

SESSION DE 1998

Filière MP, PSI

EPREUVE DE PHYSIQUE II

Durée : 3 heures

Thermodynamique

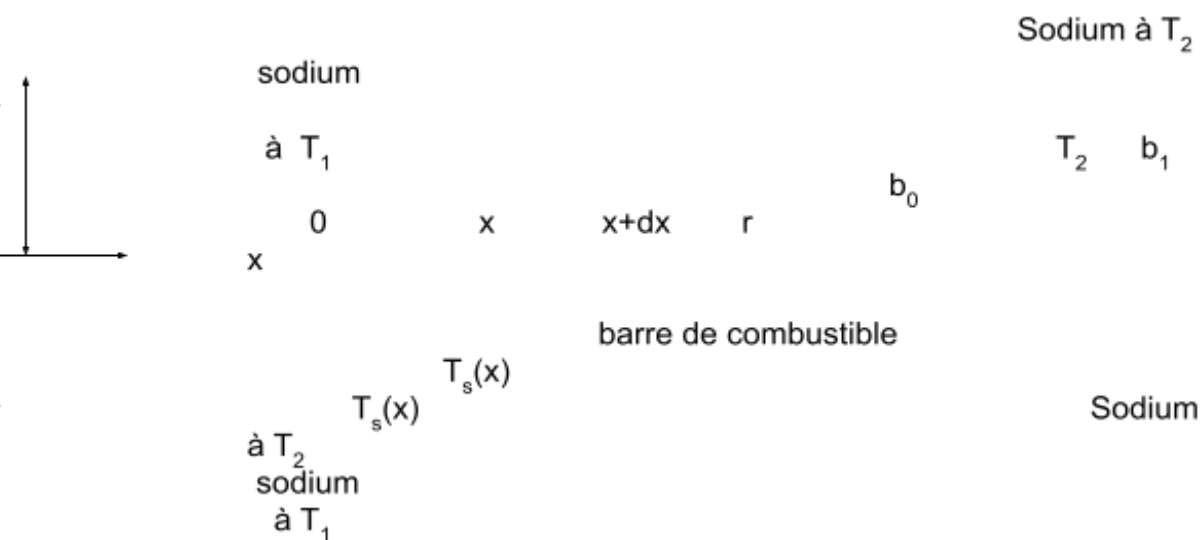
Températures dans un réacteur nucléaire.

Dans un réacteur nucléaire, un fluide caloporteur (du sodium en fusion) évacue l'énergie produite par les réactions nucléaires. Sur un exemple simplifié nous allons évaluer la température maximale atteinte par le combustible en régime stationnaire.

Le combustible est sous forme de barre cylindrique de rayon b_0 et de longueur L .

Chaque barre est refroidie par une circulation de sodium liquide dans un espace annulaire entourant la barre (figure ci-dessous). La gaine extérieure a un rayon b_1 .

La température d'entrée du sodium est T_1 , sa température de sortie T_2 , sa vitesse d'écoulement v , sa masse volumique ρ , sa chaleur massique c .



Tournez la page S.V.P.

1. Vitesse d'écoulement du sodium

La puissance thermique ϕ_e évacuée par le sodium est égale à $0,252.10^6$ W.

Calculer le débit massique du sodium $\frac{dm}{dt} = \dot{m}$. En déduire la vitesse v d'écoulement du sodium ?

Données : $T_1 = 120^\circ\text{C}$; $T_2 = 302^\circ\text{C}$; $L = 3,0$ m ; $b_1 = 2,6$ cm ; $b_0 = 2,0$ cm ;
 $\rho = 850$ kg.m⁻³ ; $c = 1250$ J.kg⁻¹.K⁻¹

2. Température dans le sodium.

L'énergie produite est liée au flux de neutrons dans la barre c'est à dire au nombre de neutrons passant par unité de temps à travers la section de la barre de combustible . On admet que ce flux de neutrons est réparti le long de la barre de combustible selon la loi :

$$N = N_0 \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$
 Ce flux N est indépendant de la distance r à l'axe. Le flux d'énergie thermique produit est proportionnel à ce flux de neutrons. Il est évacué à la périphérie de la barre dans le sodium liquide . Pour une tranche d'épaisseur dx , il vaut :

$$d\phi(b_0) = A \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) dx$$
 ; A est une constante que l'on va déterminer.

2.1. On admet que dans le sodium la température T_s ne dépend que de x . Soit $T_p(x)$ la température de surface de la barre de combustible en contact avec le sodium liquide.

2.1.1 A partir d'un bilan sur une tranche d'épaisseur dx , montrer que :

$$T_s(x) = T_0 + \alpha \cdot A \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

2.1.2 Déterminer α , T_0 et A en fonction de L , ϕ_e , T_1 et T_2 .

2.2. L'échange thermique entre le sodium et le combustible est caractérisé par un coefficient d'échange h tel que : $|d\phi| = h \cdot |T_p - T_s| \cdot dS$.

dS est la surface latérale de la tranche d'épaisseur dx de combustible en contact avec le sodium liquide. On donne : $h = 50\,000$ W.m⁻².K⁻¹.

2.2.1 Exprimer la température de surface $T_p(x)$ de la barre du combustible en contact avec le sodium.

2.2.2 T_p est maximal pour une position x_M . Calculer x_M et $T_p(\max)$.

3/ Température dans le combustible.

Pour déterminer la répartition de la température $T(r, x)$ dans la barre du combustible ,on admet que la chaleur produite dans le combustible est évacuée essentiellement **radialement** par conduction thermique. La conductivité thermique λ du matériau combustible est $\lambda = 32,8$ W.m⁻¹ K⁻¹ ,indépendant de la température.

3.1. On considère une tranche cylindrique de combustible de rayon r ,d'épaisseur dx ,ayant pour axe celui de la barre de combustible.

3.1.1 Exprimer ,à partir de la loi de Fourier , le flux de puissance thermique traversant la surface latérale du cylindre élémentaire .

3.1.2 Exprimer l'énergie produite par unité de temps $d\phi(r)$ en fonction de r , b_0 et $d\phi(b_0)$.

3.1.3 Montrer que $T(r, x)$ satisfait à une équation différentielle de la forme :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = E \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$
 ; E est une constante à déterminer.

3.2. Déterminer $T(r, x)$.

3.3.1 Montrer que sur l'axe du cylindre, la température $T(o, x)$ atteint une valeur maximale T'_M en x'_M .

3.3.2 Calculer numériquement x'_M et T'_M .

4/ **Discuter** sur les différentes approximations utilisées.

Que pensez-vous des résultats trouvés ?

Chimie.

Quelques réactions sur les ions sulfites.

Données.

Acide sulfureux H_2SO_3 : $pK_{A1} = 1,8$; $pK_{A2} = 7,2$;

Acide sulfhydrique H_2S : $pK_{A1} = 7$; $pK_{A2} = 13$;

Précipité : Ag_2SO_3 : $pK_s = 13,8$;

Complexe incolore : $Ag(SO_3)_2^{3-}$; $\log \beta_2 = 8,7$

Les potentiels normaux E° sont donnés à $pH = 0$:

MnO_4^- / Mn^{2+} : 1,51 V ; HSO_4^- / H_2SO_3 : 0,17 V

$S(\text{solide}) / S^{2-}(\text{en solution})$: -0,48V ; $H_2SO_3 / S(\text{solide})$: 0,45 V

On dispose d'une solution A de sulfite de sodium Na_2SO_3 (0,1 mol.L⁻¹) que nous allons utiliser tout au long de ces expériences.

Les solutions des autres réactifs utilisés ont la même concentration.

Les questions 1 , 2 et 3 sont indépendantes.

1. Propriétés acido-basiques.

1.1. Un test avec un papier pH donne une valeur de pH voisin de 10 pour la solution A.

1.1.1 Interpréter le résultat de ce test à l'aide des données.

1.2.2 Calculer le pH et les concentrations des différentes espèces.

1.2. A 5 mL de A ,on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentrée. Un dégagement gazeux, d'odeur piquante se produit. Un papier imbibé d'une solution acidifiée de permanganate de potassium ($KMnO_4$) est décoloré.

1.2.1 Quelle est la réaction ? L'acide obtenu est la solution d'un gaz ,composé soufré dans lequel le soufre a le même nombre d'oxydation que dans l'ion sulfite.
Quel est le rôle de l'acide chlorhydrique ?

1.2.2. Ecrire la réaction d'oxydo-réduction qui permet de caractériser ce gaz par la décoloration du permanganate.

1.2.3 Pourquoi ne peut-on pas réaliser un dosage de A par HCl ?

2. Précipitation et complexation.

On réalise les trois expériences suivantes.

- *Première expérience :*

A 10 mL de nitrate d'argent AgNO_3 ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) ,on ajoute quelques gouttes de la solution A. Il apparaît un précipité de sulfite d'argent blanc .

- *Deuxième expérience.*

A 10 mL de A, on ajoute quelques gouttes de nitrate d'argent ; la solution reste limpide.

- *Troisième expérience.*

Dans la solution avec précipité de la première expérience, on rajoute un peu d'acide concentré pour rendre le pH voisin de 0 : le précipité disparaît.

2.1. Interpréter qualitativement les trois expériences.

2.2. On admet que lorsque l'on verse quelques gouttes dans 10 mL, la concentration de l'espèce correspondante est de l'ordre de $10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$.

2.2.1 Interpréter quantitativement la première expérience. On calculera la quantité de précipité et la concentration des diverses espèces en solution.

2.2.2 Montrer que , dans la deuxième expérience, le précipité ne peut pas se former.
Calculer
les concentrations des diverses espèces en solution.

2.2.3 Dans la troisième expérience, le milieu est acide.
Quelles sont les espèces prépondérantes ?
Calculez leur concentration si $[\text{H}_3\text{O}^+] \approx 1 \text{ mol.L}^{-1}$.

3. Propriétés oxydo-réductrices.

A 10 mL de A, on ajoute 10 mL d'une solution de sulfure de sodium (Na_2S) et quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré. Il apparaît lentement un précipité blanc-jaune.

1/ Quelle est l'action de l'acide chlorhydrique sur les ions présents en solution ?

2/ A partir des données, interpréter qualitativement cette expérience. Quel est le nom du précipité ? La réaction est une rétro-dismutation.

3/ Calculer la constante d'équilibre de cette réaction d'oxydo-réduction .