



INSTITUT
NATIONAL
des SCIENCES
APPLIQUÉES



Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2008 – 039



Nom des étudiants

Chao LI

Xin Lu CHEN

Yue Fei HUANG

Mehdi LAZAAR

Alice AUBRAIS

Enseignant responsable du projet

M. CLEVERS



RÉGULATION DE TEMPÉRATURE



À TAILLE
HUMAINE
À L'ECHELLE
DU MONDE

Date de remise du rapport : 20/06/08

Référence du projet : STPI/P6-3/2008 – 039

Intitulé du projet : **Régulation de température**

Type de projet : **expérimental**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Ce projet consiste à concevoir et réaliser un régulateur de température. Celui-ci doit maintenir un bain d'eau à une température donnée (consigne). On doit donc faire un montage permettant, dans un premier temps, de mesurer la température dans le bain, puis, de chauffer le liquide si la température obtenue est inférieure à la consigne. Bien sûr cela demande une bonne organisation dans le groupe et une répartition du travail efficace car il y a beaucoup de choses à faire. Les objectifs sont donc, premièrement de réaliser une régulation de température, et deuxièmement de s'initier au travail en équipe dans le contexte de la réalisation de projet.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Méthodologie / organisation du travail.....	7
3. Travail réalisé et résultats	8
3.1. Les objectifs du montage	8
3.2. Le capteur à thermocouple.....	11
3.2.1. Le thermocouple	11
3.2.2. Le circuit intégré AD595	11
3.2.3. Les réglages	11
3.3. L'amplificateur	12
3.3.1. Relation de transfert.....	12
3.3.2. Courbe obtenue	13
3.4. La consigne.....	14
3.4.1. Courbe obtenue	15
3.5. Le comparateur	16
3.5.1. Relation de transfert.....	16
3.5.2. Etude de la diode Zener D1.....	17
3.5.3. Courbes obtenues.....	18
3.5.4. Analyse des courbes.....	19
3.6. Le relais statique	20
3.6.1. Le relais statique	20
3.6.2. Le thermoplongeur	20
4. Conclusion et perspectives	21
5. Bibliographie	22
6. Annexes : documentation technique	23
6.1. Schéma du circuit intégré d'Analog Device	23
6.2. Schéma du relais statique	23

NOTATIONS, ACRONYMES

Les notations de tensions utilisées dans ce dossier sont toutes détaillées sur les montages dans la partie « travail réalisé et résultats ». En voici un récapitulatif :

- U_c : tension en sortie du capteur
- U_e : tension en sortie de l'amplificateur
- U_r : tension en sortie de la consigne
- U_s : tension en sortie du comparateur
- U_p : tension en entrée du relais statique
- U_d : tension en sortie du relais statique

Par ailleurs, T_f désigne la température du fluide et T_r la température voulue par l'utilisateur.

1. INTRODUCTION

Dans la vie quotidienne, on a souvent besoin de contrôler une température. On peut trouver des régulateurs de température dans les couveuses, à la piscine, au laboratoire ...

Dans le but de réaliser ce modèle, nous choisissons le sujet «RÉGULATION DE TEMPÉRATURE» . Nous sommes un groupe de cinq et nous nous réunissons tous les jeudis matin de 8h à 9h30 dans le laboratoire de physique au bâtiment D1.

Dans ces Travaux Pratiques, nous souhaitons réguler la température de chauffage d'un liquide (eau) dans un contenu à partir d'une consigne donnée. Après les conseils du professeur M. Clevers et l'étude des documents qu'il nous a donnés, nous décidons de nous diviser en deux groupes. L'un s'occupe de la partie «le capteur de température» et l'autre de la partie «la consigne de température et l'élément comparaison ».

Nous suivons les procédures suivantes:

- Le capteur a pour but de mesurer la grandeur physique réglée.
- La consigne indique la température que l'on veut obtenir.
- L'élément « comparaison » aide à comparer la grandeur à partir de la consigne pour élaborer le signal de commande.

Ces 3 procédures nécessitent de faire appel aux connaissances acquises lors des enseignements de travaux pratiques et de cours magistraux des 2ème et 3ème semestres (P3, P6-1 et P6-2). Le déroulement de ce projet demande beaucoup de patience, de soin, de sérieux et d'esprit d'équipe.

Cependant, notre professeur M. Clevers nous donne plein d'informations et nous renseigne bien. Nous le remercions sincèrement.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Lors de la première séance, nous avons pris connaissance du sujet et du principe général de fonctionnement de la régulation de température, ainsi que des méthodes utilisées et des appareils. Suite à cela, nous avons établi le schéma synoptique du montage recherché.

Ensuite, nous avons trouvé qu'une répartition des tâches était la clé du bon déroulement de ce projet. Après les conseils de notre professeur Monsieur Clevers, nous avons décidé de séparer notre groupe en deux pour que le travail soit beaucoup plus efficace.

En considérant les capacités de chaque membre du groupe et la difficulté de la langue pour les étrangers, nous avons préféré nous répartir en deux groupes contenant un français chacun.

Finalement, le plan est le suivant :

- Groupe « filles » (Alice AUBRAIS , Xinlu CHEN, Yuefei HUANG) :

- A partir de la notice du capteur «CIRCUIT AD 595 ANALOG DEVICES » et du schéma donné(Voir l'annexe), étalonnage du capteur de température en agissant sur les potentiomètres respectifs.
- En reliant la sortie du capteur à un AOP, réalisation d'un amplificateur de tension afin d'obtenir des volts et déterminer le gain de l'ampli.

- Groupe « garçons » (Mehdi LAZAAR , Chao LI) :

- A partir d'un pont diviseur de tension, détermination de la consigne.
- Enfin réalisation d'un montage qui commandera le chauffage ou pas (tout ou rien) du bain.

- Ensemble :

- Rédaction du rapport.
- Au début de chaque séance, nous faisons le point sur l'avancement du projet et sur ce qu'il va falloir faire pendant l'heure et demie.

3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

Comme nous l'avons expliqué, nous avons travaillé sur plusieurs points en parallèle, c'est pourquoi nous avons choisi un plan thématique. Celui-ci n'est pas donc pas en fonction de la chronologie du travail effectué.

3.1. Les objectifs du montage

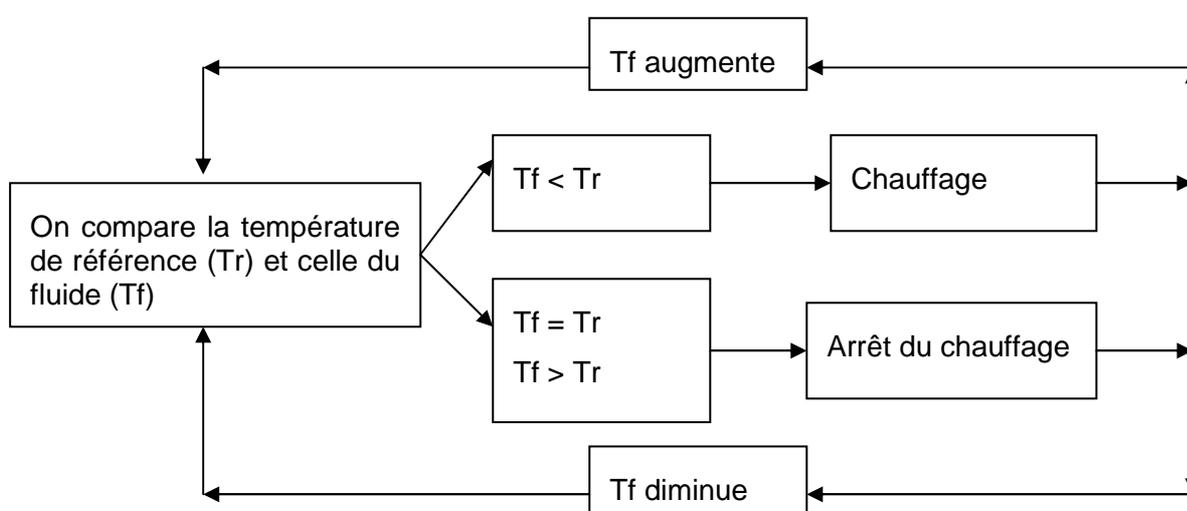
L'objectif de ce montage est de réguler la température d'un fluide, c'est-à-dire de maintenir sa température proche d'une valeur de référence, fixée par l'utilisateur.

Notre montage doit donc nous permettre de réaliser les 3 actions suivantes :

- Relever la température du fluide au cours du temps
- Imposer la température que l'utilisateur désire
- Chauffer le fluide jusqu'à la température désirée

Pour cela, nous disposons en début de chaîne d'un capteur à thermocouple permettant de relever la température du liquide et en fin de chaîne d'une résistance chauffante, permettant de chauffer de fluide, mais uniquement de façon uniforme.

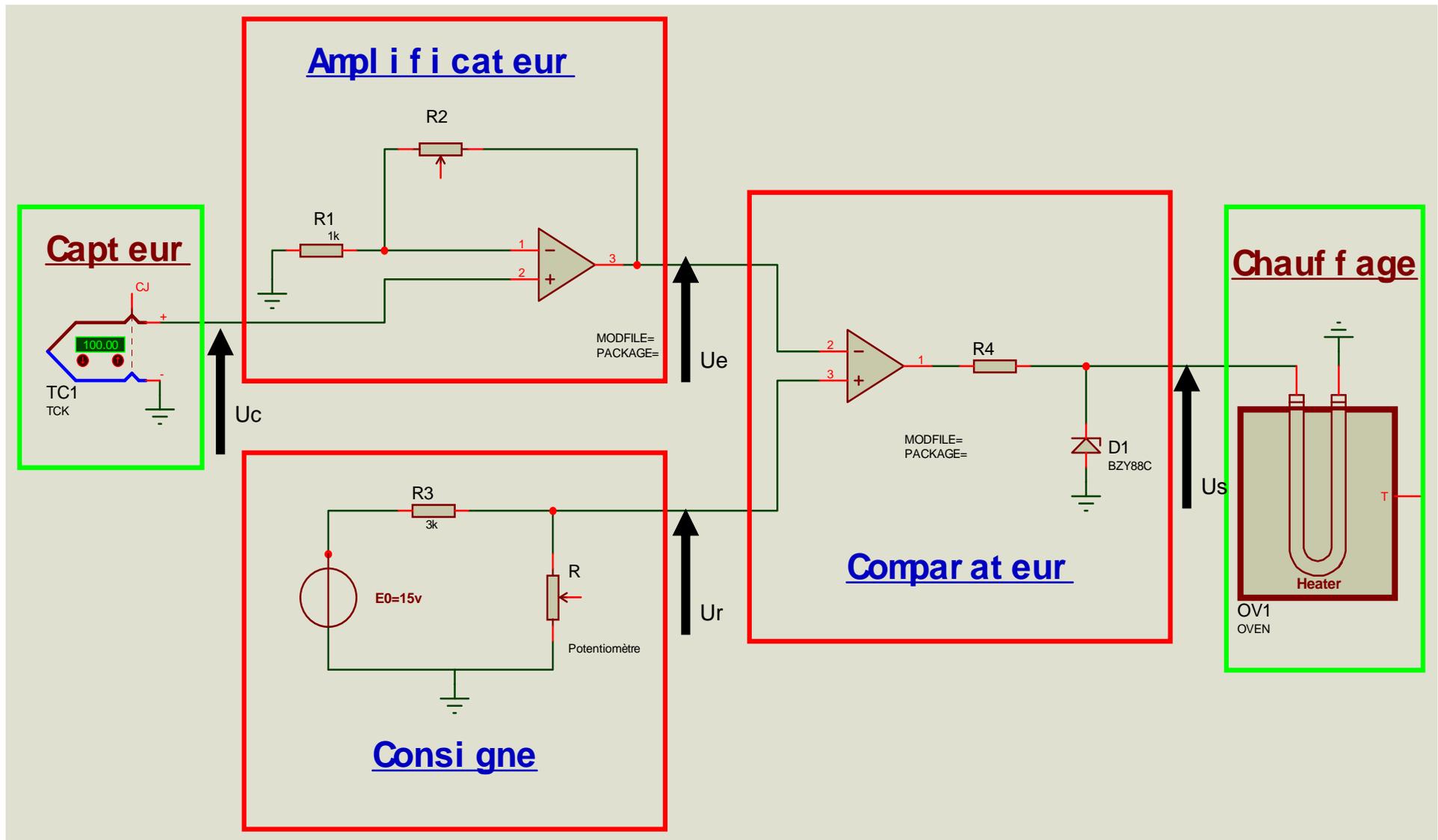
Cette dernière caractéristique nous impose donc d'utiliser une régulation tout ou rien, c'est-à-dire que la stabilisation autour de la valeur de référence imposée par l'utilisateur va se faire par la suite d'actions suivantes :



La partie centrale de notre montage est donc le comparateur. Cependant, pour pouvoir comparer les 2 grandeurs T_r et T_f , il faut que celles-ci soient à la même échelle : ce sera l'objectif de l'amplificateur.

Notre montage (Cf. page suivante) se décompose donc en 5 parties :

- 1) Le capteur à thermocouple : son objectif est de transformer une grandeur physique (la température du fluide) en une tension mesurable U_c .
- 2) La consigne : la valeur souhaitée de la température est fournie par réglage d'un potentiomètre. L'utilisateur entre donc une valeur de résistance, nous obtenons donc en sortie du pont diviseur de tension une tension U_r , représentant la température désirée.
- 3) L'amplificateur : U_c étant trop faible, donc non comparable avec U_r , l'amplificateur renvoie en sortie une tension U_e , du même ordre de grandeur que U_r .
- 4) Le comparateur : Il compare U_e et U_r et renvoie en sortie une tension crête U_s .
- 5) Le chauffage : En fonction de U_s , le chauffage se déclenche ou s'arrête.

Montage réalisé :

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN

Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur

BP 8 – place Emile Blondel - 76131 Mont-Saint-Aignan - tél : 33 2 35 52 83 00 - fax : 33 2 35 52 83 69

3.2. Le capteur à thermocouple

3.2.1. Le thermocouple

Par commodité, nous avons choisi d'utiliser un thermocouple de type K (nickel et chrome) comme capteur de température. Un thermocouple est un circuit composé de deux matériaux conducteurs reliés entre eux par deux jonctions (ou soudures). Ce dispositif s'appuie sur l'effet Seebeck : une différence de température entre les deux jonctions crée une tension proportionnelle à cette différence. En connaissant une des deux températures, on peut donc calculer la deuxième.

3.2.2. Le circuit intégré AD595

Le thermocouple est branché à un boîtier contenant plusieurs circuits intégrés d'Analog Device. Comme nous n'avons qu'une seule température à traiter, nous ne nous servons que d'un seul de ces circuits.

Le circuit intégré AD595 réalise une des jonctions entre les deux métaux du thermocouple, c'est la soudure froide (le 0°C) qu'il faut régler grâce au potentiomètre P (voir schéma en annexe). Ce circuit permet ensuite de transformer une température en tension à raison de 10 mV par degré Celsius. En effet comme la consigne est une tension, il faut que les deux grandeurs soient comparables.

3.2.3. Les réglages

Pour étalonner le capteur de température, nous avons commencé par fixer le 0°C. Pour cela nous avons porté la température du bain à 0°C avec de la glace. Nous nous sommes aidés d'un thermomètre pour ajuster précisément la température de l'eau ainsi que d'un voltmètre pour voir la tension délivrée par le capteur. Puis, nous avons démonté le boîtier pour accéder au circuit intégré. Là nous avons ajusté la tension mesurée par le voltmètre à l'aide du potentiomètre (voir schéma annexe) jusqu'à ce celle-ci soit égale à zéro.

Ensuite, nous avons plongé le thermocouple dans de l'eau chaude et nous avons ajusté la résistance réglable R jusqu'à ce que la tension indiquée soit proportionnelle à la température du bain. Ainsi, par exemple, pour une température de 35°C, le capteur fournit une tension de 350 mV.

En sortie du capteur à thermocouple, nous obtenons donc une tension U_c telle que :

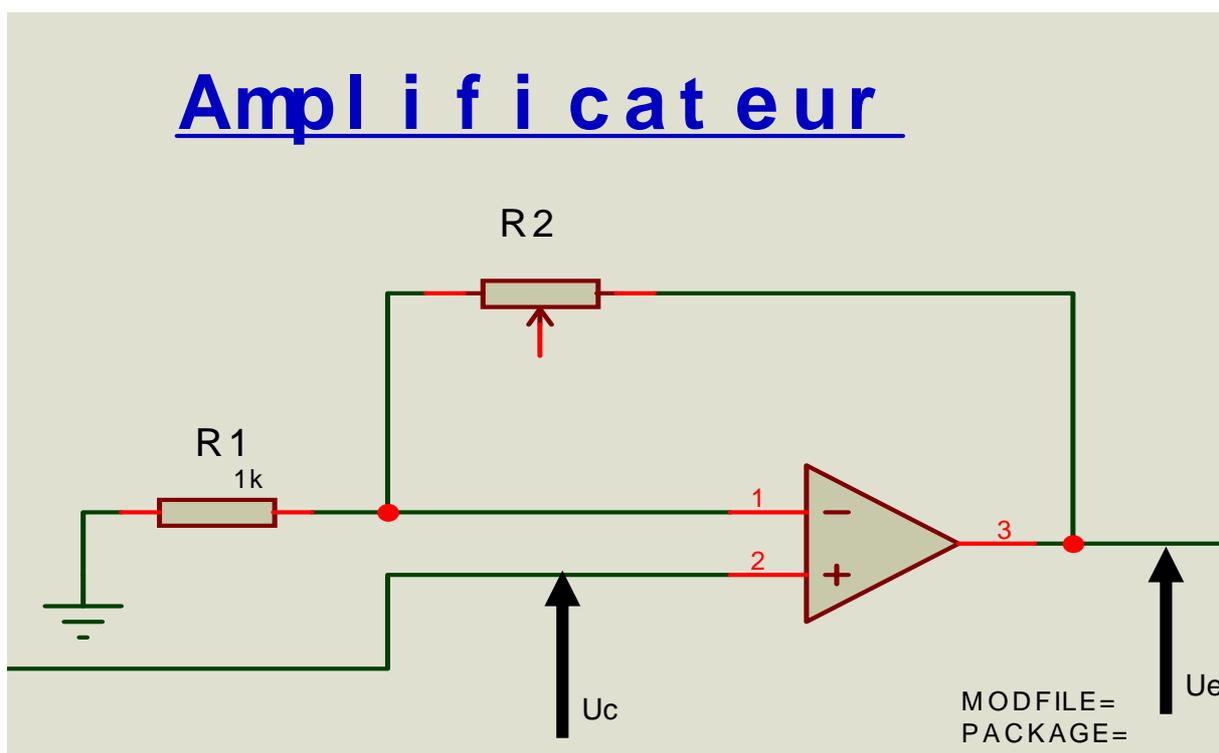
$$\begin{cases} U_c = 0.01 \cdot T_f \\ 0 \leq U_c \leq 1 \end{cases}$$

3.3. L'amplificateur

On a donc en sortie du capteur $\begin{cases} U_c = 0.01 \cdot T_f \\ 0 \leq U_c \leq 1 \end{cases}$ et on désire en entrée du comparateur

$$\begin{cases} U_e = 0.1 \cdot T_f \\ 0 \leq U_e \leq 10 \end{cases}$$

Il faut donc faire une amplification de 10. Pour cela, nous utilisons un montage amplificateur inverseur :



3.3.1. Relation de transfert

D'après le théorème de Millmann,

$$\frac{U_e}{R2} = \frac{U_c}{\frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}} + \frac{R2}{R1}}$$

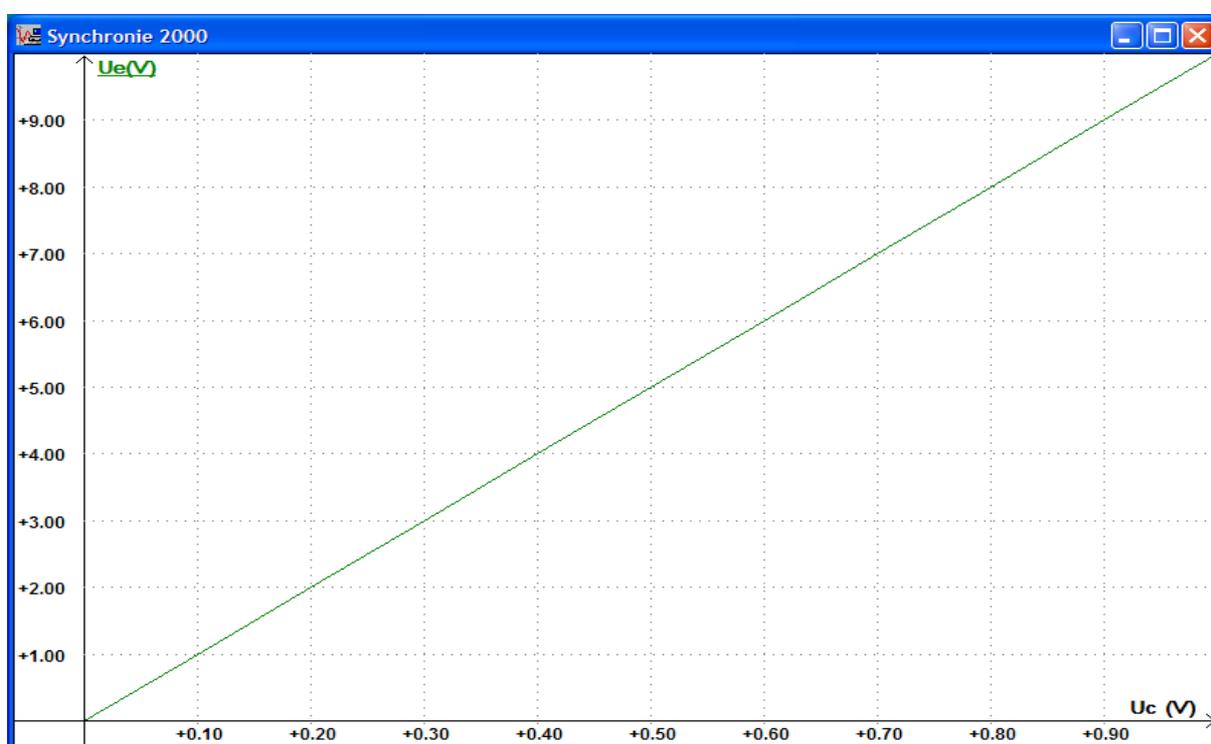
L'amplificateur opérationnel est idéal en régime linéaire, donc $U_c = V_-$

$$\Rightarrow U_c = \frac{U_e}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \Rightarrow U_e = U_c \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\text{On veut } U_e = 10 U_c \Rightarrow 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 9$$

Nous avons donc choisit $R_1 = 1\text{k}\Omega$ et $R_2 = 9\text{k}\Omega$ réglable, pour pouvoir ajuster au mieux l'amplification.

3.3.2. Courbe obtenue



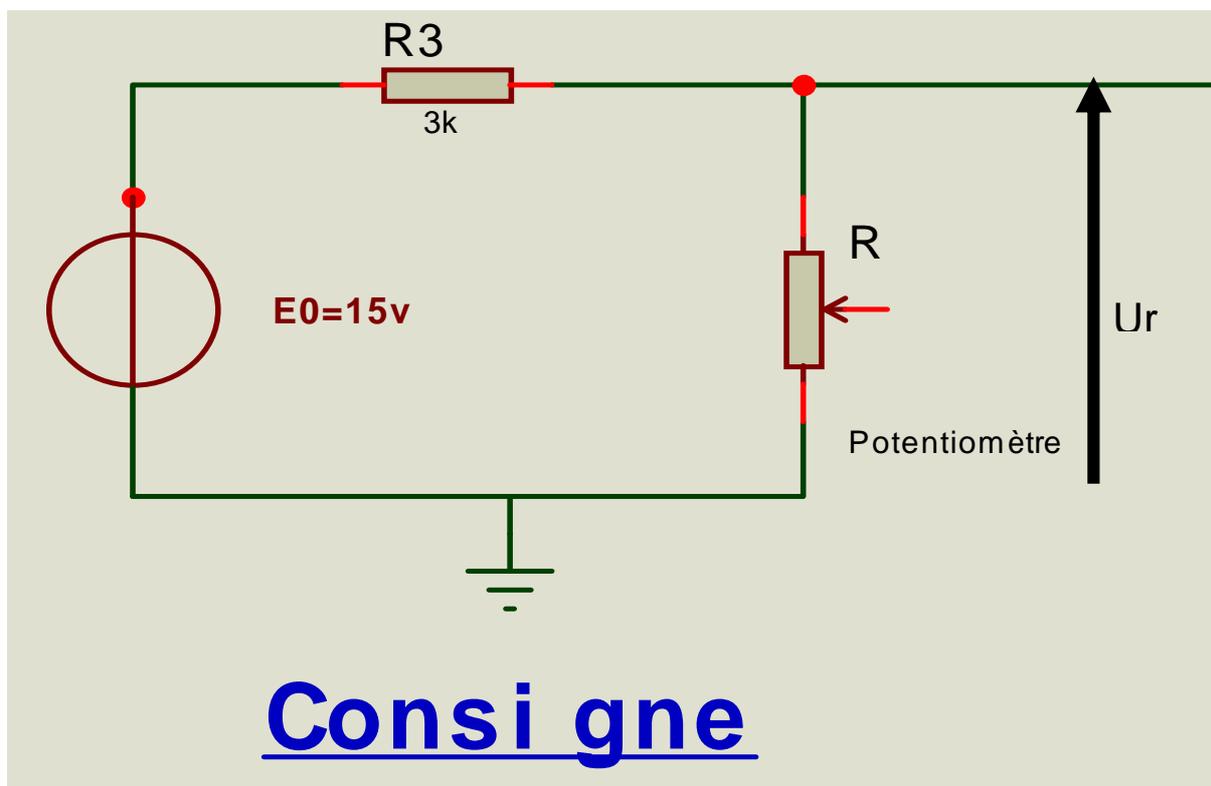
3.4. La consigne

L'utilisateur va imposer la valeur de température souhaitée en réglant le potentiomètre. Il fournit donc en entrée une résistance R .

On veut en sortie une tension U_r telle que :

$$\begin{cases} U_r = 0.1 \cdot T_r \\ 0 \leq U_r \leq 10 \end{cases}$$

Pour cela, nous utilisons un pont diviseur de tension :



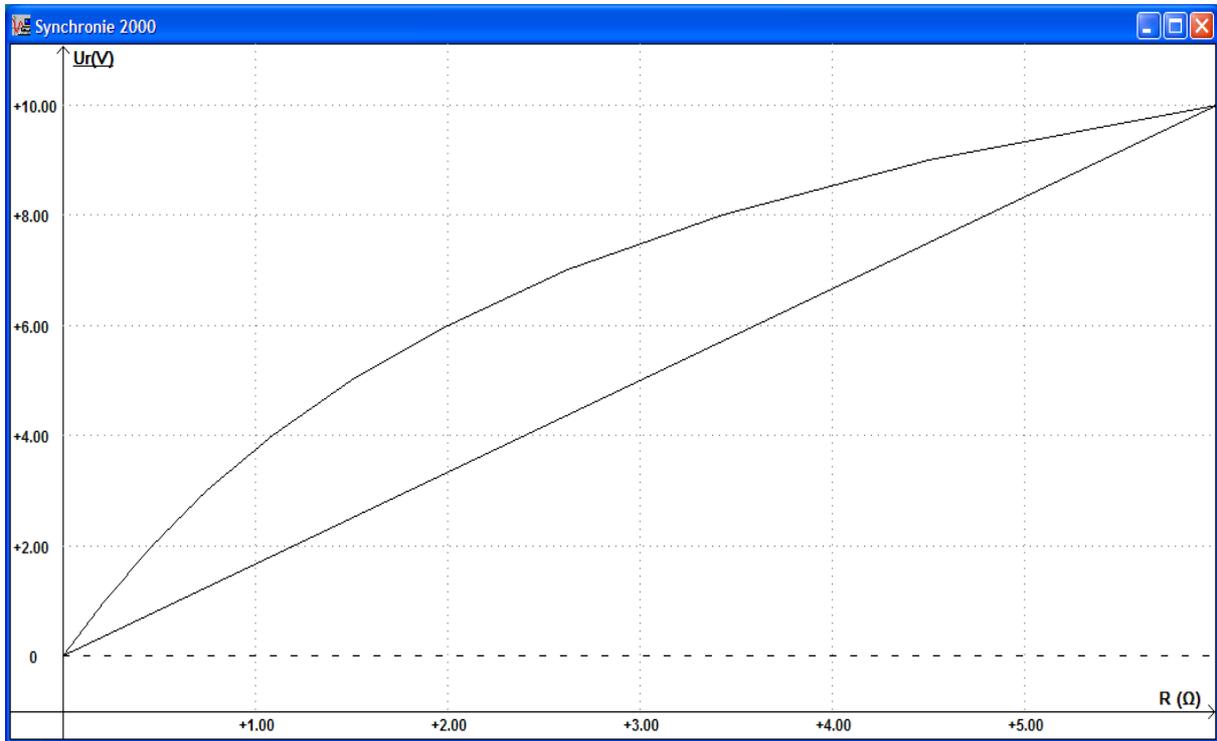
Nous obtenons la relation suivante :

$$U_r = \frac{R}{R3 + R} E0 = \frac{15 \cdot R}{3 + R} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{3 \cdot U_r}{15 - U_r}$$

D'où : $0 \leq U_r \leq 10 \Rightarrow 0 \leq R \leq 6$, nous avons donc choisit une résistance réglable allant de 0 à 10 k Ω .

L'utilisateur, en faisant varier R de 0 à 6 choisira donc la température désirée de 0 à 100 $^{\circ}\text{C}$ et donc U_r entre 0 et 10.

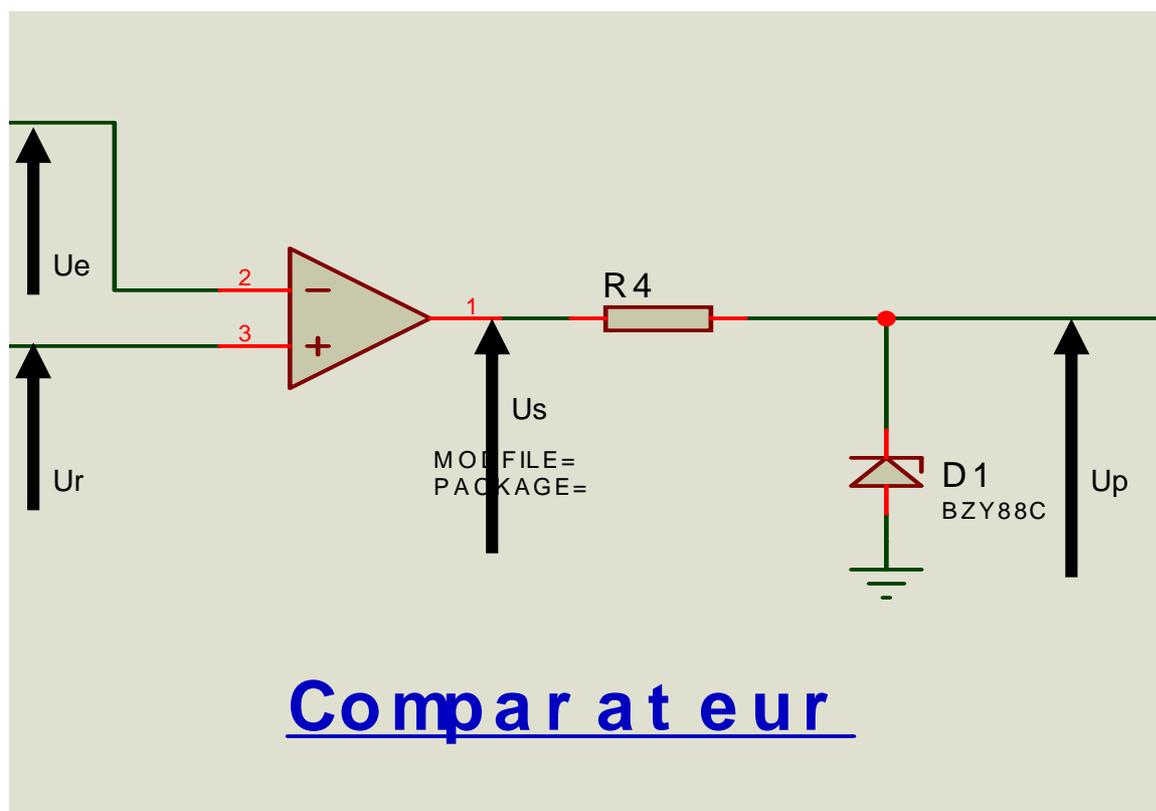
3.4.1. Courbe obtenue



3.5. Le comparateur

Nous avons donc maintenant en entrée du comparateur 2 tensions comparables U_e et U_r , avec U_r la tension de référence constante, imposée par l'utilisateur et U_e la tension variable au cours du temps, associée à la température du fluide.

Le relais statique nécessite en entrée une tension créneau 5V (commande le chauffage) ou 0V (commande l'arrêt du chauffage). Nous avons donc utilisé le montage suivant, composé d'un amplificateur opérationnel monté en comparateur, d'une résistance R_4 et d'une diode Zener D_1 :



3.5.1. Relation de transfert

Les caractéristiques de l'AO comparateur nous donne :

$$\begin{cases} U_e < U_r \Rightarrow U_s = +15V \\ U_e \geq U_r \Rightarrow U_s = -15V \end{cases}$$

Il faut donc maintenant adapter cette tension au relais statique : c'est l'intérêt de la résistance et de la diode Zener.

3.5.2. Etude de la diode Zener D1

La tension de Zener de D1 est de 5V.

La diode Zener nous permet d'obtenir les 3 relations suivantes :

$$\begin{cases} V_m > V_s \Rightarrow V_m = V_p \\ V_s - V_m < 5 \Rightarrow i = 0 \\ V_s - V_m > 5 \Rightarrow V_p - V_m = 5 \end{cases}$$

Dans notre montage, $V_m=0$, $V_p=U_p$ et $V_s=U_s$.

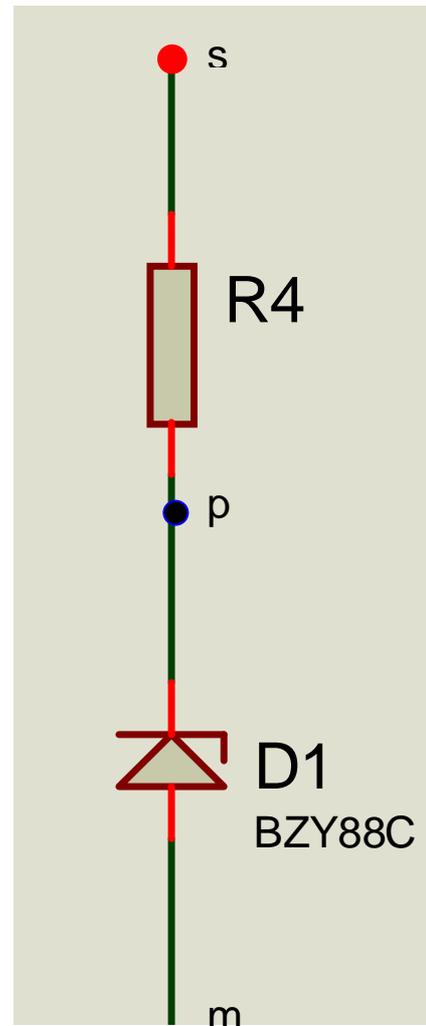
De plus, U_s est une tension créneau +15,-15.

Nous obtenons donc :

$$\begin{cases} U_s < 0 \Leftrightarrow U_s = -15 \Rightarrow U_p = 0V \\ U_s > 5 \Leftrightarrow U_s = +15 \Rightarrow U_p = 5V \end{cases}$$

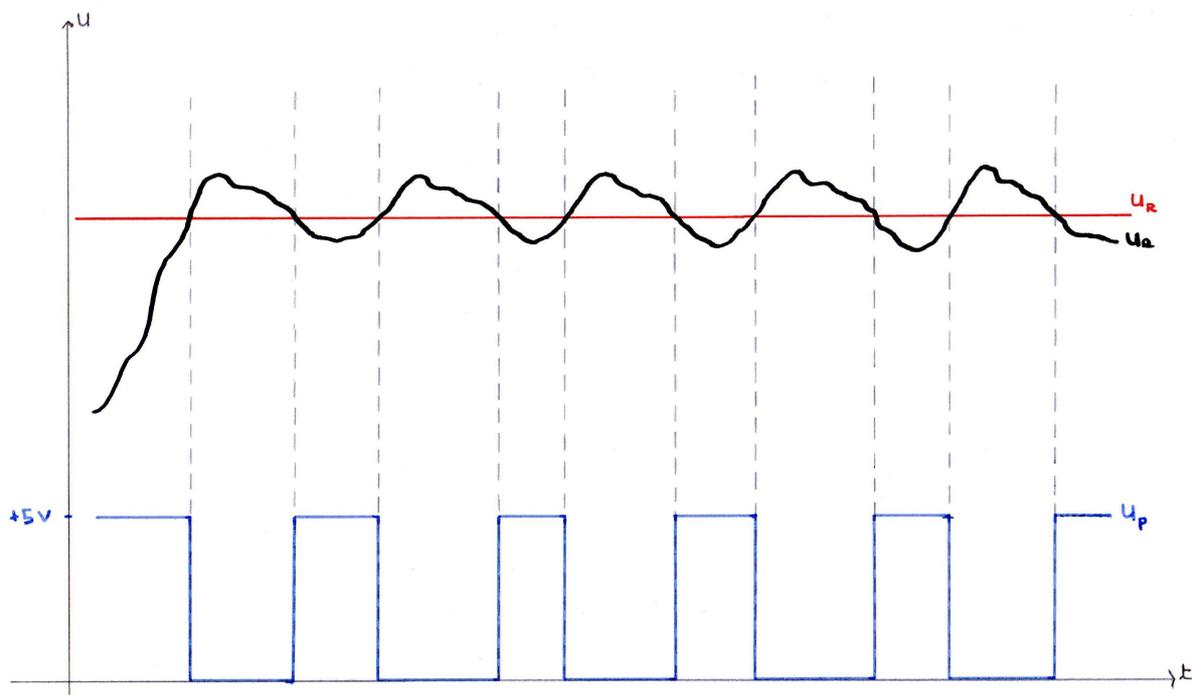
Nous obtenons donc en entrée du relais statique une tension U_p créneau telle que

$$\begin{cases} U_e < U_r \Rightarrow U_p = +5V \\ U_e \geq U_r \Rightarrow U_p = 0V \end{cases}$$

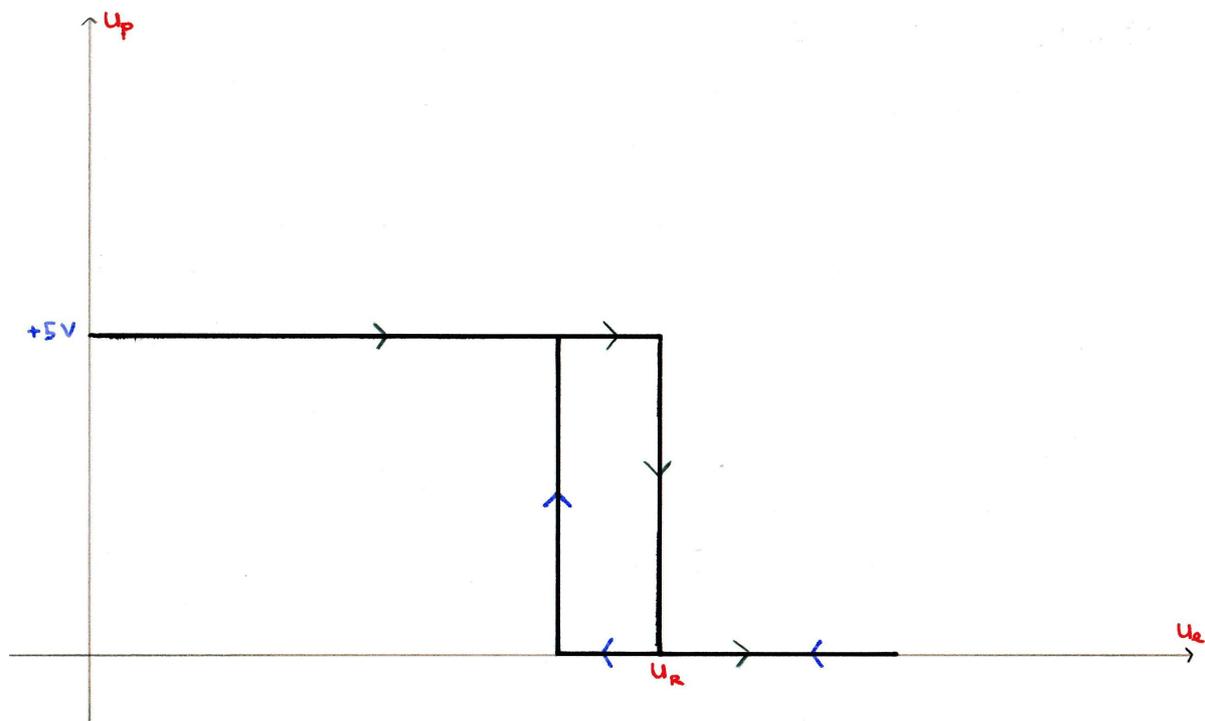


3.5.3. Courbes obtenues

Chronogramme :



Caractéristique de transfert :



3.5.4. Analyse des courbes

Sur le chronogramme, nous pouvons observer l'évolution des tensions au cours du temps :

- U_r est la tension de référence, imposée par l'utilisateur, donc constante au cours du temps.
- U_e oscille au cours du temps, autour de la tension de référence U_r .
- U_p est une tension créneau (0V,+5V)

Description d'un cycle :

- 1) Initialement, $U_e < U_r$, donc $U_s = +5V$ et le chauffage est enclenché.
- 2) U_e augmente donc, jusqu'à ce que $U_e = U_r$. A ce moment là, U_p bascule à 0V, le chauffage s'arrête.
- 3) Malgré cela, U_e continue d'augmenter, car la résistance chauffante est toujours chaude.
- 4) Après un certain temps, U_e diminue, jusqu'à ce que $U_e = U_r$. A ce moment là, U_p bascule à nouveau à +5V.
- 5) Cependant, U_e diminue encore, car il y a un temps d'inertie, ce qui fait que le chauffage n'entre pas en action immédiatement. Nous sommes revenu au point 1, le cycle redémarre.

Nous constatons donc que la température du fluide n'est jamais stabilisée à la température voulue, elle oscille constamment autour de celle-ci.

Sur la caractéristique de transfert, nous observons un cycle d'hystérésis. Lors du chauffage, dès que U_e atteint U_r , U_p bascule. Par contre, lors du refroidissement, il faut attendre que U_e soit sensiblement inférieur à U_r pour que U_p bascule de nouveau.

Par ailleurs, les courbes tracées ci dessus sont des courbes théoriques. L'expérience nous a montré que U_e avait une allure bien moins « nette » que celle-ci, car le refroidissement du fluide est relativement lent.

3.6. Le relais statique

3.6.1. Le relais statique

Comme le fonctionnement du relais statique comprend plusieurs composants électroniques que nous ne connaissons pas (voir annexe), nous avons considéré que c'était une boîte noire. Le relais fournit une tension de 220 volts au dispositif de chauffage (ici un thermoplongeur) s'il reçoit une tension de 5 volts. C'est-à-dire que si la tension d'entrée $U_p = +5V$, le chauffage est enclenché. Si $U_p = 0V$, le chauffage n'est pas enclenché.

$$\begin{cases} U_p = +5V \Rightarrow U_d = 220V \\ U_p = 0V \Rightarrow U_d = 0V \end{cases}$$

3.6.2. Le thermoplongeur

Là encore, nous avons choisi d'utiliser ce système pour des raisons de commodité. Le thermoplongeur est en fait une résistance chauffante. Il utilise donc l'effet Joule pour chauffer le bain quand il est alimenté sous une tension de 220V.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Après un semestre de coopération, nous avons petit à petit pris connaissance du sujet : régulation de température.

La régulation s'opère par la création d'une tension différentielle entre une consigne et une tension proportionnelle à la température. Un amplificateur opérationnel, en montage comparateur, commande le circuit de puissance qui chauffe le bain.

Tout d'abord, la première difficulté fut de régler le capteur de température pour l'étalonner en agissant sur les potentiomètres (10 fois de la température actuelle). Comme il bougeait irrégulièrement et qu'il était très sensible, c'est-à-dire quand nous le bougions un petit peu, ça changeait toujours. Grâce à notre patience et à notre soin, nous avons réussi à bien le régler.

Nous avons également rencontré des problèmes avec le pupitre et des plaquettes qui ne fonctionnaient pas.

Finalement, nous avons réussi à réaliser un montage permettant de réguler la température d'un liquide.

Pour parfaire notre projet, nous aurions pu essayer de faire tenir le montage dans un unique boîtier afin qu'il soit plus compact et plus facile à transporter et à utiliser. Malheureusement, nous n'avons pas eu le temps pour réfléchir à cela.

Ensuite, nous avons constaté que lorsque la température du bain dépasse la valeur seuil, le relais statique s'arrête mais le thermoplongeur ne se refroidit pas instantanément et l'eau continue à chauffer. Ceci est dû au dispositif de chauffage, il faudrait utiliser un autre dispositif avec moins d'inertie.

Enfin, pour refroidir l'eau, nous n'utilisons que l'atmosphère de la pièce. Par conséquent, si on baisse la consigne, le refroidissement prend du temps. De plus, l'eau ne peut pas atteindre une température inférieure à la température ambiante. La régulation n'est donc pas totale. C'est l'inconvénient d'une régulation tout ou rien (on chauffe ou pas).

Sur l'apport personnel de cette UV projet, nous avons bien coopéré. Nous avons vu l'efficacité de faire deux groupes et de travailler en parallèle.

C'était la première fois que nous travaillions en équipe sur un projet de physique (si l'on exclu l'UV P6 qui se faisait par binômes) et aussi la première fois que nous réutilisions concrètement des connaissances vues en cours.

De plus, nous avons étudié l'information nous même et discuté ensemble. Toutes les compétences que nous avons cultivé pendant ce projet nous offrent la possibilité pour la future recherche personnelle dans la vie professionnelle.

5. BIBLIOGRAPHIE

Notice d'application du circuit intégré d'Analog Device disponible sur http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD594_595.pdf (valide à la date du 06/06/08)

http://ww3.ac-poitiers.fr/sc_phys/cres_lr/tp/soleau/capteur.htm (valide à la date du 06/06/08)

Cours d'électronique (UV P3) de M. Montier

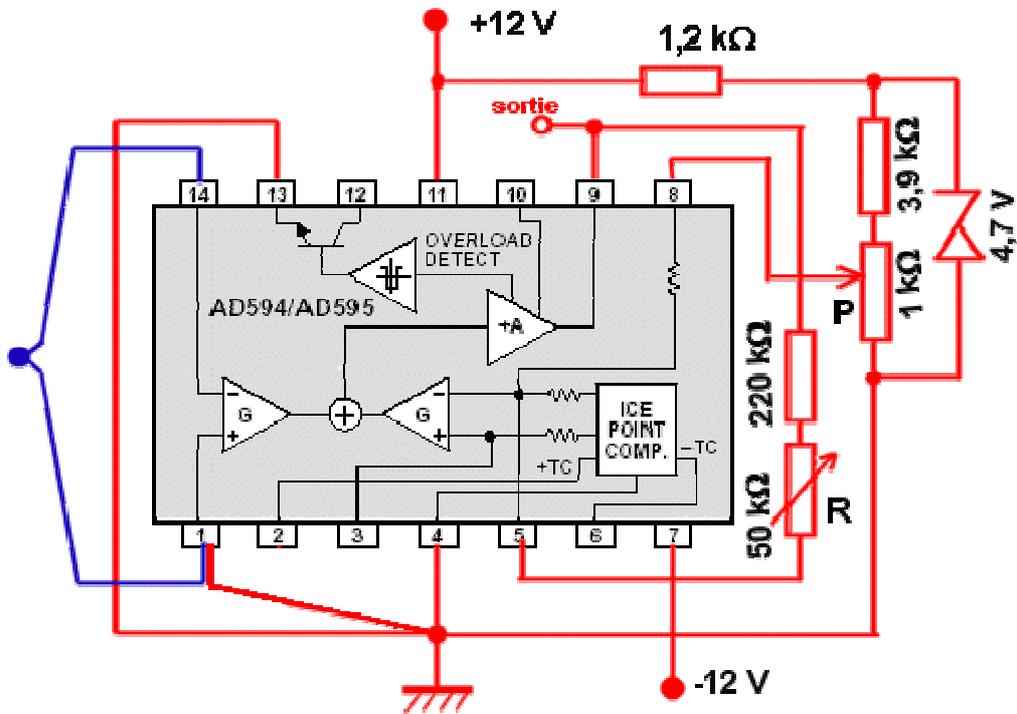
TP P6-1 (2007) "Capteur de position angulaire"

TP P6-2 (2007) "Transferts thermiques"

TP P6-2 (2007) "Oscillateur à relaxation"

6. ANNEXES : DOCUMENTATION TECHNIQUE

6.1. Schéma du circuit intégré d'Analog Device



6.2. Schéma du relais statique

