

L2 – Phys4B – Thermodynamique.

Contrôle Terminal Session 2.

Durée : 2 h.

Pas de documents, pas de téléphone portable, calculatrice autorisée.

Prenez soin de justifier vos réponses (rédaction) et de respecter les notations employées.

Pensez à expliciter chaque variable utilisée.

A - Cours :

35 %

Donner le nom et l'unité de chaque variable dans les formules suivantes.

1 – Pour une machine ditherme cyclique, si on utilise les indices f et c pour respectivement la source froide et la source chaude, l'inégalité de Clausius donne :

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$$

où T est la température et Q la quantité de chaleur. Expliquer l'inégalité, à quoi correspond l'égalité ? Montrer alors que pour une machine moteur ditherme, le rendement peut s'exprimer par :

$$\rho_m \leq 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

2 – Le quantité de chaleur élémentaire échangée avec l'extérieur par un gaz parfait est donnée par :

$$\delta Q = C_p dT - V dP \quad \text{ou} \quad \delta Q = C_v dT + P dV$$

Que deviennent ces formules pour une transformation isobare ? Que deviennent-elles pour un système thermoélastique isolé ? (Pourquoi ?)

3 – Pour une transformation infinitésimale d'un système thermoélastique, on peut montrer que : $dH = \delta Q + VdP$. Que devient cette formule pour une transformation isobare et irréversible ? Discuter alors les signes possibles de ces grandeurs et leur sens physique.

4 – Donner, par une phrase **et** par une formule, la définition de la chaleur latente (massique ou molaire) d'une transition de phase.

5 – Exprimer sous forme d'une formule **et** de phrase(s), la formule de Clapeyron dans le cas d'une transition de phase entre deux états d'un même corps. Vous indiquerez la signification des différents termes de l'expression. Expliquer comment peut se simplifier cette expression pour une transition liquide-gaz. Donner son expression simplifiée pour un gaz parfait.

6 – Dans le cas des équilibres liquide-vapeur d'un corps pur, dans un diagramme d'Andrew en coordonnées de Clapeyron modifiées, représenter quelques isothermes « caractéristiques » de ces équilibres. Votre schéma fera notamment apparaître la courbe de saturation, le point critique et les différentes phases présentes selon la température et la pression.

Avant de donner le résultat numérique, il est impératif de donner la formule utilisée adaptée aux variables du problème.

1 – Etude d'un cycle d'un gaz parfait :

30 %

Une mole de gaz parfait diatomique de coefficient de Laplace, $\gamma = 7/5 = 1,4$ décrit le cycle de quatre transformations faisant passer le gaz d'un état initial A vers les états B puis C et D. Le cycle commence à pression ambiante de 1 atm (P_{\min}) et la pression maximum au cours du cycle est 24 fois plus élevée.

- (1) Compression isotherme de l'état A ($P_{\min}, V_{\max}, T_{\min}$) à l'état B ($P_{\max}, V_{\min}, T_{\min}$).
- (2) Chauffage isobare de l'état B ($P_{\max}, V_{\min}, T_{\min}$) à l'état C (P_{\max}, V_C, T_{\max}).
- (3) Détente adiabatique de l'état C (P_{\max}, V_C, T_{\max}) à l'état D (P_D, V_{\max}, T_D).
- (4) Refroidissement isochore de l'état D (P_D, V_{\max}, T_D) à l'état A ($P_{\min}, V_{\max}, T_{\min}$).

Les transformations sont considérées réversibles. On rappelle que $R = 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, la relation de Mayer $C_p - C_v = nR$ et $\gamma = C_p / C_v$.

a – Représenter l'allure du cycle en coordonnées (P,V) dans un diagramme de Clapeyron. (Mettre le sens de chaque transformation.)

b - Sachant que $V_{\min} = 1 \text{ litre } (10^{-3} \text{ m}^3)$, $T_{\max} \approx 1462,8 \text{ K}$ et $T_D \approx 780,9 \text{ K}$, déterminer l'expression de la température, du volume et de la pression pour les 4 états A, B, C et D en fonction des pressions et/ou volumes et/ou températures, min et/ou max donnés. Calculer leur valeur.

c – Calculer le travail et la quantité de chaleur échangés par le gaz avec l'extérieur pour chacune des transformations du cycle.

d – Calculer le travail, W_{tot} , et la quantité de chaleur, Q_{tot} , totaux échangés par le gaz avec l'extérieur pour un cycle complet. Discuter les signes de ces valeurs. Quelle est alors la nature du cycle ? Est-ce cohérent avec le diagramme de Clapeyron (question a)). Vérifier les valeurs W_{tot} et Q_{tot} en calculant la variation d'énergie interne pour un cycle complet (justifier) ?

e – Pour représenter le diagramme entropique de ce cycle, étudier la variation de la température en fonction de l'entropie. Pour ce faire, prendre l'entropie à l'origine du cycle : $S_A = 30 \text{ JK}^{-1}$. Pour chacune des transformations considérées réversibles :

- déterminer la variation infinitésimale d'entropie en fonction de la quantité de chaleur échangée,
- écrire cette quantité de chaleur échangée en fonction de la température,
- intégrer cette relation,
- en déduire relation entre l'entropie S et la température T et inversement.
- Calculer alors l'entropie pour chacun des points A, B, C et D.

Représenter alors le diagramme entropique.

f – Comparer les aires des cycles des deux diagrammes.

g – Sachant que le rendement η d'un cycle est donné par le rapport de l'énergie utilisable (par l'extérieur) sur l'énergie apporté au gaz (par l'extérieur au système thermodynamique), calculer ce rendement.

Rappel : $1 \text{ atm} \approx 1013 \text{ hPa} = 1,013 \text{ bar}$