

Institut National Polytechnique de Lorraine
 ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE GEOLOGIE - NANCY
 EPREUVE DE PHYSIQUE- SESSION 1996
 Durée: 3 heures - Coefficient 4

1° Partie -Thermodynamique.

Les tableaux 1-1 et I-2 ci-dessous contiennent respectivement des données thermodynamiques relatives à la vapeur d'eau sèche et à la vapeur saturante .

Notations : L'indice v est relatif à la vapeur, l'indice l est relatif au liquide.

Les unités indiquées entre parenthèses sont éventuellement à convertir dans l'unité SI.

h : enthalpie massique (kJ.kg⁻¹) ; s : entropie massique (kJ.K⁻¹.kg⁻¹) ;

u : énergie interne massique (kJ.kg⁻¹) ; v : volume massique (m³.kg⁻¹) ;

θ : température (°C) ;

P_s pression de vapeur saturante (bar).

Tableau I-1 : Vapeur sèche sous une pression P₀ = 1 bar.

θ	v _v	h _v	u _v	s _v
100	1,696		2506	7,361
150	1,936		2583	7,613
200	2,172		2660	

Tableau I-2: eau : vapeur saturante et liquide saturant.

θ	P _s	v _v	h _v	u _v	s _v	h _l	u _l	s _l	v _l
100	1,013	1,673	2676	2507	7,355	419	419	1,307	1,04.10 ⁻³
150	4,760	0,393	2746	2560	6,838	632	632	1,842	1,09.10 ⁻³
200	15,54	0,127	2793	2595		852	851	2,331	1,16.10 ⁻³

Données : constante des gaz parfaits : R = 8,315 J.K⁻¹.mol⁻¹ ;

1 bar = 10⁵ Pa ;

masse molaire moléculaire de l'eau : M= 18.10⁻³ kg. mol⁻¹ ;

0°C ↔ 273,15 K.

A- exploitation du tableau I.

I) Étude de la vapeur sèche .

I-1) Exprimer littéralement en fonction de la température thermodynamique T, de la pression P et des données, le volume massique v_{vgp} dans l'hypothèse où la vapeur d'eau suit la loi des gaz parfaits.

I-2) Remplir un tableau donnant v_{vgp} pour P₀ = 1 bar et θ = 100, 150, 200 °C . Déterminer l'écart relatif maximal entre v_v et v_{vgp} ; conclure.

I-3) Déterminer, à partir des valeurs tabulées, la valeur moyenne entre 100°C et 200°C de la capacité thermique massique à volume constant c_v de la vapeur sèche.

I-4) En déduire la valeur de la capacité thermique massique à pression constante c_p en considérant la vapeur sèche comme un gaz parfait.

I-5) a) En utilisant uniquement les données du tableau I-1 et en justifiant les calculs, remplir la colonne h_v .

b) Vérifier la valeur de c_p trouvée en I-4 ; conclure sur la validité des hypothèses.

I-6) Calculer la valeur S_v(200) du tableau I- 1 dans l'hypothèse gaz parfait.

II) Étude de la saturation.

II-1) On dispose de la loi expérimentale de Dupré liant le logarithme en base 10 de P_s et T (avec P_s en bars et T en kelvin) :

$$\log(P_s) = A - 1,372.\log(T) - (2317)/T$$

a) A partir des valeurs tabulées, déterminer la valeur moyenne de A .

b) Tracer la courbe représentant l'évolution de P_s en fonction de la température .

II-2) a) Exprimer le coefficient directeur de la tangente à la courbe précédente en fonction de T . Calculer sa valeur pour θ = 150°C. Vérifier graphiquement la cohérence du résultat .

b) Comparer ce coefficient à la valeur théorique prévue par la thermodynamique (on établira la relation théorique littérale puis on fera l'application numérique

II-3) Compléter le tableau 1-2 en calculant s=(200) .

B- Étude d'une transformation.

On considère une chaudière contenant initialement $0,2 \text{ m}^3$ d'eau liquide en équilibre avec $9,8 \text{ m}^3$ de vapeur à la pression $P_0 = 1,013 \text{ bar}$. Le volume de cette chaudière est constant et les parois sont parfaitement calorifugées sauf à la base où un brûleur permet un transfert par chaleur d'une quantité d'énergie Q_c .

On négligera la capacité thermique de la chaudière; la flamme du brûleur sera considérée comme un thermostat à

la température ($\theta_b = 800^\circ\text{C}$ transférant une puissance thermique constante $P_b = 100 \text{ kW}$ pendant la durée t_0 nécessaire pour que, à l'équilibre, la pression soit $P_f = 15,54 \text{ bars}$. On appelle x la fraction massique de la vapeur dans la chaudière.

I) Étude de l'état initial.

I- 1) Calculer la masse m_{vi} de vapeur et la masse m_{li} d'eau liquide

I-2) Déterminer la fraction massique initiale x_i

II) Étude de l'état final.

Reprendre les questions précédentes en calculant m_{vf} , m_{lf} , x_f .

III) Bilan énergétique.

Déterminer Q_c et calculer la durée t_0 du chauffage.

IV) Bilan entropique.

IV-1) Déterminer la variation d'entropie du système eau liquide-vapeur d'eau entre l'état initial et l'état final.

IV-2) Calculer la variation d'entropie de l'univers lors de la transformation ; commenter.

Corrigé de B

B-I-1 Comme la pression est $1,013 \text{ bar}$, l'équilibre entre l'eau liquide et la vapeur d'eau se produit à 100°C . Alors, $m_{li} = \frac{0,2}{1,04 \cdot 10^{-3}} = 192,3 \text{ kg}$, $m_{vi} = \frac{9,8}{1,673} = 5,86 \text{ kg}$

B-I-2 $x_i = \frac{5,86}{192,3+5,86} = 0,02956$

B-II Comme la pression est $15,54 \text{ bars}$, l'équilibre entre l'eau liquide et la vapeur d'eau se produit à 200°C . Alors,

$\} \Rightarrow \{$

B-III La transformation a lieu à volume constant, donc sans travail :

$$Q_c = DU = m_{vf} u_{vf} + m_{lf} u_{lf} - m_{vi} u_{vi} - m_{li} u_{li} = 77,6'2595 + 120,5'851 - 5,8'2507 - 192,3'419 = 208800 \text{ kJ}$$

$$t_0 = \frac{Q_c}{P_b} = \frac{208800}{100} = 2088 \text{ s}$$

B-IV-1

$$DS = m_{vf} s_{vf} + m_{lf} s_{lf} - m_{vi} s_{vi} - m_{li} s_{li} = 77,6'6,433 + 120,5'2,331 - 5,8'7,355 - 192,3'1,307 = 486 \text{ kJ/K}$$

B-IV-2

$$1) S_c = DS - \frac{Q_c}{T_b} = 486 - \frac{208800}{1073} = 291 \text{ kJ/K}$$

L'entropie créée est nettement positive, car la transformation est thermiquement très irréversible, car le brûleur qui fournit la chaleur est à une température très différente de la chaudière.