



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

EXAMENS CORRIGÉS DE THERMODYNAMIQUE 1

Recueil des épreuves corrigées de Thermodynamique 1 des filières SMP1, SMC1, SMA1 et SMI1 de la Faculté des Sciences d'Agadir durant la période (2015-2021) réalisé par les professeurs A. Elanique & A. Moumen, Département de physique, FSA, Université Ibn Zohr, Agadir.



16 DECEMBRE 2021

Département de physique, FSA, Agadir



Préface :

La Thermodynamique est une branche de la physique ayant connu son essor au 19^{ème} siècle en raison de la révolution industrielle. Elle permet notamment de comprendre le comportement des machines thermiques. Elle constitue certainement une *nouvelle* discipline en physique pour les étudiants du premier cycle universitaire. Aussi et dans le but de contribuer à faciliter l'assimilation de ses différents concepts et acquérir une méthode propre de résolution des problèmes de thermodynamique, nous avons préparé ce recueil d'examens.

Destiné aux étudiants des filières scientifiques SMP₁, SMC₁, SMA₁ et SMI₁, le présent document est un recueil des solutions de sujets d'examens de Thermodynamique 1 proposés à la Faculté des Sciences d'Agadir (FSA), Université Ibn Zohr (UIZ), durant la période 2015-2021. Les 14 examens traités ont été classés par ordre chronologique en deux catégories : Session Normale (**SN**) et Session de Rattrapage (**SR**).

Nul besoin de préciser que pour tirer le meilleur profit du recueil, l'étudiant est invité à réviser en premier lieu le cours (élaboration de fiches de révision par exemple) ainsi que les travaux dirigés de manière efficace. Une fois cette étape initiale franchie, il pourra alors s'attaquer aux épreuves en question. Mettez-vous dans les conditions réalistes de l'examen et testez vos connaissances **sans** l'aide d'éventuels documents.

Les auteurs du présent recueil voudraient remercier, pour leur aide précieuse, leur collègues enseignants chercheurs du département de physique de la FSA. Nous tenons à remercier tout particulièrement les professeurs : N. Selhaoui, F.Z. Alaoui et A. Elfanaoui. Enfin, et pour parfaire le document, nous invitons nos chers étudiants à nous signaler d'éventuelles erreurs de frappe ou omissions de notre part.

Agadir, 16 décembre 2021

Les auteurs : Prof. A. Elanique et Prof. A. Moumen.

Département de physique, FS, UIZ



Examen de Thermodynamique SN 2015

FSA - Filière : SMA1- Session Normale – Janv. 2015



Exercice 1 :

L'équation d'état d'un gaz de Clausius (pour 1 mole) est donnée par :

$$P(V - b) = RT$$

b étant une constante positive. R est la constante des gaz parfaits.

1. Déterminer la différentielle des deux membres de l'équation de Clausius et la présenter sous la forme :

$$A dV + B dP + C dT = 0$$

On donnera l'expression de A, B et C .

2. En déduire les dérivées partielles suivantes :

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P; \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V; \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$$

3. On rappelle la définition des différents coefficients thermoélastiques α , β et χ

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P; \beta = \frac{1}{P} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V; \chi = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$$

où α est le coefficient de dilatation isobare, β le coefficient de compressibilité isochore et χ le coefficient de compressibilité isotherme.

- a. Quel est l'intérêt physique des coefficients thermoélastiques ?
 - b. Exprimer α , β et χ pour un gaz de Clausius, en fonction des paramètres d'état.
On donnera les expressions simplifiées quand cela est possible.
4. Retrouver le cas du gaz parfait à partir du gaz de Clausius.

Exercice 2 :

On chauffe à l'aide d'un thermostat (source de chaleur) à la température $T_s = 600$ K une mole de cuivre solide (système étudié) pour faire passer sa température de 293 K à 320 K. On néglige la variation du volume et on admet que la capacité thermique est $3R$. Effectuer un bilan entropique de ce chauffage : Calculer la variation d'entropie S , l'entropie échangée S_e et celle créée S_c ? Conclure.

Problème :

Une mole d'un gaz obéit à l'équation de Van der Waals :

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

Ce gaz subit la succession de transformations suivantes qui seront supposées quasi-statiques :

- AB dilatation isobare à la pression P_0 augmentant le volume de $V_0 = 1l$ à $V_1 = 5l$,
- BC compression isotherme à la température de 1000 K ramenant le volume à V_0 ,

– CA détente isochore ramenant le système à son état initial.

1. Tracer ce cycle dans le diagramme (P, V) .
2. Dans le système international (S.I.), $a = 0,14$ et $b = 3,22 \cdot 10^{-5}$. Préciser leurs unités en justifiant.
3. Préciser les valeurs de la température, de la pression et du volume en A , B et C du cycle.
4. Calculer en kJ les travaux des forces de pression au cours de chaque phase du cycle.
5. Au cours du cycle, le système reçoit-il ou cède-t-il un transfert thermique (chaleur) ? Justifier numériquement.
6. Déterminer les transferts thermiques au cours de chaque phase du cycle.
On donne l'expression de l'énergie interne du gaz : $U = \frac{3}{2}RT - \frac{a}{V}$
7. Quelle vérification peut-on faire à propos du transfert thermique ?

On donne : la constante des gaz parfaits ($R=8.31 \text{ J/mol.K}$)



Corrigé Examen de Thermodynamique SN 2015- FSA – Agadir



Exercice 1 :

1.

$$d[P(V - b)] = RdT$$

$$(V - b)dP + Pd(V - b) = RdT$$

$$PdV + (V - b)dP - RdT = 0$$

$$A = P;$$

$$B = (V - b);$$

$$C = -R.$$

2.

$$\begin{aligned} \text{à } P = cte &\Rightarrow dP = 0 &\Rightarrow \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P = \frac{R}{P} \\ \text{à } V = cte &\Rightarrow dV = 0 &\Rightarrow \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_V = \frac{R}{V - b} \\ \text{à } T = cte &\Rightarrow dT = 0 &\Rightarrow \left. \frac{\partial V}{\partial P} \right|_T = -\frac{(V - b)}{P} \end{aligned}$$

3. a.

Les coefficients thermoélastiques permettent de retrouver l'équation d'état d'un système donné.

b.

$$\alpha = \left. \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P = \frac{R}{PV}$$

$$\beta = \left. \frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial T} \right|_V = \frac{R}{P(V - b)} = \frac{1}{T}$$

$$\chi = - \left. \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P} \right|_T = \frac{(V - b)}{PV}$$

4.

Dans le cas d'un gaz parfait $b = 0$ et $PV = RT$ (1 mole) :



$$\alpha = \left. \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{1}{T}$$

$$\beta = \left. \frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{T}$$

$$\chi = - \left. \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = \frac{1}{P}$$

Exercice 2 :

Le système étudié est la mole de cuivre (**solide**).

Or $\delta Q = C_V dT + PdV$ avec $C_V = C_P = C$ et $dV = 0$ (Variation de V négligeable)

Il vient

$$\delta Q = C dT \quad \Rightarrow \quad dS = \frac{\delta Q}{T} = C \frac{dT}{T}$$

- La variation d'entropie s'écrit donc :

$$\Delta S = C \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) \quad \text{AN:} \quad \Delta S = 2,2 J.K^{-1}$$

- L'entropie échangée s'écrit :

$$\delta S_e = \frac{CdT}{T_s} \quad \text{Où } T_s \text{ est la température de la source (thermostat)}$$

Soit :

$$S_{éch} = S_e = 3R \frac{(T_f - T_i)}{T_s}; \quad \text{AN:} \quad S_e = 1,12 J.K^{-1}$$

- L'entropie créée est donc :

$$S_c = \Delta S - S_e = 1,08 J.K^{-1}$$

Conclusion :

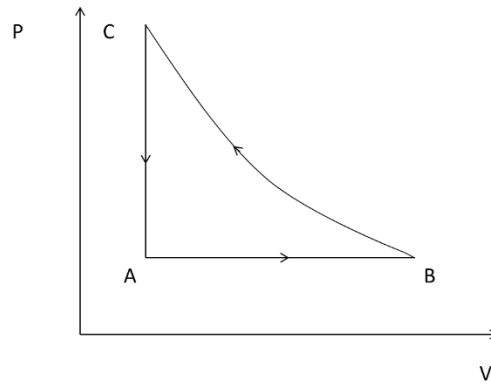
$S_c > 0 \Rightarrow$ Cette transformation est **irréversible**. Il y a donc transfert thermique du thermostat (corps chaud) vers le cuivre (corps froid).

Problème :



1.

Le cycle a l'allure suivante :



2.

- a est homogène au produit d'une pression par un volume au carré, donc s'exprime en $(Pa.m^6)$ dans le S.I ;
- b est homogène à un volume donc s'exprime en m^3 dans le S.I.

3.

- Pour le point B, on connaît le volume $V_B = 5\ell$ et la température $T_B = 1000K$ Avec l'équation d'état, on déduit la pression P_B :

$$P_B = \frac{RT_B}{V_B - b} - \frac{a}{V_B^2}, \quad \text{AN: } P_B = 1,67.10^6 Pa \quad (17bars)$$

- Pour le point C, on connaît le volume $V_C = 1\ell$ et la température $T_C = 1000K$ Avec l'équation d'état, on déduit la pression P_C :

$$P_C = \frac{RT_C}{V_C - b} - \frac{a}{V_C^2}, \quad \text{AN: } P_C = 8,4.10^6 Pa \quad (84 bars)$$

- Pour le point A, on connaît le volume $V_A = 1\ell$ et la pression $P_A = P_B = 1,67.10^6 Pa$

$$P_A = \frac{1}{R} \left(P_A + \frac{a}{V_A^2} \right) (V_A - b) = 211 \text{ } ^\circ K$$

4.

Les transformations étant quasi-statique, on peut donc identifier la pression extérieure à la pression du gaz. $\Rightarrow \delta W = -PdV$

- Pour **AB** (isobare) : $W_{AB} = -P_A(V_A - V_B) = -6,68kJ$



- Pour **BC** (isotherme) :

$$W_{BC} = - \int_{V_B}^{V_C} \left(\frac{RT_B}{V-b} - \frac{a}{V^2} \right) dV$$

$$\text{soit } W_{BC} = -RT_B \ln \left(\frac{V_C - b}{V_B - b} \right) - a \left(\frac{1}{V_C} - \frac{1}{V_B} \right)$$

$$\text{AN: } W_{BC} = 13,5 \text{ kJ}$$

- Pour **CA** (isochore) : $W_{CA} = 0 \text{ kJ}$

5.

Au cours d'un cycle, le premier principe s'écrit :

$$\Delta U = W + Q = 0$$

Or ici

$$W = W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} = 6,8 \text{ kJ} \Rightarrow Q = -6,8 \text{ kJ} < 0$$

Alors le système cède de la chaleur.

6. Pour les transformations AB, BC et CA :

$$\begin{cases} \Delta U_{AB} = \frac{3}{2} R(T_B - T_A) - a \left(\frac{1}{V_B} - \frac{1}{V_A} \right) = 9,96 \text{ kJ} \\ Q_{AB} = \Delta U_{AB} - W_{AB} = 16,64 \text{ kJ} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta U_{BC} = \frac{3}{2} R(T_C - T_B) - a \left(\frac{1}{V_C} - \frac{1}{V_B} \right) = -0,11 \text{ kJ} \\ Q_{BC} = \Delta U_{BC} - W_{BC} = -13,59 \text{ kJ} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta U_{CA} = \frac{3}{2} R(T_A - T_C) - a \left(\frac{1}{V_A} - \frac{1}{V_C} \right) = -9,85 \text{ kJ} \\ Q_{CA} = \Delta U_{CA} - W_{CA} = -9,85 \text{ kJ} \end{cases}$$

7.

On peut vérifier que :

$$\begin{aligned} Q &= Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} \\ Q &= 16,64 - 13,59 - 9,85 \end{aligned}$$

Soit :

$$\begin{aligned} Q &= Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} \\ Q &= -6,8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

----- F I N -----

Examen de Thermodynamique SR 2015

FSA - Filière : SMA1- Session Rattrapage – Mars 2015



Exercice 1 : (08 pts)

1. Établir l'unité, dans le Système International (S.I.), de la constante R des gaz parfaits.
2. En considérant V comme fonction de T et P , écrire l'expression de la différentielle de V (c'est-à-dire dV).
3. Au cours d'une transformation thermodynamique d'un gaz réel (de volume V , pression P , température T et nombre de moles n), la variation de volume est donnée par : $dV = \frac{nR}{P} dT - \frac{nRT}{P^2} dP$ où R est la constante des gaz parfaits. Donner l'équation d'état de ce gaz ($V = V(T, P)$).
4. Les différentielles totales de l'énergie interne et de l'entropie peuvent être écrites sous la forme :
 $dU = C_V dT + (l - P)dV$ et $dS = \frac{C_V}{T} dT + \frac{l}{T} dV$ où C_V et l sont des coefficients calorimétriques qui peuvent dépendre des variables d'états P , V et T .
 - a. Exprimer le fait que dU et dS soient des différentielles totales exactes ($U = U(T, V)$ et $S = S(T, V)$) ;
 - b. En déduire les deux relations : $l = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$ et $\left(\frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_V$

Exercice 2 : (12 pts)

Une mole de gaz parfait décrit le cycle des transformations suivantes :

- Une compression adiabatique de l'état A (P_A, V_A, T_A) à l'état B (P_B, V_B, T_B) ;
($V_A > V_B$)
- Un échauffement isochore de l'état B à l'état C ($P_C, V_C = V_B, T_C$) ;
- Une détente adiabatique de l'état C à l'état D ($P_D, V_D = V_A, T_D$) ;
- Un refroidissement isochore de l'état D à l'état A.

On donne :

$\delta Q = C_V dT + P dV$ où C_V et C_P sont les capacités calorifiques à volume constant et à pression constante et du gaz ; la relation de Mayer : $C_P - C_V = R$.

1. Tracer l'allure du cycle dans un diagramme (P, V). Indiquer par une flèche entrante, la chaleur reçue et par une flèche sortante celle cédée.
2. Montrer que, pour une transformation isochore, la température T s'écrit : $T = a \cdot \exp(b \cdot S)$ où a et b sont des constantes et S est l'entropie. Exprimer b en fonction de C_V . Discuter la variation de T en fonction de S .



3. Donner la **signification** de l'aire intérieure du cycle :
 - a) dans le cas d'un diagramme (P, V) ;
 - b) dans le cas d'un diagramme (T, S).
4. Calculer Q_{BC} et Q_{DA} en fonction de γ , R et les températures correspondantes.
5. Exprimer le rendement ρ du cycle en fonction des températures T_A , T_B , T_C et T_D .
6. Déterminer les expressions des rapports T_B/T_A et T_C/T_D en fonction du rapport $K = V_A/V_B$ et γ .

On rappelle l'équation de l'adiabatique : $TV^{\gamma-1} = cte$.
7. Exprimer alors le rendement ρ en fonction de K et γ ;

Faire l'application numérique pour $K=9$ et $\gamma=1,5$. On donne : $\frac{T_A}{T_B} = \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$
8. Tracer l'allure du cycle dans un diagramme (T, S). *On note que dans une compression adiabatique T augmente ; lors d'une détente adiabatique T diminue.*

Corrigé Examen de Thermodynamique SR 2015- FSA – Agadir



Exercice 1 :

1.

D'après la loi des G.P :

$$\begin{aligned} \Rightarrow PV &= nRT \\ \Rightarrow R &= \frac{PV}{nT} \\ \Rightarrow [R] &= \frac{[P][V]}{[n][T]} = \frac{Pa.m^3}{mol.K} \\ &= \frac{N.m^{-2}.m^{-3}}{mol.K} \\ \text{soit } [R] &= \frac{J}{mol.K} \end{aligned}$$

2.

$$V(T, P) \quad \rightarrow \quad dV = \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P dT + \left. \frac{\partial V}{\partial P} \right|_T dP$$

3.

$$\begin{aligned} dV &= \frac{nR}{P} dT - \frac{nRT}{P^2} dP \\ \text{on a: } \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P &= \frac{nR}{P} \quad \text{et} \quad \left. \frac{\partial V}{\partial P} \right|_T = -\frac{nRT}{P^2} \\ P = cte &\Rightarrow \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P = \frac{nR}{P} \Rightarrow dV = \frac{nR}{P} dT \\ \Rightarrow V(T, P) &= \frac{nRT}{P} + \varphi(P) \quad \text{avec } \varphi(P) \text{ est 1 fct de P seulement} \\ \left. \frac{\partial V}{\partial P} \right|_T &= -\frac{nRT}{P^2} + \varphi'(P) = -\frac{nRT}{P^2} \Rightarrow \varphi'(P) = 0 \\ \Rightarrow \varphi(P) &= cte \in \mathbb{R} \\ \Rightarrow V(T, P) &= \frac{nRT}{P} + \varphi(P) \end{aligned}$$

4.

$$\begin{aligned} dU &= C_V dT + (\ell - P) dV \\ dS &= \frac{C_V}{T} dT + \frac{\ell}{T} dV \end{aligned}$$

a.

dU est une DTE:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \left. \frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T &= \left. \frac{\partial \ell - P}{\partial T} \right)_V \\ \Rightarrow \left. \frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T &= \left. \frac{\partial \ell}{\partial T} \right)_V - \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \end{aligned} \quad 1$$

dS est une DTE :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \left. \frac{\partial \left(\frac{C_V}{T} \right)}{\partial V} \right)_T &= \left. \frac{\partial \left(\frac{\ell}{T} \right)}{\partial T} \right)_V \\ \Rightarrow \frac{1}{T} \left. \frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T &= \frac{1}{T} \left. \frac{\partial \ell}{\partial T} \right)_V - \frac{\ell}{T^2} \\ \Rightarrow \left. \frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T &= \left. \frac{\partial \ell}{\partial T} \right)_V - \frac{\ell}{T} \end{aligned} \quad 2$$

b.

$$\begin{aligned} (1) = (2) &\Rightarrow \ell = T \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \\ (1) \Rightarrow \left. \frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T &= \frac{\partial}{\partial T} \left[T \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \right] - \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \\ &= T \cdot \left. \frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_V + \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \\ \text{soit} \quad \left. \frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T &= T \cdot \left. \frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_V \end{aligned}$$

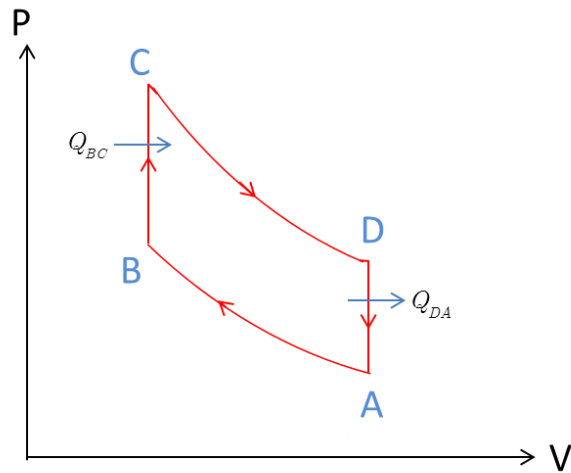


Exercice 2 :



1.

L'allure du cycle :



2. On a :

$$dS = \frac{C_V}{T} dT \quad \text{car } V = \text{cte} \Rightarrow dV = 0$$

$$\Rightarrow \frac{dS}{C_V} = \frac{dT}{T} \Rightarrow \frac{S}{C_V} = \ln(T) + \text{cte} = \ln(T) - \ln(a) \quad ; \text{ où } a \text{ est une constante.}$$

$$\Rightarrow \frac{S}{C_V} = \ln\left(\frac{T}{a}\right) \Rightarrow T = a \cdot \exp\left(\frac{S}{C_V}\right)$$

Par identification, il vient : $b = \frac{1}{C_V}$

Variation de T : la température T est une fonction croissante de l'entropie S .

3. En valeur absolue, l'aire intérieure du cycle représente :

- Le travail échangé par le système, dans le cas du diagramme (P, V).
- La chaleur échangée par le système, dans le cas du diagramme (T, S).

4.

On a

$$\delta Q = C_V dT, \quad BC \text{ Isochore}$$

$$\Rightarrow Q_{BC} = C_V \int_{T_B}^{T_C} dT = C_V (T_C - T_B) = \frac{R}{\gamma - 1} (T_C - T_B)$$

De même :

$$\delta Q = C_V dT, \quad DA \text{ Isochore}$$

$$\Rightarrow Q_{DA} = C_V \int_{T_D}^{T_A} dT = C_V (T_A - T_D) = \frac{R}{\gamma - 1} (T_A - T_D)$$

5.

Le rendement $\rho = \frac{\text{recettes}}{\text{dépenses}}$

Le cycle étant Moteur alors : $W_{\text{cycle}} < 0$

$$\rho = -\frac{W_{\text{cycle}}}{Q_{\text{reçu}}} = \frac{Q_{BC} + Q_{DA}}{Q_{BC}} = 1 + \frac{Q_{DA}}{Q_{BC}} \quad \leftarrow \text{premier principe}$$

$$\rho = 1 + \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$$

6.

$$AB \text{ Adiabatique} \Rightarrow T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

$$CD \text{ Adiabatique} \Rightarrow T_C V_C^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1} \quad \text{car } V_A = V_D \quad \text{et} \quad V_B = V_C$$

Alors :

$$\frac{T_B}{T_A} = \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} = K^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_C}{T_D} = \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} = K^{\gamma-1}$$

7.

$$\rho = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_A}{T_B} = 1 - K^{1-\gamma}$$

$$\Rightarrow \rho = 1 - K^{1-\gamma}$$





Application numérique :

$$K = 9$$

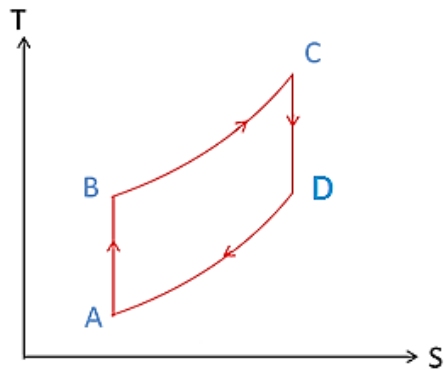
$$\gamma = 1,5$$

$$\Rightarrow \rho = 1 - 9^{1-1,5} \simeq 0,67$$

$$\Rightarrow \rho = 67\%$$

8.

L'allure du cycle dans le diagramme (T, S):



- Les courbes BC et DA (isochores) sont des exponentielles (voir question 2)
- Les courbes AB et CD (isentropiques) sont des segments de droite verticaux :

$$T_B > T_A \quad \rightarrow \quad \text{compression adiabatique}$$

$$T_D < T_C \quad \rightarrow \quad \text{détente adiabatique}$$

----- **FIN** -----

Examen de Thermodynamique SN 2016

FSA - Filière : SMAI1- Session Normal – Jan 2016



Questions de cours : (4 points)

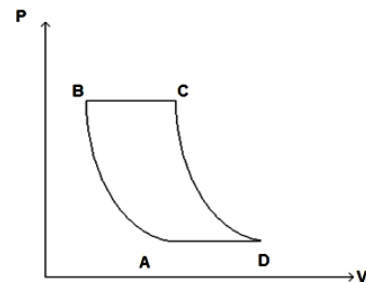
Un réfrigérateur fonctionne de façon réversible entre deux sources S_c et S_f de températures constantes $T_c = 300\text{ K}$ et $T_f = 263\text{ K}$ respectivement. On désigne par W le travail échangé par la machine et par Q_c et Q_f les quantités de chaleur échangées avec les sources chaude et froide respectivement au cours d'un cycle.

1. Définir une source (réservoir) de chaleur ? en donner 2 exemples ?
2. Faire un schéma illustrant le principe de fonctionnement du réfrigérateur en montrant les signes de W , Q_c et Q_f ?
3. Calculer l'efficacité η_r du réfrigérateur.
4. En réalité, il existe des causes d'irréversibilité dans le fonctionnement de la machine.

On constate que Q_c et Q_f sont liées par la relation $\frac{|Q_c|}{|Q_f|} = k \cdot \frac{T_c}{T_f}$; où k est une constante positive. Trouver l'efficacité η_i de la machine dans le cas où $k = 1,2$.

Exercice 1 (10 points)

Une mole d'air, considéré comme gaz parfait, décrit le cycle réversible de la figure ci-contre dans le sens $ABCD$, où AB et CD sont adiabatiques. On désigne par C_p et C_v les capacités calorifiques molaires.



1. Exprimer les quantités de chaleur échangées au cours des quatre transformations. Donner leurs signes.
2. En déduire l'expression du rendement η du cycle en fonction des températures T_A , T_B , T_C et T_D
3. Exprimer le rendement en fonction de γ et du rapport de compression : $\rho = P_B/P_A$
4. Calculer les travaux W_{AB} , W_{BC} , W_{CD} , W_{DA} mis en jeu au cours des quatre transformations en fonction des quantités $P_i V_i$ ($i = A, B, C, D$). En déduire W_{cycle}
5. Application numérique :
 - a. Calculer η sachant que $\gamma=1,4$ et $\rho = 5$.

- b. La température en A est de 0°C et la température maximale est de 800°C , comparer ce rendement à celui que l'on obtiendrait dans un cycle de Carnot fonctionnant entre ces températures limites.
6. Calculer les variations d'entropie ΔS_{AB} , ΔS_{BC} , ΔS_{CD} , ΔS_{DA} au cours du cycle et vérifier que $\Delta S_{\text{CYCLE}} = 0$.



Exercice 2 (6 points)

Une masse d'air, assimilé à un gaz parfait, de volume V_0 est prise à la température T_0 et sous la pression P_0 . Elle est alors **comprimée** de manière **isentropique (0→1)** jusqu' à ce que son volume soit réduit au quart (c.à.d. $\frac{1}{4}$) de son volume initial.

1. Déterminer le travail W développé dans cette compression en fonction de P_0, V_0 et γ .
2. Déterminer l'élévation de température ΔT à la fin de la compression en fonction de P_0, V_0, n et γ .
3. On laisse ensuite la masse d'air se refroidir à volume constant (**1→2**) jusqu' à T_0 , puis on ramène de manière **isentropique** la pression jusqu' à sa valeur initiale P_0 (**2→3**) ; Calculer les coordonnées (P, V, T) des états 1, 2 et 3 et fonction de P_0, V_0 et T_0 et γ .
4. Représenter dans un diagramme de Clapeyron les transformations successives de la masse d'air.

Corrigé Examen de Thermodynamique SN 2016- FSA – Agadir



Questions de cours :

1.

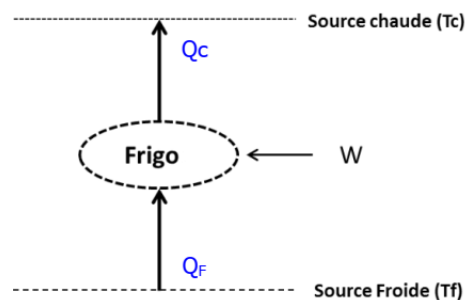
Définition d'une **source** (réservoir) de chaleur : C'est un milieu à capacité thermique infini : ($C \rightarrow \infty$). Il peut échanger de la chaleur avec un système donné sans que sa température varie.

Exemples : Air ambiant, Eau d'un lac, Four, ...

2.

Schéma illustrant le principe d'un réfrigérateur (frigo) :

$$\begin{cases} W > 0 \\ Q_F > 0 \\ Q_C < 0 \end{cases}$$



3.

L'efficacité du frigo. est définie par (*l'indice r dans l'expression de η indique réversible*) :

$$\eta_r = \frac{Q_f}{W} = \frac{\text{Gain}}{\text{Dépenses}}$$

$$\eta_r = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

AN :

$$\eta_r = \frac{263}{300 - 263} \Rightarrow \eta_r \approx 7,11$$

4.

D'après la question 2, on a :

$$\frac{Q_C}{Q_F} = -k \cdot \frac{T_c}{T_f} \quad \text{Avec} \quad k = 1,2$$

$$\eta_i = 2,71$$

Exercice 1 :



1.

- Transformation AB adiabatique $\Rightarrow Q_{AB}=0$
- Transformation BC isobare $\Rightarrow Q_{BC}=C_P(T_C-T_B) \geq 0$
- Transformation CD détente adiabatique $\Rightarrow Q_{CD}=0$
- Transformation DA compression isobare $\Rightarrow Q_{DA}=C_P(T_A-T_D) \leq 0$

2.

Le rendement : $\eta = \frac{\text{recette}}{\text{dépense}} = -\frac{W_{\text{cycle}}}{Q_{BC}}$

Or le Premier Principe $\Rightarrow [W + Q_{BC} + Q_{DA}]_{\text{cycle}} = 0$

Soit $W = -Q_{BC} + Q_{DA}$

$$\Rightarrow \eta = 1 + \frac{Q_{DA}}{Q_{BC}} = 1 + \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B}$$

3.

La transformation adiabatique réversible suit la loi $TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{cte}$

Soit $T_A P_A^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_B P_B^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$ et $T_D P_D^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_C P_C^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$

Par ailleurs, on a : $P_B = P_C$ et $P_D = P_A$

On pose : $\rho = \frac{P_B}{P_A} \Rightarrow \eta = 1 - \rho^{(1-\gamma)/\gamma}$

4.

- AB étant adiabatique : $(Q = 0) \Rightarrow W_{AB} = \Delta U_{AB}$ (P.P).

Or $PV = RT$, (1 mole)

Alors $W_{AB} = C_V(T_B - T_A) = \frac{1}{\gamma - 1} P_B V_B - P_A V_A$ (1)



- BC étant isobare :

$$(P = cte) \Rightarrow W_{BC} = -\int_B^C P_B dV \Rightarrow W_{BC} = P_B V_B - P_C V_C \quad (2)$$

- CD étant adiabatique : $\Rightarrow W_{CD} = \frac{1}{\gamma-1} P_D V_D - P_C V_C$ [Par analogie avec (1)]

- DA étant isobare : $\Rightarrow W_{DA} = P_D V_D - P_A V_A$ [Par analogie avec (2)]

- On a $W_{tot} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA}$

$$\text{Soit } W_{tot} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[P_B V_B - P_A V_A - P_C V_C - P_D V_D \right]$$

Soit Pour le cycle entier, on a $W_{tot} + Q_{tot} = 0, \quad \Delta U_{cycle} = 0.$

5.

Application numérique : $\gamma = 1,4$ et $\rho=5$

a. $\eta = 0,37$ c.à.d $\eta = 37\%$

b. $T_A=0^\circ\text{C}$ ($\sim 273\text{K}$) et $T_{\max}=800^\circ\text{C}$ ($\sim 1073\text{K}$)

Le rendement est : $\eta_{\max} = 1 - \frac{T_A}{T_{\max}}$ AN : $\eta_{\max} = 74,5\% \simeq 75\% > \eta_{cycle}$

6.

On a : $dS = \frac{\delta Q}{T}; \quad \delta Q = C_p dT + hdP$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Delta S_{AB} = 0 & \text{AB est adiab.} \\ \Delta S_{BC} = C_p \ln \frac{T_C}{T_B} & \text{BC est isobare} \\ \Delta S_{CD} = 0 & \text{CD est adiab.} \\ \Delta S_{DA} = C_p \ln \frac{T_A}{T_D} & \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta S_{cycle} = C_p \ln \frac{T_C \cdot T_A}{T_B \cdot T_D} \\ \text{or } \frac{T_C}{T_D} = \frac{T_B}{T_A} \\ \Delta S_{cycle} = 0 \\ \text{Prévisible car dS est un D.T.E.} \end{array} \right.$$

Exercice 2 :

1.

La transformation ($0 \rightarrow 1$) est adiabatique + réversible : $\Rightarrow Q_{01} = 0 \Rightarrow W_{01} = \Delta U_{01}$



$$\text{Or } PV = nRT \Rightarrow W = nC_V(T_1 - T_0)$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{\gamma - 1} P_1 V_1 - P_0 V_0$$

$$P_0 V_0^\gamma = P_1 V_1^\gamma \Rightarrow \frac{P_1}{P_0} = \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^\gamma = 4^\gamma$$

$$\Rightarrow W = \frac{P_0 V_0}{\gamma - 1} 4^{\gamma-1} - 1$$

2.

La compression (0 → 1) implique une élévation de température :

$$\Delta T = T_1 - T_0 = \frac{1}{nR} P_1 V_1 - P_0 V_0 \Rightarrow \Delta T = \frac{P_0 V_0}{nR} 4^{\gamma-1} - 1$$

3.

- Pour une adiabatique (0 → 1): $PV^\gamma = cte$ et $TV^{\gamma-1} = cte$

$$P_1 = 4^\gamma \cdot P_0 \quad ; \quad V_1 = \frac{V_0}{4} \quad ; \quad T_1 = 4^{\gamma-1} \cdot T_0$$

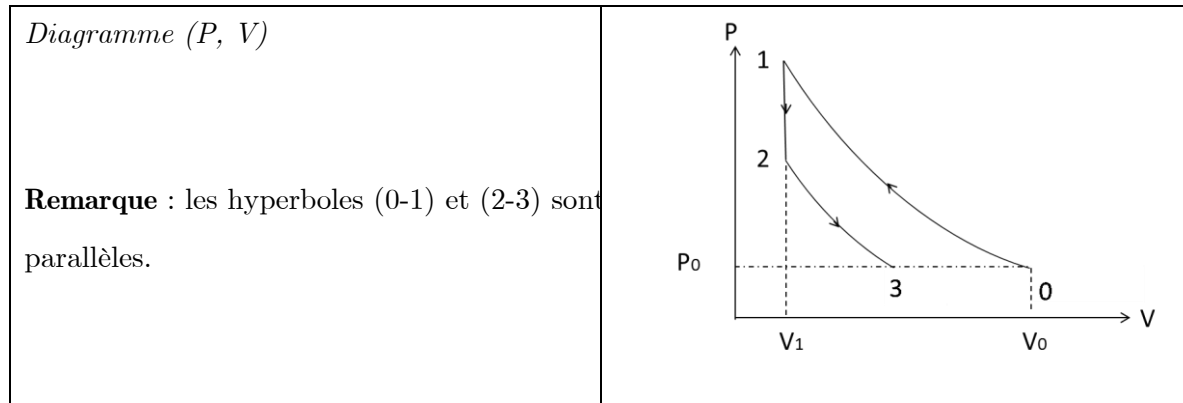
- Pour l'isochore (1 → 2): $V = cte$

$$P_2 = 4 \cdot P_0 \quad ; \quad V_2 = V_1 \quad ; \quad T_2 = T_0$$

- Pour l'adiab. (2 → 3):

$$P_3 = P_0 \quad ; \quad V_3 = 4^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \cdot V_2 \quad ; \quad T_3 = 4^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \cdot T_0$$

4. .



----- F I N -----



Examen de Thermodynamique SR 2016

FSA - Filière : SM- Session Rattrapage – Mars 2016

Questions à choix multiples :

(Chaque question implique **au plus 2 réponses exactes** (max. 2)).

1. Lors d'une transformation irréversible (V étant le volume du système et P sa pression), le travail élémentaire des forces de pression extérieure, est donné par :

- a) $\delta W = -P_{ext}dV$ b) $\delta W = +PdV$ c) $dW = -P\delta V$
 d) $\delta W = P\delta V$ e) Autre

2. Le travail des forces de pression lors de la transformation réversible de i vers f représentée par la figure dépend :

- a) seulement de l'état i b) seulement de l'état f c) de l'état i et l'état f
 d) Dépend du chemin suivi e) Aucun cas

3. La capacité calorifique à pression constante est définie par :

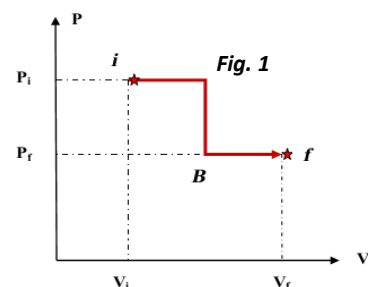
- a) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_p$ b) $C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$ c) $C_p = \left(\frac{dU}{dT}\right)_p$
 d) $C_p = \left(\frac{dH}{dT}\right)_p$ e) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_p$ f) Aucune réponse

4. La capacité calorifique à volume constant est définie par :

- a) $C_v = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_v$ b) $C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_v$ c) $C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$
 d) $C_v = \left(\frac{dH}{dT}\right)_v$ e) $C_v = C_p$ pour les solides f) Aucune réponse

5. Dans le cas de la transformation de la figure de l'état i vers l'état f , le travail reçu par le système est :

- a) Négatif b) positif c) nul
 d) ne peut être calculé e) une fonction d'état





13. Au niveau microscopique, l'entropie est liée

- a) à l'agitation des molécules b) aux chocs des molécules c) aucune réponse
 d) à la structure des molécules e) au désordre des molécules

14. Les variables extensives sont :

- a) La masse b) Le volume c) La masse volumique
 d) Le volume massique e) La température f) La chaleur massique à V cte

15. Les variables intensives sont :

- a) La capacité thermique C (J/K) b) Le volume molaire $v=V/n$ (m^3/mol) c) La masse
 d) Le volume e) La pression f)

Exercice 1 :

Une enceinte cylindrique fermée par un piston (Fig.2), mobile sans frottement, contient 500 g d'hélium gazeux (supposé parfait), monoatomique, de masse molaire $M=4 \text{ g.mol}^{-1}$. Dans l'état initial (1), le volume du gaz est $V_1=100 \text{ L}$ à la température $T_1=600 \text{ K}$. On rappelle que l'énergie interne de n moles de gaz parfait monoatomique à la température T s'écrit : $U = \frac{3}{2}nRT$ où $R=8,31 \text{ J/mol.K}$ désigne la constante des gaz parfaits.

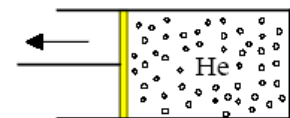


Figure 2

16. La chaleur massique à volume constant c_v de l'hélium vaut :

- a) $c_v = 1,38 \text{ (J/K.Kg)}$ b) $c_v = 2,91 \text{ (J/K.Kg)}$ c) $c_v = 3,12 \text{ (J/K.Kg)}$
 d) $c_v = 5,19 \text{ (J/K.Kg)}$ e) $c_v = 29,1 \text{ (J/K.Kg)}$ f) aucune réponse ne convient

17. Par déplacement du piston, le gaz subit une détente isotherme, supposée réversible, qui le conduit à l'état (2) caractérisé par un volume $V_2 = 250 \text{ L}$. Calculer la pression p_2 du gaz dans l'état (2).

- a) $p_2 = 2,49 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ b) $p_2 = 2,49 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ c) $p_2 = 9,97 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
 d) $p_2 = 9,97 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ e) $p_2 = 99,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ f) aucune réponse ne convient



18. Quel est le travail W_{12} reçu par le gaz au cours de cette évolution isotherme ?

- a) $W_{12} = -2280 \text{ kJ}$ b) $W_{12} = -571 \text{ kJ}$ c) $W_{12} = 571 \text{ kJ}$
 d) $W_{12} = 2280 \text{ kJ}$ e) $W_{12} = 22,8 \text{ kJ}$ f) aucune réponse ne convient

19. On envisage une nouvelle évolution réversible, constituée d'une détente adiabatique entre l'état (1) et un état intermédiaire (3) de volume $V_3 = V_2$, suivie d'un chauffage isochore entre l'état (3) et l'état final (2), défini précédemment. Déterminer la température T_3 de l'état intermédiaire.

- a) $T_3 = 326 \text{ K}$ b) $T_3 = 416 \text{ K}$ c) $T_3 = 866 \text{ K}$
 d) $T_3 = 1105 \text{ K}$ e) $T_3 = 4500 \text{ K}$ f) aucune réponse ne convient

20. Le travail W_{132} reçu par le gaz au cours des évolutions successives: (1) \rightarrow (3) \rightarrow (2) vaut :

- a) $W_{132} = -287 \text{ kJ}$ b) $W_{132} = -427 \text{ kJ}$ c) $W_{132} = 414 \text{ kJ}$
 d) $W_{132} = 787 \text{ kJ}$ e) $W_{132} = 78,7 \text{ kJ}$ f) aucune réponse ne convient

21. Déterminer la variation d'entropie ΔS du gaz entre l'état (1) et l'état (2).

- a) $\Delta S = -3807 \text{ J/K}$ b) $\Delta S = -952 \text{ J/K}$ c) $\Delta S = 952 \text{ J/K}$
 d) $\Delta S = 3807 \text{ J/K}$ e) $\Delta S = 0 \text{ J/K}$ f) aucune réponse ne convient

Exercice 2 :

Une mole de gaz parfait subit le cycle de transformations suivantes (Fig. 3) :

- (1) \rightarrow (2) une compression isotherme à la température $T_1 = 500 \text{ K}$ du volume V_1 au volume $V_2 = \beta V_1$ où $\beta = 0,2$;
 (2) \rightarrow (3) une transformation isochore ;
 (3) \rightarrow (4) une détente isotherme du volume V_2 au volume V_1 à la température $T_3 = 1200 \text{ K}$;
 (4) \rightarrow (1) une transformation isochore.

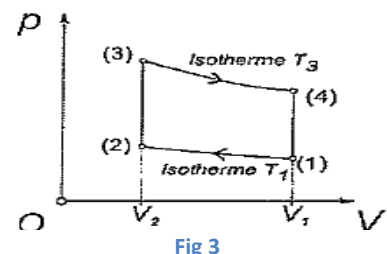


Fig 3

On donne le rapport $\gamma = 1,4$ et $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$.

Fig. 2

22. Parmi les propositions suivantes, lesquelles sont correctes :

- a) Le cycle est moteur
b) Le cycle est celui de Carnot
c) aucune réponse ne convient
- d) La variation ΔS du gaz lors du cycle est nulle
e) Le cycle est celui d'un réfrigérateur
f) La variation ΔH du gaz lors du cycle est strictement positif



23. Le travail W_{34} reçu par le gaz lors de la transformation (3)→(4) :

- a) $W_{34} = RT_3(\beta - 1)$
b) $W_{34} = RT_3\beta$
c) $W_{34} = RT_3(1 - \ln\beta)$
d) $W_{34} = RT_3\ln\beta$
e) $W_{34} < 0$
f) aucune réponse ne convient

24. La chaleur Q_{34} reçue par le gaz lors de la transformation (3)→(4) :

- a) $Q_{34} = 16 \text{ kJ}$
b) $Q_{34} = -4 \text{ kJ}$
c) $Q_{34} = 2 \text{ kJ}$
d) $Q_{34} = -8 \text{ kJ}$
e) $Q_{34} = 8 \text{ kJ}$
f) $Q_{34} > 0$

25. La chaleur Q_{23} reçue par le gaz lors de la transformation (2)→(3) :

- a) $Q_{23} = 14,5 \text{ kJ}$
b) $Q_{23} = 8,1 \text{ kJ}$
c) $Q_{23} = 5,8 \text{ kJ}$
d) $Q_{23} = 10,4 \text{ kJ}$
e) $Q_{23} = -10,4 \text{ kJ}$
f) aucune réponse ne convient

26. Le travail W reçu par le fluide au cours du cycle est :

- a) $W = -R(T_3 - T_1)\ln(1 + \beta)$
b) $W = R(T_3 - T_1)\ln\beta$
c) $W = RT_3\ln\beta$
d) $W = RT_1\ln\beta$
e) $W < 0$
f) $W > 0$

27. Si le rapport : $\psi = -W/Q_{34}$, alors :

- a) $\psi = 0,92$
b) $\psi = 0,17$
c) $\psi = 0,42$
d) $\psi = 0,58$
e) $\psi < 0$
f) $0 < \psi \leq 1$

Corrigé Examen de Thermodynamique SR 2016- FSA – Agadir



(Chaque question implique **au plus 2 réponses exactes** (max. 2))

1. Lors d'une transformation **irréversible** (V étant le volume du système et P sa pression), le travail élémentaire des forces de pression extérieure, est donné par :

a) $\delta W = -P_{\text{ext}}dV$	b) $\delta W = +PdV$	c) $dW = -P\delta V$
d) $\delta W = P\delta V$	e) Autre	f)

2. Le travail des forces de pression lors de la transformation réversible de i vers f représentée par la figure 1 dépend :

a) seulement de l'état i	b) seulement de l'état f	c) de l'état i et l'état f
d) Dépend du chemin suivi	e) Aucun cas	f)

3. La capacité calorifique à pression constante est définie par :

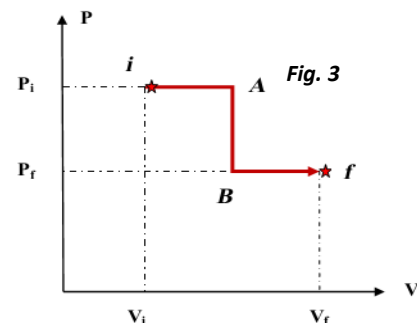
a) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_p$	b) $C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$	c) $C_p = \left(\frac{dU}{dT}\right)_p$
d) $C_p = \left(\frac{dH}{dT}\right)_p$	e) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_p$	f) Aucune réponse

4. La capacité calorifique à volume constant est définie par :

a) $C_v = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_v$	b) $C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_v$	c) $C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$
d) $C_v = \left(\frac{dH}{dT}\right)_v$	e) $C_v = C_p$ pour les gaz	f) Aucune réponse

5. Dans le cas de la transformation de la figure de l'état i vers l'état f, le travail échangé par le système est :

a) Négatif	b) Positif	c) nul
d) ne peut être calculé	e) une fonction d'état	f)





6. Dans le cas où la transformation de la figure se ferait **dans le sens f vers i**, le travail échangé par le système avec l'extérieur serait :

a) Positif	b) Négatif	c) nul
d) ne peut être calculé	e) une fonction d'état	f)

7. Lors de la **transformation i vers A** de la figure pour une mole de gaz parfait, la température durant cette transformation (est):

a) Constante	b) diminue	c) augmente
d) varie	e) chute	f) autre

8. Lors de la transformation A vers B de la figure pour une mole de gaz parfait, l'énergie interne U durant cette transformation (est):

a) Constante	b) Diminue	c) augmente
d) varie	e) est définie à une constante près	f) autre

9. L'unité dans le SI de l'entropie est le :

a) Joule	b) Joule.Kelvin	c) Joule/Kelvin
d) Joule/°C	e) Aucune réponse	f) autre

10. La variation sur un cycle de l'entropie totale d'un système est :

a) Positive	b) Négative	c) nulle
d) quelconque	e) dépend du sens du cycle	f) aucune réponse ne convient

11. L'entropie interne, créée à l'intérieur du système est toujours :

a) Positive	b) Négative	c) nulle
d) quelconque	e) dépend du sens du cycle	f) aucune réponse ne convient

12. L'entropie est une grandeur :

a) Extensive	b) Intensive	c) extensive, parfois intensive
d) définit par le principe 2	e) définit par le principe 1 de la thermodynamique	f) aucune réponse ne convient



13. Au niveau microscopique, l'entropie est liée

a) à l'agitation des molécules	b) aux chocs des molécules	c) aucune réponse
d) à la structure des molécules	e) au désordre des molécules	f) au 1 ^{er} principe

14. Les variables extensives sont :

a) La masse	b) Le volume	c) La masse volumique
d) Le volume massique	e) La température	f) La chaleur massique à V cte

15. Les variables intensives sont :

a) La capacité thermique C (J/K)	b) Le volume molaire $v=V/n$ (m^3/mol)	c) La masse
d) Le volume	e) La pression	f)

Exercice 1 :

Une enceinte cylindrique fermée par un piston (Fig.2), mobile sans frottement, contient 500 g d'hélium gazeux (supposé parfait), monoatomique, de masse molaire $M=4 \text{ g.mol}^{-1}$. Dans l'état initial (1), le volume du gaz est $V_1=100 \text{ L}$ à la température $T_1=600 \text{ K}$. On rappelle que

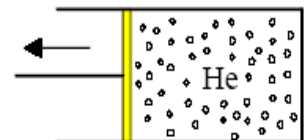


Figure 2

L'énergie interne de n moles de gaz parfait monoatomique à la température T s'écrit : $U = \frac{3}{2}nRT$ où $R=8,31 \text{ J/mol.K}$ désigne la constante des gaz parfaits.

16. La chaleur massique à volume constant c_v de l'hélium vaut :

a) $c_v = 1,38 \text{ (kJ/K.kg)}$	b) $c_v = 2,91 \text{ (kJ/K.kg)}$	c) $c_v = 3,12 \text{ (kJ/K.kg)}$
d) $c_v = 5,19 \text{ (kJ/K.kg)}$	e) $c_v = 29,1 \text{ (J/K.kg)}$	f) aucune réponse ne convient

17. Par déplacement du piston, le gaz subit une détente isotherme, supposée réversible, qui le conduit à l'état (2) caractérisé par un volume $V_2 = 250 \text{ L}$. Calculer la pression p_2 du gaz dans l'état (2).

a) $p_2 = 2,49 \cdot 10^6 \text{ Pa}$	b) $p_2 = 2,49 \cdot 10^3 \text{ Pa}$	c) $p_2 = 9,97 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
d) $p_2 = 9,97 \cdot 10^3 \text{ Pa}$	e) $p_2 = 99,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$	f) aucune réponse ne convient



18. Quel est le travail W_{12} reçu par le gaz au cours de cette évolution isotherme ?

a) $W_{12} = -2280 \text{ kJ}$	b) $W_{12} = -571 \text{ kJ}$	c) $W_{12} = 571 \text{ kJ}$
d) $W_{12} = 2280 \text{ kJ}$	e) $W_{12} = 22,8 \text{ kJ}$	f) aucune réponse ne convient

19. On envisage une nouvelle évolution réversible, constituée d'une détente adiabatique entre l'état (1) et un état intermédiaire (3) de volume $V_3 = V_2$, suivie d'un chauffage isochore entre l'état (3) et l'état final (2), défini précédemment. Déterminer la température T_3 de l'état intermédiaire.

a) $T_3 = 326 \text{ K}$	b) $T_3 = 416 \text{ K}$	c) $T_3 = 866 \text{ K}$
d) $T_3 = 1105 \text{ K}$	e) $T_3 = 4500 \text{ K}$	f) aucune réponse ne convient

20. Le travail W_{132} reçu par le gaz au cours des évolutions successives: (1) \rightarrow (3) \rightarrow (2) vaut :

a) $W_{132} = -287 \text{ kJ}$	b) $W_{132} = -427 \text{ kJ}$	c) $W_{132} = 414 \text{ kJ}$
d) $W_{132} = 787 \text{ kJ}$	e) $W_{132} = 78,7 \text{ kJ}$	f) aucune réponse ne convient

21. Déterminer la variation d'entropie ΔS du gaz entre l'état (1) et l'état (2).

a) $\Delta S = -3807 \text{ J/K}$	b) $\Delta S = -952 \text{ J/K}$	c) $\Delta S = 952 \text{ J/K}$
d) $\Delta S = 3807 \text{ J/K}$	e) $\Delta S = 0 \text{ J/K}$	f) aucune réponse ne convient

Exercice 2 :

Une mole de gaz parfait subit le cycle de transformations suivantes (Fig. 3) :

- (1) \rightarrow (2): une compression isotherme à la température $T_1 = 500 \text{ K}$ du volume V_1 au volume $V_2 = \beta V_1$ où $\beta = 0,2$;
- (2) \rightarrow (3): une transformation isochore ;
- (3) \rightarrow (4): une détente isotherme du volume V_2 au volume V_1 à la température $T_3 = 1200 \text{ K}$;
- (4) \rightarrow (1): une transformation isochore.

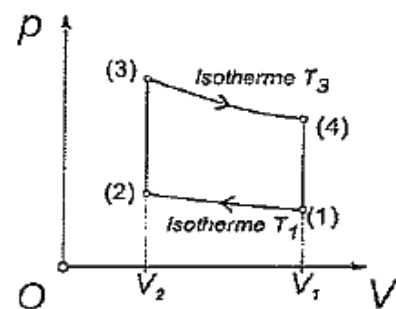


Fig 3

On donne le rapport $\gamma = 1,4$ et $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$.



22. Parmi les propositions suivantes, lesquelles sont correctes :

a) Le cycle est moteur	b) Le cycle est celui de Carnot	c) aucune réponse ne convient
d) La variation ΔS du gaz lors du cycle est nulle	e) Le cycle est celui d'un réfrigérateur	f) La variation ΔH du gaz lors du cycle est strictement positif

23. Le travail W_{34} reçu par le gaz lors de la transformation (3)→(4) :

a) $W_{34} = RT_3(\beta - 1)$	b) $W_{34} = RT_3\beta$	c) $W_{34} = RT_3(1 - \ln\beta)$
d) $W_{34} = RT_3\ln\beta$	e) $W_{34} < 0$	f) aucune réponse ne convient

24. La chaleur Q_{34} reçue par le gaz lors de la transformation (3)→(4) :

a) $Q_{34} = 16 \text{ kJ}$	b) $Q_{34} = -4 \text{ kJ}$	c) $Q_{34} = 2 \text{ kJ}$
d) $Q_{34} = -8 \text{ kJ}$	e) $Q_{34} = 8 \text{ kJ}$	f) $Q_{34} > 0$

25. La chaleur Q_{23} reçue par le gaz lors de la transformation (2)→(3) :

a) $Q_{23} = 14,5 \text{ kJ}$	b) $Q_{23} = 8,1 \text{ kJ}$	c) $Q_{23} = 5,8 \text{ kJ}$
d) $Q_{23} = 10,4 \text{ kJ}$	e) $Q_{23} = -10,4 \text{ kJ}$	f) aucune réponse ne convient

26. Le travail W reçu par le fluide au cours du cycle est :

a) $W = -R(T_3 - T_1)\ln(1 + \beta)$	b) $W = R(T_3 - T_1)\ln\beta$	c) $W = RT_3\ln\beta$
d) $W = RT_1\ln\beta$	e) $W < 0$	f) $W > 0$

27. Si le rapport : $\psi = -W/Q_{34}$, alors :

a) $\Psi = 0,92$	b) $\Psi = 0,17$	c) $\Psi = 0,42$
d) $\Psi = 0,58$	e) $\Psi < 0$	f) $0 < \Psi \leq 1$

F I N

Examen de Thermodynamique SN 2017 A. Elanique

FSA - Filière : SMAI1- Session Normal – Jan 2017



Questions :

1. On verse 200 cm^3 de thé à $T_1=95^\circ\text{C}$ dans une tasse en verre de masse $M_2=300 \text{ g}$ initialement à $T_2=25^\circ\text{C}$. Les chaleurs spécifiques à pression constante du thé et du verre sont : $c_{p1}=4,19 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ et $c_{p2}=0,84 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ respectivement. Calculer la température finale T_f du système (thé+tasse) à l'équilibre en supposant qu'aucune chaleur ne s'échappe dans le milieu extérieur.
2. On suppose maintenant, qu'une quantité de chaleur $Q=4,5 \text{ kJ}$ s'échappe du système avant l'équilibre final,
 - a) Calculer alors la nouvelle température finale du système T_f^* .
 - b) **Comment** cette quantité de chaleur Q a-elle été transférée au milieu extérieur ? (Préciser les modes).
3.
 - a) Écrire, l'expression de la quantité de chaleur élémentaire δQ échangée par un gaz parfait au cours d'une transformation infinitésimale en fonction des variables T et V .
 - b) En déduire l'expression de la variation élémentaire d'entropie dS du gaz parfait au cours de cette transformation infinitésimale.
 - c) Rappeler comment détermine-t-on la variation d'entropie ΔS d'un gaz parfait au cours d'une transformation **réelle** entre un état d'équilibre initial (T_i, V_i) et un état d'équilibre final (T_f, V_f) ?

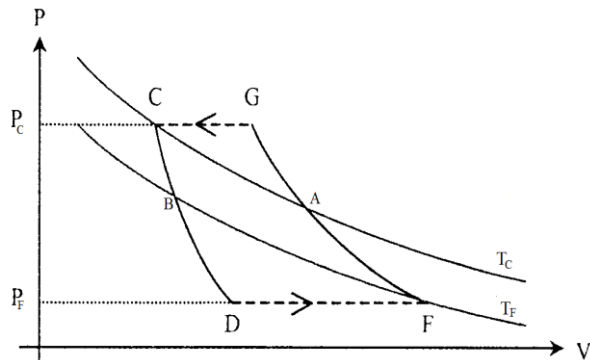
Problème : Etude d'une machine frigorifique :

Un réfrigérateur permet de maintenir la température d'une enceinte à $T_F = 263 \text{ K}$ lorsque l'atmosphère extérieure est à la température $T_C = 298 \text{ K}$. La machine utilise $n = 5$ moles d'un gaz parfait diatomique, de coefficient $\gamma = 1,4$ auquel elle impose le cycle l (DFGCD) décrit ci-dessous.

- F \rightarrow G: compression adiabatique réversible ;
 - G \rightarrow C: évolution isobare au contact de la source chaude ;
 - C \rightarrow D: détente isentropique ;
 - D \rightarrow F : évolution isobare au contact de la source froide. On note $\tau = \frac{P_C}{P_F}$ le taux de compression.
- 1) Rappeler brièvement le principe et le schéma de fonctionnement d'une machine frigorifique.



- 2) Sachant que les *hyperboles* T_C (AC) et T_F (BF) sont des isothermes,
- Quel est le point le plus **froid** du cycle DFGCD ? justifier ?
 - Exprimer la température de ce point du cycle en fonction de T_C , du taux de compression τ et du coefficient γ .
Exprimer de même T_G .
 - Faire les applications numériques dans le cas où $\tau=2$.
- 3) Déterminer l'expression des différents transferts thermiques (Q_{FG} , Q_{GC} , Q_{CD} et Q_{DF}) réalisés au cours du cycle. Calculer numériquement ces transferts dans le cas où $\tau=2$ et commenter les résultats.
- 4) Déterminer le travail nécessaire à la réalisation du cycle DFGCD.
- 5) Définir l'efficacité e_1 du cycle 1 et en déterminer l'expression. Calculer numériquement e_1 .
- 6) Faire le bilan entropique de chaque étape du cycle 1 (DFGCD) :
 ΔS_{DF} , ΔS_{FG} , ΔS_{GC} , ΔS_{CD} ?
- 7) On se propose de tracer l'allure du cycle 1 dans le diagramme entropique (T,S) :
- Etablir l'expression mathématique des isobares DF et GC dans le diagramme (T,S) ?
 - Expliquer l'intérêt pratique de ce type de diagramme ?
 - Tracer alors l'allure du cycle 1 dans le diagramme (T,S).
- 8) Les deux isobares GC et DF sont maintenant remplacées par les isothermes T_C (AC) et T_F (BF)
- Quel cycle obtient-t-on ? (préciser le nom et la nature de BFACB).
 - Donner, sans démonstration, l'expression de l'efficacité e_2 d'une machine frigorifique fonctionnant selon le cycle 2 (BFACB).
 - Que représente alors l'efficacité e_2 ?



Donnée : constante des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Corrigé Examen de Thermodynamique SN 2017- FSA – Agadir



Questions de cours :

1.

Masse du thé : $M_1 = 200g$

- Soit Q_1 : la quantité de chaleur perdu par le thé pour réduire sa température de T_1 à T_f ou (T_f^*)
- Soit Q_2 : la quantité de chaleur reçue par la tasse pour augmenter sa température de T_2 à T_f ou (T_f^*)
- **Sans échange** de chaleur avec le milieu extérieur :

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_1 &= Q_2 \\ \Rightarrow M_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_1 - T_f) &= M_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_f - T_2) \\ \Rightarrow T_f &= \frac{M_1 \cdot c_{p1} \cdot T_1 + M_2 \cdot c_{p2} \cdot T_2}{M_1 \cdot c_{p1} + M_2 \cdot c_{p2}} \\ AN : T_f &= 78,8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2.

a. **Avec perte** : c'est essentiellement le thé (corps chaud) qui fournit la chaleur Q au milieu extérieur.

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_1 - Q &= Q_2 \\ \Rightarrow M_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_1 - T_f^*) - Q &= M_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_f^* - T_2) \\ \Rightarrow T_f^* &= \frac{M_1 \cdot c_{p1} \cdot T_1 - Q + M_2 \cdot c_{p2} \cdot T_2}{M_1 \cdot c_{p1} + M_2 \cdot c_{p2}} \\ \Rightarrow T_f^* &= T_f - \frac{Q}{M_1 \cdot c_{p1} + M_2 \cdot c_{p2}} \\ AN : T_f^* &= T_f - 4,1 \text{ } ^\circ\text{C} \\ T_f^* &= 74,7 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

b. Cette chaleur s'est transmise selon 3 modes : Conduction, Convection, et Rayonnement.

3.

a. $\delta Q = C_v dT + PdV$

b. $dS = \frac{\delta Q^{rev}}{T} \Rightarrow dS = C_v \frac{dT}{T} + nR \frac{dV}{V}$

c. Pour calculer ΔS d'un gaz parfait au cours d'une transformation *réelle* entre un état initial (T_i, V_i) et un état final (T_f, V_f) , il suffit d'intégrer dS le long d'un chemin réversible (**même imaginaire**) liant ces deux états.

Problème :

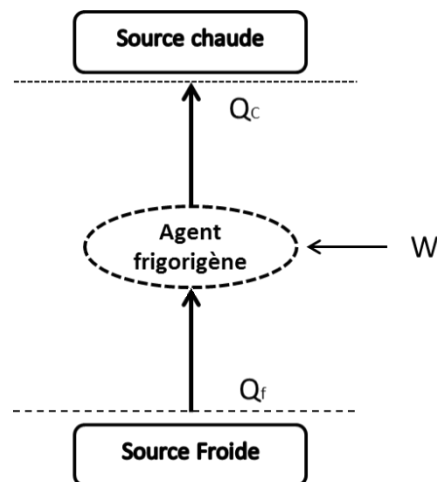


1.

- Principe d'un frigo :

L'agent de transformation (fluide frigorigène) décrit un cycle thermodynamique durant lequel il extrait la chaleur Q_f à une source froide (Chambre à refroidir par exemple) et rejette la chaleur Q_c à une source chaude (l'air de la cuisine). Cette opération se fait en fournissant un travail W au système (sous forme d'énergie électrique en général).

- Schéma :



2.

a. Dans un diagramme de Clapeyron, l'isotherme de plus basse température se situe en bas à gauche.

→ D est donc le point le **plus froid** du cycle considéré.

b.

- Lois de Laplace :

$$T_D^\gamma \cdot P_D^{1-\gamma} = T_C^\gamma \cdot P_C^{1-\gamma}$$

$$T_D = \left(\frac{P_C}{P_D} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \cdot T_C$$

$$T_D = (\tau)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \cdot T_C$$

AN :

$$T_D = 244.K$$

- La transformation FG est aussi une **isentropique** :



$$T_G^\gamma \cdot P_G^{1-\gamma} = T_F^\gamma \cdot P_F^{1-\gamma}$$

$$T_G = \left(\frac{P_F}{P_G} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_F$$

$$T_G = (\tau)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_F$$

AN :

$$T_G = 321.K$$

3.

Transferts thermiques :

- Les transformations CD et FG sont des isentropiques : $\Rightarrow Q_{CD} = Q_{FG} = 0$
- Sur les isobares ($\delta Q = C_p dT = dH$)

$$\begin{cases} Q_{DF} = \Delta H_{DF} = C_p(T_F - T_D) = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \left(T_F - T_C \cdot \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} \right) \\ Q_{GC} = \Delta H_{GC} = C_p(T_C - T_G) = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \left(T_C - T_F \cdot \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} \right) \end{cases}$$

AN :

$$\begin{cases} Q_{DF} = 2,7.kJ & \rightarrow \text{Le gaz reçoit de la chaleur de la S.F} \\ Q_{GC} = -3,3.kJ & \rightarrow \text{Le gaz évacue de la chaleur de la S.C} \end{cases}$$

4.

Travail reçu :

$$\Delta U = Q_{DF} + Q_{GC} + W = 0 \quad (\text{P.P})$$

$$W = -(Q_{DF} + Q_{GC}) = -\frac{nR\gamma}{\gamma-1} \left(\left(T_F - T_C \cdot \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} \right) + \left(T_C - T_F \cdot \tau^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} \right) \right)$$

$$W = 5,9.10^2.J$$



5.

Efficacité e_1 :

$$e_1 = \frac{Q_{DF}}{W}$$

$$e_1 = \frac{T_F - T_C \cdot \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)}}{\left(T_F - T_C \cdot \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)}\right) + \left(T_C - T_F \cdot \tau^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)}\right)} = - \frac{1}{1 + \frac{T_C - T_F \cdot \tau^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)}}{T_F - T_C \cdot \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)}}$$

$$e_1 = - \frac{1}{1 - \frac{T_F \cdot \tau^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} - T_C}{T_F - T_C \cdot \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)}}} = - \frac{1}{1 - \tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)}}$$

$$e_1 = \frac{1}{\tau^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} - 1}$$

AN :

$$e_1 = 4,56$$

6.

Bilan entropique :

$$\delta Q = nC_p dT$$

$$dS = nC_p \frac{dT}{T}$$

Alors :

$$\Delta S_{DF} = nC_p \cdot \ln\left(\frac{T_F}{T_D}\right)$$

$$\Delta S_{DF} = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \cdot \ln\left(\frac{T_F}{T_D}\right)$$

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

$$\Delta S_{GC} = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \cdot \ln\left(\frac{T_C}{T_G}\right)$$

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

7.

a. L'allure des isobares dans le diagramme (T, S)



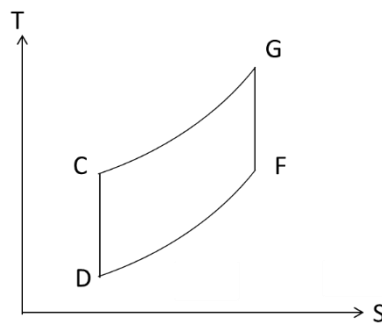
$$\begin{aligned} \delta Q &= nC_p dT & (dP = 0 \quad \leftarrow \text{isobare}) \\ dS &= nC_p \frac{dT}{T} & \Rightarrow S = C_p \ln(T) + k \quad (k = \text{cte}) \\ & & \Rightarrow \ln(T) = \frac{S - k}{C_p} \\ & & \Rightarrow T = K.e^{S/C_p} \quad (K \text{ est une constante}) \end{aligned}$$

L'isobare se transforme donc en une exponentielle dans le diagramme (T, S)

b. Intérêt pratique du diagramme (T, S)

Il permet de représenter *la quantité de chaleur* mise en jeu lors d'un cycle. Le diagramme (P, V) permet quant à lui de représenter le travail échangé.

c.



8.

a.

- Le cycle ainsi obtenu (BFACB) est celui de **Carnot** réversible
- Nature : **Récepteur**.

b.

$$e_2 = \frac{T_F}{T_C - T_F} \quad \Rightarrow \quad e_2 = 7,5$$

$$e_1 < e_2$$

c. L'efficacité maximale e_2 correspond au cycle de Carnot. Elle ne dépend que des températures des sources.

F I N

Examen de Thermodynamique SR 2017

FSA - Filière : SMAI1- Session Rattrapage – Fév. 2017



Exercice 1 :

On considère n moles d'un gaz parfait caractérisé par sa pression, son volume et sa température. On fait subir à ce gaz une transformation isotherme à $T=T_0$, qui le fait passer d'un état initial (P_i, V_i) à un état final (P_f, V_f) .

- 1) Déterminer l'expression du travail W échangé avec le milieu extérieur au cours de la transformation en fonction de n, R, T_0, P_i et P_f .
- 2) En utilisant la 1^{ère} loi de Joule, déduire l'expression de la quantité de chaleur Q échangée au cours de cette transformation.
- 3) On suppose que cette transformation est une compression.
Représenter sur un diagramme de Clapeyron cette transformation et indiquer le signe de W et celui de Q .

Problème : (Cycle Diesel)

On fait subir à une mole de gaz parfait dont le coefficient $\gamma = 1,4$ les transformations réversibles suivantes.

- Transformation **A** (compression adiabatique) : état (1) \rightarrow état (2);
- Transformation **B** (dilatation isobare) : état (2) \rightarrow état (3);
- Transformation **C** (détente adiabatique) : état (3) \rightarrow état (4);
- Transformation **D** (refroidissement isochore) : état (3) \rightarrow état (4).

Chaque état (i) (i variant de 1 à 4) est défini par sa pression P_i et sa température T_i et le volume du gaz V_i . On définit $a=V_1/V_2$ et $b=V_4/V_3$

Données numériques : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$; $P_1=1 \text{ bar}$; $T_1=300 \text{ K}$; $a=9$; $b=3$

- 1) Représenter sommairement le cycle sur un diagramme de Clapeyron.
- 2) Donner les expressions de la pression, du volume et de la température des états (2), (3) et (4) en fonction des données du problème (P_1, T_1, V_1, a, b et γ)
Calculer **numériquement** P_i, T_i, V_i (i variant de 1 à 4 ; on présentera les résultats sous la forme d'un tableau).
- 3) Déterminer, en fonction de (a, b, RT_1 et γ), l'expression des chaleurs (Q_A, Q_B, Q_C et Q_D) ainsi que les travaux (W_A, W_B, W_C et W_D) échangés par le gaz au cours du cycle (12341).
Calculer **numériquement** ces quantités. Que se passe-t-il si $b=a$?

4)

- a) Le cycle est-il moteur ou récepteur ? (Justifier votre réponse).
- b) Proposer une expression pour son rendement ρ en fonction des travaux et quantités de chaleur appropriés (pour ce faire, il sera utile d'identifier lors de quelle(s) transformation(s) le système reçoit de la chaleur).
- c) Montrer que :

$$\rho = 1 - \frac{a^\gamma - b^\gamma}{\gamma(a-b)(ab)^{\gamma-1}}$$

Calculer **numériquement** ρ

- 5) Donner, **sans démonstration**, l'expression du rendement ρ_C d'un cycle de Carnot fonctionnant entre deux sources, l'une (chaude) de température T_3 , l'autre (froide) de température T_1 .
Comparer ensuite ρ et ρ_C .
- 6) Déterminer les variations d'entropie ΔS_A , ΔS_B , ΔS_C et ΔS_D au cours des 4 transformations du cycle (on donnera les expressions littérales et les valeurs numériques correspondantes).
- 7) Sachant que $T_1 < T_2 < T_4 < T_3$ et l'entropie $S_4 > S_1$ et $S_3 > S_2$, représenter le cycle sur un diagramme entropique (T , S) avec T en abscisse (x) et S en ordonnée (y).



Corrigé Examen de Thermo 1 SMAI-SR 2017- FSA – Agadir



Exercice 1 :

1.

La transformation est isotherme, le gaz est parfait :

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_i V_i &= nRT_0 = P_f V_f \\ \Rightarrow \frac{V_f}{V_i} &= \frac{P_i}{P_f} \end{aligned}$$

Le travail échangé s'écrit :

$$\begin{aligned} \delta W - PdV &= -\frac{nRT_0}{V} dV \\ \Rightarrow W &= -\int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT_0}{V} dV \\ \Rightarrow W &= -nRT_0 \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \\ \Rightarrow W &= -nRT_0 \ln \left(\frac{P_i}{P_f} \right) \end{aligned}$$

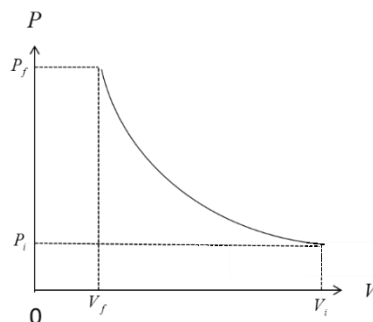
2.

La loi de Joule s'écrit pour un gaz parfait : l'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que sa température, $\Delta U = nC_{Vm} \Delta T = 0$ puisque la transformation est **isotherme**.

En appliquant le premier principe, on obtient :

$$\Delta U = W + Q = 0 \quad \Rightarrow \quad Q = -W = +nRT_0 \ln \left(\frac{P_i}{P_f} \right)$$

3.



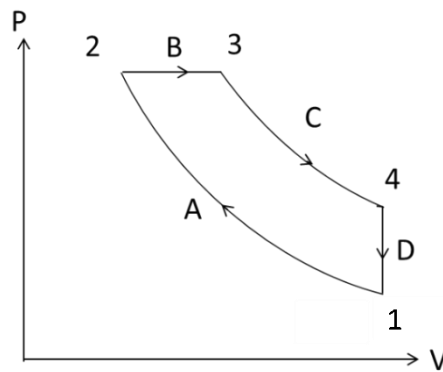
$$P_i < P_f \quad \Rightarrow \quad Q < 0 \quad \text{et} \quad W > 0$$

Au cours de cette compression isotherme (*i* vers *f*), le gaz reçoit un travail et fournit une quantité de chaleur égale en valeur absolue.

Problème (cycle Diesel) :



1.



2.

$$V_1 = aV_2 \quad a = 9 \quad a^\gamma = 21,6740$$

$$V_4 = bV_3 \quad b = 3 \quad b^\gamma = 04,6555$$

• Transformation A :

$$V_2 = \frac{V_1}{a} \quad PV^\gamma = cst \Rightarrow P_2 = a^\gamma P_1$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{R} = a^{\gamma-1} \cdot T_1$$

• Transformation B :

$$P_3 = P_2 = a^\gamma P_1 \quad V_3 = \frac{V_4}{b} = \frac{V_1}{b}$$

$$T_3 = \frac{P_3 V_3}{R} = \frac{a^\gamma}{b} \cdot T_1$$

• Transformation C :

$$V_4 = V_1 \quad P_4 V_4^\gamma = P_3 V_3^\gamma \Rightarrow P_4 = \left(\frac{a}{b}\right)^\gamma P_1$$

$$T_4 = \frac{P_4 V_4}{R} = \left(\frac{a}{b}\right)^\gamma \cdot T_1$$

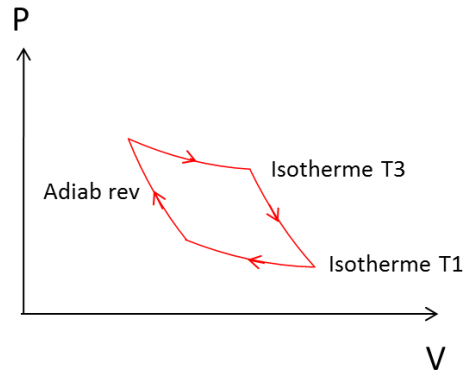
Cela conduit au tableau suivant (résultats avec 4 chiffres significatifs) :

(i)	(1)	(2)	(3)	(4)
P_i [bar]	1,0	21,67	21,67	4,656
T_i [K]	300	722,5	2167	1397
V_i [ℓ]	24,94	2,771	8,314	24,94



Remarque :

Si $a=b$ alors les états 2 et 3 sont identiques et 1 et 4 également, on ajuste le schéma :



Donc pas de travail (ni de chaleur) reçu dans ce cas.

3.

Echanges avec l'extérieur :

On utilisera $C_V = \frac{R}{\gamma - 1}$ et $C_P = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$

• **Transformation A :**

$$Q_A = 0$$

$$W_A = U_2 - U_1 = C_V (T_2 - T_1) = \frac{R}{\gamma - 1} (a^{\gamma-1} - 1) T_1$$

$$W_A = 8,78 kJ$$

• **Transformation B :**

$$W_B = -P_2 (V_3 - V_2) = -a^\gamma P_1 \left(\frac{V_1}{b} - \frac{V_1}{a} \right) = -a^\gamma \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) R T_1$$

$$W_B = -12,01 kJ$$

$$Q_B = C_P (T_3 - T_2) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} a^\gamma \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) R T_1$$

$$Q_B = 42,05 kJ$$

• **Transformation C :**

$$Q_C = 0$$

$$W_C = U_4 - U_3 = C_V (T_4 - T_3) = \frac{a^\gamma}{\gamma - 1} \left(\frac{1}{b^\gamma} - \frac{1}{b} \right) R T_1$$

$$W_C = -16,02 kJ$$



• **Transformation D :**

$$W_D = 0$$

$$Q_D = C_V T_1 - T_4 = \frac{1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^\gamma \right] R T_1$$

$$Q_D = -22,79 \text{ kJ}$$

4.a

On a : $W_A + W_B + W_C + W_D < 0 \Rightarrow$ Le cycle est **moteur**.

4.b

Le rendement d'un moteur est : $\rho = - \frac{W_{\text{fourni}}}{Q_{\text{reçue}}}$

4.c

Il est clair que : $Q_{\text{reçue}} = Q_B$ et donc $W_{\text{fourni}} = -(W_A + W_B + W_C + W_D)$

Soit :

$$\rho = \frac{-\frac{1}{\gamma - 1} a^{\gamma - 1} - 1 + a^\gamma \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) - \frac{a^\gamma}{\gamma - 1} \left(\frac{1}{b^\gamma} - \frac{1}{b} \right)}{\frac{\gamma}{\gamma - 1} a^\gamma \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)}$$

Pour faire le calcul explicite il est plus commode d'écrire :

$$W_{\text{fourni}} = Q_B + Q_D \quad \leftarrow \quad (1^{\text{er}} \text{ Principe})$$

Alors :

$$\rho = 1 - \frac{a^\gamma - b^\gamma}{\gamma (ab)^{\gamma - 1} (a - b)} \quad \text{On trouve : } \rho = 0,458$$

5.

Cycle de Carnot :

$$\rho_C = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{b}{a^\gamma} = 0,862$$



6.

Pour un gaz parfait :

$$dS = \frac{C_V}{T} dT + \frac{P}{T} dV$$

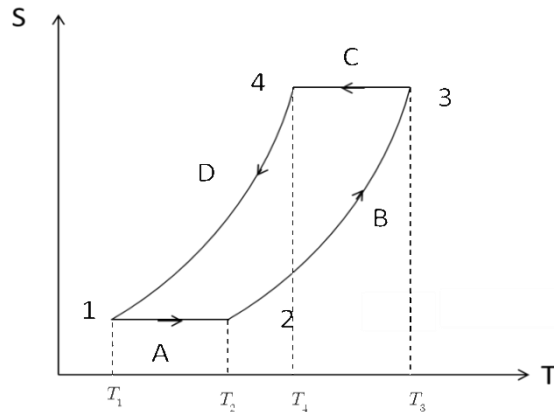
$$\Delta S = nR \ln \left[\left(\frac{T_f}{T_i} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} * \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \right]$$

$$\Delta S_A = \Delta S_C = 0$$

$$\Delta S_B = -\Delta S_D = nR \ln \left[\left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} * \left(\frac{V_3}{V_2} \right) \right] = nR \frac{\gamma}{\gamma-1} \ln \left(\frac{a}{b} \right) = 32 J.K^{-1}$$

7.

• Cycle Diesel dans le digramme (T, S) :



FIN

Examen de Thermodynamique SR 2017 bis

FSA - Filière : SMPC1- Session Rattrapage – Fév. 2017



Exercice :

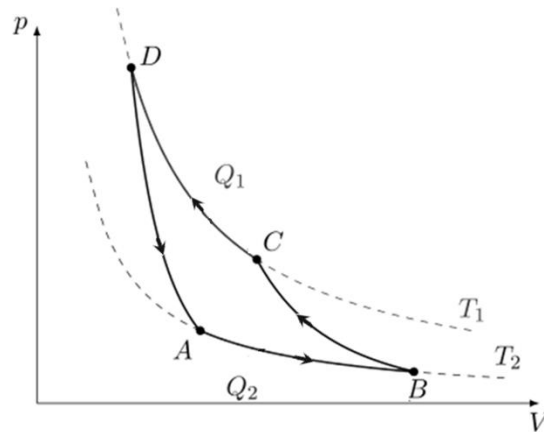
Une mole d'un gaz parfait est contenue dans un cylindre vertical comportant un piston mobile, de masse négligeable en contact avec une atmosphère extérieure à pression constante $P_0 = 1,0 \text{ bar}$ et à la température $T_0 = 300 \text{ K}$.

On donne la constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

1. On réalise la compression isotherme de ce gaz parfait de manière quasi-statique et ce en posant successivement des petites masses mi sur le piston. La température T_0 du gaz est maintenue constante grâce à l'atmosphère. On note $P_1 = 2,0 \text{ bars}$ la pression finale. Déterminer le travail W des forces de pression lors de cette évolution.
2. On réalise maintenant cette compression brutalement, en posant sur le piston de section S une masse M calculée de telle sorte que la pression finale à l'équilibre thermodynamique soit P_1 à la température T_0 . Déterminer le travail W' des forces de pression lors de cette évolution.
3. Représenter le travail fourni dans ces deux situations en traçant $y = W/(nRT_0)$ et $y' = W'/(nRT_0)$ en fonction de $x = P_1/P_0$. On vérifiera que le travail fourni au gaz dans la transformation brutale, décrite ici, est toujours supérieur au travail fourni dans la compression isotherme.
4. Quelle est la chaleur échangée avec l'air dans les deux cas.

Problème :

Un système (fluide frigorigène) assimilé à un gaz parfait de n moles et de rapport des capacités calorifiques à pression et à volume constants $\gamma = 1,4$ décrit un cycle de Carnot récepteur $ABCD$ en vue de faire fonctionner une machine frigorifique. Ce cycle est composé des transformations réversibles suivantes :



- AB : Détente isotherme à la température T_2
- BC : Compression adiabatique de T_2 à T_1 ($T_1 > T_2$)
- CD : Compression isotherme à la température T_1
- DA : Détente adiabatique de T_1 à T_2 .

Dans une telle machine, on extrait une chaleur Q_2 ($Q_2 > 0$) d'une source froide à la température T_2 et on fournit une quantité de chaleur Q_1 ($Q_1 < 0$) à la source chaude à la température T_1 . Il faut pour cela fournir un travail W au système.

1. Calculer le travail W_{AB} reçu par le système au cours de la transformation **AB** en fonction de n , T_2 , V_A , V_B et de la constante du gaz parfait. En déduire l'expression de la quantité de chaleur Q_2 échangée par le système durant cette transformation.
2. Calculer le travail W_{CD} reçu par le système au cours de la transformation **CD** en fonction de n , R , T_1 , V_C , V_D et de la constante du gaz parfait. En déduire l'expression de la quantité de chaleur Q_1 échangée par le système durant cette transformation.
3. Calculer la variation de l'énergie interne ΔU_{BC} du système au cours de la transformation **BC** en fonction n , R , γ , T_1 , T_2 . En déduire l'expression de la quantité du travail W_{BC} reçu par le système durant cette transformation.
4. Calculer la variation de l'énergie interne ΔU_{DA} du système au cours de la transformation **DA** en fonction n , R , γ , T_1 , T_2 . En déduire l'expression de la quantité du travail W_{DA} reçu par le système durant cette transformation.
5. Calculer le travail total W reçu par le système au cours du cycle **ABCD** en fonction de Q_1 et Q_2 .
6. Calculer l'efficacité e de la machine frigorifique en fonction de Q_1 et Q_2 .



7. Calculer pour le système les variations de l'entropie :
 - a. ΔS_{AB} en fonction de Q_2 et T_2 puis en fonction de n, R, V_A, V_B ;
 - b. ΔS_{BC}
 - c. ΔS_{CD} en fonction de Q_1 et T_1 puis en fonction de n, R, V_C, V_D
 - d. ΔS_{DA}
8. Tracer le cycle **ABCD** dans le diagramme entropique (T, S). Que représente l'aire de ce cycle **A** ? Donner alors son expression en fonction de T_1, T_2 et ΔS_{AB} .
9. Calculer la variation de l'entropie du système $\Delta S_{\text{système}}$ le long du cycle. En déduire qu'il existe une relation entre T_1, T_2, Q_1 et Q_2 .
10. Calculer alors l'efficacité e de la machine frigorifique en fonction de T_1 et T_2 .
11. Calculer la variation de l'entropie de :
 - a. La source froide ΔS_{SF} en fonction de T_2 , et Q_2 . Puis en fonction de n, R, V_A, V_B .
 - b. La source chaude ΔS_{SC} en fonction de T_1 , et Q_1 . Puis en fonction de n, R, V_C, V_D .
 - c. Vérifier que la variation d'entropie $\Delta S_T = \Delta S_{\text{système}} + \Delta S_{SF} + \Delta S_{SC} = 0$. Conclusion.
12. Application Numérique : on donne le rapport des volumes $V_C/V_B = 0,8$ calculer alors :
 - a. Le rapport des températures T_2/T_1
 - b. L'efficacité e de la machine frigorifique.

Corrigé Examen de Thermodynamique -SR 2017 bis- (SMPC)



Exercice :

1. Lors d'une compression isotherme on a à chaque stade de la transformation :

$$T_{ex} = T_o = T_{gaz} = cste$$

$$p_{ex} = p_{gaz}$$

Le travail des forces de pression s'écrit alors :

$$W = -\int_i^f p_{ext} dV = -\int_i^f p_{gaz} dV$$

Le gaz étudié est supposé parfait, d'où :

$$p_{gaz} = \frac{nRT_o}{V}$$

$$W = -\int_i^f \frac{nRT_o}{V} dV = nRT_o \ln \frac{V_o}{V_1}$$

$$W = nRT_o \ln \frac{P_1}{P_o} \quad W = 1,7.10^3 \text{ J}$$

2. Si à l'équilibre thermodynamique à l'état final la pression est égale à P_1 pour le gaz, cela veut dire que la pression extérieure lors de cette compression est justement P_1 et qui est constante.

$$W' = -\int_i^f p_{ext} dV = -\int_i^f p_1 dV = -p_1 (V_1 - V_o)$$

$$W' = -p_1 V_1 \left(1 - \frac{V_o}{V_1} \right)$$

Or $p_1 V_1 = nRT_o$ et $p_o V_o = nRT_o$ d'où :

$$W' = -nRT_o \left(1 - \frac{P_1}{P_o} \right)$$

$$W' = nRT_o \left(\frac{P_1}{P_o} - 1 \right) \quad W' = 2,5.10^3 \text{ J}$$

3. On pose : $y = \frac{W}{nRT_o} = \ln \frac{P_1}{P_o} = \ln x$ et $y' = \frac{W'}{nRT_o} = \frac{P_1}{P_o} - 1 = x - 1$

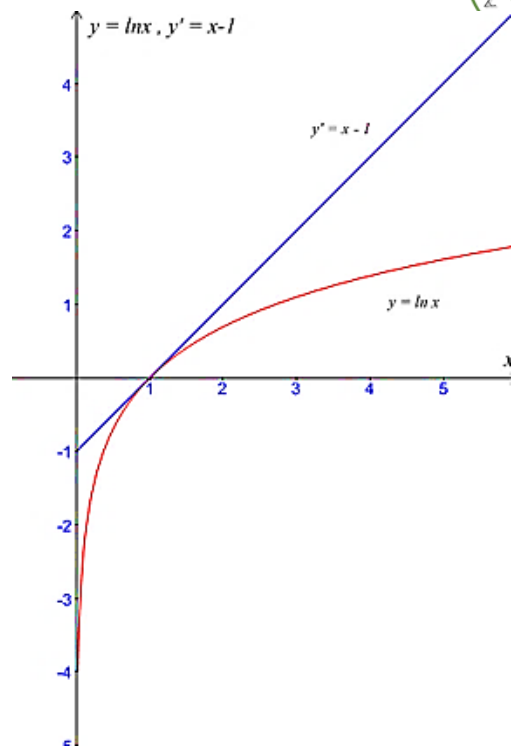
On peut remarquer que : $y' \geq y$. Le travail fourni lors de la compression isotherme réversible est plus faible que celui fourni lors de la compression brutale.



4. Dans les deux cas, la température finale du gaz parfait est la même que celle de son état initial.
D'où :

$$\Delta U = W + Q = 0 \Rightarrow Q = -W$$

$$\Delta U = W' + Q' = 0 \Rightarrow Q' = -W'$$



Problème :

- AB: isotherme (T_2) : $W_{AB} = - \int_{V_A}^{V_B} P dV = - \int_{V_A}^{V_B} nR T_2 \frac{dV}{V} = nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}$
De plus : $Q_{AB} = -W_{AB} = nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} = Q_2$ ($Q_2 > 0$)
- CD : isotherme (T_1) : $W_{CD} = - \int_{V_C}^{V_D} P dV = - \int_{V_C}^{V_D} nR T_1 \frac{dV}{V} = nRT_1 \ln \frac{V_C}{V_D}$
De plus : $Q_{CD} = -W_{CD} = nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C} = Q_1$ ($Q_1 < 0$)
- BC : adiabatique $\rightarrow Q_{BC} = 0$ soit $\Delta U_{BC} = \int_{T_2}^{T_1} C_V dT = C_V(T_1 - T_2) = W_{BC}$
- DA : adiabatique $\rightarrow Q_{DA} = 0$ d'où $\Delta U_{DA} = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT = C_V(T_2 - T_1) = W_{DA}$
- Le travail total W_T reçu par le système au cours du cycle en fonction de Q_1 et Q_2 :
Pour un cycle on a : $\Delta U = 0 \rightarrow W_T = - (Q_{CD} + Q_{AB}) = - (Q_1 + Q_2)$
- L'efficacité e de la machine frigorifique en fonction de Q_1 et Q_2 :
Puisque le cycle est **récepteur**, deux cas de fonctionnement sont possibles :
 - Pompe à chaleur : $\frac{\text{Gains}}{\text{Dépenses}} = - \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \rho$: performance
($Q_1 + Q_2 = -W$ étant négative puisque $W > 0$)
 - Réfrigérateur : $\frac{\text{Gains}}{\text{Dépenses}} = \frac{Q_2}{W} = - \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = e$: efficacité
- Variation d'entropie du système pour chacune des transformations du cycle.
- a. Transformations DA et BC adiabatiques, $Q_{DA} = Q_{BC} = 0 \rightarrow \Delta S_{DA} = \Delta S_{BC} = 0$



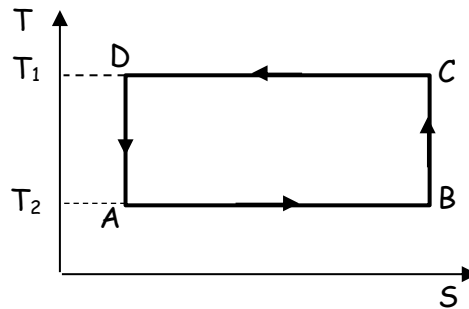
b. Transformation AB : $\Delta S_{AB} = \int_A^B \frac{\delta Q^{rev}}{T} = \frac{Q_{AB}}{T_2} = \frac{Q_2}{T_2} = nR \ln \frac{V_B}{V_A}$

car AB est isotherme : $T = cte = T_2$

c. Transf. CD : $\Delta S_{CD} = \int_C^D \frac{\delta Q^{rev}}{T} = \frac{Q_{CD}}{T_1} = nR \ln \frac{V_D}{V_C}$ car CD est isotherme :

$cte = T_1$

8. Tracé du cycle dans le diagramme (T, S) :



L'aire A de ce cycle représente la *chaleur* échangée par le système avec le milieu extérieur.

$$A = |Q_1 + Q_2| = \left| nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C} + nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} \right| = |T_1 \Delta S_{CD} + T_2 \Delta S_{AB}| = |\Delta S_{AB} \times (T_2 - T_1)|$$

9. Montrons que la variation d'entropie ΔS du cycle est nulle.

$$\Delta S_{\text{cycle}} = \Delta S_{AB} + \Delta S_{BC} + \Delta S_{CD} + \Delta S_{DA} = \Delta S_{AB} + \Delta S_{CD} = nR \ln \frac{V_B}{V_A} + nR \ln \frac{V_D}{V_C}$$

DA et BC sont adiabatiques réversibles, donc d'après la relation de Laplace, on a :

$$T_2 V_A^{\gamma-1} = T_1 V_D^{\gamma-1} \text{ et } T_1 V_C^{\gamma-1} = T_2 V_B^{\gamma-1} \rightarrow \frac{V_A}{V_D} = \frac{V_C}{V_B} \rightarrow \frac{V_C}{V_A} = \frac{V_B}{V_D}$$

$$\Delta S_{\text{cycle}} = nR \ln \frac{V_B}{V_A} + nR \ln \frac{V_D}{V_C} = nR \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \times \frac{V_D}{V_C} \right) = 0$$

La relation de Clausius est donnée par : $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$

10. Efficacité de la machine frigo. En fonction de T_1 et T_2 :

$$e = \frac{\text{Gains}}{\text{Dépenses}} = \frac{Q_2}{W} = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = -\frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} + 1} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

11. Variation d'entropie :

a. De la source froide : ΔS_{SF}

Au cours de la transformation AB, la source froide a échangé avec le système l'entropie

:

$$\Delta S_{SF} = \frac{-Q_2}{T_2} = -nR \ln \frac{V_B}{V_A} < 0$$

b. De la source chaude : ΔS_{SC}

Au cours de la transformation CD, la source chaude a échangé avec le système l'entropie :

$$\Delta S_{SC} = \frac{-Q_1}{T_1} = -nR \ln \frac{V_D}{V_C} > 0$$

c. Totale : ΔS_T

Vérifions que la variation d'entropie $\Delta S_T = \Delta S_{\text{système}} + \Delta S_{SF} + \Delta S_{SC} = 0$:

$$\Delta S_{\text{système}} = 0 \text{ et } \Delta S_{SF} + \Delta S_{SC} = -\left(\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2}\right) = 0 \text{ (égalité de Clausius), c.q.f.d.}$$

Conclusion : le système et les deux sources forment un système *isolé* qui est le siège de transformations réversibles car $\Delta S_T = S^c = 0$

12. Application Numérique :

si $V_C/V_B=0.8$ alors $\frac{T_1}{T_2} = \mathbf{1.0933}$ et l'efficacité vaut $\mathbf{e \approx 10.7}$

F I N



Examen de Thermodynamique SN 2018

FSA - Filière : SMPCAI1- Session Normal – Jan 2018



Questions de cours :

1. Un gaz parfait subit une détente réversible entre l'état A ($P_A = 2 \text{ bar}$, $V_A = 10 \text{ l}$) et l'état B ($P_B = 1 \text{ bar}$, $V_B = 20 \text{ l}$). Calculer la variation de l'énergie interne ΔU_{AB} au cours de cette détente. De quel type de transformation s'agit-il ? (on donne $\gamma = 5/3$).
2. Un gaz parfait évolue réversiblement entre les états A ($P_A = 1 \text{ bar}$, $V_A = 25 \text{ l}$) et B ($P_B = 5 \text{ bar}$, $V_B = 7.92 \text{ l}$). La transformation est-elle isotherme ou adiabatique ? Justifier la réponse. (On donne $\gamma = 1.4$).
3. Au cours d'une transformation, l'entropie d'un système isolé passe de 5 J/K à 10 J/K . La transformation est-elle réversible ? Justifier la réponse.
4. Au cours d'un cycle *monotherme*, un système fournit un travail de **500 J** et reçoit une quantité de chaleur de **400 J**.
 - a) Les deux principes de la thermodynamique sont-ils vérifiés ? justifier ?
 - b) Le fonctionnement de ce système peut-il exister réellement ? pourquoi ?
5. Un réfrigérateur fonctionne suivant un cycle réversible de Carnot entre deux sources de chaleur aux températures $T_F = -10^\circ\text{C}$ (source froide) et $T_C = 20^\circ\text{C}$ (source chaude). On notera W le travail reçu par le système, Q_F et Q_C les chaleurs échangées avec la source froide et la source chaude respectivement.
 - a) En appliquant les deux principes, montrer que son efficacité ρ s'écrit : $\rho = \frac{T_F}{T_C - T_F}$
 - b) Donner la valeur numérique de ρ

Problème : (Etude d'un cycle récepteur)

Le fluide d'une machine frigorifique (MF) et d'une pompe à chaleur (PAC), assimilé à un gaz parfait, décrit un cycle (ABCD) de transformations réversibles

- Une détente isobare de l'état A vers l'état B ;
- Une compression adiabatique de l'état B vers l'état C ;
- Une compression isotherme de l'état C vers l'état D ;
- Une détente adiabatique de l'état D vers l'état A.; On notera $\gamma = C_p/C_v$

1. Donner le diagramme de fonctionnement d'une PAC et d'une MF. On désignera par Q_f la chaleur extraite à la source froide, Q_c la chaleur cédée à la source chaude et W le travail échangé.
2. Sachant que les volumes des états A, B, C et D

sont tels que ($V_D < V_A < V_C < V_B$), représenter le cycle (ABCD) sur un diagramme de Clapeyron.



3. Déterminer, en **justifiant** vos réponses, les points suivants :

a) Le point le plus chaud du cycle étudié ?

b) le point le plus froid du cycle étudié ?

4. **Bilan énergétique :** On exprimera les grandeurs à calculer en fonction des données du problème c.à.d. (les pressions P_A, P_B, P_C, P_D et volumes V_A, V_B, V_C, V_D):

a) Calculer les travaux : W_{AB}, W_{BC}, W_{CD} et W_{DA}

b) Calculer les quantités de chaleur Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD} et Q_{DA} ?

c) En déduire les variations d'énergie interne $\Delta U_{AB}, \Delta U_{BC}, \Delta U_{CD}$ et ΔU_{DA}

5. Donner les signes des quantités de chaleur Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD} et Q_{DA} ? représenter sur le même cycle ABCDA (*question 2*), par une flèche entrante la chaleur extraite de la source froide ? et par une flèche sortante la chaleur cédée à la source chaude ?

6. **Bilan entropique :**

a) Déterminer $\Delta S_{AB}, \Delta S_{BC}, \Delta S_{CD}$ et ΔS_{DA} ? en déduire ΔS_{Cycle} .

b) Démontrer alors l'égalité suivante :

$$Q_{CD} = -T_C \cdot C_P \cdot \ln \frac{T_B}{T_A}$$

7.

a) Calculer Le travail reçu par le système : W_{Cycle} ;

b) Dans le diagramme de Clapeyron, à quoi correspond W_{cycle} ?

c) Calculer les variations d'énergie interne (ΔU_{Cycle}) et d'enthalpie (ΔH_{Cycle})

8. Calculer, en fonction des températures T_A et T_C , l'efficacité : ρ dans les deux cas : c.à.d.

a) Pour un fonctionnement MF : ρ_F

b) Pour un fonctionnement en pompe à chaleur: ρ_P

N.B. : On considérera que les températures aux points A et B sont très voisines, on utilisera l'approximation : $\ln(1 + \varepsilon) \approx \varepsilon$ quand ε est petit ; on posera par exemple :

$$\varepsilon = \frac{T_B - T_A}{T_A}$$

a) Cas d'une MF :

b) cas d'une pompe à chaleur :

9. Tracer l'allure de la courbe montrant les variations de ρ_F en fonction du rapport (T_C/T_A) ; conclure.

Corrigé Examen de Thermodynamique SN 2018- FSA – Agadir



Questions de cours :

1. Un gaz parfait subit une détente réversible entre l'état A ($P_A = 2\text{bar}$, $V_A = 10\text{l}$) et l'état B ($P_B = 1\text{bar}$, $V_B = 20\text{l}$). Calculer la variation de l'énergie interne ΔU_{AB} au cours de cette détente. De quel type de transformation s'agit-il ? (On donne $\gamma = 5/3$).

La variation de l'énergie interne de ce GP est :

$$\Delta U_{AB} = C_V \Delta T = \frac{nR \Delta T_{AB}}{\gamma - 1} = \frac{P_B V_B - P_A V_A}{\gamma - 1}$$

A.N: $\Delta U_{AB} = 0 \Rightarrow$ détente Isotherme

2. Un gaz parfait évolue réversiblement entre les états A ($P_A = 1\text{bar}$, $V_A = 25\text{l}$) et B ($P_B = 5\text{bar}$, $V_B = 7.92\text{l}$). La transformation est-elle isotherme ou adiabatique ? Justifier la réponse. (On donne $\gamma = 1.4$).

On vérifie facilement que $P_B V_B \neq P_A V_A \Rightarrow$ la transformation n'est pas isotherme.

Par contre on vérifie bien que $P_B V_B^\gamma = P_A V_A^\gamma \Rightarrow$ **Adiabatique.**

3. Au cours d'une transformation, l'entropie d'un système isolé passe de 5 J/K à 10 J/K . La transformation est-elle réversible ? Justifier la réponse.

Système isolé \Rightarrow pas de chaleur échangée avec le milieu extérieur

$$\Rightarrow \text{L'entropie échangée } S_e = 0$$

$$\text{Or } \Delta S = S_e + S_c \leftarrow \text{Second principe}$$

$$\Delta S = S_c \quad \text{AN} \quad \Delta S = S_c = 10 - 5 = 5\text{ J/K} > 0 \Rightarrow \text{transformation est irréversible}$$

4. Au cours d'un cycle monotherme, un système fournit un travail de 500 J et reçoit une quantité de chaleur de 400 J .

a) Les deux principes de la thermodynamique sont-ils vérifiés ? justifier ?

Au cours de ce cycle on a : $W = -500\text{J}$ et $Q = +400\text{J}$

- Premier principe :

$$\Delta U = 0 \leftarrow \text{il s'agit d'un cycle et U est une fonction d'état}$$

Or $W + Q = -500 + 400 = -100\text{J} \neq 0$ le Premier Principe n'est donc pas vérifié

- Second principe : on devrait avoir $\sum_i \frac{Q_i}{T_i} < 0$

Ce cycle est *monotherme* avec une seule source de chaleur à la température T_0

$$\Rightarrow \frac{Q}{T_0} < 0 \text{ or } Q > 0 !!$$

- b) *Le fonctionnement de ce système peut-il exister réellement ? pourquoi ?*

Non, le fonctionnement de ce système ne peut pas exister réellement. En effet, cela serait en contradiction avec le second principe de la thermodynamique.



5. Un réfrigérateur fonctionne suivant un cycle réversible de Carnot entre deux sources de chaleur aux températures $T_F = -10^\circ\text{C}$ (source froide) et $T_C = 20^\circ\text{C}$ (source chaude). On notera W le travail reçu par le système, Q_F et Q_C les chaleurs échangées avec la source froide et la source chaude respectivement.

- a) *En appliquant les deux principes, montrer que son efficacité s'écrit : $\rho = \frac{T_F}{T_C - T_F}$*

Premier principe : $Q + W = \Delta U = 0 \leftarrow$ il s'agit d'un cycle $\Rightarrow W = -(Q_F + Q_C)$

Relation de Clausius : $\sum_i \frac{Q_i}{T_i} = 0 \Rightarrow \frac{Q_F}{T_F} + \frac{Q_C}{T_C} = 0 \leftarrow$ Cycle réversible

$$\text{Or } \rho = \frac{Q_F}{W} = \frac{Q_F}{-(Q_F + Q_C)} = \frac{Q_F}{Q_F \left(\frac{T_C}{T_F} - 1 \right)} \Rightarrow \text{Enfin } \rho = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

- b) *Donner la valeur numérique de ρ :*

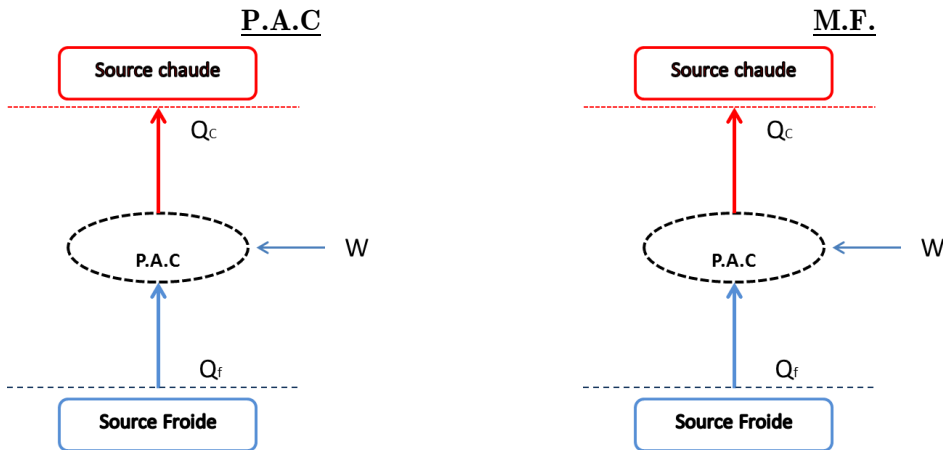
$$\text{Ici } T_F = -10^\circ\text{C} \text{ et } T_C = 20^\circ\text{C} \Rightarrow \rho = \frac{-10 + 273,15}{30} = 8,77$$

Problème : Etude d'un cycle récepteur

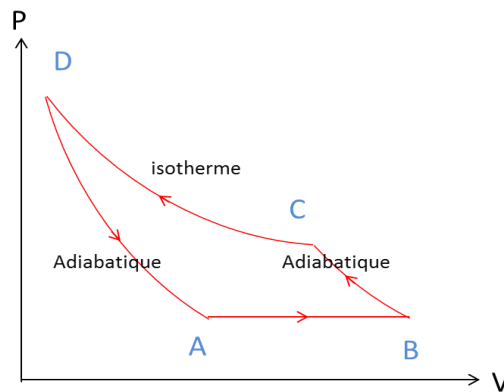
Le fluide d'une machine frigorifique (MF) et d'une pompe à chaleur (PAC), assimilé à un gaz parfait, décrit un cycle (ABCD) de transformations réversibles

- Une détente isobare de l'état A vers l'état B ;
 - Une compression adiabatique de l'état B vers l'état C ;
 - Une compression isotherme de l'état C vers l'état D ;
 - Une détente adiabatique de l'état D vers l'état A ; On notera $\gamma = C_p / C_v$
1. *Donner le diagramme de fonctionnement d'une PAC et d'une MF. On désignera par Q_f la chaleur extraite à la source froide, Q_c la chaleur cédée à la source chaude et W le travail échangé.*

Dans les 2 cas (PAC et MF), nous avons un système récepteur qui extrait de la chaleur d'une source froide et en cède une partie de cette chaleur à une source chaude moyennant un travail extérieur reçu (le plus souvent sous forme d'énergie électrique). Dans une MF, on s'intéressera plutôt à la source froide et donc à Q_f tandis que dans une PAC, on s'intéressera plutôt à la source chaude et donc à Q_c .



2. Sachant que les volumes des états A, B, C et D sont tels que ($V_D < V_A < V_C < V_B$), représenter le cycle (ABCD) sur un diagramme de Clapeyron.



3. Déterminer, en **justifiant** vos réponses, les points suivants :

- Les points D ou C sont les points les **plus chauds** du cycle :
L'isotherme la plus haute est justement celle reliant D et C
- Le point le plus **froid** est A :
L'isotherme la plus basse parallèlement à DC passerait par A.

4. Bilan énergétique :

a) Calculer les travaux : W_{AB} , W_{BC} , W_{CD} et W_{DA}

AB isobare : $\Rightarrow W_{AB} = -\int_A^B P dV = P_A (V_A - V_B)$

BC adiabatique : $\Rightarrow W_{BC} = \frac{1}{\gamma-1} (P_C V_C - P_B V_B)$

CD isotherme : $\Rightarrow W_{CD} = P_C V_C \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)$

DA adiabatique :
 $\Rightarrow W_{DA} = \frac{1}{\gamma-1} (P_A V_A - P_D V_D)$



b) Calculer les quantités de chaleur Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} et Q_{DA} ?

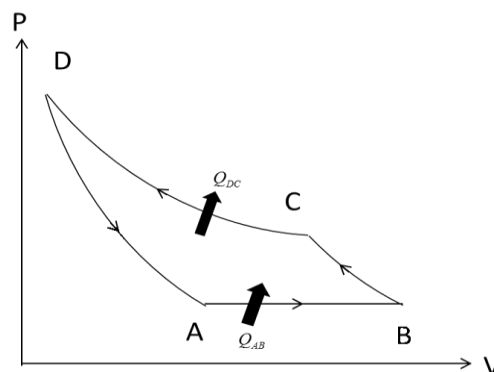
$$\begin{cases} Q_{AB} = C_P (T_B - T_A) = \frac{\gamma P_A}{\gamma - 1} (V_B - V_A) \\ Q_{CD} = -W_{CD} = P_C V_C \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right) \end{cases} \quad Q_{BC} = 0 \quad \text{et} \quad Q_{DA} = 0$$

c) En déduire les variations d'énergie interne ΔU_{AB} , ΔU_{BC} , ΔU_{CD} et ΔU_{DA}

$$\begin{cases} \Delta U_{AB} = \frac{P_A}{\gamma - 1} (V_B - V_A) & ; & \Delta U_{CD} = 0 \quad \leftarrow \text{isotherme} \\ \Delta U_{BC} = W_{BC} = \frac{1}{\gamma - 1} (P_C V_C - P_B V_B) & ; & \Delta U_{DA} = W_{DA} = \frac{1}{\gamma - 1} (P_A V_A - P_D V_D) \end{cases}$$

5. Donner les signes des quantités de chaleur Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} et Q_{DA} ? représenter sur le même cycle ABCDA (question 2), par une flèche entrante la chaleur extraite de la source froide ? et par une flèche sortante la chaleur cédée à la source chaude ?

$$\begin{aligned} Q_{AB} &> 0 & \text{car} & (T_B > T_A); \\ Q_{BC} &= 0; & Q_{DA} &= 0; & Q_{CD} &< 0. \end{aligned}$$



6. Bilan entropique :

a) Déterminer ΔS_{AB} , ΔS_{BC} , ΔS_{CD} et ΔS_{DA} ? en déduire ΔS_{cycle} .

$$\begin{aligned} \Delta S_{AB} &= \int_A^B C_P \frac{dT}{T} = C_P \ln\left(\frac{T_B}{T_A}\right) & \leftarrow \text{Isobare} \\ \Delta S_{BC} &= \Delta S_{DA} = 0 & \leftarrow \text{Adiabatiques} \\ \Delta S_{CD} &= \frac{1}{T_C} \int \delta Q = \frac{Q_{CD}}{T_C} & \leftarrow \text{Isotherme} \\ \Delta S_{\text{cycle}} &= 0 & \leftarrow S \text{ est une fonction d'état} \end{aligned}$$

Démontrer alors l'égalité suivante :

$$Q_{CD} = -T_C \cdot C_P \cdot \ln \frac{T_B}{T_A}$$



Pour le cycle, on a :

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{cycle}} = 0 &\Rightarrow \Delta S_{AB} + \Delta S_{BC} + \Delta S_{CD} + \Delta S_{DA} = 0 \\ \text{soit } C_P \ln \frac{T_B}{T_C} + \frac{Q_{CD}}{T_C} &= 0 \\ \text{enfin } Q_{CD} = -T_C \cdot C_P \cdot \ln \frac{T_B}{T_C} &< 0 \end{aligned}$$

7.

a) Calculer le travail reçu par le système : W_{cycle} ;

D'après le P.P on a :

$$\begin{aligned} W_{\text{cycle}} &= -(Q_{AB} + Q_{CD}) \\ \Rightarrow W_{\text{cycle}} &= -C_P (T_B - T_A) + T_C \cdot C_P \cdot \ln \frac{T_B}{T_A} \end{aligned}$$

b) Dans le diagramme de Clapeyron, à quoi correspond W_{cycle} ?

W_{cycle} correspond à l'aire de la surface délimitée par le cycle en question

c) Calculer les variations d'énergie interne (ΔU_{cycle}) et d'enthalpie (ΔH_{cycle})

$$\Delta U_{\text{cycle}} = 0 \quad \leftarrow \quad \text{car U est une fonction d'état.}$$

$$\Delta H_{\text{cycle}} = 0 \quad \leftarrow \quad \text{car H est une fonction d'état.}$$

8. Calculer, en fonction des températures T_A et T_C , l'efficacité : ρ dans les deux cas : c.à.d.

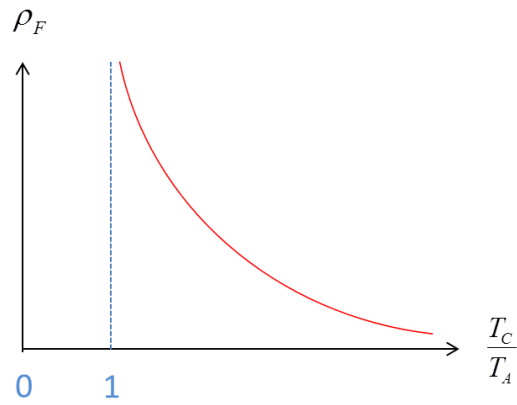
a) Pour un fonctionnement en machine frigorifique (MF) : ρ_F

b) Pour un fonctionnement en pompe à chaleur (PAC) : ρ_P

N.B. : On considérera que les températures aux points A et B sont **très voisines**, on utilisera l'approximation : $\ln(1 + \varepsilon) \approx \varepsilon$ quand ε est petit ; on posera par exemple $\varepsilon = \frac{T_B - T_A}{T_A}$.

a) Cas d'une MF :	b) Cas d'une PAC :
$\rho_F = \frac{Q_{AB}}{W_{\text{cycle}}}$ $\text{on pose } \frac{T_B - T_A}{T_A} = \varepsilon \Rightarrow \frac{T_B}{T_A} - 1 = \varepsilon$ $\text{on obtiendra facilement: } \rho_F \approx \frac{1}{\frac{T_C}{T_A} - 1}$	$\rho_P = \frac{-Q_{CD}}{W_{\text{cycle}}}$ $\frac{T_B}{T_A} = 1 + \varepsilon \Rightarrow \ln\left(\frac{T_B}{T_A}\right) = \ln(1 + \varepsilon) \approx \varepsilon$ <p>(car $\varepsilon \rightarrow 0$)</p> $\rho_P = \frac{1}{1 - \frac{T_A}{T_C}}$

9. Tracer l'allure de la courbe montrant les variations de ρ_F en fonction du rapport (T_C/T_A) ;
conclure.



L'efficacité $\rho_F \rightarrow 0$ si $T_C \gg T_A$
par contre ρ_F devienne grande si T_C est au voisinage immédiat de T_A

F I N

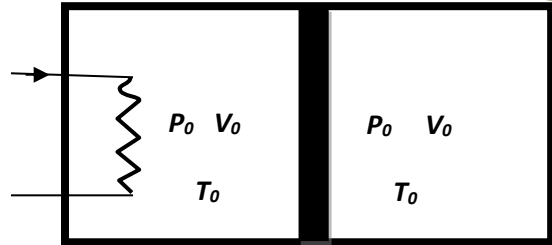
Examen de Thermodynamique SR 2018

FSA - Filière : SMAI1- Session Rattrapage – Fév. 2018



Exercice I

Un cylindre à parois **thermiquement isolées**, comportant deux compartiments contenant de l'air atmosphérique, gaz assimilé à un gaz parfait diatomique.



Ces deux compartiments contiennent chacun une mole du gaz et ils sont séparés par un piston **non**

conducteur de chaleur qui peut se déplacer horizontalement sans frottement (voir figure).

A l'état initial, les conditions pour chacun des deux compartiments, sont P_0 , V_0 et T_0 .

Par l'intermédiaire d'une résistance chauffante, de la chaleur est fournie *très lentement* au compartiment gauche. Le gaz qui y contenu se détend et agit alors sur le piston qui comprime le gaz du compartiment droit jusqu'au volume $V_2 = K \cdot V_0$ ($K < 1$).

On donne : $P_0 = 1 \text{ atm}$; $T_0 = 300 \text{ K}$; $K = 0,75$; $\gamma = 1,4$; $R = 8,32 \text{ J.mole}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ($k = 1,5$).

1. Quel type de transformation subit le gaz du compartiment droit ? Justifier votre réponse.
2. Déterminer, en fonction P_0 , V_0 , T_0 , k et du rapport constant $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$, l'expression :
 - a) de la température T_2 du compartiment droit. Donner sa valeur numérique
 - b) de sa pression P_2 . Donner sa valeur numérique
 - c) du travail W_2 qu'il échange. Quel est son signe ? Donner sa valeur numérique
 - d) Quelle est alors la pression P_1 qui règne dans le compartiment gauche ? Justifier votre réponse.
3. Déterminer, en fonction P_0 , V_0 , T_0 , k et γ :
 - a) La température T_1 du gaz du compartiment gauche. Donner sa valeur numérique
 - b) La chaleur Q_1 reçue par celui-ci (On applique le premier principe ; sachant que $W_1 = -W_2$).
 - c) Montrer que l'on a : $\frac{T_1}{T_2} = \frac{2-k}{k}$

Exercice II : (Etude du cycle essence Beau De Rochas)



On considère **une mole de gaz parfait** diatomique à la température T_A , à la pression P_A , de chaleur spécifique molaire à volume constant c_v et de coefficient $\gamma = 1,4$.

On suppose que ce gaz subit les transformations **réversibles** suivantes :

- une compression adiabatique le faisant passer de l'état (P_A, V_A, T_A) à l'état (P_B, V_B, T_B) , avec $P_B > P_A$ et $\alpha = \frac{V_B}{V_A} < 1$.
- une compression isochore de l'état (P_B, V_B, T_B) à l'état (P_C, V_C, T_C) avec $P_C > P_B$.
- une détente adiabatique de l'état (P_C, V_C, T_C) à l'état (P_D, V_D, T_D) avec $V_D = V_A$ et $P_D > P_A$.
- un refroidissement isochore de l'état (P_D, V_D, T_D) à l'état (P_A, V_A, T_A) .

1) Tracer le cycle dans les diagrammes de Clapeyron $P = f(V)$ et entropique $T = f(S)$.

2)

a) Etablir les expressions de c_v et c_p en fonction de γ et R (R : Constante des gaz parfaits).

b) Etablir la loi des gaz parfaits $PV^\gamma = cte$ en fonction de γ , T et V .

3) **Lors de la transformation AB, déterminer :**

a) L'expression du rapport $\frac{T_B}{T_A}$ en fonction de α et γ . Comparer T_B et T_A

b) L'expression du travail échangé W_{AB} , en fonction de α , γ , R et T_A . Quel est son signe ?

4) **Dans le cas de la compression isochore BC :**

a) Comparer T_C à T_B . Justifier votre réponse.

b) Déterminer l'expression de l'énergie interne ΔU_{BC} en fonction de γ , R , P_B , P_C et T_B .

c) En déduire l'expression de la quantité de chaleur Q_{BC} . Quel est son signe ?

d) Déterminer la variation d'entropie ΔS_{BC} en fonction de γ , R , P_C et P_B .

5) **Lors de la transformation adiabatique CD, Déterminer :**

a) L'expression du rapport $\frac{T_C}{T_D}$ en fonction de α et γ . Comparer T_C et T_D

b) L'expression du travail W_{CD} en fonction de α , γ , R et T_D . Quel est son signe ?

c) La variation d'entropie ΔS_{CD} .

6) **Lors de la transformation isochore DA :**

a) Comparer T_A et T_D , Justifier votre réponse.

b) Déterminer le travail W_{DA} .

c) Déterminer l'expression de la chaleur Q_{DA} en fonction de γ , R , P_A , T_A et P_D . Quel est son signe ?

7) **Dans le cas du cycle ABCDA décrit par le gaz :**

a) Est-il moteur ou récepteur ? Justifier votre réponse

b) Quelle est la partie motrice du cycle ? Justifier votre réponse

- c) Déterminer l'expression du rendement ρ en fonction des chaleurs échangées.
- d) En déduire l'expression de ρ en fonction des températures T_A , T_B , T_C et T_D ;
puis en fonction α et
- e) Comment faut-il agir techniquement pour augmenter le rendement de ce cycle ?



Corrigé Examen de Thermodynamique SR 2018- FSA – Agadir



Exercice 1 :

1. Le gaz du compartiment de droite subit une compression adiabatique réversible. En effet, il s'agit d'un système thermodynamique fermé avec des parois imperméables à la chaleur et l'évolution de la transformation est très lente, donc **réversible**.

2. a) Pour une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait, on a $TV^{(\gamma-1)} = \text{cte}$;

$$\text{d'où } T_2 = T_0 \left(\frac{V_0}{V_2} \right)^{(\gamma-1)} = T_0 K^{(1-\gamma)}$$

$$\text{A.N : } T_2 = 300 * (0,75)^{-0,4} = 336,6 \text{ K}$$

b) La pression P_2 est $P_2 = \frac{nRT_2}{V_2} = P_0 \frac{V_0 T_2}{V_2 T_0}$; soit $P_2 = K^{-\gamma} P_0$

$$\text{A.N : } P_2 = 1,5 \text{ atm}$$

c) D'après le premier principe, la variation de l'énergie interne du gaz dans le compartiment de droite s'écrit : $\Delta U_2 = W_2 + Q_2$.

La transformation étant adiabatique ($Q_2 = 0$) ; le travail échangé avec l'extérieur est

$$W_2 = C_v(T_2 - T_0) ;$$

Soit :

$$W_2 = \frac{nR}{\gamma-1} T_0 (K^{(1-\gamma)} - 1)$$

$$\text{A.N : Pour } n = 1 \text{ mole on a : } W_2 = 761 \text{ J}$$

d) L'équilibre mécanique se traduit par l'égalité des pressions de part et d'autre du piston ;

$$\text{par conséquent } P_1 = P_2 = K^{-\gamma} P_0$$

$$\text{A.N : } P_1 = 1,5 \text{ atm.}$$

3.a) La température T_1 du gaz du compartiment gauche est :

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} = K^{-\gamma} \frac{P_0 V_0}{nR} (2 - K); \text{ soit } T_1 = K^{-\gamma} (2 - K) T_0.$$

$$\text{A.N : } T_1 = 562,5 \text{ K}$$

b) D'après le premier principe appliqué au gaz du compartiment gauche, on a

$$U_1 = W_1 + Q_1$$

Or $W_1 = -W_2$ (car $W_1 + W_2 = 0$)

D'où Q_1
$$U_1 + W_2 = \frac{nR}{\gamma-1}(T_1 - T_0) + \frac{nR}{\gamma-1}T_0(K^{1-\gamma} - 1)$$

Soit Q_1
$$= -2\frac{nR}{\gamma-1}T_0 + \frac{nR}{\gamma-1}T_0(K^{-\gamma}(2-K) + K^{1-\gamma})$$

$$= \frac{nR}{\gamma-1}T_0(K^{-\gamma}(2-K) - 2 + K^{1-\gamma})$$

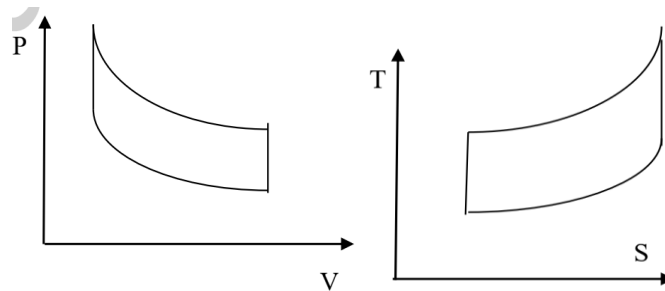
Enfin $Q_1 = 2\frac{nR}{\gamma-1}T_0(K^{-\gamma} - 1) > 0$

Car $\gamma > 1$ et $K^{-\gamma} - 1 \approx 1.5 - 1 \approx 0.5 > 0$

c) On a :
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{K^{-\gamma}(2-K)T_0}{T_0K^{(1-\gamma)}} ; \quad \text{soit} \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{(2-K)}{K}$$

Exercice 2 :

II.1 Cycle dans les deux diagrammes Clapeyron et entropique :



II.2 $C_P = \frac{nR\gamma}{\gamma-1}$ et $C_v = \frac{nR}{\gamma-1}$ (à partir de la relation de Mayer; voir cours)

II.3 Transformation AB adiabatique révers. :

a) On a un GP qui subit une transf adiab. rév : on utilise la relation $TV^{(\gamma-1)} = \text{cte}$;

donc $T_A V_A^{(\gamma-1)} = T_B V_B^{(\gamma-1)} \Rightarrow \frac{T_B}{T_A} = \alpha^{(1-\gamma)}$ avec $\alpha = \frac{V_B}{V_A} < 1 \Rightarrow T_B > T_A$

b) Transf. adiab.+ rév, donc $Q_{AB} = 0$;

On applique le 1^{er} principe $U_{AB} = W_{AB} = C_v(T_B - T_A) = \frac{R}{\gamma-1}(T_B - T_A)$

$\Rightarrow W_{AB} = \frac{RT_A}{\gamma-1}(\alpha^{1-\gamma} - 1)$; on a : $\alpha < 1$ donc $W_{AB} > 0$ travail résistant

II.4 Compression isochore BC révers. :

a) Le gaz est parfait $\Rightarrow P_C V_C = nRT_C$ et $P_B V_B = nRT_B \Rightarrow \frac{P_C}{P_B} = \frac{T_C}{T_B}$;

or $P_C > P_B \Rightarrow T_C > T_B$

b) $U_{BC} = C_v(T_C - T_B) = \frac{R}{\gamma-1}(T_C - T_B) = \frac{R}{\gamma-1}T_B\left(\frac{T_C}{T_B} - 1\right)$

c) Le travail $W_{BC} = 0$ ($dV = 0$)

$\Rightarrow Q_{BC} = \Delta U_{BC} = C_v(T_C - T_B) = \frac{R}{\gamma-1}(T_C - T_B) = \frac{R}{\gamma-1}T_B\left(\frac{T_C}{T_B} - 1\right)$



$$Q_{BC} > 0, \text{ quantité de chaleur reçue par le système car } P_C > P_B$$



d) Variation d'entropie au cours de la transformation BC :

$$\begin{aligned} \text{D'après le 2}^{\text{ème}} \text{ principe on a } dS_{BC} &= \frac{\delta Q}{T} = C_v \frac{dT}{T} = \frac{R}{\gamma-1} \frac{dT}{T} \\ \Rightarrow \Delta S_{BC} &= \frac{R}{\gamma-1} \text{Ln} \left(\frac{T_C}{T_B} \right) = \frac{R}{\gamma-1} \text{Ln} \left(\frac{P_C}{P_B} \right) \end{aligned}$$

II.5 Transformation adiab.+Revers. CD :

$$\begin{aligned} \text{a) On a : } \frac{T_C}{T_D} &= \left(\frac{V_D}{V_C} \right)^{(\gamma-1)} = \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{(\gamma-1)} \\ \Rightarrow \frac{T_C}{T_D} &= \alpha^{(1-\gamma)} ; \text{ avec } T_C > T_D. \end{aligned}$$

$$\text{b) } Q_{CD} = 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \Delta U_{CD} = W_{CD} &= C_v(T_D - T_C) = \frac{R}{\gamma-1}(T_D - T_C) = \frac{R}{\gamma-1}T_D \left(-\frac{T_C}{T_D} + 1 \right) \\ &= \frac{R}{\gamma-1}T_D \alpha^{(1-\gamma)}(\alpha^{(\gamma-1)} - 1) < 0 \end{aligned}$$

$$W_{CD} < 0 \text{ travail moteur}$$

$$\text{c) } \Delta S_{CD} = 0 \text{ car transformation CD isentropique.}$$

II.6 Transf. isochore rév. DA :

$$\text{a) } V = \text{cte} \Rightarrow \frac{P_D}{P_A} = \frac{T_D}{T_A} \quad \text{et } P_D > P_A \Rightarrow T_D > T_A.$$

$$\text{b) } W_{DA} = 0 \text{ (V=cte).}$$

$$\text{c) } Q_{DA} = \frac{R}{\gamma-1}T_A \left(1 - \frac{P_D}{P_A} \right) \text{ avec } P_D > P_A ; \text{ donc } Q_{DA} < 0 ; \text{ la quantité de chaleur est cédée par le système à la source froide.}$$

II.7 Etude du Cycle ABCDA

a) Le cycle est moteur ($W_{\text{cycle}} < 0$), il tourne dans le sens de l'aiguille d'une montre (le sens direct) :

$$W_{\text{cycle}} < 0 ; Q_1 = Q_{BC} > 0 \text{ échangée avec la source chaude ;}$$

$$Q_2 = Q_{DA} < 0 \text{ échangée avec la source froide.}$$

b) La partie motrice du cycle (qui donne du travail au milieu extérieur) est la détente adiabatique CD car $W_{CD} < 0$

c) Expression du rendement du cycle ρ en fonction des quantités de chaleurs Q_{BC} et Q_{DA} :

$$\text{Par définition on a : } \rho = -W_{\text{cycle}}/Q_{BC} ;$$

$$\text{D'après le 1}^{\text{er}} \text{ principe : } W_{\text{cycle}} + Q_{BC} + Q_{DA} = 0$$

$$\Rightarrow \rho = 1 + \frac{Q_{DA}}{Q_{BC}}.$$

d) Sachant que $Q_{BC} = C_v(T_C - T_B)$ et $Q_{DA} = C_v(T_A - T_D)$; on aura $\rho = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$;

Or on a : $\frac{T_B}{T_A} = \alpha^{(1-\gamma)}$ et $\frac{T_C}{T_D} = \alpha^{(1-\gamma)} \Rightarrow \frac{T_B}{T_A} = \frac{T_C}{T_D} = \frac{T_C - T_B}{T_D - T_A} = \alpha^{(1-\gamma)}$

$$\Rightarrow \rho = 1 - \alpha^{(\gamma-1)} \quad ; \quad \text{avec } \alpha = \frac{V_B}{V_A}$$

e) Le rendement ne dépend que du coefficient α . Pour augmenter le rendement du moteur, il faut minimiser α ; c'est-à-dire augmenter le rapport $(1/\alpha) = V_A/V_B$.

F I N



Examen de Thermodynamique SN 2019

FSA - Filière : SMPCAI1- Session Normal – Déc. 2018



Questions de cours (4 points) :

Donner brièvement la définition :

- a. d'un état d'équilibre ?
- b. d'une transformation réversible ?
- c. de l'énergie interne U ?
- d. A quoi correspond U dans le cas d'un gaz parfait ?
- e. d'une source de chaleur ?
- f. donner deux exemples de sources

Exercice : (4 points)

Un morceau de métal de masse $m=1\text{ kg}$, de capacité massique $c=880\text{ J/kg.K}$ et de température initiale $T_0=27^\circ\text{C}$, est mis en contact *brutalement*, à pression constante, avec un thermostat de température $T_1=100^\circ\text{C}$; on attend que le métal soit en équilibre thermique avec la source de chaleur.

1. La transformation est-elle réversible ? Justifier ?
2. Proposer alors une méthode pour calculer la variation d'entropie (ΔS) du métal ? justifier ?
3. Calculer cette variation d'entropie (ΔS) du métal ? **A.N.**
4. Calculer l'entropie échangée par le métal $S_{\text{échangé}}$? **A.N.**
5. En déduire la création d'entropie $S_{\text{créé.}}$? **A.N.**

Problème : (12 points)

On fait subir à $n = 2$ moles de gaz parfait ($\gamma = 1,4$) le cycle réversible suivant :

1 \rightarrow 2 : Détente adiabatique; **3 \rightarrow 4** : Compression isotherme; ($P_3 < P_4$)

2 \rightarrow 3 : Refroidissement isobare; **4 \rightarrow 1** : Réchauffement isobare.

1. Sachant que ($V_4 < V_3 < V_1 < V_2$)
 - a. Tracer le cycle sur les deux diagrammes suivants :
 - b. Que représente l'aire A de la surface à l'intérieur du cycle ?
 - i. En coordonnées (P, V) :
 - ii. En coordonnées (T, S) :
2. Le cycle décrit est-il moteur ou récepteur ? Justifier brièvement.



3. On suppose T_1 , P_1 , P_2 et T_3 connus.

a. Déterminer en fonction de T_1 , P_1 , P_2 et T_3 les expressions des variables P , V et T pour chaque point du cycle.

b. Faire l'application numérique et regrouper les résultats:

On donne : $T_1 = 1200 \text{ K}$, $P_1 = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $P_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $T_3 = 300 \text{ K}$.

4. On notera par la suite W_{ij} le travail échangé entre les états i et j :

(Ainsi W_{12} représente le travail échangé entre l'état 1 et 2)

a. Etablir l'équation de Laplace $PV = \text{cte}$ valable pour un gaz parfait subissant une transformation isentropique d'un état (a) : (P_a, V_a, T_a) vers un état (b) : (P_b, V_b, T_b) ;

b. Exprimer le travail W_{12} échangé par le gaz en utilisant la définition du travail élémentaire (méthode directe) en fonction de T_1 , P_1 , P_2 , n , R et

c. Par application du premier principe, retrouver le résultat de W_{12} (méthode indirecte).

5. Travaux W_{23} , W_{34} , W_{41} :

a. Exprimer les travaux échangés (W_{23} , W_{34} , W_{41}) en fonction de T_1 , T_3 , P_1 , P_2 , n , R et γ .

b. Faire l'application numérique, calculer ensuite W_{cycle}

6. Calculer la chaleur échangée par le gaz à chaque étape (Q_{12} , Q_{23} , Q_{34} , Q_{41}).

7. Calcul du rendement ρ du cycle.

a. A quelle étape du cycle, le système reçoit-il de la chaleur ? justifier ?

b. Calculer alors le rendement ρ du cycle ? A.N. ?

c. Quels sont les points le plus froid et le plus chaud du cycle étudié ? justifier ?

8. Quel serait le rendement d'un cycle de Carnot ρ_{Carnot} réversible fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes ?

Corrigé Examen de Thermodynamique SN 2019- FSA – Agadir



Questions de cours :

- Un système se trouve dans un *état d'équilibre* si les variables d'état qui définissent son état thermodynamique ne varient pas au cours du temps, (équilibre thermique + équilibre mécanique).
- Une transformation *réversible* est une transformation *lente* qui passe par une succession d'états d'équilibre infiniment voisins.
- L'énergie interne U d'un système est définie comme la somme des énergies cinétiques E_{ci} et potentielles E_{pi} de toutes les particules constituant le système.

$$U = E_c + E_p = \sum_{i=1}^N (E_{ci} + E_{pi})$$

- L'énergie interne U d'un gaz parfait (GP) est donc la somme des énergies cinétique de toutes les particules le constituant : (En effet, pour un GP les interactions mutuelles entre particules sont négligées)

$$U = \sum_{i=1}^N E_{ci}$$

- Une source de chaleur (réservoir) est un milieu à capacité thermique C infini.
- Exemples de sources : eau d'un lac, air atmosphérique, four...

Exercice :

- Non, le fait d'avoir un **gradient thermique** important est une cause fondamentale d'irréversibilité (pas de retour possible à l'état initial).
- La transformation est *réelle* donc *irréversible*, mais l'état initial et l'état final du système (métal) sont parfaitement déterminés : l'entropie étant une fonction d'état, on peut alors imaginer une transformation réversible fictive, partant du même état initial et arrivant au même état final, qui conduira à la même variation d'entropie pour le métal choisi comme système.
- On peut alors écrire pour une transformation isobare :

$$dS = \frac{dQ}{T} = m c_p \frac{dT}{T} \Rightarrow \Delta S = m c_p \ln \left(\frac{T_0}{T_1} \right) = 191,5 \text{ JK}^{-1}$$

- Par ailleurs, le métal a reçu de la part du thermostat la quantité de chaleur :

$$Q = m.c_p(T_1 - T_0)$$
$$S_{\text{échangée}} = \frac{Q}{T_{\text{source}}} = \frac{m.c_p(T_1 - T_0)}{T_1}$$



5. D'après le second principe, on écrit :

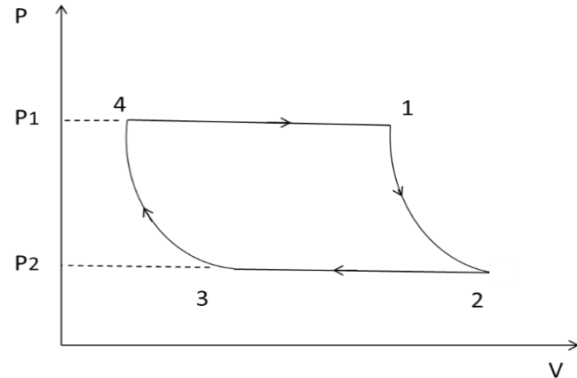
$$\Delta S = S_1 - S_0 = m.c_p \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) = S_{\text{échangée}} + S_{\text{créée}} = \frac{m.c_p(T_1 - T_0)}{T_1} + S_{\text{créée}}$$

$$S_{\text{créée}} = m.c_p \left(\ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) - \frac{(T_1 - T_0)}{T_1} \right) = 19,3 \text{ JK}^{-1}$$

L'entropie créée est *positive*, puisque la transformation est *irréversible*.

Problème :

1. Cycle en coordonnées (P, V) :



2. Le cycle est décrit dans le sens des aiguilles d'une montre. Il est donc **moteur**.

3. Les variables se calculent comme suit :

- $V_1 = \frac{nRT_1}{p_1}$

- $1 \rightarrow 2$ est une adiabatique, donc $p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_1 = p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_2$. donc, $T_2 = T_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$.

$$V_2 = \frac{nRT_2}{p_2} = \frac{nRT_1}{p_2} \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

- $2 \rightarrow 3$ est une isobare, donc $p_3 = p_2$.

- $V_3 = \frac{nRT_3}{p_3} = \frac{nRT_3}{p_2}$.

- $T_4 = T_3$ (isotherme), $p_4 = p_1$ (donné).

- $V_4 = \frac{nRT_4}{p_4} = \frac{nRT_3}{p_1}$

Application numérique :



Etat	$T [K]$	$P [bar]$	$V [m^3]$
1	1200	6	0,0332
2	877	2	0,0729
3	300	2	0,0249
4	300	6	0,00831

4.

a. Voir cours

b. Calcul des différents travaux échangés pendant le cycle :

$W_{1 \rightarrow 2}$: W_{12} est un travail adiabatique.

Donc, $\Delta U_{12} = W_{12} + Q_{12}$ avec $Q_{12} = 0$.

Or, $\Delta U_{12} = C_v T_2 - T_1 = W_{12}$ car il s'agit d'un gaz parfait. Donc,

$W_{12} = C_v T_2 - T_1$ avec $C_v = \frac{nR}{\gamma - 1}$, soit:

$$W_{12} = \frac{nR}{\gamma - 1} T_1 \left(\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 1 \right)$$

A.N: $W_{12} = -13421J$.

5.

$$W_{2 \rightarrow 3} : W_{23} = \int_2^3 -pdV = \int_2^3 -p_2 dV = -p_2(V_3 - V_2)$$

En utilisant les identités du point 3, on obtient:

$$W_{23} = -p_2 \left(\frac{nRT_3}{p_2} - \frac{nRT_1}{p_2} \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \right) = nR \left(T_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - T_3 \right)$$

A.N: $W_{23} = 9585J$.

$$W_{3 \rightarrow 4} : W_{34} = -\int_3^4 -pdV = -\int_3^4 nRT_3 \frac{dV}{V} = -nRT_3 \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right)$$

En réutilisant les identités du point 3, nous avons:

$$W_{34} = -nRT_3 \ln \left(\frac{nRT_2/p_1}{nRT_2/p_2} \right) = -nRT_3 \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

A.N: $W_{34} = 5477J$.



$$W_{4 \rightarrow 1} : \quad W_{41} = -p_1(V_1 - V_4) = -p_1 \left(\frac{nRT_1}{p_1} - \frac{nRT_3}{p_1} \right)$$

$$W_{41} = -nR(T_1 - T_3)$$

A.N: $W_{41} = -14958J.$

Remarque : $W_{tot} = -13275J.$

6. Calcul des différentes quantités de chaleur Q échangées durant le cycle :

$$Q_{1 \rightarrow 2} : \quad Q_{12} = 0$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} : \quad \Delta H_{23} = C_p(T_3 - T_2) \Rightarrow Q_{23} = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}(T_3 - T_2)$$

A.N: $Q_{23} = -33547J$

$$Q_{3 \rightarrow 4} : \quad Q_{34} + W_{34} = \Delta U_{34} = 0 \text{ (isotherme)} \Rightarrow Q_{34} = -W_{34} = nRT_3 \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

A.N: $Q_{34} = -5477J$

$$Q_{4 \rightarrow 1} : \quad Q_{41} = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}(T_1 - T_3)$$

A.N: $Q_{41} = 52352J$

7.

a. Le système reçoit de la chaleur de (4) \rightarrow (1) car $Q_{41} > 0$.

b. Le rendement est donné par :

$$\eta = \frac{\text{énergie obtenue sous forme désirée}}{\text{énergie fournie}}$$

Dans ce cas,

$$\eta = \frac{-W}{Q_{41}} = 0,25$$

c. Les points le plus froids sont : (3) ou (4).

Le point le plus chaud est : (1)

8. Le rendement du cycle de Carnot est, pour ces températures :

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{300}{1200} = 0,75$$

F I N

Examen de Thermodynamique SN 2020

FSA - Filière : SMPCAI1- Session Normal – Déc. 2019



Exercice 1 : Questions de Cours (3,5 Points/~15 mn)

1) En insérant **3** termes correctes parmi les 9 suivants : (*haute, basse, idéal, réel, importantes, négligeables, lourd, léger, réversibles*), **recopier** et **compléter** cette définition :

« Un gaz parfait est un gaz.....constitué par un ensemble de molécules (atomes) contenues dans un volume V dont les forces d'interactions mutuelles sont..... . Un gaz réel peut être assimilé à un gaz parfait àpression seulement. »

2) Ecrire l'expression *différentielle* du premier principe pour un système fermé subissant une transformation infinitésimale.

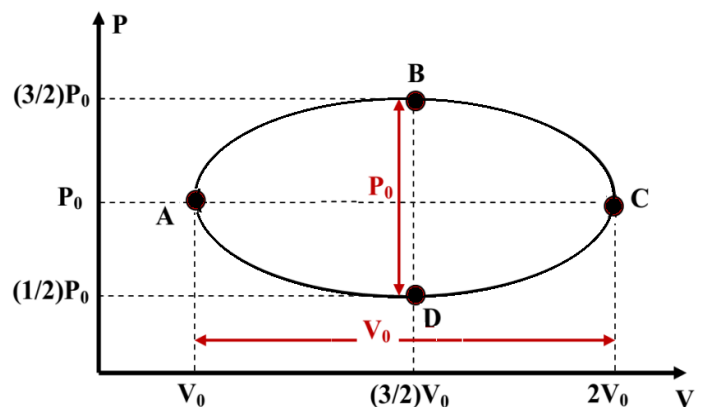
3) Montrer que pour un *gaz parfait*, subissant une transformation élémentaire *réversible*, la variation d'entropie dS s'écrit : $dS = \frac{dU}{T} + \frac{PdV}{T}$

4) En intégrant l'équation obtenue en 3), déterminer la variation d'entropie S_{12} pour n moles d'un gaz parfait qui passe de l'état 1 (T_1, V_1) à l'état 2 (T_2, V_2) en fonction de T_1, T_2, V_1, V_2 et des constantes n, R et .

Exercice 2 : Cycle d'une machine thermodynamique (6 Points/~25 mn)

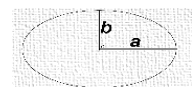
Une mole de gaz parfait effectue un cycle supposé réversible dont la représentation graphique est une ellipse (هليلج) de grand axe V_0 et de petit axe P_0 dans le diagramme P-V.

Soit R la constante des gaz parfaits et γ la constante adiabatique du gaz.



On rappelle que l'aire (مساحة) d'une ellipse est donnée par $S = \pi.a.b$

où a et b sont respectivement le demi-grand axe et le demi-petit axe.





1) *Il n'est pas nécessaire dans cette question 1) de donner les expressions des travaux ;*

a) Quel est le **signe** (إشارة) du travail W_{ABC} échangé lors de la transformation $A \rightarrow B \rightarrow C$?

Justifiez (*ne pas calculer W_{ABC}*).

b) Quel est le **signe** du travail W_{CDA} échangé lors de la transformation $C \rightarrow D \rightarrow A$.

Justifiez (*ne pas calculer W_{CDA}*).

c) Le cycle $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ est-il *moteur* ou *récepteur* ? Justifiez.

2)

a) Calculer l'expression du travail W_{tot} échangé lors du cycle ABCDA en fonction de P_0 et V_0 .

b) Calculer alors la chaleur Q_{tot} échangée lors du cycle ABCDA en fonction de P_0 et V_0 .

3) Déterminer les températures T_A , T_B , T_C et T_D aux points A, B, C et D en fonction de R , P_0 et V_0 .

4) Déterminer la variation d'énergie interne ΔU_{AC} entre A et C en fonction de γ , P_0 et V_0 .

5)

a) Déterminer le travail W_{ABC} échangé entre A et C en passant B en fonction de P_0 et V_0 .

b) En déduire la chaleur Q_{ABC} échangée entre A et C en passant par B en fonction de γ , P_0 et V_0 .

6) Déterminer la variation d'entropie ΔS_{AC} entre A et C en fonction de R et γ .

Exercice 3 : Cycle d'Ericsson (10,5 Points/~50 mn)

On considère un cycle parcouru par n moles d'un gaz parfait se décomposant en 4 transformations réversibles :

- étape ① : une compression *isotherme* de l'état **A** ($P_A = P_1$, V_A , $T_A = T_1$) vers l'état **B** ($P_B = P_2$, V_B , T_B) ;
- étape ② : un échauffement *isobare* de l'état **B** vers l'état **C** (P_C , V_C , $T_C = T_2$) ;
- étape ③ : une détente *isotherme* de l'état **C** vers l'état **D** ;
- étape ④ : un refroidissement *isobare* de l'état **D** vers l'état **A**.

On donne : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$, $\gamma = 1,4$, $V_A = 50 \text{ l}$, $P_1 = 1 \text{ bar}$, $P_2 = 5 \text{ bar}$, $T_2 = 1200 \text{ K}$ et $n = 2 \text{ moles}$.



- 1) Représenter ce cycle sur un diagramme de Clapeyron.
- 2) Déterminer les *valeurs numériques* (فيج) de T_1 et des volumes (V_B , V_C et V_D) pour chacun des états B, C et D.
- 3) Calculer les expressions des travaux W_1 , W_2 , W_3 , W_4 et quantités de chaleur échangées Q_1 , Q_2 , Q_3 et Q_4 par le système au cours des 4 étapes ①, ②, ③, et ④.

On exprimera les résultats en fonction de $x = P_2/P_1$, T_2 , T_1 , n , R , et γ .

- 4)
 - a) Donner les *valeurs numériques* des travaux W_1 , W_2 , W_3 , W_4 et des chaleurs Q_1 , Q_2 , Q_3 et Q_4 . En déduire le travail total W_{cycle} et la quantité de chaleur totale Q_{cycle} échangée par le système au cours du cycle.
 - b) En déduire la *valeur* de la chaleur totale Q_r reçue par ce cycle.
 - c) Le cycle d'Ericsson décrit ici pourrait-il être celui d'un *réfrigérateur*, d'une *pompe à chaleur* ou d'un *moteur thermique* ? justifier.
- 5)
 - a) Définir puis calculer le rendement η de cette machine en fonction de $x = P_2/P_1$, T_2 , T_1 , n , R , et γ .
 - b) Définir et calculer le rendement d'une *machine de Carnot* réversible η_{Carnot} [utilisée dans le même but que celui identifié à la question 4/c] fonctionnant entre deux sources de températures respectives T_1 et T_2 .
 - c) Comparer ce rendement η_{Carnot} à celui de la machine d'Ericsson η . *Discuter*.

Corrigé Examen Thermo.1 –SN2020 (Déc. 2019)



Exercice 1 : Questions de cours

- 1) « Un gaz parfait est un gaz **idéal** constitué par un ensemble de molécules (atomes) contenues dans un volume V dont les forces d'interactions mutuelles sont **négligeables**. Un gaz réel peut être assimilé à un gaz parfait à **basse** pression seulement. »

- 2) Expression *différentielle* du premier principe (système *fermé*) :

$$dU = \delta Q + \delta W$$

- 3) La transformation étant réversible $\Rightarrow \delta W = -PdV$ et $dS = \frac{\delta Q}{T}$

$$\begin{cases} \delta Q = TdS \\ \delta W = -PdV \end{cases} \Rightarrow dS = \frac{dU}{T} + \frac{PdV}{T}$$

- 4) On a : $dU = C_V dT$ (Gaz parfait) ; de plus $PV = nRT \Rightarrow \frac{P}{T} = \frac{nR}{V}$

$$dS = \frac{dU}{T} + \frac{PdV}{T} = \frac{C_V dT}{T} + \frac{nR dV}{V}$$

$$\text{Avec : } \Delta S = \int_1^2 dS = C_V \cdot \text{Ln} \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + nR \cdot \text{Ln} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Sachant que : $C_V \cdot (\gamma - 1) = nR$, il vient :

$$\Delta S = nR \cdot \left[\frac{1}{(\gamma - 1)} \cdot \text{Ln} \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + \text{Ln} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right]$$

Exercice 2 : Cycle d'une machine thermodynamique

1)

- a) Signe du travail W_{ABC} :

$W_{ABC} < 0$ car : $\int PdV > 0$ le long de ABC (une détente c.à.d. $V \uparrow$) et $W = - \int PdV$

- b) Signe du travail W_{CDA} :

$W_{CDA} > 0$ car : $\int PdV < 0$ le long de CDA (une compression c.à.d. $V \downarrow$) et $W = - \int PdV$

- c) Le cycle ABCDA est **moteur** car parcouru dans le sens des aiguilles d'une montre.



(Facultatif : $|W_{ABC}| > W_{CDA}$: l'aire de la surface sous la courbe ABC > à celui de la surface sous la courbe CDA)

2)

a) $W_{tot.} = -$ air de l'ellipse

$$\text{Soit } W_{tot.} = -\pi \cdot a \cdot b = -\pi \frac{P_0 V_0}{2} \frac{V_0}{2}$$

$$\text{Enfin : } W_{tot.} = -\pi \frac{P_0 V_0}{4}$$

b) $\Delta U = W_{tot.} + Q_{tot.} = 0$ (car U est une fonction d'état)

Il s'ensuit que :

$$Q_{tot.} = +\pi \frac{P_0 V_0}{4}$$

3)

➤ Au point A :

$$P_0 V_0 = RT_A \quad \text{soit : } T_A = \frac{P_0 V_0}{R}$$

➤ Au point B :

$$\frac{3}{2} P_0 \cdot \frac{3}{2} V_0 = RT_B \quad \text{soit : } T_B = \frac{9P_0 V_0}{4R}$$

➤ Au point C :

$$P_0 \cdot 2V_0 = RT_C \quad \text{soit : } T_C = \frac{2P_0 V_0}{R}$$

➤ Au point D :

$$\frac{1}{2} P_0 \cdot \frac{3}{2} V_0 = RT_D \quad \text{soit : } T_D = \frac{3P_0 V_0}{4R}$$

4)

$$\Delta U_{AC} = C_V \cdot (T_C - T_A) = \frac{R}{(\gamma - 1)} \left(\frac{2P_0 V_0}{R} - \frac{P_0 V_0}{R} \right)$$

$$\text{Enfin : } \Delta U_{AC} = \frac{P_0 V_0}{(\gamma - 1)}$$

5)

a. Calcul du travail W_{ABC} :

On a : $|W_{ABC}| = \text{air sous la courbe ABC}$

Soit $|W_{ABC}| = (1/2) \text{ air ellipse} + \text{air rectangle } (A.V_0.2V_0.C)$

Enfin :

$$|W_{ABC}| = \frac{\pi}{8} P_0 V_0 + P_0 V_0$$

$$|W_{ABC}| = P_0 V_0 \left(1 + \frac{\pi}{8}\right)$$

Comme $W_{ABC} < 0$ (voir question 1), il vient donc :

$$W_{ABC} = -P_0 V_0 \left(1 + \frac{\pi}{8}\right)$$

b. Calcul de la chaleur Q_{ABC} :

$$\Delta U_{AC} = W_{ABC} + Q_{ABC} \text{ (Premier principe)}$$

$$\text{Donc : } Q_{ABC} = \Delta U_{AC} - W_{ABC}$$

finalement :

$$Q_{ABC} = \frac{P_0 V_0}{(\gamma - 1)} + P_0 V_0 \left(1 + \frac{\pi}{8}\right)$$

6) Variation d'entropie ΔS_{AC} entre A et C :

$$dS = \frac{C_V dT}{T} + \frac{R dV}{V}$$

$$\text{Soit : } \Delta S_{AC} = \int_A^C dS = C_V \cdot \text{Ln} \left(\frac{T_C}{T_A} \right) + R \cdot \text{Ln} \left(\frac{V_C}{V_A} \right)$$

$$\Delta S_{AC} = \frac{R}{(\gamma - 1)} \text{Ln} 2 + R \text{Ln} 2$$

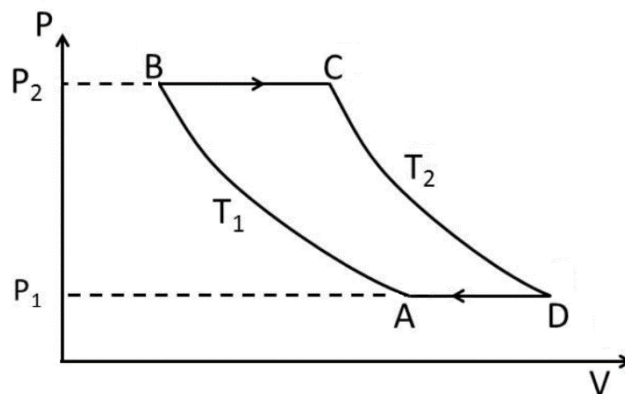
$$\Delta S_{AC} = \frac{\gamma \cdot R}{(\gamma - 1)} \text{Ln} 2$$



Exercice 3 : Cycle d'Ericsson



1) Représentation du cycle sur un Diagramme de Clapeyron.



2) Valeurs numériques de T_1 et du volume pour chacun des états B, C et D.

$$T_1 = T_A = \frac{P_A V_A}{nR} \quad \text{soit} \quad T_1 = 300,7 \text{ K}$$

$$V_B = \frac{nRT_1}{P_2} \quad \text{soit} : \quad V_B = 10 \text{ l}$$

$$V_C = \frac{nRT_2}{P_2} \quad \text{soit} : \quad V_C = 40 \text{ l}$$

$$V_D = \frac{nRT_2}{P_1} \quad \text{soit} : \quad V_D = 200 \text{ l}$$

3) Travaux W_1, W_2, W_3, W_4 et quantités de chaleur Q_1, Q_2, Q_3 et Q_4

• Étape ① :

$$W_1 = - \int_A^B P dV = -nRT_1 \int_A^B \frac{dV}{V} = nRT_1 \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$$

Or :

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{P_B}{P_A} = x$$

Donc :

$$W_1 = nRT_1 \ln(x)$$

Par ailleurs, la 1ere loi de Joule s'écrit :

$$\Delta U_1 = \Delta U_{AB} = 0$$

Donc

$$Q_1 = -W_1 = -nRT_1 \ln(x)$$



- Étape ② :

$$W_2 = - \int_B^C P dV = -P_2(V_C - V_B)$$

$$W_2 = -nR(T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = \frac{n \cdot R \cdot \gamma}{(\gamma - 1)} (T_2 - T_1)$$

- Étape ③ :

$$W_3 = - \int_C^D P dV = -nRT_2 \int_C^D \frac{dV}{V} = -nRT_2 \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$$

Or :

$$\frac{V_D}{V_C} = \frac{P_C}{P_D} = x$$

Donc :

$$W_3 = -nRT_2 \ln(x)$$

Par ailleurs, la 1ere loi de Joule s'écrit :

$$\Delta U_3 = \Delta U_{CD} = 0$$

Donc

$$Q_3 = -W_3 = +nRT_2 \ln(x)$$

- Étape ④ :

$$W_4 = - \int_D^A P dV = -P_1(V_A - V_D) = P_1(V_D - V_A)$$

$$W_4 = +nR(T_2 - T_1)$$

$$Q_4 = C_p \cdot (T_1 - T_2)$$

$$Q_4 = - \frac{n \cdot R \cdot \gamma}{(\gamma - 1)} (T_2 - T_1)$$

4)

a. A.N. :

$W_1(\text{J})$	8047,25	$Q_1(\text{J})$	-8047,25
$W_2(\text{J})$	-14953,56	$Q_2(\text{J})$	52337,46
$W_3(\text{J})$	-32114,08	$Q_3(\text{J})$	32114,08
$W_4(\text{J})$	14953,56	$Q_4(\text{J})$	-52337,46
$W_{\text{cycle}}(\text{J})$	-24066,8	$Q_{\text{cycle}}(\text{J})$	24066,8

$$W_{\text{cycle}} = -nR(T_2 - T_1)Lnx$$

b.

Le cycle reçoit de la chaleur au niveau des étapes ② et ③ donc : $Q_r = Q_2 + Q_3$

Soit : $Q_r \text{ (J)} = 84451,54$

c.

Il s'agit bien d'un **cycle moteur** car : $W_{\text{cycle}} < 0$

5)

a) Le rendement η d'un moteur est donné par :

$$\eta = \frac{\text{Energie Produite}}{\text{Chaleur Recue}}$$

Soit

$$\eta = \frac{-W_{\text{cycle}}}{Q_2 + Q_3}$$

Soit

$$\eta = \frac{(T_2 - T_1)Lnx}{\frac{\gamma}{(\gamma - 1)}(T_2 - T_1) + T_2 \ln(x)}$$

A.N. :

$$\eta = 0,285 \text{ (Soit } \sim 28,5 \% \text{)}$$

b)

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad \text{A.N.: } \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{300,7}{1200}, \text{ soit } \eta_{\text{Carnot}} = 0,75 \text{ (} \eta_{\text{Carnot}} \sim 75 \% \text{)}$$

c) Etant donné le théorème de Carnot, on vérifie bien que : $\eta_{\text{Ericsson}} < \eta_{\text{Carnot}}$

F I N



Examen de Thermodynamique SR 2020

FSA - Filière : SMAI1- Session Rattrapage – Jan. 2020



Exercice I : Questions de cours (durée conseillée : 30mn).

1) Pour un gaz parfait, on peut écrire :

$$dU = C_1 dT$$

$$dU = mC_2 dT$$

$$dU = nC_3 dT$$

Où m est la masse du gaz parfait et n son nombre de moles

a) Définir C_1 , C_2 et C_3 .

b) Écrire les relations de Mayer correspondantes.

2) a) Démontrer que dans le cas d'une transformation adiabatique réversible, l'état du gaz parfait est décrit par l'équation d'état : $TV^{(\gamma-1)} = Cte$.

b) En déduire que cette équation peut aussi s'écrire sous la forme :

$$PV^\gamma = Cte \text{ ou encore } TP^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} = Cte.$$

3) L'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que de la température. Si au cours d'une transformation $\Delta U = 0$, s'agit-il d'une isotherme ? Justifiez votre réponse.

Exercice 2 (durée conseillée :1h)

On considère une machine ditherme fonctionnant entre deux sources de chaleur de températures respectives T_1 et T_2 . Le fluide de cette machine, assimilé à un gaz parfait de n moles et de constante γ , décrit un cycle ditherme composé des transformations réversibles suivantes :

✓ $A \rightarrow B$: Compression adiabatique de V_A à V_B .

✓ $B \rightarrow C$: Compression isotherme de V_B à V_C à la température T_1 .

✓ $C \rightarrow D$: Détente adiabatique de V_C à V_D .

✓ $D \rightarrow A$: Détente isotherme de V_D à V_A ($V_A > V_D$) à la température T_2 .

1.

a) Représenter ce cycle dans le diagramme de Clapeyron et dans le diagramme (T, S).

b) Qu'appelle-t-on ce cycle?

c) Que représente l'aire du cycle dans le diagramme (P , V).

d) En déduire la nature de ce cycle ditherme.



2.

- a) Déterminer les expressions des travaux W_{AB} , W_{BC} , W_{CD} et W_{DA} échangés lors de ces transformations en fonction de T_1 , T_2 , V_B , V_C et V_D .
- b) En déduire le travail total W échangé par le système lors du cycle.

3.

- a) Déterminer les quantités de chaleur échangées lors de chacune de ces transformations. On notera Q_1 et Q_2 les quantités de chaleur échangées par le système respectivement avec la source chaude de température T_1 et froide de température T_2 . Et déduire le signe de Q_1 et Q_2 .
- b) Retrouver l'expression du travail W de la question 2-b)

4.

- a) Déterminer la variation d'entropie du système pour chacune des transformations du cycle.
- b) Montrer que la variation d'entropie ΔS du cycle est nulle.

5.

- a) Exprimer le rapport $\frac{\text{Gains}}{\text{Dépenses}}$ de cette machine en fonction de Q_1 et Q_2 . Étudier les deux cas possibles.
- b) En utilisant la relation de Clausius, exprimer ce rapport en fonction de T_1 et T_2 .

6.

- a) Déterminer les variations d'entropie ΔS_1 et ΔS_2 des sources de chaleur de températures respectivement T_1 et T_2 .
- b) Vérifier que la variation d'entropie $\Delta S_T = \Delta S_{\text{système}} + \Delta S_1 + \Delta S_2 = 0$. Conclusion.

7.

On suppose que la transformation BC est irréversible.

- a) Quelle est l'expression de la variation d'entropie ΔS_{BC} .
- b) Déterminer alors l'expression de l'entropie créée au cours de cette transformation.

Corrigé Examen de Thermodynamique SR 2020- FSA – Agadir



Exercice 1 :

1) a) Définir C_1 , C_2 et C_3 .

- C_1 : capacité calorifique à volume constant (C_V)
- C_2 : chaleur massique à volume constant (c_V)
- C_3 : chaleur spécifique molaire à volume constant (c_{MV})

b) Écrire les relations de Mayer correspondantes.

- Calorifique : $C_P - C_V = nR$ (M : masse molaire du gaz parfait)
- Massique : $m(c_P - c_V) = nR$ ou $(c_P - c_V) = R/M$ (m : masse étant connue)
- Molaire : $c_{Mp} - c_{Mv} = R$

2) a) Démontrer que dans le cas d'une transformation adiabatique réversible, l'état du gaz parfait est décrit par l'équation d'état : $TV^{\gamma-1} = Cte$.

Transformation adiabatique réversible : $\delta Q = n \frac{R}{\gamma-1} dT + PdV = 0 \rightarrow n \frac{R}{\gamma-1} dT = -PdV = -\frac{nRT}{V} dV$

$$\frac{dT}{T(\gamma-1)} = -\frac{dV}{V} \rightarrow \ln T = -\ln V^{\gamma-1} + Cte \rightarrow TV^{\gamma-1} = Cte$$

b) En déduire que cette équation peut aussi s'écrire sous la forme :

$$PV^\gamma = Cte \text{ ou encore } TP^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} = Cte.$$

$$TV^{\gamma-1} = \frac{PV}{nR} V^{\gamma-1} = \frac{PV^\gamma}{nR} = Cte \Rightarrow PV^\gamma = cte \text{ et}$$

$$TV^{\gamma-1} = T \left(\frac{nRT}{P}\right)^{\gamma-1} = Cte \Rightarrow T^\gamma P^{1-\gamma} = cte$$

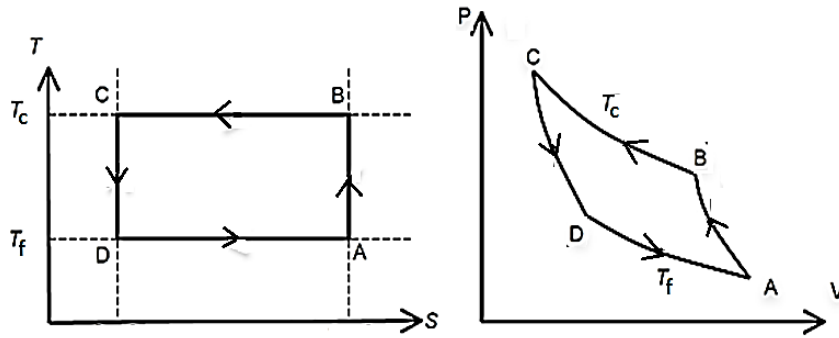
c) L'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que de la température. Si au cours d'une transformation $\Delta U = 0$, s'agit-il d'une isotherme ? Justifiez votre réponse.

Pour un gaz parfait, $\Delta U = 0 \Rightarrow T_f = T_i$ mais les états intermédiaires ne sont pas forcément à $T = Cte$ et donc la réponse est **non**, on peut avoir $\Delta U = 0$ sans qu'il s'agisse d'une transformation isotherme.

Exercice 2:

1.

a) Représenter ce cycle dans le diagramme de Clapeyron et dans le diagramme (T, S) .



b) *Qu'appelle-t-on ce cycle ?*

⇒ Ce cycle est le cycle de Carnot

c) *Que représente l'aire du cycle dans le diagramme (P, V).*

L'aire du cycle est proportionnelle au travail échangé par le système au cours du cycle.

d) *En déduire la nature de ce cycle ditherme.*

Le cycle est parcouru dans le sens contraire des aiguilles d'une montre,

⇒ Le travail est positif, $W > 0$, le cycle est donc **récepteur**.

2.

a) *Déterminer les expressions des travaux W_{AB} , W_{BC} , W_{CD} et W_{DA} échangés lors de ces transformations en fonction de T_1 , T_2 , V_B , V_C et V_D .*

$$AB: \text{adiabatique} \Rightarrow \delta Q_{AB} = 0 \Rightarrow \delta W_{AB} = dU_{AB} = n c_V dT W_{AB} = \int_{T_2}^{T_1} n c_V dT = n c_V (T_1 - T_2)$$

$$BC: \text{isotherme} \Rightarrow \delta W_{BC} = -PdV \Rightarrow W_{BC} = - \int_{V_B}^{V_C} nR T_1 \frac{dV}{V} = nRT_1 \ln \frac{V_B}{V_C}$$

$$CD: \text{adiabatique} \Rightarrow \delta Q_{CD} = 0 \Rightarrow \delta W_{CD} = dU_{CD} = n c_V dT W_{CD} = \int_{T_1}^{T_2} n c_V dT = n c_V (T_2 - T_1)$$

$$DA: \text{isotherme} \Rightarrow \delta W_{DA} = -PdV \Rightarrow W_{DA} = - \int_{V_D}^{V_A} nRT_2 \frac{dV}{V} = nRT_2 \ln \frac{V_D}{V_A}$$

b) *En déduire le travail total W échangé par le système lors du cycle.*

$$W = n c_V (T_1 - T_2) + nRT_1 \ln \frac{V_B}{V_C} + n c_V (T_2 - T_1) + nRT_2 \ln \frac{V_D}{V_A} = nRT_1 \ln \frac{V_B}{V_C} + nRT_2 \ln \frac{V_D}{V_A}$$

3.

a) *Déterminer les quantités de chaleur échangées lors de chacune de ces transformations. On notera Q_1 et Q_2 les quantités de chaleur échangées par le système respectivement avec les sources de températures T_1 et T_2 et déduire le signe de Q_1 et Q_2 .*

$$Q_{AB} = Q_{CD} = 0 \text{ (transformations adiabatiques)}$$

BC : isotherme, $\delta Q_{BC} = -\delta W_{BC} \Rightarrow Q_{BC} = -W_{BC} = nRT_1 \ln \frac{V_C}{V_B} = Q_1$ ($Q_1 < 0$)

De même DA : isotherme, $\delta Q_{DA} = -\delta W_{DA} \Rightarrow Q_{DA} = -W_{DA} = nRT_2 \ln \frac{V_A}{V_D} = Q_2$ ($Q_2 > 0$)



b) Retrouver l'expression du travail W de la question 2-b)

Dans le cas du cycle : $\Delta U = 0 \Rightarrow W = -(Q_{BC} + Q_{DA}) = -(Q_1 + Q_2) = nRT_1 \ln \frac{V_B}{V_C} + nRT_2 \ln \frac{V_D}{V_A}$

4.

a) Déterminer la variation d'entropie du système pour chacune des transformations du cycle.

Transformations AB et CD adiabatiques, $Q_{AB} = Q_{CD} = 0 \Rightarrow \Delta S_{AB} = \Delta S_{CD} = 0$

Transformation BC : $dS_{BC} = \frac{\delta Q^{rev}}{T} = \frac{PdV}{T} = nR \frac{dV}{V} \Rightarrow \Delta S_{BC} = nR \ln \frac{V_C}{V_B}$

Transformation DA : $dS_{DA} = \frac{\delta Q^{rev}}{T} = \frac{PdV}{T} = nR \frac{dV}{V} \Rightarrow \Delta S_{DA} = nR \ln \frac{V_A}{V_D}$

b) Montrer que la variation d'entropie ΔS du cycle est nulle.

$\Delta S = \Delta S_{AB} + \Delta S_{BC} + \Delta S_{CD} + \Delta S_{DA} = \Delta S_{BC} + \Delta S_{DA} = nR \ln \frac{V_C}{V_B} + nR \ln \frac{V_A}{V_D}$

$T_2 V_A^{\gamma-1} = T_1 V_B^{\gamma-1}$ et $T_1 V_C^{\gamma-1} = T_2 V_D^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{V_C}{V_B} = \frac{V_D}{V_A}$

$\Delta S = nR \ln \frac{V_C}{V_B} + nR \ln \frac{V_A}{V_D} = nR \ln \left(\frac{V_C}{V_B} \times \frac{V_A}{V_D} \right) = 0$ (transformation cyclique).

5.

a) Exprimer le rapport $\frac{\text{Gains}}{\text{Dépenses}}$ de cette machine en fonction de Q_1 et Q_2 . Étudier les deux cas possibles.

Le cycle est récepteur, alors deux cas se présentent :

1) Pompe à chaleur : $\frac{\text{Gains}}{\text{Dépenses}} = -\frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \rho$: performance

2) Réfrigérateur : $\frac{\text{Gains}}{\text{Dépenses}} = \frac{Q_2}{W} = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = \varepsilon$: efficacité

b) En utilisant la relation de Clausius, exprimer ce rapport en fonction de T_1 et T_2 .

La relation de Clausius est donnée par : $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$

$\rho = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{1}{1 + \frac{Q_2}{Q_1}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$ et $\varepsilon = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = -\frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} + 1} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

6.

a) Déterminer les variations d'entropie ΔS_1 et ΔS_2 des sources de chaleur de températures respectivement T_1 et T_2 .

Au cours de la transformation BC, la source 1 a échangé avec le système l'entropie : $\Delta S_1 = \frac{-Q_1}{T_1} > 0$

Au cours de la transformation DA, la source 2 a échangé avec le système l'entropie :

$$\Delta S_2 = \frac{-Q_2}{T_2} < 0$$

b) Vérifier que la variation d'entropie totale $\Delta S_T = \Delta S_{\text{système}} + \Delta S_1 + \Delta S_2 = 0$. Conclusion.

$$\Delta S_T = \Delta S_{\text{système}} + \Delta S_1 + \Delta S_2 = 0 \quad (\Delta S_{\text{système}} = 0 \text{ et } \Delta S_1 + \Delta S_2 = 0) \quad (\text{égalité de Clausius})$$

Conclusion : le système et les deux sources forment un système isolé et qui est le siège de transformations réversibles car $\Delta S_T = S^c = 0$

7. On suppose que la transformation BC est irréversible.

a) Quelle est l'expression de la variation d'entropie ΔS_{BC} .

La transformation BC était isotherme, la nouvelle transformation est **irréversible** et puisque S est une fonction d'état :

$$\Delta S_{BC} = \Delta S_{BC}^c = nR \ln \frac{V_C}{V_B}$$

b) Déterminer alors l'expression de l'entropie créée au cours de cette transformation

$$\Delta S_{BC} = \Delta S_{BC}^c + \Delta S_{BC}^e \Rightarrow \Delta S_{BC}^e = \Delta S_{BC} - \Delta S_{BC}^c$$

$$\text{avec } \Delta S_{BC}^e = \frac{Q^{irr}}{T_1}$$

$$\text{et } Q^{irr} = \Delta U - W^{irr} = 0 - P_C(V_C - V_B) = P_C(V_B - V_C) = P_C V_C \left(\frac{V_B}{V_C} - 1 \right) = nRT_1 \left(\frac{V_B}{V_C} - 1 \right)$$

$$\text{donc : } \Delta S_{BC}^e = \frac{Q^{irr}}{T_1} = nR \left(\frac{V_B}{V_C} - 1 \right)$$

$$\Delta S_{BC}^e = nR \ln \frac{V_C}{V_B} - nR \left(\frac{V_B}{V_C} - 1 \right).$$



Examen de Thermodynamique SN 2021

FSA - Filière : SMPC1- Session NORMALE –



Exercice 1 : Questions de cours (durée conseillée 20 min)

1. Le deuxième principe de la thermodynamique (dit aussi principe d'évolution) précise le sens d'une transformation et définit une fonction d'état :

- a) H appelée enthalpie b) S appelée entropie c) U appelée énergie interne
d) W appelé travail des forces e) Q dite chaleur

2. L'unité de l'entropie dans le système international (S.I.) est :

- a) $Joule/kg$ b) $Joule.Kelvin$ c) $Joule/Kelvin$
d) $Joule/^\circ C$ e) $Watt/Kelvin$

3. La variation sur un cycle de l'entropie totale S d'un système est toujours :

- a) *positive* b) *négative* c) *Positive ou nulle*
d) *Nulle* e) *négative ou nulle*

4. L'entropie interne, créée à l'intérieur du système est toujours :

- a) *positive* b) *négative* c) *Positive ou nulle*
d) *Nulle* e) *négative ou nulle*

5. L'entropie d'un système est une grandeur physique :

- a) *extensive* b) *intensive* c) *Constante*
d) *définit à une constante près* e) *infini*

6. Une transformation isentropique est une transformation :

- a) *Réversible et isotherme* b) *Adiabatique parfois* c) *Adiabatique et réversible*
d) *Réversible et rapide* e) *Irréversible et adiabatique*

7. La variation d'entropie d'un gaz parfait, lors d'une transformation réversible, dépend :

- a) *Seulement de sa température* b) *de deux variables d'états (P, T)* c) *de trois variables d'états (P, V, T)*
d) *de deux variables d'états (P, V)* e) *Seulement du volume V*

8. Au niveau microscopique, l'entropie d'un système est liée :

- a) *A l'agitation des molécules* b) *Aux chocs des molécules* c) *Au désordre des particules*
d) *aucune réponse correct* e) *à la structure des particules*



9. L'échelle **absolue** de la température thermodynamique T est caractérisée par :

- a) Deux points fixes de l'eau b) Des valeurs de $T < 0$ c) Un seul point fixe : point triple de l'eau
- d) Des valeurs de T négatives et positives e) Des valeurs positives de T

10. Le diagramme (T, S) permet de représenter graphiquement la grandeur suivante :

- a) La température de la source b) Le travail mécanique c) L'énergie interne
- d) La chaleur échangée e) L'entropie créée à l'intérieur du syst.

Exercice 2 : transformation élémentaire réversible

On considère un gaz parfait subissant une transformation élémentaire *réversible*. On notera les variations élémentaires dT , dP , dV de la température, de la pression et du volume. U , H , Q , W et S étant respectivement l'énergie interne, l'enthalpie, la quantité de chaleur, le travail et l'entropie.

11. Lors de cette transformation, le travail élémentaire des forces de pression extérieure, est donné par :

- a) $dW = -P_{ext}dV$ b) $\delta W = -PdV$ c) $dW = -PdV$
- d) $\delta W = -VdP$ e) $\delta W = P_{ext}dV$

12. La capacité calorifique à pression constante est définie par :

- a) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_p$ b) $C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$ c) $C_p = \left(\frac{dU}{dT}\right)_p$
- d) $C_p = \left(\frac{dH}{dT}\right)_p$ e) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_p$

13. La capacité calorifique à volume constant est définie par :

- a) $C_v = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_V$ b) $C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V$ c) $C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V$
- d) $C_v = \left(\frac{dH}{dT}\right)_V$ e) $C_v = \left(\frac{\delta W}{dT}\right)_V$

14. La quantité de chaleur est donnée par :

- a) $\delta Q = C_p dT + TdP$ b) $\delta Q = C_p dT + PdV$ c) $\delta Q = C_v dT - PdV$
- d) $\delta Q = C_v dT + PdV$ e) $\delta Q = C_p dT$



15. La variation d'entropie dS est définie par :

- a) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T} \right) + R \cdot \left(\frac{dV}{V} \right)$ b) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T} \right) - R \cdot \left(\frac{dV}{V} \right)$ c) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T} \right)$
 d) $dS = C_p \left(\frac{dT}{T} \right) + R \cdot \left(\frac{dP}{P} \right)$ e) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T} \right) + R \cdot \left(\frac{dP}{P} \right)$

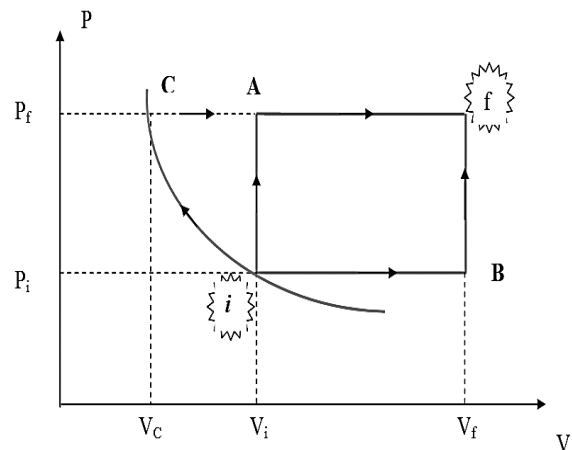
Exercice 3 : Premier principe (durée conseillée 50 min)

On considère 1 mole d'un gaz parfait monoatomique, subissant des transformations thermodynamiques réversibles qui le font passer d'un état initial noté i à un état final noté f . On se propose de déterminer le travail échangé, la quantité de chaleur échangée et la variation de l'énergie interne du système lorsqu'il passe de son état initial i à son final f en empruntant différents chemins. Voir figure.

On considère les trois chemins suivants :

- $i \Rightarrow A \Rightarrow f$: une isochore suivie d'une isobare.
- $i \Rightarrow B \Rightarrow f$: une isobare suivie d'une isochore.
- $i \Rightarrow C \Rightarrow f$: une isotherme suivie d'une isobare.

On supposera que $P_f = 3 P_i$; $V_f = 2 V_i$; $C_V = 3R/2$ et $C_P = 5R/2$ où R est la constante des gaz parfaits.



A. Coordonnées thermodynamiques

16. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point f en fonction de P_i , V_i , T_i sont :

- a) $(3P_i, 2V_i, 5T_i)$ b) $(2P_i, 3V_i, 6T_i)$ c) $(2P_i, 4V_i, 6T_i)$
 d) $(2P_i, 2V_i, 3T_i)$ e) $(3P_i, 2V_i, 6T_i)$

17. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point A en fonction de P_i , V_i , T_i sont :

- a) $(P_i, 3V_i, T_i)$ b) $(2P_i, 3V_i, 3T_i)$ c) $(P_i, V_i, 3T_i)$
 d) $(3P_i, V_i, 3T_i)$ e) $(3P_i, 3V_i, T_i)$

18. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point B en fonction de P_i , V_i , T_i sont :

- a) $(P_i, 2V_i, 2T_i)$ b) $(2P_i, V_i, 2T_i)$ c) $(2P_i, 2V_i, 1T_i)$
 d) $(2P_i, 2V_i, 2T_i)$ e) $(P_i, 2V_i, T_i)$

19. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point C en fonction de P_i , V_i , T_i sont :

- a) $(3P_i, V_i, T_i)$ b) $(3P_i, 3V_i, T_i)$ c) $(3P_i, V_i/3, T_i)$
 d) $(3P_i, 2V_i/3, T_i)$ e) $(P_i, 3V_i, T_i/3)$



A. Travaux échangés

20. Le travail W_{iAf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow A \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $W_{iAf} = -(1/4)P_iV_i$ b) $W_{iAf} = -(1/2)P_iV_i$ c) $W_{iAf} = 3P_iV_i$
 d) $W_{iAf} = -3P_iV_i$ e) $W_{iAf} = (1/2)P_iV_i$

21. Le travail W_{iBf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow B \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $W_{iBf} = -(1/4)P_iV_i$ b) $W_{iBf} = -P_iV_i$ c) $W_{iBf} = +P_iV_i$
 d) $W_{iBf} = -(1/2)P_iV_i$ e) $W_{iBf} = (1/2)P_iV_i$

22. Le travail W_{iCf} échangé lors de la transf $i \Rightarrow C \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $W_{iCf} = -(ln3 - 5)RT_i$ b) $W_{iCf} = (ln3 - 5)RT_i$ c) $W_{iCf} = -(ln2 - 3)RT_i$
 d) $W_{iCf} = (ln2 - 3)RT_i$ e) $W_{iCf} = -(ln3 - ln2)RT_i$

23. Sans faire de calcul, un étudiant suggéra que « le travail $|W_{iBf}| < |W_{iAf}|$ » ; Est-ce que vous êtes d'accord avec cette affirmation ?

- a) **Oui**, car dW est une D.T.E. b) **Non**, car δW n'est pas une D.T.E. c) **Oui**, car graphiquement la surface sous le chemin iBf est plus petite comparée à celles sous iAf
 d) **Non**, car le chemin parcourus lors de iBf et plus court que iAf. e) **Aucune idée**, il faut d'abord faire les calculs ensuite comparer les travaux.

B. Quantités de chaleur échangée

On rappelle que la quantité de chaleur échangée lors d'une transformation réversible peut s'écrire :

$$\delta Q = C_V dT + l dV \quad (1); \quad \delta Q = C_P dT + h dP \quad (2)$$

24. La chaleur Q_{iAf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow A \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $Q_{iAf} = 2C_V T_i + 3C_P T_i$ b) $Q_{iAf} = 3C_V T_i + 2C_P T_i$ c) $Q_{iAf} = 2C_V T_i - 3C_P T_i$
 d) $Q_{iAf} = (21/2)RT_i$ e) $Q_{iAf} = (-9/2)RT_i$



25. La chaleur Q_{iBf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow B \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $Q_{iBf} = C_V T_i + 4C_P T_i$ b) $Q_{iBf} = 4C_V T_i + C_P T_i$ c) $Q_{iBf} = C_V T_i - 4C_P T_i$
 d) $Q_{iBf} = (-7/2)RT_i$ e) $Q_{iBf} = (17/2)RT_i$

26. La chaleur Q_{iCf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow C \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $Q_{iCf} = \left[\left(\frac{25}{2} \right) - \ln 3 \right] RT_i$ b) $Q_{iCf} = \left[\left(\frac{25}{2} \right) + \ln 3 \right] RT_i$ c) $Q_{iCf} = \left[\left(\frac{21}{2} \right) - \ln 5 \right] RT_i$
 d) $Q_{iCf} = \left[\left(\frac{25}{3} \right) - \ln 2 \right] RT_i$ e) $Q_{iCf} = \left[\left(\frac{25}{3} \right) + \ln 2 \right] RT_i$

C. Bilan énergétique : variation de l'énergie interne

27. La variation d'énergie interne ΔU_{iAf} lors de la transf. $i \Rightarrow A \Rightarrow f$ s'exprime par :

- a) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{15}{2} \right) RT_i$ b) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{19}{2} \right) RT_i$ c) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{23}{2} \right) RT_i$
 d) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{25}{2} \right) RT_i$ e) $\Delta U_{iAf} = - \left(\frac{17}{2} \right) RT_i$

28. La variation d'énergie interne ΔU_{iBf} lors de la transf. $i \Rightarrow B \Rightarrow f$ s'exprime par :

- a) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{25}{2} \right) RT_i$ b) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{23}{2} \right) RT_i$ c) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{19}{2} \right) RT_i$
 d) $\Delta U_{iBf} = - \left(\frac{17}{2} \right) RT_i$ e) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{15}{2} \right) RT_i$

29. La variation d'énergie interne ΔU_{iCf} lors de la transf. $i \Rightarrow C \Rightarrow f$ s'exprime par :

- a) $\Delta U_{iCf} = \left(\frac{23}{2} \right) RT_i$ b) $\Delta U_{iCf} = \left(\frac{21}{2} \right) RT_i$ c) $\Delta U_{iCf} = \left(\frac{15}{2} \right) RT_i$
 d) $\Delta U_{iCf} = \left(\frac{19}{2} \right) RT_i$ e) $\Delta U_{iCf} = - \left(\frac{17}{2} \right) RT_i$

30. Dans cette question, on considère le cycle (iAfBi) $i \Rightarrow A \Rightarrow f \Rightarrow B \Rightarrow i$. Le travail total W_{tot} échangé par le système lors de ce cycle est alors :

- a) $W_{tot} = -2P_i V_i$ b) $W_{tot} = P_i V_i$ c) $W_{tot} = -3P_i V_i$
 d) $W_{tot} = 2P_i V_i$ e) $W_{tot} = 0$

31. Le cycle (iAfBi) $i \Rightarrow A \Rightarrow f \Rightarrow B \Rightarrow i$. est un cycle :

- a) de Carnot moteur b) de Carnot récepteur c) d'une PAC récepteur
 d) de réfrigérateur récepteur e) aucune réponse ne convient

32. La variation d'enthalpie H totale du cycle (iAfBi) est :

- a) toujours nulle b) toujours positive ou nulle c) parfois négative
 d) parfois positive e) aucune réponse ne convient

33. Une transformation *isochore réversible* est représentée par une fonction exponentielle - dans le diagramme entropique (T, S)- de la forme : $T = a \cdot \exp(b.S)$ où a , b sont des constantes. L'expression de b est :

a) $b=Cv$

b) $b=1/Cv$

c) $b=Cp-Cv$

d) $b=Cp$

e) $b=1/Cp$



Corrigé Examen de Thermodynamique SN 2021- FSA – Agadir



Exercice 1 : (les réponses correctes sont encadrées avec fond gris)

1. Le deuxième principe de la thermodynamique (dit aussi principe d'évolution) précise le sens d'une transformation et définit une fonction d'état :

- a) H appelée enthalpie **b) S appelée entropie** c) U appelée énergie interne
d) W appelé travail des forces e) Q dite chaleur

2. L'unité de l'entropie dans le système international (S.I.) est :

- a) $Joule/kg$ b) $Joule.Kelvin$ **c) $Joule/Kelvin$**
d) $Joule/^\circ C$ e) $Watt/Kelvin$

3. La variation sur un cycle de l'entropie totale S d'un système est toujours :

- a) *positive* b) *négative* c) *Positive ou nulle*
d) *nulle* e) *Négative ou nulle*

4. L'entropie interne, créée à l'intérieur du système est toujours :

- a) *positive* b) *négative* **c) *Positive ou nulle***
d) *nulle* e) *négative ou nulle*

5. L'entropie d'un système est une grandeur physique :

- a) *Extensive*** b) *intensive* c) *Constante*
d) *Définit à une constante près* e) *Infini*

6. Une transformation isentropique est une transformation :

- a) *Réversible et isotherme* b) *Adiabatique parfois* **c) *Adiabatique et réversible***
d) *Réversible et rapide* e) *Irréversible et adiabatique*

7. La variation d'entropie d'un gaz parfait, lors d'une transformation réversible, dépend :

- a) *Seulement de sa température* **b) *de deux variables d'états (P, T)*** c) *de trois variables d'états (P, V, T)*
d) *de deux variables d'états (P, V)* e) *Seulement du volume V*



8. Au niveau microscopique, l'entropie d'un système est liée :

- a) *A l'agitation des molécules* b) *Aux chocs des molécules* c) *Au désordre des particules*
 d) *aucune réponse correct* e) *à la structure des particules*

9. L'échelle absolue de la température thermodynamique T est caractérisée par :

- a) *Deux points fixes de l'eau* b) *Des valeurs de $T < 0$* c) *Un seul point fixe : point triple de l'eau*
 d) *des valeurs de T négatives et positives* e) *Des valeurs positives de T*

10. Le diagramme (T, S) permet de représenter graphiquement la grandeur suivante :

- a) *La température de la source* b) *Le travail mécanique* c) *L'énergie interne*
 d) *La chaleur échangée* e) *L'entropie créée à l'intérieur du syst.*

Exercice 2 : transformation élémentaire réversible (durée conseillée 20 min)

On considère un gaz parfait subissant une transformation élémentaire réversible. On notera les variations élémentaires dT, dP, dV de la température, de la pression et du volume. U, H, Q, W et S étant respectivement l'énergie interne, l'enthalpie, la quantité de chaleur, le travail et l'entropie.

11. Lors de cette transformation, le travail élémentaire des forces de pression extérieure, est donné par :

- a) $dW = -P_{ext}dV$ b) $\delta W = -PdV$ c) $dW = -PdV$
 d) $\delta W = -VdP$ e) $\delta W = P_{ext}dV$

12. La capacité calorifique à pression constante est définie par :

- a) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_p$ b) $C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$ c) $C_p = \left(\frac{dU}{dT}\right)_p$
 d) $C_p = \left(\frac{dH}{dT}\right)_p$ e) $C_p = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_p$

13. La capacité calorifique à volume constant est définie par :

- a) $C_v = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_v$ b) $C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_v$ c) $C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$
 d) $C_v = \left(\frac{dH}{dT}\right)_v$ e) $C_v = \left(\frac{\delta W}{dT}\right)_v$



14. La quantité de chaleur est donnée par :

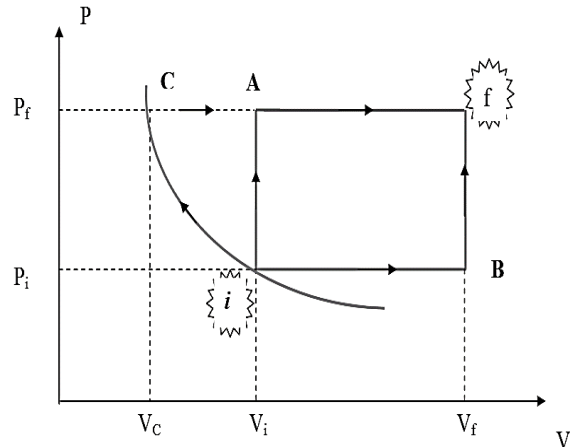
- a) $\delta Q = C_p dT + T dP$ b) $\delta Q = C_p dT + P dV$ c) $\delta Q = C_v dT - P dV$
d) $\delta Q = C_v dT + P dV$ e) $\delta Q = C_p dT$

15. La variation d'entropie dS est définie par :

- a) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T}\right) + R \cdot \left(\frac{dV}{V}\right)$ b) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T}\right) - R \cdot \left(\frac{dV}{V}\right)$ c) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T}\right)$
 d) $dS = C_p \left(\frac{dT}{T}\right) + R \cdot \left(\frac{dP}{P}\right)$ e) $dS = C_v \left(\frac{dT}{T}\right) + R \cdot \left(\frac{dP}{P}\right)$

Exercice 3 : Premier principe

On considère 1 mole d'un gaz parfait monoatomique, subissant des transformations thermodynamiques réversibles qui le font passer d'un état initial noté i à un état final noté f . On se propose de déterminer le travail échangé, la quantité de chaleur échangée et la variation de l'énergie interne du système lorsqu'il passe de son état initial i à son final f en empruntant différents chemins. Voir figure.



On considère les trois chemins suivants :

- $i \Rightarrow A \Rightarrow f$: une isochore suivie d'une isobare.
- $i \Rightarrow B \Rightarrow f$: une isobare suivie d'une isochore.
- $i \Rightarrow C \Rightarrow f$: une isotherme suivie d'une isobare.

On supposera que $P_f = 3 P_i$; $V_f = 2 V_i$; $C_v = 3R/2$ et $C_p = 5R/2$ où R est la constante des gaz parfaits.

B. Coordonnées thermodynamiques

16. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point f en fonction de P_i, V_i, T_i sont :

- a) $(3P_i, 2V_i, 5T_i)$ b) $(2P_i, 3V_i, 6T_i)$ c) $(2P_i, 4V_i, 6T_i)$
 d) $(2P_i, 2V_i, 3T_i)$ **e) $(3P_i, 2V_i, 6T_i)$**

17. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point A en fonction de P_i, V_i, T_i sont :

- a) $(P_i, 3V_i, T_i)$ b) $(2P_i, 3V_i, 3T_i)$ c) $(P_i, V_i, 3T_i)$
d) $(3P_i, V_i, 3T_i)$ e) $(3P_i, 3V_i, T_i)$



18. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point **B** en fonction de P_i , V_i , T_i sont :

- a) $(P_i, 2V_i, 2T_i)$ b) $(2P_i, V_i, 2T_i)$ c) $(2P_i, 2V_i, 1T_i)$
 d) $(2P_i, 2V_i, 2T_i)$ e) $(P_i, 2V_i, T_i)$

19. Les coordonnées thermodynamiques (P, V, T) du point **C** en fonction de P_i , V_i , T_i sont :

- a) $(3P_i, V_i, T_i)$ b) $(3P_i, 3V_i, T_i)$ c) $(3P_i, V_i/3, T_i)$
 d) $(3P_i, 2V_i/3, T_i)$ e) $(P_i, 3V_i, T_i/3)$

D. Travaux échangés

20. Le travail W_{iAf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow A \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $W_{iAf} = -(1/4)P_iV_i$ b) $W_{iAf} = -(1/2)P_iV_i$ c) $W_{iAf} = 3P_iV_i$
 d) $W_{iAf} = -3P_iV_i$ e) $W_{iAf} = (1/2)P_iV_i$

21. Le travail W_{iBf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow B \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $W_{iBf} = -(1/4)P_iV_i$ b) $W_{iBf} = -P_iV_i$ c) $W_{iBf} = +P_iV_i$
 d) $W_{iBf} = -(1/2)P_iV_i$ e) $W_{iBf} = (1/2)P_iV_i$

22. Le travail W_{icf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow C \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- a) $W_{icf} = -(ln3 - 5)RT_i$ b) $W_{icf} = (ln3 - 5)RT_i$ c) $W_{icf} = -(ln2 - 3)RT_i$
 d) $W_{icf} = (ln2 - 3)RT_i$ e) $W_{icf} = -(ln3 - ln2)RT_i$

23. Sans faire de calcul, un étudiant suggéra que « le travail $|W_{iBf}| < |W_{iAf}|$ » ; Est-ce que vous êtes d'accord avec cette affirmation ?

- a) **Oui**, car dW est une D.T.E. b) **Non**, car W n'est pas une D.T.E. c) **Oui**, car graphiquement la surface sous le chemin iBf est plus petite comparée à celles sous iAf
 d) **Non**, car le chemin parcourus lors de iBf et plus court que iAf . e) **Aucune idée**, il faut d'abord faire les calculs ensuite comparer les travaux.

E. Quantités de chaleur échangée

On rappelle que la quantité de chaleur échangée lors d'une transformation réversible peut s'écrire :

$$\delta Q = C_V dT + l dV \quad (1); \quad \delta Q = C_P dT + h dP \quad (2)$$

24. La chaleur Q_{iAf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow A \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :



- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| a) $Q_{iAf} = 2C_V T_i + 3C_P T_i$ | b) $Q_{iAf} = 3C_V T_i + 2C_P T_i$ | c) $Q_{iAf} = 2C_V T_i - 3C_P T_i$ |
| d) $Q_{iAf} = (21/2)RT_i$ | e) $Q_{iAf} = (-9/2)RT_i$ | |

25. La chaleur Q_{iBf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow B \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| a) $Q_{iBf} = C_V T_i + 4C_P T_i$ | b) $Q_{iBf} = 4C_V T_i + C_P T_i$ | c) $Q_{iBf} = C_V T_i - 4C_P T_i$ |
| d) $Q_{iBf} = (-7/2)RT_i$ | e) $Q_{iBf} = (17/2)RT_i$ | |

26. La chaleur Q_{icf} échangé lors de la transf. $i \Rightarrow C \Rightarrow f$ s'exprime en fonction des conditions initiales par :

- | | | |
|--|--|--|
| a) $Q_{icf} = \left[\left(\frac{25}{2} \right) - \ln 3 \right] RT_i$ | b) $Q_{icf} = \left[\left(\frac{25}{2} \right) + \ln 3 \right] RT_i$ | c) $Q_{icf} = \left[\left(\frac{21}{2} \right) - \ln 5 \right] RT_i$ |
| d) $Q_{icf} = \left[\left(\frac{25}{3} \right) - \ln 2 \right] RT_i$ | e) $Q_{icf} = \left[\left(\frac{25}{3} \right) + \ln 2 \right] RT_i$ | |

F. Bilan énergétique : variation de l'énergie interne

27. La variation d'énergie interne ΔU_{iAf} lors de la transf. $i \Rightarrow A \Rightarrow f$ s'exprime par :

- | | | |
|--|--|--|
| a) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{15}{2} \right) RT_i$ | b) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{19}{2} \right) RT_i$ | c) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{23}{2} \right) RT_i$ |
| d) $\Delta U_{iAf} = \left(\frac{25}{2} \right) RT_i$ | e) $\Delta U_{iAf} = - \left(\frac{17}{2} \right) RT_i$ | |

28. La variation d'énergie interne ΔU_{iBf} lors de la transf. $i \Rightarrow B \Rightarrow f$ s'exprime par :

- | | | |
|--|--|--|
| a) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{25}{2} \right) RT_i$ | b) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{23}{2} \right) RT_i$ | c) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{19}{2} \right) RT_i$ |
| d) $\Delta U_{iBf} = - \left(\frac{17}{2} \right) RT_i$ | e) $\Delta U_{iBf} = \left(\frac{15}{2} \right) RT_i$ | |

29. La variation d'énergie interne ΔU_{icf} lors de la transf. $i \Rightarrow C \Rightarrow f$ s'exprime par :

- | | | |
|--|--|--|
| a) $\Delta U_{icf} = \left(\frac{23}{2} \right) RT_i$ | b) $\Delta U_{icf} = \left(\frac{21}{2} \right) RT_i$ | c) $\Delta U_{icf} = \left(\frac{15}{2} \right) RT_i$ |
| d) $\Delta U_{icf} = \left(\frac{19}{2} \right) RT_i$ | e) $\Delta U_{icf} = - \left(\frac{17}{2} \right) RT_i$ | |

30. Dans cette question, on considère le cycle (iAfBi) $i \Rightarrow A \Rightarrow f \Rightarrow B \Rightarrow i$. Le travail total W_{tot} échangé par le système lors de ce cycle est alors :

- | | | |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| a) $W_{tot} = -2P_i V_i$ | b) $W_{tot} = P_i V_i$ | c) $W_{tot} = -3P_i V_i$ |
| d) $W_{tot} = 2P_i V_i$ | e) $W_{tot} = 0$ | |

31. Le cycle (iAfBi) $i \Rightarrow A \Rightarrow f \Rightarrow B \Rightarrow i$. est un cycle :

- a) de Carnot moteur b) de Carnot récepteur c) d'une PAC récepteur
d) de réfrigérateur récepteur e) aucune réponse ne convient



32. La variation d'enthalpie H totale du cycle (iAfBi) est :

- a) toujours nulle b) toujours positive ou nulle c) parfois négative
d) parfois positive e) aucune réponse ne convient

33. Une transformation *isochore réversible* est représentée par une fonction exponentielle - dans le diagramme entropique (T, S)- de la forme :

$T = a \cdot \exp(b \cdot S)$ où a, b sont des constantes. L'expression de b est :

- a) $b=Cv$ b) $b=1/Cv$ c) $b=Cp-Cv$
d) $b=Cp$ e) $b=1/Cp$

Examen de Thermodynamique SR 2021

FSA - Filière : SMPC1- Session de Rattrapage –

Q.1) L'unité de l'entropie dans le système international (S.I.) est :

- A. $J.kg^{-1}$ B. $Cal.K^{-1}$
C. $W.kg^{-1}$ D. $J.kg$
E. $J.K^{-1}$

Q.2) Une transformation isentropique est une transformation :

- A. *Isotherme réversible* B. *Adiabatique irréversible*
C. *Adiabatique réversible* D. *Isotherme irréversible*
E. *Isochore réversible*

Q.3) Le coefficient de dilatation isobare d'un gaz parfait $\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ est :

- A. $\alpha = -\frac{1}{T}$ B. $\alpha = \frac{1}{T}$
C. $\alpha = \frac{1}{V}$ D. $\alpha = \frac{1}{p}$
E. $\alpha = \frac{p}{T}$

Q.4) L'expression du coefficient compressibilité isotherme est :

- A. $\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ B. $\left(\frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial V}\right)_T$
C. $-\left(\frac{1}{V} \frac{\partial p}{\partial V}\right)_T$ D. $-\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$
E. $\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$

Q.5) L'expression du premier principe de la thermodynamique pour un système fermé lors d'une transformation infinitésimale est :

- A. $dU = dQ + dW$ B. $dU = \delta Q + \delta W$
C. $\delta U = \delta Q + \delta W$ D. $\Delta U = Q + W$
E. $\delta U = dQ + dW$

Q.6) Pour un gaz parfait, lors d'une transformation élémentaire réversible, la variation d'entropie dS s'écrit sous la forme :

- A. $dS = \frac{dU}{T} + \frac{pdV}{T}$ B. $\Delta S = \frac{\Delta U}{T} + \frac{pdV}{T}$
C. $\delta S = \frac{\delta U}{T} + \frac{p\delta V}{T}$ D. $dS = TdU + \frac{pdV}{T}$
E. $dS = \frac{dU}{T} + \frac{Vdp}{T}$

Une mole d'un fluide considéré comme un gaz parfait, parcourt un **cycle ditherme réversible**. Ce fluide échange les quantités de chaleur Q_1 et Q_2 respectivement avec une source chaude de température T_1 et une source froide de température T_2 et un travail W avec le milieu extérieur.



Q.7) Si le cycle est celui d'une machine frigorifique,

les signes de Q_1 , Q_2 et W sont :

- A. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W > 0$ B. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W < 0$
 C. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W > 0$ D. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W < 0$
 E. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W > 0$

Q.8) Si le cycle est celui d'un moteur thermique, les signes de Q_1 , Q_2 et W sont :

- A. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W > 0$ B. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W > 0$
 C. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W < 0$ D. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W < 0$
 E. $Q_1 < 0$; $Q_2 < 0$; $W > 0$

Q.9) L'expression de l'efficacité e d'une machine frigorifique est :

- A. $e = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2}$ B. $e = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$
 C. $e = -\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$ D. $e = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$
 E. $e = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$

Q.10) L'expression du rendement ρ d'un moteur thermique est :

- A. $\rho = -\frac{Q_1 + Q_2}{Q_2}$ B. $\rho = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
 C. $\rho = \frac{T_1 + T_2}{T_2}$ D. $\rho = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$
 E. $\rho = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$

Q.11) La température d'un système est 298 K , cette valeur vaut :

- A. $24,85^\circ \text{F}$ B. $76,73^\circ \text{C}$
 C. $76,73^\circ \text{F}$ D. $67,37^\circ \text{F}$
 E. $73,76^\circ \text{F}$

Q.12) Dans le cas d'un gaz parfait, l'expression de la quantité de chaleur élémentaire δQ échangée avec le milieu extérieur, au cours d'une transformation infinitésimale réversible est :

- A. $\delta Q = C_v dT - p dV$ B. $\delta Q = C_p dT + p dV$
 C. $\delta Q = C_p dT - V dp$ D. $\delta Q = C_p dT + V dp$
 E. $dQ = C_p dT + p dV$

La différentielle de pression de l'azote gazeux entre 0 et 40 atm est donnée par :

$$dp = -\frac{RT}{V^2} \left(1 + \frac{2A}{V}\right) dV + \frac{R}{V} \left(1 + \frac{A}{V}\right) dT$$

Où A est une constante appelée le second coefficient du Viriel, V le volume et T la température.

Q.13) La dimension de la constante A est celle d' :

- A. Une surface B. Une quantité de matière
 C. Une température D. Un volume
 E. Une pression

Q.14) L'équation d'état du gaz dans l'intervalle de pression considéré, sachant que ce gaz se comporte comme un gaz parfait aux faibles pressions est :

- A. $p = \frac{RT}{V} + \frac{RT}{V^3}$ B. $p = \frac{RT}{V} + \frac{RT}{V^2}$
 C. $p = \frac{RT}{V^2} + \frac{RT}{V^3}$ D. $p = \frac{RT}{V^2} + \frac{RT}{V^3}$
 E. $p = \frac{RT}{V} \left(1 + \frac{A}{V}\right)$

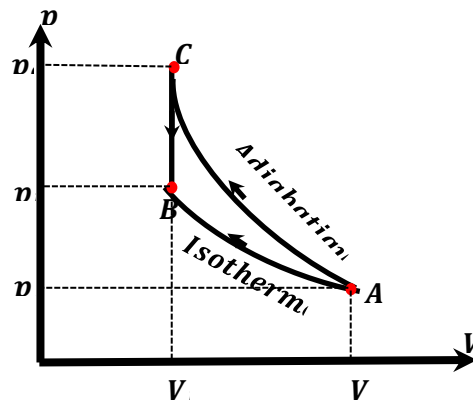


Problème : Compression d'un gaz :

Un nombre n de moles d'air, assimilé à un **gaz parfait diatomique**, occupe un volume V_A sous la pression atmosphérique p_A et à la température T_A . On le comprime **réversiblement de deux manières différentes** jusqu'à une pression p_B (voir figure ci-dessous) :

1) **Compression isotherme ($A \rightarrow B$):**

En supposant que, pendant cette compression, la température de l'air soit maintenue constante.



Q.15) L'expression du volume V_B est :

- A. $V_B = \frac{p_B}{p_A} V_A$ B. $V_B = \left(\frac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_A$
 C. $V_B = \left(\frac{p_A}{p_B}\right)^{\gamma} V_A$ D. $V_B = \frac{p_A}{p_B} V_A$
 E. $V_B = \left(\frac{p_A}{p_B} V_A\right)^{\gamma}$

Q.16) L'expression du travail W_1 échangé pour effectuer cette compression isotherme est :

- A. $W_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ B. $W_1 = 0$
 C. $W_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$ D. $W_1 = nRT_A \ln\left(\frac{p_B}{p_A}\right)$
 E. $W_1 = \frac{nR}{\gamma-1} (T_C - T_A)$



Q.17) La variation d'énergie interne ΔU_1 de l'air après cette compression isotherme est :

- A. $\Delta U_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_A - T_C)$ B. $\Delta U_1 = nRT_A \ln \left(\frac{p_A}{p_B} \right)$
 C. $\Delta U_1 = nRT_A \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$ D. $\Delta U_1 = nRT_A \ln \left(\frac{V_A}{V_B} \right)$
 E. $\Delta U_1 = 0$

Q.18) La quantité de chaleur Q_1 échangée pendant cette compression isotherme est :

- A. $Q_1 = nRT_A \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$ B. $Q_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} (V_A - V_C)$
 C. $Q_1 = nRT_A \ln \left(\frac{p_A}{p_B} \right)$ D. $Q_1 = 0$
 E. $\Delta U_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_A - T_C)$

Q.19) La variation de l'entropie ΔS_1 de l'air après cette compression isotherme est :

- A. $\Delta S_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_A}{T_C} \right)$ B. $\Delta S_1 = nR \ln \left(\frac{p_A}{p_B} \right)$
 C. $\Delta S_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_C}{T_A} \right)$ D. $\Delta S_1 = 0$
 E. $\Delta S_1 = nR \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$

2) Compression adiabatique suivi d'un refroidissement isochore (A \rightarrow C \rightarrow B) :

On comprime l'air d'une manière adiabatique, en partant du même état initial $A(p_A, T_A, V_A)$ jusqu'à l'état d'équilibre $C(p_C, T_C, V_C = V_B)$, puis on le laisse refroidir sans changer son volume jusqu'à l'état d'équilibre $B(p_B, T_A, V_B)$

Q.20) La pression p_C est :

- A. $p_C = p_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^\gamma$ B. $p_C = p_A \frac{V_A}{V_B}$
 C. $p_C = p_A \left(\frac{V_C}{V_A} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$ D. $p_C = p_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$
 E. $p_C = p_A \left(\frac{V_B}{V_A} \right)^{\gamma-1}$

Q.21) La température T_C est :

- A. $T_C = T_A \frac{V_A}{V_B}$ B. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1}$
 C. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^\gamma$ D. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$
 E. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$



Q.22) La quantité de chaleur Q_{AC} échangée au cours de la compression **adiabatique** est :

- A. $Q_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $Q_{AC} = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $Q_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$ D. $Q_{AC} = 0$
 E. $Q_{AC} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1}(T_C - T_A)$

Q.23) Le travail W_{AC} échangé au cours de la compression adiabatique est :

- A. $W_{AC} = 0$ B. $W_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$
 C. $W_{AC} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ D. $W_{AC} = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 E. $W_{AC} = \frac{p_C V_B - p_A V_A}{\gamma-1}$

Q.24) Le

travail W_{CB}

échangé pendant le refroidissement **isochore** est :

- A. $W_{CB} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $W_{CB} = nRT_B \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $W_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ D. $W_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$
 E. $W_{CB} = 0$

Q.25) La quantité de chaleur Q_{CB} échangée pendant le refroidissement **isochore** est :

- A. $Q_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $Q_{CB} = nRT_B \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $Q_{CB} = 0$ D. $Q_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$
 E. $Q_{CB} = \frac{p_A V_A - p_C V_B}{\gamma-1}$

Q.26) La variation de l'énergie interne ΔU_2 de l'air après ces deux opérations est :

- A. $\Delta U_2 = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $\Delta U_2 = nRT_B \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $\Delta U_2 = 0$ D. $\Delta U_2 = nRT_B \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$
 E. $\Delta U_2 = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$

Q.27) La variation de l'entropie ΔS_{AC} de l'air au cours de la compression adiabatique est :

- A. $\Delta S_{AC} = nR \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$ B. $\Delta S_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}\left(\frac{T_B}{T_C} - 1\right)$
 C. $\Delta S_{AC} = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ D. $\Delta S_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}\left(\frac{T_C}{T_B} - 1\right)$
 E. $\Delta S_{AC} = 0$

Q.28) La variation de l'entropie ΔS_{CB} de l'air pendant le refroidissement isochore est :

- A. $\Delta S_{CB} = 0$ B. $\Delta S_{CB} = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$
C. $\Delta S_{CB} = \frac{n\gamma R}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$ D. $\Delta S_{CB} = nR T_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
E. $\Delta S_{CB} = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$



Q.29) La variation de l'entropie ΔS_2 de l'air après ces deux opérations :

- A. $\Delta S_2 = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ B. $\Delta S_2 = 0$
C. $\Delta S_2 = \frac{n\gamma R}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$ D. $\Delta S_2 = nR T_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
E. $\Delta S_2 = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$

Corrigé Examen de Thermodynamique SR 2021- FSA – Agadir



Q.1) L'unité de l'entropie dans le système international (S.I.) est :

- A. $J.kg^{-1}$ B. $Cal.K^{-1}$
 C. $W.kg^{-1}$ D. $J.kg$
 E. $J.K^{-1}$

Q.2) Une transformation isentropique est une transformation :

- A. Isotherme réversible B. Adiabatique irréversible
 C. Adiabatique réversible D. Isotherme irréversible
 E. Isochore réversible

Q.3) Le coefficient de dilatation isobare d'un gaz parfait $\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ est :

- A. $\alpha = -\frac{1}{T}$ B. $\alpha = \frac{1}{T}$
 C. $\alpha = \frac{1}{V}$ D. $\alpha = \frac{1}{p}$
 E. $\alpha = \frac{p}{T}$

Q.4) L'expression du coefficient compressibilité isotherme est :

- A. $\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ B. $\left(\frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial V}\right)_T$
 C. $-\left(\frac{1}{V} \frac{\partial p}{\partial V}\right)_T$ D. $-\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$
 E. $\left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$

Q.5) L'expression du premier principe de la thermodynamique pour un système fermé lors d'une transformation infinitésimale est :

- A. $dU = dQ + dW$ B. $dU = \delta Q + \delta W$
 C. $\delta U = \delta Q + \delta W$ D. $\Delta U = Q + W$
 E. $\delta U = dQ + dW$

Q.6) Pour un gaz parfait, lors d'une transformation élémentaire réversible, la variation d'entropie dS s'écrit sous la forme :

- A. $dS = \frac{dU}{T} + \frac{pdV}{T}$ B. $\Delta S = \frac{\Delta U}{T} + \frac{pdV}{T}$
 C. $\delta S = \frac{\delta U}{T} + \frac{p\delta V}{T}$ D. $dS = TdU + \frac{pdV}{T}$
 E. $dS = \frac{dU}{T} + \frac{Vdp}{T}$

Q.7) Si le cycle est celui d'une machine frigorifique, les signes de Q_1 , Q_2 et W sont :

- A. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W > 0$ B. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W < 0$
 C. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W > 0$ D. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W < 0$
 E. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W > 0$



Q.8) Si le cycle est celui d'un moteur thermique, les signes de Q_1 , Q_2 et W sont :

- A. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W > 0$ B. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W > 0$
 C. $Q_1 > 0$; $Q_2 < 0$; $W < 0$ D. $Q_1 < 0$; $Q_2 > 0$; $W < 0$
 E. $Q_1 < 0$; $Q_2 < 0$; $W > 0$

Q.9) L'expression de l'efficacité e d'une machine frigorifique est :

- A. $e = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2}$ B. $e = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$
 C. $e = -\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$ D. $e = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$
 E. $e = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$

Q.10) L'expression du rendement ρ d'un moteur thermique est :

- A. $\rho = -\frac{Q_1 + Q_2}{Q_2}$ B. $\rho = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
 C. $\rho = \frac{T_1 + T_2}{T_2}$ D. $\rho = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$
 E. $\rho = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$

Q.11) La température d'un système est 298 K , cette valeur vaut :

- A. $24,85^\circ\text{F}$ B. $76,73^\circ\text{C}$
 C. $76,73^\circ\text{F}$ D. $67,37^\circ\text{F}$
 E. $73,76^\circ\text{F}$

Q.12)

- A. $\delta Q = C_v dT - pdV$ B. $\delta Q = C_p dT + pdV$
 C. $\delta Q = C_p dT - Vdp$ D. $\delta Q = C_p dT + Vdp$
 E. $dQ = C_p dT + pdV$

Q.13) La dimension de la constante A est celle d' :

- A. Une surface B. Une quantité de matière
 C. Une température D. Un volume
 E. Une pression

Q.14) L'équation d'état du gaz dans l'intervalle de pression considéré, sachant que ce gaz se comporte comme un gaz parfait aux faibles pressions est :

- A. $p = \frac{RT}{V} + \frac{RT}{V^3}$ B. $p = \frac{RT}{V} + \frac{RT}{V^2}$
 C. $p = \frac{RT}{V^2} + \frac{RT}{V^3}$ D. $p = \frac{RT}{V^2} + \frac{RT}{V^3}$
 E. $p = \frac{RT}{V} \left(1 + \frac{A}{V}\right)$

Problème : Compression d'un gaz :



Q.15) L'expression du volume V_B est :

- A. $V_B = \frac{p_B}{p_A} V_A$ B. $V_B = \left(\frac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_A$
 C. $V_B = \left(\frac{p_A}{p_B}\right)^{\gamma} V_A$ D. $V_B = \frac{p_A}{p_B} V_A$
 E. $V_B = \left(\frac{p_A}{p_B} V_A\right)^{\gamma}$

Q.16) L'expression du travail W_1 échangé pour effectuer cette compression isotherme est :

- A. $W_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ B. $W_1 = 0$
 C. $W_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$ D. $W_1 = nRT_A \ln\left(\frac{p_B}{p_A}\right)$
 E. $W_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_C - T_A)$

Q.17) La variation d'énergie interne ΔU_1 de l'air après cette compression isotherme est :

- A. $\Delta U_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_A - T_C)$ B. $\Delta U_1 = nRT_A \ln\left(\frac{p_A}{p_B}\right)$
 C. $\Delta U_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ D. $\Delta U_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$
 E. $\Delta U_1 = 0$

Q.18) La quantité de chaleur Q_1 échangée pendant cette compression isotherme est :

- A. $Q_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ B. $Q_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} (V_A - V_C)$
 C. $Q_1 = nRT_A \ln\left(\frac{p_A}{p_B}\right)$ D. $Q_1 = 0$
 E. $\Delta U_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_A - T_C)$

Q.19) La variation de l'entropie ΔS_1 de l'air après cette compression isotherme est :

- A. $\Delta S_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_A}{T_C}\right)$ B. $\Delta S_1 = nR \ln\left(\frac{p_A}{p_B}\right)$
 C. $\Delta S_1 = \frac{nR}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_C}{T_A}\right)$ D. $\Delta S_1 = 0$
 E. $\Delta S_1 = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$

Q.20) La pression p_C est :

- A. $p_C = p_A \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma}$ B. $p_C = p_A \frac{V_A}{V_B}$
 C. $p_C = p_A \left(\frac{V_C}{V_A}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$ D. $p_C = p_A \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$
 E. $p_C = p_A \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1}$



Q.21) La température T_C est :

A. $T_C = T_A \frac{V_A}{V_B}$ B. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma-1}$
 C. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^\gamma$ D. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$
 E. $T_C = T_A \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$

Q.22) La quantité de chaleur Q_{AC} échangée au cours de la compression **adiabatique** est :

A. $Q_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $Q_{AC} = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $Q_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$ D. $Q_{AC} = 0$
 E. $Q_{AC} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1}(T_C - T_A)$

Q.23) Le travail W_{AC} échangé au cours de la compression adiabatique est :

A. $W_{AC} = 0$ B. $W_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$
 C. $W_{AC} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ D. $W_{AC} = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 E. $W_{AC} = \frac{p_C V_B - p_A V_A}{\gamma-1}$

Q.24) Le travail W_{CB} échangé pendant le refroidissement **isochore** est :

A. $W_{CB} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $W_{CB} = nRT_B \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $W_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ D. $W_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$
 E. $W_{CB} = 0$

Q.25) La quantité de chaleur Q_{CB} échangée pendant le refroidissement **isochore** est :

A. $Q_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $Q_{CB} = nRT_B \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $Q_{CB} = 0$ D. $Q_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$
 E. $Q_{CB} = \frac{p_A V_A - p_C V_B}{\gamma-1}$

Q.26) La variation de l'énergie interne ΔU_2 de l'air après ces deux opérations est :

A. $\Delta U_2 = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)$ B. $\Delta U_2 = nRT_B \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
 C. $\Delta U_2 = 0$ D. $\Delta U_2 = nRT_B \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$
 E. $\Delta U_2 = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_A)$

Q.27) La variation de l'entropie ΔS_{AC} de l'air au cours de la compression adiabatique est :

A. $\Delta S_{AC} = nR \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$ B. $\Delta S_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}\left(\frac{T_B}{T_C} - 1\right)$
 C. $\Delta S_{AC} = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ D. $\Delta S_{AC} = \frac{nR}{\gamma-1}\left(\frac{T_C}{T_B} - 1\right)$
 E. $\Delta S_{AC} = 0$

Q.28) La variation de l'entropie ΔS_{CB} de l'air pendant le refroidissement isochore est :

- A. $\Delta S_{CB} = 0$ B. $\Delta S_{CB} = \frac{nR}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$
C. $\Delta S_{CB} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$ D. $\Delta S_{CB} = nR T_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
E. $\Delta S_{CB} = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$



Q.29) La variation de l'entropie ΔS_2 de l'air après ces deux opérations :

- A. $\Delta S_2 = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ B. $\Delta S_2 = 0$
C. $\Delta S_2 = \frac{n\gamma R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$ D. $\Delta S_2 = nR T_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$
E. $\Delta S_2 = \frac{nR}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_A}{T_C}\right)$

F I N