

🔥 T1 | Thermodynamique 🔥

Description des systèmes thermodynamiques

📖 Prérequis	
📎 Valeur moyenne discrète	Math - CPGE
📎 Théorème énergétique en mécanique	Chapitre M5
📎 Équation des GP	Chimie C1

📖 Plan

- I. Qu'est-ce qu'un système thermodynamique ?**
 - I.A. Définition du système
 - I.B. Types de systèmes
 - I.C. Échelles de description de la matière
- II. Comment décrire l'état macroscopique de la matière ?**
 - II.A. Variables d'état
 - II.B. Grandeurs intensives et extensives
 - II.C. Énergie interne
 - II.D. Grandeurs molaires et massiques
 - II.E. Fonction d'état et équation d'état
- III. Capacité thermique**
- IV. Qu'est-ce qu'un système à l'équilibre ?**

- IV.A. Constant ? Stationnaire ? Homogène ?
- IV.B. Un système est-il à l'équilibre ?
- V. Modèle du gaz parfait**
 - V.A. Équation d'état
 - V.B. Énergie interne
 - V.C. Modèle cinétique d'un gaz parfait monoatomique
- VI. Modèle de la phase condensée idéale**

📖 Savoirs

📖 Système ouvert, fermé ou isolé	I
📖 Échelle microscopique, mésoscopique et macroscopique	I
📖 Force qu'exerce une pression uniforme sur une surface.	II
📖 Grandeur extensive : qui dépend de la taille (linéairement) sur système. Grandeur intensive : qui ne dépend pas de la taille du système. Le rapport de deux grandeurs extensives forme une grandeur intensive.	II
📖 Énergie interne : définition, unité, elle est extensive	II
📖 Distinction entre variable d'état (3 pour un système monophasique) et les fonctions d'état : grandeurs qui se déduisent des variables d'état	II
📖 Définition de la capacité thermique à volume constant.	III

- Grandeur stationnaire, grandeur homogène IV
- Équilibre thermodynamique = les variables d'état sont homogènes et stationnaires + pas d'échange avec le milieu extérieur IV
- Équilibre mécanique : la somme des forces appliquées sur les parties mobiles ou en frontière du système est nulle (sinon pas homogène) IV
- Équilibre thermique : égalité de la température avec l'extérieur IV
- Équation d'état d'un gaz-parfait V
- Énergie interne d'un GP monoatomique : $U = 3/2Nk_B T = 3/2nRT$. U ne dépende que de la température. V
- Équation d'état d'une phase condensée idéale : $V = C^{ste}$ VI
- Énergie interne d'une phase condensée idéale : U ne dépende que de la température. VI

Savoir-Faire

- Savoir décrire un système thermodynamique. Le faire avant d'écrire une équation pour savoir de quoi nous parlons. I
- Déterminer le travail élémentaire d'une force I

- Décrire et interpréter la nature motrice, résistive ou d'une force ne travaillant pas I
- À partir d'une grandeur extensive, construire la grandeur molaire associée X_m ou la grandeur massique associée x II
- Déterminer les variables d'état à l'équilibre thermodynamique IV
- Calcul de la variation d'énergie interne pour un GP : $\Delta U = C_v \Delta T$ V
- Calcul de la variation d'énergie interne pour une phase condensée idéale : $\Delta U = C_v \Delta T$ VI

Application 1 : Unité de l'énergie

Énoncé

① Estimer l'ordre de grandeur du nombre de molécules dans un système thermodynamique.

Données : $\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Solution

① Prenons comme système l'eau contenue dans un verre d'eau de $V = 20 \text{ cL}$. La masse volumique de l'eau est $\rho = 1 \text{ kg L}^{-1}$.

Soit N le nombre de molécules d'eau : $N = n\mathcal{N}_A = \frac{m}{M}\mathcal{N}_A = \frac{\rho V}{M}\mathcal{N}_A$.

Or $M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \times 1 + 16 = 18 \text{ g mol}^{-1}$.

A.N : $N = 7 \times 10^{24}$.

Conclusion : un système thermodynamique contient un très très grand nombre de molécules.

Application 2 : Grandeurs extensives ? Intensives ?

Énoncé Soit de l'air supposé être un gaz parfait, à la température $T = 27^\circ\text{C}$ et sous une pression de $P = 1 \text{ bar}$.

Données : masses molaires $M_O = 16 \text{ g mol}^{-1}$ et $M_N = 14 \text{ g mol}^{-1}$.

Constante de gaz parfaits : $R = 8,3 \text{ J/Kmol}$.

① Quelle est la composition de l'air ? En déduire la masse molaire de l'air.

② Rappeler l'équation des gaz parfaits. En déduire l'expression de la masse volumique en fonction de T , P , R et M . Faire l'application numérique.

③ Faire de même pour le volume molaire. Comment interpréter vous "volume molaire".

Solution

① $M_{\text{air}} = 29 \text{ g mol}^{-1}$

② $\rho = \frac{PM}{RT} = 1,2 \text{ kg L}^{-1}$.

③ $V_m = \frac{RT}{P} = 25 \text{ L/mol}$. Il s'agit du volume occupé par une mole de gaz parfait. (analogie avec la masse volumique).

Application 3 : Calcul d'équilibre

Énoncé

Soit un gaz, supposé parfait, de pression initiale $P_i = 2 \text{ bar}$, à la température $T_i = 400 \text{ K}$, enfermé dans un cylindre de rayon $R = 10 \text{ cm}$ de hauteur $h = 10 \text{ cm}$.

On laisse le système longtemps dans une pièce à la température $T_0 = 300 \text{ K}$ et à la pression $P_0 = 1 \text{ bar}$.

① Quelle est la température finale T_1 ? Quel est le volume

final V_1 ? Quelle est la pression finale P_1 .

La partie supérieure du cylindre est en fait un piston mobile de masse négligeable que nous avons bloqué. Nous le libérons et attendons un long moment.

② Quelle est la température finale du système T_2 , la pression finale du système P_2 et le volume finale du système V_2 ?

Nous ajoutons sur le piston une masse $m = 50 \text{ kg}$. Nous attendons que l'équilibre se fasse.

③ Déterminer la température finale T_3 , la pression finale P_3 ainsi que le volume final V_3 .

Solution $T_3 = T_2 = T_1 = T_0 = 400 \text{ K}$ car il y a toujours équilibre thermique.

① Le volume est fixé (c'est une variable d'état), donc $V_1 = V_0 = \pi R h$

L'équation des GP permet d'en déduire la pression à l'équilibre $P_1 = nRT_1/V_1 = nRT_0/V_0$. Nous ne connaissons pas n .

À l'état initial, $P_i V_0 = nRT_i$, d'où $n_i = \frac{P_i V_0}{RT_i}$.

Au final, $P_1 = P_i T_0/T_i$.

A.N : $V_1 = V_0 = 3,1 \text{ L}$ et $P_1 = 1,5 \text{ bar}$.

② Il y a équilibre mécanique, c'est-à-dire que la somme des forces s'appliquant sur les parties mobiles aux frontières du système est nulle.

Syst : piston de masse négligeable, BAME : force pressante extérieure, force pressante intérieure d'où l'on tire $P_2 = P_0$.

Cette fois-ci, le volume n'est plus une variable d'état, mais c'est la pression qui va imposer le volume. Loi des GP : $V_2 = nRT_0/P_0 = \frac{P_i V_0 T_0}{P_0 T_i}$.

A.N $P_2 = 1 \text{ bar}$ et $V_2 = 4,65 \text{ L}$. Interprétation : la chute de température tend à faire baisser le piston, mais la chute de pression tend à la faire monter, il y a compétition entre les deux effets.

③ Équilibre mécanique : sommes des forces nulle. Attention,

il faut ajouter l'action de la masse sur le piston, puis refaire un bilan sur la masse en toute rigueur. $P_3 = P_0 + mg/S$ où $S = \pi R^2$ est la surface du piston.

Pour le volume, c'est la même formule qu'à la question 2, pour les mêmes raisons. $V_3 = nRT_0/P_0 = \frac{P_i V_0 T_0}{P_3 T_i}$.

A.N $P_3 = 1,2$ bar (attention aux unités dans l'AN). D'où $V_3 = 3,8$ L. Interprétation, l'ajout d'une masse à augmenter la pression et donc diminuer le volume.

① $V_m = 29$ L/mol

② $PV_m/R = T$, donc la courbe représentative d'un GP dans le diagramme d'Amagat est une droite. On peut le considérer que cela est le cas si la température est suffisamment élevée et la pression pas trop forte.

③ $P = \frac{RT}{Mv}$. La courbe représentative d'un gaz parfait dans le diagramme de Clapeyron est une fonction inverse. Mêmes conditions que la question précédente.

Application 4 : Validité du modèle des GP

Énoncé

① Déterminer le volume molaire pour un GP dans les conditions usuelles de pression et température.

Nous donnons ci-dessous le diagramme d'Amagat et le diagramme de Clapeyron pour un gaz argon. Ces graphiques caractérisent le gaz réel, il s'agit de relevés expérimentaux.

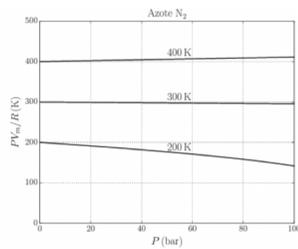


Diagramme d'Amagat

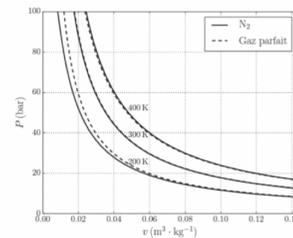


Diagramme de Clapeyron

② Pour le diagramme d'Amagat, quelle serait l'équation de la courbe pour un GP ? Dans quelles conditions le diazote peut-il être considéré comme un gaz parfait ?

③ Mêmes questions pour le diagramme de Clapeyron

Solution

Application 5 : Énergie d'un GP

Énoncé

① Calculer la variation d'énergie interne ΔU d'une mole de gaz parfait monoatomique pour augmenter sa température de 1 K.

Solution

① $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = 12$ J

Application 6 : Calcul d'énergie interne

① **Énoncé** Soit un cycliste descend un col à vélo. Son vélo, en haut, est à l'équilibre thermique à 20 °C. En bas, les disques de frein ont une température de 220 °C. La masse des disques de frein, en acier, est $m = 500$ g.

Donnée : capacité thermique massique de l'acier : $c_v = 1000$ J K⁻¹ kg⁻¹

① Quelle est la variation d'énergie interne des disques de frein ?

Solution

① $\Delta U = C_v \Delta T = mc_v \Delta T$

A.N. $\Delta U = 1 \times 10^5$ J.