

Le thermostat à seuils réglables :

Plan :

I) Objectif

- a. L'énoncé
- b. Les points importants de cet énoncé
- c. Les différents blocs du thermostat

II) Présentation détaillée

- a. Capteur
- b. Amplificateur non inverseur
- c. Réglage des deux seuils de température
- d. Comparateur à hystérésis
- e. Adaptation de puissance

III) Réalisation pratique et améliorations possibles

- a. Le montage complet
- b. Améliorations envisageables
 - i. Créer une alimentation symétrique ($\pm 15V/0V$) à partir d'une alimentation classique (15V/0V)
 - ii. Se passer des alimentations pour régler T_{min} et T_{max}
 - iii. Améliorer la précision
 - iv. Transformer ce projet en numérique et ainsi avoir un thermostat évolutif

IV) Annexes

- a. Démonstration des différents blocs
- b. Caractéristiques principales du capteur de température LM 35
- c. Caractéristiques principales de l'amplificateur Opérationnel TL 084
- d. Bibliographie

1) Objectif

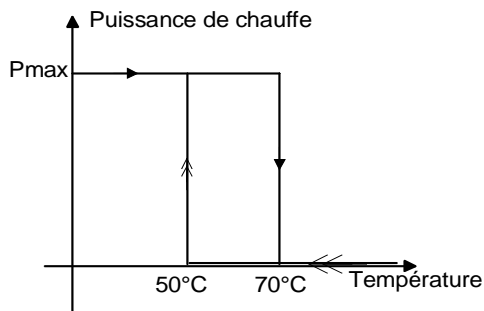
- Énoncé brut :

Ce montage doit permettre de déclencher un système de chauffage (que l'on remplacera par une DEL) lorsque la température descend en dessous d'une valeur T_{min} et de l'éteindre lorsqu'elle dépasse la valeur T_{max} . Les seuils T_{min} et T_{max} devront pouvoir être réglés par l'utilisateur.

- Les points importants de cet énoncé :

- Le thermostat est en mode **tout ou rien**
- Ici le chauffage est représenté par une **LED**
- Les deux seuils T_{min} et T_{max} sont **indépendants**
- Sous entendu : Il y aura un comparateur à **hystérésis** dans le montage.

Exemple pour un choix de l'utilisateur de $T_{min} = 50^{\circ}\text{C}$ et $T_{max} = 70^{\circ}\text{C}$:



- Les différents blocs du thermostat :

Voici donc les différents blocs que nous réaliserons pour créer ce thermostat :

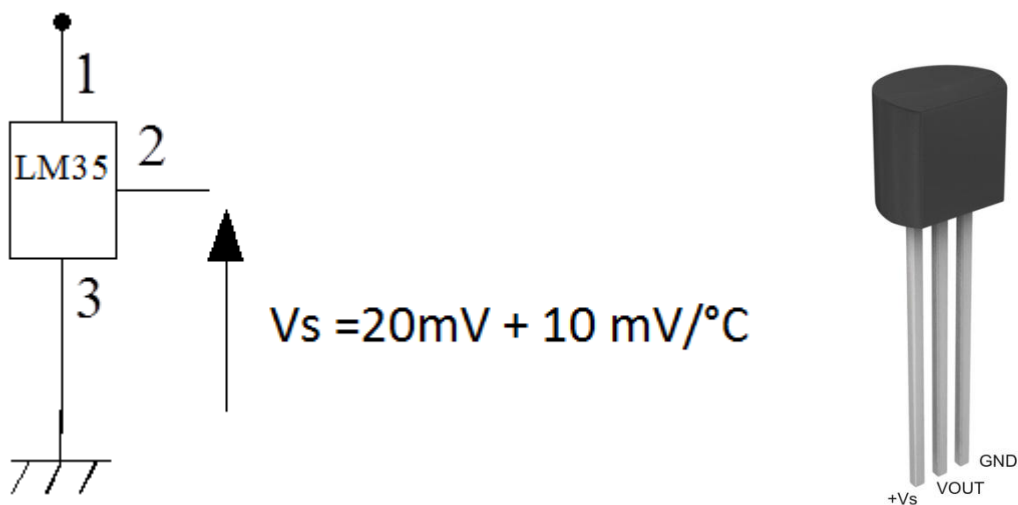


II) Présentation détaillée

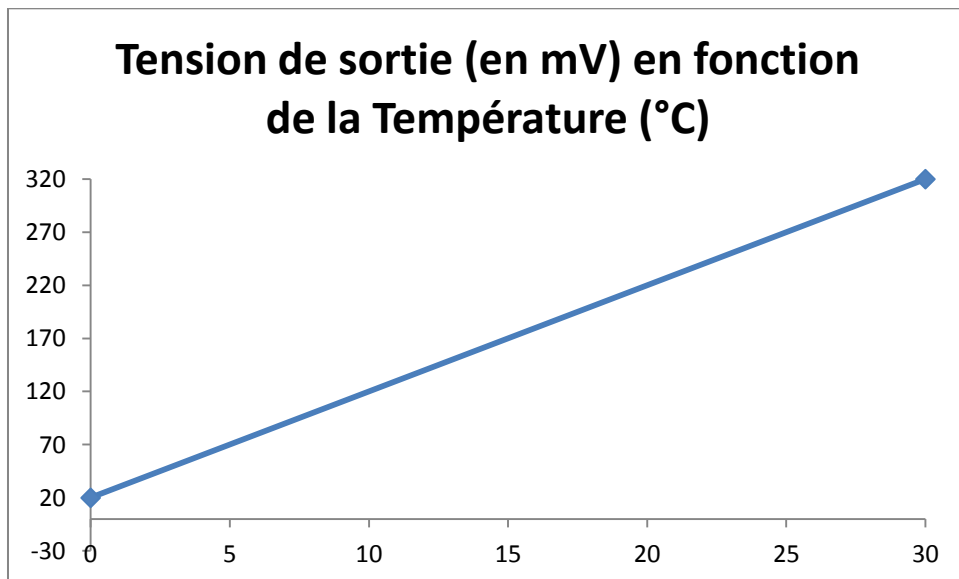
a) Capteur de température

Nous avons choisi le capteur de température « LM35 » car celui-ci a comporte de nombreux avantages :

- Précision (écart de 0.5°C maximum)
- Facile a utiliser (2 pattes pour l'alimentation et une patte de sortie)
- Impédance de sortie faible (environ 0.1 Ω pour 1mA)
- il se trouvait dans les stocks de l'ENSEA

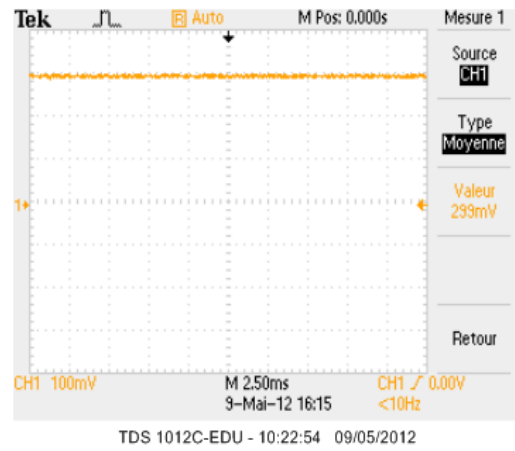
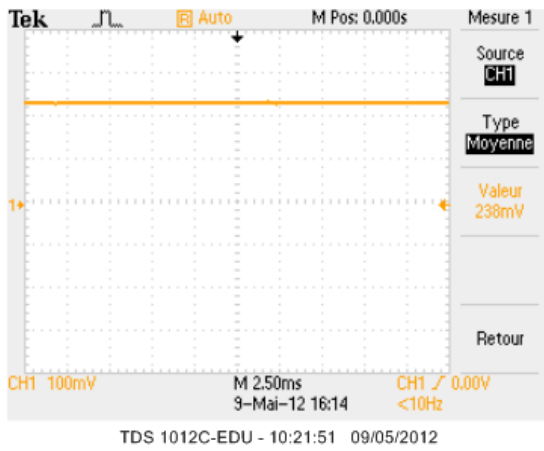


Loi du capteur : $V_s = 20\text{mV} + 10 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$:



D'après un Oscilloscope, nous confirmons bien la théorie :

21.8°C → 238mV → On chauffe → 27,9°C → 299mV



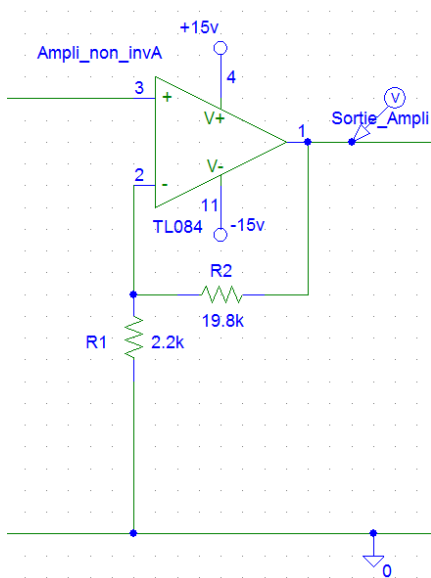
Pour plus d'informations sur ce capteur, je vous conseille d'aller voir l'annexe (b).

b) Amplificateur non inverseur

La tension en sortie du capteur est trop faible pour pouvoir régler correctement les seuils Tmin et Tmax dans le prochain bloc.

Nous allons donc créer un amplificateur x10.

Cela voudra dire qu'en sortie du bloc, nous aurons la loi : $V_s = 200 \text{ mV} + 100\text{mV}/^\circ\text{C}$.

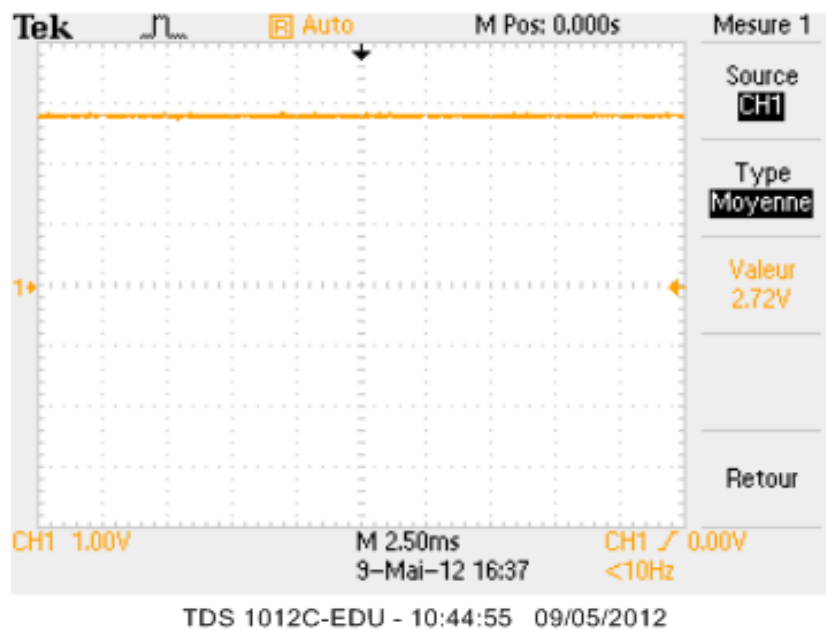


Rappelons que le rapport V_s/V_e d'un amplificateur non inverseur est $(R_1 + R_2)/R_1$.

Nous avons donc pris : $R_1 = 2.2k\Omega$ et $R_2 = 19.8k\Omega$. Nous avons également utilisé un amplificateur TL084 car il nous sera très utile dans les prochains blocs.

Nous vérifions bien à l'aide d'un oscilloscope que ce bloc marche :

$$25.2\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 2.72\text{ V}$$



Remarques Importantes :

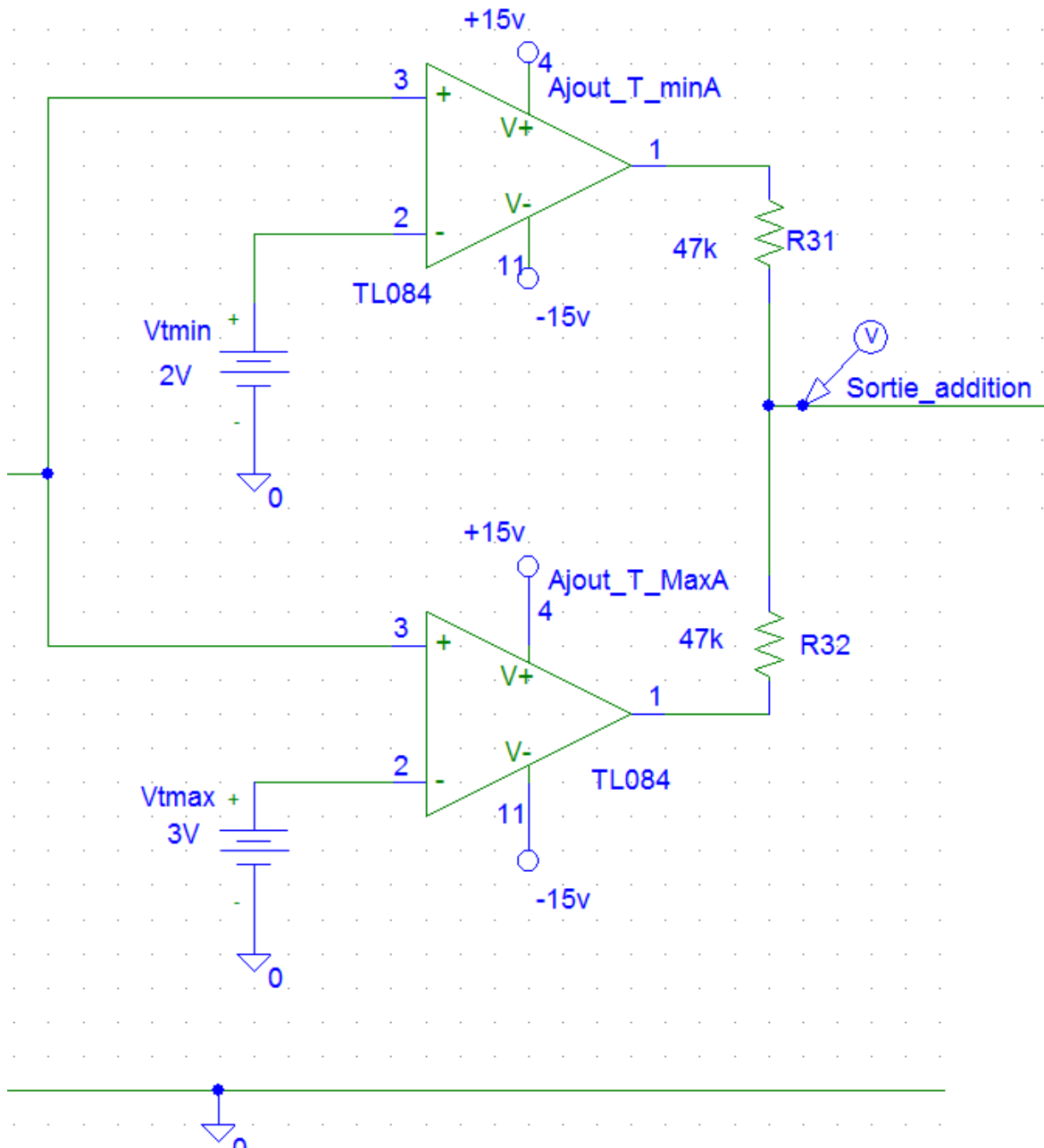
- L'amplificateur TL084 possède une **grande impédance d'entrée et une faible impédance de sortie** ;
Ainsi, **Ce bloc et tous les blocs suivants ne vont pas interférer entre eux.**

- **Les calculs théoriques des différents blocs se trouvent en annexe.**

c) Réglage des seuils de température

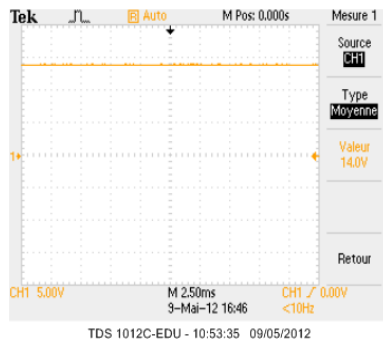
Nous devons régler de manière INDEPENDANTE les deux seuils de température Tmin et Tmax.

Voici donc notre montage :

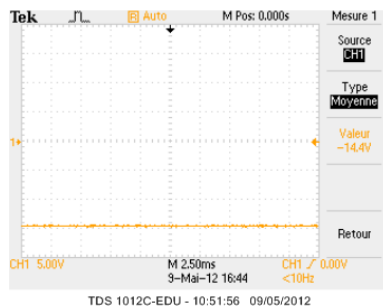


Il y a 3 cas possibles :

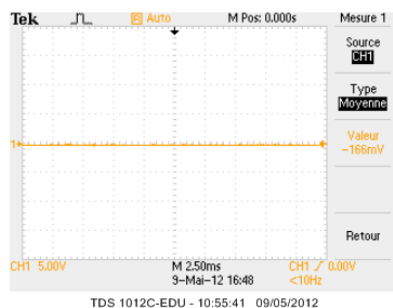
- Si $V_e > V_{max}$: $V_s = V_{cc}$



- Si $V_e < V_{min}$: $V_s = -V_{cc}$



- Si $V_{min} < V_e < V_{max}$: $V_s = 0V$



Remarque :

En sortie, nous n'avons pas vraiment $\pm V_{cc} = \pm 15V$ ou $0V$ mais plutôt $\pm 14V$ ou $0V$.

Cela est dû au circuit (composants) qui n'est pas parfait et à l'alimentation ne fournissant pas vraiment du $\pm 15V$ mais plutôt $14.6V$.

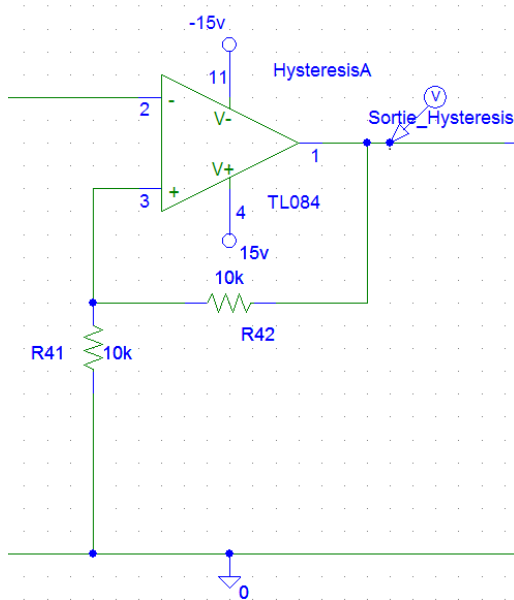
Cela n'a pas de conséquence dans notre projet puisque nous ne faisons que comparer des tensions « indépendantes de l'alimentation $\pm V_{cc}$ ».

d) Compérateur à hystérésis

Il s'agit du bloc essentiel de ce projet.

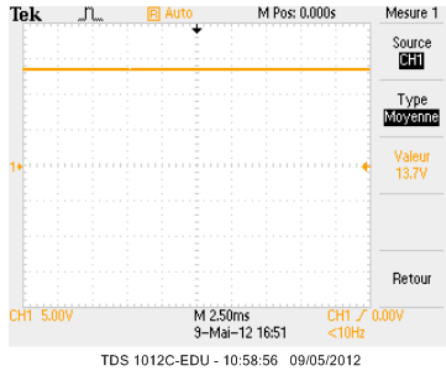
En effet, il permet de déterminer si nous devons activer (ou pas) le chauffe-eau (DEL).

Voici notre montage :



Voici donc les 2 sorties possibles :

$V_s = +V_{cc} \rightarrow$ Fonctionnement du chauffe-eau (DEL) :



$V_s = -V_{cc} \rightarrow$ Chauffe-eau (DEL) éteint :



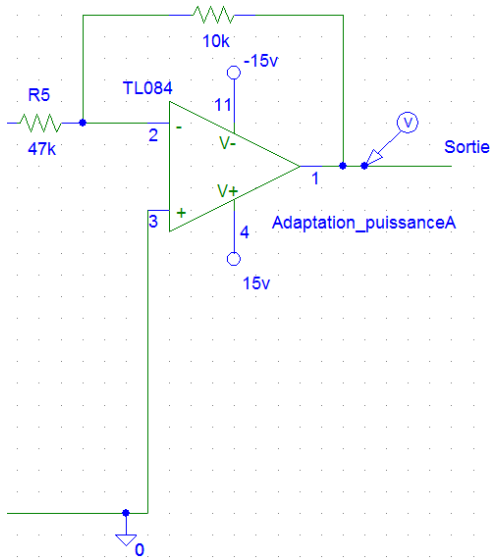
e) Adaptation de puissance

La sortie du bloc précédent nous donne l'information d'allumer ou pas le chauffe-eau (DEL).

Le problème est que nous recevons une tension de $\pm 15V$.

Nous devons donc créer un bloc (tout simple) qui fournira du $\pm 3V$ à partir de $\pm 15V$.

Voici notre montage :



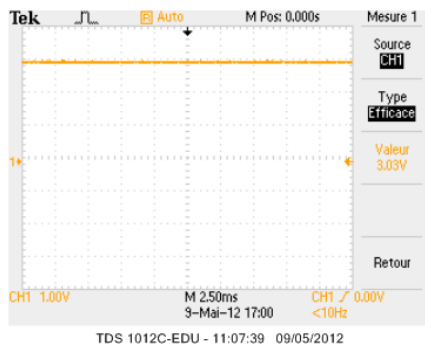
Le rapport V_s/V_e de cet amplificateur inverseur est $-R_6/R_5$.

Voici donc les 2 sorties possibles :

$V_s = -3V \rightarrow$ Fonctionnement du chauffe-eau (DEL) :

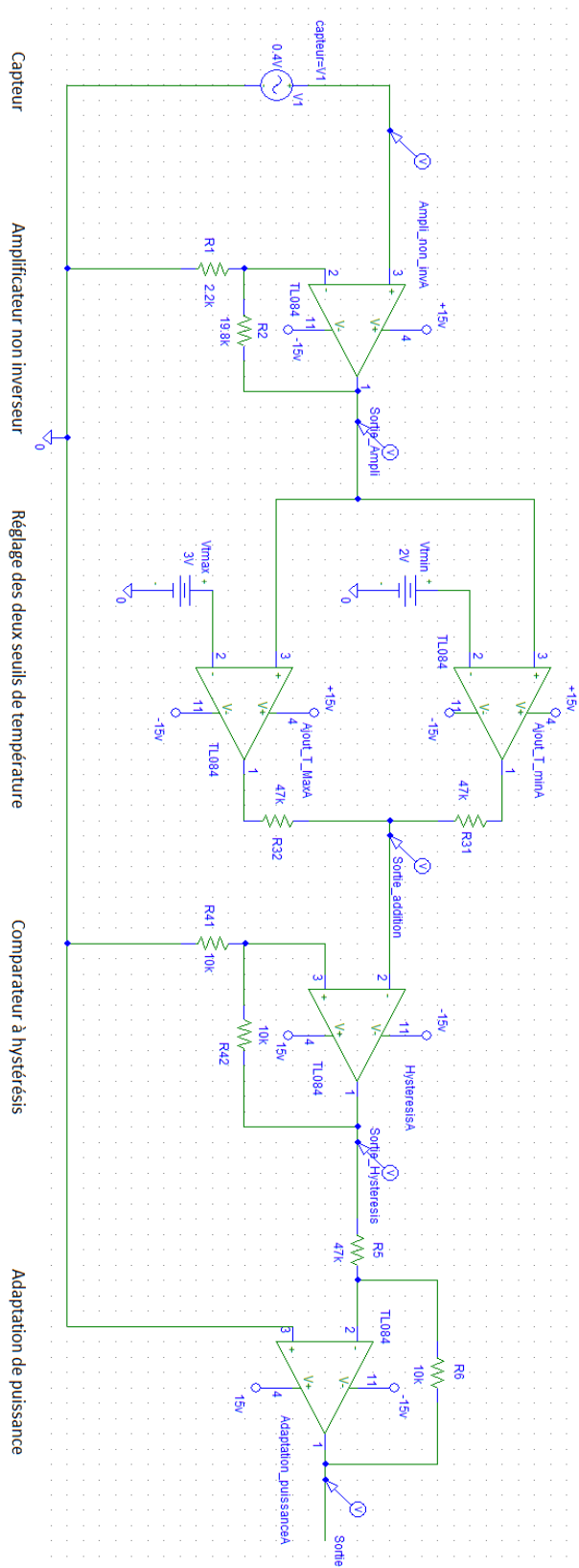


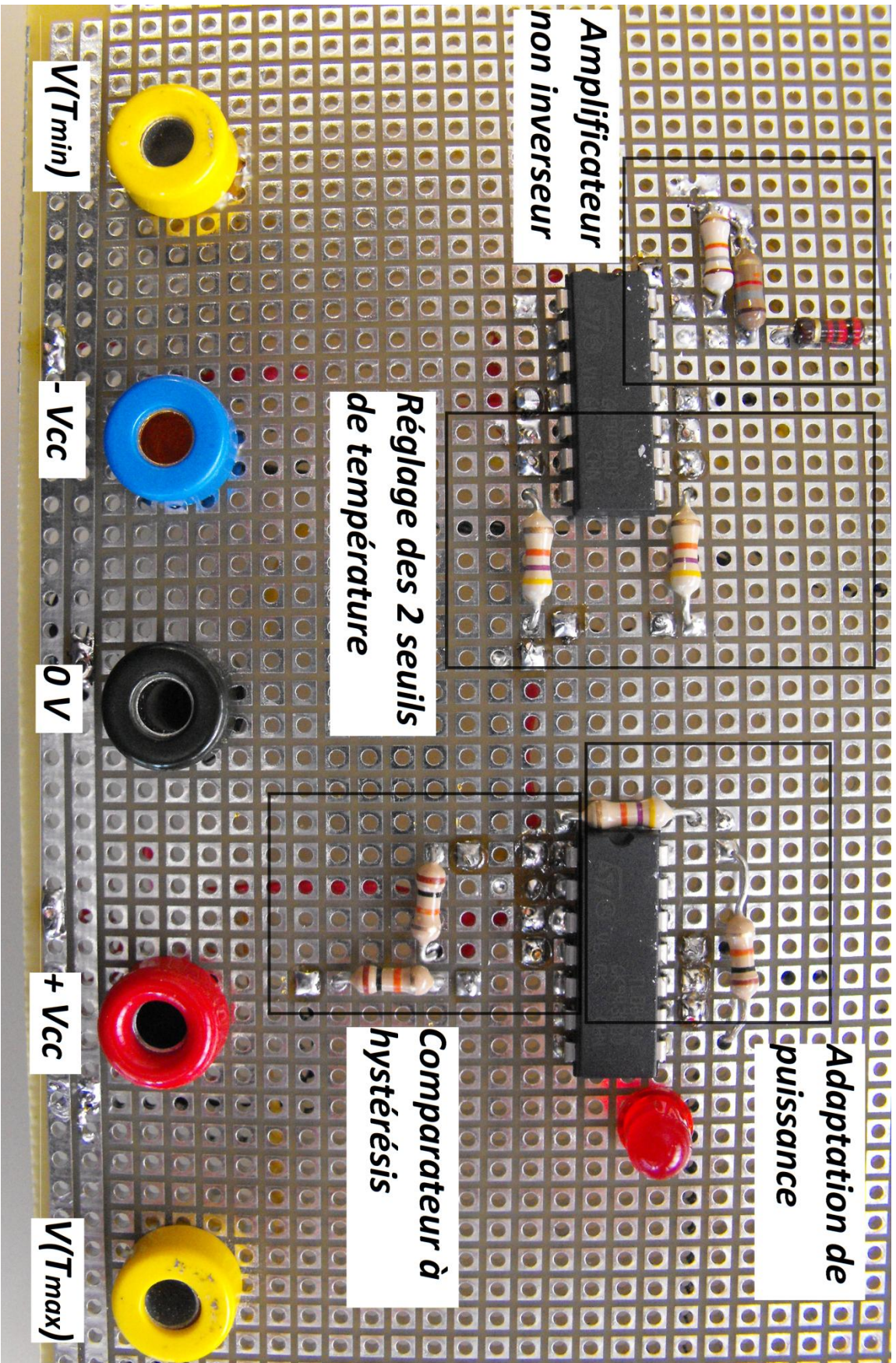
$V_s = +3V \rightarrow$ Chauffe-eau (DEL) éteint :



II) Réalisation pratique et améliorations possibles

a) Le montage complet





Amplificateur non inverseur

Réglage des 2 seuils de température

Adaptation de puissance

Comparateur à hystérésis

V(T_{min})

- Vcc

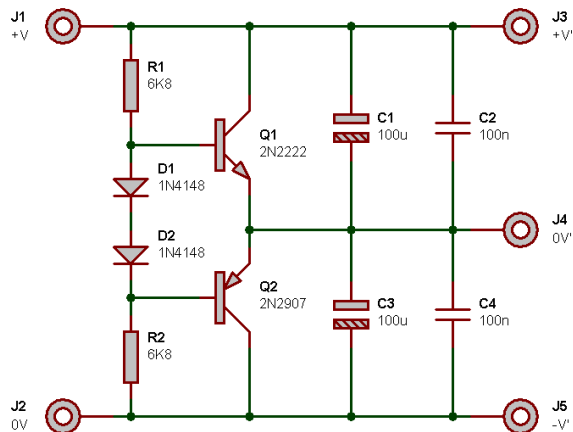
0 V

+ Vcc

V(T_{max})

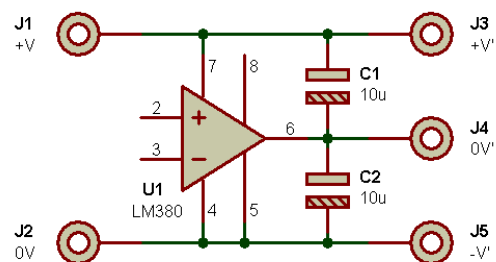
b) Améliorations envisageables

- **Créer une alimentation symétrique ($\pm 15V/0V$) à partir d'une alimentation classique ($15V/0V$) :**



Ce montage est constitué de : 1 NPN, 1 PNP, 2 diodes, 2 résistances, 2 Condensateurs chimiques et 2 condensateurs.

Voici une autre possibilité :



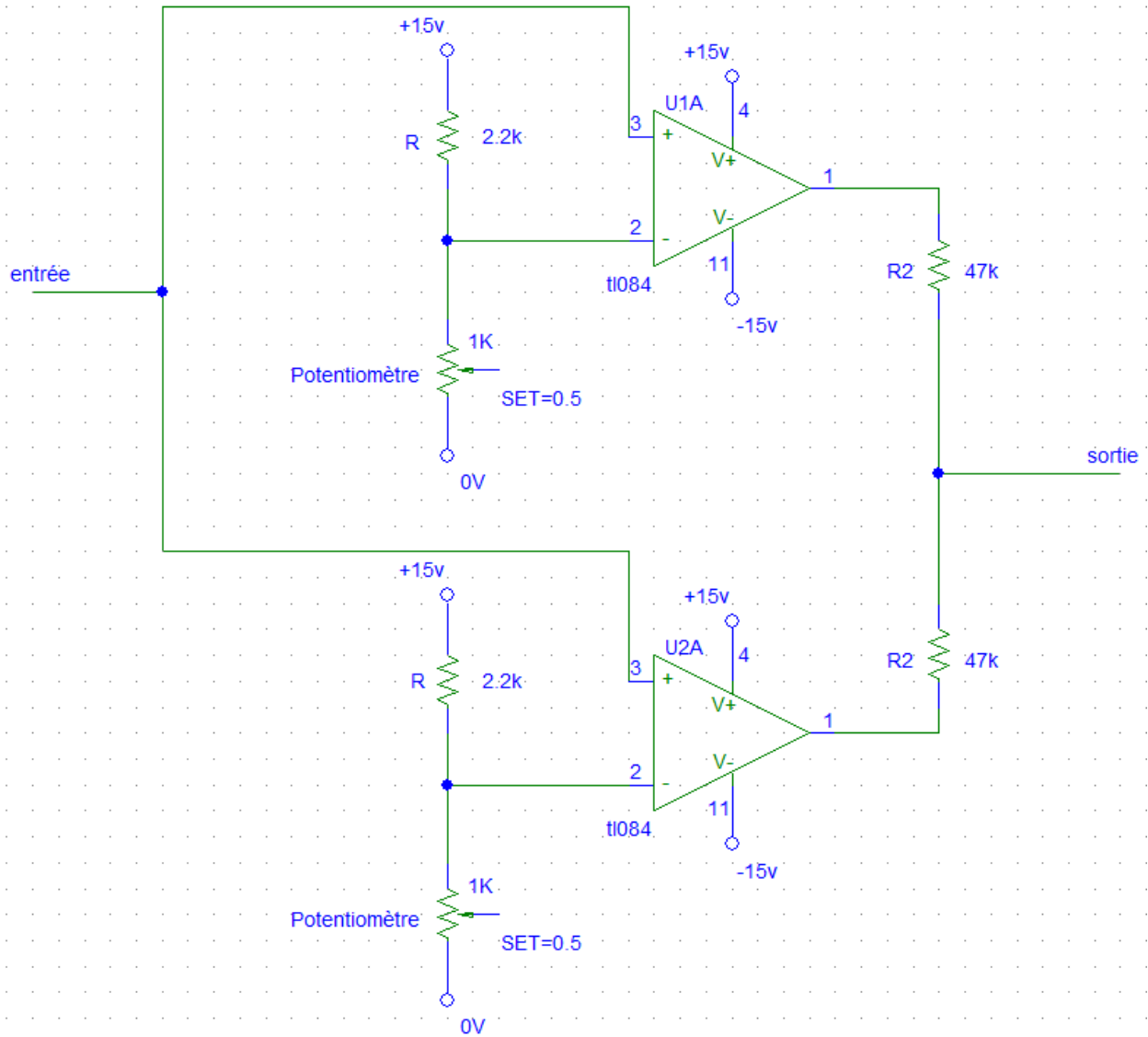
Ce montage est constitué de : 1 Amplificateur ayant une alimentation $15V/0V$ et 2 condensateurs chimiques.

Ce montage est intéressant uniquement dans le cas où l'on utilise plusieurs AO $15V/0V$ (ce qui n'est pas notre cas).

- **Se passer des alimentations pour régler Tmin et Tmax :**

Nous utilisons actuellement 3 sources de tension : Une alimentation symétrique, 2 alimentations pour régler Tmin et Tmax.

Nous aurions très bien pu n'utiliser que l'alimentation symétrique en remplaçant les alimentations pour régler Tmin et Tmax par des potentiomètres :



On a alors $V^- = \text{Potentiomètre} / (\text{Potentiomètre} + R)$

Or, on veut que V^- soit compris entre 0V et 4-5V (pour pouvoir régler entre 2°C et 42-52°C).

On trouve donc que le couple $R = 2.2k\Omega$ et Potentiomètre = 1 k Ω convient.

▪ **Améliorer la précision :**

Nous pouvons noter que certains blocs sont plus importants que d'autres pour la précision du thermostat.

En effet, le bloc « b) amplificateur non inverseur » est le plus important pour la précision ;

Si les résistances sont très imprécises, 1°C pourrait ne pas correspondre à 100mV mais, dans le pire cas, à 120 mV :

Pour une précision de ±10% pour les résistances :

$R1 = 2.2 \text{ k}\Omega \rightarrow 110\%R1 = 2.42 \text{ k}\Omega$ et $90\%R1 = 1.98 \text{ k}\Omega$

$R2 = 19.8 \text{ k}\Omega \rightarrow 110\%R2 = 21.78 \text{ k}\Omega$ et $90\%R2 = 17.82 \text{ k}\Omega$

Amplification théorique : $2.2 + 19.8 / 2.2 = \mathbf{10}$

Amplification dans les cas extrêmes :

$2.42 + 17.82 / 2.42 = \mathbf{8.36}$

$1.98 + 21.78 / 1.98 = \mathbf{12}$

$2.42 + 21.78 / 2.42 = \mathbf{10}$

$1.98 + 17.82 / 1.98 = \mathbf{10}$

De même, pour une précision de 5% : Amplification entre 9.14 et 10.94.

Pour une précision de 2% : Amplification entre 9.65 et 10.37.

Pour une précision de 1% : Amplification entre 9.83 et 10.18.

Ainsi, la précision serait plus que médiocre si l'on utilise des résistances avec une précision inférieure à 5 % (amplification entre 9.14 et 10.94 au lieu de 10).

Il nous semble donc nécessaire de choisir des résistances avec une précision au maximum de 2%, surtout pour le bloc « b ».

▪ **Transformer ce projet en numérique et ainsi avoir un thermostat évolutif**

Cette amélioration est sans doute la plus longue à mettre en place mais permettrait d'apporter les améliorations les plus intéressantes :

- Forte augmentation la précision du thermostat.

- Possibilité de faire un thermostat « évolutif » : Un thermostat « tout ou rien » n'est pas forcément le plus adapté pour les besoins de tous.

En effet, il serait plus intelligent de chauffer **plus** quand il fait très froid et **peu** quand nous sommes presque à la Température « idéale ».

Cela éviterait d'allumer/éteindre le chauffe-eau sans cesse (réduction des coups).

- Possibilité de sauvegarder l'évolution de la température dans un fichier.

- Possibilité de régler à l'avance le thermostat.

...

IV) Annexes

1) Démonstration des différents blocs :

- **Vs/Ve pour l'amplificateur non inverseur (bloc « b ») :**

$$V^- = V^+ = V_e$$

$$V^- = (V_s/R_2) / ((1/R_1) + (1/R_2))$$

D'où :

$$V_s/V_e = (R_1 + R_2)/R_1$$

- **Vs/Ve pour le réglage des seuils de température (bloc « c ») :**

$$V_s = (V_A/R_3 + V_B/R_3) / (1/R_3 + 1/R_3) = (V_A + V_B)/2 = (\pm V_{cc} \pm V_{cc})/2$$

D'où :

$$\text{Si } V_e > V_{max} : V_s = V_{cc}$$

$$\text{Si } V_e < V_{min} : V_s = -V_{cc}$$

$$\text{Si } V_{min} < V_e < V_{max} : V_s = 0V$$

- **Vs/Ve pour le comparateur à hystérésis (bloc « d ») :**

$$I = V_s / (R_4 + R_4)$$

$$V^+ = R_4 \times I = R_4 \times V_s / 2 \times (R_4 + R_4) = V_s/2$$

Posons $V_s = +V_{cc}$:

On a alors $V^+ = V_{cc}/2$

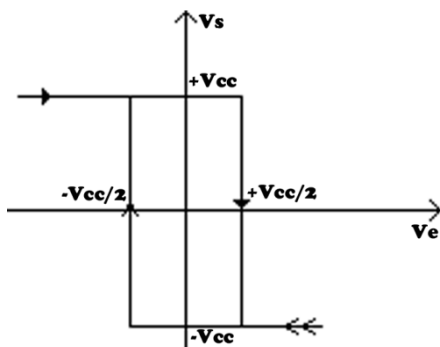
Il faut donc que V^- soit supérieur à $V_{cc}/2$ (donc il faut que $V^- = V_{cc}$) pour changer d'état.

Après le changement d'état, $V_s = -V_{cc}$:

On a alors $V^+ = -V_{cc}/2$

Il faut donc que V^- soit inférieur à $V_{cc}/2$ (donc il faut que $V^- = -V_{cc}$) pour changer d'état.

Pour conclure, nous avons une hystérésis de la forme :



- **Vs/Ve pour l'amplificateur inverseur (bloc « e ») :**

$$V^- = V^+ = 0V$$

$$V^- = (V_e/R_5 + V_s/R_6) / (1/R_5 + 1/R_6)$$

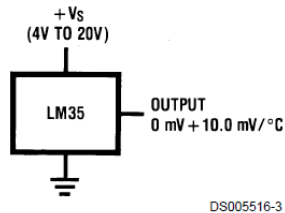
$$\text{D'où } V_e/R_5 + V_s/R_6 = 0$$

D'où

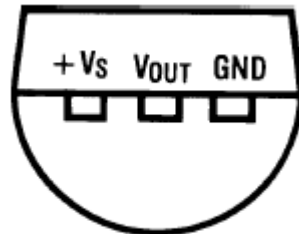
$$V_s/V_e = -R_6/R_5$$

2) Caractéristiques principales du capteur de température LM 35

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

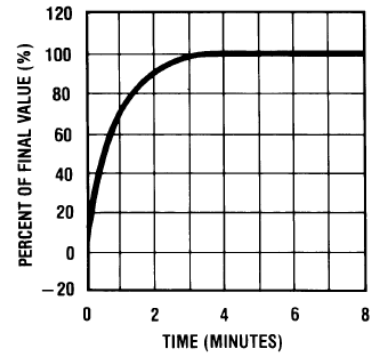


Basic Centigrade Temperature Sensor
(+2°C to +150°C)



BOTTOM VIEW

Thermal Response
in Still Air



Features :

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to +150°C range
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60 µA current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only ±1/4°C typical
- Low impedance output, 0.1 Ω for 1 mA load

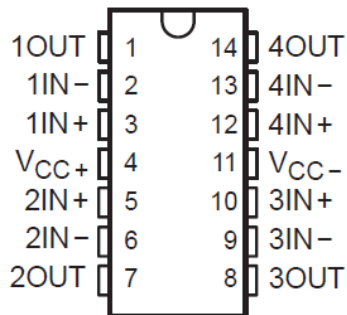
The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature.

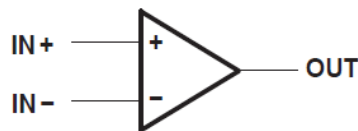
3) Caractéristiques principales de l'amplificateur Opérationnel TL 084

High Input Impedance (Input resistance= $10^{12} \Omega$)
High Slew Rate : 13 V/ μ s
Low Total Harmonic Distortion (THD) : 0.003%
Low Power Consumption
Alimentation ± 15 V

TL084, TL084A, TL084B
D, J, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



TL084 (EACH AMPLIFIER)



4) Bibliographie

- <http://www.wikipedia.org/> (comprendre les bases)
- <http://www.google.fr> (Pour un peu tout)
- http://www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_thermostat_002.html (Pour voir ce que donne un thermostat en numérique)
- <http://stephbill.free.fr/tp%20mpi/tp%20steph/tp15mpimodif.pdf> (TP « bateau » sur un pseudo thermostat)
- <http://www.ti.com/> (site constructeur des composants étudiés pour vérifier que nos composants sont bien adaptés à notre projet)

... (nous avons parcouru pas mal de « sites perso » pour nous inspirer).