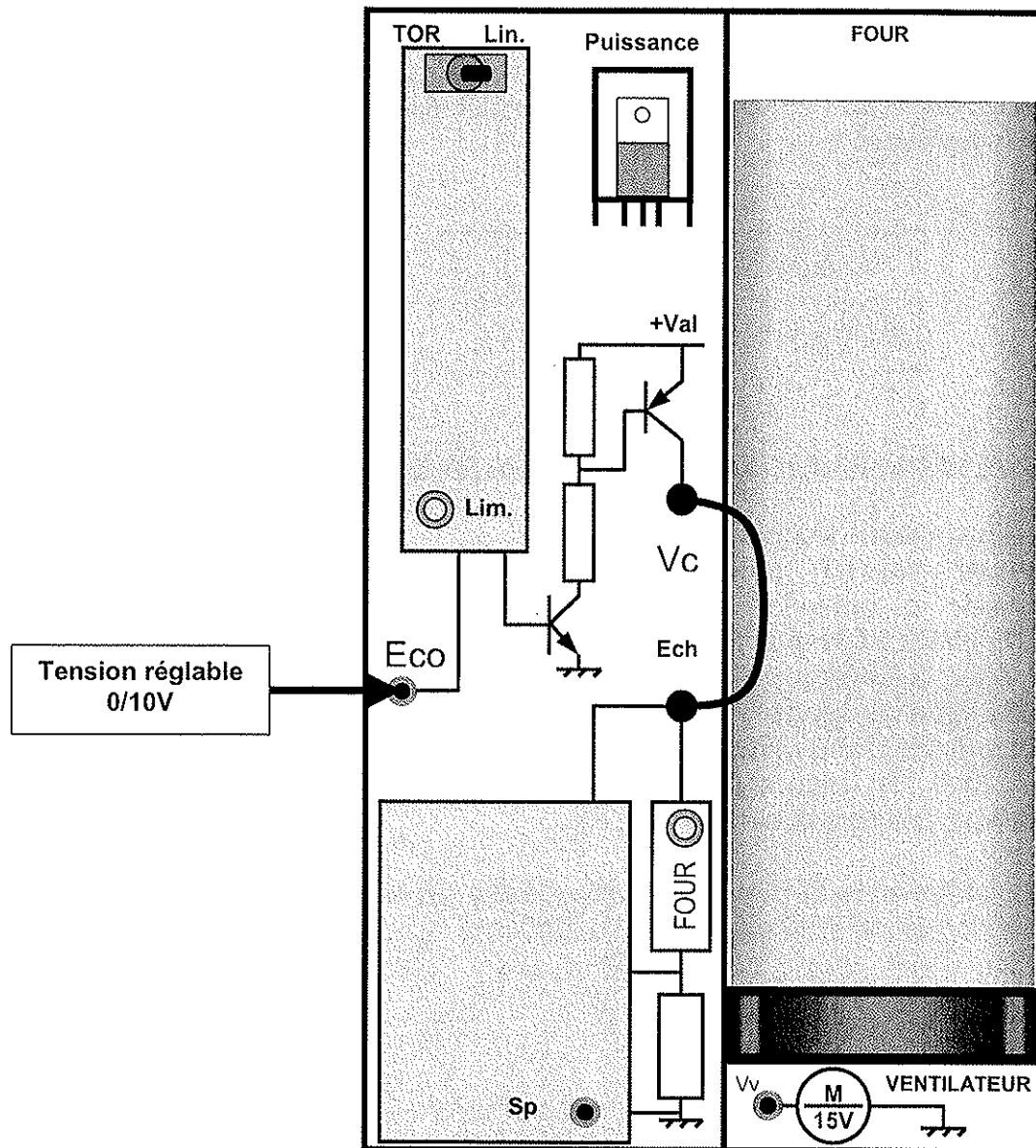
Le facteur 1/21 provient de l'amplification de A4 : $\frac{R9 + R10}{R9} = 21$

La solution de cette équation différentielle avec une tension en échelon de Vr est

$$Vc = 21.Vr.e^{\left(\frac{-t}{R11.C2}\right)}$$

Par modélisation de la caractéristique Vc(t), on détermine la constante de temps R11.C2 et on en déduit le coefficient Kd : $Kd = 21.R11.C2$

Constante de temps R11.C2 =	
Valeur maximale de Kd =	

II – 3 Etude de la partie puissance**But de la manipulation :**

- Déterminez la caractéristique de transfert de la partie puissance : $Pf(Ecom)$

Mode opératoire :

- alimentez la maquette en +15V/-15V et avec une source de tension Val de 30V pouvant débiter 2,5A.
- à partir d'une source de tension réglable indépendante (0/10V), relevez les valeurs de S_p en fonction de E_{com} .
(Il est possible d'utiliser la tension V_{com} (0/4V) en l'amplifiant avec le correcteur proportionnel réglé à environ 30%)
- en prenant un rapport entre S_p et la puissance P_f de 15 ($P_f = 15 \cdot S_p$) calculez la puissance P_f
- déterminez le coefficient directeur K_f de la droite $P_f = K_f \times E_{com}$

E_{com} (V)	S_p (V)	P_f (W)
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Coefficient de transfert $K_f =$	
----------------------------------	--

II - 4 Etude d'un asservissement de température en fonctionnement linéaire

II - 4 - 1 Schématisation de l'asservissement

Schéma de principe de l'asservissement :

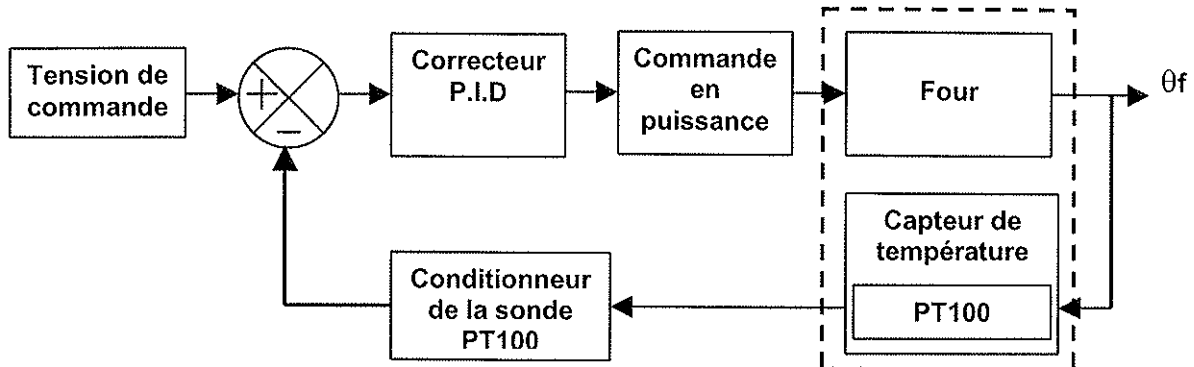
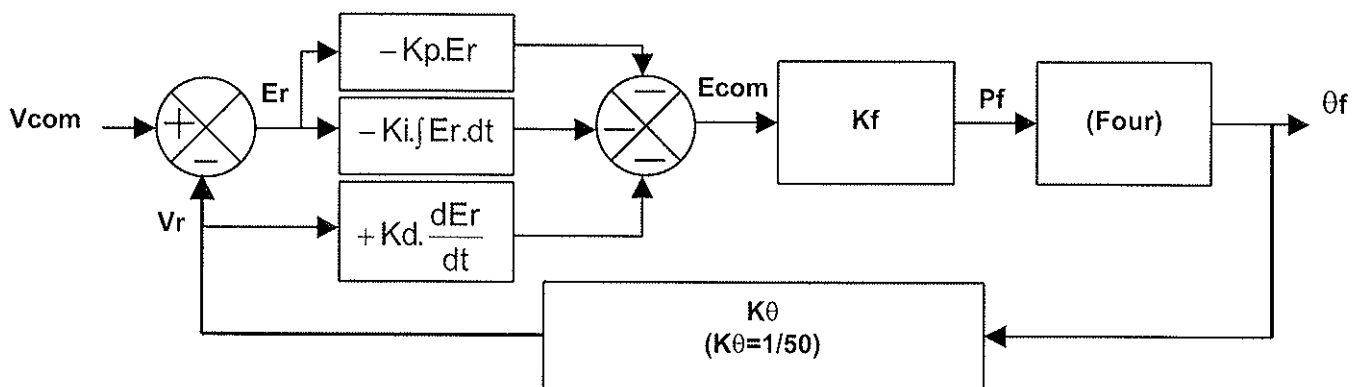
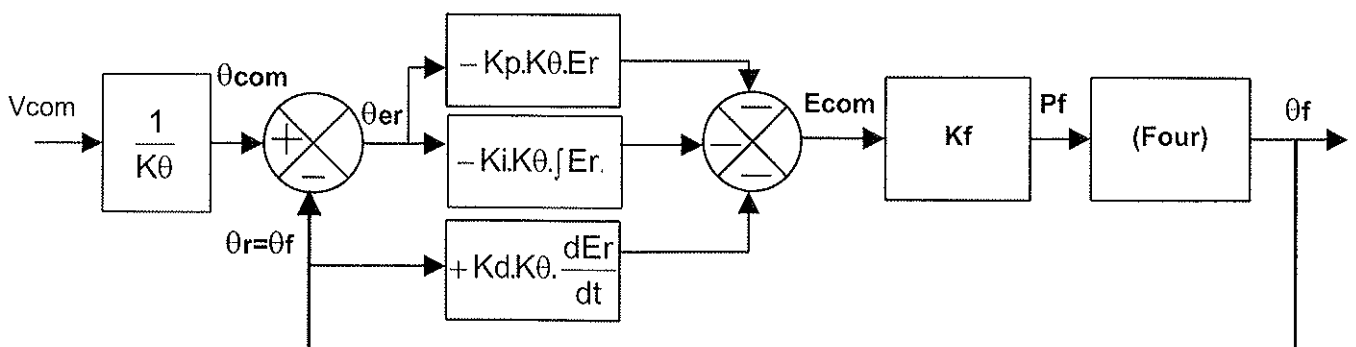


Schéma synoptique :



Pour simplifier les études suivantes, il est préférable d'utiliser la même unité en entrée et en sortie de l'asservissement soit ici des °C. Pour cela l'asservissement sera mis sous la forme suivante :



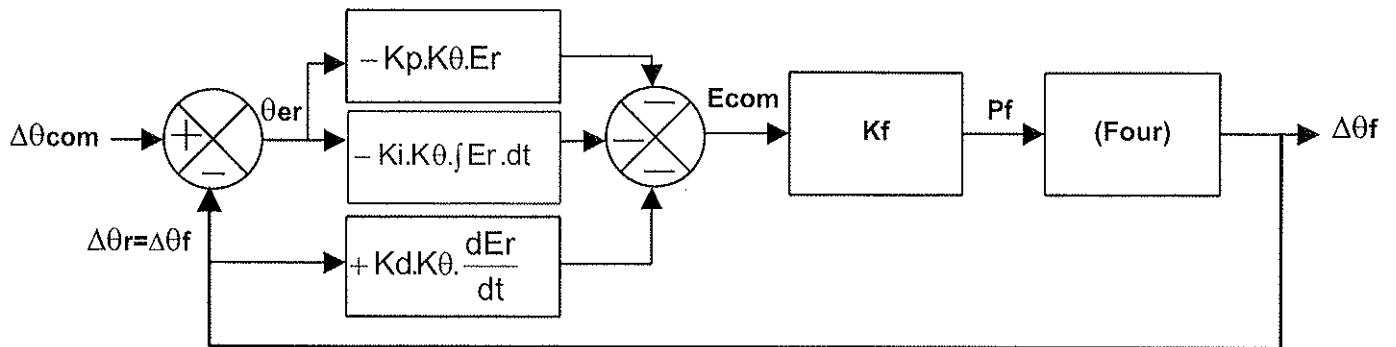
Par la suite on considérera directement θ_{com} comme variable d'entrée de l'asservissement.

Les températures obtenues dans le four dépendent aussi de la température ambiante. Pour ne pas faire intervenir cette dernière, les températures seront prises en utilisant la température ambiante comme référence et donc en faisant la différence des températures d'entrées et de sortie avec celle-ci.

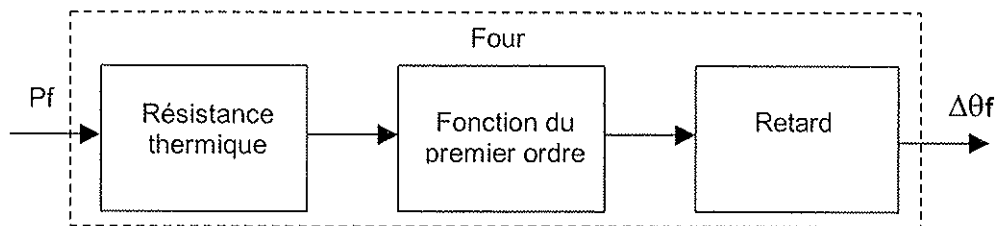
$$\Delta\theta_f = \theta_f - \theta_{amb}$$

$$\Delta\theta_{com} = \theta_{com} - \theta_{amb}$$

Schéma synoptique et notations utilisées par la suite:



Avec le schéma synoptique suivant pour le four :



L'annexe 4 indique quelques possibilités de modélisation de cet asservissement.

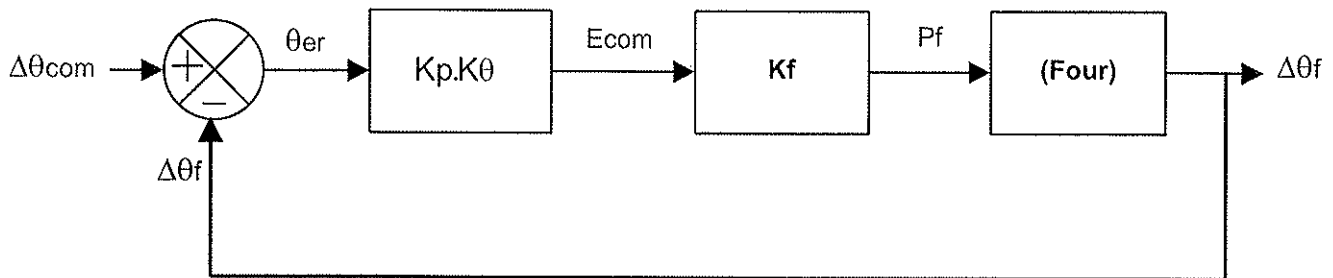
II – 4 – 2 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence du gain

Asservissement de la température du four à partir du capteur à sonde platine PT100-2 en fonctionnement linéaire.

But de la manipulation :

Montrer l'influence de la correction proportionnelle sur la précision, la rapidité et la stabilité de l'asservissement.

Schéma synoptique de l'asservissement :



Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 5)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 1 de l'annexe 5.
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) sans alimenter la partie puissance
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 20° supérieure à la température ambiante (pour un fonctionnement linéaire)
- A l'aide d'un multimètre mesurez la tension Er et réglez le potentiomètre Kp afin d'avoir une tension sur la borne Ecom égal à la valeur de l'amplification multipliée par la valeur de Er : $E_{com} = K_p \cdot E_r$ avec $K_p = 5, 10, 15, 20$
- Lancez l'acquisition sur une durée de 200 s en appliquant la tension d'alimentation de la partie puissance (+30V)

Exploitation :

- Pour les 4 valeurs de l'amplification K_p (5 , 10 , 15 , 20) relevez la tension de sortie Vpt2 et la tension Vcom en fonction du temps. En prenant la tension Vpt2 à l'origine ($V_{pt2}(0)$) comme référence tracez les courbes $\Delta\theta_{com}$ et $\Delta\theta_f$ en fonction du temps.

$$\Delta\theta_{com} = 50 \cdot (V_{com} - V_{pt2}(0))$$

$$\Delta\theta_f = 50 \cdot (V_{pt2} - V_{pt2}(0))$$

On notera :

Coefficient d'amplification A : $A = K_p.K_0.K_f.R_{th}$

Valeur finale théorique : $\Delta\theta_{final} = \Delta\theta_{com}.A/(1+A)$

Dépassement relatif (%) : $D_{pr} = 100.(\Delta\theta_{fmax} - \Delta\theta_{final}) / \Delta\theta_{final}$

- A partir des résultats des acquisitions , calculer et remplir le tableau suivant :

Kp	5	10	15	20
$\Delta\theta_{com}$ (°C)				
Valeur théorique de A				
Valeur finale théorique : $\Delta\theta_f$ (°C)				
Valeur finale expérimentale (°C)				
Vitesse maximale de montée de la température (°C/s)				
Dépassement relatif %				

- Analyser les résultats précédents et en conclure sur l'influence du gain proportionnel sur la précision la rapidité et la stabilité de l'asservissement.

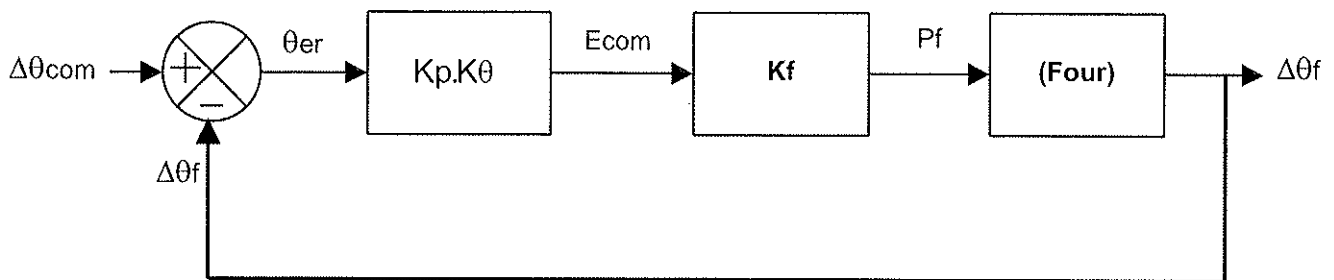
II – 4 – 3 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de l'emplacement du capteur

Asservissement de la température du four à partir des trois capteurs à sonde platine PT100-1 , PT100-2 , PT100-3 en fonctionnement linéaire.

But de la manipulation :

Montrer l'influence de la position du capteur sur la précision, la rapidité et la stabilité de l'asservissement.

Schéma synoptique de l'asservissement :



Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 5)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 1 de l'annexe 5 en utilisant successivement les trois capteur de température PT100-1 , PT100-2 et PT100-3
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) sans alimenter la partie puissance
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 40° supérieure à la température ambiante (pour un fonctionnement linéaire)
- A l'aide d'un multimètre mesurez la tension Er et réglez le potentiomètre Kp afin d'avoir une tension sur la borne Ecom égal à la valeur de l'amplification multipliée par la valeur de Er : $Ecom = Kp.Er$ avec $Kp = 10$
- Lancez l'acquisition sur une durée de 200 s en appliquant la tension d'alimentation de la partie puissance (+30V)

Exploitation :

- Pour les 3 capteurs de température (PT100-1 , PT100-2 et PT100-3) relevez la tension de retour Vr et la tension Vcom en fonction du temps. En prenant la tension Vr à l'origine (Vr(0)) comme référence tracez les courbes Δθcom et Δθf en fonction du temps.

$$\Delta\theta_{com} = 50.(V_{com}-V_r(0))$$

$$\Delta\theta_f = 50.(V_r-V_r(0))$$

On notera :

Coefficient d'amplification A : $A = K_p.K_\theta.K_f.R_{th}$

Valeur finale théorique : $\Delta\theta_{final} = \Delta\theta_{com}.A/(1+A)$

Dépassement relatif (%) : $D_{pr} = 100.(\Delta\theta_{fmax} - \Delta\theta_{final}) / \Delta\theta_{final}$

- A partir des résultats des acquisitions , calculer et remplir le tableau suivant :

Capteur	PT100-1	PT100-2	PT100-3
$\Delta\theta_{com}$ (°C)			
Valeur théorique de A			
Valeur finale théorique : $\Delta\theta_f$ (°C)			
Valeur finale expérimentale (°C)			
Vitesse maximale de montée de la température (°C/s)			
Dépassement relatif %			

- Analyser les résultats précédents et en conclure sur l'influence de la position du capteur de température sur la précision la rapidité et la stabilité de l'asservissement.

II – 4 – 4 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de la saturation

Asservissement de la température du four à partir du capteur à sonde platine PT100-2 en fonctionnement à forte amplitude de commande.

But de la manipulation :

Montrer l'influence de la saturation sur la courbe de réponse à un échelon.

Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 5)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 3 de l'annexe 5
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) sans alimenter la partie puissance
- Réglez la tension V_{com} afin d'obtenir une température de consigne de 100°
- Réglez le potentiomètre K_p sur sa valeur maximale ($K_p=20$)
- Lancez l'acquisition sur une durée de 500 s en appliquant la tension d'alimentation de la partie puissance (+30V)

Exploitation :

Relevez les tensions V_{com} , V_{pt2} , S_p en fonction du temps.

Tracez les courbes θ_{com} , θ_f , P_f en fonction du temps.

$$\Delta\theta_{com} = 50.V_{com}$$

$$\Delta\theta_f = 50.V_{pt2}$$

$$P_f = 15.S_p$$

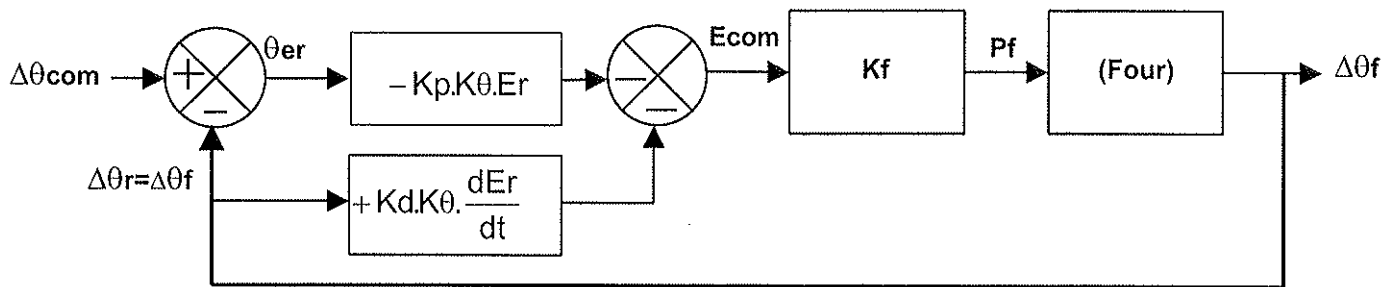
- Discutez l'allure des courbes obtenues en distinguant particulièrement les moments de fonctionnement linéaire et non linéaire (saturation).

II – 4 – 5 Asservissement avec correction proportionnelle-dérivée

But de la manipulation :

Montrer l'influence de la correction dérivée sur la précision, la rapidité et la stabilité de l'asservissement.

Schéma synoptique de l'asservissement :



Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 5)

- Coupez toutes les alimentations.
- Réalisez le montage 4 de l'annexe 5.
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) sans alimenter la partie puissance.
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 20° supérieure à la température ambiante (pour un fonctionnement linéaire).
- Réglez le potentiomètre Kp sur sa valeur maximale (Kp=20).
- Pour trois valeurs du potentiomètre Kd (0% , 50 % , 100%) lancez l'acquisition sur une durée de 200 s en appliquant la tension d'alimentation de la partie puissance (+30V).

Exploitation :

- Pour les 3 valeurs de Kd (0% , 50% , 100%) relevez la tension de sortie Vpt2 et la tension Vcom en fonction du temps. En prenant la tension Vpt2 à l'origine (Vpt2(0)) comme référence, tracez les courbes Δθcom et Δθf en fonction du temps.

$$\Delta\theta_{com} = 50.(V_{com}-V_{pt2}(0))$$

$$\Delta\theta_f = 50.(V_{pt2}-V_{pt2}(0))$$

On notera :

$$\text{Dépassement relatif (\%)} : \quad D_{pr} = 100.(\Delta\theta_{fmax}-\Delta\theta_{ffinal}) / \Delta\theta_{ffinal}$$

- A partir des résultats des acquisitions , calculer et remplir le tableau suivant :

Kd	0%	50%	100%
$\Delta\theta_{com}$ (°C)			
Valeur finale expérimentale (°C)			
Vitesse maximale de montée de la température (°C/s)			
Dépassement relatif %			

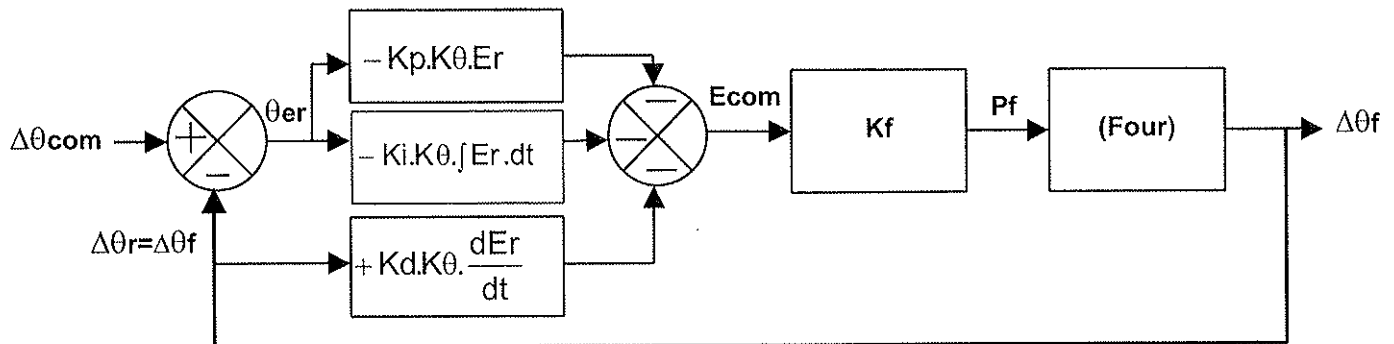
- Analyser les résultats précédents et en conclure sur l'influence de la correction dérivée sur la précision, la rapidité et la stabilité de l'asservissement.

II – 4 – 6 Asservissement avec correction proportionnelle-intégrale

But de la manipulation :

Montrer l'influence d'une correction proportionnelle-intégrale sur la courbe de réponse à un échelon

Schéma synoptique de l'asservissement :



Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 5)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 5 de l'annexe 5.
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) sans alimenter la partie puissance
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 25° supérieure à la température ambiante (pour un fonctionnement linéaire)
- Réglez le potentiomètre Kp sur sa valeur maximale (Kp=20)
- Réglez le potentiomètre Kd sur 0%
- Réglez le potentiomètre Ki sur sa valeur maximale (Ki=100%)
- Lancez l'acquisition sur une durée de 1000 s en appliquant la tension d'alimentation de la partie puissance (+30V)

Exploitation :

- Relevez la tension de sortie Vpt2 et la tension Vcom en fonction du temps. En prenant la tension Vpt2 à l'origine (Vpt2(0)) comme référence tracez les courbes $\Delta\theta_{com}$ et $\Delta\theta_f$ en fonction du temps.

$$\Delta\theta_{com} = 50.(V_{com}-V_{pt2}(0))$$

$$\Delta\theta_f = 50.(V_{pt2}-V_{pt2}(0))$$

- Analysez la courbe de réponse de l'asservissement

II - 5 Etude d'un asservissement de température en fonctionnement tout ou rien (TOR)

II – 5 – 1 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence du gain

Asservissement de la température du four à partir du capteur à sonde platine PT100-2 en fonctionnement tout ou rien.

But de la manipulation :

Montrer l'influence de la correction proportionnelle sur la caractéristique temporelle de la température du four

Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 6)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 1 de l'annexe 6.
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) et la partie puissance (+30V)
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 100°
- A l'aide d'un multimètre mesurez la tension Er et réglez le potentiomètre Kp afin d'avoir une tension sur la borne Ecom égal à la valeur de l'amplification multipliée par la valeur de Er : $E_{com} = K_p \cdot E_r$ avec $K_p = 5, 10, 15, 20$
- Attendre quelques minutes pour stabiliser le fonctionnement
- Lancez l'acquisition sur une durée de 200 s

Exploitation :

- Pour les 4 valeurs de l'amplification Kp (5 , 10 , 15 , 20) relevez les tensions des sorties Vcom , Vpt2 et Sp en fonction du temps. Tracez les courbes θ_{com} , θ_f et Pf en fonction du temps.

$$\theta_{com} = 50 \cdot V_{com}$$

$$\theta_f = 50 \cdot V_{Pt2}$$

$$Pf = 15 \cdot S_p$$

- Déterminez les températures de basculement : températures pour lesquelles la puissance du four passe de 0 à P_{fmax} (θ_{fb}) et de P_{fmax} à 0 (θ_{fh}) ainsi que l'hystérésis ($\theta_{fh} - \theta_{fb}$)
- Déterminez les valeurs maximale (θ_{fmax}) et minimale (θ_{fmin}) de la température du four et l'ondulation ($\theta_{fond} = \theta_{fmax} - \theta_{fmin}$)

- A partir des résultats des acquisitions , remplir le tableau suivant :

Kp	5	10	15	20
Température de basculement de 0 à P _{fmax} θ_{fb}				
Température de basculement de P _{fmax} à 0 θ_{fh}				
Hystérésis : ($\theta_{fh} - \theta_{fb}$)				
Température maximale θ_{fmax}				
Température minimale θ_{fmin}				
Ondulation : ($\theta_{fond} = \theta_{fmax} - \theta_{fmin}$)				

- Analyser les résultats précédents et en conclure sur l'influence du gain proportionnel sur la forme de la température en fonction du temps.

II – 5 – 2 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de l'emplacement du capteur

Asservissement de la température du four à partir des trois capteurs à sonde platine PT100-1 , PT100-2 , PT100-3 en fonctionnement tout ou rien.

But de la manipulation :

Montrer l'influence de la position du capteur sur la caractéristique temporelle de la température du four

Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 6)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 2 de l'annexe 6.
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) et la partie puissance (+30V)
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 100°
- Réglez le potentiomètre Kp à sa valeur maximum ($K_p = 20$)
- Attendre quelques minutes pour stabiliser le fonctionnement
- Lancez l'acquisition sur une durée de 200 s

Exploitation :

- Pour les 3 capteurs de température (PT100-1 , PT100-2 , PT100-3) relevez les tensions des sorties Vcom , Vr et Sp en fonction du temps. Tracez les courbes θ_{com} , θ_f et Pf en fonction du temps.

$$\theta_{com} = 50.V_{com}$$

$$\theta_f = 50.V_r$$

$$P_f = 15.S_p$$

- Déterminez les températures de basculement : températures pour lesquelles la puissance du four passe de 0 à P_{fmax} (θ_{fb}) et de P_{fmax} à 0 (θ_{fh}) ainsi que l'hystérésis ($\theta_{fh} - \theta_{fb}$)
- Déterminez les valeurs maximale (θ_{fmax}) et minimale (θ_{fmin}) de la température du four et l'ondulation ($\theta_{fond} = \theta_{fmax} - \theta_{fmin}$)

- A partir des résultats des acquisitions , remplir le tableau suivant :

Kp	TPT100-1	TPT100-2	TPT100-3
Température de basculement de 0 à P _{fmax} θ_{fb}			
Température de basculement de P _{fmax} à 0 θ_{fh}			
Hystérésis : ($\theta_{fh} - \theta_{fb}$)			
Température maximale θ_{fmax}			
Température minimale θ_{fmin}			
Ondulation : ($\theta_{fond} = \theta_{fmax} - \theta_{fmin}$)			

- Analyser les résultats précédents et en conclure sur l'influence de la position du capteur sur la forme de la température en fonction du temps.

II – 5 – 3 Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de la correction dérivée

Asservissement de la température du four à partir du capteur à sonde platine PT100-2 en fonctionnement tout ou rien.

But de la manipulation :

Montrer l'influence de la correction proportionnelle sur la caractéristique temporelle de la température du four

Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 6)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 3 de l'annexe 6.
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) et la partie puissance (+30V)
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 100°
- Réglez la tension Vcom afin d'obtenir une température de consigne de 100°
- Réglez le potentiomètre Kp à sa valeur maximum ($K_p = 20$)
- Attendre quelques minutes pour stabiliser le fonctionnement
- Pour trois valeurs du potentiomètre Kd (0% , 50 % , 100%) lancez l'acquisition sur une durée de 200 s

Exploitation :

- Pour les trois valeurs du potentiomètre Kd (0% , 50 % , 100%) relevez les tensions des sorties Vcom , Vpt2 et Sp en fonction du temps. Tracez les courbes θ_{com} , θ_f et Pf en fonction du temps.

$$\theta_{com} = 50.V_{com}$$

$$\theta_f = 50.V_{Pt2}$$

$$Pf = 15.Sp$$

- Déterminez les températures de basculement : températures pour lesquelles la puissance du four passe de 0 à P_{fmax} (θ_{fb}) et de P_{fmax} à 0 (θ_{fh}) ainsi que l'hystérésis ($\theta_{fh} - \theta_{fb}$)
- Déterminez les valeurs maximale (θ_{fmax}) et minimale (θ_{fmin}) de la température du four et l'ondulation ($\theta_{fond} = \theta_{fmax} - \theta_{fmin}$)

- A partir des résultats des acquisitions , remplir le tableau suivant :

Kd	0	50 %	100%
Température de basculement de 0 à P _{fmax} θ_{fb}			
Température de basculement de P _{fmax} à 0 θ_{fh}			
Hystérésis : ($\theta_{fh} - \theta_{fb}$)			
Température maximale θ_{fmax}			
Température minimale θ_{fmin}			
Ondulation : ($\theta_{fond} = \theta_{fmax} - \theta_{fmin}$)			

- Analyser les résultats précédents et en conclure sur l'influence de la correction dérivée sur la forme de la température en fonction du temps.

II – 6 Etude des caractéristiques des différents capteurs

But de la manipulation :

Montrer les caractéristiques des différents capteur de température associés à leur conditionneur afin de mettre en évidence les non linéarité.

Mode opératoire : (voir schéma de câblage annexe 7)

- Coupez toute les alimentations.
- Réalisez le montage 1 de l'annexe 7.
- Réglez la tension V_{com} à 0
- Mettez sous tension la partie commande (+15V/-15V) et la partie puissance (+30V)
- Réglez le potentiomètre K_p à sa valeur maximum ($K_p = 20$) et le potentiomètre K_d à 100 %
- Faites l'acquisition des tensions V_{pt2} , V_{tc} et V_{ctn} pour différentes valeurs de V_{com} en attendant 1 à 2 minutes entre deux points de mesure.
- Remplir le tableau suivant

Tableau de mesure :

V_{com}	V_{pt2}	V_{tc}	V_{ctn}		θ_{pt2}	θ_{tc}	θ_{ctn}
0							
0,6 V							
0,8 V							
1,0 V							
1,2 V							
1,4 V							
1,6 V							
1,8 V							
2,0 V							
2,2 V							
2,4 V							
2,6 V							
2,8 V							
3,0 V							
3,2 V							
3,4 V							
3,6 V							
3,8 V							
4,0 V							

Exploitation :

Tracez les caractéristiques de θ_{tc} et θ_{ctn} en fonction de θ_{pt2} . Commentez l'allure de ces courbes.

ANNEXE 1

Caractérisation du four

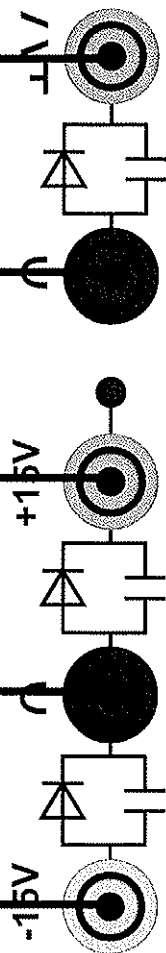
Caractérisation du four en fonctionnement statique

Caractérisation du four en fonctionnement dynamique

MONTAGE 1 : CARACTERISATION DU FOUR EN FONCTIONNEMENT STATIQUE

ALIMENTATION +15V / -15V

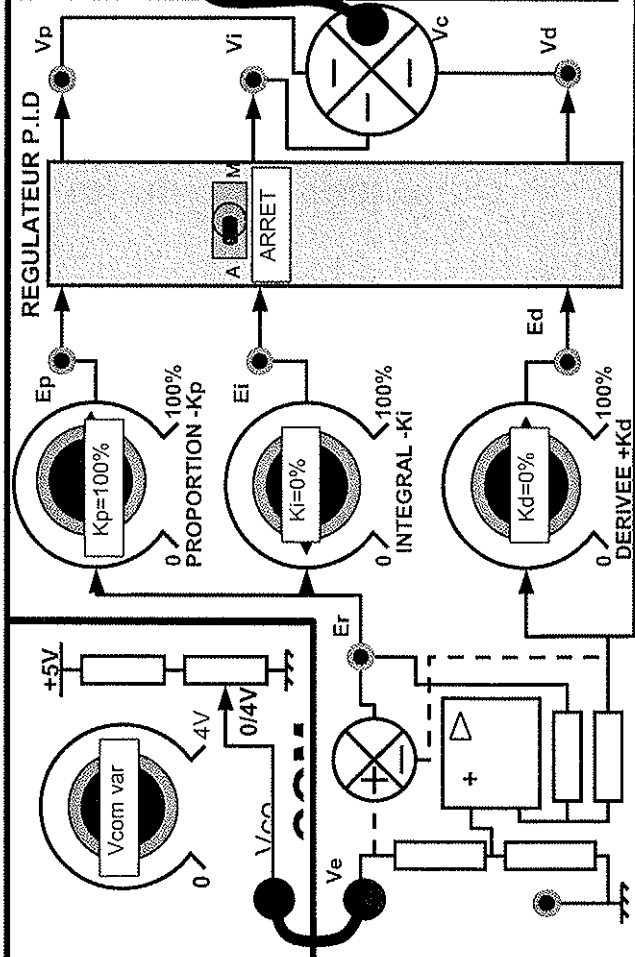
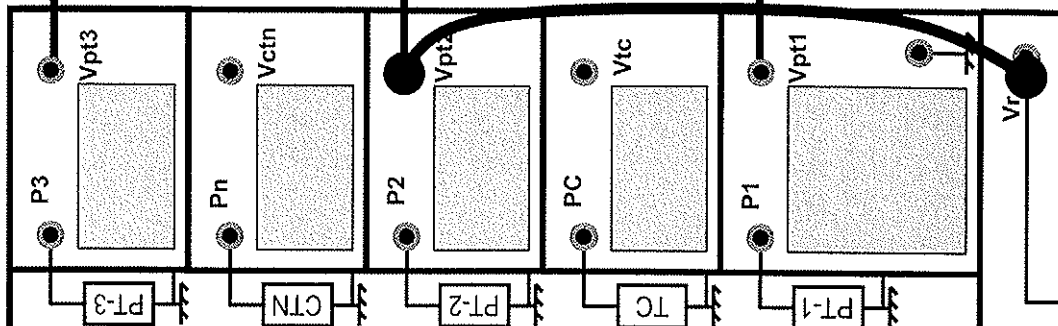
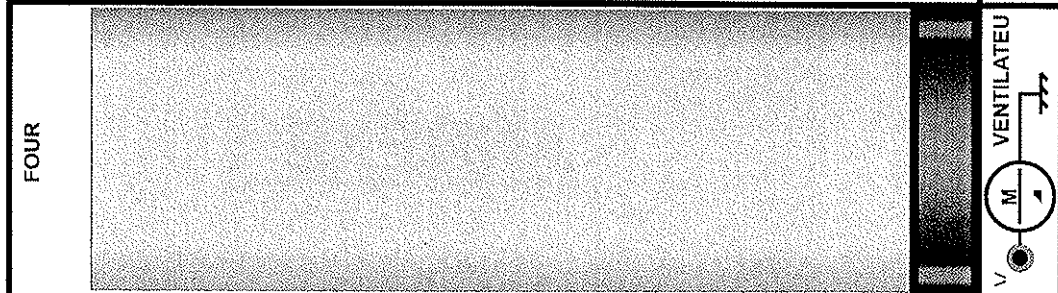
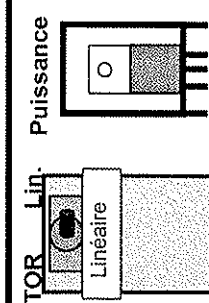
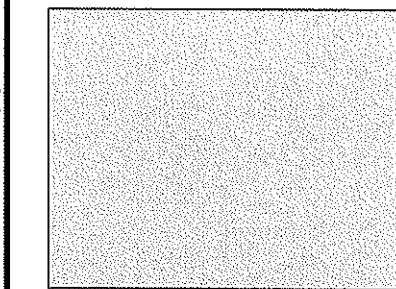
ALIMENTATION 30V



Ref 3778 **dms - didalab**
ASSERVISSEMENT DE TEMPERATURE

CONSIGNE (°C)	RETOUR (°C)	PUISSANCE (W)	TPT1 (°C)	TPT2 (°C)	TPT3 (°C)
100	82	20.5	85	81	74

AFFICHAGE



Dispositif d'acquisition

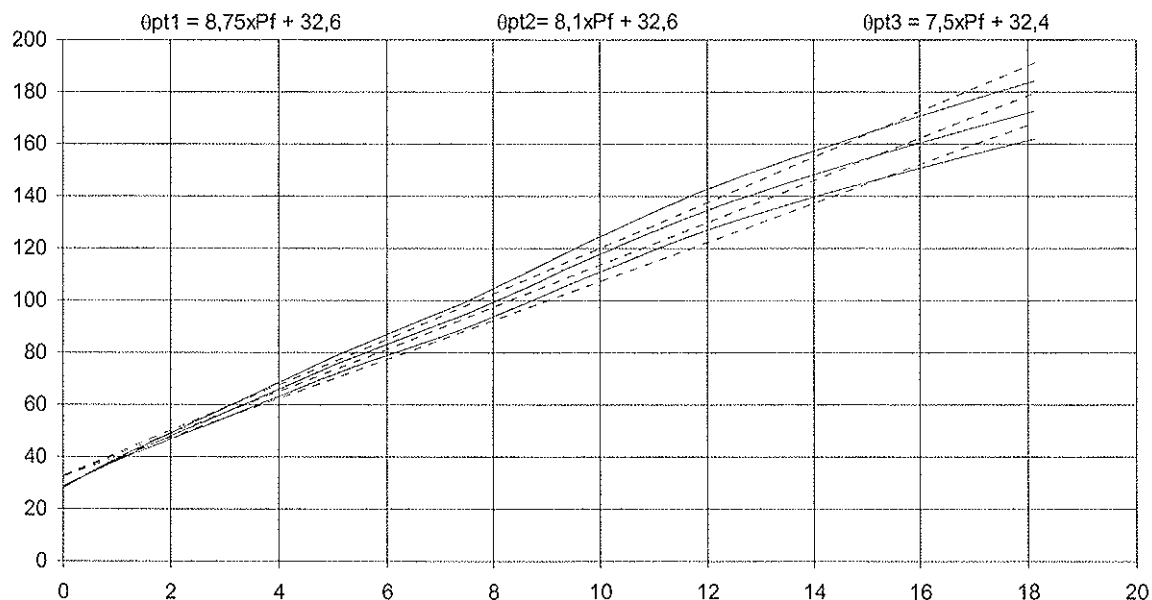
Caractérisation du four en fonctionnement statique

- Fonctionnement statique sans ventilation :

Tableau 1

Vcom (V)	Sp (V)	Vpt1 (V)	Vpt2 (V)	Vpt3 (V)	Pf (W)	θ_{pt1} (°C)	θ_{pt2} (°C)	θ_{pt3} (°C)
0	0	Vpt10= 0,569	Vpt20= 0,574	Vpt30= 0,579	0	$\theta_{1amb}=$ 28,4	$\theta_{2amb}=$ 28,7	$\theta_{3amb}=$ 28,9
0,8	0,069	0,791	0,779	0,769	1,03	39,6	39	38,5
1,2	0,214	1,217	1,174	1,129	3,21	60,8	58,7	56,5
1,6	0,354	1,622	1,552	1,477	5,31	81,1	77,6	73,8
2,0	0,511	2,027	1,924	1,819	7,67	101,3	96,2	91
2,4	0,656	2,459	2,327	2,194	9,85	123	116,3	109,7
2,8	0,806	2,867	2,707	2,552	12,1	143,3	135,4	127,6
3,2	0,999	3,280	3,087	2,902	14,98	164	154,4	145,1
3,6	1,209	3,682	3,452	3,237	18,14	184,1	172,6	161,9

Caractéristique Température des sondes en fonction de la puissance du four

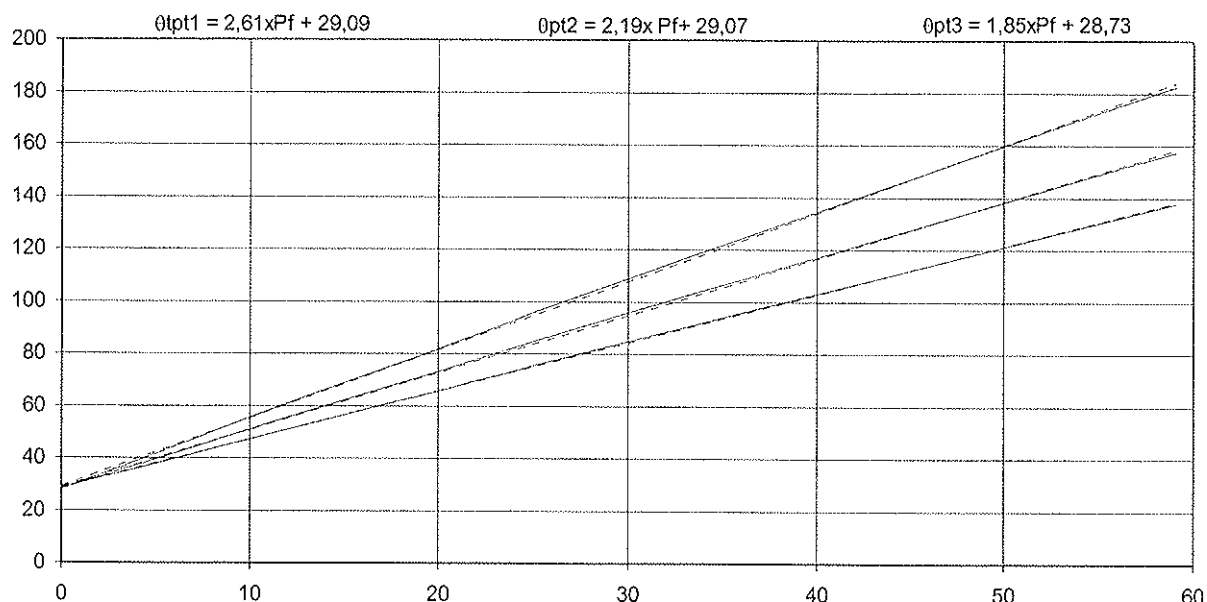


Résistance thermique au niveau de la sonde PT-1 : R_{th1_0}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-2 : R_{th2_0}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-3 : R_{th3_0}
8,75 °C/W	8,1 °C/W	7,5 °C/W

Fonctionnement statique avec ventilation : Tableau 2

Vcom (V)	Sp (V)	Vpt1 (V)	Vpt2 (V)	Vpt3 (V)	Pf (W)	θ_{pt1} (°C)	θ_{pt2} (°C)	θ_{pt3} (°C)
0	0	Vpt10= 0,559	Vpt20= 0,566	Vpt30= 0,571	0	$\theta_{1amb}=$ 27,9	$\theta_{2amb}=$ 28,3	$\theta_{3amb}=$ 28,6
0,8	0,301	0,806	0,766	0,736	4,52	40,3	38,3	36,8
1,2	0,776	1,197	1,094	1,004	11,65	59,8	57,7	50,2
1,6	1,327	1,629	1,459	1,312	19,9	81,5	73	65,6
2,0	1,822	2,037	1,797	1,594	27,33	101,8	89,8	79,7
2,4	2,334	2,434	2,132	1,879	35,01	121,7	106,6	94
2,8	2,877	2,847	2,474	2,174	43,15	142,4	123,7	108,7
3,2	3,417	3,257	2,817	2,467	51,26	162,9	140,9	123,3
3,6	3,942	3,645	2,147	2,754	59,13	182,2	157,4	137,7

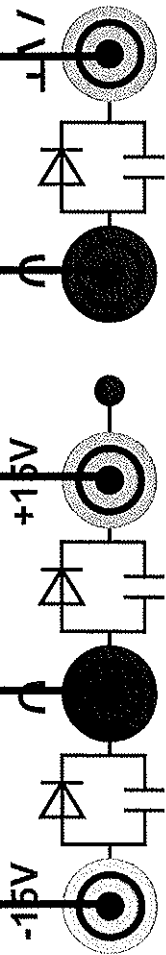
Caractéristique Température des sondes en fonction de la puissance du four



Résistance thermique au niveau de la sonde PT-1 : R_{th1v}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-2 : R_{th2v}	Résistance thermique au niveau de la sonde PT-3 : R_{th3v}
2,61 °C/W	2,19 °C/W	1,85 °C/W

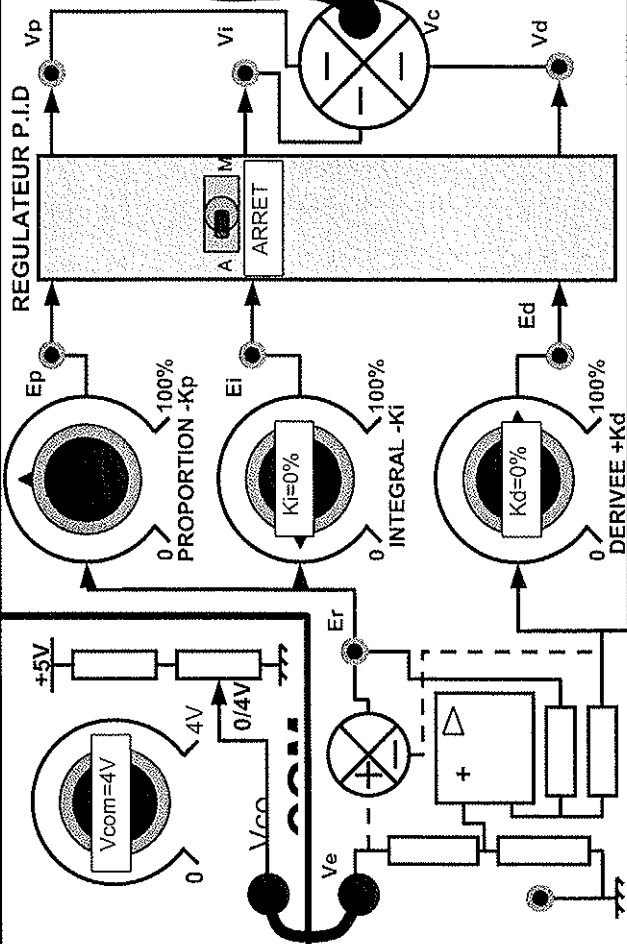
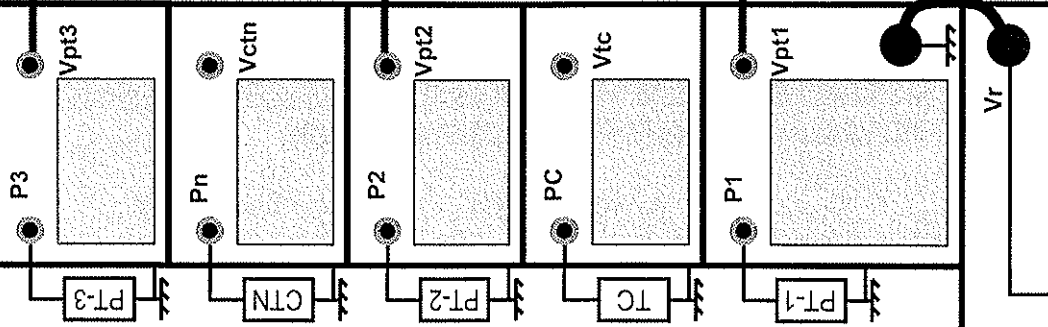
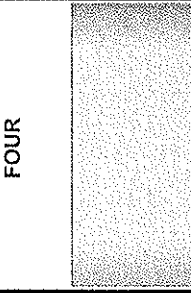
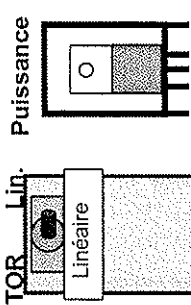
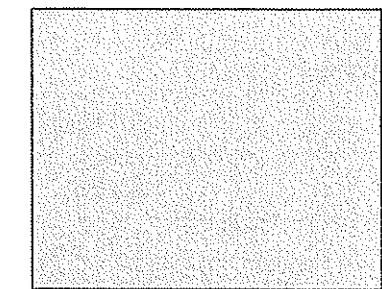
ALIMENTATION +15V / -15V

ALIMENTATION REGLABLE



Ref 3778 **dms . didalab**
ASSERVISSEMENT DE TEMPERATURE

CONSIGNE (°C)	RETOUR (°C)	PUISSANCE (W)	AFFICHAGE	
100	82	20.5	TPT1 (°C)	TPT3 (°C)
85	81	74	TPT2 (°C)	

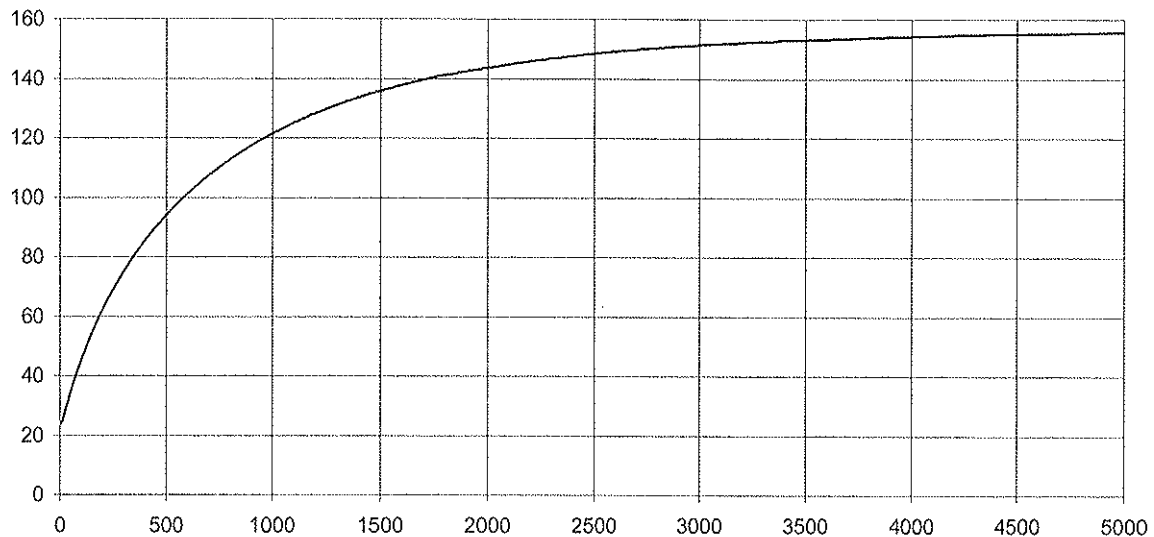


Dispositif d'acquisition

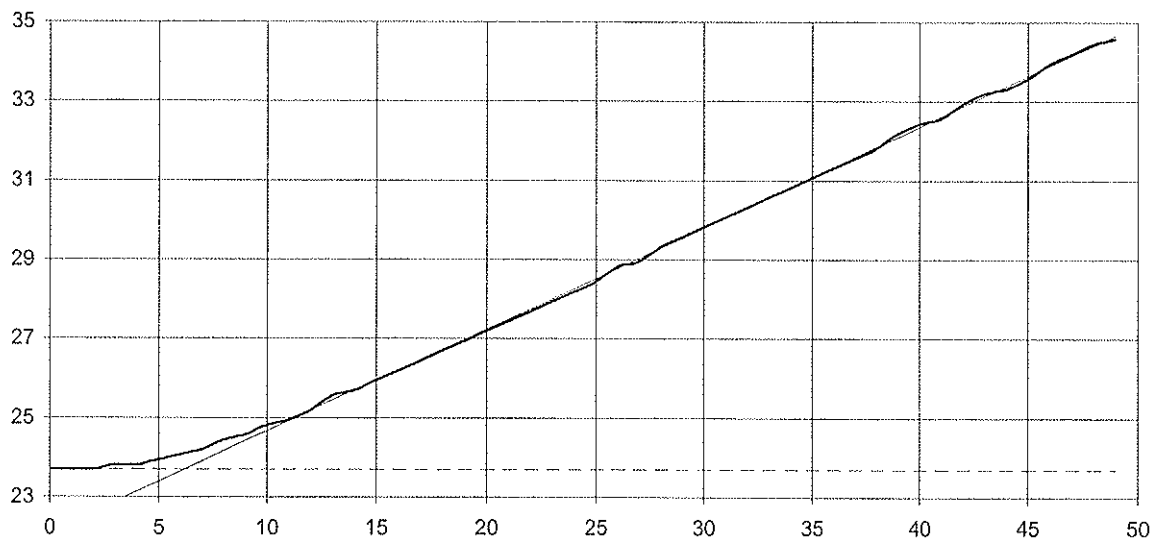
Caractérisation du four en fonctionnement dynamique

Caractéristique de la température de la sonde PT100-1 en fonction du temps à puissance constante sans ventilation

$\theta_{PT1}(t) : \theta (^{\circ}\text{C}) , t (\text{s})$ avec $P_f = 16,3 \text{ W}$



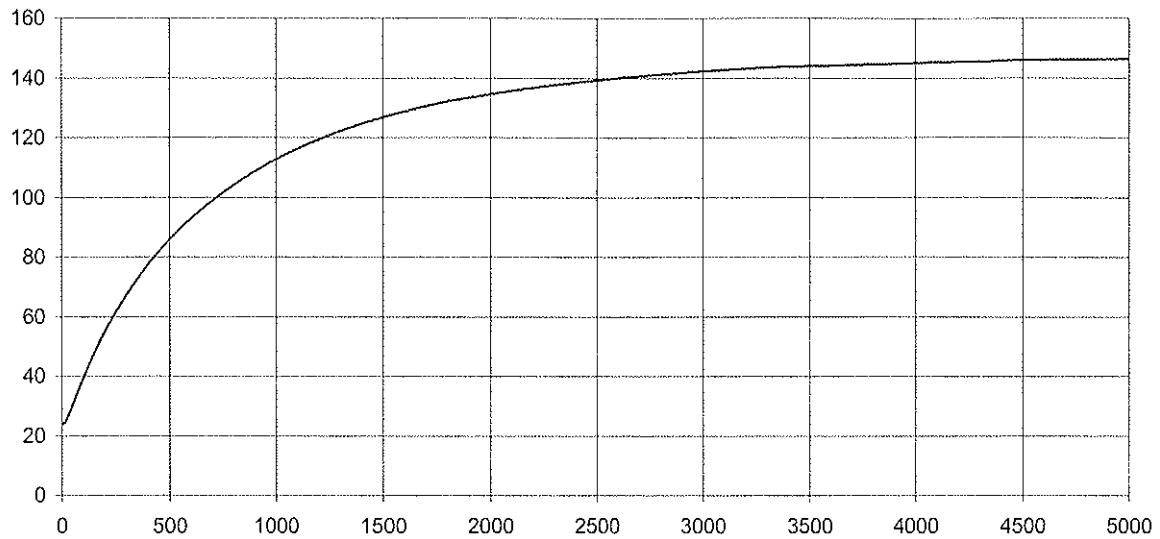
Détermination du temps de retard et de la constante de temps



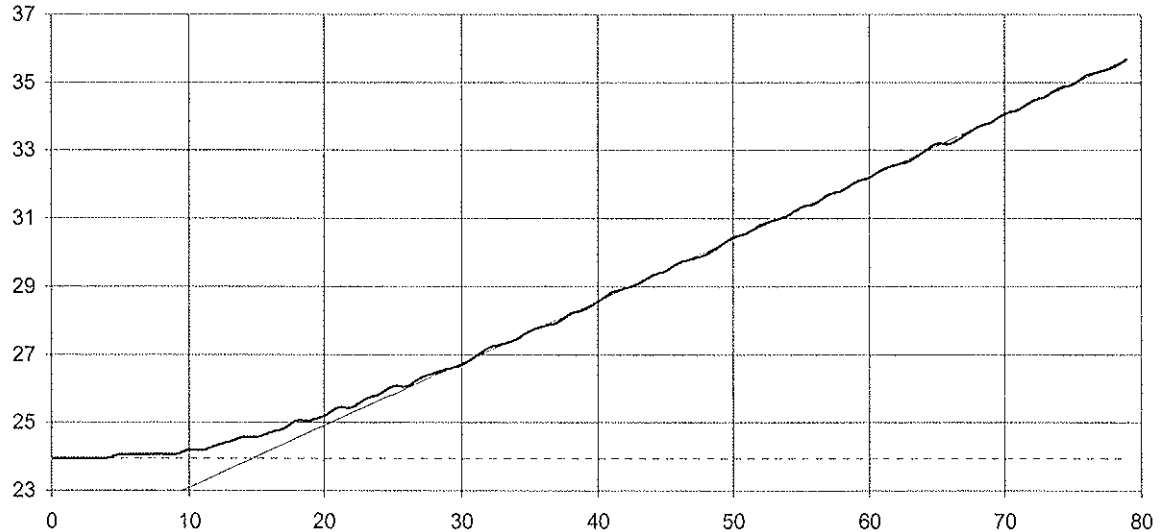
Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-1	
$Tr_{1sv} \text{ (s)}$	6,15 s
$\tau_{1sv} \text{ (s)}$	515 s

Caractéristique de la température de la sonde PT100-2 en fonction du temps à puissance constante sans ventilation

$\theta_{PT1}(t) : \theta (^{\circ}\text{C}) , t (\text{s})$ avec $P_f = 16,3 \text{ W}$



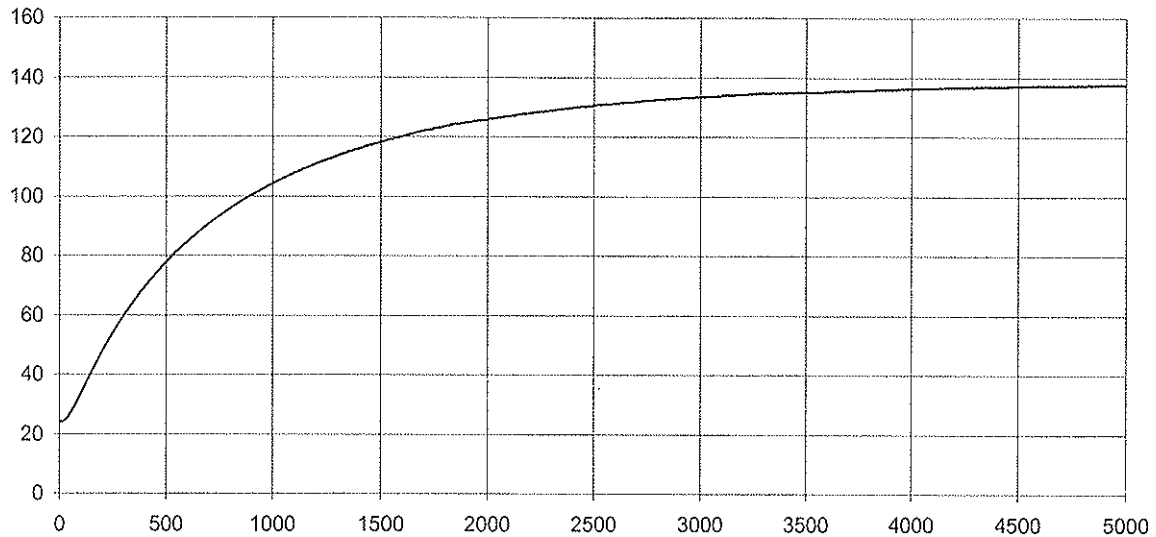
Détermination du temps de retard et de la constante de temps



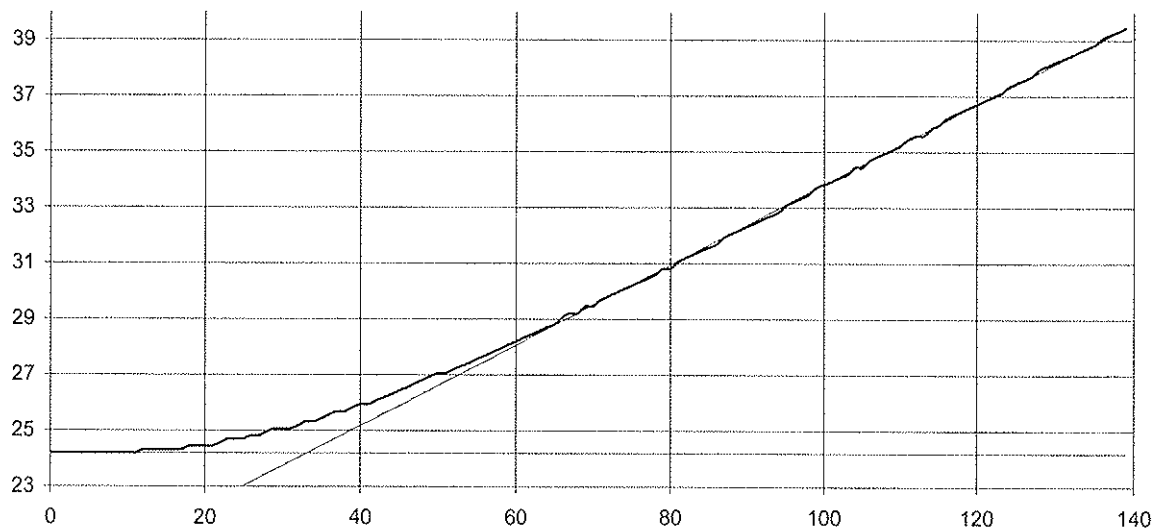
Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-2	
$Tr_{2sv} \text{ (s)}$	14,7 s
$\tau_{2sv} \text{ (s)}$	670 s

Caractéristique de la température de la sonde PT100-3 en fonction du temps à puissance constante sans ventilation

$\theta_{PT1}(t) : \theta \text{ (}^\circ\text{C)}, t \text{ (s)}$ avec $P_f = 16,3 \text{ W}$



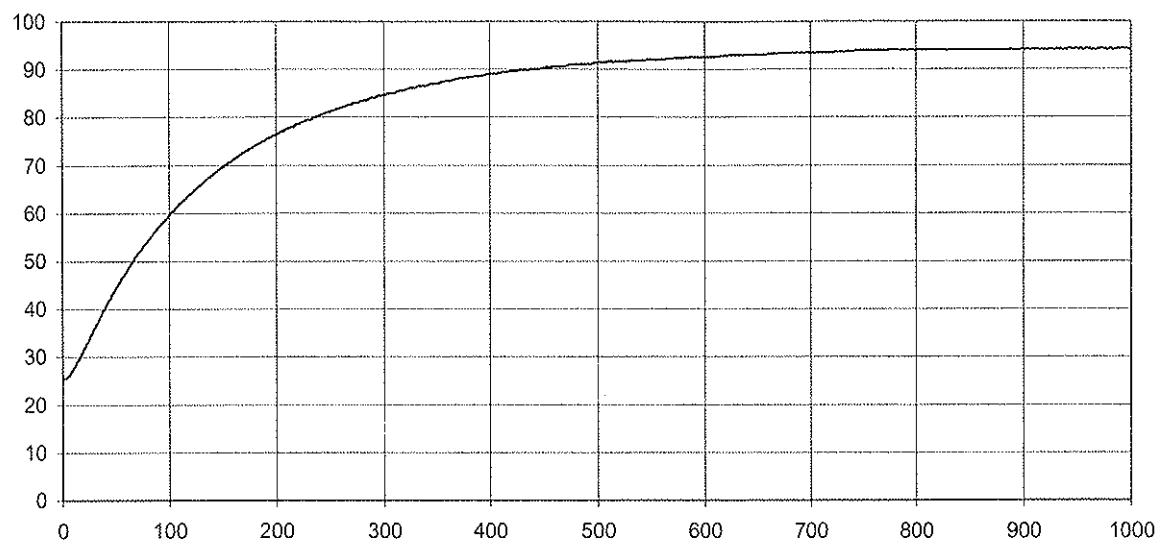
Détermination du temps de retard et de la constante de temps



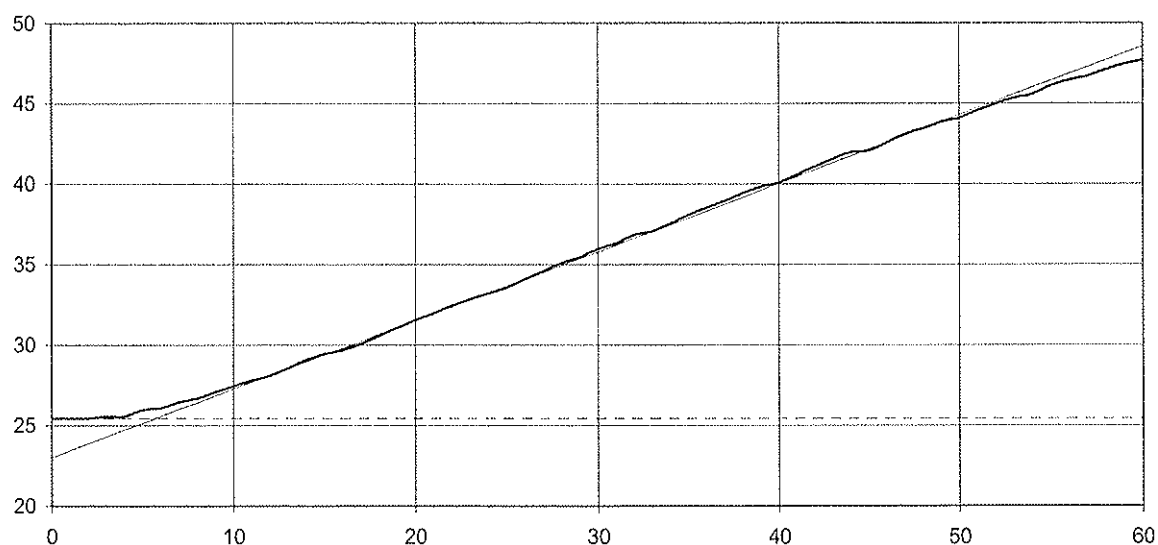
Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-3	
Tr3sv (s)	33,1 s
τ_{3sv} (s)	788 s

Caractéristique de la température de la sonde PT100-1 en fonction du
temps à puissance constante avec ventilation

$\theta_{PT1}(t) : \theta \text{ (}^{\circ}\text{C)}, t \text{ (s) avec } P_f = 30 \text{ W}$



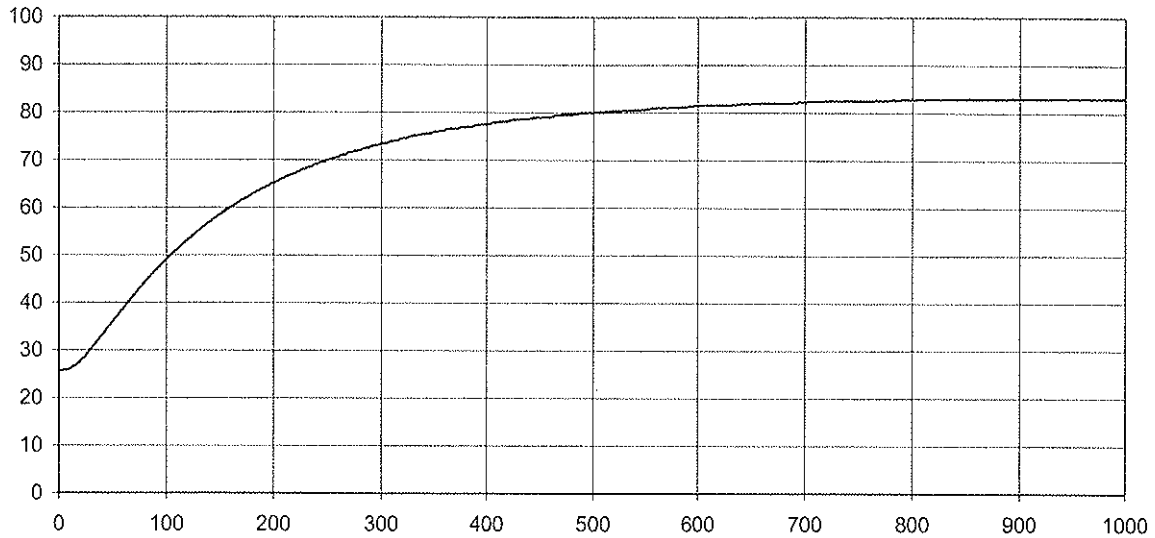
Détermination du temps de retard et de la constante de temps



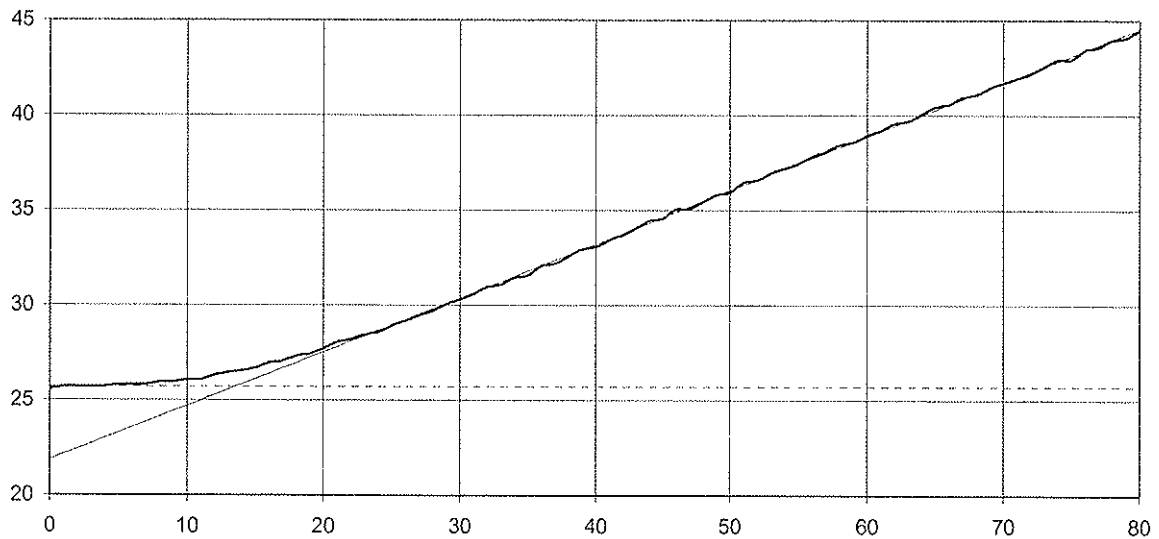
Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-1	
Tr1av (s)	5,72 s
τ_{1av} (s)	162 s

Caractéristique de la température de la sonde PT100-2 en fonction du temps à puissance constante avec ventilation

$\theta_{PT1}(t) : \theta (^{\circ}\text{C}) , t (\text{s})$ avec $P_f = 30 \text{ W}$



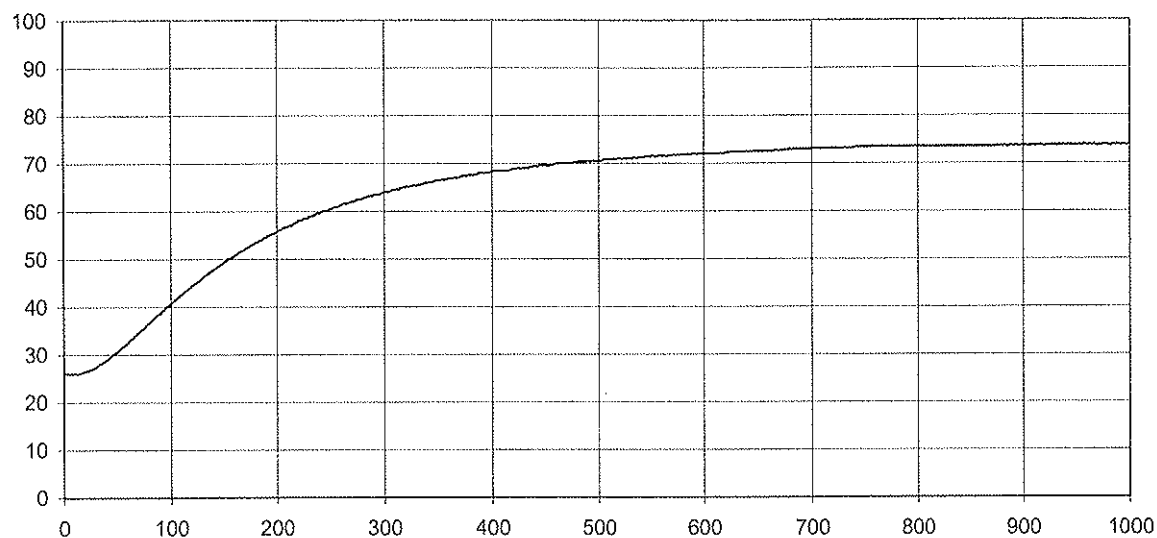
Détermination du temps de retard et de la constante de temps



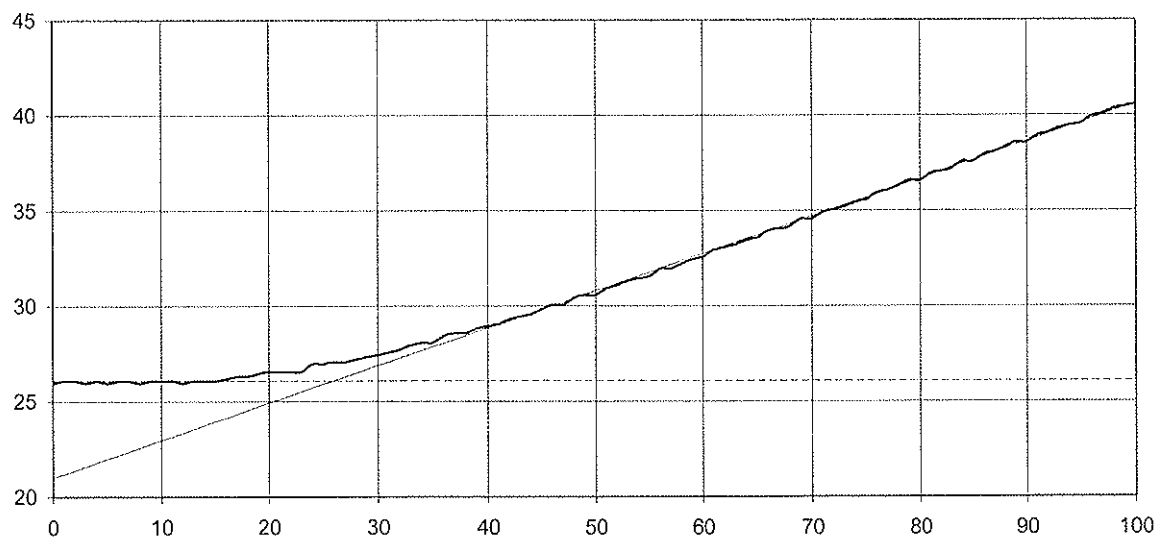
Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-2	
Tr2av (s)	13,5 s
τ_{2av} (s)	203 s

Caractéristique de la température de la sonde PT100-3 en fonction du temps à puissance constante avec ventilation

$\theta_{PT1}(t) : \theta (^{\circ}\text{C}) , t (\text{s})$ avec $P_f = 30 \text{ W}$



Détermination du temps de retard et de la constante de temps



Temps de retard et constante de temps du four sans ventilation Sonde de température PT100-3	
$Tr_{3av} \text{ (s)}$	25,9 s
$\tau_{3av} \text{ (s)}$	244 s

ANNEXE 2

Résultats de l'étude du régulateur P.I.D

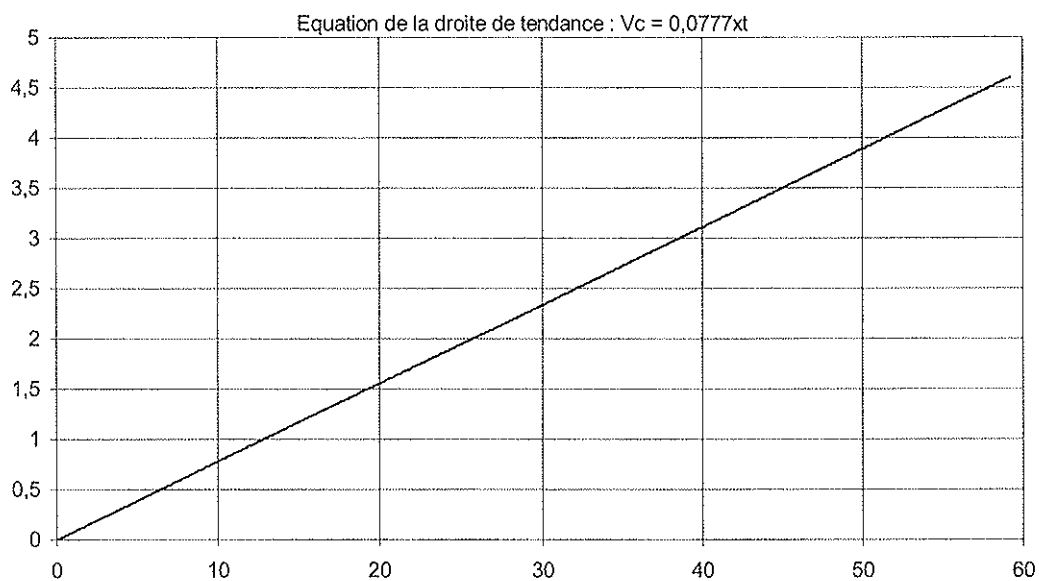
Mesure de l'amplification maximum de la fonction proportionnelle:

Mesures : $V_e = 0,502V$ $V_c = 10,17V$

Amplification maximum $K_p =$	20,3
-------------------------------	------

Mesure de la constante de temps minimum de la fonction intégrale :

Caractéristique de V_c en fonction du temps pour une tension V_e de 4,07V :

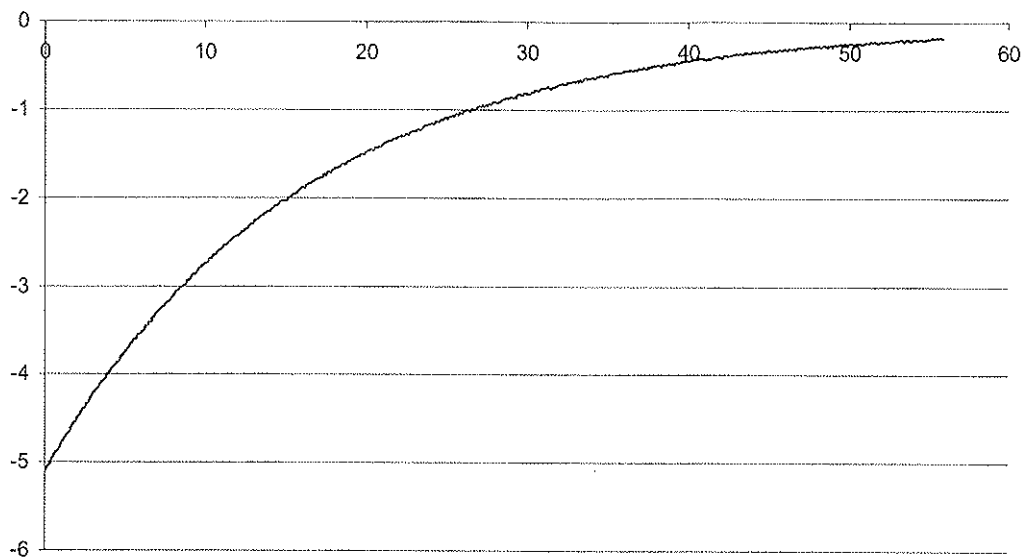


$$V_c = K_i \cdot \int V_e \cdot dt = K_i \cdot 4,07 \cdot t$$

Valeur maximale de K_i	$0,0191 \text{ s}^{-1}$
Constante de temps minimale	52,4 s

Mesure de la constante de temps maximum de la fonction dérivée :

Caractéristique de V_c en fonction du temps pour une tension V_r de 0,24V :



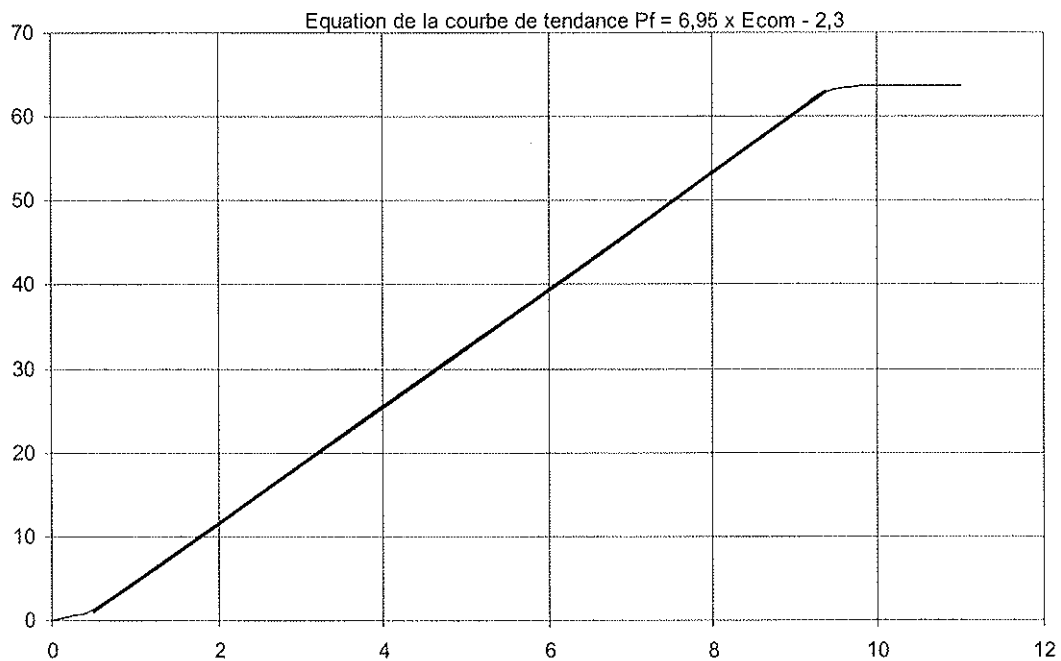
Equation du modèle : $V_c = -5,02.e^{-\frac{t}{16,3}}$

Constante de temps $R_{11}.C_2 =$	16,3 s
Valeur maximale de $K_d =$	342 s

ANNEXE 3

Résultats de l'étude de la partie puissance

Mesure de la caractéristique : Puissance du four en fonction de Ecom:



Equation de la partie puissance : $P = 6,95 \times E_{com}$

Coefficient de transfert Kf =	6,95
-------------------------------	------

ANNEXE 4

Modélisation de l'asservissement de température

Schéma synoptique :

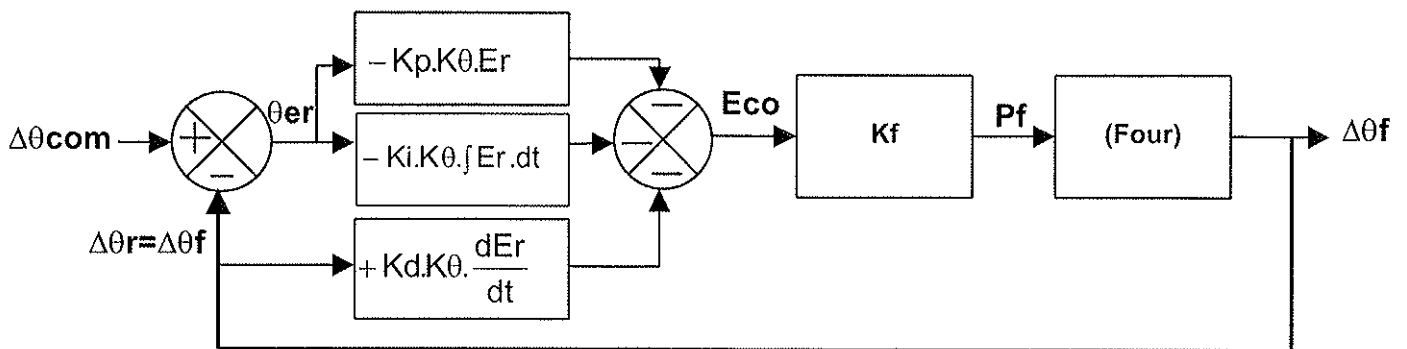
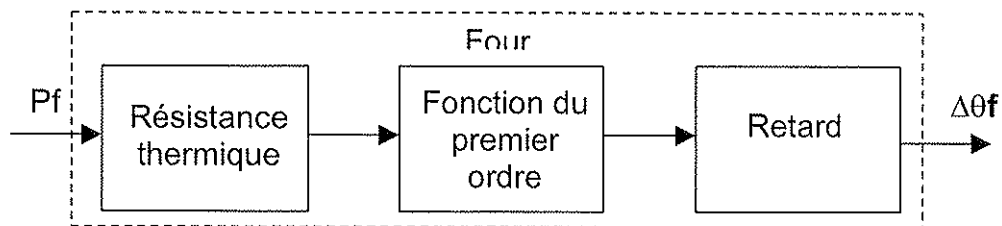


Schéma synoptique du four :



Modélisation en utilisant les transformées de Laplace

Schéma synoptique du four en utilisant les transformées de Laplace :

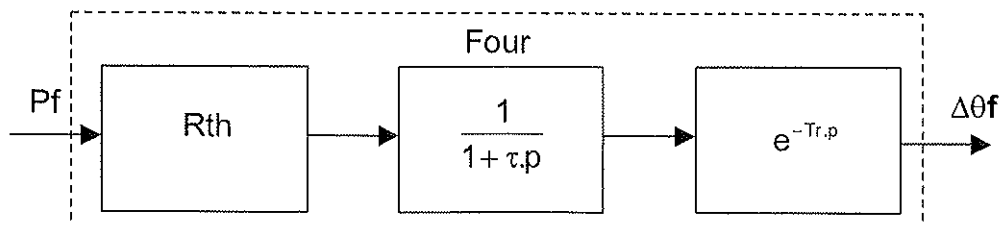
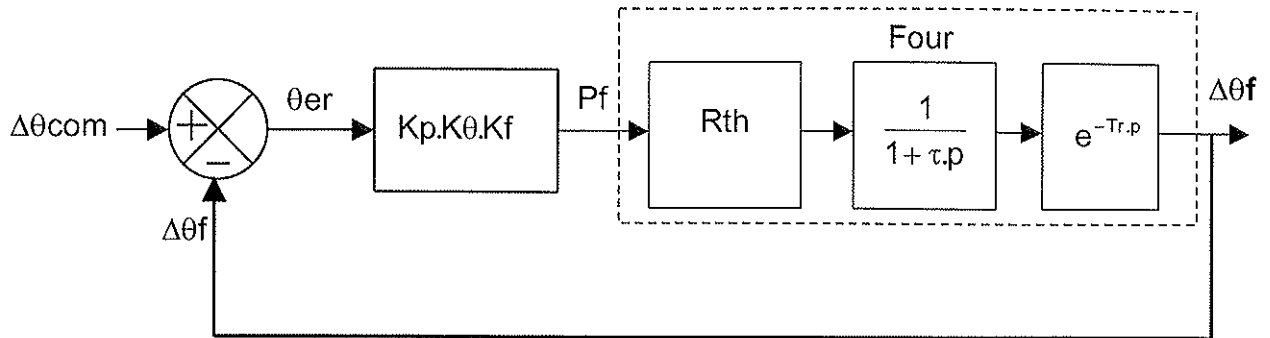


Schéma synoptique de l'asservissement de température pour une correction proportionnelle en utilisant les transformées de Laplace.



Equation de l'asservissement en boucle ouverte :

$$\Delta\theta f = K_p.K_\theta.K_f.R_{th} \cdot \frac{e^{-Tr.p}}{1 + \tau.p} \cdot \Delta\theta_{com}$$

en appelant $A = K_p.K_\theta.K_f.R_{th}$: $\Delta\theta f = A \cdot \frac{e^{-Tr.p}}{1 + \tau.p} \cdot \Delta\theta_{com}$

Equation de l'asservissement en boucle fermée :

$$\Delta\theta f = \frac{A \cdot \frac{e^{-Tr.p}}{1 + \tau.p}}{1 + A \cdot \frac{e^{-Tr.p}}{1 + \tau.p}} \cdot \Delta\theta_{com} = \frac{A \cdot e^{-Tr.p}}{1 + \tau.p + A \cdot e^{-Tr.p}} \cdot \Delta\theta_{com}$$

La difficulté pour la résolution de cette équation provient de la fonction exponentielle au dénominateur. Pour lever cette difficulté, une solution consiste à remplacer cette fonction par une fonction présentant un développement limité similaire : $\frac{1-x/2}{1+x/2}$.

Développement limité de la fonction exponentielle :

$$(e^{-x}) = 1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \approx 1 - x + \frac{x^2}{2}$$

Développement limité de la fonction : $\frac{1-x/2}{1+x/2}$

$$\left(\frac{1-x/2}{1+x/2} \right) = (1-x/2)(1-x/2+x^2/4) = 1 - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{4} - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{4} - \frac{x^3}{8} = 1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{8} \approx 1 - x + \frac{x^2}{2}$$

Ceci donne une équation approchée de l'asservissement en boucle fermée :

$$\Delta\theta_f = \frac{A.e^{-Tr.p}}{1 + \tau.p + A.\frac{1 - \frac{Tr.p}{2}}{1 + \frac{Tr.p}{2}}} \cdot \Delta\theta_{com} = \frac{A}{1 + A} \cdot \frac{\left(1 + \frac{Tr.p}{2}\right)}{1 + \left(\tau + \frac{Tr}{2} - \frac{A.Tr}{2}\right).p + \frac{\tau.Tr}{2(1+A)}.p^2} \cdot e^{-Tr.p} \cdot \Delta\theta_{com}$$

Ceci correspond à une équation différentielle du deuxième ordre avec retard pur.
En mettant le dénominateur sous la forme canonique :

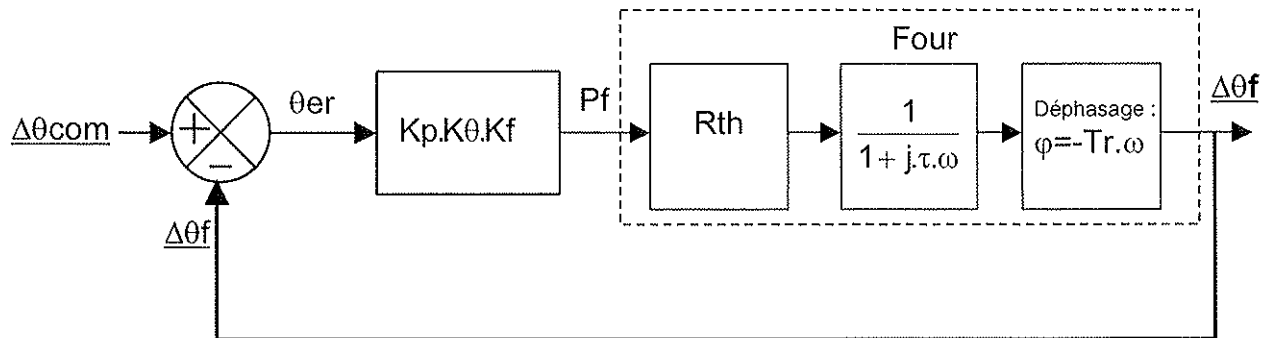
$$1 + \frac{2.m}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}.p^2$$

on obtient : $\omega_0 = \sqrt{\frac{2(1+A)}{\tau.Tr}}$ et $m = \frac{1}{\sqrt{2.\tau.Tr}} \cdot \frac{\left(\tau + \frac{Tr}{2} - \frac{A.Tr}{2}\right)}{\sqrt{1+A}}$

Cette équation approchée ne sera valable qu'à la condition que A ne soit pas trop grand tel que m soit positif et proche de 1 .

Diagrammes de Bode

Schéma synoptique de l'asservissement de température pour une correction proportionnelle en utilisant une notation complexe.



Equation du module en boucle ouverte en appelant $A = Kp.K\theta.Kf.Rth$:

$$\left| \frac{\Delta\theta_f}{\Delta\theta_{com}} \right| = \frac{Kp.K\theta.Kf.Rth}{\sqrt{1 + \tau^2.\omega^2}} = \frac{A}{\sqrt{1 + \tau^2.\omega^2}}$$

Equation de la phase en boucle ouverte :

$$\varphi = -Tr.\omega - \text{ArcTg}(\tau.\omega)$$

Exemple du diagramme de Bode en module et phase pour un asservissement de température en utilisant la sonde PT100-2 avec une amplification de 10 :

Diagramme de Bode du module en dB en fonction de la fréquence en Hz

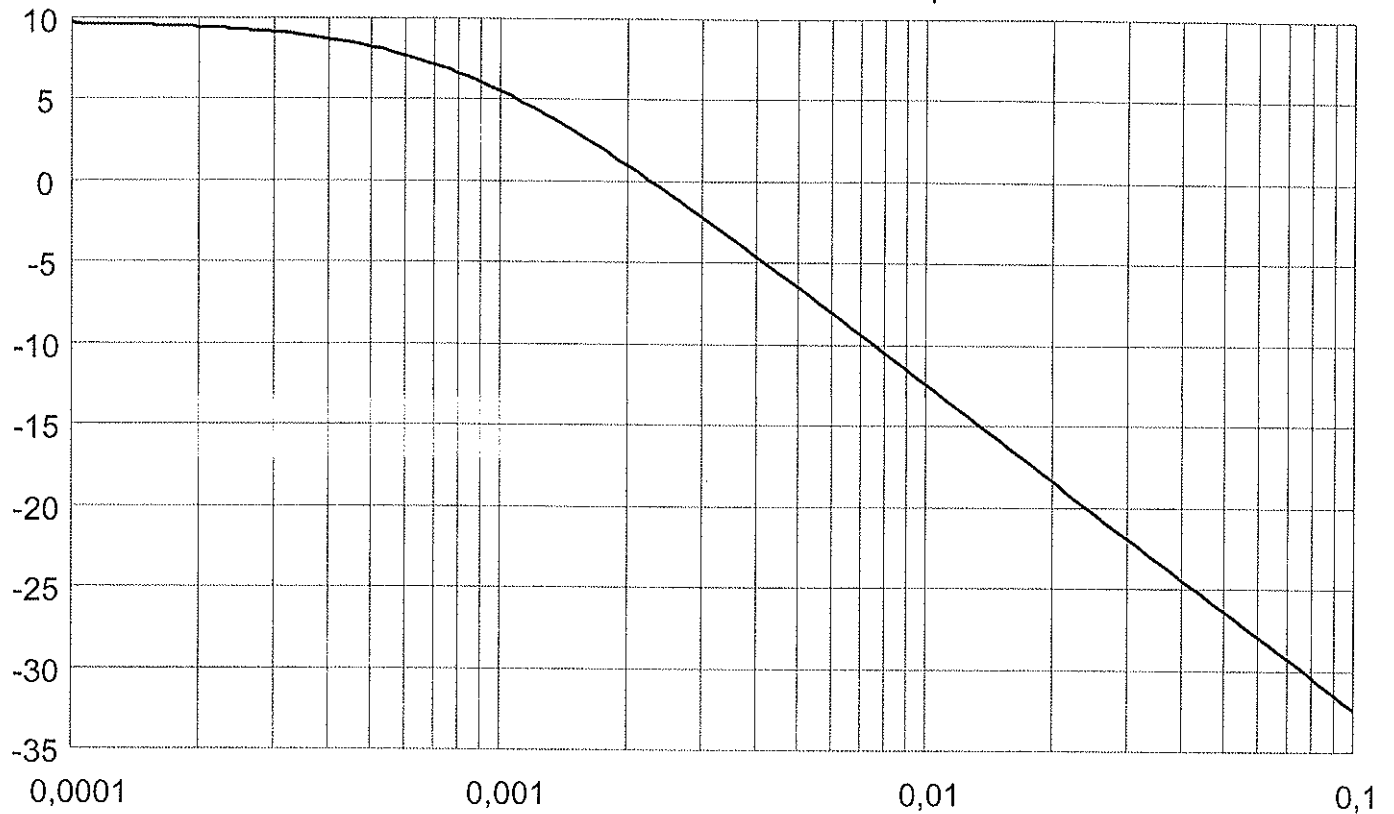


Diagramme de Bode de la phase en ° en fonction de la fréquence en Hz

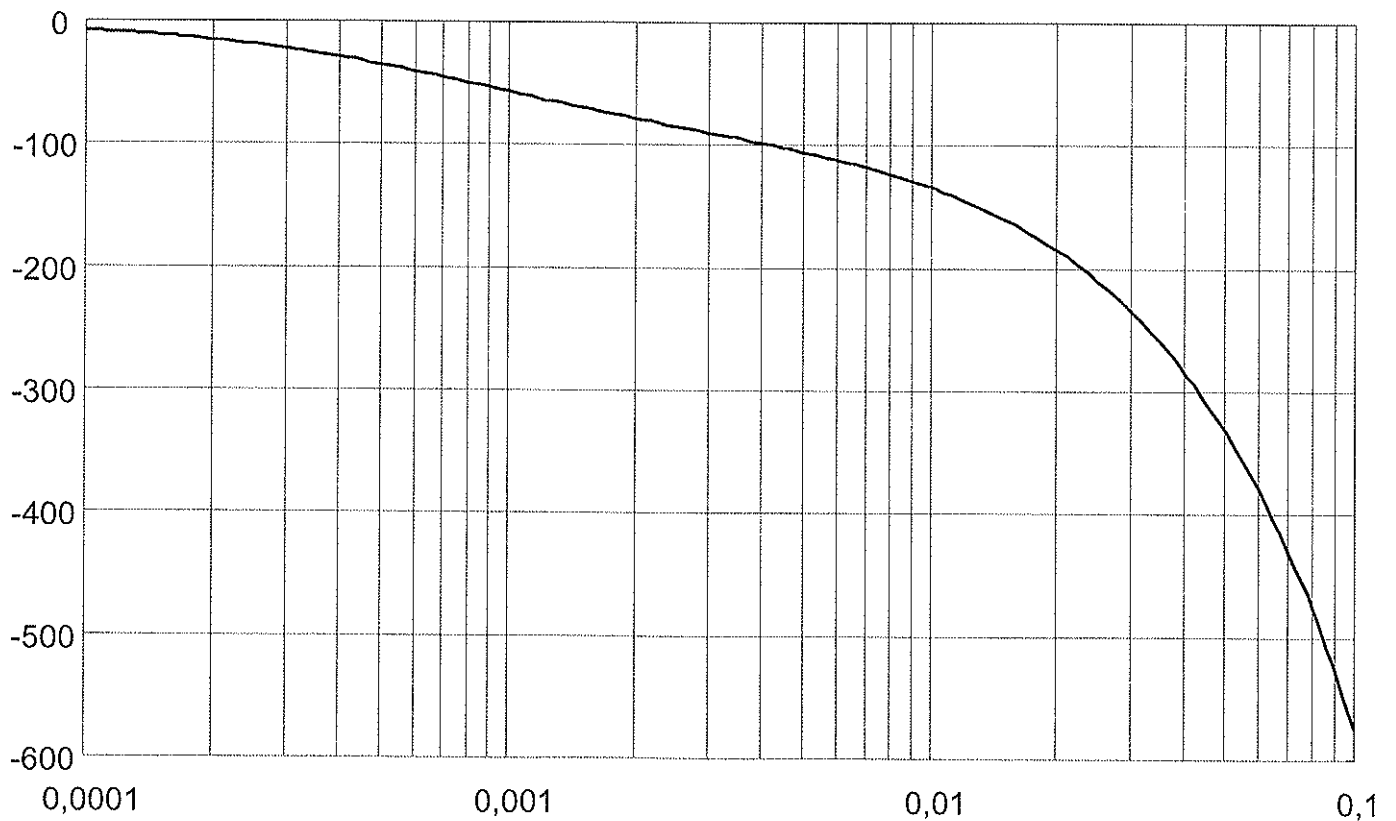
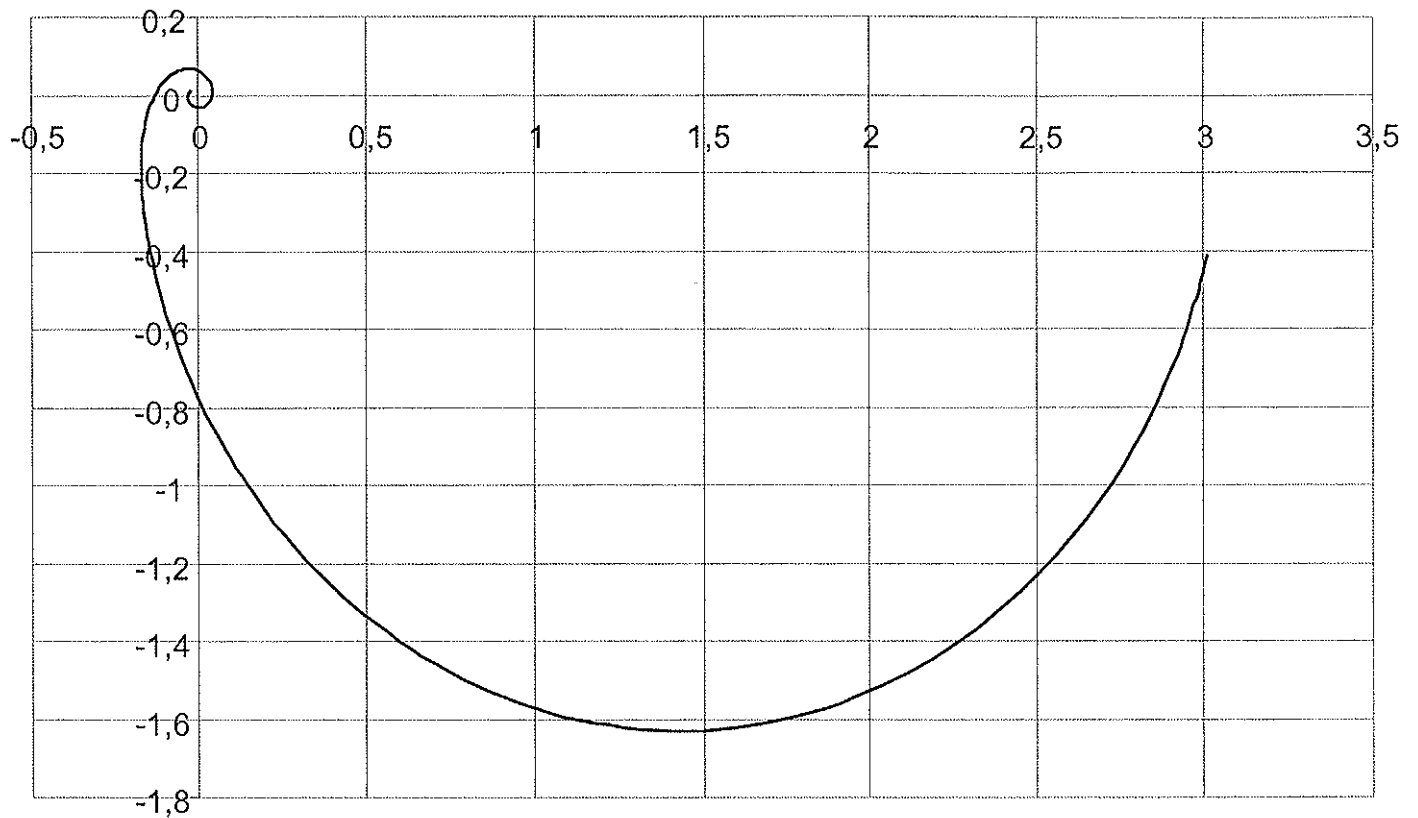


Diagramme de Nyquist

Exemple du diagramme de Nyquist pour un asservissement de température en utilisant la sonde PT100-2 avec une amplification de 10 :

Diagramme de Nyquist :



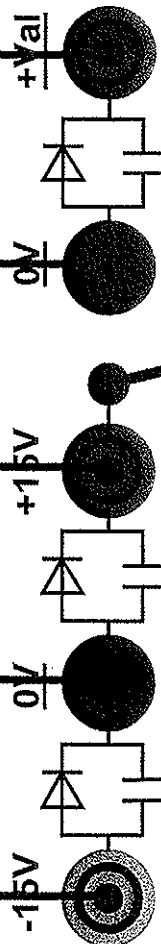
ANNEXE 5

**Etude d'un asservissement de température en
fonctionnement linéaire**

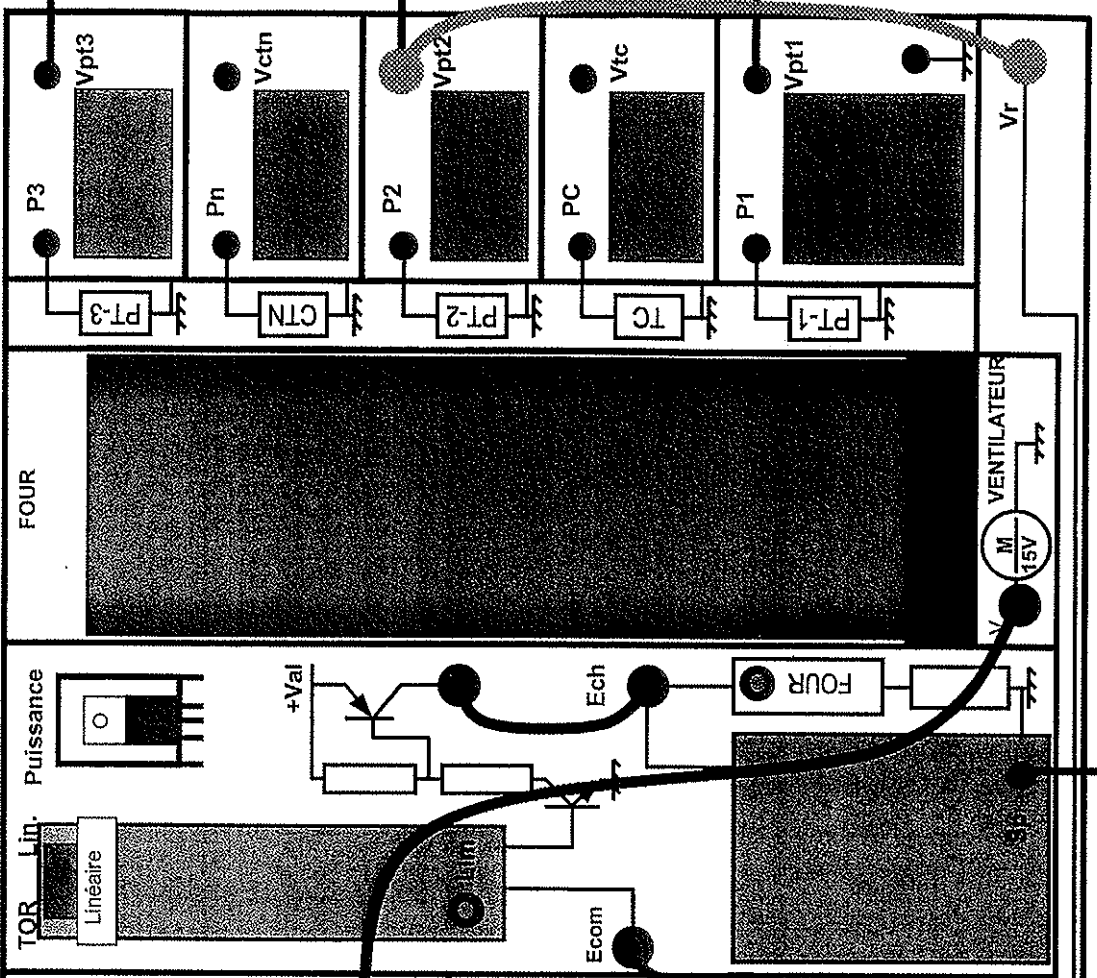
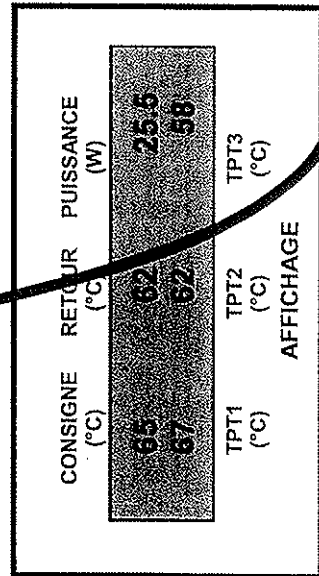
MONTAGE 2 : Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence la position du capteur

ALIMENTATION +15V / -15V

ALIMENTATION 30V



Ref 3778 **dms . didalab**
ASSERVISSEMENT DE TEMPERATURE



Dispositif d'acquisition

MONTAGE 3 : Asservissement avec correction proportionnelle seule : influence de la saturation

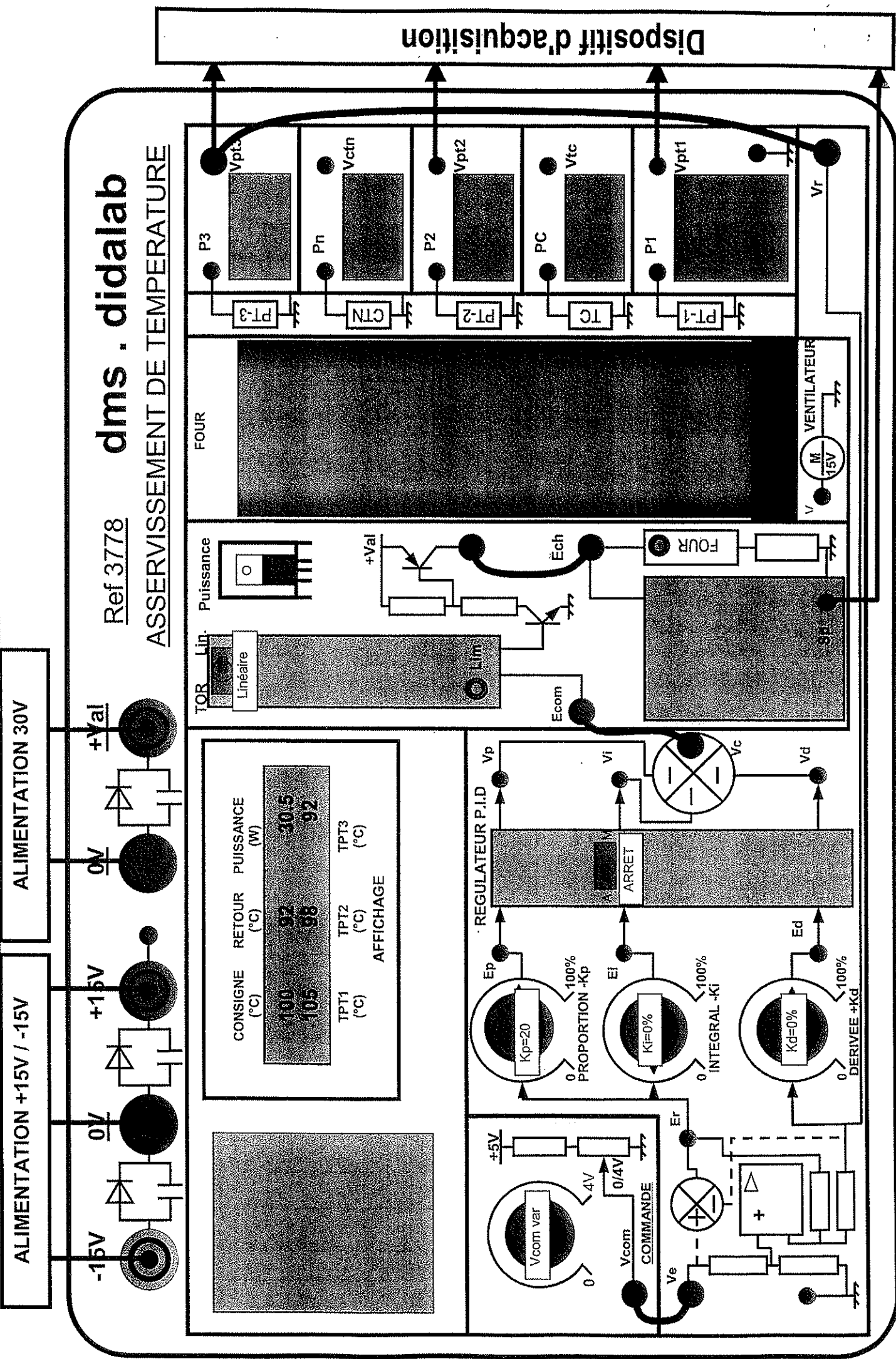
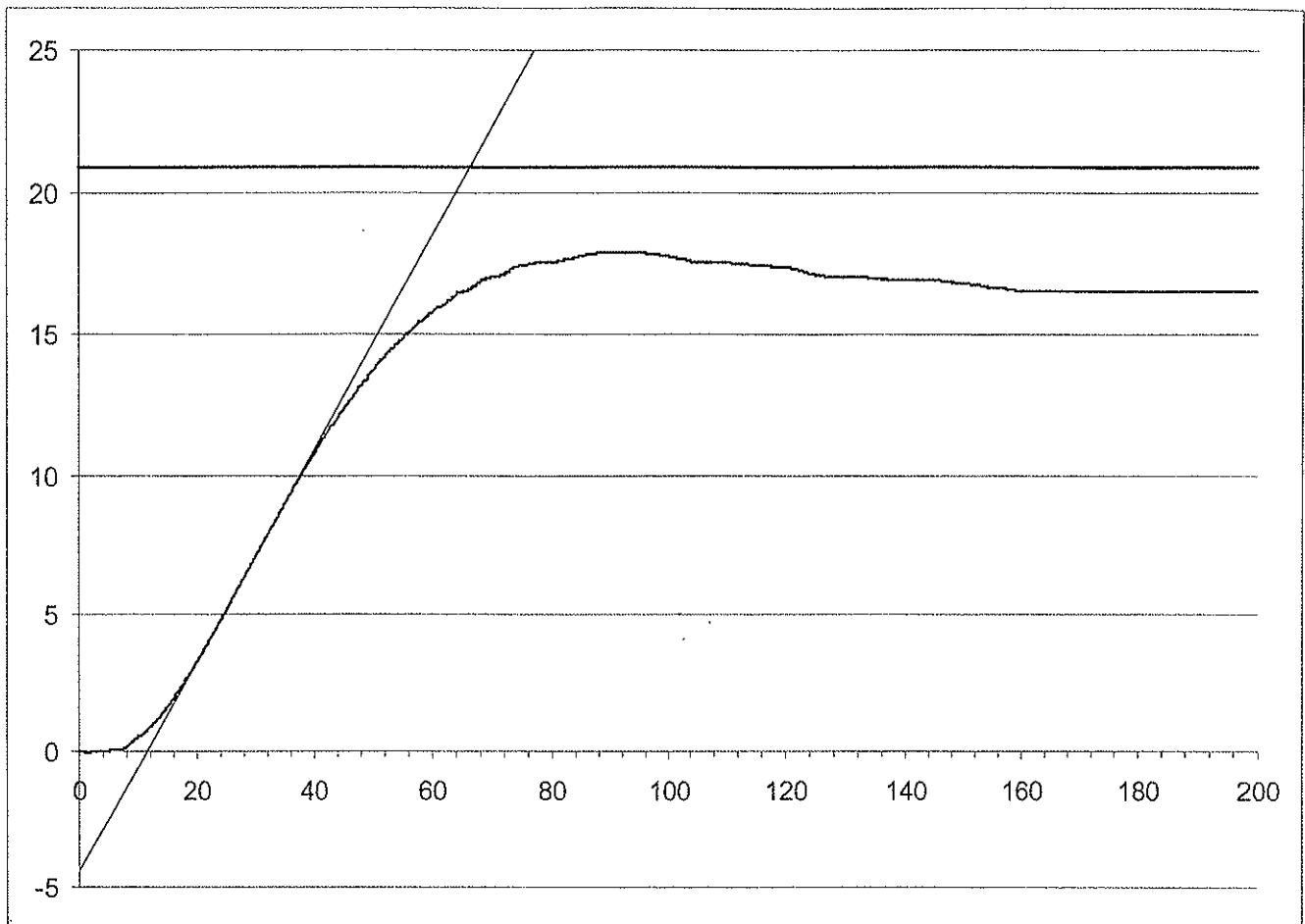


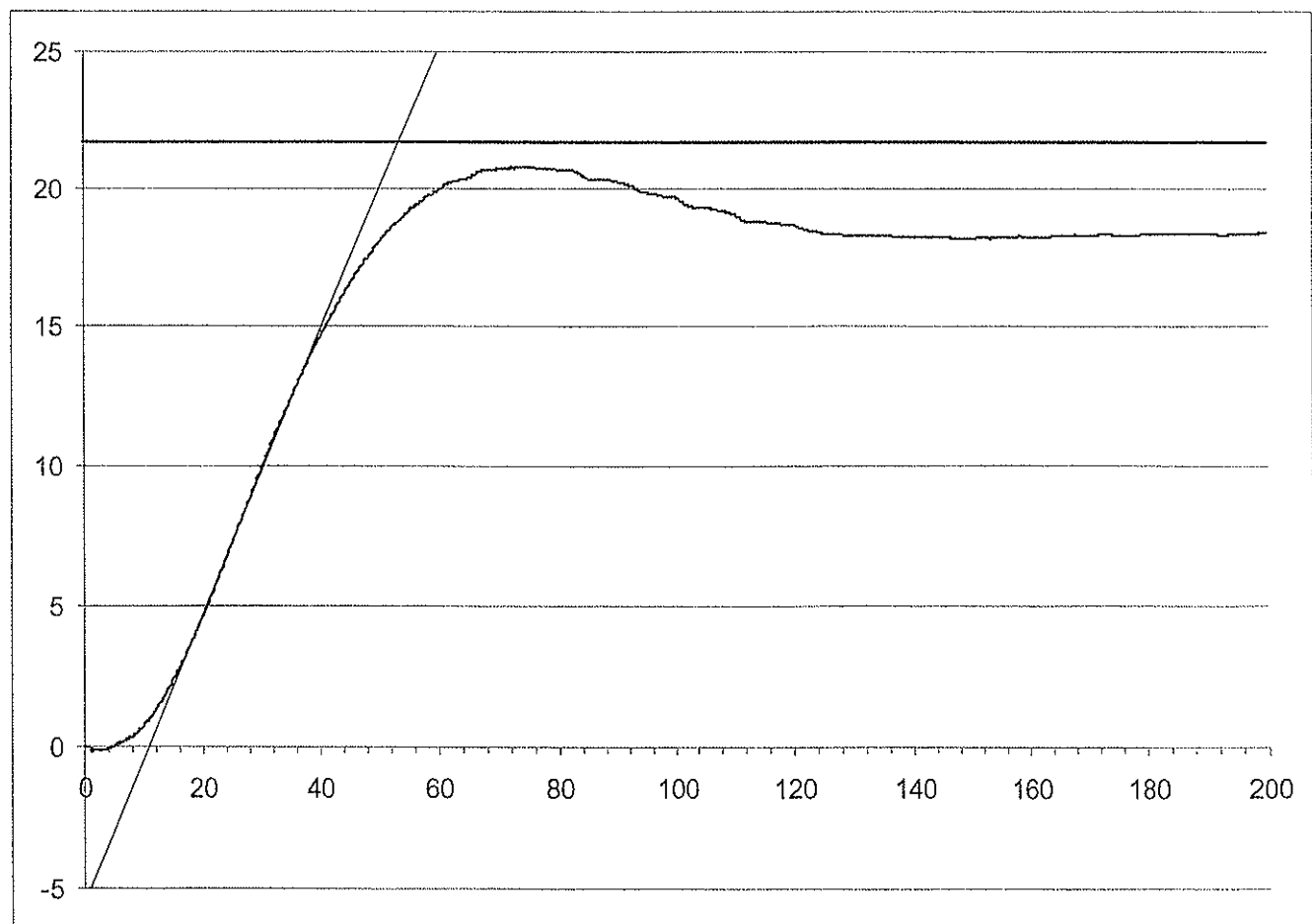
Tableau de résultats

Kp	5	10	15	20
$\Delta\theta_{com}$ (°C)	20,9 °C	21 °C	20,9 °C	21,7 °C
Valeur théorique de A	1,532	3,064	4,596	6,128
Valeur finale théorique : $\Delta\theta_f$ (°C)	12,6 °C	15,8 °C	17,2 °C	18,7 °C
Valeur finale expérimentale (°C)	10,5 °C	15,0 °C	16,6 °C	18,4 °C
Vitesse maximale de montée de la température (°C/s)	0,125 °C/s	0,251 °C/s	0,381 °C/s	0,508 °C/s
Dépassement relatif %	0	1,67	8,3	13,2

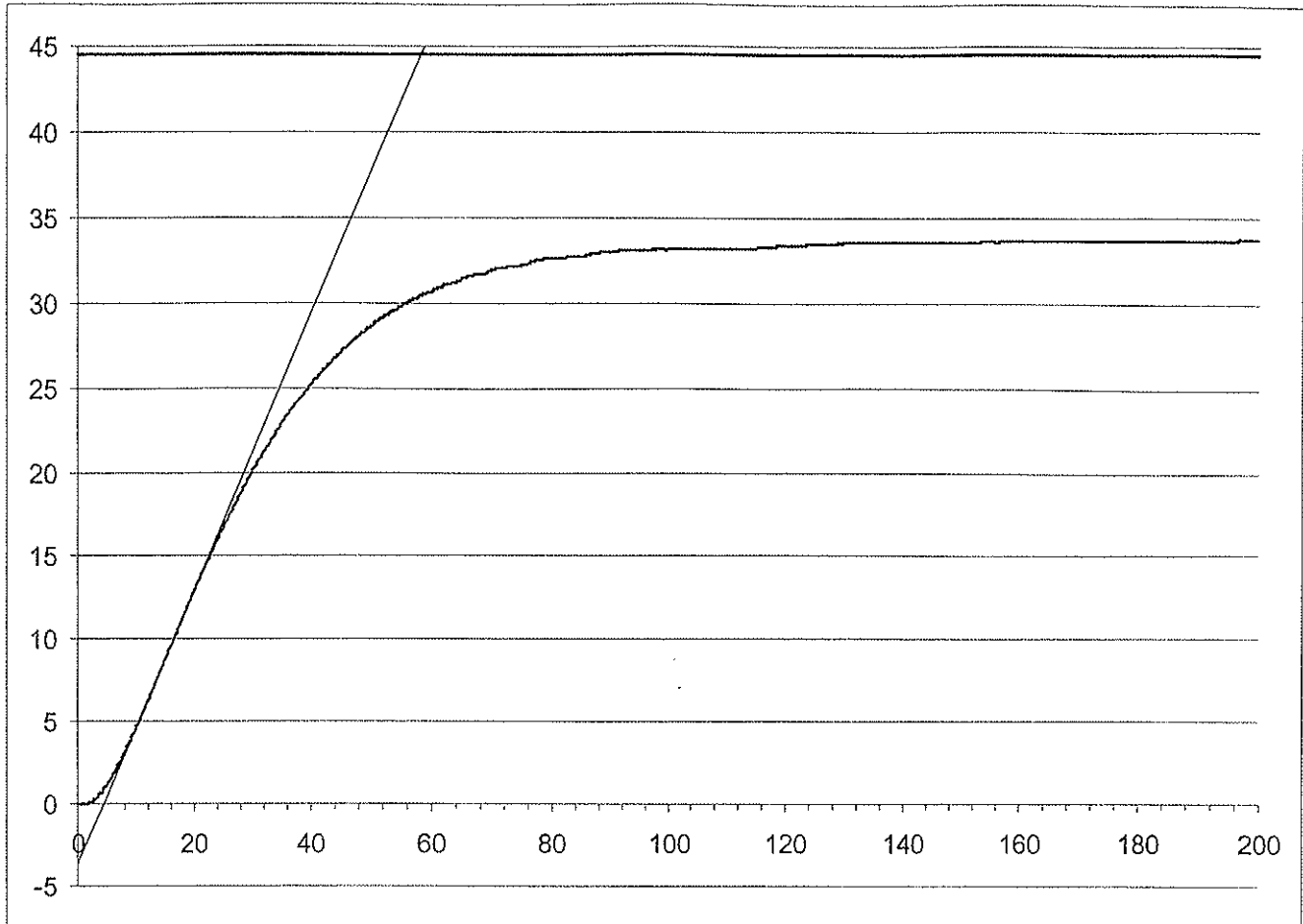
Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ pour un coefficient d'amplification K_p de 15.



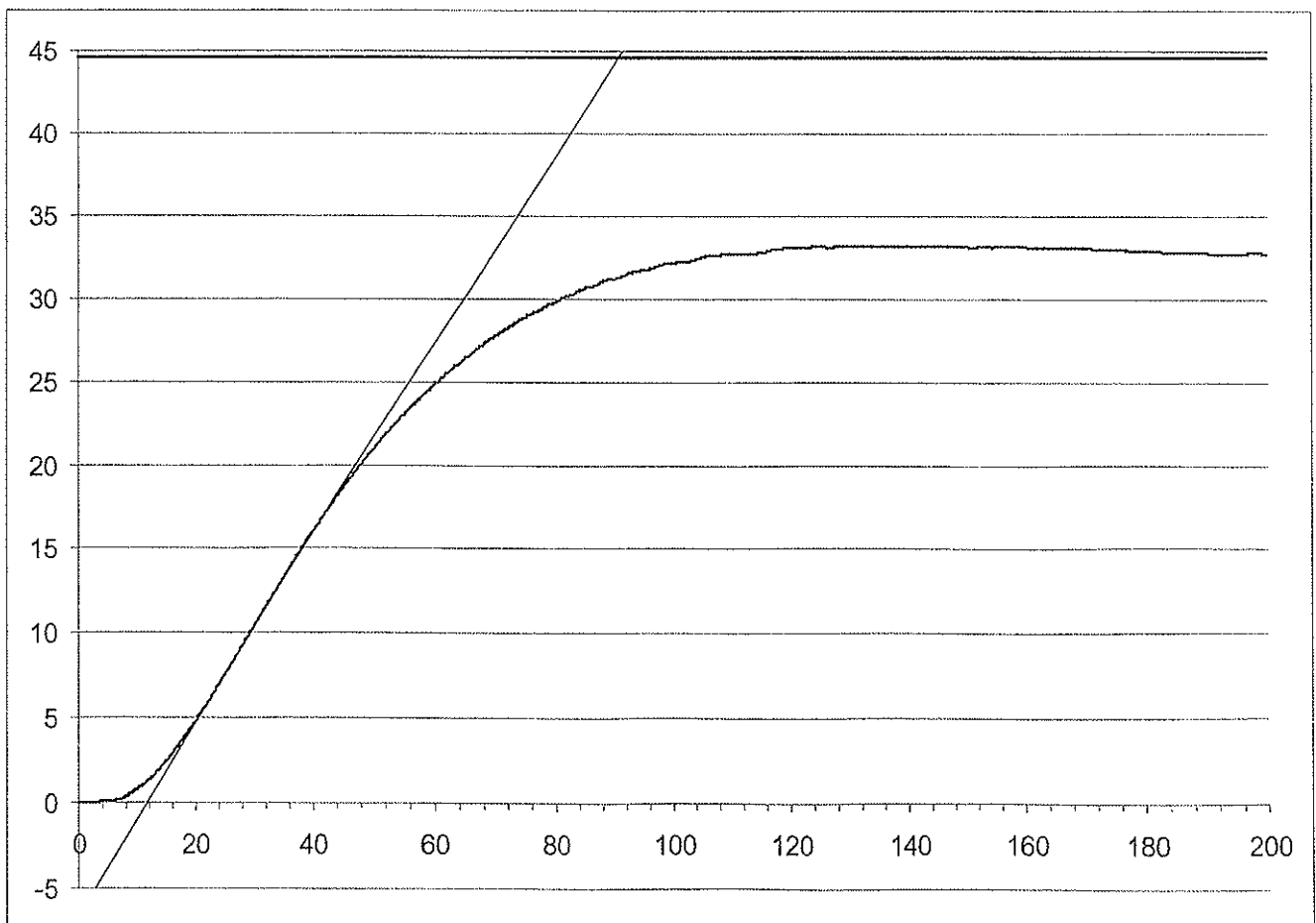
Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ pour un coefficient d'amplification K_p de 20.



Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ avec le capteur PT100-1.



Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ avec le capteur PT100-2.



Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ avec le capteur PT100-3.

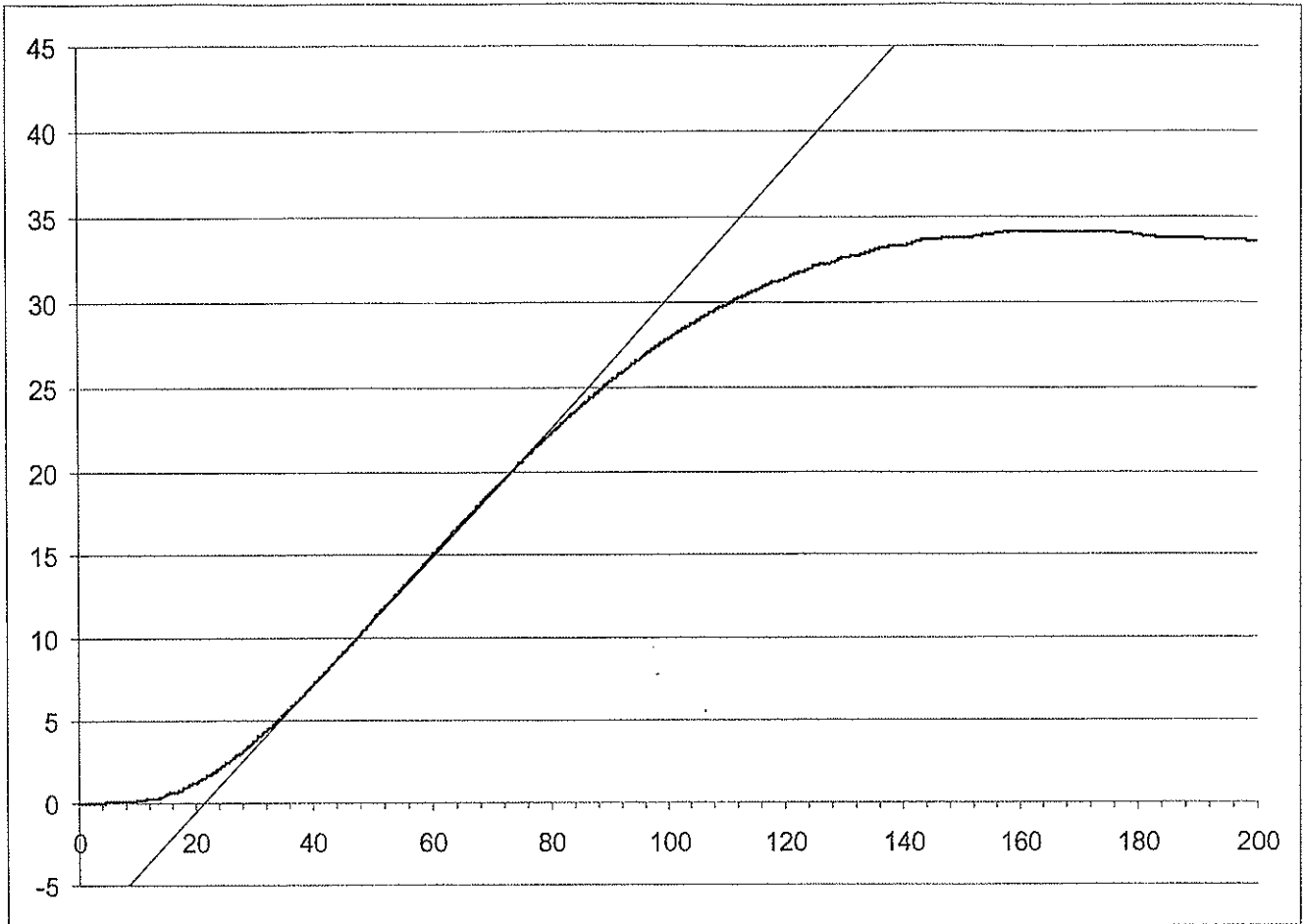
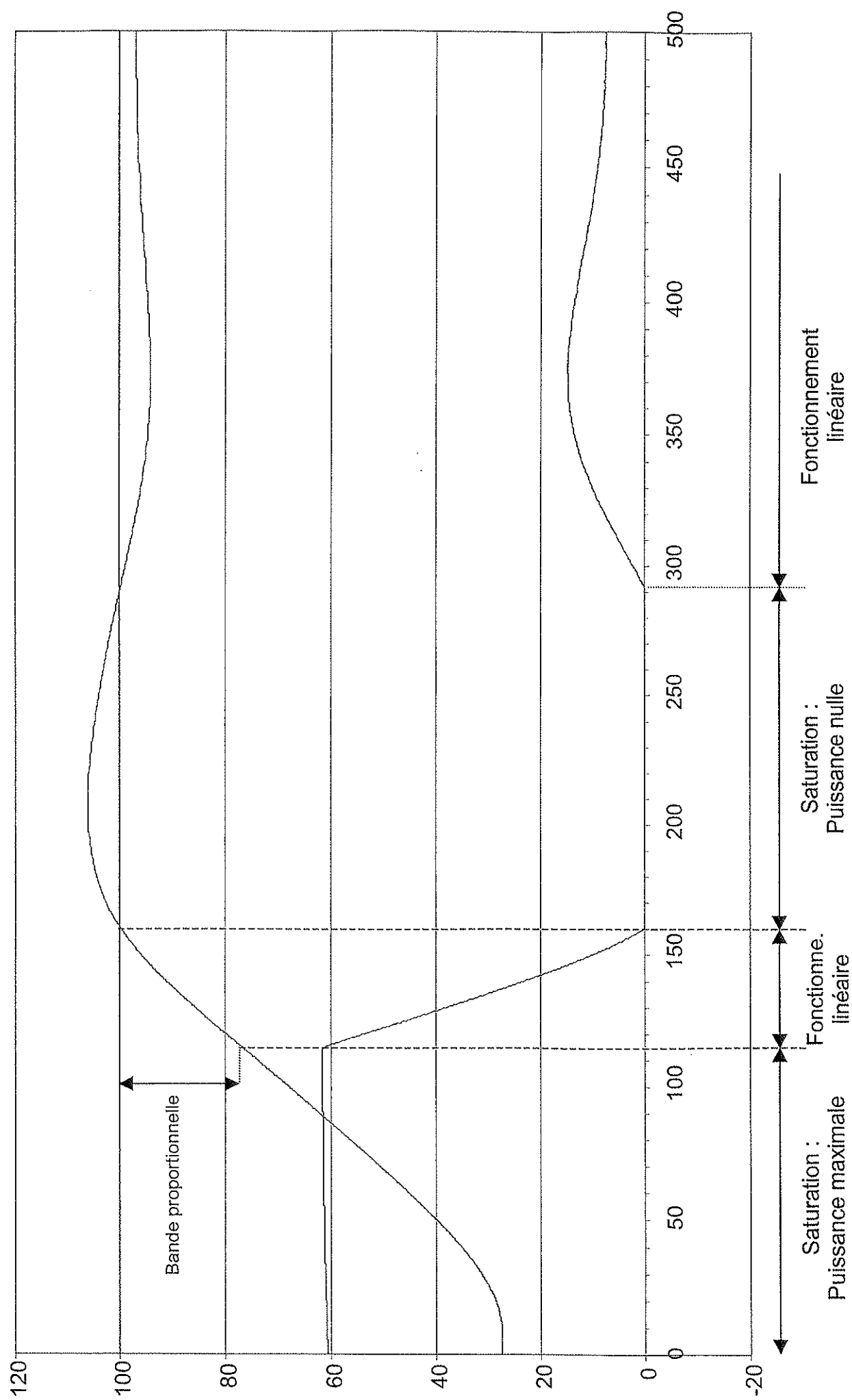


Tableau de résultats

Capteur	PT100-1	PT100-2	PT100-3
$\Delta\theta_{com}$ (°C)	44,5 °C	44,6 °C	45 °C
Valeur théorique de A	3,65	3,06	2,59
Valeur finale théorique : $\Delta\theta_f$ (°C)	34,9 °C	33,6 °C	32,5 °C
Valeur finale expérimentale (°C)	33,7 °C	32,8 °C	33,5 °C
Vitesse maximale de montée de la température (°C/s)	0,827 °C/s	0,563 °C/s	0,384 °C/s
Dépassement relatif %	0,26	1,52	1,76

Courbes $\theta_{com}(t)$, $\theta_f(t)$ et P_f avec le capteur PT100-3 en fonctionnement saturé et linéaire.



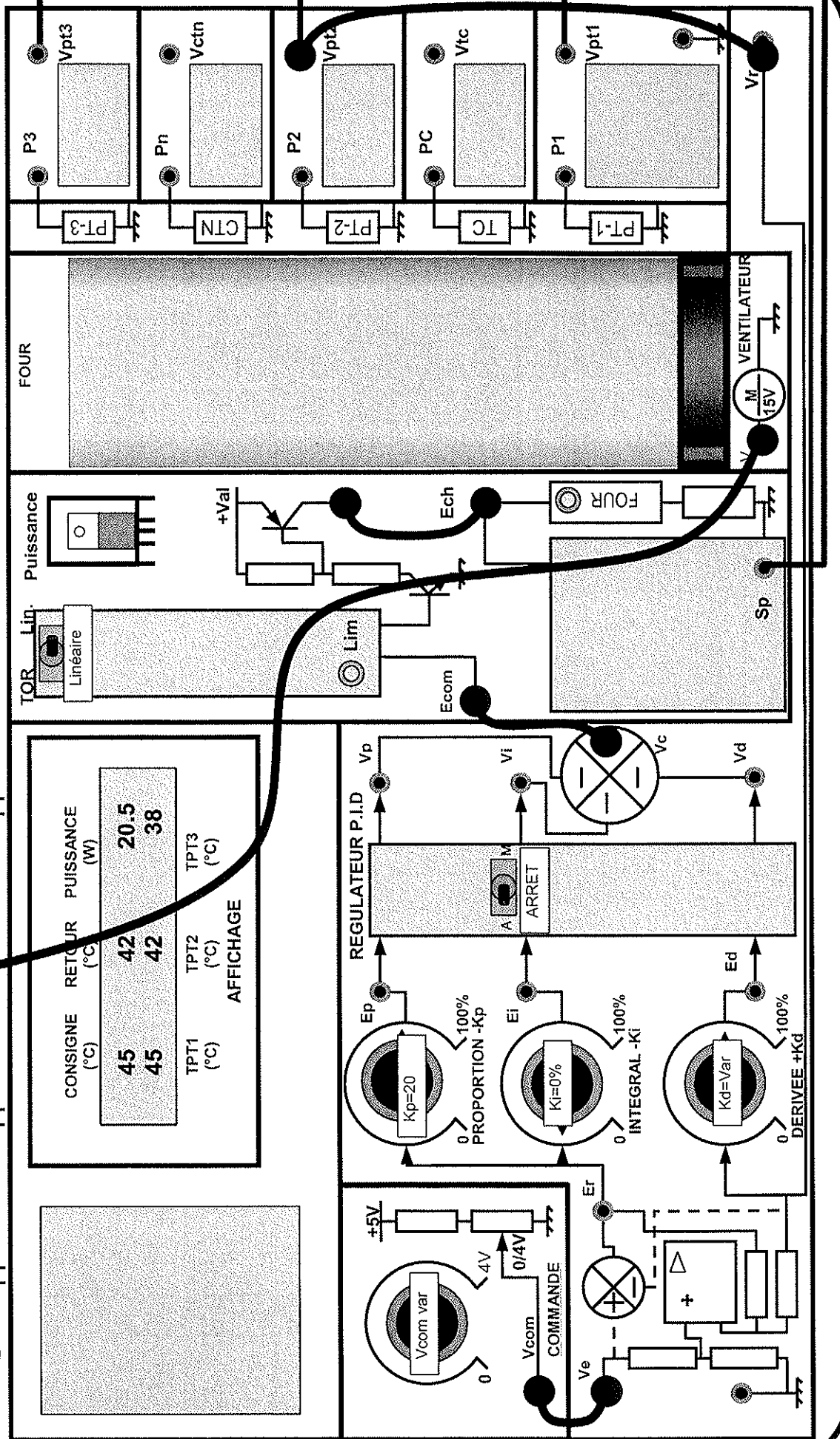
ALIMENTATION 30V

dms . didalab

Ref 3778

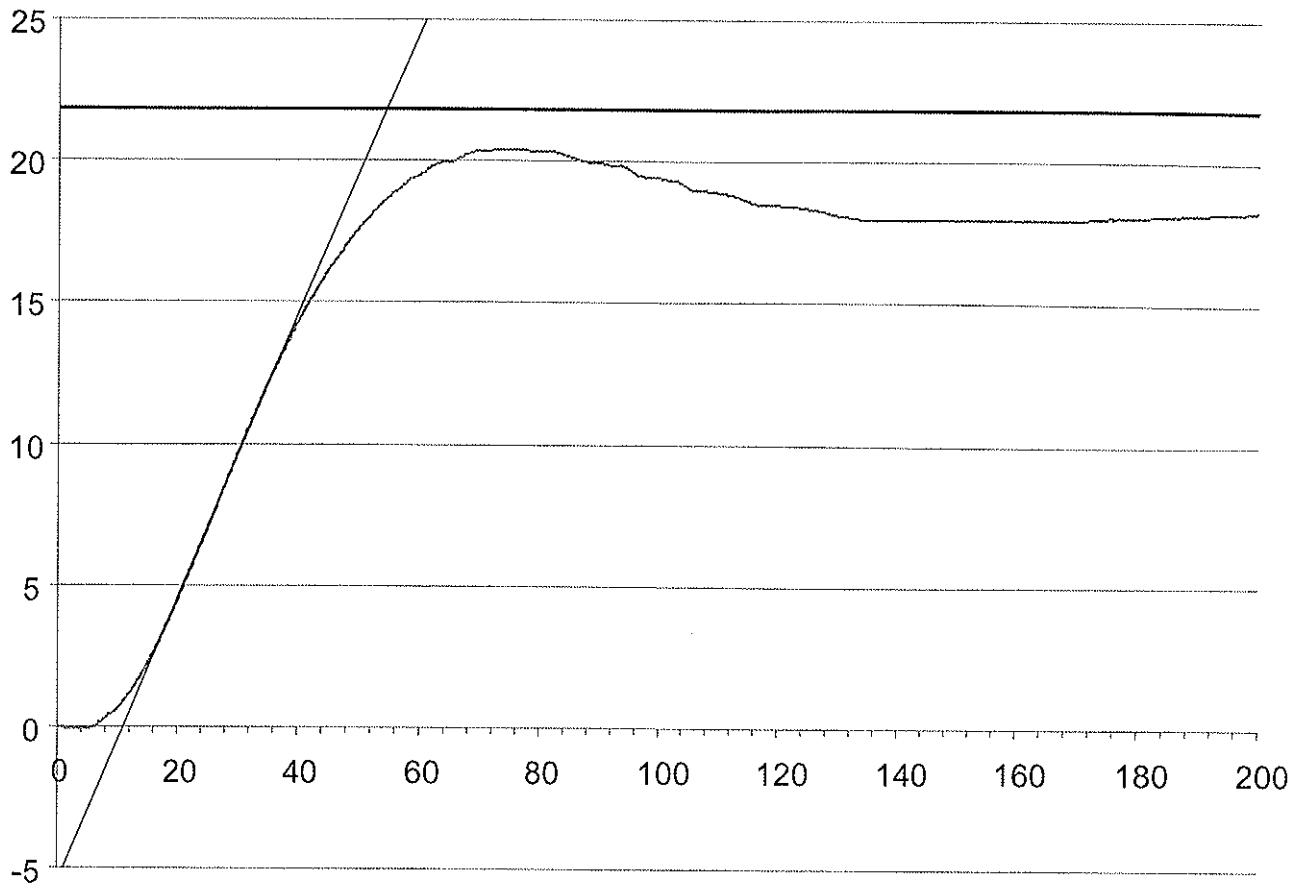
ASSERVISSEMENT DE TEMPERATURE

Dispositif d'acquisition

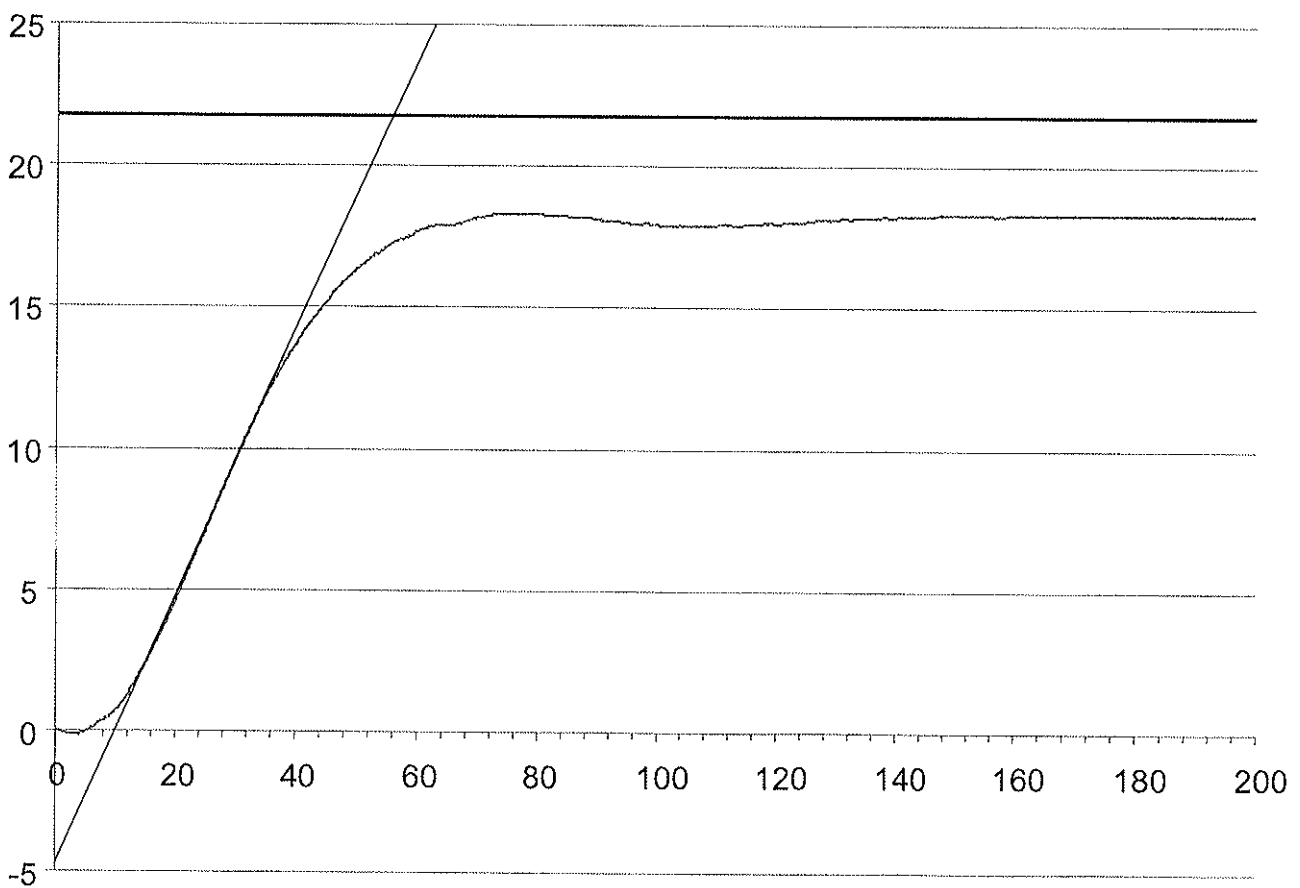


Asservissement avec correction proportionnelle-dérivée

Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ pour un coefficient d'amplification K_p de 20 et un coefficient dérivée de 0 %.



Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ pour un coefficient d'amplification K_p de 20 et un coefficient dérivée de 50 %.



Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ pour un coefficient d'amplification K_p de 20 et un coefficient dérivée de 100 %.

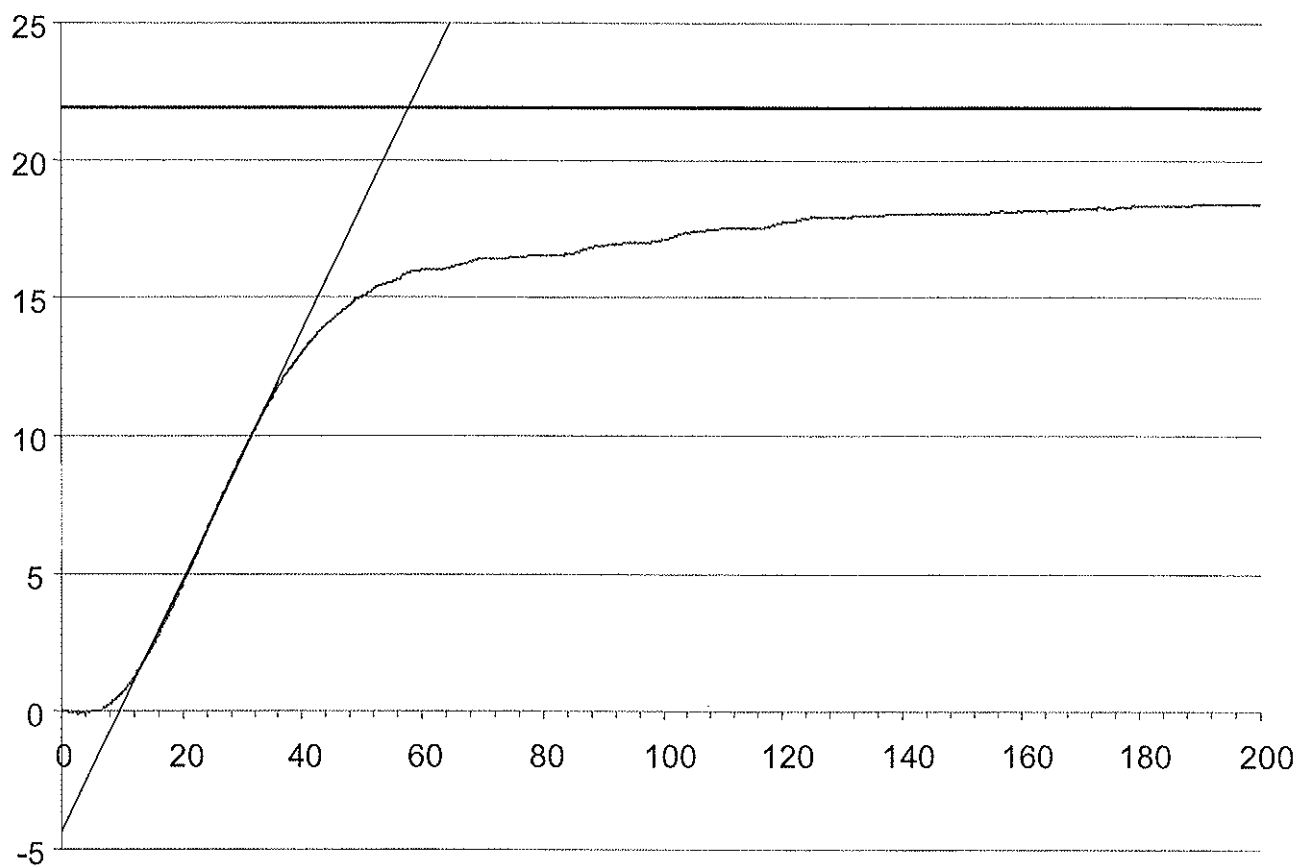


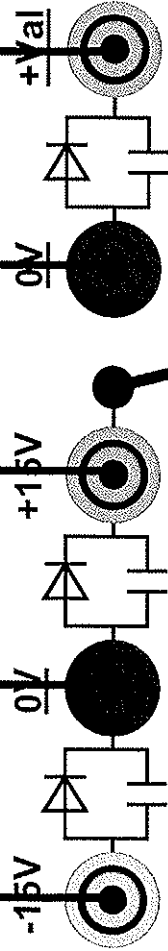
Tableau de résultats

Kd	0%	50%	100%
$\Delta\theta_{com} (^{\circ}\text{C})$	21,8 $^{\circ}\text{C}$	21,8 $^{\circ}\text{C}$	21,9 $^{\circ}\text{C}$
Valeur finale expérimentale ($^{\circ}\text{C}$)	18,3 $^{\circ}\text{C}$	18,3 $^{\circ}\text{C}$	18,4 $^{\circ}\text{C}$
Vitesse maximale de montée de la température ($^{\circ}\text{C/s}$)	0,501 $^{\circ}\text{C/s}$	0,474 $^{\circ}\text{C/s}$	0,455 $^{\circ}\text{C/s}$
Dépassement relatif %	11,9 %	0,68 %	0

MONTAGE 4 : Asservissement avec correction proportionnelle-intégrale

ALIMENTATION +15V / -15V

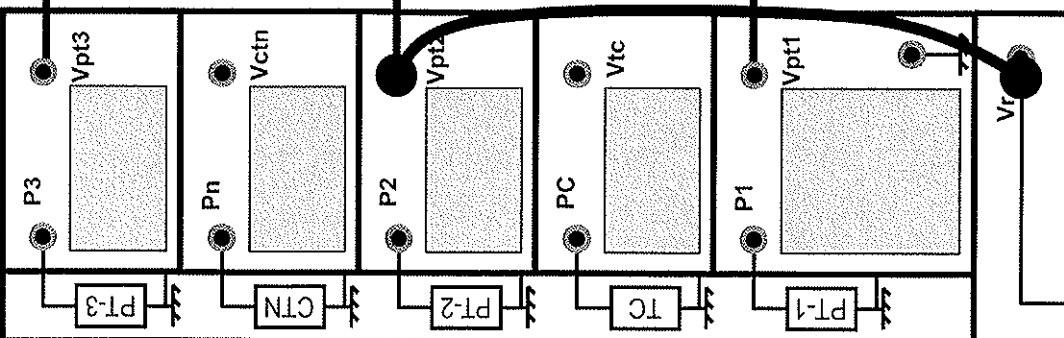
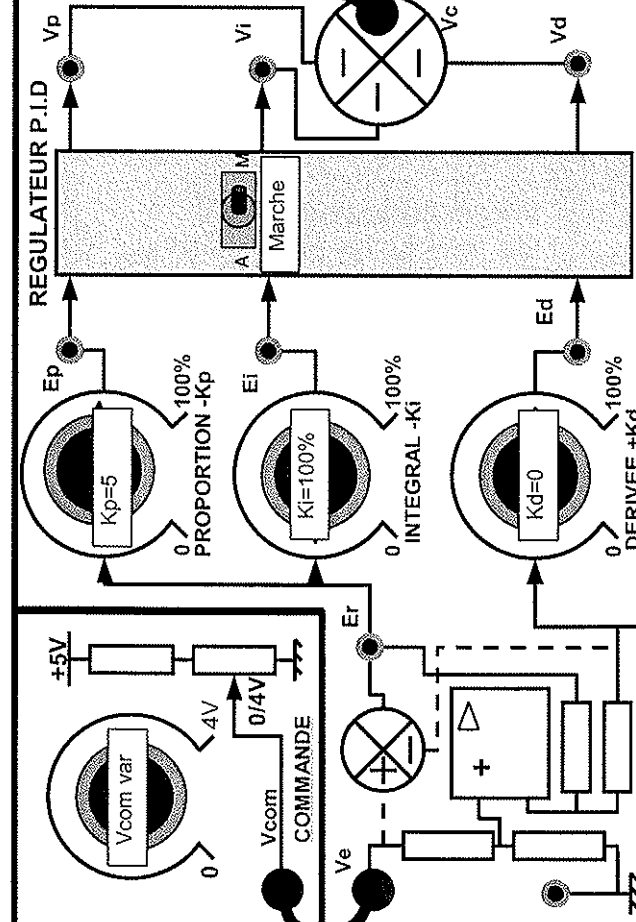
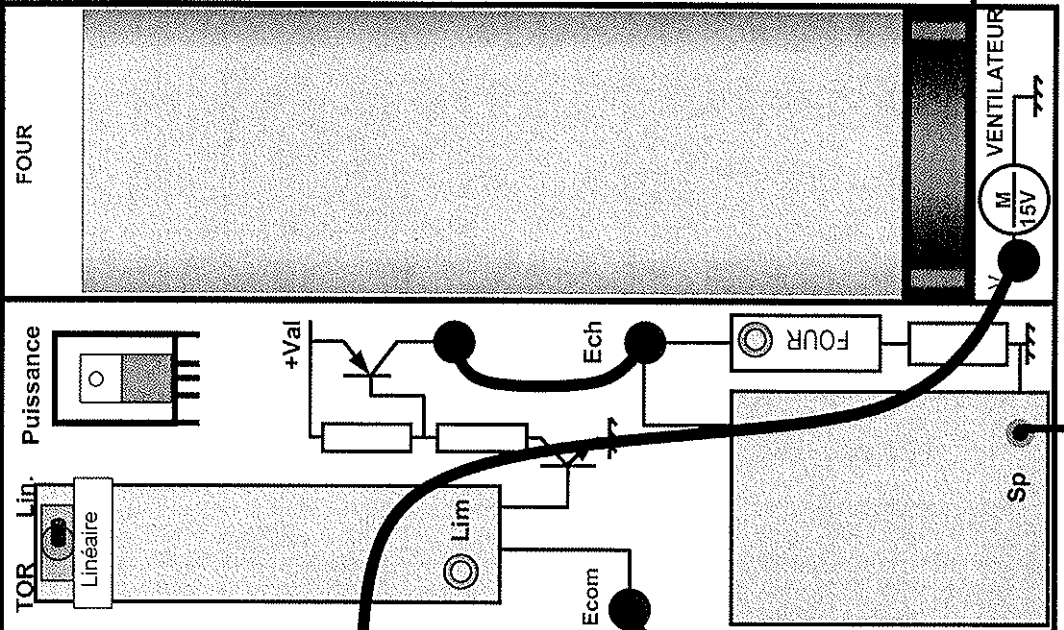
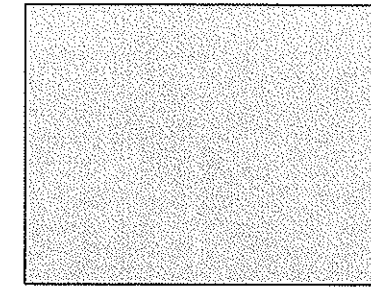
ALIMENTATION 30V



Ref 3778 **dms . didalab**
ASSERVISSEMENT DE TEMPERATURE

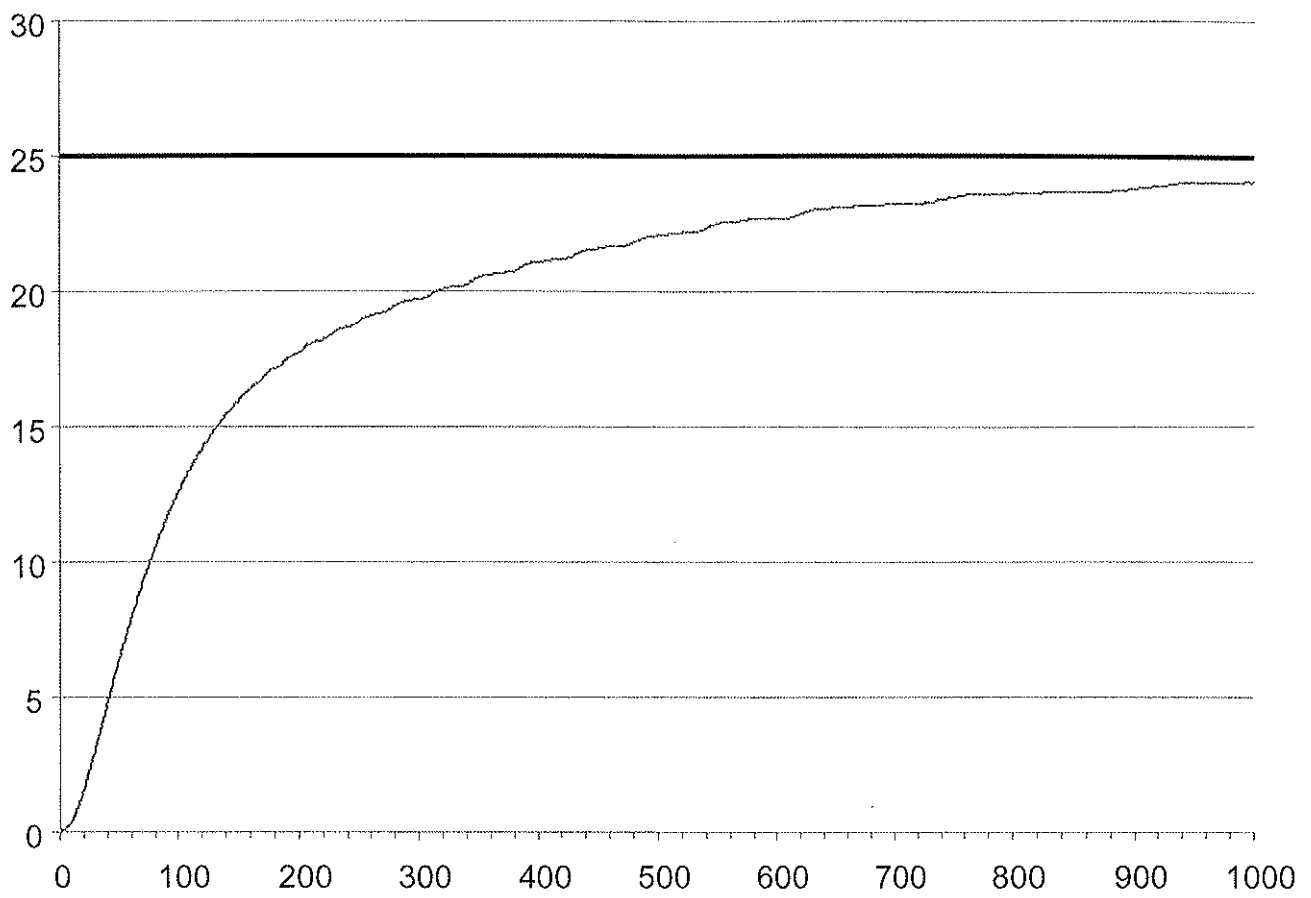
CONSIGNE (°C)	RETOUR (°C)	PUISSANCE (W)	TPT1 (°C)	TPT2 (°C)	TPT3 (°C)
45	42	20.5	42	42	38

AFFICHAGE



Dispositif d'acquisition

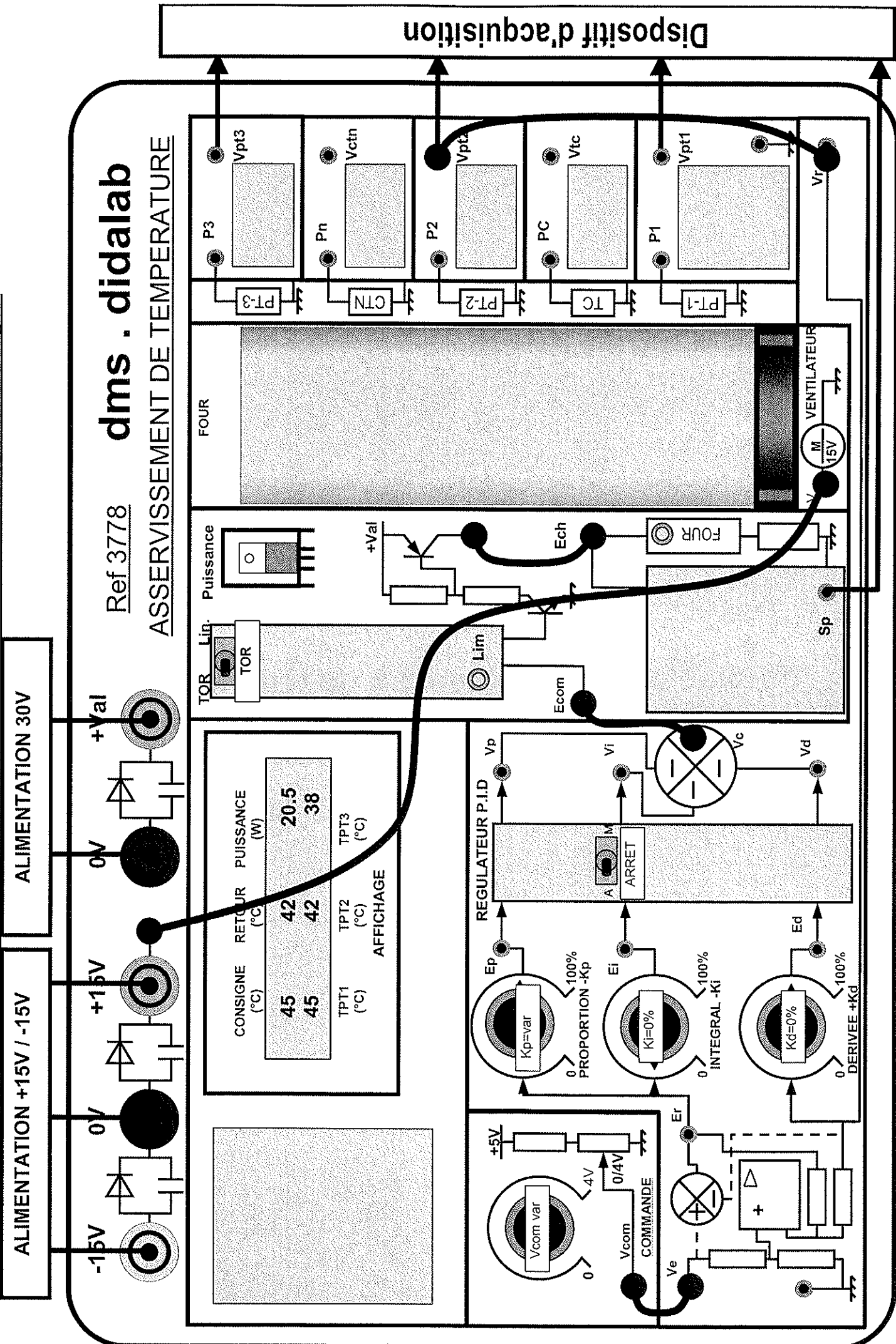
Courbes $\Delta\theta_{com}(t)$ et $\Delta\theta_f(t)$ pour un coefficient d'amplification K_p de 5 et un coefficient intégral de 100 %.



ANNEXE 6

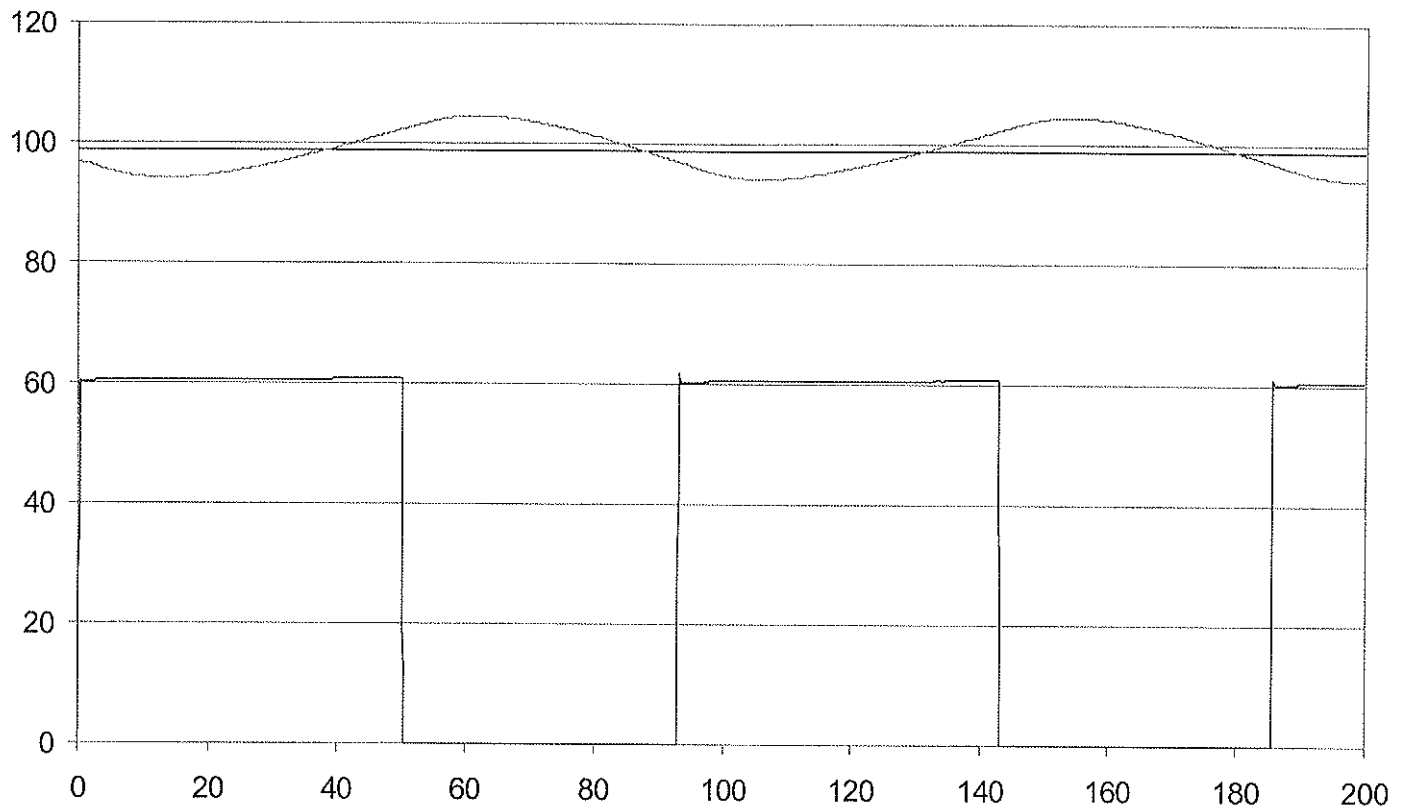
**Etude d'un asservissement de température en
fonctionnement tout ou rien (TOR)**

MONTAGE 1 : Asservissement en fonctionnement tout ou rien : influence du gain

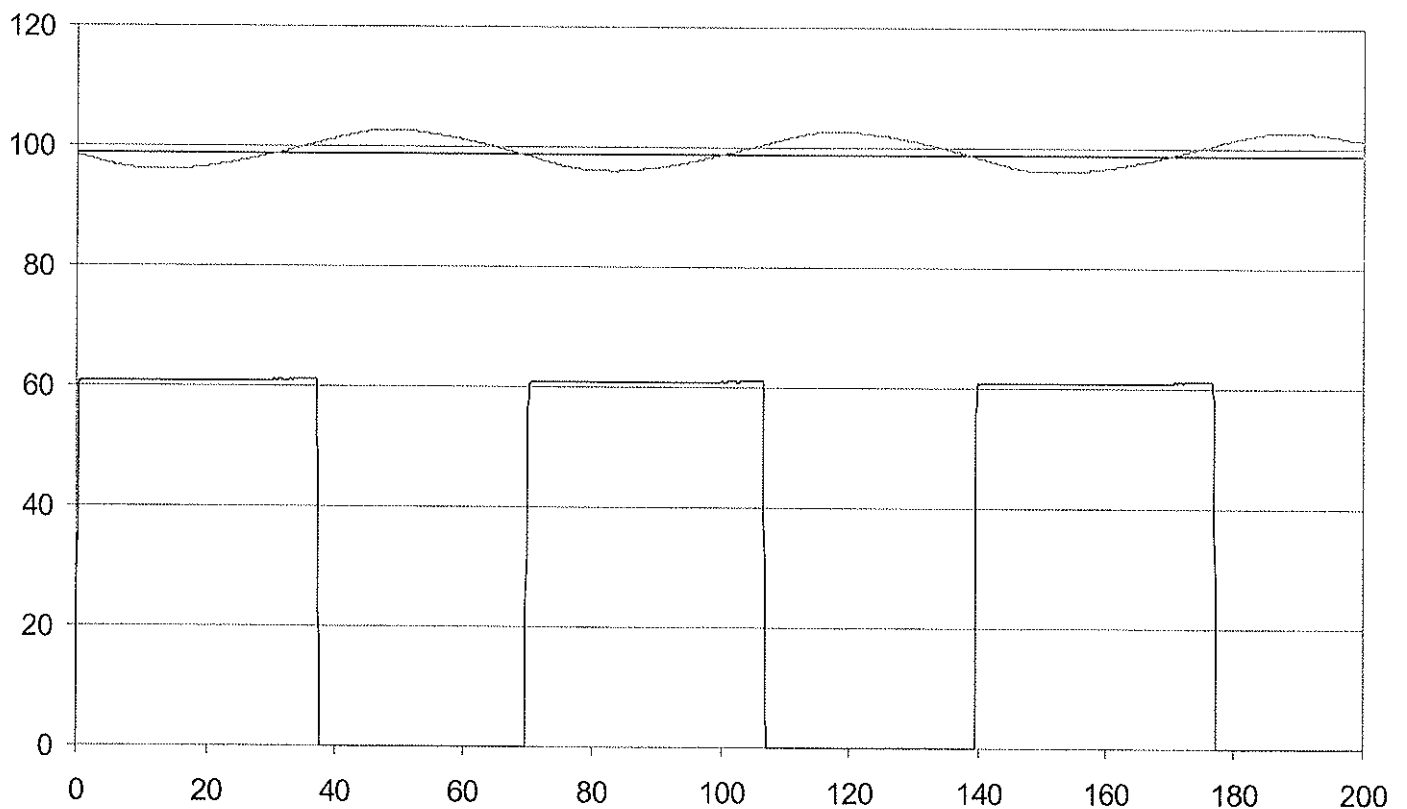


Asservissement en fonctionnement tout ou rien : influence du gain

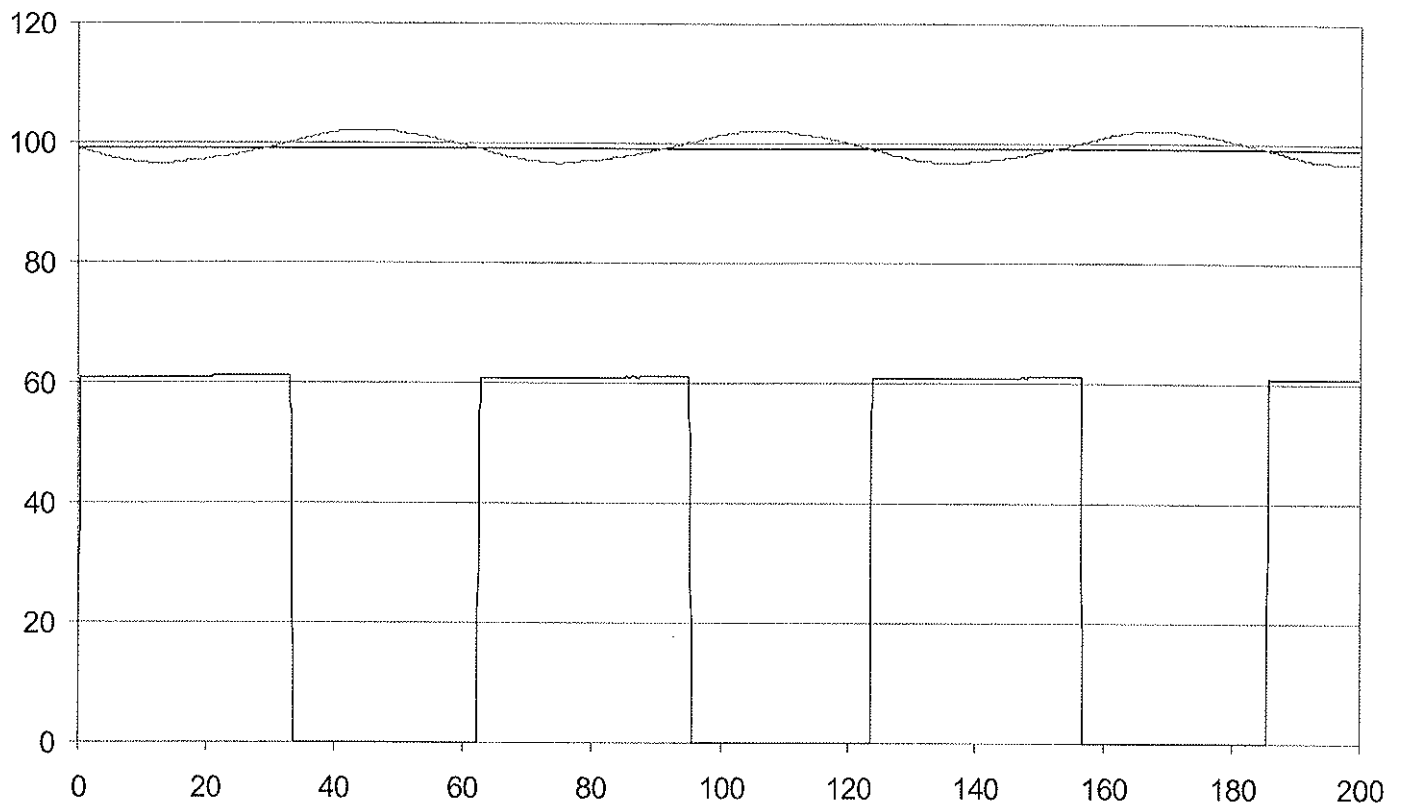
Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps pour un coefficient d'amplification $K_p = 5$.



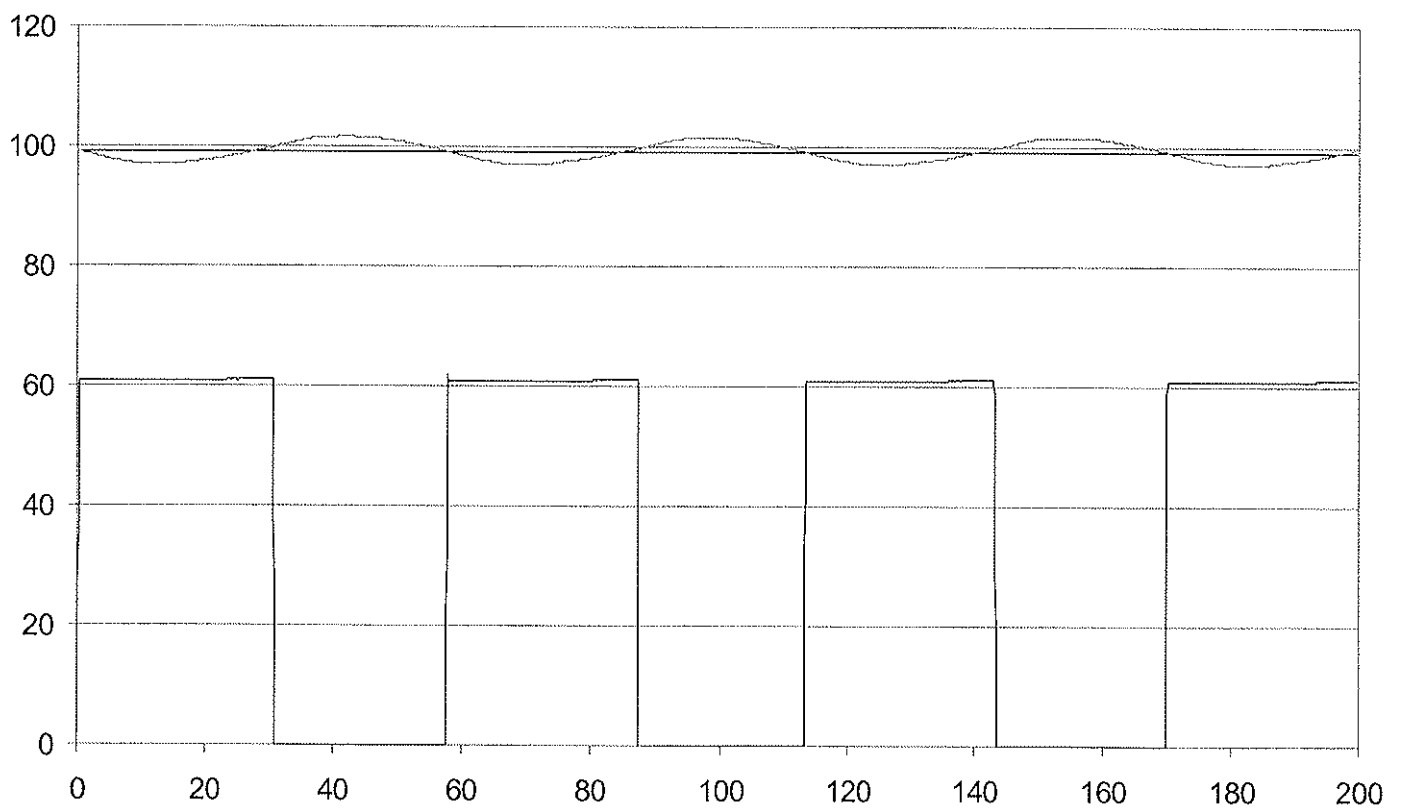
Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps pour un coefficient d'amplification $K_p = 10$.



Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps pour un coefficient d'amplification $K_p = 15$.



Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps pour un coefficient d'amplification $K_p = 20$.



- Tableau des résultats :

Kp	5	10	15	20
Température de basculement de 0 à P _{fmax} θ _{fb}	96,9 °C	98,5 °C	99,0 °C	99,2 °C
Température de basculement de P _{fmax} à 0 θ _{fh}	102,4 °C	100,6 °C	100,2 °C	99,8 °C
Hystérésis : (θ _{fh} - θ _{fb})	5,5 °C	2,1 °C	1,2 °C	0,6 °C
Température maximale θ _{fmax}	104,6 °C	102,6 °C	102,1 °C	101,6 °C
Température minimale θ _{fmin}	94,1 °C	96,0 °C	96,6 °C	97,0 °C
Ondulation : (θ _{fond} =θ _{fmax} -θ _{fmin})	10,5 °C	6,6 °C	5,5 °C	4,6 °C

MONTAGE 2 : Asservissement en fonctionnement tout ou rien : influence de la position du capteur

ALIMENTATION +15V / -15V

ALIMENTATION 30V

-15V

0V

+15V

+Val

dms . didalab

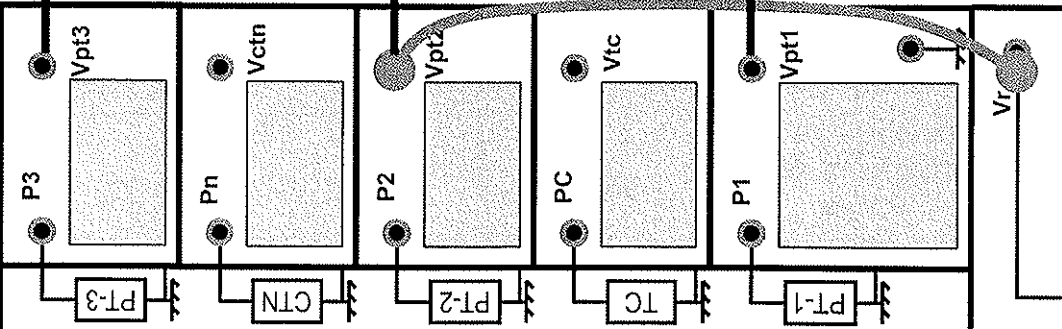
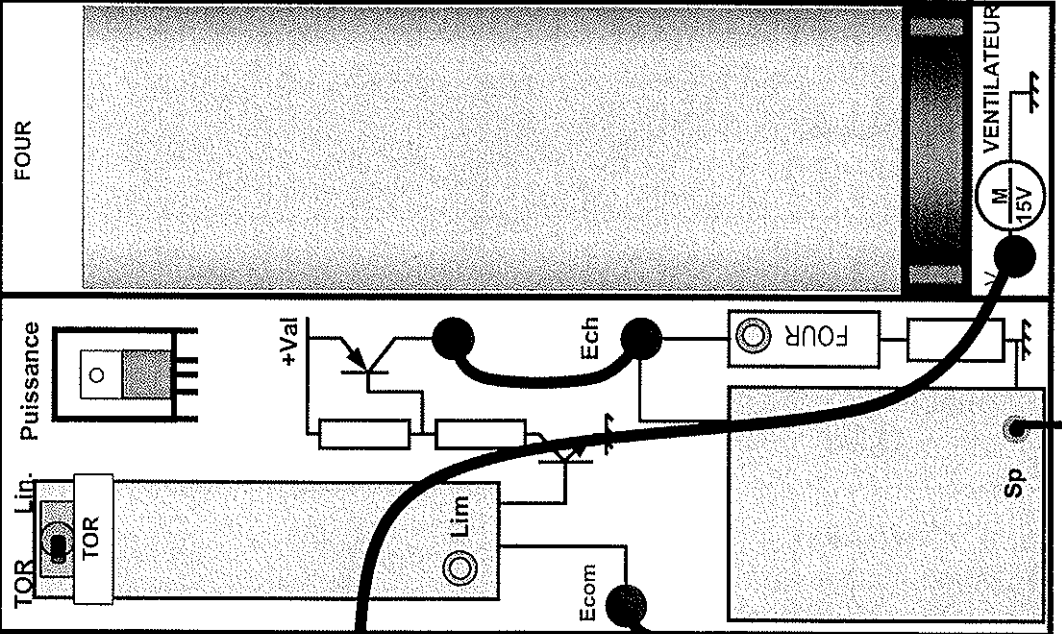
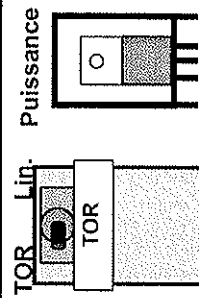
Ref 3778

ASSERVISSEMENT DE TEMPERATURE

CONSIGNE (°C)	RETOUR (°C)	PUISSANCE (W)	TPT3 (°C)
45	42	20.5	38
45	42		



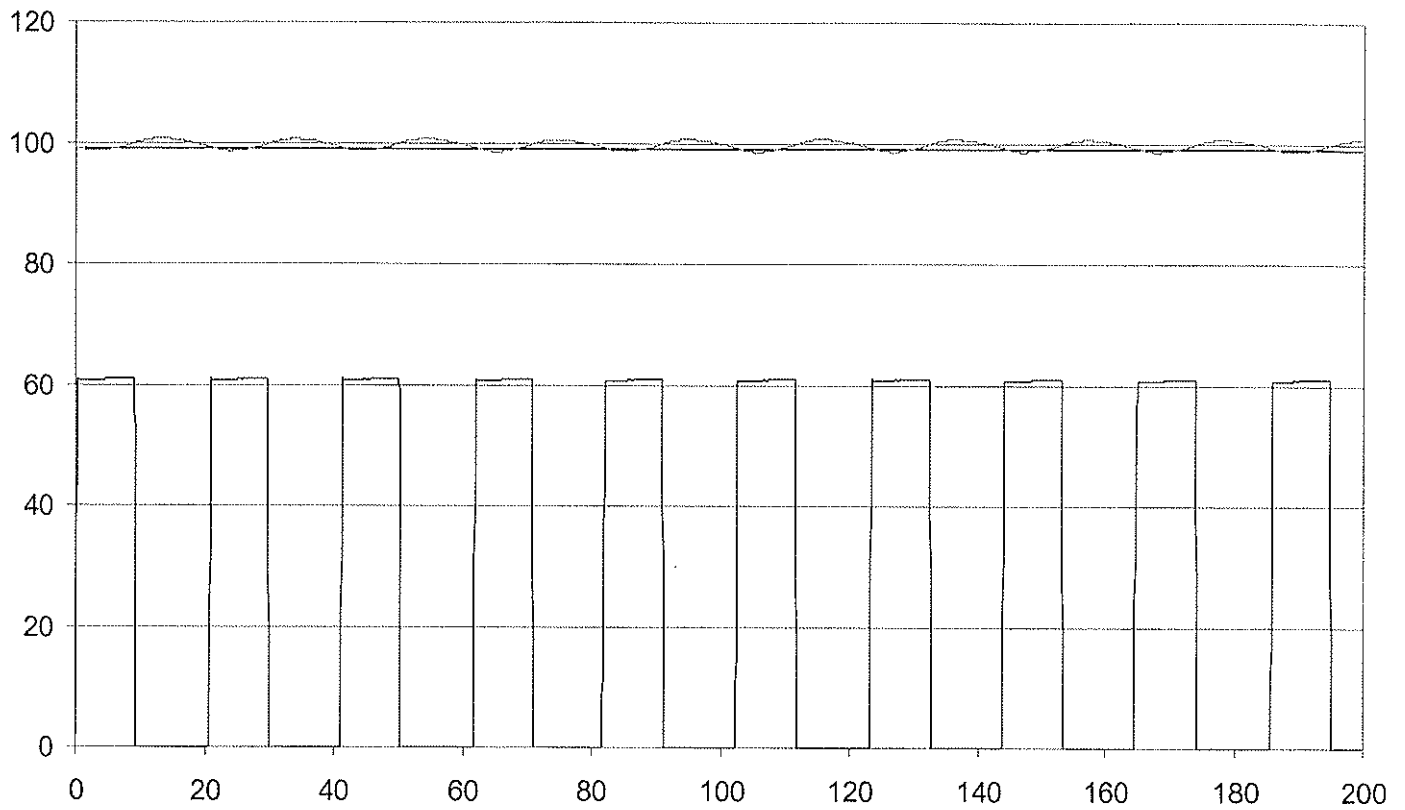
AFFICHAGE



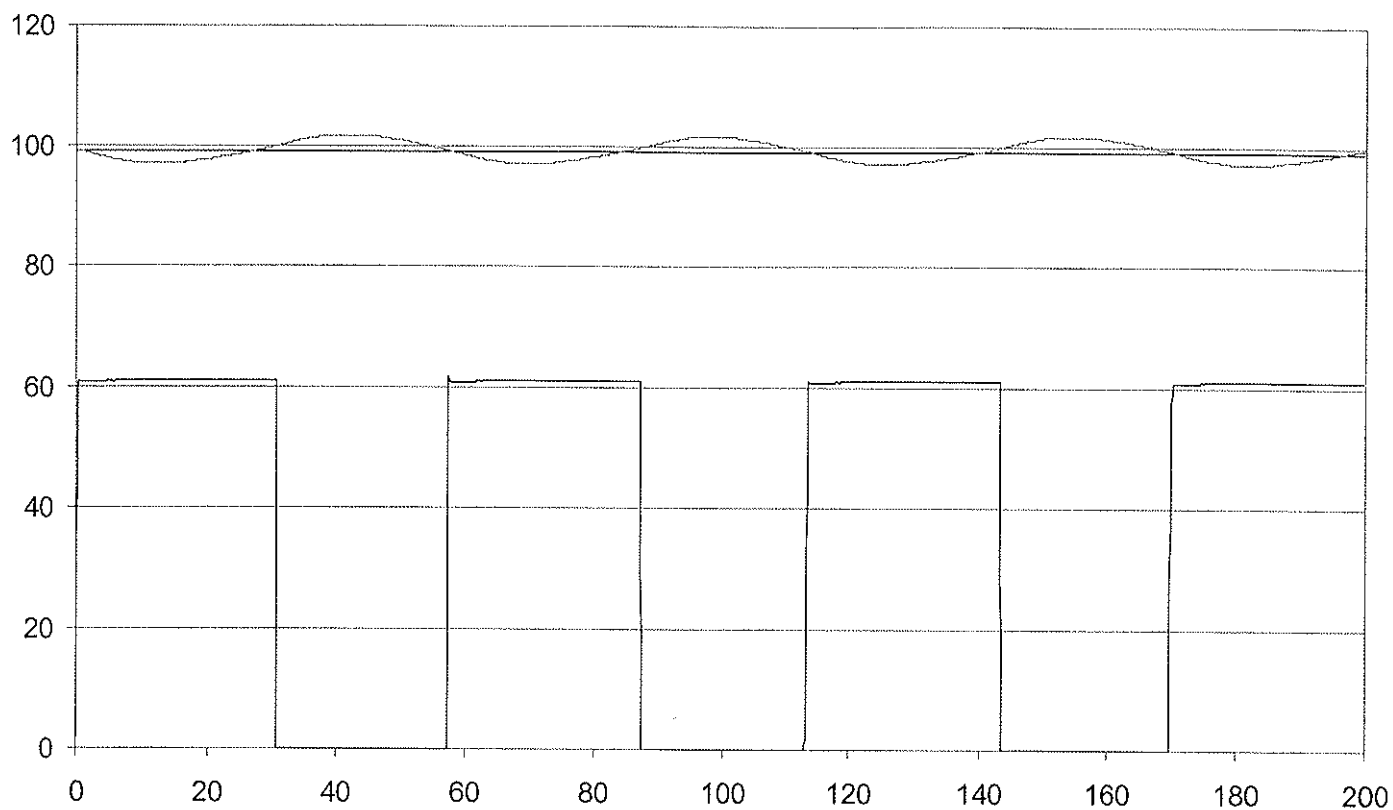
Dispositif d'acquisition

Asservissement en fonctionnement tout ou rien : influence de l'emplacement du capteur

Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps : asservissement sur le capteur PT100-1.



Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps : asservissement sur le capteur PT100-2.



Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps : asservissement sur le capteur PT100-3.

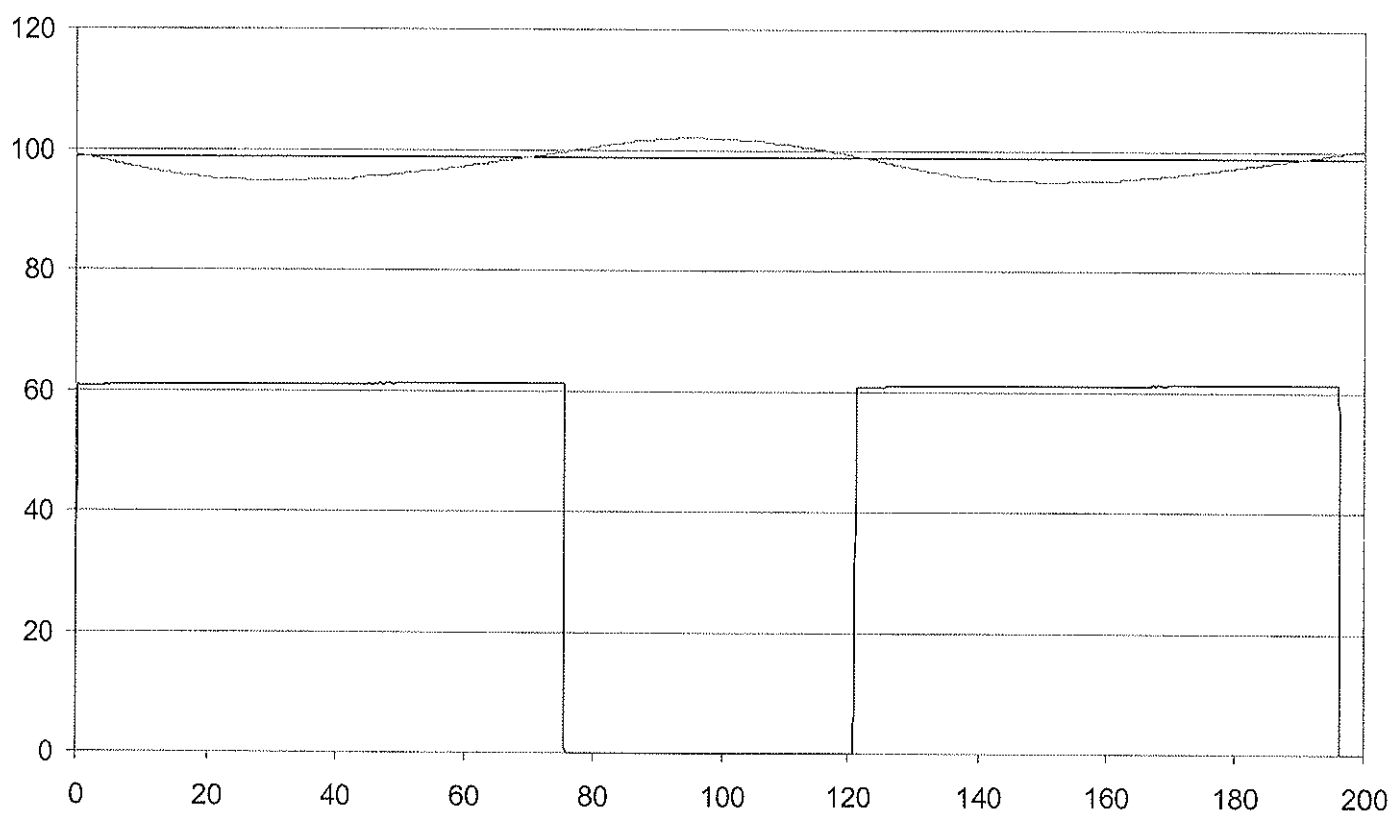
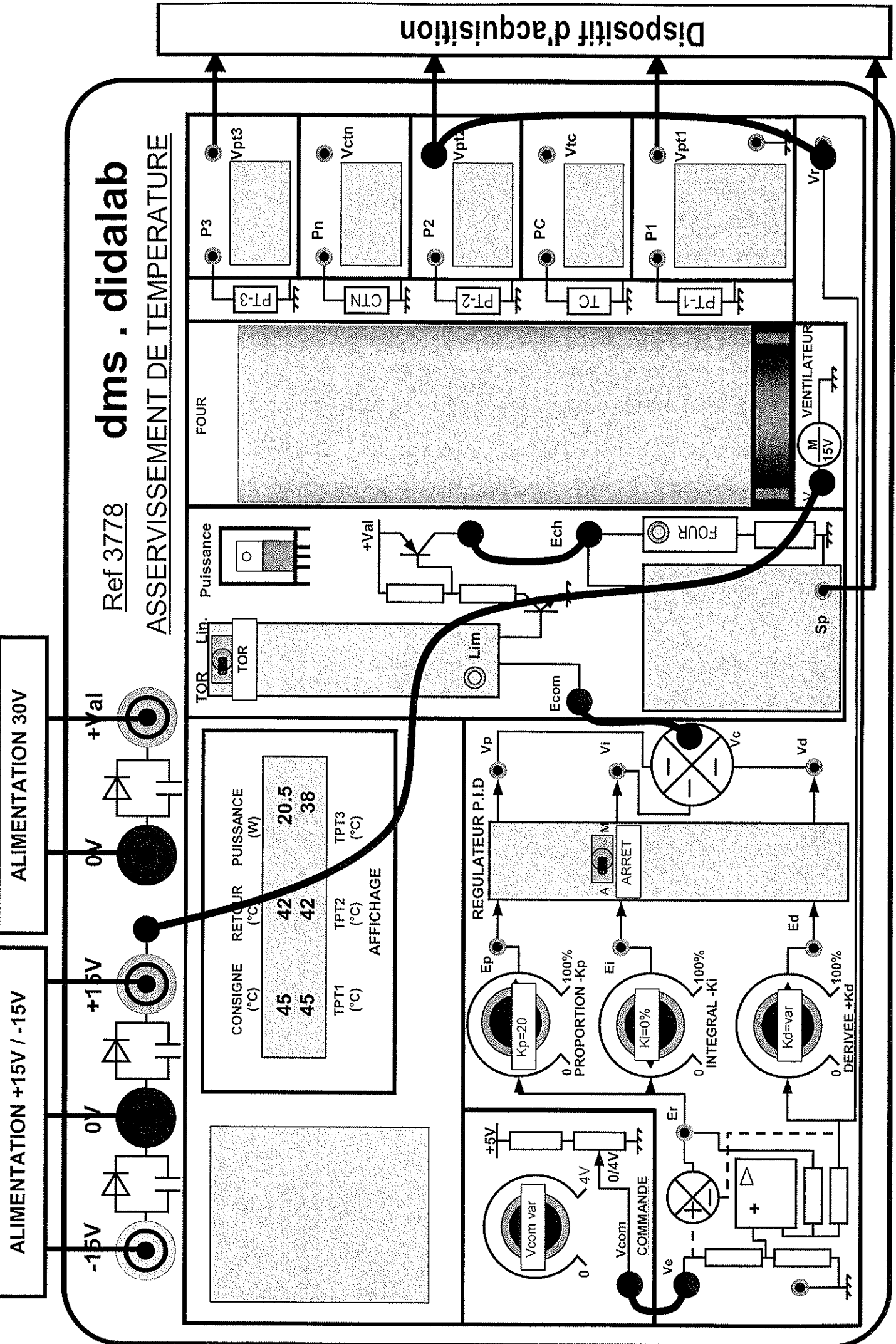


Tableau des résultats :

Kp	TPT100-1	TPT100-2	TPT100-3
----	----------	----------	----------

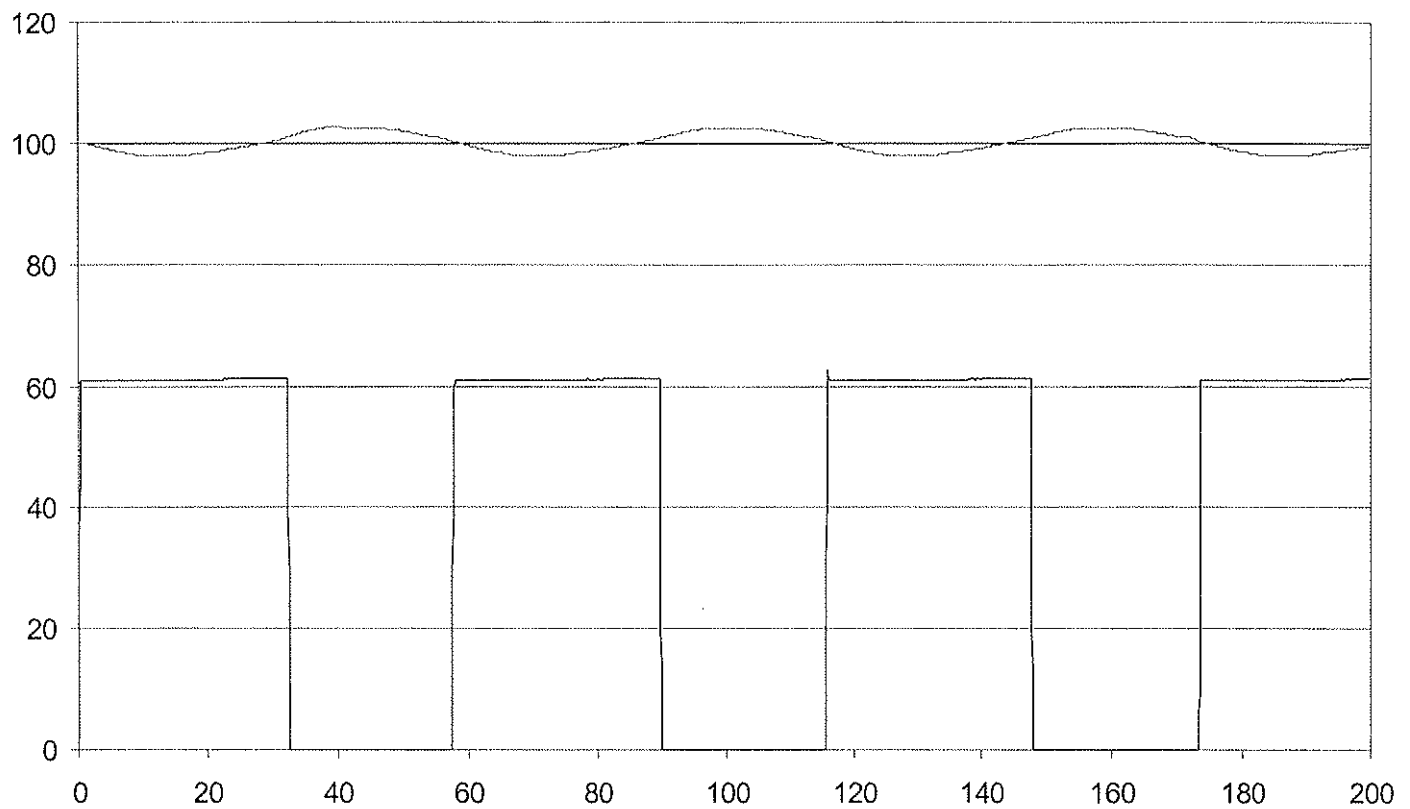
Température de basculement de 0 à P _{fmax} θ _{fb}	99,2 °C	99,2 °C	99,0°C
Température de basculement de P _{fmax} à 0 θ _{fh}	99,9 °C	99,8 °C	99,6 °C
Hystérésis : (θ _{fh} - θ _{fb})	0,7°C	0,6 °C	0,6 °C
Température maximale θ _{fmax}	100,6 °C	101,6 °C	102,1 °C
Température minimale θ _{fmin}	98,5 °C	97,0 °C	94,7 °C
Ondulation : (θ _{fond} =θ _{fmax} -θ _{fmin})	2,1 °C	4,6 °C	7,4 °C

MONTAGE 3 : Asservissement en fonctionnement tout ou rien : influence de la correction dérivée

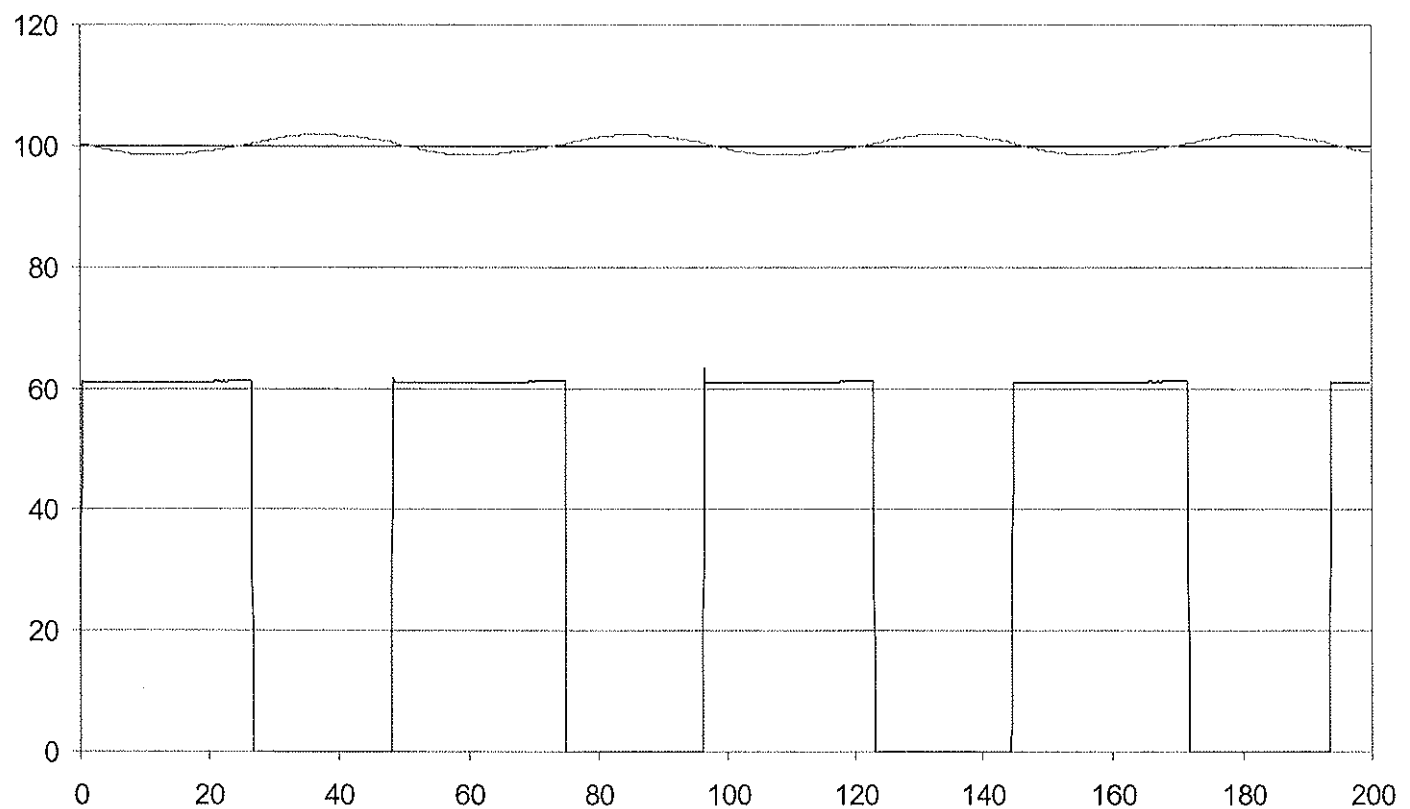


Asservissement en fonctionnement tout ou rien : influence de la correction dérivée

Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps, asservissement sur le capteur PT100-2. $K_d=0$



Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps, asservissement sur le capteur PT100-2. $K_d=50\%$



Courbes θ_{com} , θ_f et P_f en fonction du temps, asservissement sur le capteur PT100-2. $K_d=100\%$

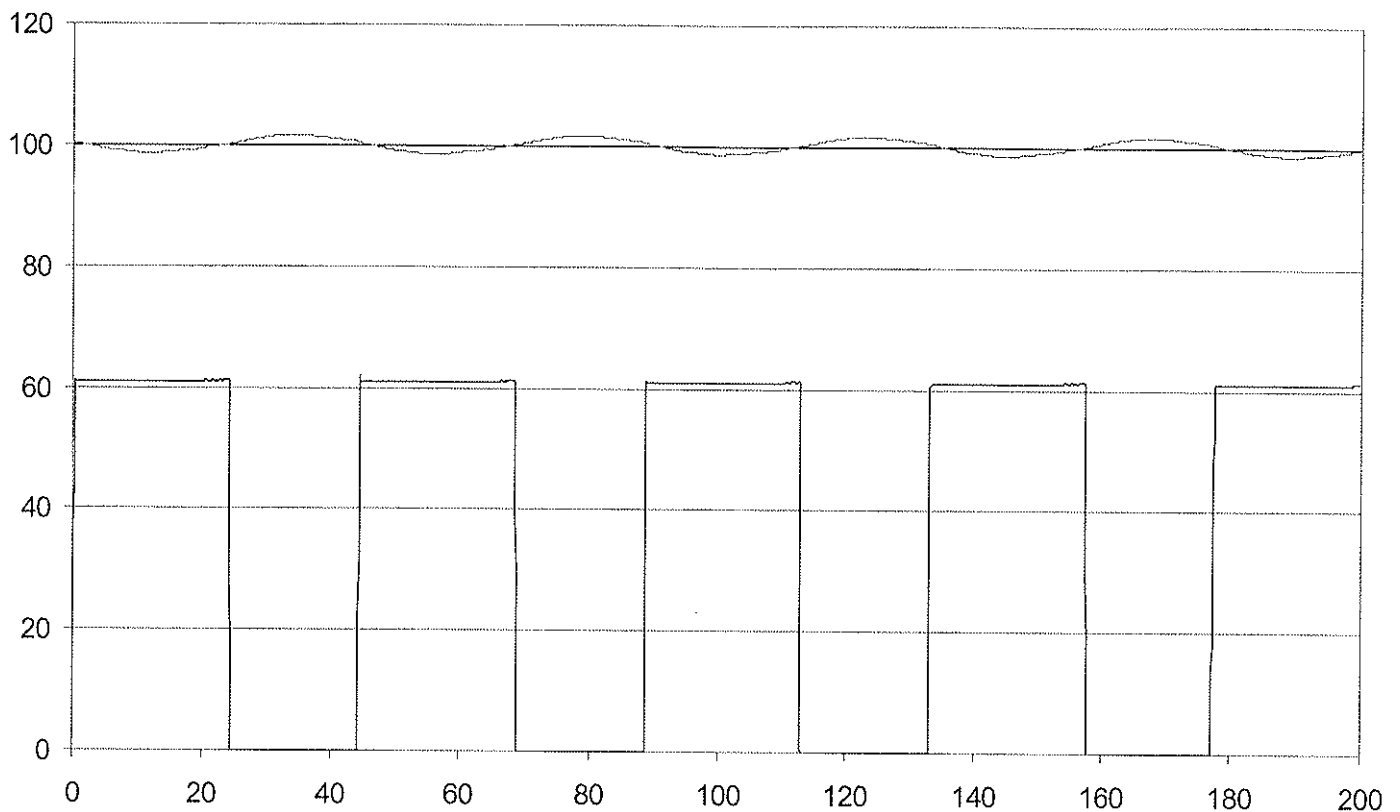


Tableau des résultats :

Kd	0	50 %	100%
Température de basculement de 0 à P_{fmax} θ_{fb}	100,9 °C	100,5 °C	100,5 °C
Température de basculement de P_{fmax} à 0 θ_{fh}	100,2 °C	100,1 °C	100,2 °C
Hystérésis : ($\theta_{fh} - \theta_{fb}$)	0,7 °C	-0,1 °C	-0,3 °C
Température maximale θ_{fmax}	102,7 °C	102,0 °C	101,6 °C
Température minimale θ_{fmin}	98,0 °C	98,5 °C	98,6 °C
Ondulation : ($\theta_{fond} = \theta_{fmax} - \theta_{fmin}$)	4,7 °C	3,5 °C	3,0 °C