

Table des matières

| | |
|--|----------|
| 1 Objectifs et messages de l'expérience | 1 |
| 2 Utilisation dans un montage | 1 |
| 3 Quelle(s) grandeur(s) va-t-on mesurer ? | 1 |
| 4 Éléments théoriques de l'expérience | 2 |
| 4.1 Les thermocouples | 2 |
| 4.2 Les thermistances. | 2 |
| 5 Schéma de l'expérience et protocole à mettre en œuvre | 2 |
| 5.1 Tableau de la Manip | 2 |
| 5.2 Matériel | 3 |
| 5.3 Photos de l'expérience | 3 |
| 5.4 Protocole. | 3 |
| 6 Résultats obtenus et traitement des incertitudes | 4 |
| 6.1 Étalonnage des capteurs | 4 |
| 6.2 Temps de réponse. | 5 |
| 7 Analyse critique des résultats et interprétation | 5 |
| 7.1 Étalonnage des capteurs | 5 |
| 7.2 Temps de réponse. | 5 |
| 8 Subtilités de l'expérience et astuces | 5 |
| 9 Bibliographie utile pour l'expérience | 5 |

1 Objectifs et messages de l'expérience

- ▷ Vérifier les lois des différents capteurs.
- ▷ Comparer les temps de réponses des différents capteurs.

2 Utilisation dans un montage

- ▷ 13 Mesure de température
- ▷ 59 Mesure par opposition : L'utilisation du pont de Wheatstone pour l'étalonnage de la sonde de platine peut en être un exemple

3 Quelle(s) grandeur(s) va-t-on mesurer ?

On va faire des mesures de l'évolution de la tension fournie par le thermocouple et de la résistance de la sonde de platine et de la thermistance en fonction de la température (étalonnage) ou du temps (temps de réponse).

4 Éléments théoriques de l'expérience

4.1 Les thermocouples

Un thermocouple fonctionne grâce à l'effet Seebeck : une différence de potentiel apparaît à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température. Ce système permet donc de mesurer une différence de température entre une source chaude (la mesure) et une source froide (la référence).

La source froide doit être une bonne référence : il faut que sa température soit constante et bien connue. Les points triples sont idéaux pour servir de référence de température, mais un équilibre diphasé ou même la température ambiante de la pièce (si sa température ne bouge pas trop) peuvent convenir.

Leur réponse en tension est linéaire avec la différence de température, mais cette tension est faible (de l'ordre de quelques millivolt) et dépend de la température de la source froide (mesure par différence ce qui peut entraîner des erreurs lors de l'étalonnage).

4.2 Les thermistances

La thermistance est un capteur de température basé sur la variation de la résistance d'un matériau en fonction de la température.

Il existe plusieurs types de thermistances en fonctions de la nature du matériau qui la constitue.

► Les thermistances métalliques

La plus connue et utilisée est la sonde de platine Pt100. Ces sondes sont réglementées par une norme européenne (reconnue mondialement) qui fixe la résistance à 100Ω à 0°C et une augmentation de résistance de 0.3851Ω pour 1°C .

Sa réponse est linéaire avec la température

► Les thermistances à semi-conducteurs

Ici on utilise un matériau semi-conducteurs. Il en existe deux types suivant le dopage du semi-conducteur, qui donnent une réponse positive (CTP) ou négative (CTN) à une augmentation de température.

La thermistance utilisée ici est une thermistance CTN, dont la loi donnant l'évolution de la résistance avec la température est : $R = R_0 \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$.

5 Schéma de l'expérience et protocole à mettre en œuvre

5.1 Tableau de la Manip

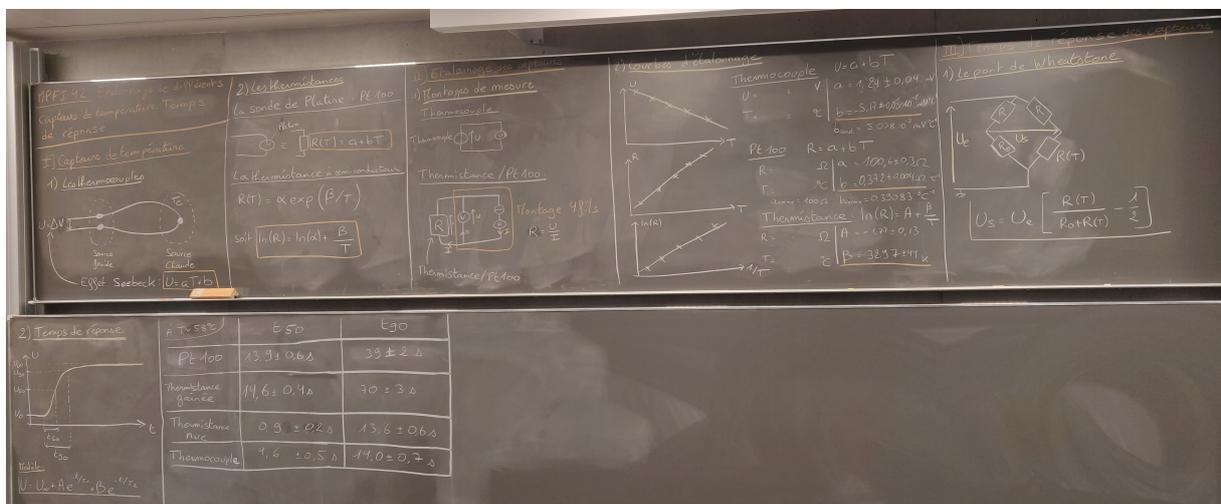
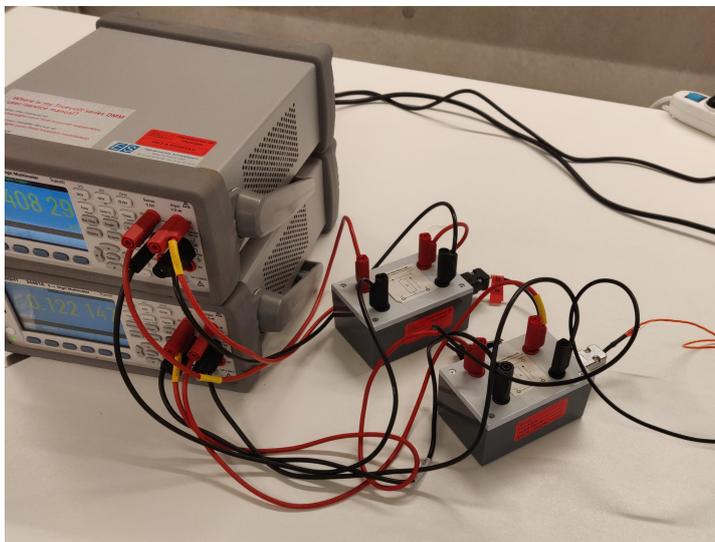


Fig. 1 – Tableau de la Manip

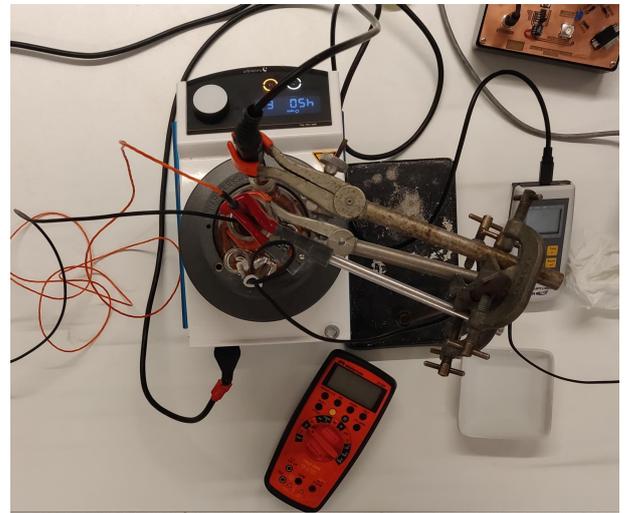
5.2 Matériel

- ▷ Caisse "Étalonnage de capteurs de température" (stock C, armoire thermométrie)
- ▷ Huile de silicone (la jaune, stock A, armoire produits) pour ne pas être limité par sa température d'ébullition (problème qui arrive avec de l'eau par exemple)
- ▷ Agitateur chauffant adapté au ballon tricol de la caisse
- ▷ une sonde de platine Pt100 étalonnée avec son boîtier de mesure (valises grises, stock C, placard Thermométrie)
- ▷ Deux multimètres 4 voies
- ▷ Un voltmètre
- ▷ Un oscilloscope (pour le temps de réponse)
- ▷ Des câbles
- ▷ Des pinces 2/3 doigts, des noix et une potence
- ▷ Petit récipient d'eau (froide ou à température ambiante)

5.3 Photos de l'expérience



(a) Boîtiers de mesure 4 fils et multimètres de précision



(b) Ballon tricol, chauffe-ballon, voltmètre, sonde de mesure de la température et sondes à étalonner

Fig. 2 – Photos du montage

5.4 Protocole

Étalonnage des capteurs :

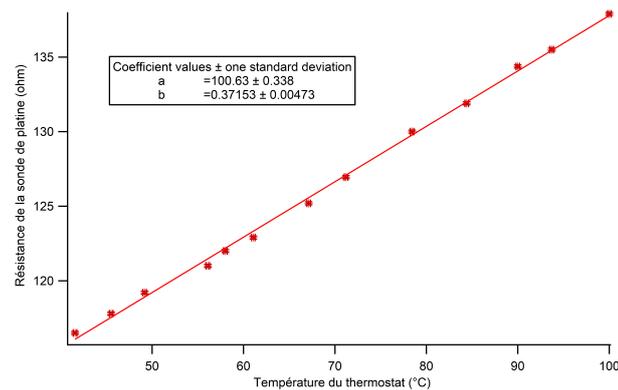
- ▷ Fixer le ballon rempli au tiers d'huile de silicone sur une potence. Placer l'agitateur chauffant sur un boy et monter le boy. Lancer l'agitation et le chauffage en choisissant une température plus élevée que la température maximale attendue (il faut aussi ajouter à la température entrée en commande sur le chauffe-ballon entre 5 et 10°C à la valeur attendue pour pallier aux pertes).
- ▷ Pendant que l'huile chauffe, fixer sur la potence la sonde de platine de référence pour suivre la température, puis les autres sondes. Faire attention que les sondes trempent toutes dans l'huile, mais ne touchent ni le bord du ballon en contact avec le chauffe-ballon, ni le barreau aimanté.
- ▷ Réaliser les branchements électriques et allumer le voltmètre et les multimètres.
- ▷ Dès que la température voulue est atteinte et stable, les mesures peuvent commencer. Si la température est toujours trop basse dans le ballon, ajouter quelques degrés à la commande du chauffe-ballon.
- ▷ Éteindre le chauffage mais laisser l'agitation et baisser le boy de sorte que le ballon ne soit plus en contact avec le chauffe-ballon mais que l'agitation soit toujours possible. Il est aussi possible de retirer l'agitateur chauffant et de le remplacer par un agitateur magnétique seul, mais le refroidissement peut être trop rapide dans ce cas.
- ▷ Pour diverses températures, relever la température dans le ballon, les deux résistances de la Pt100 et de la thermistance, et la tension du thermocouple.

Temps de réponse des capteurs :

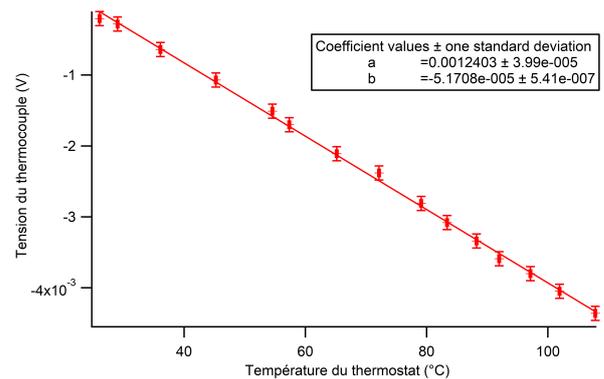
- ▷ Pour le thermocouple, le brancher directement à l'oscilloscope.
- ▷ Pour la thermistance et la sonde de platine, prendre la tension sur le boîtier permettant la mesure 4 fils de la résistance.
- ▷ Préparer un petit récipient d'eau pour pouvoir thermostatier plus rapidement la soude à température ambiante.
- ▷ Vérifier les réglages de l'oscilloscope pour pouvoir avoir toute l'amplitude de variation de la tension mesurée en faisant des aller-retours entre le bain d'huile chaude et le bain d'eau à température ambiante.
- ▷ Placer la sonde concernée dans l'eau, puis la sécher et la laisser à l'air libre pour qu'elle se thermostatise à température ambiante.
- ▷ Régler le temps d'acquisition de l'oscilloscope à 5 ou 10s (pour les capteurs gainés) par cadran et mettre l'oscilloscope en mode "Roll".
- ▷ Plonger la sonde rapidement dans le bain d'huile et la fixer.
- ▷ Stopper l'acquisition un peu avant que le début de la variation de tension arrive au bout de l'écran de l'oscilloscope.
- ▷ Repérer la tension avant plonge et la tension à l'équilibre. Calculer la valeur de la tension à 50% et à 90%.
- ▷ Mesurer les temps de réponse associés à ces deux tensions avec les curseurs de l'oscilloscope.

6 Résultats obtenus et traitement des incertitudes

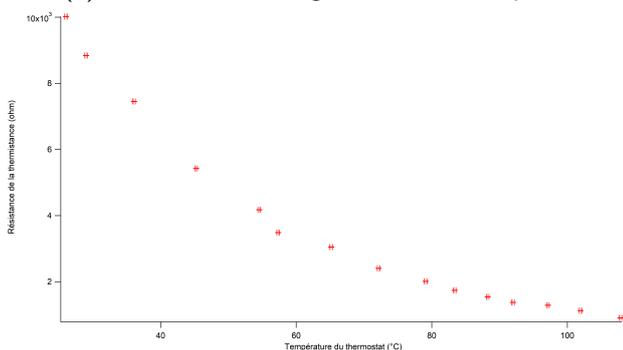
6.1 Étalonnage des capteurs



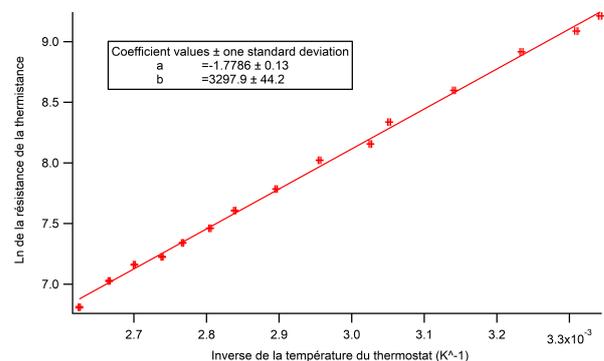
(a) Courbe d'étalonnage de la sonde de platine



(b) Courbe d'étalonnage du thermocouple



(c) Évolution de la résistance de la thermistance avec la température



(d) Courbe d'étalonnage de la thermistance

Fig. 3 – Résultats des mesures

Les grandeurs mesurées varient assez lors du refroidissement. Il faut donc prendre comme incertitude l'intervalle de variation des grandeurs lorsque la température varie que d'un digit (pour le capteur utilisé c'était 0.01°C).

Lors du montage j'ai grandement sous-estimé les incertitudes en prenant un intervalle de variation réduit par rapport à ce qui est décrit ci-dessus.

6.2 Temps de réponse

| | Thermocouple | Sonde de platine | Thermistance gainée | Thermistance nue |
|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Temps de réponse à 50% | 1.96 ± 0.14 s | 13.92 ± 0.36 s | 14.58 ± 0.48 s | 0.928 ± 0.158 s |
| Temps de réponse à 90% | 4.9 ± 0.2 s | 39.2 ± 1.2 s | 70.3 ± 2.7 s | 13.6 ± 0.6 s |

Les incertitudes viennent directement de la mesure à l'oscilloscope, avec la place sur laquelle on a la valeur d'amplitude voulue.

7 Analyse critique des résultats et interprétation

7.1 Étalonnage des capteurs

Les modèles des trois capteurs sont relativement bien vérifiés.

Les résultats de l'ajustement linéaire pour la sonde de platine donnent de bons résultats, à comparer avec les normes pour cette sonde.

7.2 Temps de réponse

La mesure du temps de réponse des capteurs n'a pas de grand intérêt pour les capteurs gainés car on mesure aussi le temps de diffusion dans la gaine.

On peut toujours le faire pour un même capteur nu et gainé pour mettre en évidence l'influence de la gaine, mais pas grand intérêt car les capteurs sont souvent utilisés nus en pratique.

8 Subtilités de l'expérience et astuces

Présenter les résultats des étalonnages comme des vérifications des modèles qui permettent l'utilisation des capteurs. Pour la sonde de platine, pour laquelle il existe des normes de construction, on peut cette fois vérifier que les normes sont bien respectées et pourquoi pas calculer un Z-score.

Pour la mesure de la température du bain d'huile on utilise une autre sonde Pt100. Cela peut poser problème vu qu'on étalonne une Pt100 à l'aide d'une Pt100. Il faut donc préciser qu'on suppose que la sonde de platine Pt100 qu'on utilise pour la température est bien calibrée et on peut le vérifier avec un bain d'eau glacée (0°C) et d'eau bouillante (100°C). En pratique, c'est comme ça qu'on fait un étalonnage : on choisit deux points triples, ou deux points diphasés dont on connaît les températures et connaissant la loi du capteur, on a la courbe d'étalonnage du capteur.

Pour la mesure du temps de réponse, on est limité par la diffusion dans la gaine des capteurs. Dans la boîte, il y a déjà une thermistance à nu qui permet de juger de l'effet de la gaine sur le temps de réponse. L'idéal serait donc de faire les mesures de temps de réponse sur les capteurs à nu pour ne pas être gêné par l'influence de la gaine (quitte à comparer les temps de réponse capteur nu/gainé). De plus le temps de réponse des capteurs nus est beaucoup plus court ce qui permettrait éventuellement d'en présenter plusieurs lors du montage.

Pour récupérer le temps de réponse, il faut faire une acquisition assez longue pour que le capteur soit bien stable, et pouvoir faire la mesure directement à l'oscilloscope.

9 Bibliographie utile pour l'expérience

▷ *Les capteurs en instrumentation industrielle*, George Asch et coll., DUNOD