Instrumentation
TP 2: Caractérisation d'un capteur de température

MENARD Alexandre
VIEILLEDENT Florent
RANCHY Nilo

6 mai 2022

Introduction

Dans ce travail pratique, on étudie les caractéristiques d'un capteur de température PT100. Le capteur est composé notamment d'une couche de platine dont la résistance varie en fonction de la température. Le capteur que nous utilisons est de classe B et de type PTFF.100 fait référence à la résistance R_0 du capteur à $0°C$. On commence par un circuit d'un pont diviseur de tension. On cherche alors à déterminer la température de la pièce en mesurant la résistance du capteur. On cherche aussi à déterminer le temps de réponse du capteur et on étudie l'influence du courant sur les mesures. On change ensuite le circuit de conditionnement en utilisant un Pont de Wheatstone, pour comparer la sensibilité des deux circuits.

1 Premier circuit de conditionnement : Pont diviseur de tension

1.1 Montage expérimental

La fiche technique du capteur nous indique un courant recommandé pour nos mesure de $I_{mes} = 1.4\,mA$, nous allons donc utiliser un pont diviseur de tension pour avoir le courant voulu dans notre capteur. Notre montage est composé d'un générateur de tension $E = 5.0136\,V$ (mesuré avec un voltmètre), d'une résistance $R = 5.085\,k\Omega$(mesuré avec un ohmmètre), d'un voltmètre et du capteur de température. On note respectivement R_{PT} et U_{PT} la résistance du capteur et la tension à ses bornes.

Pour calculer la température de la pièce, on commence par calculer R_{PT} avec un ohmmètre. Puis on calcule U_{PT} avec le circuit 1 de la figure (1.1).

Pour mesurer le temps de réponse du capteur, on réutilise le même circuit. On commence par chauffer le capteur en le tenant dans nos doigts. Puis on filme le voltmètre avec un chronomètre à côté et on laisse refroidir le capteur. On note tout les secondes la tension aux bornes du capteur.

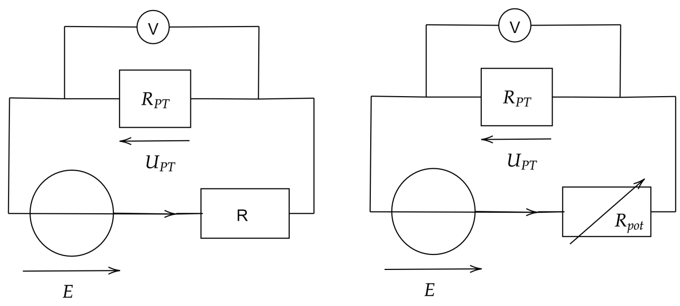

FIGURE 1 – Gauche : Circuit 1 pour mesurer la température de la pièce et calculer le temps de réponse. Droite : Circuit 2 pour déterminer la relation entre l'intensité et la température

On utilise ensuite le circuit 2. On mesure U_{PT} en faisant varier la résistance du potentiomètre R_{Pot} de 3500 à 250 Ω.

1.2 Modèle

D'après la fiche technique du capteur, on a la relation suivant pour $T \geq 0°C$:

$$R_{PT} = R_0(1 + a * T + b * T^2) \tag{1}$$

avec $a = 3.9083 * 10^{-3}$ et $b = -5.775 * 10^{-7}$. Dans notre cas, on utilise une approximation linéaire de cette formule :

$$R_{PT} = R_0(1 + a * T) \tag{2}$$

On calcule la différence entre ces deux modèles. On remarque que pour des températures ambiantes (entre 0 et $40°C$), la différence de température entre les deux modèles est inférieur à $0.25°C$. On accepte cet écart pour cette première expérience mais il faut le prendre en compte dans nos conclusions.

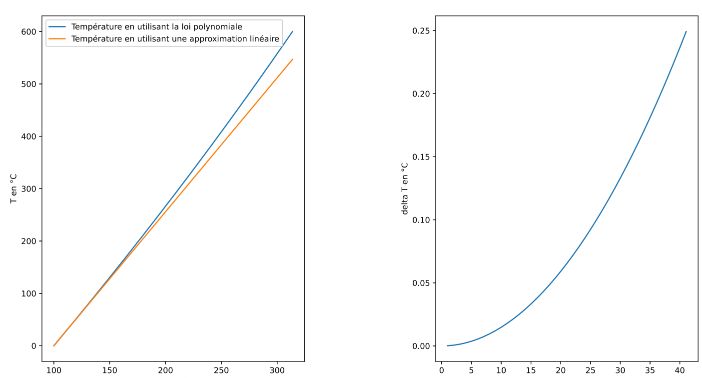

FIGURE 2 – Gauche : Comparaison des températures calculées avec les deux modèles. Droite : Différence entre les modèles pour des température ambiantes

D'après l'équation (2), on a donc la relation suivante :

$$T = \frac{R_{PT} - R_0}{a * R_0} \tag{3}$$

En utilisant la formule du pont diviseur de tension, on trouve la relation entre R_{PT} et U_{PT} :

$$U_{PT} = \frac{R_{PT}}{R + R_{PT}} E \Rightarrow R_{PT} = \frac{R * U_{PT}}{E - U_{PT}} \tag{4}$$

Pour calculer l'intensité i qui traverse la capteur :

$$i = \frac{E}{R + R_{PT}} \tag{5}$$

On s'attend à ce que la température suive une loi exponentielle au fil du temps. Si on note T_A la température de la pièce, T_0 la température à laquelle on chauffe le capteur et τ le temps caractéristique du capteur, on a :

$$T(t) = T_A + (T_0 - T_A) * e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow (T(t) - T_A) = (T_0 - T_A) * e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{6}$$

La fiche technique nous donne un $\tau_{0.9} = 10\,s$, ce qui correspond à

$$1 - e^{\frac{\tau_{0.9}}{\tau}} = 0.9 \Rightarrow \tau_{0.9} = ln(\frac{1}{0.1}) * \tau \tag{7}$$

Lorsqu'on diminue beaucoup la résistance du potentiomètre, on augmente l'intensité du courant. L'effet Joule va donc augmenter. On rappelle l'expression de l'effet Joule :$P = RI^2$. La fiche technique nous donne un coefficient d'auto-chauffage en $°C/W$, qu'on note a. Par analyse dimensionnelle, on a la relation suivante :

$$\delta T = a * P = a * i^2 * R_{PT} \tag{8}$$

1.3 Mesures et expérimentation

On commence par mesurer la température de la pièce. On mesure $U_{PT} = 105.97 \pm 0.02\,mV$. On fait l'application numérique en utilisant l'équation (4) et on trouve $R_{PT} = 109.80\,\Omega$. On utilise la méthode de la dérivée pour trouver l'incertitude :

$$\begin{aligned}
\delta R_{PT} &= \frac{dR_{PT}}{dU_{PT}} * \delta U_{PT} \\
\delta R_{PT} &= \frac{R * E}{(E - U_{PT})^2} * \delta U_{PT} \\
\delta R_{PT} &= \frac{5.085.10^3 * 5.0136}{(5.0136 - 105.97 * 10^{-3})} * (0.02 * 10^{-3}) \\
\delta R_{PT} &= 0.02\,\Omega
\end{aligned}$$

On utilise ensuite l'équation (3) et on obtient $T = 25.07°C$. On calcule aussi l'incertitude : $\delta T = \frac{\delta R_{PT}}{a * R_0} = 0.05°C$. On a donc $T = 25.07 \pm 0.05°C$. On a aussi mesuré le température avec un thermocouple et on obtient $T_{thermocouple} = 25.0 \pm 0.5°C$. Les valeurs sont cohérentes. [COMPARAISON OHMMÈTRE, RÉSOLUTION DU CAPTEUR]

On cherche maintenant à déterminer le temps de réponse. On regroupe les données de tension en fonction du temps dans un tableau :

t ± 0.1 (en s)	$U_{PT} \pm 0.05$ (en mV)
0	110.58
1	110.41
2	109.99
3	109.66
4	109.32
5	109.17
6	109.00
7	108.81
8	108.65
9	108.52
10	108.42
11	108.35
12	108.29
13	108.24
14	108.21
15	108.20
16	108.17
17	108.13
18	108.10
19	108.09
20	108.07
21	108.07
22	108.06
23	108.06
24	108.05
25	108.04
26	108.04

Table 1 – Données pour calculer le temps de réponse

Grâce aux équations(4) et (3), on calcule la température associée à chaque tension. On trace $\Delta T = T - T_A$ en fonction du temps, avec T_A la dernière température mesurée.

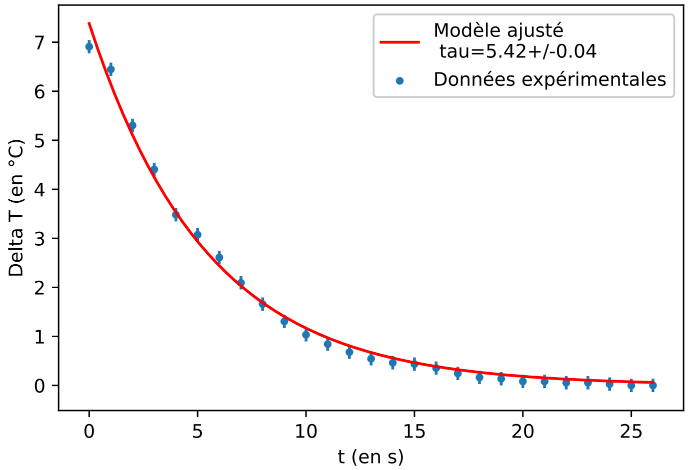

FIGURE 3 – ΔT en fonction du temps et courbe ajustée

On trouve bien une courbe exponentielle, il y a donc un accord qualitative avec l'équation (6). On ajuste une courbe avec Python et on trouve un $\tau = 5.42 \pm 0.04\,s$. Grâce à l'équation (7), on calcule notre temps de réponse expérimentale $\tau_{0.9} = 12.48 \pm 0.09\,s$. [COMPARAISON THEORIQUE AIR FLOW JOUER DE LA FLUTE].

On étudie maintenant l'influence du courant sur nos mesures. En faisant varier R_{pot}, on obtient les données suivantes :

$R_{pot}\, en(\Omega)$	U (en mV)
3500	153.0
3000	177.7
2500	211.1
2000	262.3
1500	344.1
1000	500.4
800	610.0
600	785.2
400	1104.0
350	1229.0
300	1385.0
250	1586.0

TABLE 2 – Valeurs de la tension aux bornes du capteur pour différentes valeurs de résistance du potentiomètre

On calcule donc i l'intensité dans le capteur grâce à l'équation (5), puis la température grâce aux équations (4) et (3). On trace $\Delta T = T - T_A$ en fonction de l'intensité, avec T_A la température de la pièce. Pour mieux visualiser, on trace ensuite ΔT en fonction de la puissance. D'après l'équation

(8), on est censé obtenir une droite. On remarque dans les deux graphiques de la figure (4) que les premiers points semblent aberrants. Les autres points du deuxième graphique semblent néanmoins tracer une droite, on peut dire qu'il y a un accord qualitatif.

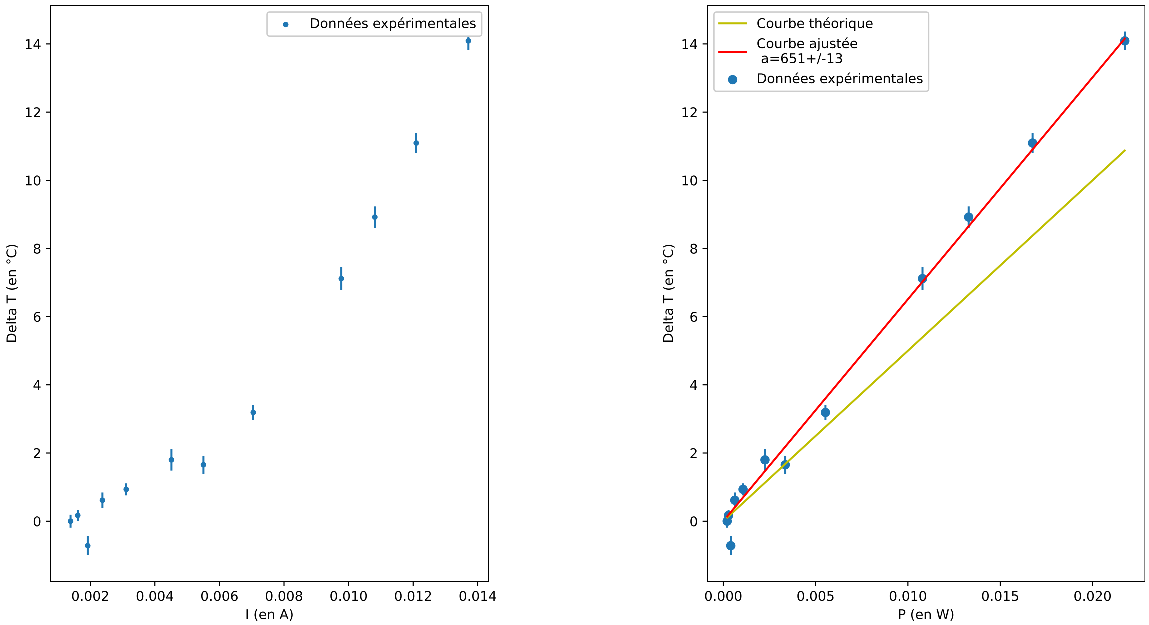

FIGURE 4 – Gauche : Graphique de ΔT en fonction du courant dans la capteur. Droite : Graphique de la température générée par effet Joule en fonction de la puissance

On fait donc une régression linéaire et on obtient un coefficient linéaire $a = 651 \pm 13\,°C/W$. La valeur théorique donné par la fiche technique est de $500\,°C/W$. Il n'y a pas d'accord quantitatif, l'écart relatif est de 30%. Cet écart peut en partie s'expliquer car la valeur théorique est donné pour un mouvement d'air de $1\,m/S$, ce qui n'est sûrement pas le cas dans notre montage. Néanmoins, l'écart est important et nous avons des points aberrants, il faudrait donc refaire l'expérience, notamment en mesurant directement l'intensité dans notre circuit.

2 Deuxième circuit de conditionnement : Pont de Wheatstone

2.1 Montage expérimental

On réalise un pont de Wheatstone avec une résistance R' de $2\,k\Omega$, 2 résistances R de $200\,\Omega$, un potentiomètre R_{pot} réglé sur $110\,\Omega$, un générateur de tension de $5.0136\,V$, un voltmètre et notre capteur de température.

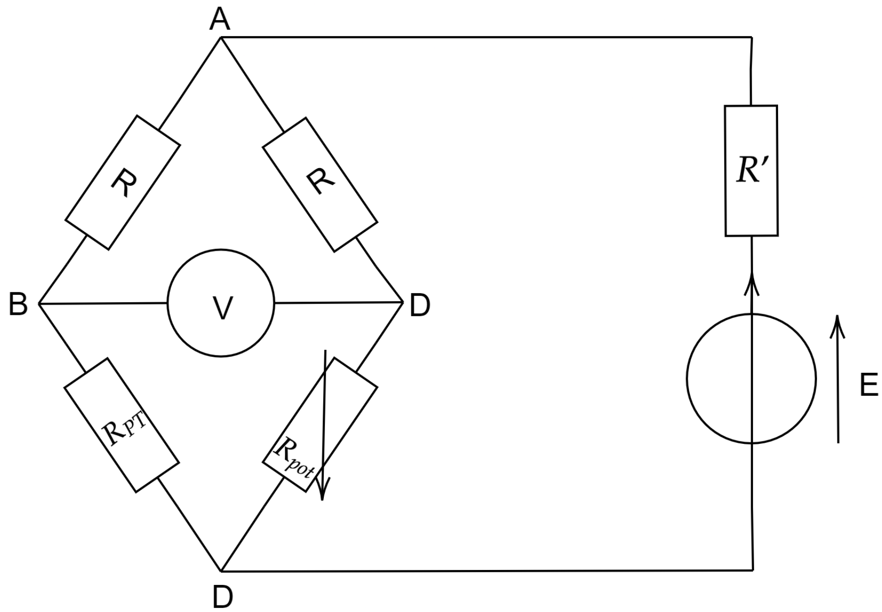

FIGURE 5 – Circuit du pont de Wheastone

2.2 Modèle

On détermine l'intensité i qui traverse notre capteur en utilisant des résistances équivalentes et l'équivalence Thévenin/Norton :

$$i = \frac{\frac{R' * (R_{pot}+R)}{R' + (R_{pot}+R)}}{\frac{R' * (R_{pot}+R)}{R' + (R_{pot}+R)} + (R + R_{PT})} * \frac{E}{R'} \tag{9}$$