

Examen n°01 S5 (Thermodynamique appliquées) Promo : L3 Physique Energétique

Exercice n° 01 :

Un système fermé contient 5 moles d'un gaz parfait diatomique $C_v = \frac{5}{2}R$ $C_p = \frac{7}{2}R$.

Le gaz subit le cycle réversible passant par les points suivants :

1. Transformation A → B : Compression isotherme à $T_1=300$ K, de $V_A=4$ L à $V_B=2$ L.
2. Transformation B → C : Chauffage isochore jusqu'à $T_2=600$ K.
3. Transformation C → A : Détente adiabatique réversible ramenant le gaz à l'état initial.

On donne :

Constante des gaz parfaits : $R = 8.314$ J.mol⁻¹.k⁻¹

Questions :

1. Calculez la variation d'énergie interne ΔU , le travail W et la chaleur Q échangés pour chaque transformation.
2. Calculez la variation d'enthalpie ΔH pour la transformation B → C.
3. Calculez la variation d'entropie du système pour chaque transformation, puis sur le cycle complet.
4. Montrez que le premier principe de la thermodynamique relatif à l'énergie interne comme fonction d'état est bien respecté pour ce cycle.

Exercice n° 02 :

Un moteur Otto fonctionne avec un gaz considéré comme parfait ($\gamma = 1.4$, $C_v = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

$R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$), entre les états suivants :

Au point 1 (début de compression), $P_1 = 1$ bar, $T_1 = 300$ K, $V_1 = 0.001$ m³. Le rapport de compression volumétrique est $r = 8$.

La chaleur massique fournie à volume constant est $Q_{23} = 1000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

Calculez :

1. Les températures, pressions et volumes aux points remarquables du cycle (1, 2, 3, 4).
2. Le rendement Thermique du cycle.
3. Le travail net par kg de gaz.

Données et notations

Rapport de compression : $r = \frac{V_1}{V_2} = 8$.

Transformations : 1-2 isentropique, 2-3 isochore (chaleur ajoutée), 3-4 isentropique, 4-1 isochore (chaleur rejetée).

Questions de cours : Choisissez la (les) bonne(s) réponse(s).

01 : Pour un système fermé en équilibre Thermique avec un thermostat, quelle réponse affirme au mieux le principe zéro de la thermodynamique ?

A : Si deux systèmes sont chacun en équilibre thermique avec un troisième, alors ils sont en équilibre Thermique entre eux.

B : La chaleur ne peut pas passer spontanément d'un corps froid vers un corps chaud.

C : L'entropie totale d'un système isolé ne peut jamais diminuer au cours d'une transformation réelle.

D : La variation d'énergie interne d'un système est égale à la chaleur reçue moins le travail effectué par le système.

02 : Pour un système fermé, soumis à un chauffage à volume constant, quelle expression relie le mieux la variation d'énergie interne à la chaleur échangée ?

- A : $\Delta U = Q$
- B : $\Delta U = 0$
- C : $\Delta U = W$
- D : $\Delta U = Q - W$

03 : Lorsqu'un gaz parfait subit une compression adiabatique réversible dans un cylindre fermé, quelle grandeur d'état augmente nécessairement ?

- A : L'entropie du gaz
- B : La température du gaz
- C : La chaleur échangée avec l'extérieur

04 : Pour un processus réel et un système isolé, quelle affirmation sur l'entropie est la plus correcte ?

- A : L'entropie diminue si le processus est rapide.
- B : L'entropie reste constante car l'énergie se conserve.
- C : L'entropie augmente ou reste constante, mais ne diminue jamais.
- D : L'entropie ne dépend pas du caractère réversible ou irréversible du processus.

05 : Dans un cycle de Carnot fonctionnant entre une source chaude à température T_C et une source froide à T_F , quel est le rendement Thermique maximal Théorique ?

- A : $\eta = \frac{T_C}{T_F}$
- B : $\eta = \frac{Q_C - Q_F}{T_C}$
- C : $\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_F}$
- D : $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C}$

06 : Parmi les cycles suivants, lequel est le plus adapté pour modéliser le fonctionnement idéal d'un moteur essence à allumage commandé ?

- A : Cycle de Rankine
- B : Cycle de Carnot
- C : Cycle Otto
- D : Cycle Diesel

07 : Lors d'une combustion stœchiométrique d'un hydrocarbure avec de l'air, que signifie le terme "stœchiométrique" ?

- A : Que la réaction se fait à pression constante.
- B : Que le rapport air/carburant correspond exactement aux proportions nécessaires pour brûler totalement le carburant sans excès d'oxygène ni de combustible.
- C : Qu'on utilise un excès d'air pour garantir une combustion complète.
- D : Que la température des fumées est maximale.

08 : Lors de l'étude d'un cycle moteur réel (par exemple, un moteur Otto réel), pourquoi le rendement réel est-il toujours inférieur au rendement du cycle idéal correspondant ?

- A : Parce que la masse d'air admise dans le cylindre est constante quel que soit le régime.
- B : Parce que le premier principe n'est pas respecté dans les systèmes réels.
- C : Parce que la température de la source froide est toujours nulle.
- D : Parce qu'il existe des irréversibilités comme les frottements mécaniques, les transferts de chaleur non isochore ou adiabatiques, et les combustions incomplètes.

09 : On considère un gaz parfait contenu dans un cylindre muni d'un piston mobile, subissant une expansion lente et quasi statique. Quelle formulation du premier principe de la thermodynamique décrit correctement le bilan d'énergie de cette transformation ?

- A : $\Delta U = Q - W$ où W est le travail reçu par le système
- B : $\Delta U = Q + W$ où W est le travail reçu par le système
- C : $\Delta U = 0$ car l'énergie se conserve toujours
- D : $\Delta U = -Q + W$ où W est le travail fourni par le système

10 : Lors d'une compression adiabatique réversible d'un gaz parfait, quel énoncé décrit le mieux l'évolution de l'énergie interne et des échanges d'énergie ?

- A : L'énergie interne diminue à cause d'une perte de chaleur vers l'extérieur
- B : L'énergie interne diminue car le système fournit du travail au milieu extérieur
- C : L'énergie interne augmente grâce au travail mécanique reçu, sans échange de chaleur
- D : L'énergie interne reste constante car la transformation est adiabatique

11 : Un moteur thermique réel reçoit $Q_c = 1000 \text{ J}$ d'une source chaude et fournit $W = 250 \text{ J}$ de travail utile. Quel est le rendement thermodynamique de ce moteur, et que peut-on dire de sa compatibilité avec le second principe ?

- A : Le rendement est 25% et il est compatible avec le second principe
- B : Le rendement est 25% et il viole le second principe
- C : Le rendement est 75% et il viole le second principe
- D : Le rendement est 75% et il est compatible avec le second principe

12 : On ne dispose que d'une quantité de chaleur qu'on veut utiliser pour cuire de la nourriture, à chaque fois la température est élevée c'est idéal pour la cuisson, pour ce, on dispose de deux fluides alimentaires, le premier à une capacité calorifique CC_1 et le second à une capacité calorifique CC_2 qui vaut $1/10$ de CC_1 .

- A : La première personne consultée nous propose que la cuisson doit se faire avec le 1^{er} fluide car il a une grande capacité calorifique.
- B : La deuxième personne consultée nous propose que la cuisson doit se faire avec le 2^{eme} fluide car il a une petite capacité calorifique.
- C : La troisième personne consultée nous propose que la cuisson peut se faire avec n'importe quel fluide car la cuisson dépend du temps de la cuisson et pas d'autres choses.
- D : La quatrième personne consultée stipule que la cuisson peut se faire avec n'importe quel fluide car la cuisson dépend de la masse de ce qu'on veut cuire.

Corrigé type de l'Examen n°01 S5 (Thermodynamique appliquées) Promo : L3 Physique Energétique
Exercice n° 01 :

Un système fermé contient 5 moles d'un gaz parfait diatomique $C_v = \frac{5}{2}R$ $C_p = \frac{7}{2}R$.

Le gaz subit le cycle réversible passant par les points suivants :

1. Transformation A → B : Compression isotherme à $T_1=300$ K, de $V_A=4$ L à $V_B=2$ L.
2. Transformation B → C : Chauffage isochore jusqu'à $T_3=600$ K.
3. Transformation C → A : Détente adiabatique réversible ramenant le gaz à l'état initial.

On donne :

Constante des gaz parfaits : $R = 8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Questions :

1. Calculez la variation d'énergie interne ΔU , le travail W et la chaleur Q échangés pour chaque transformation.
2. Calculez la variation d'enthalpie ΔH pour la transformation B → C.
3. Calculez la variation d'entropie du système pour chaque transformation, puis sur le cycle complet.
4. Montrez que le premier principe de la thermodynamique relatif à l'énergie interne comme fonction d'état est bien respecté pour ce cycle.

Solution :

Nombre de moles : $n = 5$

$$C_v = \frac{5}{2}R, C_p = \frac{7}{2}R$$

$$R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} = 1,4$$

Transformations du cycle

A → B : Compression isotherme réversible (300 K)

$$V_A = 4 \text{ L}, \quad V_B = 2 \text{ L}$$

Énergie interne, Pour un gaz parfait:

$\Delta U_{AB} = 0$, car la fonction U est fonction de la température $U = U(t)$

Travail

$$W_{AB} = nRT \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

$$W_{AB} = 5 \times 8,314 \times 300 \times \ln(0,5) = -8,64 \text{ KJ}$$

Chaleur

$$Q_{AB} = W_{AB} = -8,64 \text{ KJ}$$

B → C : Chauffage isochore (300 → 600 K) , $V = \text{constante}$

Travail

$$W_{BC} = 0$$

Énergie interne

$$\Delta U_{BC} = nC_v(T_3 - T_2)$$

$$nC_v = 5 \times \frac{5}{2} R = 103,93 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$\Delta U_{BC} = 103,93 \times 300 = 31,18 \text{ kJ}$$

$$\Delta U_{BC} = +31,18 \text{ kJ}$$

Comme,

$$\Delta U_{BC} = W_{BC} + Q_{BC} \text{ et } W_{BC} = 0$$

Alors, la Chaleur vaut ΔU_{BC} , donc :

La Chaleur :

$$Q_{BC} = +31,18 \text{ kJ}$$

C → A : Détente adiabatique réversible

Chaleur

$$Q_{CA} = 0$$

Énergie interne

$$\Delta U_{CA} = nC_v(T_A - T_C)$$

$$\Delta U_{CA} = 5 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,314 \times (300 - 600)$$

$$\Delta U_{CA} = 103,93 \times (300 - 600) = -31,18 \text{ KJ}$$

Travail

$$W_{CA} = -\Delta U_{CA}$$

$$W_{CA} = +31,18 \text{ kJ}$$

3 : Variation d'enthalpie pour B → C

$$\Delta H = nC_p(T_3 - T_2)$$

$$nC_p = 5 \times \frac{7}{2} \cdot R = 145,5 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$\Delta H_{BC} = 145,5 \times 300 = 43,7 \text{ KJ}$$

4 Variation d'entropie

A → B (isotherme)

$$\Delta S_{AB} = nR \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$$

$$\Delta S_{AB} = 5,8,314 \ln \left(\frac{2}{4} \right)$$

$$\Delta S_{AB} = -28,8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

B → C (isochore)

$$\Delta S_{BC} = nC_v \ln \left(\frac{T_3}{T_2} \right)$$

$$\Delta S_{BC} = 5 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,314 \cdot \ln \left(\frac{600}{300} \right)$$

$$\Delta S_{BC} = +72,04 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

C → A (adiabatique réversible)

$$\Delta S_{CA} = 0$$

Entropie du cycle

$$\Delta S_{\text{cycle}} = -28,8 + 72,04 + 0$$

$$\Delta S_{\text{cycle}} = 43,24 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

Vérification des principes

01 : Premier principe (cycle) la variation de l'énergie interne ne dépend pas du chemin suivi car c'est une fonction d'état.

$$\sum \Delta U = 0$$

$$\sum Q = -8,64 + 31,18 + 0 = 22,54 \text{ kJ}$$

$$\sum W = 8,64 + 0 - 31,18 = -22,546 \text{ kJ}$$

$$\boxed{\sum Q + \sum W = 0}$$

02 : Second principe (cycle) la variation de l'entropie ne dépend pas du chemin suivi car c'est une fonction d'état.

L'entropie étant une fonction d'état, sa variation sur un cycle fermé est nulle :

$$\Delta S_{\text{Cycle, Systeme}} = 0$$

La somme des termes :

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

Ces termes calculés le long des transformations ne représentent pas l'entropie du système, mais l'entropie échangée avec les réservoirs thermiques.

Dans un cycle réversible, l'augmentation d'entropie des sources est exactement compensée par la diminution d'entropie du système, d'où : $\Delta S_{\text{Univers}} = 0$

Dans ce cas seulement le second principe est donc vérifié et la valeur positive obtenue correspond à l'entropie des réservoirs et non à celle du système, qui est nulle sur un cycle.

Exercice

Un moteur Otto fonctionne avec un gaz parfait ($\gamma = 1.4$, $C_v = 0,718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$ $R = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$) entre les états suivants : au point 1 (début de compression), $P_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ K}$, $V_1 = 0.001 \text{ m}^3$. Le rapport de compression volumétrique est $r = 8$. La chaleur massique fournie à volume constant est $Q_{23} = 1000 \text{ kJ/kg}$.

Calculez :

1. Les températures, pressions et volumes aux points remarquables du cycle (1, 2, 3, 4).
2. Le rendement Thermique du cycle.
3. Le travail net par kg de gaz.

Données :

Rapport de compression : $r = \frac{V_1}{V_2} = 8$.

Transformations : 1-2 isentropique, 2-3 isochore (chaleur ajoutée), 3-4 isentropique, 4-1 isochore (chaleur rejetée).

Solution :

Point 1 et masse

État initial : $P_1 V_1 = m R T_1$, donc $m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{10^5 \times 0.001}{287 \times 300}$.

$$m = 0,00116 \text{ Kg}$$

Point 2 (Compression isentropique)

$$T_2 = T_1 r^{\gamma-1} = 300 \times 8^{0.4} = 300 \times 2,297 = 689,22 \text{ K.}$$

$$P_2 = P_1 r^\gamma = 1 \times 8^{1.4} = 1 \times 18,38 = 18,38 \text{ bars.}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{r} = 0,000125 \text{ m}^3.$$

Point 3 (Apport isochore)

$$Q_{23} = C_v (T_3 - T_2), \text{ donc } T_3 = T_2 + \frac{1000}{0,718} = 689,22 + 1392,76 = 2081,98 \text{ K.}$$

$$P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} = 18,38 \times \frac{2081,98}{689,22} = 55,52 \text{ bars.}$$

$$V_3 = V_2 = 0,000125 \text{ m}^3.$$

Point 4 (Détente isentropique)

$$T_4 = T_3 r^{1-\gamma} = 208,98 \times 8^{-0,4} = 2081,98 \times 0,435 = 906,23 \text{ K}.$$

$$P_4 = P_3 r^{-\gamma} = 55,52 \times 8^{-1,4} = 55,52 \times 0,0544 = 3,02 \text{ bars}.$$

$$V_4 = V_1 = 0,001 \text{ m}^3$$

Rendement thermique

$$\eta = 1 - r^{1-\gamma} = 1 - 8^{-0,4} = 1 - 0,435 = 0,565 \text{ Ou } 56,5 \%$$

Travail net pour la masse m.

$$\text{Travail net : } w = Q_{23} \cdot \eta = 1000 \times 0,565 = 565 \text{ kJ/kg}.$$

Travail net pour un cycle.

$$\text{Pour le cycle : } W = m \cdot w = 0,00116 \times 565 = 0,655 \text{ kJ}.$$

Questions de cours : Choisissez la (les) bonne(s) réponse(s).

01 : Pour un système fermé en équilibre Thermique avec un thermostat, quelle réponse affirme au mieux le principe zéro de la thermodynamique ?

A : Si deux systèmes sont chacun en équilibre thermique avec un troisième, alors ils sont en équilibre Thermique entre eux.

02 : Pour un système fermé, soumis à un chauffage à volume constant, quelle expression relie le mieux la variation d'énergie interne à la chaleur échangée ?

A : $\Delta U = Q$

03 : Lorsqu'un gaz parfait subit une compression adiabatique réversible dans un cylindre fermé, quelle grandeur d'état augmente nécessairement ?

B : La température du gaz

04 : Pour un processus réel et un système isolé, quelle affirmation sur l'entropie est la plus correcte ?

C : L'entropie augmente ou reste constante, mais ne diminue jamais.

05 : Dans un cycle de Carnot fonctionnant entre une source chaude à température TC et une source froide à TF, quel est le rendement Thermique maximal Théorique ?

C : $\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_c}$ D : $\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c}$

06 : Parmi les cycles suivants, lequel est le plus adapté pour modéliser le fonctionnement idéal d'un moteur essence à allumage commandé ?

C : Cycle Otto

07 : Lors d'une combustion stœchiométrique d'un hydrocarbure avec de l'air, que signifie le terme "stœchiométrique" ?

B : Que le rapport air/carburant correspond exactement aux proportions nécessaires pour brûler totalement le carburant sans excès d'oxygène ni de combustible.

08 : Lors de l'étude d'un cycle moteur réel (par exemple, un moteur Otto réel), pourquoi le rendement réel est-il toujours inférieur au rendement du cycle idéal correspondant ?

D : Parce qu'il existe des irréversibilités comme les frottements mécaniques, les transferts de chaleur non isochore ou adiabatiques, et les combustions incomplètes.

09 : On considère un gaz parfait contenu dans un cylindre muni d'un piston mobile, subissant une expansion lente et quasi statique. Quelle formulation du premier principe de la thermodynamique décrit correctement le bilan d'énergie de cette transformation ?

D : $\Delta U = -Q + W$ où W est le travail fourni par le système

10 : Lors d'une compression adiabatique réversible d'un gaz parfait, quel énoncé décrit le mieux l'évolution de l'énergie interne et des échanges d'énergie ?

C : L'énergie interne augmente grâce au travail mécanique reçu, sans échange de chaleur

11 : Un moteur thermique réel reçoit $Q_c = 1000 \text{ J}$ d'une source chaude et fournit $W = 250 \text{ J}$ de travail utile. Quel est le rendement thermodynamique de ce moteur, et que peut-on dire de sa compatibilité avec le second principe ?

A : Le rendement est 25% et il est compatible avec le second principe

12 : On ne dispose que d'une quantité de chaleur qu'on veut utiliser pour cuire de la nourriture, à chaque fois la température est élevée c'est idéal pour la cuisson, pour ce, on dispose de deux fluides alimentaires, le premier à une capacité calorifique CC_1 et le second à une capacité calorifique CC_2 qui vaut $1/10$ de CC_1 .

B : La deuxième personne consultée nous propose que la cuisson doit se faire avec le 2^{ème} fluide car il a une petite capacité calorifique.