

THERMODYNAMIQUE 1 – IE n°1 - Durée : 2h

Tout document est interdit. Les calculatrices sont autorisées.

Les réponses doivent être justifiées.

Les résultats seront donnés avec le nombre de chiffres significatifs appropriés.

Les trois exercices sont indépendants.

Exercice n°1 : Machine thermique Cycle d'Ericsson (13,5 pts)

Un gaz diatomique supposé parfait subit quatre transformations réversibles qui constituent les quatre étapes, ou temps, décrites comme suit :

- **1^{er} temps : (1 → 2) compression isotherme** telle que $T_1 = T_2$.
- **2^{ème} temps : (2 → 3) détente isobare** telle que $P_2 = P_3$
- **3^{ème} temps : (3 → 4) détente isotherme** telle que $T_3 = T_4$ ($T_3 > T_1$)
- **4^{ème} temps : (4 → 1) compression isobare** telle que $P_4 = P_1$ ($P_1 < P_2$)

La quantité de gaz considéré est de 2 moles. Le volume initial occupé par le gaz est $V_1 = 50$ L et la pression initiale est $P_1 = 10^5$ Pa, le taux de compression correspondant au rapport des pression entre l'état 1 et 2 a pour valeur $\frac{P_2}{P_1} = 5$, la température à l'état 3 est $T_3 = 1200$ K.

Les résultats numériques obtenus seront reportés dans les tableaux de la feuille de résultats.

1. Déterminer les expressions littérales et les valeurs numériques de P, V et T pour chacun des états 1, 2, 3 et 4. Compléter le tableau 1.
2. Représenter ce cycle de transformations dans le diagramme de Clapeyron (diagramme (P, V)). Il est demandé de calculer les coordonnées d'au moins 2 autres points par lesquels passent les isothermes.
3. Exprimer, en fonction de n, γ , R, T_1 , T_3 , P_1 et P_2 , le travail et la chaleur échangés par le gaz avec le milieu extérieur, ainsi que la variation d'énergie interne au cours des quatre transformations :
 - a. W_{1-2} , Q_{1-2} et ΔU_{1-2} pour la transformation 1 → 2 ;
 - b. W_{2-3} , Q_{2-3} et ΔU_{2-3} pour la transformation 2 → 3 ;
 - c. W_{3-4} , Q_{3-4} et ΔU_{3-4} pour la transformation 3 → 4 ;
 - d. W_{4-1} , Q_{4-1} et ΔU_{4-1} pour la transformation 4 → 1.
4. Faire les applications numériques et compléter le tableau 2. Que pouvez-vous en conclure ?
5. Calculer :
 - a. la quantité de chaleur Q_r reçue par le système au cours du cycle ;
 - b. la quantité de chaleur Q_c cédée par le système au cours du cycle ;
 - c. le travail total W_t que le système échange avec le milieu extérieur au cours du cycle.
6. Si ce cycle était intégré à une machine thermique, serait-ce une machine de type moteur ou une machine de type récepteur ?
7. En considérant Q_r et/ou Q_c et/ou W_t , déterminer l'expression littérale et la valeur numérique du Coefficient de performance (CoP) de cette machine thermique.
8. Exprimer en fonction de n, γ , R, T_1 , T_3 , P_1 et P_2 , la variation d'entropie du gaz associée à chacune des quatre transformations.
9. Faire les applications numériques, à 0,1 J.K⁻¹ près et compléter le tableau 2. Que pouvez-vous en conclure ?
10. Afin de connaître la puissance de cette machine thermique, on a mesuré le débit massique du gaz dans la machine $\dot{D}_m = 5,8$ kg.s⁻¹. Sachant qu'un cycle utilise une masse $m = 58$ g, quel est le temps correspondant à un cycle ? En déduire la puissance développée par cette machine thermique.

Exercice n°2 : Changement d'état (6,5 pts)

Dans cet exercice les pressions seront exprimées à 0,001 atm.

Les fractions molaires seront calculées à 10^{-3} près et le nombre de moles à 10^{-5} près.

On considère un cylindre de hauteur $l = 1$ m et de section intérieure $S = 0,01$ m². Dans le cylindre, initialement ouvert à l'air libre considéré comme sec, règne une pression $P_1 = 1,000$ atm, et une température $T_1 = 293$ K. On introduit ensuite 1 litre d'eau liquide dans le cylindre, puis on le ferme hermétiquement.

1. Rappeler la définition de la pression de vapeur saturante.
2. Montrer qu'à l'état d'équilibre atteint après fermeture du cylindre, la présence de vapeur d'eau n'est pas négligeable dans la phase gazeuse.

On porte ce cylindre à une température $T_2 = 473$ K. On suppose dans un premier temps que le volume de la phase gazeuse n'a pas varié pendant le passage de T_1 à T_2

3. Calculer la pression P_2 (en atm) qui règne dans le cylindre.
4. Déterminer la composition (en fraction molaire) et la densité par rapport à l'air de la phase gazeuse contenue dans le cylindre.
5. Quelle est la répartition de l'eau entre les deux phases en présence (en pourcentage %) ?
6. En tenant compte de la variation de la masse volumique de l'eau ainsi que de la quantité d'eau évaporée, déterminer de combien a évolué le niveau d'eau liquide lors du chauffage de T_1 à T_2 (on appellera Δh la variation de hauteur d'eau en cm). Justifier alors que l'hypothèse selon laquelle le volume de la phase gazeuse reste sensiblement constant durant la transformation est vérifiée.

Feuille à rendre avec votre copie

NOM :

PRENOM :

GROUPE :

Exercice n°1 :

Tableau 1

Etat	1	2	3	4
Température (K)				
Pression (Pa)				
Volume (L)				

Tableau 2

Transformation	1→2	2→3	3→4	4→1
W (J)				
Q (J)				
ΔU (J)				
ΔS (J/K)				

Données

Masse volumique de l'eau liquide :

$$\rho_{\text{eau liq}, 293\text{K}} = 1,000 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\rho_{\text{eau liq}, 473\text{K}} = 0,890 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$$

Tous les gaz seront assimilés à des gaz parfaits, avec : $\bar{c}_p - \bar{c}_v = R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$\gamma = \frac{\bar{c}_p}{\bar{c}_v} = \frac{7}{5} = 1,40 \text{ pour un gaz parfait diatomique}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$0 \text{ } ^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$$

Composition molaire de l'air : 20 % de dioxygène et 80 % de diazote.

Elément ou composé	H	C	N	O	air
Masse molaire ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	1	12	14	16	29

Evolution de la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température :

$$P_{\text{VS}, \text{H}_2\text{O}}(T) = e^{\frac{-5215,24}{T} + 13,98} \text{ avec } T \text{ en K et } P_{\text{VS}, \text{H}_2\text{O}} \text{ en atm.}$$

Feuille à rendre avec votre copie

Exercice n°1 : Représentation du cycle Ericsson dans un diagramme de Clapeyron

