

**Exercice 1 :**

1- Deux quantités  $\delta G$  et  $\delta F$  ont été mesurées au laboratoire, chaque quantité correspond aux variations d'une grandeur physique en fonctions de deux paramètres  $x$  et  $y$ . Les résultats ont donné :

$$\delta G = x^n dx + \cos(x+y) dy \quad ; n \text{ entier naturel}$$

$$\delta F = \alpha dx + \frac{\beta x}{y+\lambda} dy \quad ; \alpha, \beta \text{ et } \lambda \text{ sont des constantes réelles de } \mathbb{R}^*.$$

Les quantités  $\delta G$  et  $\delta F$  sont-elles des différentielles totales exactes ?

$$\delta F = \delta G$$

2- Donner la forme différentielle des fonctions suivantes :

$$U(x,y) = x^2 + \ln(y) \quad ; \quad W(x,y) = \frac{x^3}{y} - 2x^2y^3$$

3- On considère la forme différentielle :  $df = (\sin(y) - \frac{1}{x^2}) dx + x \cos(y) dy$

Montrer que cette forme différentielle est totale exacte puis déterminer sa primitive  $f(x,y)$ .

**Exercice 2 :**

1- Trouver la relation suivante :

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \times \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V \times \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = -1$$

2- soient  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\chi$  respectivement les coefficients de dilatation isobare, d'augmentation de pression isochore, et de compressibilité isotherme. Démontrer la relation liant les coefficients thermoélastiques:

$$\frac{\alpha}{\beta \chi_T} = P$$

3- Déterminer pour un gaz parfait les dérivées partielles suivantes :

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

4- Exprimer les coefficients thermo-élastiques d'un gaz parfait. ,

**Exercice 3 :**

1- Sous la pression atmosphérique  $P_0$ , Un liquide compressible subit une compression isotherme ( $\theta = 25^\circ\text{C}$ ). Calculer sa nouvelle pression  $P_1$  si son volume a diminué de 1 %.

On donne : - Le coefficient de compressibilité isotherme du liquide à  $10^\circ\text{C}$  :  $\chi = 9.10^{-10}$  S.I.  
-  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$ .

2- Pour une température constante, trouver le taux de variation de la masse volumique  $\rho$  d'un fluide avec la pression:  $\left(\frac{\partial \rho}{\partial P}\right)_T$  en fonction de  $\rho$  et  $\chi$ .

3- On considère une colonne d'un liquide compressible, la pression et la masse volumique sont respectivement :  $P_1$  et  $\rho_1$  aux points d'altitude  $z_1$ , et  $P_2$  et  $\rho_2$  aux points d'altitude  $z_2$ .

Exprimer la différence de pression  $P_1 - P_2$  en fonction de  $\chi$  et de  $\Delta p$  la différence de pression pour le liquide supposé incompressible entre les deux niveaux  $z_1$  et  $z_2$ .

On accepte l'approximation : si  $|x| \ll 1$   $e^x = 1+x$ .

Exercice 1:

Dans le cas d'un gaz parfait monoatomique, l'énergie interne  $U$  se résume à l'énergie cinétique de translation.

1- Mesurer la température d'un gaz, c'est également mesurer l'énergie cinétique moyenne de translation de ses particules. A une température donnée, quelle est l'expression relative à l'énergie cinétique moyenne  $\langle E_c \rangle$  d'une seule molécule?

2- En déduire de l'expression précédente la relation entre la température absolue  $T$  et l'énergie interne d'une mole du gaz  $\langle U \rangle_{mole}$ .

Exercice 2:

1- Soit  $M$  la masse molaire d'un gaz parfait, exprimer la vitesse quadratique de ses particules  $v_{quad}$  en fonction de  $M$  et la température  $T$ .

2- Soit un mélange gazeux contenant 2 types de molécules dont les masses sont dans l'ordre :  $m_A > m_B$ . On accepte le modèle d'un gaz parfait monoatomique.

Classer les deux types de molécules selon :

- i) Leur énergie cinétique moyenne.
- ii) Leur vitesse quadratique.

Exercice 3 :

Si on fait l'hypothèse que le fluide étudié est un gaz parfait compressible en équilibre isotherme, la pression dans le gaz est calculée à partir de l'équation fondamentale de la statique des fluides :

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

$g$ : accélération de pesanteur ;  $\rho$ : masse volumique du fluide.

On définit  $P_0$  la pression à l'altitude  $z = 0$ . Montrer que la pression du gaz, à température constante, s'écrit en fonction de l'altitude comme suit :

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{mgz}{k_B T}\right)$$

$m$  : masse des particules du fluide.

$k_B$  : constante de Boltzmann.

$T$  : Température absolue

Exercice 4.

3- un gaz de N<sub>2</sub> (masse molaire  $M = 28,02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) satisfait aux hypothèses de la théorie cinétique de gaz parfait. On désigne par  $n_{vol}$  sa densité volumique de particules et  $v_q$  vitesse quadratique.

3-1- Calculer  $n_{vol}$  et  $v_q$  dans les conditions normales de température

$T = 273 \text{ K}$  et de pression  $P = 1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$

3-2- Trouver la variation relative et la vitesse quadratique

$\frac{\Delta v_q}{v_q}$  pour une augmentation de pression de 10%.



**Exercice 1:**

L'énergie interne d'un système thermodynamique représente une fonction d'état. Une dérivée partielle de la fonction qui a une valeur numérique, montre physiquement la contribution apportée à l'énergie interne quand l'une des variables d'état varie en fixant une autre.

- 1- Pour une transformation isobare, on a :  $U = U(T, V)$  C16  
Trouver que:  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

Pour un fluide donné, on définit les paramètres suivants :

- $C_V$  : capacité calorifique molaire à volume constant,
- $\ell$  : chaleur latente de dilatation isotherme,
- $\alpha$  : coefficient de dilatation isobare.

- 2- Chercher les expressions des dérivées partielles:  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ ,  $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$  et  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P$  de l'énergie interne d'une mole en fonction des paramètres précédents.

**Exercice 2:**

Une quantité de matière  $n = 0,01$  mol d'un gaz parfait décrit de façon réversible, sans changer d'état, un cycle selon les caractéristiques citées sur le tableau suivant :

État 1 $P_1 = 1\,000 \text{ hPa}$	État 2 $P_2 = 1\,600 \text{ hPa}$	État 3 $P_3 = 920 \text{ hPa}$	État 4 $P_4 = 575 \text{ hPa}$
$V_1 = 0,25 \text{ l}$	$V_2 = ?$	$V_3 = ?$	$V_4 = ?$
$T_1 = ?$	$T_2 = ?$	$T_3 = ?$	$T_4 = ?$
Transformations	1-2 : isotherme	2-3 : adiabatique	3-4 : isotherme
			4-1 : adiabatique

Le rapport des capacités calorifiques du gaz vaut :  $\gamma = 1,4$ .

- 1 - Donner l'aspect du graphe  $P = f(V)$ , dit diagramme de Clapeyron du cycle.
- 2 - Calculer pour chaque transformation : Le travail  $W$  et l'énergie thermique  $Q$  mis en jeu. En déduire au bout du cycle l'ensemble énergétique  $W + Q$ .

**Exercice 3 :**

Les transformations réelles au sein de l'atmosphère ne sont ni isothermes ni adiabatiques mais entre les deux. On les dit polytropiques et elles vérifient  $P V^k = \text{constant}$  avec  $1 < k < \gamma$ .

- 1- Calculer le travail pour un gaz parfait subissant une transformation polytropique entre  $(P_0, V_0, T_0)$  et  $(P_1, V_1, T_1)$  en fonction des pressions et volumes ainsi que de  $k$ .

- 2- Déterminer l'expression de l'énergie thermique au cours de la transformation précédente.

- 3- A quelle situation correspondent les cas suivants ?

- a)  $k = 0$                       b)  $k = \gamma$                       c)  $k = 1$                       d)  $k \rightarrow \infty$

**Exercice 1:**

1- Soit un gaz parfait enfermé dans un récipient permettant les transferts thermiques dont une paroi de masse négligeable est mobile sans frottement. Le milieu extérieur se comporte comme un thermostat de température  $T_1$ . Initialement la paroi est bloquée et le gaz est à l'état (1) caractérisé par les variables ( $P_1, V_1, T_1$ ). On débloque la paroi et on la déplace de manière quasistatique jusqu'à ce que le nouveau volume offert soit égal à  $2V_1$  et on la rebloque.

- 1-1 Déterminer  $P_2$  la pression du gaz à l'état final. *Détail isotherme.  $V \propto T$   $T_1 = T_2$*   
 1-2 Déterminer le travail  $W$  mis en jeu au cours de cette transformation en fonction de  $n, R$  et  $T_1$ .  
 1-3 Calculer la variation d'énergie interne au cours de la transformation et en déduire la quantité de chaleur échangée  $Q$ .  
 1-4 Donner l'expression de l'entropie échangée avec le milieu extérieur.  
 1-5 Établir la variation d'entropie au cours de la transformation.  
 1-6 En déduire l'expression de l'entropie créée. Que peut-on en conclure?

2- On suppose maintenant que les parois sont adiabatiques et ne permettant pas des fuites thermiques. Le récipient est divisé en deux compartiments de volume identique, le gaz se trouvant dans l'un d'eux et le deuxième étant vide. On enlève la séparation sans fournir de travail.

- 2-1 Établir l'expression de la variation d'énergie interne au cours de la transformation.  
 2-2 quelles sont la température  $T_2$  et la pression  $P_2$  à l'équilibre ?  
 2-3 Déterminer au cours de l'évolution : la variation d'entropie, l'entropie échangée et l'entropie créée. Que peut-on conclure?

3- Comparer les deux transformations étudiées.

4- On remplace le gaz précédent par l'air qui recevra un travail mécanique  $W = 190$  kJ au cours d'une compression irréversible entre l'état (1) et l'état (3). Les deux états thermodynamiques sont décrits sur le tableau ci-dessous :

points	volume ( $m^3$ )	Température ( $^{\circ}C$ )	Pression (atm)	Enthalpie (kJ)	Entropie (kJ/K)
1	1.0719	100	1	374.23	7.0920
3	0.21446	100	5	374.70	6.6282

- 4-1 Calculer la variation de l'énergie interne de l'air contenu dans le récipient.  
 4-2 Calculer la quantité de chaleur cédée par l'air au cours de la transformation.  
 4-3 Déterminer l'énergie dissipée par le biais des fuites thermiques.  
 4-4 Retrouver le bilan énergétique si la transformation était réversible.

**Exercice 2 :**

Pendant un changement de phase, la température reste constante (et la pression également) et la chaleur échangée lors de la transformation sert uniquement à effectuer le changement de phase. La quantité de chaleur échangée par un système de masse  $m$  s'écrit dans ce cas :  $Q = m \cdot L$

$L$  est la chaleur latente massique de transformation, c'est une grandeur caractéristique de la matière et de la transformation, elle s'exprime en  $J \cdot kg^{-1}$ .

Une masse  $m = 0,5$  kg de glace pure est placée dans l'air ambiant, de température  $T = 293$  K, après une certaine durée  $\Delta t$  on constate que 0,2 kg de glace a fondu. On donne : la chaleur latente massique de fusion d'eau  $L_F = 334$  kJ/kg.

Déterminer au cours de cette transformation : l'entropie échangée, la variation d'entropie, puis l'entropie créée.

$$\Delta S_{\text{cr}} = \frac{Q_F}{T}$$

$$\Delta S = \frac{L_F}{T}$$

**Exercice 3 :**

Un moteur thermique réel reçoit l'énergie  $Q_F = 1,5$  kJ sous forme de chaleur pour produire un travail mécanique  $|W| = 450$  J / cycle, le moteur fonctionne entre deux sources de chaleur, l'une à  $T_F = 350$  K, l'autre à  $T_C = 600$  K.

- 1- Calculer le rendement du moteur.  
 2- Comparer le rendement obtenu à celui d'une machine de Carnot fonctionnant entre les deux mêmes sources.  
 2- Calculer  $S_{cr}$  l'entropie créée par cycle.  
 3- Soit  $W_c$  le travail fourni par la machine de Carnot avec des conditions de fonctionnement identiques ( $Q, T, T'$ ). Montrer que :  $W - W_{Carnot} = T' S_{cr}$