

# **COMPTE RENDU**

## **DU TP 3 :**

# **Capteurs thermiques**

## **I- But de la manipulation :**

Cette manipulation a pour but la détermination de la caractéristique d'un capteur de température à circuit intégré LM 335. Ainsi l'étude des caractéristiques d'un capteur thermique à résistance de platine RTD, d'une thermistance CTN et d'un thermocouple type K.

## **II- Partie théorique :**

Ce TP se base sur le banc DIGAC 1750 (D1750). Ce banc est une unité complète de transducteurs et formateur d'instrumentation avec des exemples d'une gamme complète de capteurs d'entrée et de sortie, les circuits de conditionnement de signaux et dispositifs d'affichage. Les seuls éléments supplémentaires électroniques recommandés sont un voltmètre et un oscilloscope. D1750 est organisé sous forme de blocs intégrés assurant la capture, la convention le conditionnement et l'adaptation, la mise en forme des signaux, le comptage et la mesure, l'affichage et la signalisation, et des applications d'asservissements et de régulation.

Ce qui nous nous intéresse dans ce TP, ce sont les capteurs thermiques :

- ✓ Capteur de température à base de semi-conducteur LM335
- ✓ Capteur de température à résistance de platine RTD
- ✓ Capteur de température à coefficient de température négatif CTN (Thermistance CTN)
- ✓ Thermocouple de type K

### **1- Résistance de platine RTD :**

La résistance de platine RTD (capteur de température à résistance de platine) est un matériel doté d'une résistance d'une valeur typique de  $100\ \Omega$  à  $0^{\circ}\text{C}$ . Il se compose d'un film très fin de platine déposé sur un film de plastique. Sa résistance varie en fonction de la température et il peut mesurer des températures pouvant atteindre  $850^{\circ}\text{C}$ . Le courant qui circule à travers une RTD génère une tension entre ses bornes. En mesurant cette tension, on peut déterminer la valeur de la résistance et ainsi sa température. La relation entre la résistance et la température est relativement linéaire.

### **2- Thermistance :**

Une thermistance est un agglomérat d'oxydes métalliques frittés, c'est-à-dire rendus compacts par la pression exercée à température élevée.

Les principales qualités de ces capteurs sont : Précision, linéarité, temps de réponse (en s), sensibilité ou coefficient de température, durée de vie, Stabilité (variation des différents paramètres dans le temps), coût et puissance.

La thermistance CTN (Coefficient de Température Négatif) est une thermistance dont la résistance diminue de façon uniforme avec la température.

Les CTN sont fabriquées à base d'oxydes de métaux de transition (manganèse, cobalt, cuivre et nickel). Ces oxydes sont semi-conducteurs. Elles sont utilisées pour les mesures et le contrôle de la température, la suppression d'impulsions transitoires, la mesure de flux de liquides.

### 3- Thermocouple :

Un thermocouple est constitué d'une jonction de référence, d'une jonction de mesure et de deux conducteurs de matériaux différents. Lorsqu'une différence de température est présente aux bornes d'un conducteur électrique, le flux de chaleur crée un mouvement d'électrons ce qui génère une force électromotrice dans cette zone.

En général la température de la jonction de référence est fixe et connue, la température de l'autre jonction est celle qu'elle atteint lorsqu'elle est placée dans le milieu étudié. La prise d'information se faisant au niveau d'une jonction dont les dimensions peuvent être très réduites.

Le thermocouple permet des mesures de température ponctuelles et son temps de réponse est court. Ceci rend l'emploi des thermocouples avantageux par rapport aux résistances thermométriques.

Un autre intérêt du thermocouple est de délivrer un signal sous forme d'une force électromotrice, dont la mesure ne nécessite pas la circulation d'un courant dans le capteur : Il n'y a donc, contrairement au cas des résistances, aucune incertitude liée à l'auto-échauffement.

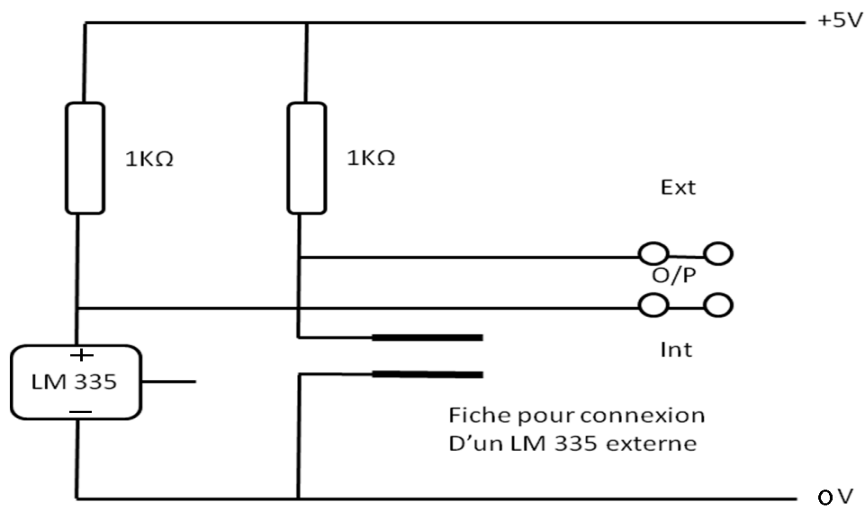
Les thermocouples sont disponibles dans différentes combinaisons de métaux ou de calibrages pour accommoder diverses utilisations. Les trois calibrages les plus communs sont K, T et J; le type K étant le plus populaire grâce à sa large palette de température et son prix peu élevé. Il est composé d'un conducteur positif Nickel-Chrome et d'un conducteur négatif Nickel-Aluminium.

## III- Caractéristiques du CI LM 335 et d'un capteur à résistance Platine :

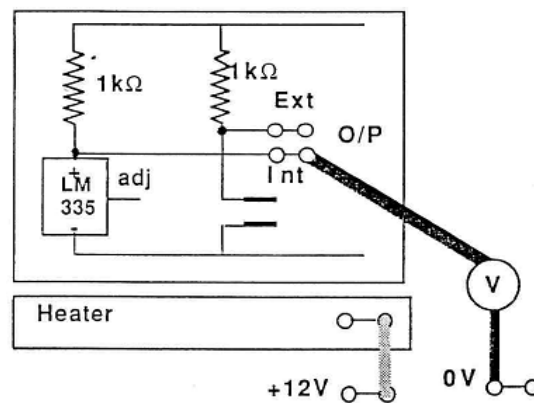
### A- Etude de la caractéristique du CI LM 335 :

#### Spécifications techniques du C-I LM335 :





### Schéma du montage à câbler :



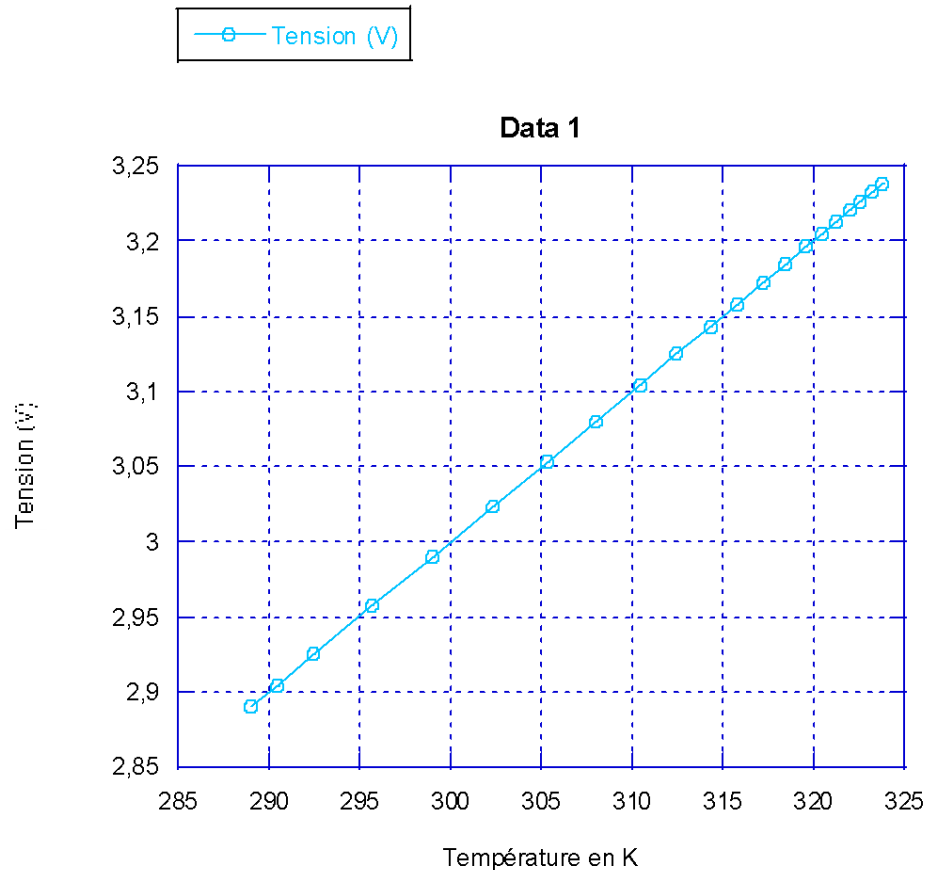
### Table des mesures :

| Durée (min) |    | 0     | 0,5   | 1     | 1,5   | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     |
|-------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tension (V) |    | 2,89  | 2,904 | 2,925 | 2,957 | 2,99  | 3,023 | 3,053 | 3,08  | 3,104 | 3,125 | 3,143 |
| Température | K  | 289   | 290,4 | 292,5 | 295,7 | 299   | 302,3 | 305,3 | 308   | 310,4 | 312,5 | 314,3 |
|             | °C | 15.85 | 17.25 | 19.35 | 22.55 | 25.85 | 29.15 | 32.15 | 34.85 | 37.25 | 39.35 | 41.15 |

| Durée (min) | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 | 8 | 8,5 | 9 | 9,5 | 10 |
|-------------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|----|
|-------------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|----|

| Tension (V) |    | 3,158 | 3,172 | 3,184 | 3,196 | 3,204 | 3,212 | 3,22  | 3,226 | 3,232 | 3,238 |
|-------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Température | K  | 315,8 | 317,2 | 318,4 | 319,6 | 320,4 | 321,2 | 322   | 322,6 | 323,2 | 323,8 |
|             | °C | 42,65 | 44,05 | 45,25 | 46,45 | 47,25 | 48,05 | 48,85 | 49,45 | 50,05 | 50,65 |

Courbe de la tension en fonction de la température :



Caractéristique du LM 335 :

D'après Kaleidagraph, la caractéristique du LM 335 de la tension en fonction de la température est :

$$V = 0,01. T + 4,9435. 10^{-7}$$

## B- Construction d'un thermomètre numérique à base des éléments du Banc DIGIAC :

Principe :

Le LM335 délivre une tension que l'adaptateur de charge permet de garder constante en annulant l'influence de la charge qui crée une chute de tension. Le convertisseur tension/fréquence indique une fréquence de sortie 1KHz/V, et puisque le dispositif d'affichage numérique à 3 chiffres permet 600 périodes à la seconde, on divise la sortie du LM335 par 10 parce que la tension maximale qu'il peut afficher est 1 V, on utilise donc un amplificateur intermédiaire pour réduire au minimum la charge du LM335.

### Schéma du montage :

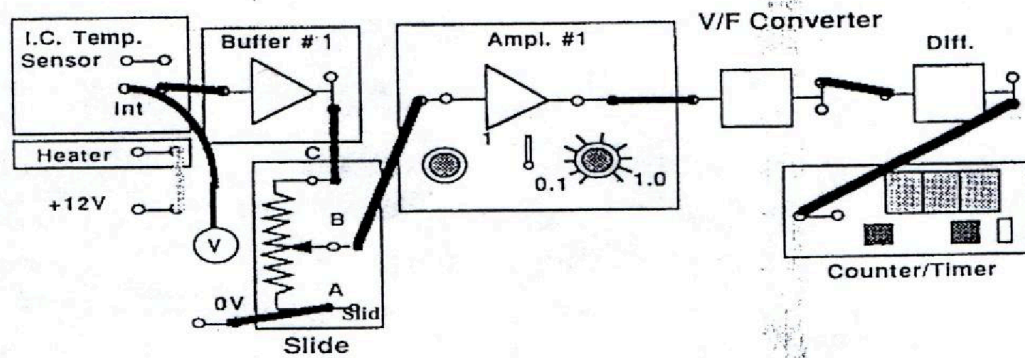


Figure 14

### Dispositifs :

- Un capteur de température à CI LM335 : Caractérisé par une sensibilité 10mV/K, il convertit les variations de la température en variation de tension.
- Un amplificateur intermédiaire (Buffer) : Caractérisé par un gain unitaire, il élimine la résistance du LM335.
- Un potentiomètre à curseur à résistance à piste de carbone bobiné : C'est un potentiomètre Slid 10 K $\Omega$ , il sert à régler l'amplification de la tension pendant l'étalonnage.
- Un amplificateur : Caractérisé par un gain variable, il sert à régler l'amplification de la tension pendant l'étalonnage.
- Un convertisseur tension/fréquence.

- Un différentiateur : Garanti la mise en forme d'onde de sortie pour l'adapter à l'entrée du compteur.
- Un compteur horloge à trois chiffres.

#### Mode opératoire :

##### **Conditionnement :**

- Mettre sous tension et connecter l'amplificateur différentiel (1) sur 0 (élimination de l'offset).
- Connecter la sortie au « + » du voltmètre à cadre mobile et connecter le « - » sur 0V.
- Le réglage fin du gain de l'amplificateur diff1 sur 1,0 et le réglage grossier sur 10, régler l'offset pour une sortie d'environ zéro.
- Positionner ensuite le réglage grossier sur 100 et ajuster de manière à avoir une sortie nulle.
- Positionner les réglages grossiers et fin sur 1 et 0,1 ; respectivement.
- Si on dépasse une amplification de 0,1 on sature le convertisseur V/F.
- Réaliser le Schéma de montage à câbler.
- Régler le curseur de la résistance 10K $\Omega$  à fond sur la droite ( $R_{max}$ ).
- La constante de temps du différentiateur à 1s et la constante de temps de la commande du compteur sur « count » et 1s.

##### **Etalonnage :**

Tout d'abord on met le circuit sous tension et on connecte l'amplificateur #1 sur 0 et on règle le gain de l'amplificateur sur 1,0 et le réglage grossier sur (10, ensuite sur 100) en ajustant l'offset de tel façon à avoir une sortie d'environ zéro .après on règle le curseur de la résistance 10K $\Omega$  sur la valeur maximal ( $R_{max}$ ) .

Après on note la tension indiquée par le voltmètre puis on appuie sur le bouton reset du compteur et on note la valeur affichée .si la valeur indiquée par le voltmètre est inférieure on fait réduire légèrement la résistance 10K $\Omega$  et si c'est l'autre cas on augmente légèrement le réglage fin de l'amplificateur #1

On connecte l'élément chauffant à 12V et on note les valeurs indiquées sur la table des mesures.



Tableau de mesures :

| Temps (min)           | 0    | 0,5  | 1    | 1,5  | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     |
|-----------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valeur du Voltmètre   | 2,93 | 2,93 | 2,95 | 2,98 | 3,013 | 3,043 | 3,074 | 3,101 | 3,124 | 3,144 | 3,161 |
| Valeur de l'afficheur | 293  | 293  | 296  | 298  | 301   | 305   | 306   | 308   | 313   | 315   | 316   |

| Temps (min)           | 5,5   | 6    | 6,5   | 7     | 7,5  | 8     | 8,5   | 9     | 9,5   | 10   |
|-----------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| Valeur du Voltmètre   | 3,177 | 3,19 | 3,201 | 3,211 | 3,22 | 3,229 | 3,235 | 3,241 | 3,246 | 3,25 |
| Valeur de l'afficheur | 318   | 318  | 318   | 322   | 322  | 323   | 323   | 324   | 325   | 326  |

Interprétation :

En tenant compte de la sensibilité du LM335,  $S=0,01V/K$ , on lit la valeur de la température à partir du voltmètre. On voit bien que l'afficheur permet de lire directement la valeur de la température.

**C- Etude de la caractéristique d'un capteur thermique à résistance de Platine RTD :**

Le banc DIGIAC 1750 dispose d'une résistance platine à coefficient de température positif 0,385 dans une borne est connecté à la masse.

$$R(T) = R_0 (1 + 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot T)$$

Avec  $R_0$  est : Résistance à la température à  $0^\circ C$  ( $R_0 = 100\Omega$ )

Principe de mesure :

Le principe consiste à raccrocher en série le capteur RTD avec une résistance bobiné et de mesurer par la suite la chute de tension aux bornes du capteur. Puisque la variation de la résistance est négligeable, la variation du courant l'est aussi et la chute de tension aux bornes du capteur est proportionnelle à sa résistance. Donc on lira directement, sur le voltmètre aux bornes de la résistance bobiné, la valeur de la résistance par la multiplication de la valeur affiché par 100.

Schéma du montage :

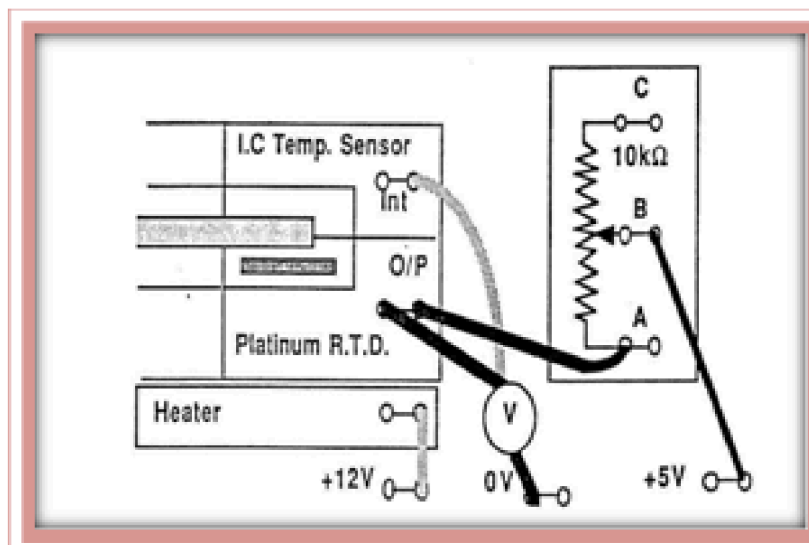
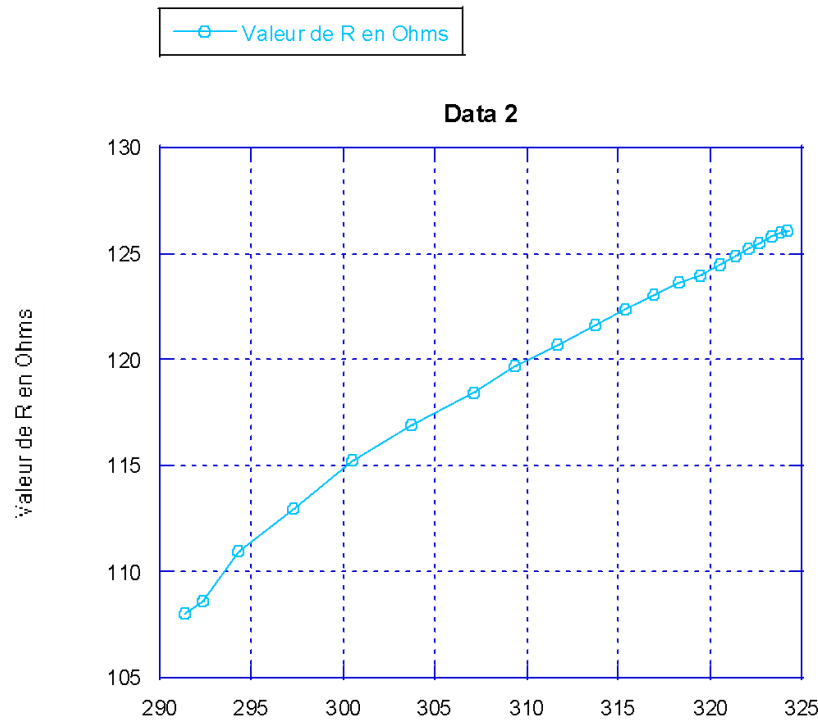


Tableau de mesure :

| Temps (min)         | 0     | 0,5   | 1     | 1,5   | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Température en K    | 291,4 | 292,3 | 294,3 | 297,3 | 300,5 | 303,7 | 307,1 | 309,4 | 311,7 | 313,7 | 315,4 |
| Valeur de R en Ohms | 108   | 108,6 | 111   | 113   | 115,2 | 116,9 | 118,4 | 119,7 | 120,7 | 121,6 | 122,4 |

| Temps (min)         | 5,5   | 6     | 6,5   | 7     | 7,5   | 8     | 8,5   | 9     | 9,5   | 10    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Température en K    | 316,9 | 318,3 | 319,5 | 320,5 | 321,4 | 322,1 | 322,7 | 323,4 | 323,8 | 324,2 |
| Valeur de R en Ohms | 123   | 123,6 | 124   | 124,5 | 124,9 | 125,2 | 125,5 | 125,8 | 126   | 126,1 |

Courbe de la résistance en fonction de la température :



#### Interprétation :

La caractéristique de la RTD selon la courbe tracée sur KaleidaGraph est :

$$R = 0,52298 \cdot T - 42,914 \quad \text{avec } R = 0,99348$$

On voit bien que la caractéristique n'est pas vraiment linéaire, on remarque une différence entre le coefficient de température théorique  $3,85 \cdot 10^{-3}$  et le coefficient de température pratique  $5,22 \cdot 10^{-3}$ .

#### **IV- Caractéristiques d'une thermistance CTN et d'un thermocouple type K :**

##### **A- Etude de la caractéristique d'une thermistance CTN :**

#### Présentation :

Les CTN (Coefficient de Température Négatif) sont des thermistances dont la résistance diminue de façon uniforme avec la température.

Lorsque l'effet Joule (échauffement dû au passage du courant) est négligeable, on peut exprimer la valeur de la résistance de la thermistance à la température T est donnée par l'expression suivante :

$$R_{th} = R_1 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T-1} \right)}$$

Où  $R_1$  est la résistance à la température  $T_1$ , et la constante  $\beta$  est une température caractéristique du semi-conducteur, elle dépend de la nature et de la pureté des cristaux utilisés. Dans notre cas  $\beta = 4350$ .

### Principe de mesure :

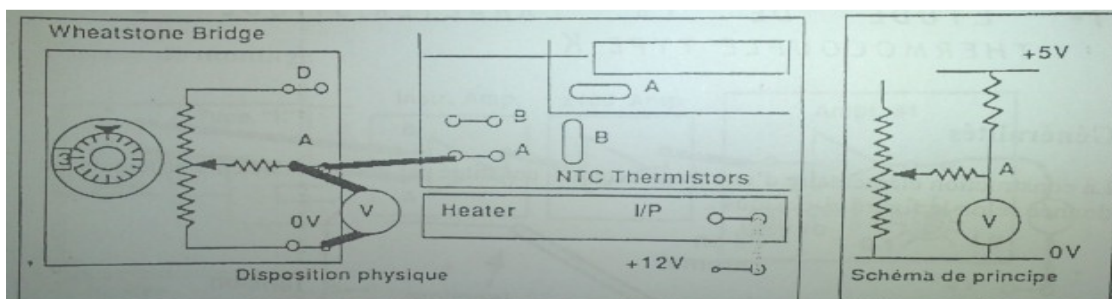
La méthode de mesure consiste à raccorder en série une thermistance est une résistance étalonnée à l'alimentation continu +5V. À chaque relevé, on réglera la résistance variable 10 tours jusqu'à m'obtention de la moitié de celle de l'alimentation ; à ce réglage, il y aura la même chute de tension à la thermistance et à la résistance lue à partir de la résistance. Ainsi la valeur indiquée par la résistance étalonnée 10 tours représente celle de la thermistance.

### Schéma du montage à câbler :

On connecte l'alimentation 12V à l'élément chauffant et on relève les valeurs affichées à une minute d'intervalle. Les valeurs de la résistance étalonnée sont relevées lorsque la tension indiquée par le voltmètre est égale à 2,5V.

Les raisons pour lesquelles on a modifié le montage, et on n'a pas travaillé avec celui d'avant sont :

- La variation de la résistance qui engendre une variation du courant et ceci provoque une chute de tension.
- Le manque de moyens pour mesurer la variation pendant une durée de l'ordre de 1 ms.

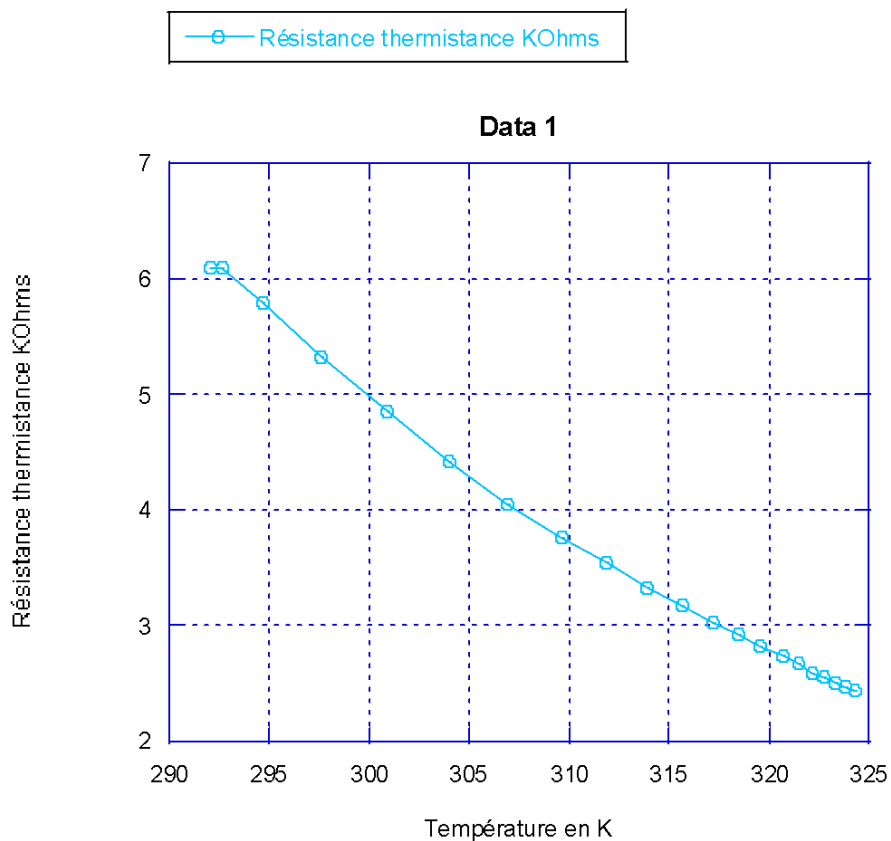


### Tableau de mesure :

| Durée (min) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
|-------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
|-------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|

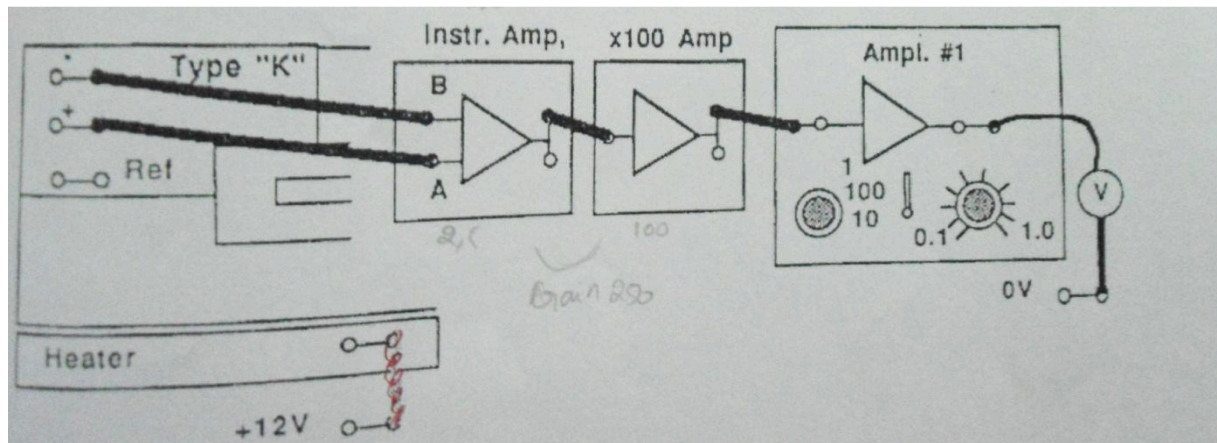
| Résistance thermistance $K\Omega$ |    | 6,1   | 6,1   | 5,79  | 5,32  | 4,86  | 4,41  | 4,05  | 3,76  | 3,54  | 3,33  | 3,17  |
|-----------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Température                       | K  | 292   | 292,6 | 294,7 | 297,6 | 300,9 | 304   | 306,9 | 309,6 | 311,9 | 313,9 | 315,7 |
|                                   | °C | 18,85 | 19,45 | 21,55 | 24,45 | 27,78 | 30,85 | 33,75 | 36,45 | 38,75 | 40,75 | 42,55 |

| Durée (min)                       |    | 5,5   | 6     | 6,5   | 7     | 7,5   | 8     | 8,5   | 9     | 9,5   | 10    |
|-----------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Résistance thermistance $K\Omega$ |    | 3,03  | 2,92  | 2,82  | 2,74  | 2,67  | 2,59  | 2,55  | 2,51  | 2,47  | 2,43  |
| Température                       | K  | 317,2 | 318,5 | 319,6 | 320,7 | 321,5 | 322,2 | 322,8 | 323,4 | 323,8 | 324,3 |
|                                   | °C | 44,05 | 45,35 | 46,45 | 47,55 | 48,35 | 49,05 | 49,65 | 50,25 | 50,65 | 51,15 |



**Interprétation :**





### Mode opératoire :

- Avant de connecter le circuit de montage ci-dessus, on calibre le voltmètre sur 2V et on procède à l'élimination de l'offset de l'amplification.
- On connecte en suite la sortie du thermocouple à l'amplificateur de mesure, comme indiqué à la figure ci dessus. La tension de sortie doit toujours être nulle, les jonctions chaude et froide étant à la même température.
- On note la température à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte (jonction froide) en réglant le voltmètre sur la plage 20V puis en mesurant la tension de sortie de la fiche «int» puis de celle de la fiche Réf du capteur LM335.
- On connecte l'alimentation 12V.
- A l'élément chauffant «Heater» et à une minute d'intervalle, on note les tensions du thermocouple et celle représentant les températures des jonctions chaude et froide de celle-ci.

### Tableau de mesures :

| Durée (minute)           |                | 0     | 0,5   | 1     | 1,5   | 3     | 3,5   | 4     |
|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Température en K         | Soudure Chaude | 292,7 | 293,7 | 297,8 | 297,9 | 309,6 | 312   | 313,7 |
|                          | Soudure froide | 293,4 | 293,1 | 293,4 | 296,9 | 295,4 | 296,1 | 296,5 |
|                          | Différence     | -0,7  | 0,6   | 4,4   | 1     | 14,2  | 15,9  | 17,2  |
| Sortie thermocouple (mV) |                | 2,5   | 3,7   | 20,3  | 34    | 44,7  | 60,6  | 76,3  |

| Durée (minute)           |                | 4,5   | 5     | 5,5   | 6     | 6,5   | 7     | 7,5   | 8     | 8,5   |
|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Température en K         | Soudure Chaude | 315,5 | 316,9 | 318,2 | 319,8 | 320,4 | 321,3 | 322,7 | 323,3 | 323,8 |
|                          | Soudure froide | 296,3 | 297,7 | 298,6 | 299,2 | 299,8 | 300,2 | 300,7 | 301,2 | 301,5 |
|                          | Différence     | 19,2  | 19,2  | 19,6  | 20,6  | 20,6  | 21,1  | 22    | 22,1  | 22,1  |
| Sortie thermocouple (mV) |                | 89,8  | 99,7  | 107,9 | 114,3 | 119,5 | 123,6 | 126,6 | 129   | 129,7 |

### Interprétation :

D'après le tableau, on remarque que la température de la soudure froide reste relativement fixe, tandis que la température de la soudure chaude augmente avec le temps, et on voit clairement ceci d'après la différence des températures qui augmente elle aussi. La sortie du thermocouple est de l'ordre des mV.