

THERMODYNAMIQUE

Deuxième partie



LES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE

et l'étude des corps purs

LES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE

et l'étude des corps purs réels

Sommaire

I. BILAN D'ÉNERGIE entre deux états d'équilibre connus

I.1. Le premier principe de la thermodynamique	1
I.2. Application du premier principe aux gaz parfaits.....	4
I.3. Synthèse	8

II. PRÉVISION DE L'ÉTAT FINAL d'un système évoluant librement

II.1. L'irréversibilité et l'entropie	11
II.2. Le deuxième principe de la thermodynamique	15
II.3. Prolongation de la notion d'entropie	20
II.4. Transformations réversibles des gaz parfaits	23
II.5. Synthèse	26

III. ÉTUDE DES CORPS PURS RÉELS

III.1. Tables thermodynamiques des vapeurs surchauffées	27
III.2. Équilibre liquide-vapeur en vase clos	28
III.3. Étude complète d'un corps pur diphasé	35
III.4. Tables thermodynamiques des équilibres liquide-vapeur	37
III.5. Vaporisation spontanée à la surface libre d'un liquide	40

ANNEXES

A1. Diagrammes entropiques.....	45
A2. Cavitation	47

III. ÉTUDE DES CORPS PURS RÉELS

III.1. Tables thermodynamiques des vapeurs surchauffées

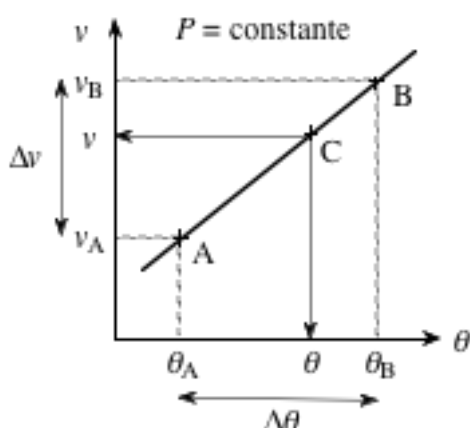
a) Présentation des tables

Les **tables thermodynamiques des vapeurs surchauffées** fournissent, pour des conditions de pression P (bars) et de température θ (°C) données, les valeurs suivantes :

- le volume massique v ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) : $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$
- l'énergie interne massique u ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
- l'enthalpie massique h ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) : $h = u + Pv$
- l'entropie massique s ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

• Table de la vapeur d'eau (extrait)

θ °C	v $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	u $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	h $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	s $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$P = 1,0 \text{ bar } (0,10 \text{ MPa})$				
100	1,6958	2506,7	2676,2	7,3614
150	1,9364	2582,8	2776,4	7,6134
200	2,172	2658,1	2875,3	7,8343
250	2,406	2733,7	2974,3	8,0333
300	2,639	2810,4	3074,3	8,2158
400	3,103	2967,9	3278,2	8,5435
500	3,565	3131,6	3488,1	8,8342
600	4,028	3301,9	3704,7	9,0976
700	4,490	3479,2	3928,2	9,3398
800	4,952	3663,5	4158,6	9,5652
900	5,414	3854,8	4396,1	9,7767
1000	5,875	4052,8	4640,3	9,9764
1100	6,337	4257,3	4891,0	10,1659
1200	6,799	4467,7	5147,6	10,3463



$$U = m u \quad H = m h \quad S = m s$$

b) Interpolations linéaires

$$\theta = \theta_A + \frac{v - v_A}{v_B - v_A} (\theta_B - \theta_A)$$

$$P = P_A + \frac{v - v_A}{v_B - v_A} (P_B - P_A)$$

etc ...

Une valeur intermédiaire C se calcule par encadrement entre deux points proches A et B et en considérant que ces trois points sont sur une même droite. L'égalité des pentes AB et AC donne :

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{constante} \quad \text{soit} \quad \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{y_C - y_A}{x_C - x_A}$$

$$x_C = x_A + \frac{y_C - y_A}{y_B - y_A} (x_B - x_A)$$

c) Capacités thermiques massiques

Les capacités thermiques massiques *moyennes* à volume constant ou à pression constante peuvent également être calculées directement à partir des tables et pour un intervalle de température déterminé :

$$c_P = \left(\frac{\Delta h}{\Delta T} \right)_P \quad \text{et} \quad c_V = \left(\frac{\Delta u}{\Delta T} \right)_V$$

d) Énergies échangées

• Transformations réversibles particulières

Transformation	ΔU	ΔH	W	Q
isotherme	$m (u_2 - u_1)$	$m (h_2 - h_1)$	$\Delta U - Q$	$m T_0 (s_2 - s_1)$
isobare	$m (u_2 - u_1)$	$m (h_2 - h_1)$	$- m P_0 (v_2 - v_1)$	$m (h_2 - h_1)$
isochore	$m (u_2 - u_1)$	$m (h_2 - h_1)$	0	$m (u_2 - u_1)$
adiabatique	$m (u_2 - u_1)$	$m (h_2 - h_1)$	$m (u_2 - u_1)$	0