

THERMODYNAMIQUE

Exercices – partie 4

LES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE ET L'ÉTUDE DES CORPS PURS RÉELS

Équilibre liquide-vapeur

Exercice 29 : Questions à choix multiples

- a) La pression de *vapeur saturante* est la pression *minimale* que peut présenter un gaz : vrai faux
- b) Lors d'une *vaporisation isobare*, la température reste toujours constante : vrai faux
- c) Lors d'une *vaporisation isochore*, la pression reste toujours constante : vrai faux
- d) Une *vaporisation isotherme* se fait sans variation d'énergie interne ($\Delta U = 0$) : vrai faux
- e) Le *titre massique* d'un mélange liquide + vapeur est le rapport de la masse de vapeur sur la masse de liquide du mélange : vrai faux
- f) L'enthalpie de vaporisation représente l'énergie qu'il faut fournir à un liquide saturant pour le vaporiser complètement : vrai faux

Exercice 30 : Applications directes en utilisant les tables thermodynamiques de l'eau

1. Déterminer :

- la pression de vapeur saturante de l'eau à 160 °C,
- les volumes massiques du liquide saturant et de la vapeur saturante à 160 °C,
- l'enthalpie massique de vaporisation à 160 °C,
- la température et la pression au point triple.

2. Indiquer, en le *justifiant* (1 ligne) si l'eau, dans chacun des cas suivants, est à l'état de liquide comprimé, de vapeur surchauffée ou correspond à un équilibre liquide - vapeur.

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| a) 60 °C / 0,15 bar | b) 250 °C / 50 bars | c) 4 bars / 100 °C |
| d) 200 °C / 0,05 m ³ /kg | e) 300 °C / 0,03 m ³ /kg | f) 100 bars / 0,0013 m ³ /kg |

3. Calculer le volume massique d'une masse d'eau ayant un titre en vapeur de 70 % à 200°C.
4. Calculer les masses et les volumes d'eau liquide et de vapeur d'eau (en équilibre) contenus dans un récipient de 0,4 m³ sachant que la masse totale d'eau est de 2 kg et que la pression est de 6 bars.
5. Calculer, grâce aux tables, la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser complètement à pression constante 1,5 kg d'eau liquide saturé à 20 °C.
6. Un récipient indéformable, maintenu à une température de 120 °C, contient 50 g d'un mélange d'eau liquide et de vapeur d'eau avec un titre massique en vapeur de 25 %. On chauffe ce récipient jusqu'à 250 °C pour qu'il soit rempli uniquement de vapeur d'eau saturée. Calculer, toujours grâce aux tables, la quantité de chaleur fournie.

Exercice 31 : Condensation par refroidissement d'un gaz réel *(questions indépendantes)*

1. Un récipient à parois rigides de 10 litres contient 200 g d'eau à 350 °C. On refroidit ce récipient jusqu'à une température de 150 °C.
 - a) Déterminer, grâce aux tables, les pressions initiale P_1 et finale P_2 dans le récipient.
 - b) Déterminer la masse d'eau condensée (liquide) lors de cette transformation.
 - c) Quelle est la quantité de chaleur échangée avec l'extérieur au cours du refroidissement.
2. Un cylindre, muni d'un piston mobile, de volume initial $V_1 = 12,9$ litres, contient 500 g d'eau à une pression de 90 bars. On refroidit le cylindre à pression constante, jusqu'à obtenir un volume final $V_2 = 2$ litres.
 - a) Déterminer, grâce aux tables, la température initiale θ_1 et la température finale θ_2 .
 - b) Déterminer la masse d'eau condensée (liquide) lors de cette transformation.
 - c) Quelle est la quantité de chaleur et le travail échangés avec l'extérieur au cours du refroidissement.

Exercice 32 : Vaporisation isobare – vaporisation isochore

Un récipient de 10 litres contient un mélange d'eau liquide et de vapeur d'eau de masse totale de 100 g. La pression est de 10 bars. En utilisant exclusivement les tables et en précisant à chaque expérience, le système, les états initial et final et le type de transformation :

- a) Déterminer la température ainsi que la masse de vapeur dans ce récipient.
- b) Dans une **première expérience**, on chauffe ce récipient à pression constante.
 - Quel est le volume du récipient lorsque disparaît la dernière goutte de liquide ?
 - Quelle quantité de chaleur a-t-on fourni au système ?
 - Quel travail a été échangé avec le milieu extérieur ? Est-il moteur ou récepteur ?
- c) Dans une **deuxième expérience**, on chauffe ce même récipient à volume constant.
 - Calculer la pression et la température dans le récipient lorsque disparaît la dernière goutte de liquide.
 - Quelle quantité de chaleur a-t-on fourni au système ?
- d) Comparer les énergies échangées au cours de ces deux expériences. Que pouvez-vous en conclure ?

Exercice 33 : Énergies échangées au cours d'une vaporisation *(questions indépendantes)*

Utilisez exclusivement les tables et précisez dans chaque cas, le système, les états initial et final et le type de transformation.

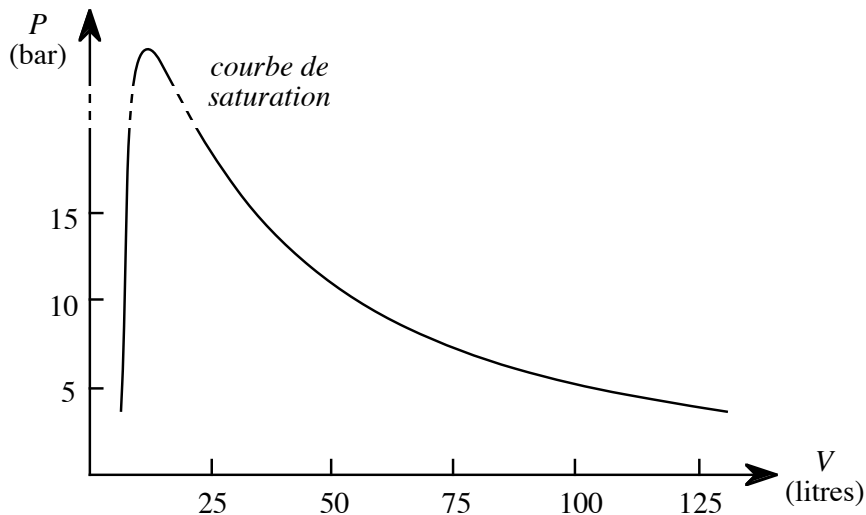
a) Un cylindre muni d'un piston a un volume de $0,1 \text{ m}^3$ et contient $0,5 \text{ kg}$ d'eau à 4 bars . On fournit de la chaleur à l'eau du récipient jusqu'à ce que la température atteigne $300 \text{ }^\circ\text{C}$, tout en maintenant la pression constante. Calculer, grâce aux tables, la quantité de chaleur transmise et le travail effectué au cours de la transformation.

b) Un récipient indéformable ayant un volume de 5 m^3 contient $0,05 \text{ m}^3$ d'eau sous forme de liquide saturé et $4,95 \text{ m}^3$ de vapeur d'eau saturée à 1 bar . On fournit de la chaleur jusqu'à ce que le récipient soit rempli de vapeur saturée. Calculer, grâce aux tables, la quantité de chaleur fournie au cours de cette transformation.

Exercice 34 : Histoire d'eau

Un cylindre muni d'un piston contient une masse $m = 0,28 \text{ kg}$ (280 g) d'eau à la température $T_A = 150 \text{ }^\circ\text{C}$. Le volume initial du cylindre est $V_A = 0,025 \text{ m}^3$ (25 litres). Cette eau effectue un cycle ABCDEA dont les transformations successives sont considérées comme réversibles.

État	A	B	C	D	E
Phase	liq + vap.	vap sat.	vap surch.	vap sat.	liq + vap.
P (bars)			12,0		
V (litres)	25				25
T ($^\circ\text{C}$)	150		250		
U (kJ)					
H (kJ)					



Énergie	AB (1)	BC (2)	CD (3)	DE (4)	EA (5)
W (kJ)					
Q (kJ)					

On complètera au fur et à mesure, à l'aide des tables thermodynamiques, les deux tableaux ainsi que le diagramme $P(V)$ ci-dessus. Aucune interpolation n'est nécessaire pour cet exercice. Dans les calculs, on se limitera à 4 chiffres significatifs.

a) Montrer, grâce aux tables, qu'il s'agit au départ d'un équilibre liquide + vapeur. En déduire la pression P_A dans le cylindre, le titre en vapeur x_A , l'énergie interne U_A et l'enthalpie H_A du mélange.

b) On augmente lentement le volume du récipient jusqu'à vaporisation complète de l'eau (détente isotherme AB). Déterminer par les tables, le volume V_B à la fin de la vaporisation (point B) son énergie interne U_B et son enthalpie H_B . En déduire le travail W_1 et la quantité de chaleur Q_1 échangés avec l'extérieur pendant cette transformation.

c) On comprime ensuite rapidement la vapeur jusqu'à une pression $P_C = 12$ bars et une température $T_C = 250$ °C (compression adiabatique BC). Montrer, toujours grâce aux tables, que l'on a à faire à une vapeur surchauffée et déterminer le volume V_C de la vapeur ainsi que son énergie interne U_C et son enthalpie H_C . En déduire le travail W_2 associé à cette transformation.

d) On refroidit ensuite le cylindre à pression constante jusqu'à apparition de la première goutte de liquide (compression isobare CD). Déterminer de nouveau, la température T_D et le volume V_D ainsi que U_D et H_D . En déduire le travail W_3 et la quantité de chaleur Q_3 au cours de la transformation CD.

e) On poursuit la compression isobare pour revenir au volume initial $V_E = 0,025$ m³ (compression isobare DE) qui entraîne la condensation d'une partie de la vapeur. Déterminer le titre x_E ainsi que l'énergie interne U_E et l'enthalpie H_E du mélange. En déduire le travail W_4 et la quantité de chaleur Q_4 échangés.

f) On referme enfin le cycle en revenant au point de départ en refroidissant le cylindre à volume constant (transformation isochore EA). Déterminer la quantité de chaleur Q_5 échangée pendant cette opération.

g) Calculer enfin le travail total W et la quantité de chaleur totale Q échangés au cours du cycle ABCDEA. Ce cycle est-il moteur ou récepteur ?

Réponses aux exercices

Équilibre liquide-vapeur :

29. a) F, b) V, c) F, d) F, e) F, f) V;

30. 1. a) 6,178 bars, b) $0,001102 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, $0,3071 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, c) $2082,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, d) 611 Pa ; 2. a) VS, b) LC, c) LC, d) L+V, e) VS, f) LC, 3. $0,0895 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 4. 0,7356 kg, 1,2644 kg, 0,0008 m^3 , 0,3992 m^3 , 5. 3680 kJ, 6. 79,6 kJ;

31. 1. a) 51,2 bars, 4,76 bars, b) 175 g, c) $-386,7 \text{ kJ}$; 2. a) $350 \text{ }^\circ\text{C}$, b) 432,5 g, c) $-703,6 \text{ kJ}$, 98,1 kJ ;

32. a) $179,9 \text{ }^\circ\text{C}$, 51 g, b) 19,4 litres, 98,7 kJ, $-9,4 \text{ kJ}$, c) 19,93 bars, $212,2 \text{ }^\circ\text{C}$, 90,9 kJ ;

33. a) 771 kJ, b) 105 MJ ;

34. a) 4,758 bars, 22,5 %, 298,3 kJ, 310,2 kJ, b) 110 litres, 716,7 kJ, 769,0 kJ, $-40,4 \text{ kJ}$, 458,8 kJ, c) 53,8 litres, 757,2 kJ, 821,8 kJ, 40,5 kJ, 0 kJ, d) $188 \text{ }^\circ\text{C}$, 45,7 litres, 724,9 kJ, 779,7 kJ, 9,7 kJ, $-42,1 \text{ kJ}$, e) 54,3 %, 495,6 kJ, 525,6 kJ, 24,8 kJ, $-254,1 \text{ kJ}$, f) $-197,3 \text{ kJ}$, g) 34,5 kJ, $-34,5 \text{ kJ}$, récepteur.