Thermodynamique
Chapitres 1 à 5

Exercices supplémentaires

I Chapitre 3 – D'un état A à un état B par deux chemins différents

Un récipient de volume $V_A = 1\,\mathrm{L}$, fermé par un piston, contient $n = 0{,}5\,\mathrm{mol}$ de gaz parfait diatomique (de coefficient isentropique $\gamma = 1{,}4$) initialement à la température $T_A = 360\,\mathrm{K}$. On augmente le volume du gaz jusqu'à une valeur $V_B = 7{,}5\,\mathrm{L}$, à la température $T_B = 480\,\mathrm{K}$. Le passage de A à B est imaginé de deux manières différentes :

— Evolution 1 : chauffage isochore de T_A à T_B qui mène à un point C, puis détente isotherme de V_A à V_B.

— Evolution 2 : détente isotherme réversible de V_A à V_B qui mène à un point D, puis chauffage isochore de T_A à T_B.

1 - Représenter les deux évolutions dans le diagramme de p-V. Quel est le signe de W ?

2 - Exprimer puis calculer le travail W_1 et le transfert thermique Q_1 reçus par le gaz, ainsi que la variation d'énergie interne ΔU_1 du gaz lors de l'évolution 1.

3 - Faire de même pour l'évolution 2.

4 - Comparer les résultats pour les deux évolutions.

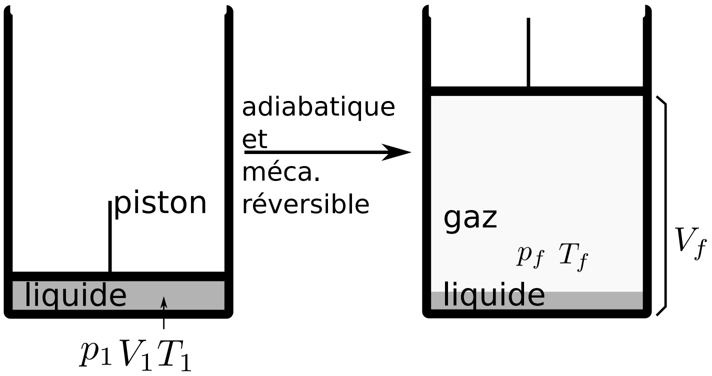
II Chapitre 4 – Vaporisation adiabatique réversible (diagramme p-v) [•••]

Une masse $m = 1{,}0\,\mathrm{kg}$ d'eau liquide est contenue dans un récipient fermé par un piston à $T_1 = 311\,^\circ\mathrm{C}$ sous une pression $p_1 = 100\,\mathrm{bar}$. Le volume initial, noté V_1, est tel que l'eau liquide prend tout l'espace. L'eau est à l'état de liquide saturant, car $p_1 = p_{\mathrm{sat}}(T_1)$.

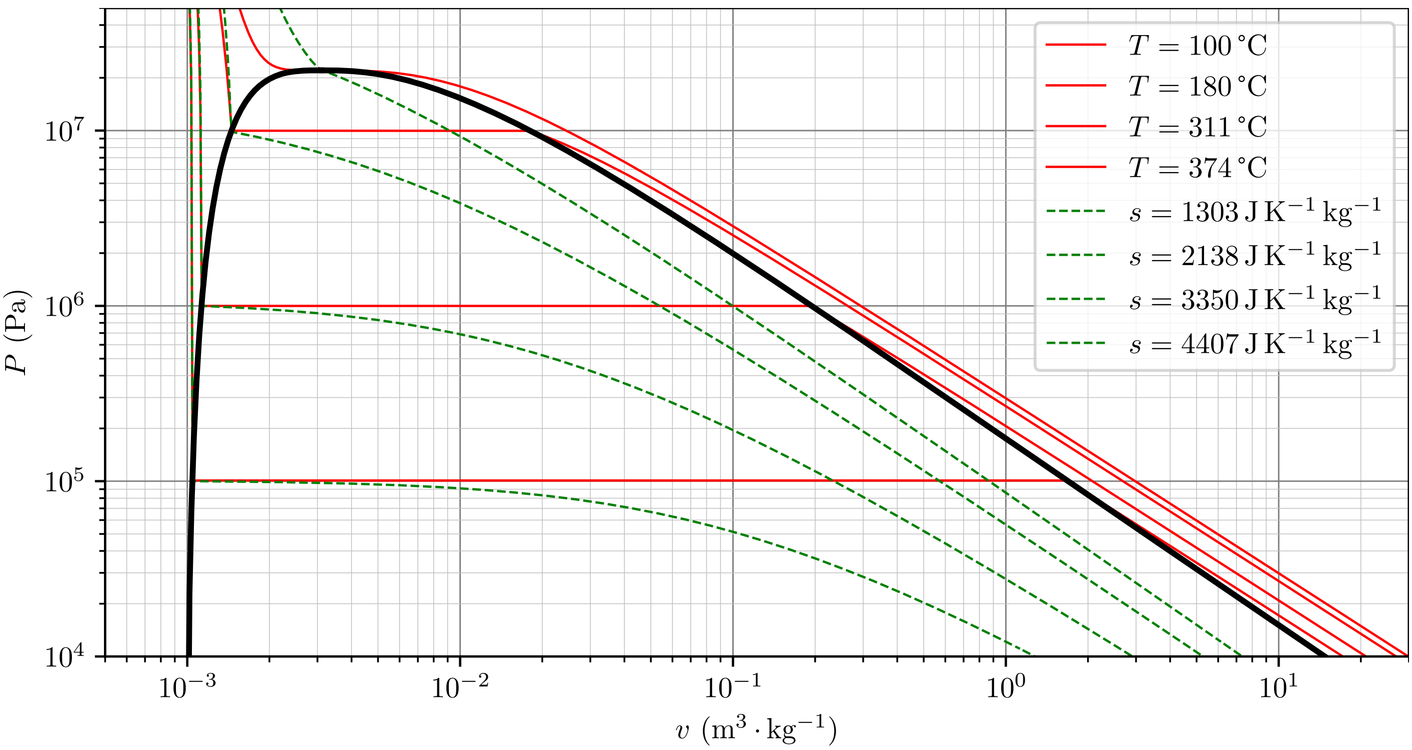
L'ensemble est calorifugé, et l'évolution est donc supposée adiabatique.

La pression atmosphérique est de $1\,\mathrm{bar}$. Le piston est initialement bloqué par une cale. On la retire, et on retient le piston pour qu'il se déplace très lentement et que la pression dans l'enceinte atteigne très progressivement $p_f = 1\,\mathrm{bar}$. La détente est donc réversible.

On suppose que l'état final est un état où du liquide et du gaz coexistent.



On donne ci-dessous le diagramme p-v de l'eau. Les courbe en trait plein sont des isothermes, la plus basse dans le diagramme est pour 100 °C, celle au dessus pour 180 °C, etc. Les courbes en traits tiretés sont des courbes isentropiques, la plus basse est pour $s = 1303\,\mathrm{JK^{-1}kg^{-1}}$, celle au-dessus pour $s = 3350\,\mathrm{JK^{-1}kg^{-1}}$, etc.



On donne également l'enthalpie massique du liquide saturant à deux températures différentes : $h_l(100\,°\mathrm{C} = 0{,}42\,\mathrm{MJ \cdot kg^{-1}}$ et $h_l(311\,°\mathrm{C} = 1{,}40\,\mathrm{MJ \cdot kg^{-1}}$; ainsi que l'enthalpie massique de vaporisation à 100 °C : $\Delta h_{\mathrm{vap}} = 2{,}26\,\mathrm{MJ \cdot kg^{-1}}$.

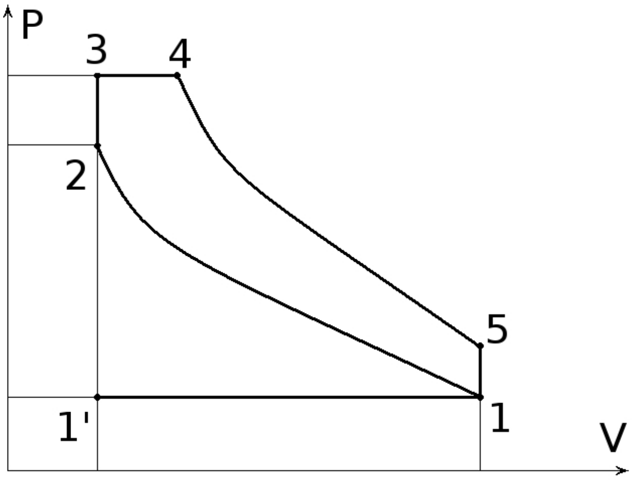
1 - Placer le point représentatif de l'état initial dans le diagramme p-v. Faire de même pour le point représentatif de l'état final. Quelle est la température finale ?

2 - En déduire la valeur du volume final et du titre en vapeur x_v dans l'état final.

3 - En imaginant un chemin fictif qui rend le calcul possible, déterminer la variation d'enthalpie ΔH.

4 - Déterminer la valeur du travail W reçu par le système.

III Chapitre 5 – Moteur Diesel à double combustion



Dans les moteurs Diesel à double combustion, le cycle décrit par le mélange air-carburant peut-être modélisé (de façon idéale) par celui d'un système fermé représenté en coordonnées de Watt ci-contre.

Après la phase d'admission $1' \to 1$ qui amène le mélange au point 1 du cycle, celui-ci subit une compression adiabatique supposée réversible jusqu'au point 2. Après injection du carburant en 2, la combustion s'effectue d'abord de façon isochore de 2 à 3 puis se poursuit de façon isobare de 3 à 4. La phase de combustion est suivie d'une détente adiabatique à nouveau prise réversible de 4 à 5, puis d'une phase d'échappement isochore $5 \to 1$ puis isobare $1 \to 1'$.

Au point 1 du cycle, la pression $p_{\mathrm{m}} = 1{,}0\,\mathrm{bar}$ et la température $T_{\mathrm{m}} = 293\,\mathrm{K}$ sont minimales. La pression maximale, aux points 3 et 4, est $p_{\mathrm{M}} = 60\,\mathrm{bar}$ et la température maximale, au point 4, vaut $T_{\mathrm{M}} = 2073\,\mathrm{K}$. Le rapport volumétrique de compression vaut $\beta = V_{\mathrm{M}}/V_{\mathrm{m}} = 17$, avec $V_M = V_1 = V_5$ et $V_m = V_2 = V_3$.

On suppose que le mélange air-carburant se comporte exactement comme l'air, c'est-à-dire comme un gaz parfait diatomique de masse molaire $M = 29\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$, et de capacités thermiques respectives C_p et C_V constantes, et on note $\gamma = C_p/C_V = 1{,}4$.

Si n est la quantité de matière d'air, alors $C_V = \dfrac{nR}{\gamma - 1}$ et $C_p = \dfrac{nR\gamma}{\gamma - 1}$.

1 - a - Rappeler la loi de Laplace et ses conditions d'application.

Donner l'expression de la température T_2 en fonction de γ, β et T_m, puis sa valeur numérique.

En déduire également l'expression et la valeur de la pression p_2.

b - Donner l'expression de la température T_3 en fonction de p_M, T_2 et p_2, puis sa valeur numérique.

c - Donner l'expression du volume V_4 en fonction de V_m, T_M et T_3.

d - Donner l'expression de la température T_5 en fonction de γ, T_M, T_3 et β, puis sa valeur numérique.

Pour les questions suivantes, on prendra $T_1 = 293\,\mathrm{K}$, $T_2 = 9{,}10 \times 10^2\,\mathrm{K}$, $T_3 = 1{,}0 \times 10^3\,\mathrm{K}$, $T_4 = 2073\,\mathrm{K}$, $T_5 = 8{,}8 \times 10^2\,\mathrm{K}$.

2 - a - Rappeler brièvement l'énoncé du premier principe de la thermodynamique appliqué à un système fermé.

Rappeler également l'énoncé de ce principe lorsque la transformation considérée est isobare.

b - Donner l'expression du transfert thermique massique $q_{2\to3} = Q_{2\to3}/m$ reçu par l'air au cours de la phase de combustion $2 \to 3$.

c - Faire de même pour le transfert thermique massique $q_{3\to4} = Q_{3\to4}/m$ reçu par l'air au cours de la phase de combustion $3 \to 4$.

d - En déduire la valeur numérique du transfert thermique massique q_c reçu par l'air lors de la combustion $2 \to 4$.

3 - Calculer le transfert thermique massique $q_f = Q_f/m$ reçu par l'air depuis le milieu extérieur entre les points 5 et 1.

4 - En déduire le travail massique $w = W/m$ reçu par l'air au cours d'un cycle. Commenter le signe du résultat.

5 - Définir et calculer le rendement de ce moteur. Commenter la valeur trouvée.