
TRAVAUX DIRIGÉS

DE PHYSIQUE

CHARLES TUCHENDLER



MPSI 4 – LYCÉE SAINT-LOUIS

ANNÉE 2017/2018

Table des matières

TD N° 20	PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE	1
Exercice n° 1 - Evolution de systèmes thermodynamiques		1
Exercice n° 2 - Caractérisation de diverses transformations		1
Exercice n° 3 - Compressions d'un gaz parfait		1
Exercice n° 4 - Influence du chemin de transformation		2
Exercice n° 5 - Calculs de travaux échangés		2
Exercice n° 6 - Cycle de Lenoir		2
Exercice n° 7 - Compression adiabatique d'un gaz parfait		3
Exercice n° 8 - Travail fourni par un opérateur		3
Exercice n° 9 - Détente dans le vide		3
Exercice n° 10 - Calorimétrie		3

PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

Exercice n° 1 - Evolution de systèmes thermodynamiques

Préciser si les transformations ci-dessous sont quasistatiques ou brutales, puis si elles sont *a priori* réversibles ou irréversibles. Enfin, trouver une transformation permettant de passer de l'état d'équilibre initial à l'état d'équilibre final par une transformation brutale si elle était initialement quasistatique, et par deux transformations quasistatiques (l'une réversible et l'autre irréversible) si elle était initialement brutale.

1. *Compression d'un gaz* : on lâche un sac de sable sur un piston vertical afin de comprimer le gaz situé à l'intérieur du piston.
2. *Refroidissement d'un café* : on laisse refroidir un café initialement à 60°C jusqu'à la température ambiante.

Exercice n° 2 - Caractérisation de diverses transformations

Pour chacune des situations suivantes, proposer une modélisation convenable de l'évolution (isotherme, isobare, isochore...), puis détailler qualitativement le sens et la nature (thermique ou mécanique) des transferts énergétiques entre le système et le milieu extérieur. On précisera si la transformation est brutale ou quasistatique, et réversible ou irréversible.

1. Un ballon dont l'enveloppe est supposée parfaitement déformable est placé au contact de l'atmosphère. Au cours de la journée, la température extérieure augmente progressivement.
2. Le même ballon est sorti d'une habitation au cours de l'après-midi, alors que sa température est inférieure à la température extérieure, supposée constante pendant la durée d'observation.
3. Une bouteille rigide est placée dans un réfrigérateur de température fixe.
4. De l'air est enfermé dans un pneu et dans le corps d'une pompe à vélo. On actionne rapidement la pompe pour réduire le volume du corps de pompe à zéro.
5. Le même coup de pompe est donné par un cycliste méticuleux qui consacre son après-midi à réaliser la même opération. La température extérieure est considérée comme constante pendant toute la durée de la transformation.
6. Un pneu de vélo enfermé au garage a une crevaison lente.
7. Un pneu de vélo enfermé au garage éclate.

Exercice n° 3 - Compressions d'un gaz parfait

Un gaz parfait est contenu dans un cylindre vertical fermé par un piston. La température initiale du gaz est égale à la température extérieure $T_1 = 293 \text{ K}$, sa pression est $P_1 = 1 \text{ atm}$ et son volume est $V_1 = 5 \text{ L}$. On néglige le poids du piston devant la force pressante exercée par l'atmosphère. Les parois du cylindre et du piston sont diathermanes (bons conducteurs de la chaleur).

1. On appuie très lentement sur le piston de manière à assurer, à chaque instant, l'équilibre thermique entre le gaz et le milieu extérieur, jusqu'à ce que le gaz atteigne la pression $P_2 = 10 \text{ atm}$.

- (a) Comment appelle-t-on une telle transformation ?
 - (b) Quelle est la température T_2 du gaz dans l'état final ?
 - (c) En utilisant la loi des gaz parfaits, en déduire le volume final V_2 occupé par le gaz.
 - (d) Déterminer la variation d'énergie interne ΔU ainsi que le travail W et le transfert thermique Q échangés avec l'extérieur.
2. On applique brutalement une surpression extérieure, de manière à ce que la pression passe brusquement de la valeur P_1 à la valeur P_2 . On attend que l'équilibre thermique soit atteint.
- (a) Comment appelle-t-on une telle transformation ?
 - (b) Quelle est la température T'_2 du gaz dans l'état final ?
 - (c) En utilisant la loi des gaz parfaits, en déduire le volume final V'_2 occupé par le gaz.
 - (d) Déterminer la variation d'énergie interne $\Delta U'$ ainsi que le travail W' et le transfert thermique Q' échangés avec l'extérieur.

Exercice n° 4 - Influence du chemin de transformation

Une mole de dioxygène, assimilé à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$, passe d'un volume $V_1 = 10$ L à la température $t_1 = 25^\circ\text{C}$, à un volume $V_2 = 20$ L à la température $t_2 = 100^\circ\text{C}$.

1. Rappeler la relation de Mayer et la définition du coefficient γ . En déduire l'expression de la capacité thermique à volume constant C_V en fonction de γ et du nombre de moles n , puis de la capacité thermique à volume constant molaire C_{V_m} . Application numérique pour C_{V_m} .
2. La détente s'effectue par un chauffage isochore suivi d'une détente isotherme, ces transformations étant très lentes.
 - (a) Représenter le chemin suivi dans le diagramme de Clapeyron (P, V).
 - (b) Calculer le transfert thermique Q et le travail W échangés avec le milieu extérieur.
3. La détente s'effectue maintenant par une détente isotherme suivie d'un chauffage isochore, ces transformations étant très lentes.
 - (a) Représenter le chemin suivi dans le diagramme de Clapeyron (P, V).
 - (b) Calculer le transfert thermique Q' et le travail W' échangés avec le milieu extérieur.
4. Que remarque-t-on concernant $W + Q$ et $W' + Q'$? Interprétation.

Exercice n° 5 - Calculs de travaux échangés

2 moles de dioxygène, assimilé à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$, passent réversiblement de l'état initial A ($P_A, V_A, T_A = 300$ K) à l'état final B ($P_B = 3 P_A, V_B, T_B = T_A$). On envisage trois transformations distinctes pour passer de A en B :

- une transformation isotherme
 - une transformation isochore de P_A à P_B puis une transformation isobare de V_A à V_B
 - une transformation représentée par un segment de droite dans le diagramme (P, V) : la pression augmente proportionnellement à la diminution de volume
1. Représenter ces trois transformations dans un diagramme (P, V).
 2. Calculer les travaux et les transferts thermiques mis en jeu dans ces transformations en fonction de R et de T_A . Applications numériques. Commenter les signes.

Exercice n° 6 - Cycle de Lenoir

On considère une mole de gaz parfait ($\gamma = 1,4$) dans un état initial $P_0 = 2$ bar et $V_0 = 14$ L. On fait subir successivement à ce gaz :

- une détente isobare qui triple son volume
- une compression isotherme qui le ramène à son volume initial
- un refroidissement isochore qui le ramène à son état initial

1. A quelle température s'effectue la compression isotherme ?
2. Calculer la pression maximale atteinte.
3. Représenter le cycle de la transformation dans un diagramme (P, V) .
4. Calculer le travail échangé au cours de ce cycle.
5. En déduire le transfert thermique entre le système et le milieu extérieur au cours du cycle.
6. Calculer le transfert thermique au cours de chaque étape du cycle.
7. Calculer la variation d'énergie interne et d'enthalpie à chaque étape du cycle.

Exercice n° 7 - Compression adiabatique d'un gaz parfait

De l'air, à la température T_1 , est contenu dans un cylindre vertical aux parois calorifugées fermé par un piston également calorifugé, de section S et de masse M_0 . L'ensemble est placé dans l'air à la pression P_{atm} . A l'équilibre, le piston se trouve à une distance h_1 du fond du récipient.

Données : $P_{atm} = 10^5$ Pa ; $S = 0,1$ m² ; $M_0 = 100$ kg ; $h_1 = 1$ m ; $T_1 = 300$ K ; $\gamma = 1,4$; $g = 10$ m.s⁻²

1. On pose sur le piston une masse M_0 . Le piston descend brutalement et oscille du fait des phénomènes dissipatifs. Il finit par s'immobiliser à une distance h_2 du fond du récipient.
 - (a) Déterminer l'état final (P_2, T_2, h_2) de l'air enfermé dans le cylindre.
 - (b) Calculer le travail W échangé entre l'air contenu dans le cylindre et le milieu extérieur.
2. Repartant de l'état initial, on pose successivement sur le piston des masses m ($m \ll M_0$) en attendant à chaque fois que le piston s'immobilise. On répète l'opération jusqu'à ce que la charge totale soit égale à M_0 .
 - (a) Déterminer l'état final (P'_2, T'_2, h'_2) de l'air enfermé dans le cylindre.
 - (b) Calculer le travail W' échangé entre l'air contenu dans le cylindre et le milieu extérieur.

Exercice n° 8 - Travail fourni par un opérateur

On considère un cylindre horizontal muni d'un piston et contenant un gaz supposé parfait, de volume $V_1 = 5$ L et de pression $P_1 = P_{atm} = 1$ bar. Un opérateur, en agissant sur le piston, réalise une détente quasistatique isotherme du gaz et double ainsi son volume.

1. Exprimer le travail W_{atm} de la force pressante due à l'atmosphère. En déduire l'expression puis la valeur du travail W_{op} fourni par l'opérateur.
2. Reprendre ces questions si l'opérateur lâche le piston de manière à ce que la détente soit irréversible.

Exercice n° 9 - Détente dans le vide

Un récipient parfaitement calorifugé et aux parois indéformables est divisé en deux compartiments A et B de même volume V . Les deux compartiments communiquent par un petit tube muni d'un robinet. A contient un gaz parfait à la température $T_0 = 293$ K et B est vide.

On ouvre le robinet et le gaz s'écoule. On referme le robinet dès que l'équilibre des pressions est atteint.

On mesure $T_A = 240$ K. Calculer T_B .

Exercice n° 10 - Calorimétrie

Un calorimètre en laiton pesant 100 g contient 200 g d'eau et un bloc d'aluminium pesant 140 g. La température initiale est 15°C.

Une spirale de chauffage de résistance $R = 4\Omega$, et de capacité calorifique négligeable, est immergée dans l'eau. On fait passer un courant de 3A pendant 2 min et on constate que la température du calorimètre devient 19,3°C.

Quelle est la chaleur massique de l'aluminium ?

Données : capacité thermique massique de l'eau $c_e = 4,18$ J.g⁻¹.K⁻¹ ; capacité thermique massique du laiton $c_l = 0,418$ J.g⁻¹.K⁻¹.