

République Tunisienne  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université de Gabès  
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès

Réf : DE-EX-01

Indice : 3

Date : 22/06/2021

Page : 1/4

## EPREUVE D'EVALUATION

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Année Universitaire : 2020/2021  |  | Date de l'Examen : 22/06/2021   |  |
| Nature : <input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> Examen <input type="checkbox"/> DR  |  | Durée : <input type="checkbox"/> 1h <input type="checkbox"/> 1h30min <input checked="" type="checkbox"/> 2h |  |
| Diplôme : <input type="checkbox"/> Mastère <input checked="" type="checkbox"/> Ingénieur   |  | Nombre de pages : 4   |  |
| Section : <input type="checkbox"/> GCP <input checked="" type="checkbox"/> GCV <input type="checkbox"/> GEA <input type="checkbox"/> GCR <input type="checkbox"/> GM |  | Enseignant (e) : BENHAMAD Maha  |  |
| Niveau d'étude : <input checked="" type="checkbox"/> 1 <sup>ère</sup> <input type="checkbox"/> 2 <sup>ème</sup> <input type="checkbox"/> 3 <sup>ème</sup> année      |  | Documents Autorisés : <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non                  |  |
| Matière : Mesure et Instrumentation  |  | Remarque : Calculatrice autorisée   |  |

### A- Questions de cours (3pts) (1)

- 1) Quelle est la différence entre thermistance et thermocouple ? (1 pt)
- 2) Décrire un thermocouple : son principe de fonctionnement et sa mise en œuvre. (1 pt)
- 3) En quoi consiste l'étalonnage d'un capteur ? (1 pt)

### B- Exercices (Les détails des calculs doivent apparaître sur les copies)

#### Exercice 1 : (4 pts) (3)

La jonction de mesure d'un thermocouple, muni de son système d'affichage et de son système de compensations de sa jonction de référence, se trouvant initialement à température ambiante  $T_A=21^\circ\text{C}$ , est brusquement plongée dans un bain d'eau chaude à température constante et égale à  $60^\circ\text{C}$ . Les températures relevées en fonction du temps sont données dans le tableau suivant :

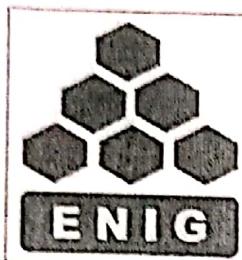
|                        |    |      |      |      |      |    |     |
|------------------------|----|------|------|------|------|----|-----|
| t [s]                  | 0  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1  | 1,2 |
| T [ $^\circ\text{C}$ ] | 21 | 35,3 | 45,6 | 51,3 | 53,8 | 56 | 58  |

La loi d'évolution de la température de la jonction de mesure en fonction du temps a pour expression :

$$T(t) = A \exp(-t / \tau) + B$$

Avec t est le temps, A et B sont des constantes et  $\tau$  le temps de réponse du thermocouple.

1. Calculer les constantes A et B sans oublier les unités. (2 pt)
2. Déduire la valeur de  $\tau$ . (1 pt)
3. Calculer le temps t auquel la température de la jonction de mesure atteint  $59^\circ\text{C}$ . (1 pt)



## EPREUVE D'EVALUATION

### Exercice 2 : (6 pts)

On désire étudier l'étalonnage d'un thermocouple de **type J** : Composition : Fer / Constantan (alliage nickel et cuivre) entre la température ambiante 24°C et 450°C à l'aide d'un four. On notera la f.e.m qu'il délivre, lorsque sa jonction de mesure (chaude) est à la température T et sa avec **jonction de référence à 24°C**. Les différentes valeurs expérimentales sont données dans le tableau suivant :

| T (°C)     | 24   | 30   | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 | 210 | 240  |
|------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| f.e.m (mV) | -0,6 | -0,1 | 1,8 | 3,3 | 4,9 | 6,4 | 8,1 | 9,8 | 11,4 |

| T (°C)     | 270  | 300 | 330  | 360  | 390  | 420 | 450  |
|------------|------|-----|------|------|------|-----|------|
| f.e.m (mV) | 13,4 | 15  | 16,7 | 18,7 | 20,4 | 22  | 23,1 |

- 1- Tracer la courbe **f.e.m = f(T)**. (1 pt)
- 2- Calculer la sensibilité du thermocouple à  $T=100^{\circ}\text{C}$ ,  $S_{(T=100^{\circ}\text{C})}$  et à  $T=400^{\circ}\text{C}$ ,  $S_{(T=400^{\circ}\text{C})}$ . (1 pt)
- 3- Quelle serait la **valeur de f.e.m** délivrée par le thermocouple si sa jonction de mesure était à la température ambiante et la **jonction de référence** était à  $0^{\circ}\text{C}$ . (Indiquer la valeur sur la courbe). (1 pt)
- 4- Dédurre les valeurs des **f.e.m** délivrées aux différents températures de l'étalonnage dans l'hypothèse si la **jonction de référence** aurait été à  $0^{\circ}\text{C}$ . Tracer la courbe **f.e.m = f(T)** sur la même figure (Question 1). (1 pt)
- 5- Déterminer le **polynôme d'ordre 2** qui approche mieux la f.e.m en fonction de T. On considère la jonction de référence est à  $0^{\circ}\text{C}$ . (2 pt)

### Exercice 3: (7 pts)

On se propose de réaliser un transmetteur permettant d'actionner un régulateur pour maintenir, constante, la température T d'un four autour de  $200^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ . Pour cela on utilise comme capteur une sonde à résistance électrique en Nickel  $R_C(T)$  dont les caractéristiques sont les suivantes :

$$R_C(T) = R_0 \times (1 + 5,510^{-3}T - 6,710^{-6}T^2)$$

Avec :  $R_0$  la valeur de la résistance  $R_C(T)$  à  $T=0^{\circ}\text{C}$  :  $R_0=100\Omega$



## EPREUVE D'EVALUATION

Cette résistance forme la branche AD d'un pont de Wheatstone. La branche AB est formée par une résistance de précision de valeur fixe  $R_1$ . Les deux branches BC et CD sont formées de deux résistances de précision et de valeurs fixes et égales  $R=1K\Omega$ . Le pont est alimenté par une source de tension constante  $E$  (Voir Figure 1).

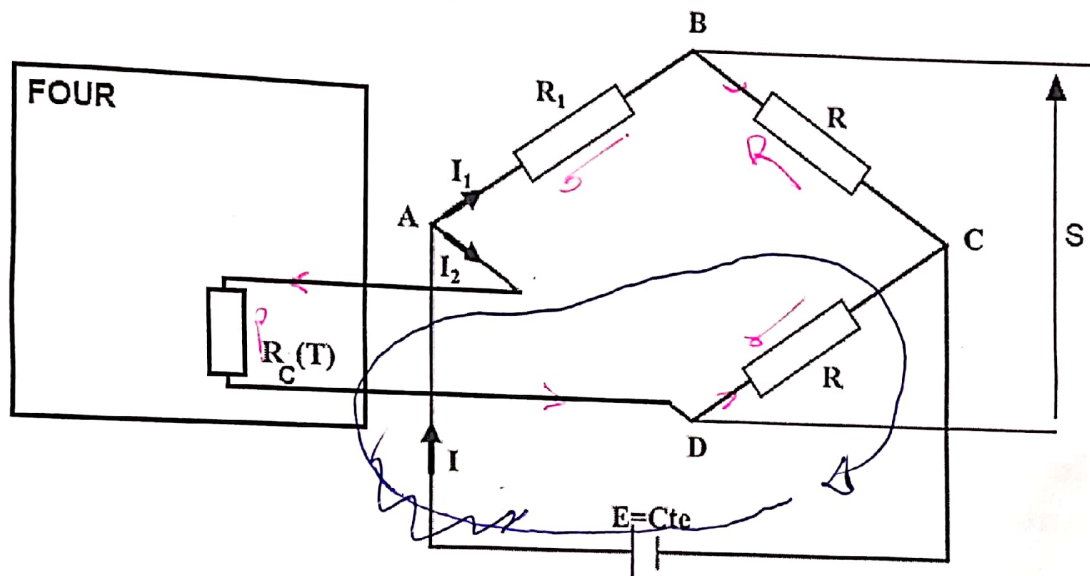


Figure 1


- 1- Quelle valeur numérique doit on donner à  $R_1$  pour que le signal  $S=V_B-V_D$  soit égale à zéro à  $T=200^\circ\text{C}$ . (1 pt)
- 2- Pour des faibles variations de la température  $T$  autour d'une valeur  $T^*$ ; on peut approximer la loi de variation de  $R_C(T)$  par une loi de variation linéaire. Soit :

$$R_C(T) = R_C(T^*) \times (1 + \alpha_R(T^*) \times (T - T^*))$$

- a. Que représente  $\alpha_R(T^*)$ ? Rappler son expression. (0,5 pt)
- b. Calculer la valeur de  $\alpha_R(T^*)$  pour  $T^*=200^\circ\text{C}$ . (0,5 pt)

Dans toute la suite de l'exercice on notera  $\alpha_R(T^* = 200^\circ\text{C})$  par  $\alpha_R$ .



|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
|  | République Tunisienne<br>Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique<br>Université de Gabès<br>Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès | Réf : DE-EX-01    |
|   |  | Indice : 3        |
|   | <u><b>EPREUVE D'EVALUATION</b></u>   | Date : 22/06/2021 |
|   |  | Page : 4/4        |

3- Exprimer les courants  $I_1$  et  $I_2$  qui circulent dans les deux branches respectives du pont en fonction de  $E$ ,  $R$ ,  $R_1$ , et  $R_c(T)$  (1 pt) ✓

4- Montrer que le signal  $S$  du déséquilibre du pont peut être exprimé par la relation suivante : (1 pts)

$$S = \frac{E \cdot R_1 \cdot R \cdot \alpha_R \cdot (T - 200)}{(R_1 + R)^2 \left( 1 + \frac{R_1 \cdot \alpha_R \cdot (T - 200)}{(R_1 + R)} \right)}$$

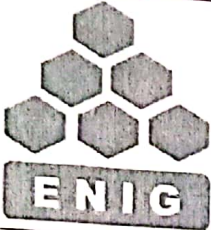
5- Montrer que la valeur de terme  $\frac{R_1 \cdot \alpha_R \cdot (T - 200)}{(R_1 + R)}$  est bien négligeable devant 1, quelques

soit la température  $T$  du fonctionnement du four. Donner la nouvelle expression de  $S$ .

(2 pts)

6- Déterminer la valeur de  $E$  pour que  $S$  soit égale à 10 mV à  $T=210^\circ\text{C}$ . (1 pt) ✓

Good Luck ☺

|   |  |  |                   |
|---|--|--|-------------------|
|  | République Tunisienne<br>Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique<br>Université de Gabès<br>Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès |  | Réf : DE-EX-01    |
|   | <b>EPREUVE D'EVALUATION</b>  |  | Indice : 3        |
|   | Année Universitaire : 2020/2021  |  | Date : 02/12/2019 |
|   | Page : 1/4   |  |                   |

|   |   |
|---|---|
| Nature : <input checked="" type="checkbox"/> DC <input type="checkbox"/> Examen <input type="checkbox"/> DR   | Date de l'Examen : 03/04/2021   |
| Diplôme : <input type="checkbox"/> Mastère <input checked="" type="checkbox"/> Ingénieur  | Durée : <input type="checkbox"/> 1h <input checked="" type="checkbox"/> 1h30min <input type="checkbox"/> 2h |
| Section : <input checked="" type="checkbox"/> GCP <input checked="" type="checkbox"/> GCV <input type="checkbox"/> GEA <input type="checkbox"/> GCR <input type="checkbox"/> GM | Nombre de pages : 3   |
| Niveau d'étude : <input checked="" type="checkbox"/> 1 <sup>ère</sup> <input type="checkbox"/> 2 <sup>ème</sup> <input type="checkbox"/> 3 <sup>ème</sup> année                 | Enseignant (e) : Abir Hmida et Maha BenHamad  |
| Matière : Mesure et Instrumentation   | Documents Autorisés : <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non                  |
| Remarque : Calculatrice autorisée   |   |

### A-Questions de cours (5pts)

- 1) Qu'est-ce qu'un capteur ? selon leurs sorties électriques en combien de catégories (classes ou types) peut-on les classer. Donner un exemple pour chaque type. (1 pt)
- 2) Qu'est-ce qu'un Corps d'épreuve et un Capteur composite ? Donner un schéma explicatif. (1 pt)
- 3) Quels sont les différents types (classes ou catégories) d'erreurs. Donner un schéma explicatif. (1 pt)
- 4) Qu'est-ce que une grandeur d'influence ? Donner trois exemples. (1 pt)
- 5) Qualifier de point de vue fidélité et justesse les capteurs décrits ci-dessous (1 pt) :
  - Un capteur dont les erreurs systématiques importantes et erreurs aléatoires faibles.
  - Un capteur dont les erreurs systématiques et erreurs aléatoires élevées.
  - Un capteur dont les erreurs systématiques et erreurs aléatoires faibles.


### B-Exercices (Les détails des calculs doivent apparaître sur les copies)

#### Exercice 1 : (5pts)

Déterminer les coefficients m et b de la droite d'équation  $y = mx + b$  obtenue à partir de la régression linéaire appliquée aux données suivantes :

|   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| x | 0,5 | 0,9 | 1,4 | 2,0 | 2,3 | 2,8 | 3,2 | 3,5  | 3,9  | 4,2  |
| y | 1,4 | 2,9 | 4,4 | 6,2 | 7,1 | 8,4 | 9,8 | 10,7 | 11,4 | 12,4 |

En présentant les résultats par deux chiffres après la virgule.

|   |  |  |                   |
|---|--|--|-------------------|
|  | République Tunisienne<br>Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique<br>Université de Gabès<br>Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès |  | Réf : DE-EX-01    |
|   | <b>EPREUVE D'EVALUATION</b>  |  | Indice : 3        |
|   |  |  | Date : 02/12/2019 |
|   |  |  | Page : 2/4        |

On donne :

$$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2} ; \quad b = \frac{\sum y - m \sum x}{n} ; \quad R^2 = 1 - \frac{n-1}{n-2} \frac{[y^2] - m[xy]}{[y^2]}$$

$$[xy] = \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n} \quad [y^2] = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

### Exercice 2 : (9pts)

Le dispositif représenté sur la **figure 1** destiné à contrôler la température moyenne d'une chambre autour d'une température de référence  $T_0=28^\circ\text{C}$  à plus ou moins  $2^\circ\text{C}$ . ( $T_0=28\pm 2^\circ\text{C}$ ).

Le dispositif comprend une sonde Pt (100) : une résistance en platine variable avec la température. Elle constitue la branche AD d'un pont de Wheatstone dont les branches CB et CD sont des résistances fixes  $R=10\text{K}\Omega$ . La branche AB est constituée d'une résistance fixe  $R_1$ .

Le signal de déséquilibre du pont S est envoyé vers un circuit (de très haute impédance d'entrée de sorte que  $I_d \approx 0$ ) commandant la mise en route ou l'arrêt du groupe frigorifique (climatiseur). La résolution de ce circuit de commande est de  $10\text{mV}$  (c.-à-d. qu'une mise en route n'a lieu que si  $S > 10\text{mV}$  et qu'un arrêt n'a lieu que si  $S < -10\text{mV}$ ). Le pont est alimenté par un générateur de tension constante E.

Les caractéristiques de la sonde sont les suivantes :

- Sonde de Platine type Pt 100 dont la résistance (entre  $0^\circ\text{C}$  et  $100^\circ\text{C}$ ) est approximativement donnée par la relation :

$$R(T) = R_0(1 + 3,91 \times 10^{-3}T - 6 \times 10^{-7}T^2)$$

Avec :  $R_0$  la valeur de la résistance  $R(T)$  de la sonde à  $0^\circ\text{C}$  :  $R_0=100\Omega$

- 1) Déterminer la valeur à donner à  $R_1$  pour que le signal S soit nul à  $T=T_0=28^\circ\text{C}$ .
- 2) Sachant que pour des faibles variations  $\Delta T$  de température autour d'une valeur  $T_0$  nous pouvons considérer que la variation  $\Delta R$  d'une résistance R est proportionnelle à  $\Delta T$ . Soit :

$$\Delta R = R(T) - R(T_0) = A \cdot (T - T_0).$$

Calculer A ; le facteur de variation linéaire de R avec T.

- 3) Etablir l'expression de  $R(T)$  autour de  $T_0$  (on exprime  $R(T)$  uniquement en fonction de T).



4) Etablir la relation liant  $I_1$  à  $E$  et celle reliant  $I_2$  à  $E$ .  $I_1$  et  $I_2$  étant les intensités de courant dans les deux branches du pont.

5) Montrer que le signal  $S = V_B - V_D$  est lié à  $E$  par :

$$S = \frac{E.R.A.(T-T_0)}{(R_1 + R)^2 \left( 1 + \frac{A(T-T_0)}{(R_1 + R)} \right)}$$

Dans la suite on négligera  $\frac{A(T-T_0)}{(R_1 + R)}$  devant 1, ( $\frac{A(T-T_0)}{(R_1 + R)} \ll 1$ ).

6) Calculer  $E$  pour avoir une régulation à  $\pm 2^\circ\text{C}$  (c.-à-d. que la température de la chambre soit bien comprise entre  $26^\circ\text{C}$  et  $30^\circ\text{C}$ ).

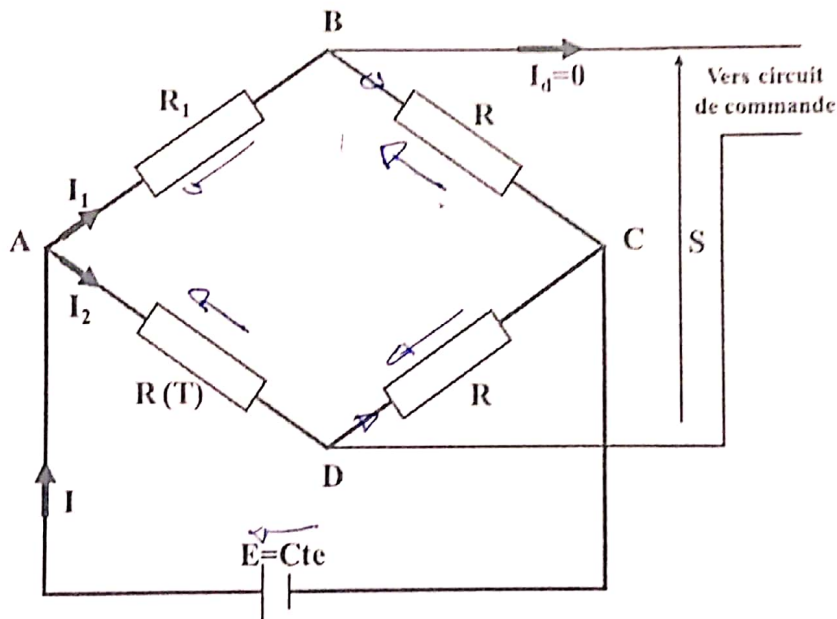


Figure 1. Schéma de wheatstone

N.B. La présentation est notée (1 pt) ;

Good Luck ☺