1er principe et 2ème principe de la thermodynamique

<u>Compétences et capacités scientifiques mises en œuvre dans ce TD</u>

- ☑ **Connaître le vocabulaire relatif à la nature d'une transformation**
- ☑ **Calculer le travail des forces de pression**
- ☑ **Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron**
- ☑ **Appliquer le 1er principe de la thermodynamique à un système fermé**
- ☑ **Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait ou d'une phase condensée incompressible et indilatable**
- ☑ **Exprimer l'enthalpie d'un gaz parfait ou d'une phase condensée incompressible et indilatable**
- ☑ **Exprimer le 1er principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare**
- ☑ **Réaliser un bilan énergétique en prenant compte des transitions de phase**
- ☑ **Faire un bilan entropique**
- ☑ **Utiliser l'expression de la fonction entropie dans le cas d'un gaz parfait ou d'une phase condensée indilatable et incompressible**
- ☑ **Connaître et savoir utiliser les lois de Laplace**
- ☑ **Réaliser un bilan énergétique en prenant compte des transitions de phase**

$R = 8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}$, $g = 9{,}81\ m.s^{-}$, gaz parfait monoatomique $C_{vm} = \frac{3}{2}R$, et diatomique $C_{vm} = \frac{5}{2}R$

Parcours	Programme d'entraînement
Facile	Exercices 1, 2, 5, 8
Intermédiaire	Exercices 1, 3, 5, 6, 8
Avancé	Exercices 1, 3, 4, 6, 7, 8

<u>Exercice n° 1</u> : Influence du chemin suivi (★)

Une mole de dioxygène, assimilé à un gaz parfait de cœfficient $\gamma = 7/5$, passe d'un volume $V_1 = 10{,}0$ L à la température $T_1 = 25{,}0$°C à un volume $V_3 = 20{,}0$ L à la température $T_3 = 100$°C.
La détente s'effectue par un chauffage isochore quasi-statique suivi d'une détente isotherme réversible.

1) Représenter le chemin suivi dans le diagramme (P, V).
2) Calculer le transfert thermique Q et le travail W échangés par le gaz avec l'extérieur.

La détente s'effectue maintenant par une détente isotherme réversible suivie d'un chauffage isochore quasi-statique.

3) Représenter le chemin suivi dans le diagramme (P, V).
4) Calculer le transfert thermique Q′ et le travail W′ échangés par le gaz avec l'extérieur.
5) Que remarque-t-on concernant les sommes W + Q et W′ + Q′ ? Interpréter.

<u>Exercice n° 2</u> : Travail des forces de pression (★)

On considère n = 0,5 mol d'un gaz parfait diatomique contenu dans un cylindre vertical fermé par un piston pouvant coulisser. Le gaz est initialement pris sous la pression $P_0 = 1$ bar et la température $T_0 = 293$ K.

1) On amène très lentement la pression du gaz à $P_1 = 5$ bar en maintenant sa température constante. On suppose la transformation réversible. Quel est le travail des forces de pression ?
2) Puis, en maintenant la pression constante, on échauffe le gaz jusqu'à la température $T_2 = 343$ K. Quel est le travail des forces de pression ?

3) En isolant thermiquement les parois du cylindre, on détend le gaz pour l'amener à la température $T_3 = 192$ K et à la pression $P_3 = 0{,}653$ bar. Quel est le travail des forces de pression ?

<u>Exercice n° 3 :</u> Transformations couplées (★★★)

On considère un cylindre rigide, fermé, horizontal et séparé en deux compartiments A et B de volumes respectifs V_A et V_B par un piston calorifugé coulissant librement sans frottement. Les parois du cylindre sont supposées rigides et parfaitement calorifugées. A et B contiennent initialement la même quantité de gaz parfait à la pression $P_0 = 1$ bar, à la température $T_0 = 300$ K et occupant un volume $V_0 = 1{,}0$ L. On donne pour le gaz parfait $\gamma = C_p/C_v = 7/5$.

Le compartiment A est chauffé à l'aide d'une résistance chauffante $R_e = 10\ \Omega$, de capacité thermique négligeable, parcourue par un courant d'intensité I = 1A, pendant une durée Δt au bout de laquelle le volume de gaz A atteint la valeur $V_{Af} = 1{,}1$ L. La transformation subie par le gaz B est supposée <u>réversible</u>.

1) Calculer la pression finale dans chacun des compartiments.
2) Déterminer la température finale dans chacun des compartiments.
3) Calculer le travail algébriquement reçu par le gaz du compartiment B.
4) En déduire le travail algébriquement reçu par le gaz du compartiment A.
5) En déduire la durée Δt.

<u>Exercice n° 4 :</u> Boisson rafraîchissante (Résolution de problème)

Par une chaude journée d'été, vous avez oublié de mettre au frigo le jus de fruits de l'apéritif. Estimer la quantité de glaçons que vous devez y ajouter pour qu'il soit suffisamment frais.

<u>Données :</u>
Enthalpie massique de fusion de l'eau $\Delta_{\text{fus}}h = 3{,}3 \cdot 10^2\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Capacités thermiques massiques de l'eau liquide $c_\ell = 4{,}2\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
et de l'eau glace $c_g = 2{,}1\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

<u>Second Principe</u>

<u>Exercice n° 5 :</u> Étude d'un cycle (★)

Un gaz parfait de quantité de matière constante et caractérisé par un rapport $\gamma = 1{,}4$ parcourt le cycle constitué des transformations suivantes :
- AB : compression isentropique ;
- BC : détente isotherme réversible ;
- CA : évolution isochore et monotherme (température extérieure $T_{\text{ext}} = T_A$).

On donne $P_A = 1{,}0$ bar, $V_A = 500$ cm³, $T_A = 100$ K, $T_B = 300$ K.

1) Calculer P_B, V_B et P_c.
2) Représenter le cycle en coordonnées de Clapeyron.
3) Calculer les variations d'entropie ΔS_{BC}, ΔS_{CA} ainsi que l'entropie créée S^c_{CA} au cours de la transformation CA.

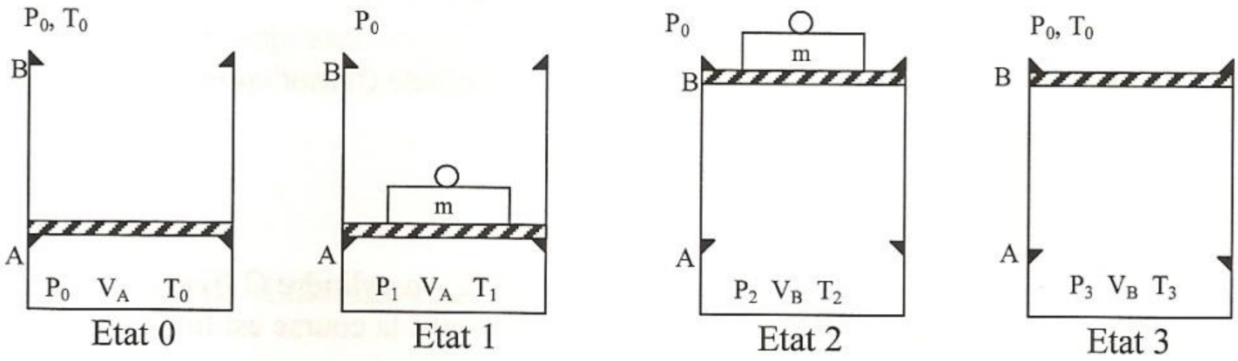
Exercice n° 6 : Cycle de transformation (★★)

On imagine un cylindre aux parois diathermanes, fermé d'un piston. Le piston, de masse négligeable, peut glisser sans frottements entre des cales A et B, sa section est S.
La température extérieure est constante et vaut T_0.

Dans l'état initial 0, le piston est bloqué par les cales A, le cylindre renferme un volume V_A d'air supposé parfait, de coefficient γ, à la température de l'extérieur T_0 et de pression P_0.

Données numériques :

- $V_A = 330$ mL, $T_0 = 300$ K, $P_0 = 1$ bar, $m = 10$ kg, $S = 100$ cm^2, $g = 10$ m.s^{-2}, $V_B = 1$L.
- *Les capacités thermiques du gaz seront supposées indépendantes de la température et on donne* $\gamma = 1,4$.
- *La constante des gaz parfaits est* $R = 8,314$ J.K^{-1}.mol^{-1}.



1) Calculer la quantité de matière de gaz contenu dans le cylindre.

On place une masse m sur le piston et on chauffe très doucement le gaz par un moyen approprié, non représenté sur le schéma, jusqu'à ce que le piston décolle **juste** de la cale A.
Le gaz est alors dans l'état 1 : P_1, V_A, T_1.

2) Quelle est la nature de la transformation de 0 à 1 subie par le gaz ?
3) Exprimer la pression P_1 et la température T_1 en fonction de P_0, T_0, m, g et S. Faire l'application numérique.
4) Exprimer la quantité de chaleur $Q_{0\to1}$ mise en jeu au cours de cette transformation en fonction de C_V ou C_P, T_1, T_0. Faire l'application numérique.

On maintient ensuite le chauffage jusqu'à ce que le piston arrive **juste** en B.
Le gaz est dans l'état 2 : P_2, V_B, T_2.

5) Quelle est la nature de la transformation de 1 à 2 subie par le gaz ?
6) Que vaut P_2 ?
7) Exprimer la température T_2 en fonction de T_1, V_A, V_B. Faire l'application numérique.
8) Exprimer la quantité de chaleur $Q_{1\to2}$ reçue par le gaz au cours de cette transformation en fonction de C_V ou C_P, T_1, T_2. Faire l'application numérique.

Le chauffage est alors arrêté. On ôte la masse m et on laisse refroidir l'ensemble jusqu'à ce que le piston décolle **juste** de B.
Le gaz est dans l'état 3 : P_3, V_B, T_3.
On laisse toujours refroidir jusqu'à la température T_0, alors, le piston revient en A.
Le gaz est à nouveau dans l'état 0, le cycle est terminé.

9) Quelles sont les natures des transformations 2 à 3 et 3 à 0 subies par le gaz ?
10) Que vaut P_3 ?
11) Exprimer la température T_3 en fonction de T_2, P_2, P_3. Faire l'application numérique.

12) Calculer les chaleur $Q_{2\to3}$ et $Q_{3\to0}$ mises en jeu lors des transformations 2 à 3 et 3 à 0.
13) Calculer les variations d'entropie lors des transformations 2 à 3 et 3 à 0.
14) Calculer les entropies échangées lors des transformations 2 à 3 et 3 à 0, en déduire les entropies créées. Conclure.
15) Exprimer le travail W total échangé par ce « moteur » avec l'extérieur, au cours du cycle, en fonction de m, g, V_A et V_B. Faire l'application numérique.
16) Tracer l'allure du diagramme de Clapeyron d'un cycle.
17) Retrouver, d'après ce diagramme, le travail W calculé précédemment.

Exercice n° 7 : Effet Joule (★★)

Considérons une masse $m = 100$ g d'eau dans laquelle plonge un conducteur de résistance R= 20 Ω. L'ensemble {eau + résistance} forme un système noté $\mathcal{S}$, de température initiale T_0 = 20°C. On impose au travers de la résistance un courant I = 1 A pendant une durée Δt = 10 s.

Données :
Capacité thermique de la résistance : C_R= 8 J·K⁻¹
Capacité thermique massique de l'eau : c_{eau}= 4,18 J·g⁻¹·K⁻¹.

1) La température de l'ensemble est maintenue constante. Quelle est la variation d'entropie du système $\mathcal{S}$ {eau + résistance} ?
2) Quelle est l'entropie créée ? Commenter le signe de l'entropie créée.
3) Le même courant passe dans le même conducteur pendant la même durée, mais cette fois $\mathcal{S}$ est isolé thermiquement.
   a) À l'aide du 1er principe, exprimer la température finale.
   b) Calculer la variation d'entropie de $\mathcal{S}$ et l'entropie créée.

Exercice n° 8 : Formation de glaçons (★★)

On remplit un bac à glaçons d'eau et on le place dans un congélateur. Le bac à glaçons permet de faire 12 glaçons, chacun de masse $m = 15{,}0$ g.
Le congélateur est maintenu à la température T_2 =−18,0°C et l'eau liquide est initialement à la température T_1 = 25,0°C.

On attend jusqu'à atteindre l'équilibre thermique.
On note $c_\ell = 4{,}18\ \mathrm{kJ.kg^{-1}.K^{-1}}$ la capacité thermique massique de l'eau liquide, $c_s = 2{,}09\ \mathrm{kJ.kg^{-1}.K^{-1}}$ celle de la glace et $\Delta_{fusion}h$ = 333 kJ.kg⁻¹ l'enthalpie massique de fusion de la glace à T_{fus} = 273 K.

1) Déterminer l'état final et décrire les différentes étapes de la transformation.
2) Déterminer la variation d'entropie de l'eau au cours de la transformation. Commenter son signe.
3) Même question pour l'entropie échangée. La transformation est-elle réversible ?