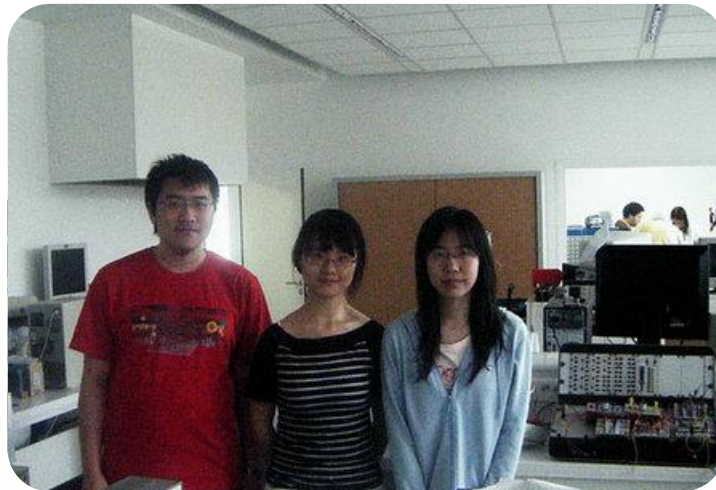


*Projet de Physique P6-3*  
*STPI/P6-3/2010 –21*

**Thermostat électronique d'une régulation de  
température TOR**



**Etudiants :**

**Ya qiu HE**

**Hao yi WANG**

**Ya hui ZHU**

**Enseignant-responsable du projet :**

**François GUILLOTIN**



Date de remise du rapport : 17/06/2010

Référence du projet : **STPI/P6-3/2010 – 21**

Intitulé du projet : **Thermostat électronique d'une régulation de température par tout ou rien**

Type de projet : **expérimental**

Objectifs du projet :

- **Réaliser une régulation de température par tout ou rien en utilisant un système consistant en différentes parties.**
- **Réviser ce que l'on a vu en cours du P3 et P10 concernant l'amplificateur opérationnel et les mettre en pratique.**
- **S'entraîner la capacité de réfléchir et de résoudre des problèmes rencontrés par nous-mêmes car c'est notre projet, pas un TD ni un TP.**
- **Apprendre de nouvelles connaissances et techniques sur Internet.**
- **Former l'esprit d'équipe (répartition du travail, discussion, communication, s'entraider, intégration...).**

## TABLE DES MATIERES

1. Introduction .....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail .....	7
3. Travail réalisé et résultats .....	7
3.1. Le capteur de température à diode.....	7
3.1.1. introduction .....	7
3.1.2. Étage A1 (Interface capteur) .....	8
3.1.3. Étage A2 et A3 (Mise en forme) .....	9
3.1.4. Étage A0 .....	10
3.2. Consigne .....	10
3.3. Comparateur et régulateur à hystérésis.....	11
3.3.1. introduction .....	11
3.3.2. TOR (régulateur Tout Ou Rien) .....	11
3.3.3. TOR avec Hystérésis .....	11
3.3.4. Notre réalisation : .....	12
3.3.5. Amplificateur inverseur.....	13
3.4. La diode de Zener .....	15
3.5. Le relais statique .....	15
3.5.1. Définition .....	15
3.5.2. Propriétés.....	15
3.5.3. Structure interne.....	16
3.6. Le thermoplongeur .....	16
4. Conclusions et perspectives.....	17
5. Bibliographie .....	18
6. Annexes.....	19
6.1. Schéma de montage et son réalisation.....	19

## NOTATIONS, ACRONYMES

TOR: Tout Ou Rien

$U_d$  : tension aux bornes de la diode.

$E_3$ : tension en sortie du module 1.

$V_5$ : tension en sortie du module 2.

$U_{sd}$ : tension en sortie du module 3.

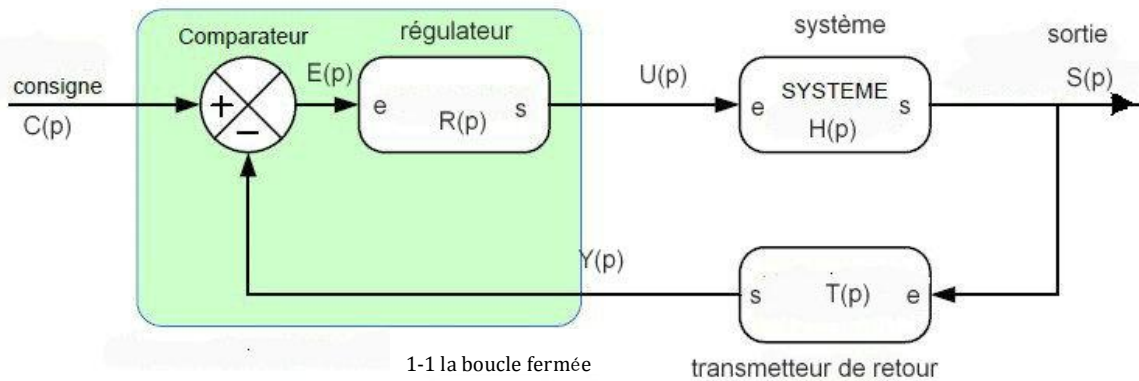
$U_c$  : tension de consigne.

$\theta$ : température du bain.

## 1. INTRODUCTION

Le but d'une régulation est de maintenir une grandeur  $H$  constante en utilisant un actionneur  $A$  lorsque l'environnement varie. La valeur optimum de la grandeur à réguler est la consigne et un capteur détermine à chaque instant l'écart entre la valeur de la consigne et la valeur actuelle de la grandeur  $H$ .

### Boucle fermée :



#### Grandeurs :

$E(p)$  : tension d'erreur  
 $U(p)$  : tension de commande  
 $C(p)$  : tension de consigne  
 $S(p)$  : grandeur de sortie  
 $Y(p)$  : tension de retour (rétroaction)

#### Fonctions de transfert :

$S/U=H$  système  
 $Y/S=T$  capteur électronique  
 $U/E=R$  (régulateur TOR)  
 $C-Y= E$

Quand il n'est pas possible de modifier l'intensité de l'actionneur, on utilise la régulation par tout ou rien (TOR). Quand  $E$  est négatif, l'actionneur fonctionne et fait croître  $H$ . Quand  $E$  est positif, l'actionneur est coupé. Ce type de régulation est simple à mettre en œuvre mais il présente de nombreux inconvénients. Les capteurs présentent toujours un certain hystérésis. Pour les grandes valeurs de celui-ci, la qualité de la régulation est médiocre et pour les faibles valeurs, l'actionneur est très sollicité.

Dans notre cas, on examine ici la régulation du chauffage d'un bain d'eau. Quand la température de consigne est atteinte, l'interrupteur est coupé mais les thermoplongeurs continuent de fournir des calories et la température continue à croître au-delà de la consigne. À l'inverse, quand la température devient inférieure à la consigne et que l'interrupteur est refermé, la température continue à diminuer car il faut un certain temps pour réchauffer les radiateurs.

Le capteur est figuré par un thermomètre électronique qui applique à l'entrée d'un comparateur une tension dont la valeur est proportionnelle à la température (ici,  $U=0.1T$ ). La valeur de la consigne est donnée par un diviseur de tension. Le comparateur agit sur un relais de puissance qui commande l'alimentation électrique.

Donc, le système complet consiste principalement en des composantes suivantes: le capteur de température à diode, la consigne, le comparateur et régulateur à hystérésis et le relais statique.

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Dans un premier temps, l'enseignant responsable du projet nous a donné une petite présentation de notre sujet pour nous aider de construire une image globale en dessinant un schéma complet du système. Cela nous a permis de savoir préliminaire ce que l'on sera allé faire.

Selon le schéma complet, on a réalisé le montage partie par partie, c'est-à-dire: le capteur diode, la consigne, le comparateur et le régulateur, et le relais statique. Ensuite, quand le montage était bon, on a commencé à faire des tests. Après plusieurs fois, le résultat était stable, et on a atteint le but de régler la température autour de la consigne. Finalement, on a tracé des courbes et rédigé le rapport.

Comme on a seulement trois personnes dans notre groupe, les tâches de chaque personne sont dures et chacun joue un rôle important. Donc, la présence de tous les élèves du projet à chaque séance est bien évidemment nécessaire. On a essayé de répartir le travail équitablement autant que possible. Quand deux entre nous cherchaient le montage du capteur en faisant beaucoup de calculs, une autre personne étudiait la fonction du relais statique par démontage d'un relais et recherche les informations sur Internet. Et quand on faisait des tests, une personne lisait la température sur le thermomètre, une lisait la valeur de la tension sur un voltmètre, et une autre surveillait la trace de la courbe obtenue. A la fin, on a écrit le rapport du projet ensemble.

Donc, bien que l'on n'ait pas de nombreux personnes dans notre équipe, on a bien travaillé en équipe et a réussi à finir notre projet. Tout cela dépend de la bonne organisation et répartition du travail, et aussi les efforts de chaque personne bien sûr!

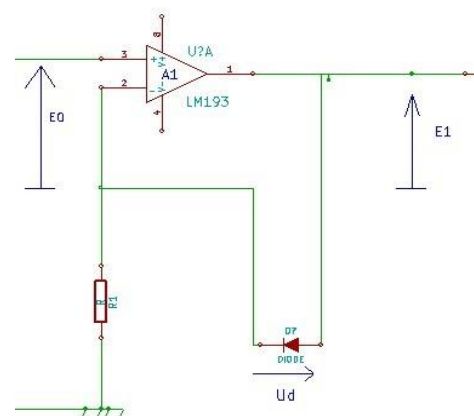
## 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

### 3.1. Le capteur de température à diode

#### 3.1.1. introduction

Le capteur température est une diode ordinaire 1N4148 de faible puissance (dite diode de signal)

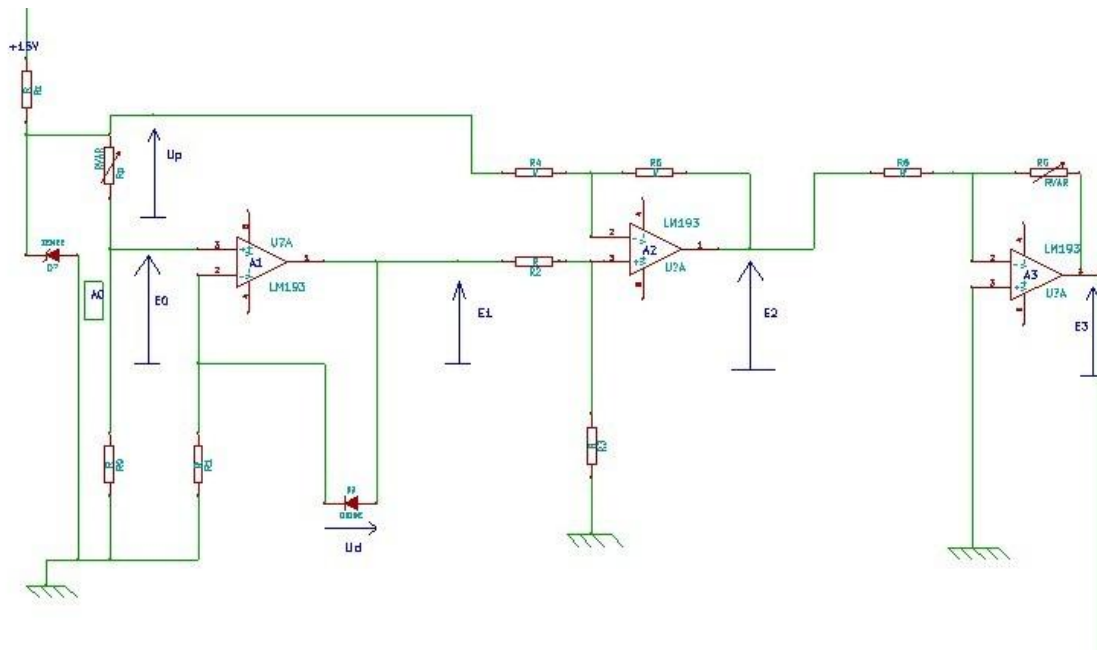
La tension aux bornes d'une diode au silicium, lorsqu'elle est alimentée à courant constant, présente une sensibilité en température "a" d'environ- $2.15\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  à la température ambiante. Nous faisons ici une approximation affine du comportement de la diode en fonction de la température en considérant cette valeur "a" comme constante de la température de  $10^{\circ}\text{C}$  à  $25^{\circ}\text{C}$ . Nous utilisons cette propriété de la diode



3-1 le capteur température à diode

pour réaliser un thermomètre électronique.

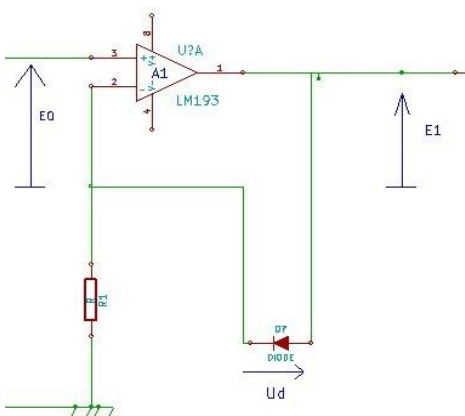
Le schéma d'ensemble :



3-2 le shema ensemble de capteur temperature

On peut décomposer ce schéma en 4 étages :

### 3.1.2. Étage A1 (Interface capteur)



3-3 étage A1

alimenter la diode en courant constant et sa tension de sortie E1 est alors fonction de la température ;

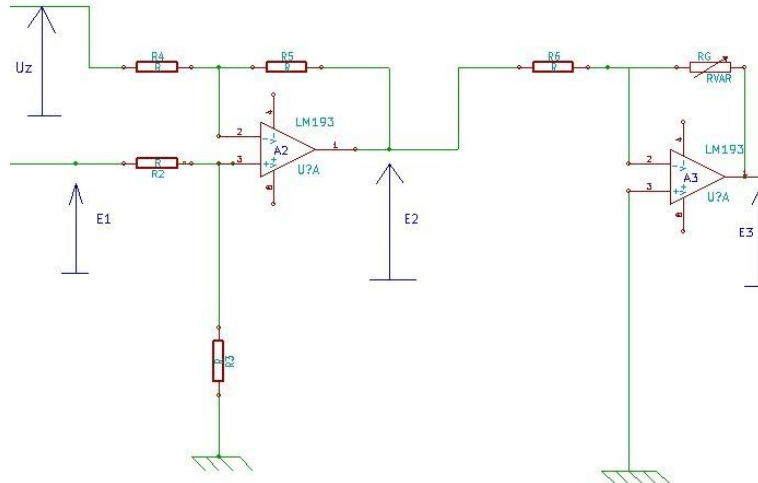
$$E_1 = U_D + E_0$$

$$U_D = a \theta + U_0 \text{ (} U_0 \text{ aux borne delà diode à } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{)} \Leftrightarrow E_1 = a \theta + U_0 + E_0$$



### 3.1.3. Étage A2 et A3 (Mise en forme)

Ils effectuent une mise en forme de E1 pour obtenir une tension de sortie E3 proportionnelle à la température ( E3=0.1θ ).



3-4 étage A2 et A3

I

**Étage A2 :** selon le théorème de superposition

$$\text{On obtient } E2 = -\frac{R_5}{R_4} U_Z + \frac{R_5 + R_4}{R_2 + R_3} * \frac{R_3}{R_4} E_1 \quad E2 = -UZ + E1$$

$$\text{Étage A3 : } E3 = -\frac{R_G}{R_6} E_2$$

**Ensemble A1, A2, A3:**

$$E3 = -\frac{R_G}{R_6} (a\theta + U_0 + E_0 - U_Z)$$

$$\text{Or } U_Z = U_p + E_0 \quad E3 = -\frac{R_G}{R_6} (a\theta + U_0 - U_p)$$

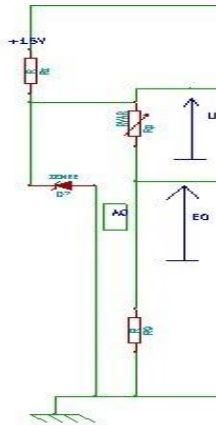
Réglage de  $U_p = U_0$  se fait de façon à obtenir  $U_3 = 0$  lorsque la diode est à  $0^\circ\text{C}$

$$\text{i.e. } E3 = -\frac{R_G}{R_6} a\theta, \text{ on veut obtenir } E3 = 0.1\theta$$

$$-\frac{R_G}{R_6} a = 0.1 \quad R_G = 0.1 R_6 / (-a)$$

$$R_G = 102.3 \text{ k}\Omega$$

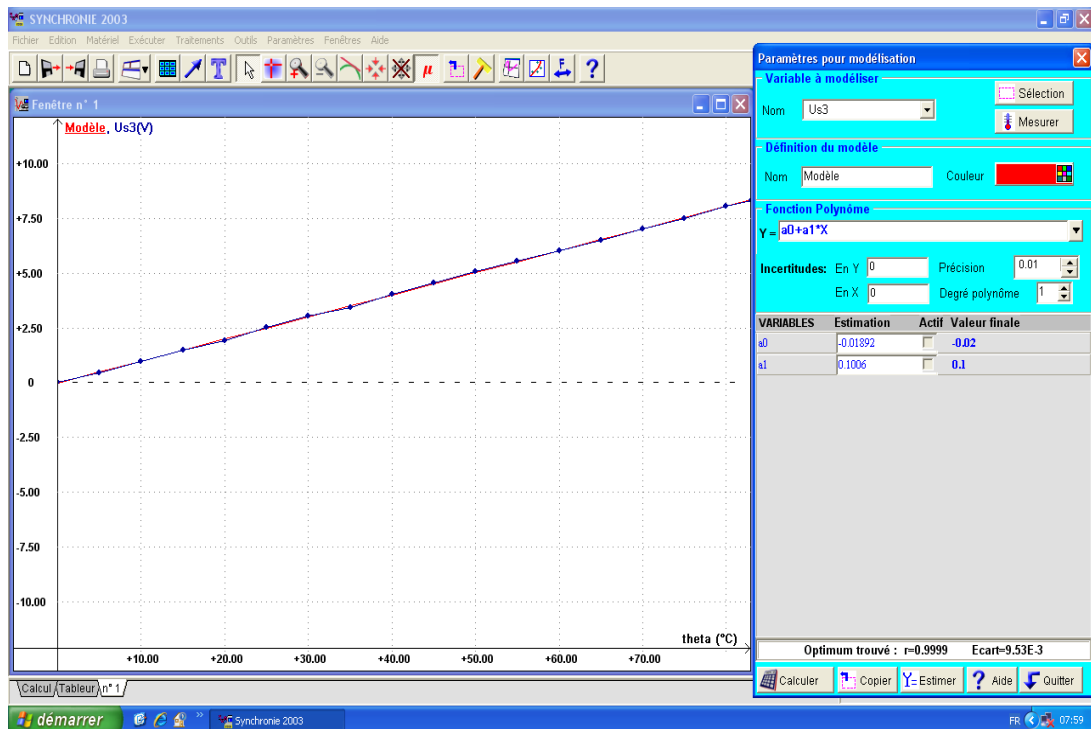
### 3.1.4. Étage A0



3-5 étage A0

fournit les tensions de référence  $U_p$  et  $U_0$  à partir d'une diode zéner alimentée par la source +15V de l'alimentation du montage ;

Notre résultat en Synchronie :

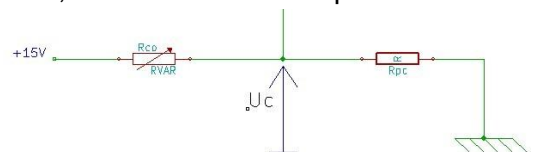


### 3.2. Consigne

La consigne représente ce que nous avons besoin, c'est-à-dire la température désirée.

Le montage représentant la consigne est constitué d'une résistance et une résistance réglable, composant un pont diviseur de tension.

On réalise le montage à droit :



3-6 la consigne

### 3.3. Comparateur et régulateur à hystérésis

#### 3.3.1. introduction

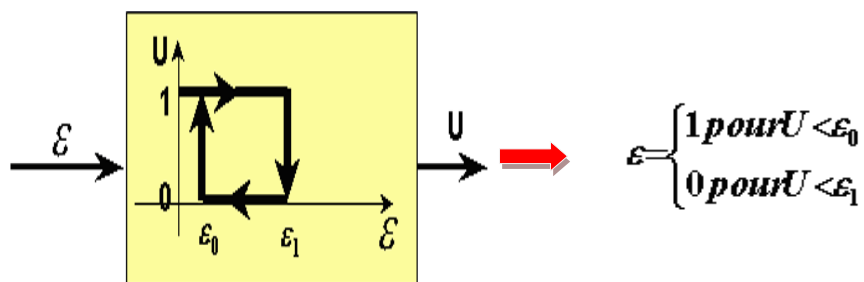
Le but est de régler la température pour atteindre la valeur dont nous avons besoin en réglant la consigne progressivement. C'est-à-dire, si la température est plus basse que notre besoin (la tension de sortie égale à  $-V_{saturée}$ ), le chauffage commence à travailler. Par contre, quand la température aura la tendance de passer la température demandée (la tension de sortie égale à  $+V_{saturée}$ ), le relais statique arrêtera de chauffer.

Dans un montage d'un comparateur et régulateur à hystérésis, on applique une boucle fermée.

#### 3.3.2. TOR (régulateur Tout Ou Rien)

Notre sujet s'agit de la régulation de la température, nous utilisons la régulation Tout ou Rien (TOR), car « tout ou rien » est assez simple à mettre en œuvre.

Un régulateur “Tout Ou Rien” est un régulateur qui élabore une action de commande discontinue qui prend deux positions ou deux états 0 et 1 (ou 0 et 100%).



Pour une boucle de régulation de température, ce type de régulateur chauffe en 100% de la puissance, puis coupe (0%) lorsque la consigne (valeur de référence) est atteinte. Lorsque la température de référence est dépassée, le système se remet à chauffer.

la température oscille constamment autour de la consigne (phénomène de pompage). Ce système n'est pas idéal car il en résulte de trop nombreuses permutations du régulateur et de l'organe de puissance.

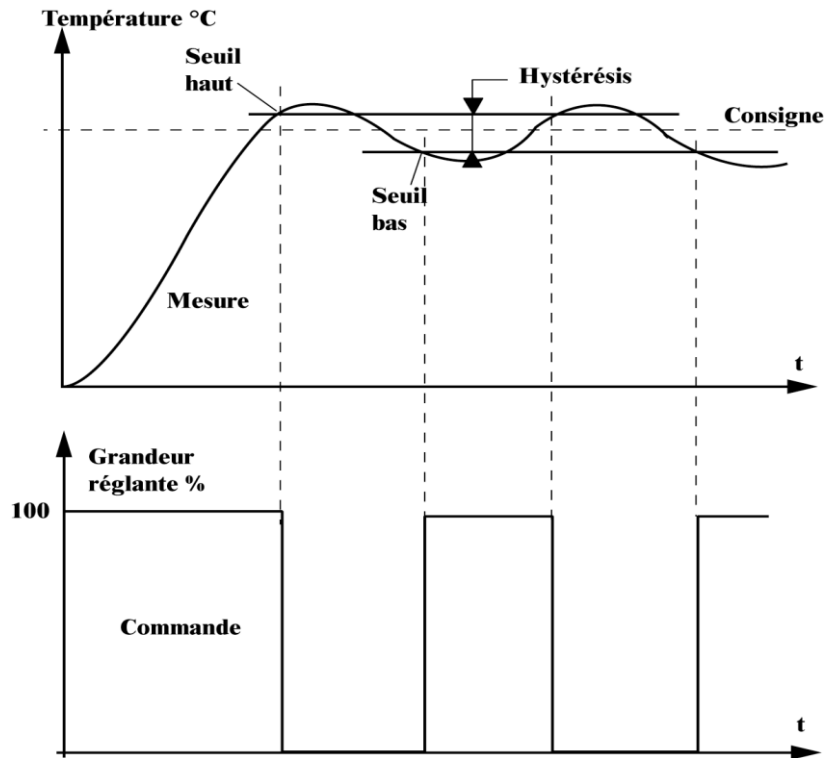
#### 3.3.3. TOR avec Hystérésis

Tout comme le TOR normal pour une boucle de régulation de température, ce type de régulateur enclenche 100% de la puissance de chauffe. Cependant, lorsque la consigne est atteinte ou dépassée de quelques degrés il la coupe (0%). La chauffe est re-enclenchée lorsque l'on repasse de quelques degrés en-dessous de la consigne. Cette régulation est utilisée pour les systèmes thermiques stables de faible puissance ou de forte inertie thermique.

Points importants :

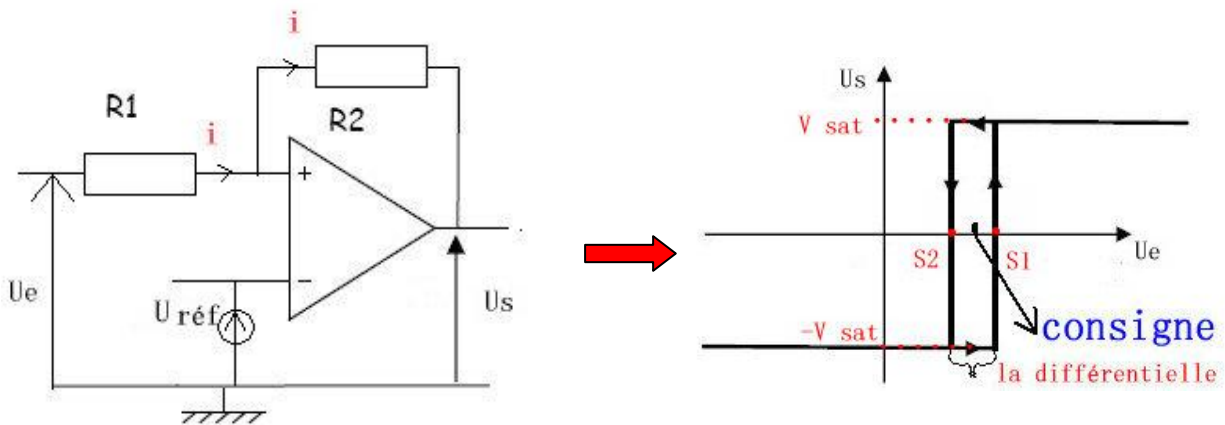
- ✚ la température oscille autour de la consigne mais avec une plus grande fourchette (écart). L'essart varie selon l'hystérésis choisi.

- Plus celui-ci est grand plus la fourchette est grande. Le système est moins précis. L'organe de puissance et le régulateur commutent moins souvent. Plus celui-ci est petit plus la fourchette est petite. Le système est plus précis. L'organe de puissance et le régulateur commutent plus souvent.
- Il en résulte des permutations moins nombreuses du régulateur et de l'organe de puissance mais le système est moins précis.



### 3.3.4. Notre réalisation :

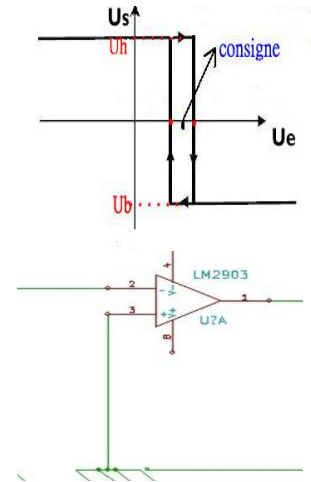
Schéma théorique :



### 3.3.5. Amplificateur inverseur

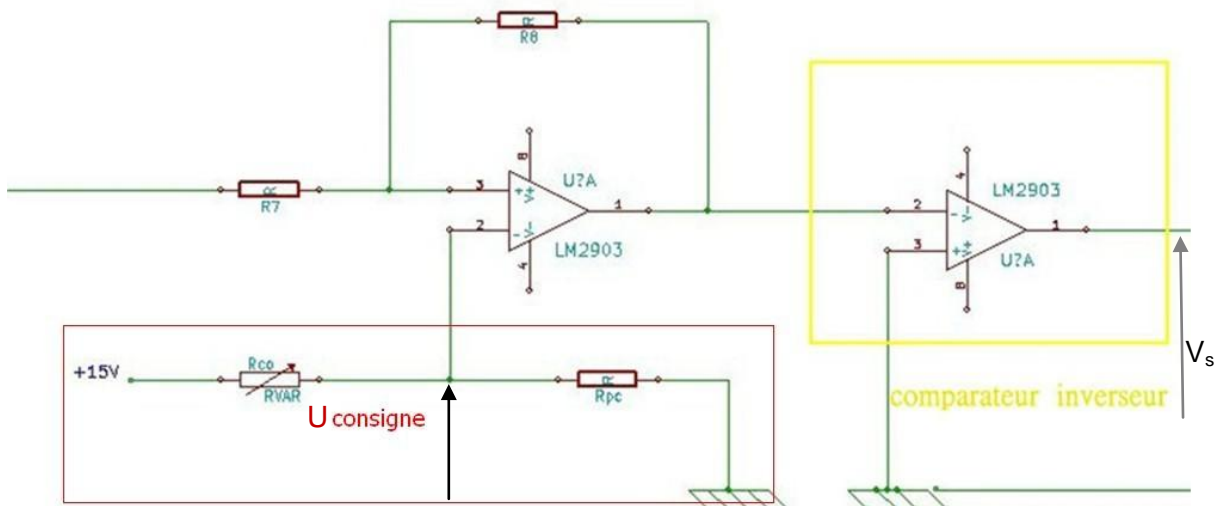
Actuellement, pour obtenir le schéma à droite, il faut ajouter un amplificateur inverseur à la sortie du comparateur.

On réalise le montage suivant :



3-7 l'amplificateur inverseur

**Le schéma ensemble de comparateur et régulateur :**



3-8 le schéma l'ensemble de consigne, capteur et régulateur

#### Les Calculs:

$$U_{PS} = U_{PM} + U_{MS} = U_e - U_s \quad i = \frac{U_{PS}}{R_7 + R_8} = \frac{U_e - U_s}{R_7 + R_8}$$

$$U_{AM} = U_{PM} - R_i = U_e - R_1 i = U_e - \left( \frac{U_e - U_s}{R_7 + R_8} \right) R_7 = \frac{R_8 U_e + R_7 U_s}{R_7 + R_8}$$

$$\text{et } U_{AM} = U_{AB} + U_{BM} = U_{ref} + U_{AB}$$

Quand  $U_{AB} = 0$  (basculement par changement de signe)

ici on suppose que  $U_e = S_7$  et  $U_s = V_{sat}$

donc on a  $U_{AM} = U_{ref}$

$$\Rightarrow U_{\text{ref}} = \frac{R_8 U_e + R_7 U_s}{R_7 + R_8}$$

$$\Leftrightarrow U_{\text{ref}} = \frac{R_8 S_7 + R_7 V_{\text{sat}}}{R_7 + R_8}$$

$$\Leftrightarrow (R_7 + R_8) U_{\text{ref}} = R_8 S_7 + R_7 V_{\text{sat}}$$

$$\Leftrightarrow R_8 S_7 = (R_7 + R_8) U_{\text{ref}} - R_7 V_{\text{sat}}$$

$$\Leftrightarrow S_7 = \frac{(R_7 + R_8) U_{\text{ref}} - R_7 V_{\text{sat}}}{R_8}$$

Si  $U_e = S_2$  et  $U_s = -V_{\text{sat}}$

pour  $+ V_{\text{sat}}$

On peut trouver :

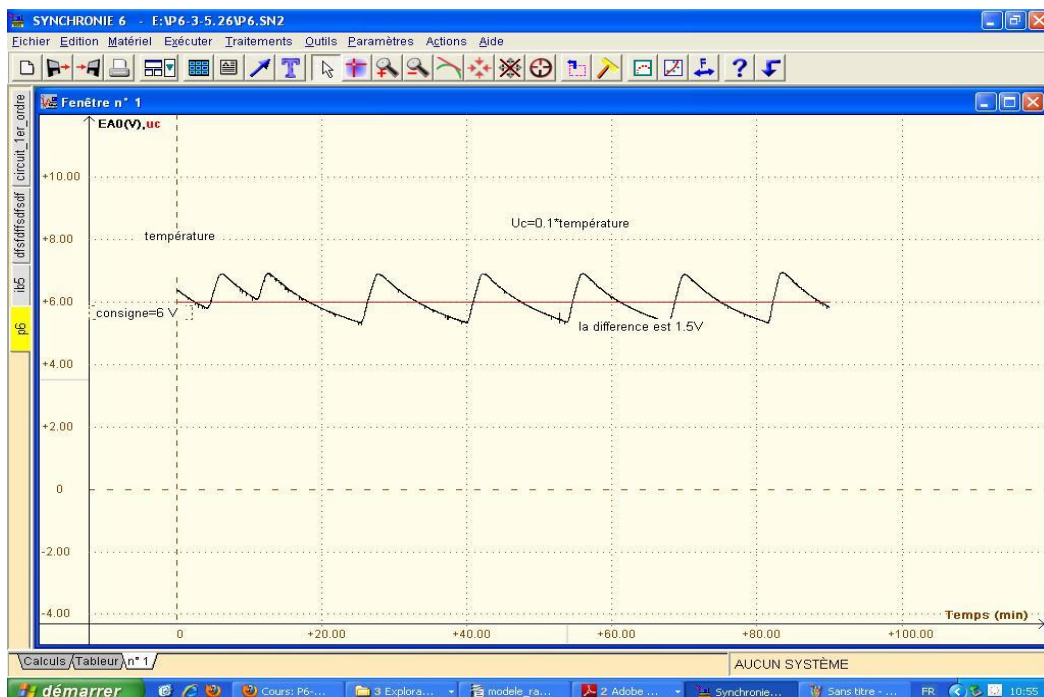
$$S_2 = \frac{(R_1 + R_2) U_{\text{ref}} + R_1 V_{\text{sat}}}{R_2}$$

pour  $- V_{\text{sat}}$

On prend  $R_7 = 10\text{K}\Omega$ ,  $R_8 = 200\text{K}\Omega$ ,  $V_{\text{sat}} = 15\text{V}$

$$\Delta S = S_8 - S_7 = 2 \frac{R_7}{R_8} V_{\text{sat}} = 2 * \frac{10\text{K}\Omega}{200\text{K}\Omega} * 15 = 1.5 \quad \text{V}$$

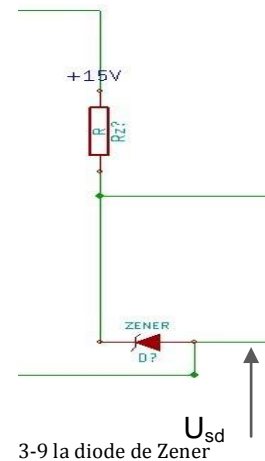
Notre mesure en « Synchronie »



### 3.4. La diode de Zener

L'organe de commande « relais statique » ne fonctionne qu'avec une tension d'entrée de 5V, nous avons choisi une diode de Zener de 4.7V.

La diode de Zener permet de stabiliser la tension  $V_{sat}$  afin d'avoir une tension de sortie  $U_{sd}$  qui soit égale à -0.6V soit à 4.7V grâce à une résistance qui limite le courant de la diode.



### 3.5. Le relais statique

#### 3.5.1. Définition

Le relais statique est un composant électronique réalisant une fonction d'interfaçage entre un circuit de commande (généralement en niveau bas) et un circuit de puissance alternatif ou continu connecté à des charges pour être de forte puissance (résistances, moteurs, pompes, électrovannes, ...).

Dans notre cas :  $U_{bas} = 5\text{ V} \rightarrow U_{haut} = 220\text{ V}$

$U_{bas} = 0\text{ V} \rightarrow U_{haut} = 0\text{ V}$

De plus, cette fonction s'effectue de manière totalement statique, sans pièce en mouvement, conférant au composant une durée de vie quasi-illimitée.

**Relais :** système de commutation isolé

**Statique :** A base de composants électroniques

#### 3.5.2. Propriétés

##### Avantages

- Faible puissance de commande (10 à 50 mW typiques)
- Commutation synchrone
- Commutation asynchrone
- Bruits électromagnétiques faibles en mode synchrone
- Durée de vie/fiabilité ( $\gg 25\ 000\text{ H}$ )
- Temps de réponse faible
- Pas de pièces mécaniques en mouvement
- Pas d'usure mécanique
- Compatibilité avec circuits digitaux
- Résistance aux chocs
- Pas de bruits acoustiques

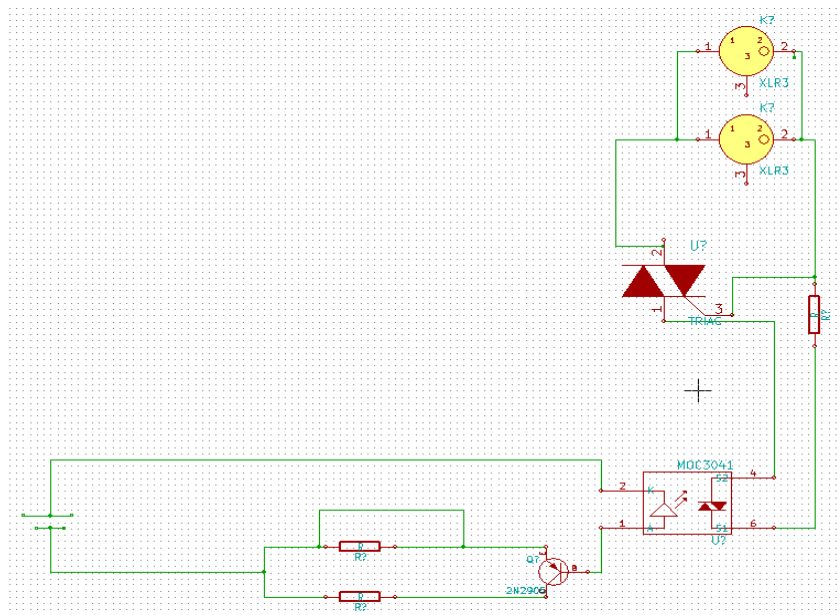
##### Inconvénients

- Tension résiduelle de sortie (1 à 1,6 V)
- Sorties AC seulement ou DC seulement
- Radiateur fréquemment requis
- Utilisation avec petits signaux en sortie
- Tenue aux tensions transitoires
- Courant de fuite non nul
- Contact simple

### 3.5.3. Structure interne

Dans notre relais statique, il y a 6 composants, 3 résistances R1, R2 et R3, MOC3041, 2N2905, TIC226D. Il lie à deux parties, le chauffage et le capteur. Quand le capteur fournit une tension de +5V, le relais va fonctionner et fournir une 220V au chauffage, ensuite le chauffage va chauffer de l'eau.

ci-dessous, c'est le circuit du relais statique.



3-10 le circuit de relais statique

Réellement, on utilise la boîte tout fait :



3-11 la boîte de relais statique

### 3.6. Le thermoplongeur

Il comporte en fait comme une résistance électrique, ce qui implique donc l'intervention de l'effet Joule afin de chauffer le bain lorsque ce dernier est alimenté par une tension de 220 V.



3-12 le thermoplongeur



## 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Grâce aux efforts de chaque personne dans notre groupe, on a bien atteint le but de notre projet, c'est-à-dire, une régulation de température par tout ou rien en utilisant un schéma complet qui consiste en un capteur de température à diode, une consigne, un comparateur et un régulateur à hystérésis, et un relais statique.

Cependant, on a eu quelques difficultés pendant le travail. Par exemple, sur le choix du montage de capteur (le montage le plus important), on a essayé plusieurs montages différents, et l'a déterminé finalement par plein d'expériences. De plus, on a eu aussi des problèmes des matériaux comme la diode Zener et les fils électriques, qui nous ont gêné un peu. Quant à la rédaction du rapport, nous nous sommes aperçus encore une fois que l'on n'a que trois personnes, donc les travaux de chaque personne sont vraiment lourds.

Mais ce que nous réconforte, c'est la valeur de notre projet. Il nous permet de mieux comprendre non seulement le principe de la régulation et son application, mais aussi les connaissances que l'on a appris dans le cours du P3 et P10. Le projet est toujours une bonne façon d'appliquer ce que l'on sait et d'apprendre de nouvelles connaissances que l'on a besoin de savoir. En outre, on s'est entraîné aussi la capacité de résoudre des problèmes par nous-mêmes et on a éprouvé l'esprit d'équipe en même temps.

Et pour la poursuite de ce projet, on sait que la méthode de la régulation de température d'un bain d'eau peut être utilisée pour une grande salle. Mais dans ce cas-là, le temps de la régulation sera évidemment plus long.

A la fin, on remercie notre professeur, Monsieur GUILLOTIN pour son gentil aide et les renseignements qu'il nous a donnés pendant notre projet. On remercie aussi le technicien pour nous avoir fourni des matériaux supplémentaires.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

[http://courseleec.free.fr/Bac%20Pro%20ELEEC/Cours/21.%20Regulation%20boucle%20fermee/Regulation\\_boucle\\_fermee\\_eleves.pdf](http://courseleec.free.fr/Bac%20Pro%20ELEEC/Cours/21.%20Regulation%20boucle%20fermee/Regulation_boucle_fermee_eleves.pdf) (valide à la date du 26/05/2010).

<http://www.polytech-lille.fr/cours-regulation-automatique/tr441.htm> (valide à la date du 26/05/2010).

<http://fr.wikipedia.org/> (valide à la date du 02/06/2010).

<http://home.cogeco.ca/~rpaisley4/SSRelaysF.html> (valide à la date du 02/06/2010).

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Contacteur\\_statique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Contacteur_statique) (valide à la date du 02/06/2010).

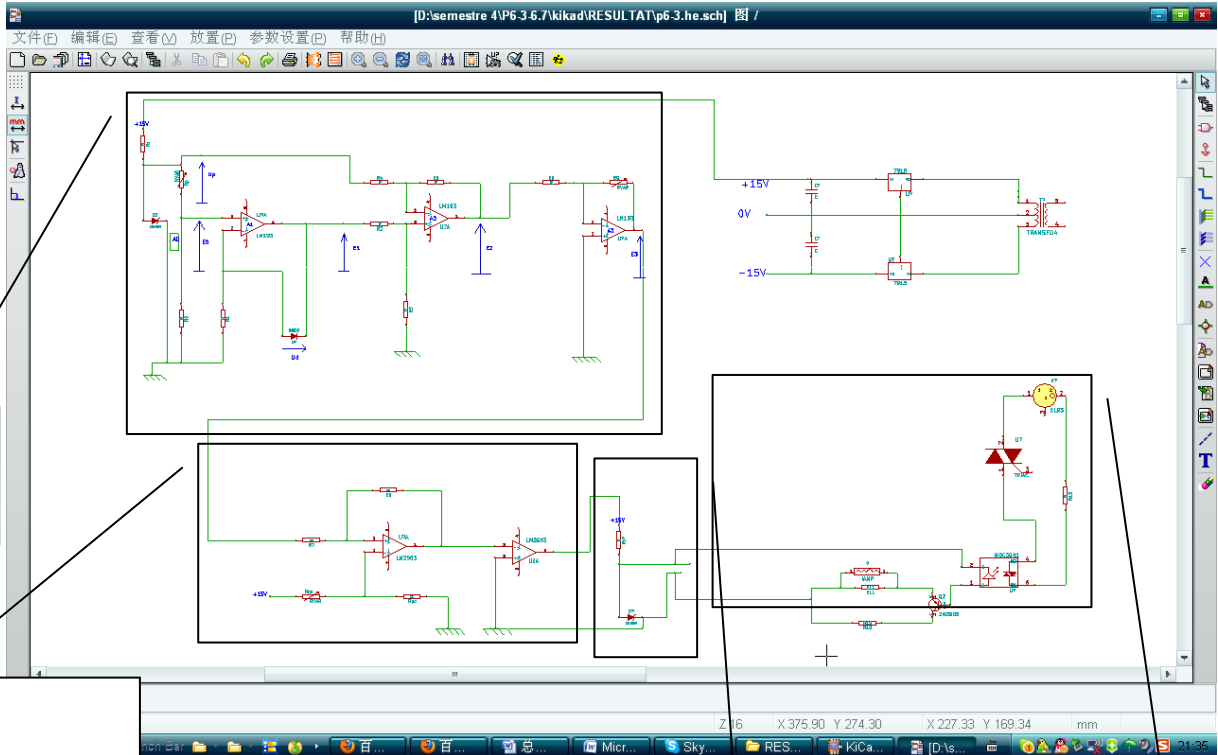
<http://home.scarlet.be/lestechriques/regulation.htm> (valide à la date du 03/06/2010).

<http://maths-sciences.ac-rouen.fr/download/cours/energie/thermoplongeur.pdf> (valide à la date du 05/06/2010).

<http://www.smart-concept-house-domotique-eib-knx.com/categorie-11331374.html> (valide à la date du 08/06/2010)

## 6. ANNEXES

### 6.1. Schéma de montage et son réalisation



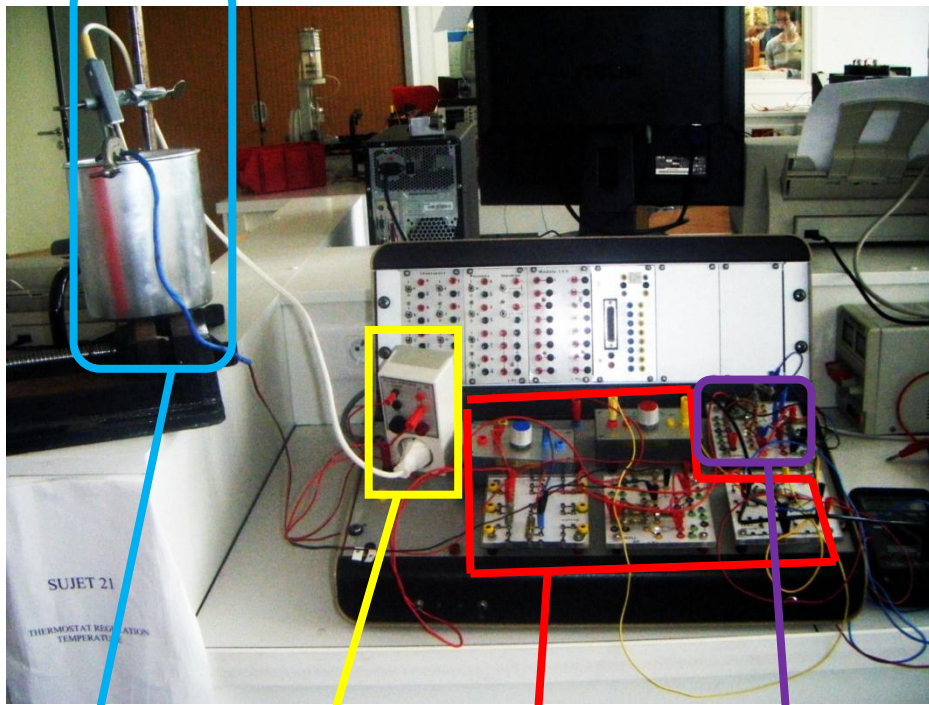
Module 1  
Capteur

Module 2  
Comparateur et  
régulateur

6-1 notre schéma ensemble en kicad

Module 3  
Diode de Zener

Module 4  
Relais  
statistique



Thermoplongeur

Le relais

6-2 notre montage ensemble

Le capteur de température à diode

Le comparateur à hystérésis