

Chapitre 1 : Systèmes thermodynamiques à l'équilibre

Prérequis

- ▶ rien de spécifique

Mots-clés

système thermodynamique, grandeurs thermodynamiques, variables d'état, pression, température, équation d'état, échelle micro/méso/macrosopique, approche microscopique du gaz parfait



PLAN DU COURS

A

Description d'un système thermodynamique

- A.1** Qu'est-ce qu'un système thermodynamique ?
- A.2** Différentes échelles de description d'un système
- A.3** Grandeurs thermodynamiques
- A.4** Les différents états de la matière

B

Équilibre d'un système monophasé

- B.1** Qu'est-ce qu'un état d'équilibre thermodynamique ?
- B.2** Notion d'équation état et variables indépendantes
- B.3** Cas d'une phase gazeuse
- B.4** Cas d'une phase condensée

C

Approche microscopique du gaz parfait

- C.1** Caractéristiques du gaz parfait
- C.2** Température «cinétique»
- C.3** Pression «cinétique»



LES SAVOIRS ET LES SAVOIR-FAIRE

A Description d'un système thermodynamique



CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité.
- ★ Citer quelques ordres de grandeur de libres parcours moyens.
- ★ Préciser les paramètres nécessaires à la description d'un état microscopique et d'un état macroscopique sur un exemple.
- ★ Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.

A.1 Qu'est-ce qu'un système thermodynamique ?

1. Définir ce qu'est un système thermodynamique.
2. Qu'est-ce qu'un système fermé ? isolé ? Donner des exemples.

A.2 Différentes échelles de description d'un système

3. Qu'est-ce que l'échelle microscopique ? macroscopique ? mésoscopique ?

A.3 Grandeurs thermodynamiques

4. Qu'est-ce qu'une grandeur extensive ? intensive ?
5. Pour une grandeur extensive G , définir les grandeurs massique et molaire, g et G_m , correspondantes. Traiter également le cas d'un système homogène.
6. Définir la pression d'un fluide.
7. Définir la température thermodynamique. Quel est le lien avec l'échelle Celsius ?
8. Définir la densité particulaire, masse volumique, volume massique, volume molaire.

A.4 Les différents états de la matière

9. Quels sont les différents états de la matière ? Qu'est-ce qui les différencie ?
10. Définir le libre parcours moyen et donner des ordres de grandeur pour un état liquide et gazeux.
11. Définir ce qu'est une phase.

B Équilibre d'un système monophasé



CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.
- ★ Dédire une température d'une condition d'équilibre thermique.
- ★ Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.
- ★ Citer et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
- ★ Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.
- ★ Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.

B.1 Qu'est-ce qu'un état d'équilibre thermodynamique ?

12. Définir ce qu'est l'équilibre thermodynamique d'un système.

B.2 Notion d'équation état et variables indépendantes

13. Qu'est-ce qu'une équation d'état ?

B.3 Cas d'une phase gazeuse

14. Que équation d'état peut-on adopter pour décrire un gaz ? (modèle du gaz parfait)

15. Expliquer en quoi ce modèle est-il satisfaisant en donnant qualitativement l'allure du diagramme de Clapeyron et du diagramme d'Amagat d'un gaz.

16. Dans quelle condition ce modèle est-il d'autant plus satisfaisant ?

B.4 Cas d'une phase condensée

17. D'après l'allure du diagramme de Clapeyron d'une phase condensée (eau liquide par exemple), quel modèle simple peut-on adopter pour décrire une phase condensée ?

C Approche microscopique du gaz parfait

CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Utiliser un modèle unidirectionnel avec une distribution discrète de vitesse pour montrer que la pression est proportionnelle à la masse des particules, à la densité particulaire et au carré de la vitesse quadratique moyenne.
- ★ Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait

C.1 Caractéristiques du gaz parfait

18. Préciser les hypothèses du modèle du gaz parfait.

19. Quelles sont les caractéristiques de la distribution des vitesses ?

20. Définir la vitesse quadratique moyenne.

C.2 Température «cinétique»

21. Donner le lien entre la température et l'énergie cinétique moyenne individuelle.

22. En déduire l'expression de la vitesse quadratique moyenne en fonction de la température et la masse molaire.

C.3 Pression «cinétique»

23. À l'aide d'un modèle unidimensionnel et en considérant que chaque particule se déplace à la vitesse quadratique moyenne, montrer que la pression est proportionnelle à la masse des particules, à la densité particulaire et au carré de la vitesse quadratique moyenne.

24. L'expression obtenue doit être corrigé d'un facteur $1/3$. Retrouver alors l'équation d'état du gaz parfait.



E
x



EXERCICES

DIFFICULTÉ DE L'EXERCICE (ANALYSE, «TECHNICITÉ», ...)

DURÉE DE L'EXERCICE

COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

	Exercices			
	1	2	3	4
Exploiter l'équilibre mécanique d'un système	•			
Exploiter l'équilibre thermique d'un système	•	•		
Exploiter l'équation d'état d'un système monophasé	•	•	•	
Relier la température d'un gaz parfait à la distribution des vitesses				•

Exercice 1

Transformations d'un gaz avec échanges thermiques



Un gaz parfait de quantité de matière n est placé dans un cylindre surmonté d'un piston de masse négligeable et de surface S . L'air extérieur est de température T_0 et de pression P_0 . La paroi permet des échanges thermiques avec l'extérieur. L'état **A** initial correspond à un volume $V_A = V_0$.

On fait passer le gaz dans un état **B** en plaçant le cylindre dans une enceinte thermostatée à température T_1 ou règne une pression P_0 : on observe que le volume du gaz double.

On pose alors une masse sur le piston de valeur suffisante de sorte à ramener le volume à V_0 . Le gaz passe ainsi à l'état **C**.

Enfin, on sort le cylindre de l'enceinte sans enlever la masse et on laisse ainsi le gaz évoluer vers l'état **D**.

Pour chaque état, préciser les valeurs de la pression, du volume et de la température du gaz en fonction de P_0 , T_0 et V_0 . Présenter les résultats sous forme d'un tableau.

Exercice 2

Pneus de voiture en hiver



Un conducteur regonfle ses pneus avant de voiture un jour de plein hiver par une température extérieure de -5°C . Comme le préconise la notice de son véhicule, il règle la pression relative P_{rel} (écart par rapport à la pression atmosphérique) à 2,2 bar en mesurant à l'aide d'un manomètre. La pression absolue est alors $P = P_{rel} + P_{atm} = 3,2$ bar.

En supposant que le volume des pneus varie de façon négligeable et qu'il n'y a aucune fuite d'air possible, que vaudra la pression des pneus un jour d'été par une température extérieure de 30°C ? Quelle la pression relative qu'indiquerait un manomètre? Que doit faire le conducteur?

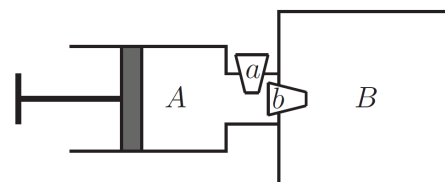


Exercice 3

Pompe à vélo

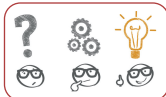


Une pompe à vélo dont le corps A a un volume maximal $V_P = 200$ mL permet de gonfler une chambre à air B supposée de volume constant $V_0 = 5,0$ L. La soupape (a) ne laisser l'air que de l'extérieur vers l'intérieur du corps de pompe, alors que la soupape (b) ne laisse passer l'air que de A vers B .



Lors de chaque coup de pompe, le piston effectue un aller-retour complet faisant varier A d'un volume nul à un volume V_P . On suppose les évolutions isothermes. Au début de l'opération, la température de l'air est $T_0 = 298$ K et sa pression $P_0 = 1,0$ bar dans tous les compartiments et à l'extérieur.

- Calculer la pression de l'air P_1 à l'intérieur de B au bout du premier aller-retour.
- On note P_k la pression dans la chambre à air après k coups de pompe. Établir la relation entre P_k , P_0 , V_P , V_0 , et k .
- Usuellement pour un vélo, le pneu doit être gonflé sous une pression $P_f = 5$ bar. Calculer le nombre de coups de pompe nécessaires.



RÉSOLUTION DE PROBLÈME

Exercice 4

Atmosphère d'un astéroïde



L'astéroïde Ryugu présente une activité de dégazage (libération de gaz à sa surface). Il a été visité par la sonde japonaise Hayabusa 2 en 2018 pour extraire des fragments de roche renfermant le gaz en question. L'étude des échantillons collectés a été confiée au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques à Nancy.

L'astéroïde peut être considéré de forme sphérique de rayon $R_a = 1,0$ km et de masse $m_a = 5 \cdot 10^{11}$ kg. La température de surface est de l'ordre de quelques dizaines de kelvins, due au rayonnement solaire. Le gaz est de masse molaire est d'environ $M = 30$ g.mol⁻¹.



Expliquer pourquoi le dégazage ne permet pas toutefois à l'astéroïde de posséder une atmosphère.