

## T3 - SECOND PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE / CYCLES

### Travaux Dirigés

#### Exercice 1 (révisions premier principe)

Donner les expressions du travail et du transfert thermique (ou chaleur) d'une isotherme, d'une isochore, d'une isobare, d'une adiabatique pour un gaz parfait.

#### Exercice 2 (révisions premier principe)

7. Extrait d'une table pour une vapeur d'eau saturante :

Vapeur saturante $P = 10 \text{ bar}$ $\theta = 179,86^\circ\text{C}$	d'eau		Enthalpie massique	
	liquide	vapeur	liquide	vapeur
	$v_l (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	$v_v (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_l (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_v (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
	$1,127 \cdot 10^{-3}$	0,1947	761,2	2772

Un ballon de  $10,0 \text{ m}^3$  contient  $169 \text{ kg}$  d'eau sous  $10,0 \text{ bar}$ . Quel est l'état de l'eau ? On précisera sa pression et sa température, son titre en vapeur ainsi que son enthalpie totale.

#### Exercice 3 : Détente adiabatique

III) Un ensemble fermé par des parois adiabatiques est séparé en deux compartiments par une cloison adiabatique. Le premier compartiment est constitué d'une mole de dioxygène à la température  $T_0$ , de pression  $P_0$  et de volume  $V_0$ . On fait le vide dans le deuxième compartiment de volume  $10V_0$ , puis on enlève subitement la cloison de séparation.

1. Calculer la variation d'énergie interne.
2. En déduire la température finale et la pression finale.
3. Calculer l'entropie créée. Conclure.

#### Exercice 4 : Evolution monotherme réversible d'un gaz

$n$  moles d'un gaz parfait passe d'un état  $A (V_0, T_0)$  à un état  $B (2V_0, T_0)$  par une transformation monotherme réversible : ce gaz n'échange de la chaleur qu'avec un seul thermostat de température  $T_e$ .

On donne l'expression de la variation d'entropie d'un gaz parfait :

$$\Delta S = C_V \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right) + nR \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right) = C_p \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right) - nR \ln \left( \frac{p_f}{p_i} \right)$$

1. En appliquant le deuxième principe, établir l'expression du transfert thermique  $Q$  reçu par le gaz parfait du thermostat en fonction des données.
2. On peut retrouver ce résultat en visualisant une telle transformation dans le diagramme de Clapeyron (coordonnées  $(p, V)$ ) :  $A \rightarrow \text{adiabatique} \rightarrow E \rightarrow \text{isotherme}(T_e) \rightarrow F \rightarrow \text{adiabatique} \rightarrow B$ .  
Représenter ce diagramme et déterminer  $Q$ .

### Exercice 5 : Etude d'un cycle

On réalise le cycle suivant sur  $n$  moles de gaz parfait à  $\gamma$  constant :

- compression isotherme de l'état  $(p_1, V_1, T_1)$  à l'état  $(p_2, V_2, T_2)$ ;
- chauffage isobare de l'état  $(p_2, V_2, T_2)$  à l'état  $(p_3, V_3, T_3)$ ;
- détente adiabatique réversible.

1. Tracer le diagramme de Clapeyron de ce cycle.
2. Exprimer les variations d'entropie au cours de chaque étape.

On donne l'expression de la variation d'entropie d'un gaz parfait :

$$\Delta S = C_V \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - nR \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right)$$

3. Tracer le diagramme entropique  $T = f(S)$ .
4. Que représentent les aires de chacun de ces cycles? Comparer les deux aires.

### Exercice 6 : Evolution irréversible et retour à l'état initial

Une mole d'un gaz parfait de capacité thermique molaire à volume constant  $C_{V_m} = \frac{5}{2}R$  est contenue dans un cylindre vertical calorifugé comportant un piston mobile calorifugé de section  $S = 0,01\text{m}^2$  en contact avec une atmosphère extérieure à pression constante  $p_0 = 1\text{bar}$ . Initialement le piston est libre et le gaz est en équilibre dans l'état  $E_0$ , sa température est  $T_0 = 300\text{K}$  et son volume vaut  $V_0$ . ( $R = 8,31\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$  et  $g = 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )

1. On pose sur le piston une masse  $M = 102\text{kg}$  et on laisse le système évoluer. Le système atteint un nouvel état d'équilibre  $E_1$  où la pression est  $p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S} = 2\text{bar}$  et la température  $T_1 = \frac{T_0}{7}\left(5 + 2\frac{p_1}{p_0}\right) = 386\text{K}$ .

Déterminer les volumes  $V_1$  et  $V_0$  du gaz. Calculer la variation d'entropie du gaz  $\Delta S_{0 \rightarrow 1}$  et commenter.

On donne pour un gaz parfait : 
$$\Delta S = C_V \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - nR \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right)$$

2. Pour ramener le système dans son état initial, on supprime la surcharge et on déplace lentement le piston pour faire subir au gaz une détente  $1 \rightarrow 2$  réversible dans le cylindre calorifugé, jusqu'à  $V_2 = V_0$  (état d'équilibre  $E_2$ ). Ensuite on bloque le piston, on supprime l'isolation thermique et on met le système en contact avec un thermostat à  $T_0$  : il évolue de manière isochore jusqu'à un état d'équilibre  $E_3$ .

Déterminer la pression et la température dans les états  $E_2$  et  $E_3$ . Calculer les variations d'entropie  $\Delta S_{1 \rightarrow 2}$ ,  $\Delta S_{2 \rightarrow 3}$  et  $\Delta S_{1 \rightarrow 3}$  du gaz et l'entropie créée au cours de l'évolution  $1 \rightarrow 3$ ; commenter.

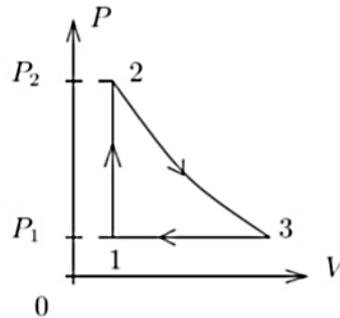
3. Proposer un moyen de réaliser approximativement une évolution réversible de l'état  $E_2$  à l'état  $E_3$ . Les variations d'entropie  $\Delta S_{2 \rightarrow 3}$  et  $\Delta S_{1 \rightarrow 3}$  sont-elles alors modifiées? Commenter.

### Exercice 7 : Cycle de Lenoir

Le premier moteur à combustion interne à deux temps a fonctionné suivant un cycle de Lenoir.

- 1<sup>er</sup> temps : entrée du mélange air-combustible et allumage avec explosion en 1.
- 2<sup>ème</sup> temps : entre 1 et 2, combustion fournissant de la chaleur, puis entre 2 et 3, détente adiabatique réversible et enfin échappement isobare entre 3 et 1.

Pour un tel cycle décrit par de l'air supposé parfait et diatomique, exprimer l'efficacité (le rendement)  $\eta$  du cycle moteur en fonction du rapport de compression  $\beta = P_2/P_1$ .



### Exercice 8 : Cycle

I) Thermodynamique : un gaz subit les transformations suivantes :

- A ( $P_A = 1 \text{ bar}$ ,  $T_A = 298 \text{ K}$ ) vers B par une isotherme.
- B vers C ( $T_C = 400 \text{ K}$ ) par un échauffement isobare
- C vers A par une adiabatique réversible.

1. Tracer le cycle dans le diagramme de Clapeyron.
2. Trouver pressions et volumes manquants
3. Déterminer  $Q$  et  $W$  pour chaque transformation.
4. Donner le rendement.

### Exercice 9 : Cycle de Brayton

I) On considère le cycle théorique de Brayton, réversible :

- 1  $\rightarrow$  2 est une compression isentropique où le gaz, parfait, passe de  $P_1$  à  $P_2$  ; on

$$\text{pose } \alpha = \frac{P_2}{P_1}.$$

- 2  $\rightarrow$  3 est une combustion isobare.
- 3  $\rightarrow$  4 est une détente isentropique.
- 4  $\rightarrow$  1 est un échappement isobare.

1. Tracer le diagramme  $PV$ .
2. Déterminer le rendement en fonction de  $\alpha$  et  $\gamma$ .

### Exercice 10 : Contact thermique entre 2 solides (E. Thibierge)

Deux solides de capacités thermiques respectives  $C_1$  et  $C_2$  et de températures initiales  $T_{i1}$  et  $T_{i2}$  sont mis en contact. Des parois rigides calorifugées isolent l'ensemble de l'extérieur.

- 1 - Déterminer la température finale  $T_f$ .
- 2 - Calculer la variation d'entropie du système global et calculer l'entropie créée au cours de la transformation

On donne : Entropie d'un système condensé de capacité thermique  $C$  :

$$S = S_{\text{ref}} + C \ln \frac{T}{T_{\text{ref}}}$$

### **Exercice 11 : Effet Joule** (E. Thibierge)

Considérons une masse  $m = 100 \text{ g}$  d'eau dans laquelle plonge un conducteur de résistance  $R = 20 \Omega$ . L'ensemble forme un système noté  $\mathcal{S}$ , de température initiale  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ . On impose au travers de la résistance un courant  $I = 1 \text{ A}$  pendant une durée  $\tau = 10 \text{ s}$ . L'énergie électrique dissipée dans la résistance peut être traitée du point de vue de la thermodynamique comme un transfert thermique  $Q_{\text{elec}}$  reçu par  $\mathcal{S}$ .

*Données :*

- ▷ Capacité thermique de la résistance :  $C_R = 8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$  ;
- ▷ Capacité thermique massique de l'eau :  $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

**1** - La température de l'ensemble est maintenue constante. Quelle est la variation d'entropie du système  $\mathcal{S}$ ? Quelle est l'entropie créée?

**2** - Commenter le signe de l'entropie créée. Que peut-on en déduire à propos du signe d'une résistance?

**3** - Le même courant passe dans le même conducteur pendant la même durée, mais cette fois  $\mathcal{S}$  est isolé thermiquement. Calculer sa variation d'entropie et l'entropie créée.

On donne : Entropie d'un système condensé de capacité thermique  $C$  :

$$S = S_{\text{ref}} + C \ln \frac{T}{T_{\text{ref}}}$$