

## Caractérisation d'un capteur de température

*Le compte rendu (CR) de TP, au maximum long 6 pages, est à envoyer par mail à votre encadrant, en pdf, ou à déposer sur e-campus, dans l'espace de cours Instrumentation/TPs.*

*Le CR contiendra une introduction d'environ 10 lignes expliquant le but du TP, la description/représentation commentée du circuit utilisé, la configuration de mesure, la visualisation des données obtenues (graphe / tableau) et l'information extraite de ces mesures, suivant les questions posées dans le sujet de TP (sans adopter un format question/réponse ! La réponse aux questions doit se retrouver, de façon logique, dans le texte). Des commentaires sur la comparaison avec la théorie ou les résultats attendus et les conclusions compléteront la description de chaque série de mesures.*

Les parties surlignées en vert préparent le TP et sont à traiter avant la séance expérimentale.

Ce TP est centré sur la caractérisation d'un capteur de température de type sonde platine (Pt100 ou Pt1000), qui sera comparé à une thermistance de 5 kOhms qui peut être reconnu par votre multimètre (Keysight EDU34450A) pour obtenir une lecture directe de la température.

Ces composants ont été achetés chez le fournisseur Radiospares avec les références suivantes : 8937098(Pt100) - 1007530 (Pt1000)– 0151221(CTN), qui vous permettront de trouver les caractéristiques techniques des composants, et seront utilisées dans tout le cours de ce TP.

## ETUDE A REALISER AVANT LA PARTIE EXPERIMENTALE

### Caractéristiques des capteurs de type platine et thermistance

1. On considère d'abord les capteurs de température de type sonde platine communément appelés Pt100 et Pt1000.
  - a. D'où vient leur nom ?
  - b. A quel prix peut-on les trouver ? Cela vous semble t'il normal ? Expliquez.
  - c. A votre avis quelle est la sensibilité de la résistance à la température ?
  - d. Quelle différence existe-t-il entre Pt100 et Pt1000 ? Leurs caractéristiques sont-elles identiques ? (Consultez les caractéristiques via le site d'achat)
  - e. Ce capteur nécessite-il une alimentation ?
2. On considère maintenant les capteurs de température de la gamme CTN.
  - a. Quelle classe électrique de matériaux est utilisé pour ce type de capteur ?
  - b. Quel est le phénomène physique permet la sensibilité avec la température ?
  - c. Ce capteur nécessite-il une alimentation ?

### Courbes de calibration des capteurs de type platine

1. Dans un capteur Pt, quelle grandeur varie avec la température ? Quelle est la loi qui les relie ?
2. En pratique, nous avons besoin de déduire la température à partir de la réponse du capteur. A partir de la question précédente, créez un tableau qui associe à une liste de valeurs de température la réponse correspondante du capteur. Tracez ensuite graphiquement la relation  $R(T)$ .
3. Quelle est l'erreur maximale, absolue et relative, que l'on obtient sur la valeur de température si l'on utilise une approximation linéaire plutôt que la loi polynomiale du capteur ( $\Delta T = T_{\text{fit linéaire}} - T_{\text{fit complet}}$ ) ?  
Cette erreur dépend-elle de la température ? Donner sa valeur à 10°C, 100°C, 1000°C.  
L'erreur est-elle importante à température 'ambiante' (entre -10°C et 40°C) ?  
Peut-on considérer que les capteurs de type PT sont des capteurs linéaires ?
4. Selon vous, quel est l'intérêt d'avoir un capteur linéaire ?

### Courbes de calibration des capteurs de type CTN

1. Dans un capteur de type thermistance, vous disposez de la correspondance de la résistance en fonction de la température. Tracer cette caractéristique. Cette loi est-elle linéaire ?
2. Tracer cette caractéristique sur une gamme de température entre -10 et 50°C? peut-on utiliser une loi linéaire pour approximer le comportement d'un capteur ?
3. Votre multimètre (Keysight EDU34450A) sait lire la température à partir du signal d'une thermistance de 5kOhm. Expliquez en le fonctionnement.

### Comment choisir son capteur ? Comparaison PT1000 / CTN

1. Définir la gamme de mesure et donner sa valeur pour les deux capteurs (on rappelle qu'on se concentrera ici sur une Pt100, une Pt1000 et une thermistance de 5 kOhm).
2. Définir la sensibilité d'un capteur et donner sa valeur pour les deux capteurs. La sensibilité est-elle constante dans toute la gamme ? Si non pour quelle gamme est-elle maximale ?
3. Définir le temps de réponse et donner sa valeur pour les deux capteurs.  
Pour optimiser le temps de réponse, comment positionner le capteur pour mesurer la température :
  - i) D'une bouteille d'eau ?
  - ii) De la pièce ?
  - iii) D'une plaque chauffante ?
4. Compléter le tableau ci-dessous et comparer la grandeur mesurée, la gamme de température mesurable, la sensibilité, la courbe de calibration, et le temps de réponse du capteur PT100 et d'un capteur de type thermocouple.

	PT100	PT1000	CTN5k
Mesure			
Alimentation			
Étendue de mesure			
Sensibilité			
Temps de réponse			
Courbe de calibration			
Erreur max si approximation à 100°C			

5. Quel capteur vous choisiriez pour mesurer la température de la pièce ? Pourquoi ?

## MESURES A REALISER PENDANT LA SEANCE DE TP

### Premiers essais de la mesure de la température :



Figure 1 : face avant du multimètre Keysight EDU34450A

1. Votre multimètre (Keysight EDU34450A) a la possibilité de mesurer directement la température. Trouver dans la documentation quel sonde de température est adaptée à cette mesure.
2. Brancher la sonde adaptée et mesurer la température de la pièce en utilisant le mode TEMP. Poser votre doigt sur le capteur et mesurer la variation de température. Faire de même en soufflant sur le capteur. Décrivez ce que vous mesurez et expliquez-le.
3. Pour comprendre comment fonctionne la mesure, brancher un ampèremètre dans le circuit de mesure.
  - a. Quel courant circule-t-il ?
  - b. Déduisez en le principe de la mesure de la température du multimètre.
4. En passant en mode ohmmètre, mesurez la résistance du capteur. Poser votre doigt sur le capteur et évaluer la variation de résistance. Correspond-elle à votre graphique théorique élaboré avant la séance.
5. *Pour accumuler plus de point, vous pouvez essayer de brancher 2 capteurs identiques et mesurer sur l'un sa résistance, sur l'autre la température avec 2 multimètres branchés correctement et en soumettant la même sollicitation.*
6. Brancher maintenant l'autre capteur et mesurer la résistance pour déterminer précisément le type de capteur.
7. Passez en mode TEMP. La température mesurée vous paraît-elle être celle de la pièce.
8. Poser votre doigt sur le capteur et évaluer la variation de résistance. Correspond-elle à votre graphique théorique élaboré avant la séance.
9. Tenter d'établir la courbe R(T) que vous avez élaboré précédemment avec la même approche que pour les questions 4-5. *Pour accumuler plus de point, vous pouvez essayer de brancher 2 capteurs et mesurer sur l'un sa résistance, sur l'autre la température avec 2 multimètres branchés correctement et en soumettant la même sollicitation.*

### **Temps de réponse du capteur**

Vous allez par la suite étudier le temps de réponse du capteur : vous allez varier sa température (par exemple en le chauffant avec les doigts – attention les capteurs sont fragiles !), et regarder l'évolution de la température en fonction du temps à partir du moment où vous arrêtez le chauffage. Le capteur revient à l'équilibre, à température ambiante, suivant une loi, et pendant un temps qui dépend du type de capteur.

1. Quelle est la température du capteur lorsqu'il est chauffé avec les doigts ?
2. Quelle est la dépendance de la température  $T$  avec le temps  $t$  ? Tracez sur un graphe  $T(t)$ . Déduisez le temps caractéristique de refroidissement du capteur.
3. Comparez le temps obtenu avec celui donné dans les caractéristiques techniques. Commentez.

### **Fin souhaitée pour la première séance**

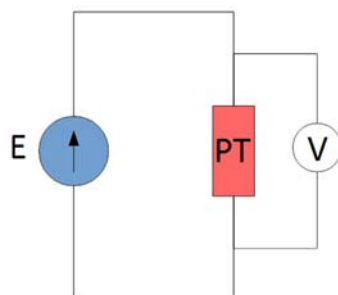
### **Mesure de la température de la pièce avec un capteur Pt100**

Dans cette partie du TP, on utilisera plus le mode TEMP ou mode Ohmètre mais nous allons étudier le type de circuit qui peut être utilisé pour mesurer la température et appréhender comment cette électronique de mesure peut influencer sur la précision du résultat.

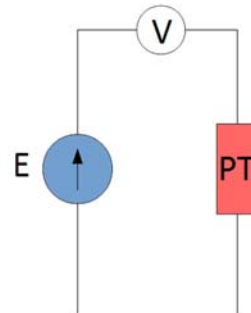
1. Trouvez dans le fichier décrivant les caractéristiques techniques du capteur quelles sont les conditions de mesure recommandées. Une valeur de courant, qu'on appellera  $I_{mes}$  est indiquée. Donnez la valeur de  $I_{mes}$ .
2. Quel est la valeur approximative de la résistance du capteur à température ambiante ? Déduisez l'ordre de grandeur de la tension à mesurer aux bornes du capteur.

Vous avez à disposition une source de tension stabilisée de 5V et un voltmètre.

3. Que vaut le courant qui passerait dans votre capteur si vous branchiez directement la source au capteur ? Comment se compare ce courant à  $I_{mes}$  ?
4. Calculez la tension mesurée par le voltmètre (indiqué par V) dans les circuits suivants. Quel est le problème de chacun de ces deux circuits ?

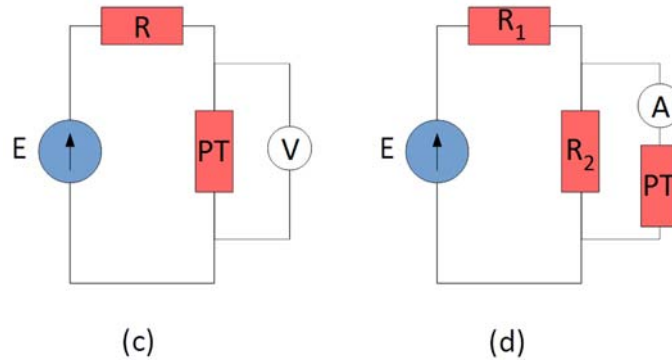


(a)



(b)

Vous réalisez alors deux autres circuits :



### Circuit (c)

5. Calculez l'expression du courant qui traverse le capteur. Quelle doit être la valeur minimale de  $R$  pour ne pas dépasser le courant  $I_{mes}$  à  $21^\circ\text{C}$  ?
6. Retrouvez l'expression de la tension mesurée par le voltmètre.
7. En prenant en compte les caractéristiques des voltmètre à votre disposition (que vous avez déterminé lors de la séance de TP#1), quel sera l'ordre de grandeur de l'erreur que vous ferez si vous ne prenez pas en compte la résistance interne du voltmètre.
8. Donnez la relation  $R_{Pt}(V)$ .
9. Vous utilisez une résistance  $R=5\text{ k}\Omega$  et vous mesurez  $V=105.9\text{ mV}$ . Quelle est la température de la pièce ?
10. Quelles est la variation absolue  $\Delta V$  et la variation relative  $\Delta V/V$  si la température passe de  $22^\circ\text{C}$  à  $22.1^\circ\text{C}$  ou à  $23^\circ\text{C}$  ? Quelle est la résolution requise sur le voltmètre pour détecter une variation de température de  $0.1^\circ\text{C}$  ?

### Circuit (d)

11. Le but du circuit (d) est de fournir une tension constante sur le capteur, et de mesurer le courant qui le traverse. Quelle sera alors l'expression de la résistance du capteur ?
12. Quelle est la condition à respecter sur  $R_1$  et  $R_2$  par rapport à  $R_{Pt}$  pour que la tension aux bornes du capteur puisse être considérée constante ?
13. Calculer la tension aux bornes de  $R_2$  avec et sans capteur branché. Comparez les deux expressions : confirmez-vous votre réponse précédente ?
14. Si  $R_1=10\ \Omega$ , quelle doit être la valeur de  $R_2$  pour qu'on ait une tension de  $1\text{V}$  aux bornes du capteur ?
15. Quelle est la variation absolue  $\Delta I$  et la variation relative  $\Delta I/I$  si la température passe de  $22^\circ\text{C}$  à  $22.1^\circ\text{C}$  ou à  $23^\circ\text{C}$  ?
16. En conclusion, quel est le circuit que vous adopteriez ?
17. Quel autre circuit pourrait-on utiliser pour améliorer la précision du capteur ?

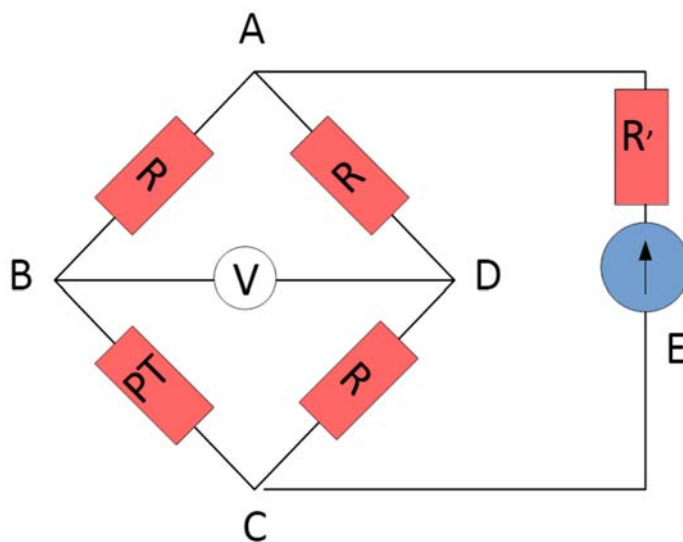
### Comprendre les conditions de mesure

Nous voulons maintenant comprendre la raison de la limitation de courant à  $I_{mes}$ . Utilisant le même circuit que dans la partie précédente, modifiez les valeurs de résistance avec un potentiomètre (résistance variable) pour varier le courant qui circule dans le capteur dans la gamme  $I_{mes} - 10 \times I_{mes}$ . Mesurez la résistance de votre capteur et déduisez-en la dépendance de la température en fonction du courant.

1. Quelle est la dépendance  $T(I)$  qu'on s'attendrait à mesurer ?
2. Tracez  $T(I)$  dans un graphe.
3. Commentez : que se passe-t-il en fonction du courant appliqué ? Comment l'expliquer ?
4. Validez votre hypothèse avec les caractéristiques du capteur donnée dans la fiche technique.

### Améliorer le circuit de conditionnement

Pour augmenter la sensibilité de détection ou la facilité de lecture de la température, il est possible d'utiliser, à la place des circuits (c) et (d), d'autres circuits de conditionnement, tels que le 'Pont de Wheatstone' montré en figure (e)



(e)

1. Calculez l'expression du courant qui traverse le capteur. Quelle doit être la valeur minimale de  $R'$  pour ne pas dépasser le courant  $I_{mes}$  à  $22^\circ\text{C}$  ?
2. On prend pour la suite  $R=108 \Omega$ ,  $R'=2 \text{ k}\Omega$  et  $T=22^\circ\text{C}$ . Calculez la tension appliquée entre les points A et C. Donner l'expression et la valeur de la tension lue par le voltmètre entre les points B et D. Attention pendant la mesure à ne pas placer ni B ni D à la masse (mesure flottante). Pourquoi ?
3. Vous pouvez varier  $R$  pour minimiser la tension lue. Pourquoi la configuration idéale est celle où la tension lue est initialement 0 ?
4. Quelle est la variation absolue  $\Delta V$  et la variation relative  $\Delta V/V$  si la température passe de  $22^\circ\text{C}$  à  $22.1^\circ\text{C}$  ou à  $23^\circ\text{C}$  ? Quelle est la résolution requise sur le voltmètre pour détecter une variation de température de  $0.1^\circ\text{C}$  ?
5. Commentez sur la comparaison des circuits c) et d). En conclusion, quel circuit adopteriez-vous ?