

## 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 – Enoncer la loi de Dalton.

2 – La quantité de chaleur élémentaire échangée avec l'extérieur par un gaz parfait est donnée par :  $\delta Q = C_v dT + P dV$ . Que devient cette quantité de chaleur élémentaire 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 – Donner la formule de Clapeyron dans le cas d'une transition de phase. Rédiger la signification et l'écriture (et condition d'utilisation) de cette formule (comme fait dans le cours).

B - Exercices indépendants :

65 %

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

1 – Cycle de Stirling d'un gaz parfait :

35 %

Une mole de gaz parfait 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 et la pression maximum au cours du cycle est 12 fois plus élevée.

(1) Compression isotherme de l'état A ( $P_A, V_{\max}, T_A$ ) à l'état B ( $P_B, V_{\min}, T_B$ ).

(2) Chauffage isochore de l'état B ( $P_B, V_{\min}, T_B$ ) à l'état C ( $P_C, V_{\min}, T_C$ ).

(3) Détente isotherme de l'état C ( $P_C, V_{\min}, T_C$ ) 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 ( $P_A, V_{\max}, T_A$ ).

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.

b - Sachant que  $V_{\max} = 4$  litres,  $V_{\min} = 1$  litre, déterminer l'expression de la température, du volume et de la pression pour les 4 états A, B, C et D. Calculer leur valeur. Compléter le diagramme de Clapeyron.

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 et la quantité de chaleur totale échangés par le gaz avec l'extérieur pour un cycle complet. Discuter les signes de ces valeurs : est-ce cohérent avec le diagramme de Clapeyron (question a)) et avec la variation d'énergie interne pour un cycle complet ?

e – Sachant que le rendement  $\eta$  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.

f – 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. Donner l'origine de cette inégalité, à quoi correspond donc l'égalité ? Montrer alors que pour une machine moteur ditherme, le rendement peut s'exprimer par :

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

A quoi correspond l'égalité ? Calculer la valeur de ce rendement dans le cas du cycle de cet exercice. Est-ce que ce résultat est cohérent avec les résultats des questions précédentes ? Quel est l'intérêt du cycle de Stirling ?

*Rappel : 1 atm  $\approx$  1013 hPa = 1,013 bar*

## 2 – Etat d'hypothermie (modèle simple) :

30 %

Resté coincé par une tempête, un alpiniste a la température de l'extrémité de ses membres qui baisse jusqu'à 19° C. Ses organes internes restent à 37° C. Une petite quantité de sang à une température de 37° C arrive en contact avec les cellules des organes à 19° C (à l'extrémité des membres de l'alpiniste). On considère les cellules comme des systèmes fermés et rigides (on aura donc  $C_v \approx C_p$ ) et on néglige toutes les interactions entre les cellules autres que les échanges thermiques.

**Cas 1 :** On considère que le système est une cellule à 37°C,  $T_i$ , qui arrive en contact d'un réservoir thermique à 19° C,  $T_e$ , soit dans l'extrémité d'un membre de l'alpiniste.

a. Donner de façon intuitive la température d'équilibre (finale) de la cellule. (On vérifiera par la suite que cette hypothèse est réaliste.)

b. L'entropie échangée est égale à la quantité de chaleur échangée avec l'extérieur divisée par la température de l'extérieur. Déterminer l'entropie totale échangée,  $S_{\text{éch}}$  entre la cellule et le réservoir thermique (organe).

**Cas 2 :** On considère maintenant que le système est une cellule présente à l'extrémité des membres de l'alpiniste. Cette cellule voit donc sa température descendre très lentement de la température initiale  $T_i = 37^\circ \text{C}$  à la température finale,  $T_e = 19^\circ \text{C}$  (le thermostat est toujours les cellules environnantes de l'organe mais cette fois sa température varie très lentement de  $T_i$  à  $T_e$ ).

c. Comment s'écrit alors la variation infinitésimale de l'entropie ? Intégrer sur toute la transformation et en déduire la variation d'entropie  $\Delta S$  de la cellule dans ce cas.

d. En déduire la création d'entropie dans le **cas 1**. Que peut-on en conclure ? L'hypothèse de la question a, est-elle réaliste ? (Pourquoi ?)