BTS FED 2018 : Physique et Chimie

Option : Génie climatique et fluidique (GCF)

Sous-marin « SAGA »

A - Immersion du sous-marin

On souhaite trouver l'épaisseur minimale de la vitre du hublot du sous-marin.

Données :

- Pression atmosphérique : $P_{atm} = 1{,}0 \times 10^5$ Pa
- Masse volumique de l'eau de mer à la surface : $\rho = 1{,}03 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$
- Champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81 \text{ m.s}^{-2}$
- Masse du sous-marin lors des déplacements en plongée : $M_T = 550$ t
- Longueur du sous-marin : $L = 28$ m
- Rayon du sous-marin : $R = 7{,}0$ m
- Diamètre du hublot : $d = 50$ cm

On suppose que l'eau de mer est incompressible et homogène, c'est-à-dire que sa masse volumique ρ est constante. On note P_0 la pression de l'eau de mer en surface, c'est-à-dire à la côte z égale à 0.

1. P(z) est la pression à la profondeur z : $\boxed{P(z) = P_0 + \rho\, g\, z}$

2. $P_{600} = P_0 + \rho\, g \times 600 \text{ m}$ avec : $P_0 = P_{atm} = 1{,}0 \times 10^5$ Pa $\boxed{P_{600} = 6{,}16 \times 10^6 \text{ Pa}}$

3. La valeur F_{max} de la force que doit supporter le hublot du sous-marin est : $F_{max} = P_{600} \times S_{hublot}$

Avec : $S_{hublot} = \dfrac{\pi\, d^2}{4}$; $\boxed{F_{max} = 1210 \text{ kN}}$

4. Tableau de valeur pour un hublot cylindrique de diamètre 50 cm :

Epaisseur e(en cm)	Pression P ($\times 10^5$ Pa)	Force F (en kN)
2	4,0	78
4	15,9	312
6	35,8	702
8	63,7	1250
10	99,5	1950

On en déduit : $\boxed{e_{min} = 8 \text{ cm}}$.

B - Régulation de température

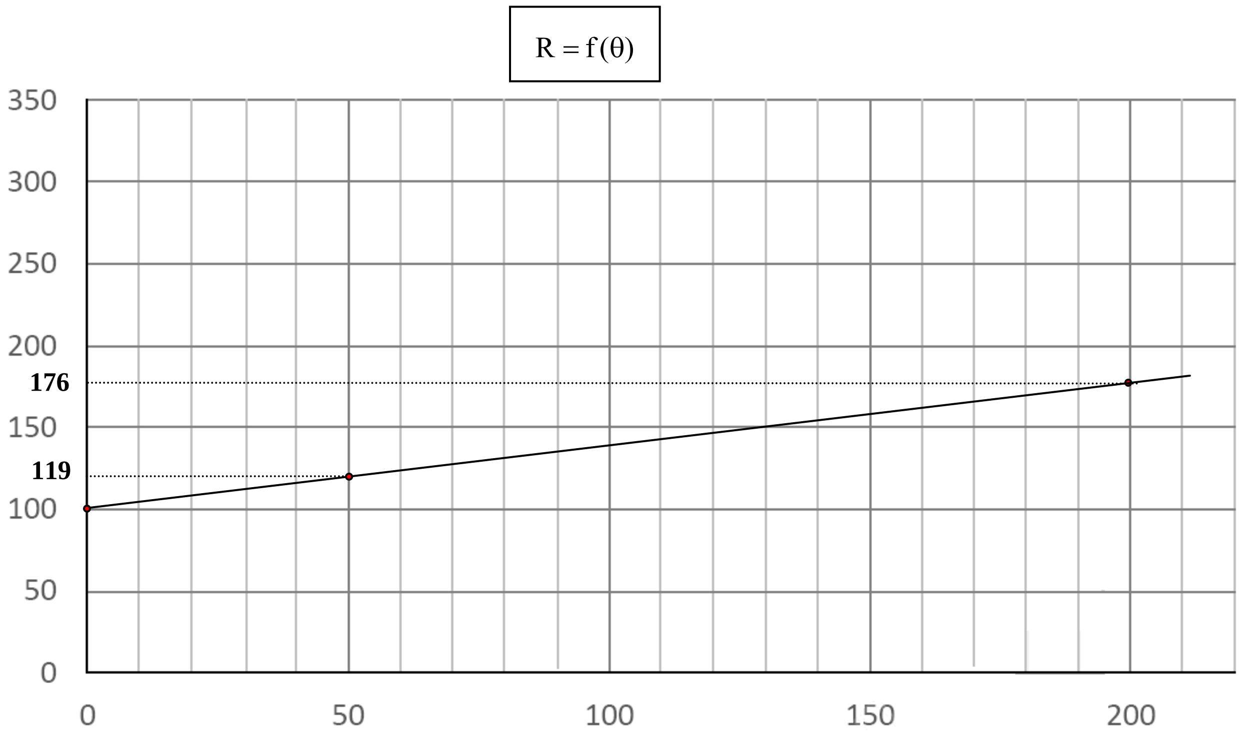
1. La grandeur d'entrée est la température ; la grandeur de sortie est la résistance R.

2. Il faut relever pour diverses valeurs de la température (utilisation d'un thermomètre) les valeurs de la résistance R (utilisation d'un ohmmètre).

3. La courbe caractéristique $R = f(\theta)$ de la sonde Pt100 dans le domaine de température $0\,°C$ à $300\,°C$ est à la page suivante.

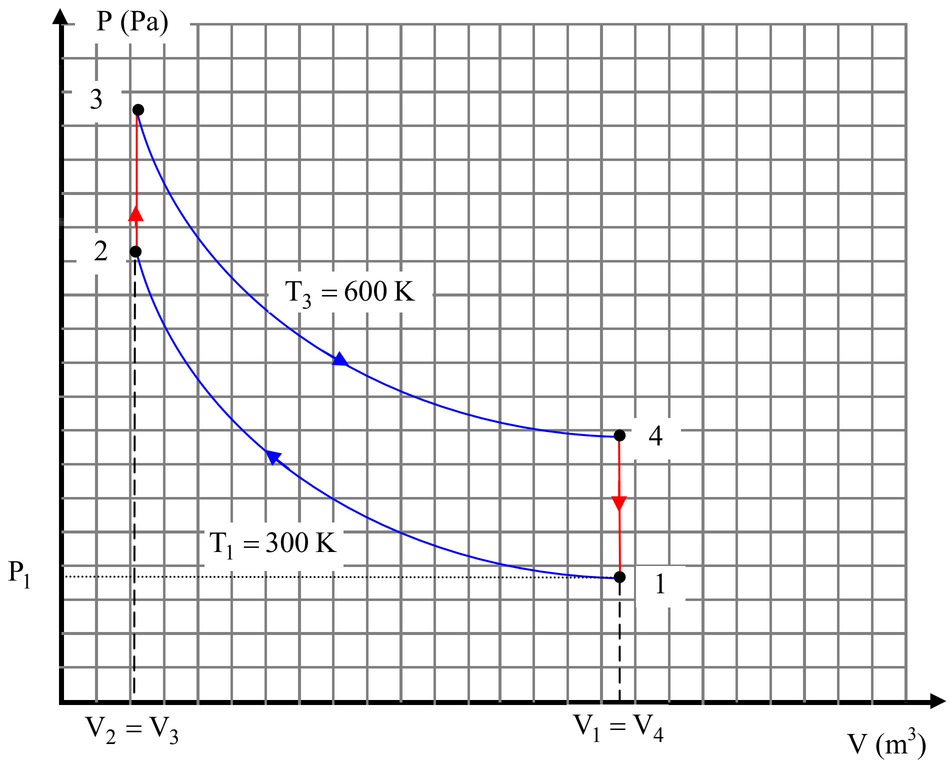
4. La résistance est une fonction linéaire de la température : $\boxed{R = a \times \theta + b}$

Avec : a égal au facteur de température : $0{,}385\ \Omega.°C^{-1}$ et $\boxed{b = 100{,}00\ \Omega}$



C - Propulsion du sous-marin

1. Allure du cycle dans le diagramme (P,V).



2.

■ La transformation $1 \to 2$ est isotherme de sorte que l'on obtient : $\boxed{Q_{12} = n\,R\,T_1\,\ln\dfrac{V_2}{V_1}}$

Remarque : $Q_{12} < 0$ car $V_2 < V_1$; le fluide fournit de la chaleur à l'extérieur.

■ Le résultat précédent peut être transposé à l'évolution $3 \to 4$ qui est également isotherme :

$\boxed{Q_{34} = n\,R\,T_3\,\ln\dfrac{V_4}{V_3}}$ avec : $\dfrac{V_4}{V_3} = \dfrac{V_1}{V_2}$ donc : $\boxed{Q_{34} = n\,R\,T_3\,\ln\dfrac{V_1}{V_2}}$

$Q_{34} > 0$ car $V_2 < V_1$; le fluide reçoit de la chaleur de l'extérieur.

■ Pour l'évolution $2 \to 3$: $\boxed{Q_{23} = n\,C_V\,(T_3 - T_1)}$

■ Pour l'évolution $4 \to 1$: $\boxed{Q_{41} = n\,C_V\,(T_1 - T_3)}$

Remarque : la somme $Q_{23} + Q_{41}$ est nulle

3. L'application du premier Principe, pour le cycle, nous permet d'écrire :

$Q_{cycle} + W_{cycle} = \Delta U_{cycle}$ avec $\Delta U_{cycle} = 0$ car l'énergie interne U est une fonction d'état.

On a donc : $W_{cycle} = -(Q_{12} + Q_{34})$ (la somme $Q_{23} + Q_{41}$ étant nulle)

4. Le rendement s'écrit : $\eta = \dfrac{-W_{cycle}}{Q_{34}} = \dfrac{Q_{34} + Q_{12}}{Q_{34}} = 1 + \dfrac{Q_{12}}{Q_{34}}$ puis : $\eta = 1 + \dfrac{\cancel{n\,R}\;T_1\;\ln\cancel{\dfrac{V_2}{V_1}}}{-\,\cancel{n\,R}\;T_3\;\ln\cancel{\dfrac{V_2}{V_1}}}$

Remarque : $\ln\dfrac{V_1}{V_2} = -\ln\dfrac{V_2}{V_1}$

On en déduit : $\boxed{\eta = 1 - \dfrac{T_1}{T_3} \text{ ou } \eta = \dfrac{T_3 - T_1}{T_3}}$

5. *Application numérique* : $\boxed{\eta = 50\ \%}$

D - Protection de la coque

I - Introduction

1. On reformule la phrase : « Le zinc est plus réducteur que le fer ».

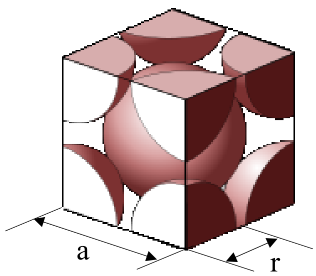
2. Le dispositif expérimental indique une libération d'électrons à l'électrode en zinc (anode) et une consommation d'électrons à l'électrode en fer (cathode).

Des électrons sont libérés à l'électrode en zinc : $Zn \xrightarrow[\text{oxydation}]{} Zn^{2+} + 2\,e^-$

Des électrons sont consommés à l'électrode en fer : $Fe^{2+} + 2\,e^- \xrightarrow[\text{réduction}]{} Fe$

II - Etude cristallographique du fer

1. Une maille comporte, au centre, un atome de fer. A chaque sommet de la maille, on trouve $1/8$ d'atome de fer ; la maille comporte 8 sommets.



On a donc : $\boxed{N = 1 + 8 \times \dfrac{1}{8} = 2}$

2. La masse d'une mole d'atomes de fer est égale à : Masse molaire atomique : $M(Fe) = 55{,}8\ g.mol^{-1}$

Dans une mole d'atomes de fer, on trouve $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$ atomes de fer ; la masse d'un atome de fer est donc : $m_{\text{atome de fer}} = \dfrac{M(Fe)}{N_A} = \dfrac{55{,}8 \times 10^{-3}\ \mathbf{kg}.mol^{-1}}{6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}}$ (attention aux unités !)

Les atomes de fer sont en contact le long de la grande diagonale : $a\sqrt{3} = 4\,r$ soit : $a = \dfrac{4\,r}{\sqrt{3}}$

Remarque : $124{,}0\ pm = 124{,}0 \times 10^{-12}\ \mathbf{m}$

La masse volumique cherchée s'écrit : $\rho = \dfrac{\text{masse de la maille}}{\text{volume de la maille}} = \dfrac{N \times \text{masse}_{\text{atome de fer}}}{a^3} = \dfrac{2 \times M(Fe)}{N_A \left(\dfrac{4\,r}{\sqrt{3}}\right)^3}$

On obtient effectivement : $\rho_{Fe} = 7{,}89 \times 10^{3}\ kg.m^{-3}$

3. La masse de fer s'écrit : $\boxed{m_{fer} = \rho_{fer} \times V}$

Cette masse représente 22 % de la masse totale M_T du sous-marin ; on a donc :

$$\boxed{M_T = \frac{100}{22} \times \rho_{fer} \times V} \qquad M_T = 552 \times 10^{3}\ kg$$