

**2E102 - Source d'énergie électrique et capteurs**

ER2 du 15 novembre 2018, 1 heure. Sans document ni calculatrice.

Pour les questions à choix multiple (QCM) : deux points pour une réponse juste, moins un demi-point pour une réponse fausse, zéro point en l'absence de réponse. Une réponse au plus autorisée par question (sinon moins un demi-point à la question). Pour les questions ouvertes, pas de point retirés en cas de mauvaise réponse.

S.I. : unité du système international.

N° étudiant : .....

Prénom : Olivier

Nom : Dubrunfant

**Partie QCM (sur 30 points)**

**Effet Peltier (8 points)**

$$1. = [\pi]^2 \times \frac{S}{m} \times \frac{m}{w} \times \frac{K}{K} \times \frac{1}{K} \Rightarrow [\pi] = \frac{\sqrt{W\Omega}}{\sqrt{AV\Omega}} = \sqrt{V^2}$$

Q1. L'efficacité d'un matériau (semi-conducteur, métal) en conversion d'énergie par effet thermoélectrique est caractérisée par une grandeur  $Z_T$  (sans dimension) appelée facteur de mérite du matériau :

$$Z_T = \Pi^2 \sigma / \kappa T \equiv S_T^2 T \sigma / \kappa$$

où  $\Pi$  est le coefficient de Peltier et  $S_T$  le pouvoir thermoélectrique du matériau,  $T$  la température,  $\sigma$  la conductivité électrique et  $\kappa$  la conductivité thermique (en  $Wm^{-1}K^{-1}$ ).

L'unité en S.I. de  $\Pi$  est ☐ A ☐ W/m ☐ W ☒ V

Q2. Un hôpital souhaite s'équiper d'une plaque de refroidissement nécessaire pour des examens de tissus biologiques. Pour cela, il dispose d'un module thermoélectrique Peltier dont les caractéristiques sont données sur la figure 1 ainsi que d'une source de tension réglable 0-20V avec un courant maximum de 1,2A. La face côté radiateur est à température ambiante supposée égale à 30°C. La plaque de refroidissement doit être à 5°C et la puissance thermique maximale absorbée par le module d'au moins 5W.

Q2a. Il faut alimenter le module sous une tension de : ☐ 12V ☐ 16V ☒ 4V ☐ 8V

Q2b. La puissance thermique maximale absorbée par le module sera d'environ : ☐ 18W ☐ 24W ☒ 16W ☐ 12W

Q2c. La puissance électrique consommée par le module sera d'environ : ☐ 9,6W ☐ 12W ☒ 4,8W ☐ 7,2W

**Effet piézoélectrique (2 points)**

$$4V \times 1,2A$$

Q3. Qu'est-ce que l'effet piézoélectrique direct ?

- ☐ des paires électrons-trous se créent dans un matériau soumis à des photons d'énergie élevée ;
- ☒ le matériau contraint mécaniquement se polarise électriquement ;
- ☐ une chaleur se dégage à la jonction entre deux matériaux de nature différente ;
- ☐ une tension apparaît aux bornes d'un matériau dont les deux extrémités sont à des températures différentes.

## Eolien (8 points)

Q4. Soient les courbes de la figure 2 relatives à l'éolienne étudiée par la suite.

Q4a. Qu'est-ce que le coefficient de performance d'une éolienne ?

non, ce n'est pas ça!

☒ Le rapport entre l'énergie électrique produite pour une vitesse de vent donnée et l'énergie électrique produite en fonctionnement nominal.

☐ Le rapport entre la vitesse du rotor et la vitesse du vent, pour une vitesse de vent donnée.

☒ Le rapport entre la puissance électrique produite et la puissance du vent disponible en amont de l'éolienne, pour une vitesse de vent donnée.

☐ Le coefficient donné par la limite de Betz pour une vitesse de vent donnée.

Q4b. Supposons que l'éolienne est sur un site où la vitesse du vent reste constante et vaut 15m/s. L'énergie électrique fournie par cette éolienne en un an vaut environ

☐ 20 MWh ☒ 20 GWh ☐ 720 MJ ☐ 720 GJ

$$2300 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 365 \sim 2300 \text{ kW h} \times 100/4 \times 350 \sim 6 \times 10^8 \times 35 \text{ kWh} = 19,5 \text{ GWh}$$

En fait, la vitesse du vent varie. Sa distribution (modélisée) est donnée sur la figure 3.

Q4c. Comment calculer le nombre de jours par an pendant lesquels l'éolienne fournit une puissance supérieure à 2 kW ? 2000kW

☐ Intégrer la courbe du coefficient de performance (fig.2) de 4,5 à 12,5 m/s et multiplier par 365.

☐ Intégrer la courbe de densité de probabilité (fig.3) de 4,5 à 12,5 m/s et multiplier par 365.

☐ Intégrer la courbe de puissance (fig.2) de 12,5 à 25 m/s et multiplier par 365.

☒ Intégrer la courbe de densité de probabilité (fig.3) de 12,5 à 25 m/s et multiplier par 365.

Q4d. Avec cette distribution de vent (figure 3), le facteur de charge de cette éolienne vaut 0,25 (25%). L'éolienne fournit donc en un an environ :

☐ 500 kWh ☐ 50 MWh ☐ 5 MWh ☒ 5 GWh

## Capteur: généralités (6 points)

Q5. Soit une chaîne de mesure d'éclairement. La courbe d'étalonnage a été établie à 20°C. La température est une grandeur d'influence de cette chaîne linéaire. Vous faites une mesure par minute pendant 6 heures, la température est alors constante et vaut 30°C. Si vous ne prenez pas en compte cette variation de température, vous allez faire des erreurs dites ☐ aléatoires ☐ de finesse ☒ systématiques ☐ de rapidité

Q6. Soit une chaîne de mesure dont le mesurande  $m$  et la grandeur électrique  $U$  (une tension) sont liés par une équation différentielle du premier ordre. Si  $m(t)$  est un échelon (par exemple 0 pour  $t < 0$  et 3 S.I. pour  $t > 0$ ), la tension  $U$  a donc l'allure de la courbe présentée sur la figure 4 :  $U$  met un certain temps pour arriver à sa valeur correcte (ici 2V).

Q6a.  $m(t)$  est maintenant un signal créneau de fréquence  $f = 1/T$  :  $m = 0$  de 0 à  $T/2$  et  $m = 3$  S.I. de  $T/2$  à  $T$ , etc. Quelle condition sur  $f$  préconisez-vous pour que la chaîne de mesure de  $m(t)$  fonctionne ? ☐  $f > 1 \text{ Hz}$  ☐  $f < 1 \text{ Hz}$  ☒  $f < 100 \text{ mHz}$  ☐  $f > 10 \text{ Hz}$

$$\text{on fait } \frac{T}{2} \gtrsim 5 \text{ s pour que } U \text{ atteigne } 2 \text{ V} \\ \Rightarrow T \gtrsim 10 \text{ s} \Rightarrow f \lesssim 100 \text{ mHz}$$

Q6b. Le mesurande est maintenant sinusoïdal de fréquence  $f$  égale à la fréquence de coupure  $f_c$  de la chaîne de mesure. Quelle erreur allez-vous commettre si vous supposez, à tort, que  $f \ll f_c$ ? ☐ 95% ☐ 71% ☐ 05% ☒ 29%

On pense avoir  $A_{max}$  mais on a  $\frac{A_{max}}{\sqrt{2}} = 0,71 A_{max}$

Capteur d'éclairement (2 points)

$$E = -R_L I_D - V_D$$

Il faut que cette droite passe par  $(V_D = -1,2V; I_D = 0)$  et par  $(V_D = -0,4V; I_D = -0,1mA)$

Q7. Soit le circuit de la figure 5 où la caractéristique de la photodiode est donnée sur la figure 6. Comment choisir  $R_{LOAD}$  et  $E$  pour que  $V_D = -1,2V$  à  $0 \text{ mW/cm}^2$  et  $V_D = -0,4V$  à  $2 \text{ mW/cm}^2$ ?  
☐  $R_{LOAD} = 4k\Omega, E = -1,2V$  ☐  $R_{LOAD} = 4k\Omega, E = 1,2V$   
☒  $R_{LOAD} = 8k\Omega, E = 1,2V$  ☐  $R_{LOAD} = 8k\Omega, E = -1,2V$

Capteur de température (4 points)  
 A  $600^\circ C$   $S \approx 80 \mu V / ^\circ C$

Q8. Un thermocouple (TC) de type E (caractéristique présentée sur la figure 7) a ses deux extrémités à  $600^\circ C$ . La tension à ses bornes vaut  $16 \text{ mV}$ . Quelle est la différence de température (en valeur absolue) entre la jonction et les extrémités?

$| \Delta T | = \frac{| \Delta V |}{S} \Rightarrow | \Delta T | = \frac{16000 \mu V}{80 \mu V / ^\circ C} = 200^\circ C$   
☐  $\approx 16K$  ☐  $\approx 500K$  ☐  $\approx 5K$  ☒  $\approx 200^\circ C$

Q9. Soit la thermistance de la figure 8 ( $R_{Pt100} = 170\Omega$  à  $200^\circ C$ ). On mesure à l'ohmmètre sa résistance avec une incertitude de  $\pm 1\Omega$ . Si l'ohmmètre affiche  $205 \Omega$ , la température vaut  $300^\circ C$   
☐  $\pm 10^\circ C$  ☐  $\pm 0,1^\circ C$  ☒  $\pm 3^\circ C$  ☐  $\pm 1^\circ C$

D'après fig. 8:  $R = 100(1 + \frac{0,35}{100} T^\circ C) \Omega \Rightarrow \frac{\Delta R}{\Delta T} = 0,35 \Omega / ^\circ C$

Partie questions ouvertes (sur 8 points)

Capteur de température (8 points)

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{\pm 1 \Omega}{0,35 \Omega / ^\circ C} \approx 3^\circ C$$

Q10. Pour déterminer une température, le circuit de la figure 9 est proposé où  $R$  est une thermistance et où le générateur et l'ampèremètre sont supposés parfaits.

Q10a. Du point de vue de l'emballlement thermique, il est mieux que  $R$  soit une CTN ou une Pt100 ? (Justifiez brièvement.)

Si CTN:

$$P_{JCTN} = \frac{E^2}{R} \rightarrow T \uparrow \rightarrow R \downarrow \rightarrow P_J \uparrow \rightarrow \text{emballement}$$

Si Pt100:

$$P_{JPt100} = \frac{E^2}{R} \rightarrow T \uparrow \rightarrow R \uparrow \rightarrow P_J \downarrow \rightarrow \text{pas d'emballement}$$

$\Rightarrow$  Pt100 meilleure.

La température est maintenant supposée comprise entre 0°C et 200°C.

Q10b. On choisit pour R, à tort ou à raison, la Pt100 dont la caractéristique est donnée sur la figure 8 ( $R_{Pt100} = 170\Omega$  à 200°C). Comment fixer E pour que la puissance dissipée par effet Joule dans la thermistance soit au maximum de 40mW ? Quel type d'erreur cherche-t-on à limiter ainsi ? Quelles seront alors les valeurs minimale et maximale que prendra l'intensité électrique dans la Pt100 dans l'intervalle de température [0°C ; 200°C] (formule littérale puis application numérique) ? Que vaudra la sensibilité  $S = dI/dT$  (I étant l'intensité lue à l'ampèremètre) à 0°C (formule littérale puis application numérique) ? (Justifiez l'ensemble brièvement.)

- $P_J = E^2/R$

$P_J \text{ max. qd. } R = R_{\min} = 100\Omega$

$$\Rightarrow E = \sqrt{100 \times 40 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \underline{E = 2V}$$

- Erreur de finesse.

- $I = E/R$

$$I_{\max} = \frac{2V}{100\Omega} \Rightarrow \underline{I_{\max} = 20mA}$$

$$I_{\min} = \frac{2V}{170\Omega} \Rightarrow \underline{I_{\min} \approx 12mA}$$

2 courants mesurables

- $S = \frac{dI}{dT} = \frac{dI}{dR} \times \frac{dR}{dT}$

$$\Rightarrow S = -\frac{E}{R^2} \times 0,35\Omega/^{\circ}C^{-1}$$

$$\Rightarrow S = \frac{-2V}{100 \times 100\Omega^2} \times 0,35\Omega/^{\circ}C \Rightarrow \underline{S = -70\mu A/^{\circ}C}$$

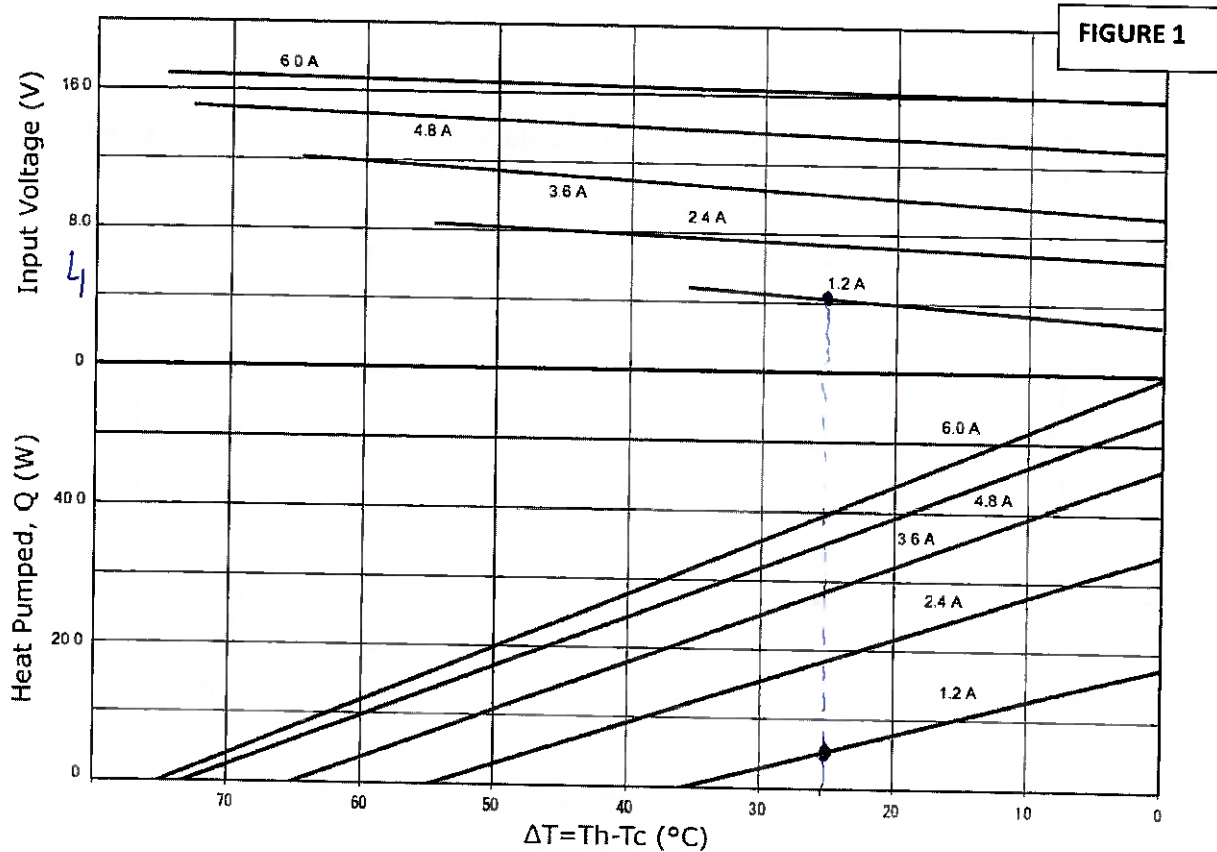
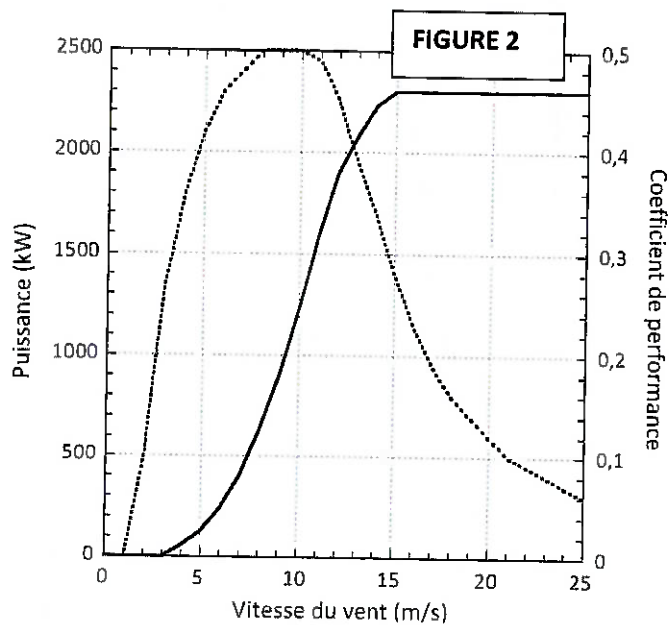
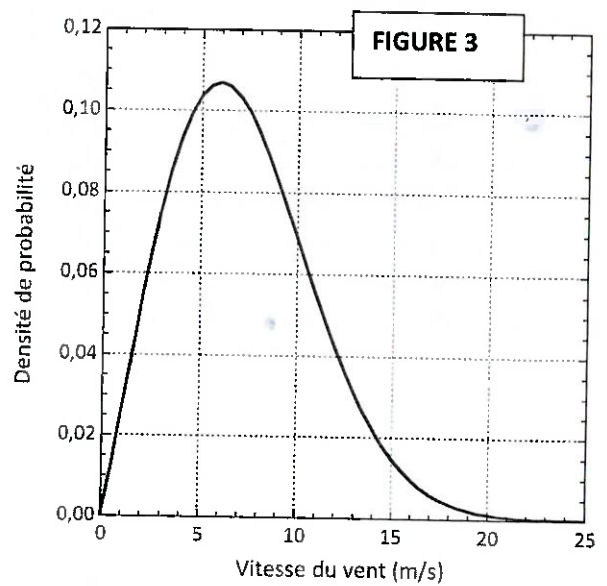


Fig.1. Diagramme fonctionnel de performance du module Peltier. Source : [www.cui.com](http://www.cui.com)



A gauche - Fig.2. Courbes de puissance (en trait continu) et de coefficient de performance (en traits pointillés) de l'éolienne *Enercon E70* en fonction de la vitesse du vent. Source : [www.enercon.de/fr/home/](http://www.enercon.de/fr/home/)



A droite - Fig.3. Fonction de distribution de la vitesse moyenne des vents sur le site considéré.

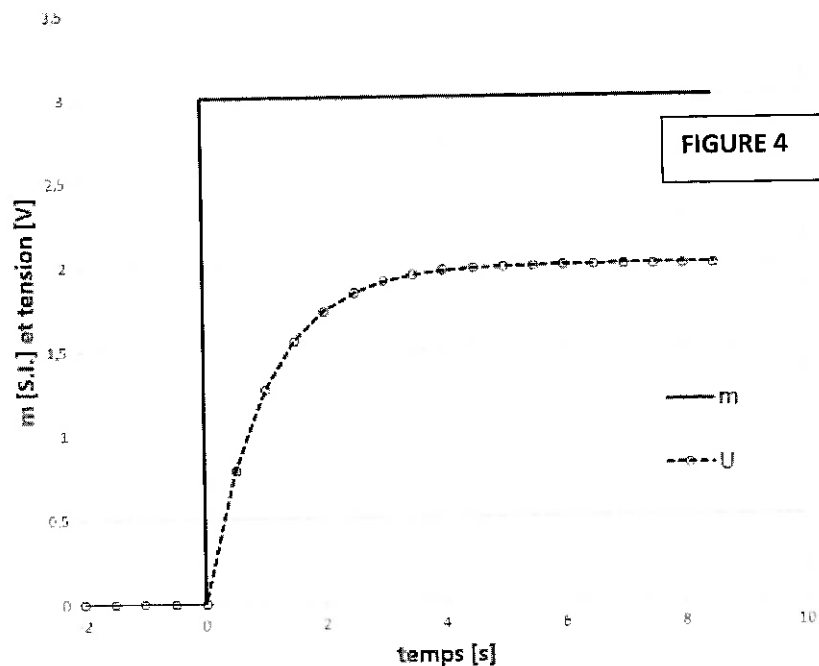


Fig.4. Mesurande m (en S.I.) et tension de sortie du capteur U (en volt) en fonction du temps.

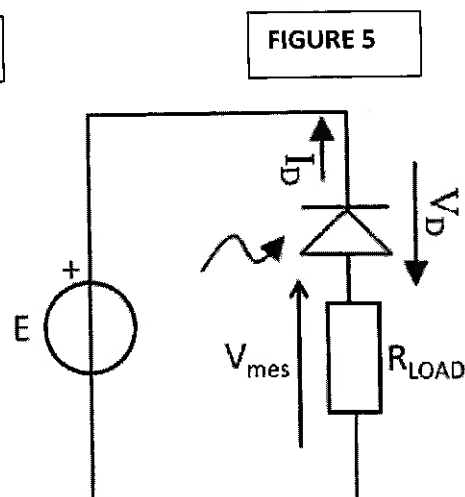


Fig.5. Circuit avec photodiode.

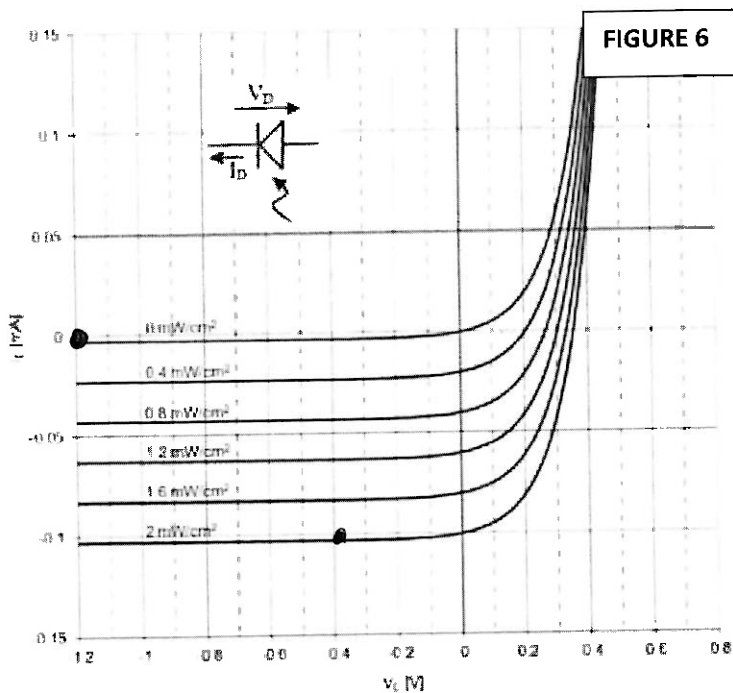


Fig.6.  $I_D(V_D)$  d'une photodiode pour différents éclaircissements.

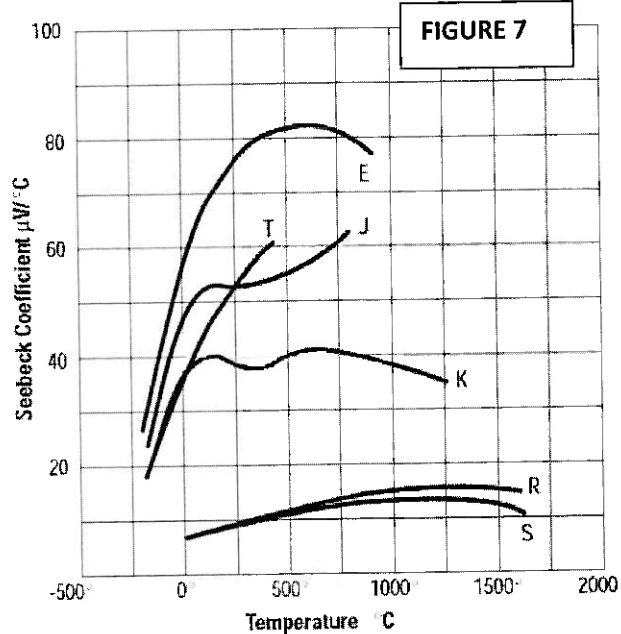


Fig.7. Coefficients Seebeck (en  $\mu V/^\circ C$ ).

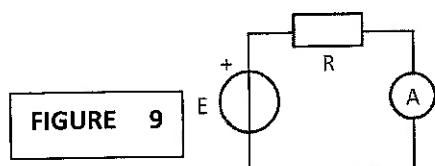


Fig.9. Circuit de Q10.

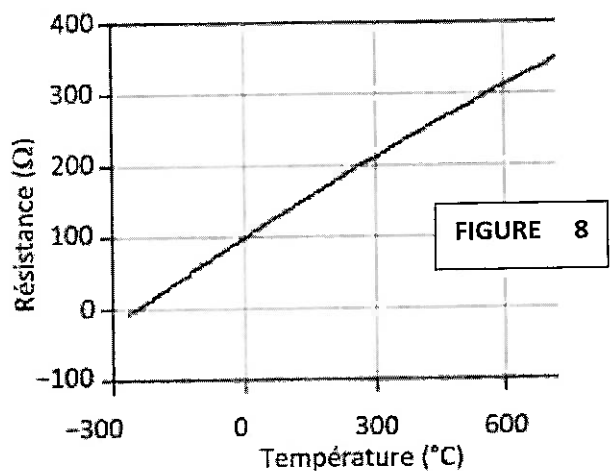


Fig.8. Pt100 (NB : 170 $\Omega$  à 200 $^\circ C$ ).