

Exercice I Étude d'une Locomotive Diesel

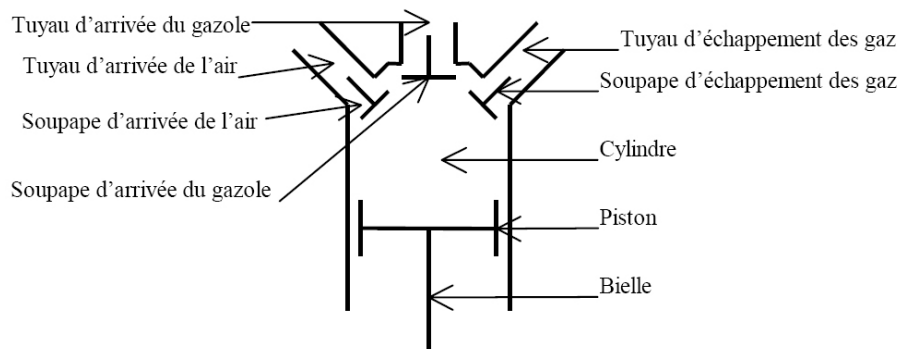
Le moteur des premières locomotives diesels fut inventé en 1892 par l'ingénieur allemand Rudolf Diesel. Mais ces premières locomotives furent un échec : le nombre de vitesses de leur transmission mécanique était insuffisant. La locomotive diesel électrique se passe de boîte de vitesses mécanique : elle est munie d'un moteur diesel qui, en tournant, entraîne un alternateur. Ce dernier fournit de l'énergie à plusieurs moteurs électriques de traction : en somme, cette locomotive fabrique grâce au moteur thermique sa propre électricité.

A Transformations d'un gaz parfait

On supposera que le gaz n'est soumis qu'aux forces de pression. On s'intéresse à une transformation de ce gaz parfait qui le fait passer de l'état initial de pression P_i et de volume V_i à l'état final de pression P_f et de volume V_f . On exprimera les réponses aux questions qui suivent, uniquement en fonction de P_i , V_i , P_f , V_f , et de γ .

- A.1 Exprimer le travail W_{isoV} échangé par ce gaz lors d'une transformation isochore réversible.
- A.2 Exprimer le travail W_{isoP} échangé par ce gaz lors d'une transformation isobare réversible.
- A.3 Exprimer le transfert thermique Q_{isoV} échangé par ce gaz lors d'une transformation isochore réversible.
- A.4 Exprimer le transfert thermique Q_{isoP} échangé par ce gaz lors d'une transformation isobare réversible.
- A.5 Exprimer le transfert thermique Q_{isoS} échangé par ce gaz lors d'une transformation adiabatique réversible. On admettra que lors d'une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait la loi de Laplace $P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$ s'applique.

B États thermodynamiques successifs lors du cycle diesel :



On s'intéresse à un gaz parfait ($\gamma = 1,40$) dans un cylindre de volume variable, entre $V_{min} = 150 \text{ mL}$ et $V_{max} = 400 \text{ mL}$, fermé par un piston, qui subit un cycle réversible dont les caractéristiques sont :

- Admission : la soupape d'arrivée de l'air est ouverte (la pression est $P_{atm} = 1,00 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, la température $T_{atm} = 300 \text{ K}$), les autres fermées. Le volume passe de V_{min} à V_{max} de façon isobare et isotherme.
- $A \rightarrow B$: compression. Les soupapes sont fermées. Le volume passe de V_{max} à V_{min} de façon adiabatique et réversible.
- $B \rightarrow C$: injection. Les soupapes sont fermées, sauf celle d'injection du gazole. Le volume augmente jusqu'à $V_C = 250 \text{ mL}$, on modélise cette phase de combustion par une évolution isobare ($P = P_{max}$) au cours de laquelle le gaz reçoit un transfert thermique lié à l'injection de gazole.
- $C \rightarrow D$: détente. Les soupapes sont toutes fermées. Le volume augmente encore (jusqu'à V_{max}) mais la pression diminue (il s'agit d'une détente adiabatique et réversible).
- $D \rightarrow A$: ouverture de la soupape d'échappement des gaz. La pression diminue brutalement jusqu'à P_{atm} , le volume restant constant.
- Éjection des gaz : la soupape d'échappement des gaz est ouverte, les autres fermées. Le volume passe de V_{max} à V_{min} de façon isobare.

Déterminer numériquement (dans les unités du système international) les caractéristiques de chaque état thermodynamique intermédiaire (pression, température, volume) :

- B.1 en A : la pression P_A , le volume V_A , et la température T_A ;
- B.2 en B : la pression P_B , le volume V_B , et la température T_B ;
- B.3 en C : la pression P_C , le volume V_C , et la température T_C ;
- B.4 en D : la pression P_D , le volume V_D , et la température T_D .

C Transformations lors du cycle diesel :

Déterminer numériquement lors des phases :

- C.1 $A \rightarrow B$: le travail W_{AB} et la chaleur Q_{AB} échangés par le gaz parfait ;
- C.2 $B \rightarrow C$: le travail W_{BC} et la chaleur Q_{BC} échangés par le gaz parfait ;
- C.3 $C \rightarrow D$: le travail W_{CD} et la chaleur Q_{CD} échangés par le gaz parfait ;
- C.4 $D \rightarrow A$: le travail W_{DA} et la chaleur Q_{DA} échangés par le gaz parfait.

D Diagramme de Clapeyron du cycle diesel :

- D.1 Exprimer numériquement la somme des travaux échangés W_{tot} par le gaz parfait sur un cycle. Que penser de son signe ?
- D.2 Tracer le cycle $P = f(V)$ dans les coordonnées de Clapeyron.
- D.3 Dans quel sens est parcouru le cycle diesel dans le diagramme de Clapeyron ? Est-ce normal ?

E Rendement du moteur diesel :

- E.1 Le rendement thermodynamique η correspond au rapport de ce que l'on souhaite sur ce que l'on dépense. Exprimer η en fonction des échanges énergétiques.
- E.2 Calculer η .
- E.3 La vitesse maximale de rotation est $N = 1,5 \cdot 10^3 \text{ tr/min}$, calculer la puissance maximale P_{moteur} de ce moteur diesel.

Exercice II Transformations d'une masse de dioxyde de soufre

Un piston idéal sans masse et sans frottement, d'aire A , peut se déplacer dans un cylindre d'axe vertical. L'ensemble est thermostaté et est maintenu à la température constante T_0 .

Dans ce récipient, de volume variable, est placée une masse m de dioxyde de soufre SO_2 (corps pur). À la température de l'expérience, la pression de vapeur saturante de ce corps pur est $P^*(T_0)$. Dans l'état initial, noté A , un opérateur maintient le piston à une distance H du fond du cylindre pour laquelle le corps pur SO_2 se présente à l'état de vapeur saturante : la vapeur $SO_{2(vap)}$ est en équilibre avec une petite goutte de liquide $SO_{2(liq)}$.

Hypothèses et données :

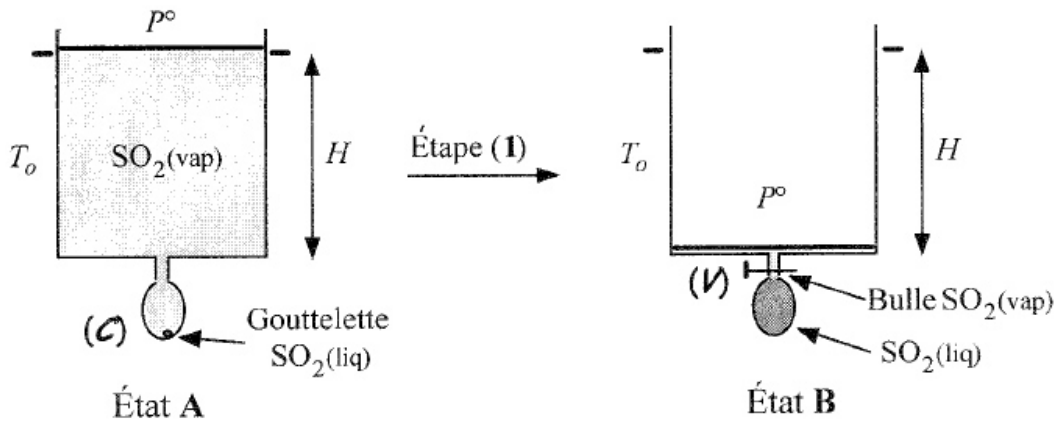
- la température de l'expérience est $T_0 = 263 \text{ K}$;
- le dioxyde de soufre vapeur (en équilibre avec le liquide peut être considéré comme un gaz parfait ;
- le volume de la phase liquide est négligé devant le volume de la phase vapeur ;
- M est la masse molaire du dioxyde de soufre : $M = 64,0 \text{ g mol}^{-1}$;
- $P^*(T)$ est la pression de vapeur saturante du corps pur SO_2 à la température T : $P^*(T_0) = P^\circ = 1,00 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- $\Delta_{vap}h(T)$ est l'enthalpie massique de vaporisation de SO_2 à la température T : $\Delta_{vap}h(T_0) = 4,00 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$
- R est la constante des gaz parfait $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$.

A Généralités

- A.1 Dessiner l'allure du diagramme (P,T) d'équilibre du dioxyde de soufre. On fera apparaître sur ce diagramme les différentes phases ainsi que les points triple et critique dont on donnera la définition.
- A.2 Tracer l'allure du diagramme de Clapeyron du dioxyde de soufre en définissant les divers domaines du diagramme ainsi que le nom des courbes. On se limitera aux zones correspondant au liquide et à la vapeur puis on placera une isotherme et le point critique.
- A.3 Définir l'enthalpie massique de vaporisation du SO_2 à la température T .
- A.4 On considère une phase gazeuse et une phase liquide en équilibre et souhaite déterminer la composition du mélange en fonction du titre massique en vapeur : x . Expliquer comment on peut déterminer x à partir de du diagramme de Clapeyron (Une démonstration est attendue).

B Étape $A \rightarrow B$

L'expérimentateur fait descendre lentement le piston, de manière quasi-statique jusqu'au fond du cylindre, afin que le corps pur se loge dans un petit conteneur, noté (C) de dimensions négligeables et relié au cylindre par un petit tube muni d'une vanne, notée (V). Cette dernière est alors fermée. Dans (C) le corps pur se présente sous forme de liquide saturant : $SO_{2(liq)}$ est en équilibre avec une petite bulle de vapeur (état B).



Dans les questions qui suivent les expressions littérales devront être exprimées en fonction des données suivantes : m , A , H , $P^*(T_0)$, T_0 et $\Delta_{vap}h(T_0)$.

B.1 Exprimer le travail W_{AB} reçu par le corps pur.

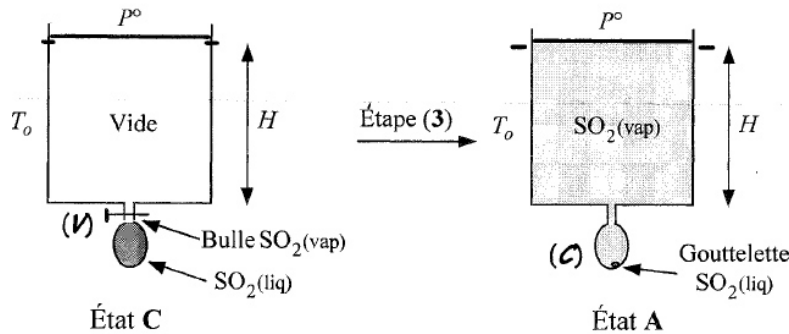
B.2 Exprimer puis calculer numériquement le transfert thermique Q_{AB} reçu par le corps pur. On prendra $A = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ et $H = 5,0 \cdot 10^{-1} \text{ m}$.

B.3 Exprimer la variation d'énergie interne ΔU_{AB} .

B.4 Calculer la variation d'entropie ΔS_{AB} du fluide. Cette transformation est-elle réversible ?

C Étapes $B \rightarrow C$ et $C \rightarrow A$

Lors de l'étape $B \rightarrow C$, la vanne (V) reste fermée. Le piston est remonté, puis fixé dans sa position initiale : le vide règne alors dans le cylindre (état C). Lors de l'étape $C \rightarrow A$, la vanne (V) est ouverte et le liquide se vaporise pratiquement instantanément : le corps pur se retrouve dans son état initial A.



C.1 Le corps pur a-t-il subi une transformation au cours de la seconde étape $B \rightarrow C$.

C.2 Évaluer le travail W_{CA} reçu par le corps pur pendant l'étape $C \rightarrow A$.

C.3 Que vaut le transfert thermique Q_{CA} reçu par le corps pur ?

D Étude du cycle $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$

D.1 Rappeler la variation de l'énergie interne ΔU du corps pur au cours du cycle.

D.2 Calculer la variation d'entropie du thermostat ΔS_{th} au cours de ce cycle.

D.3 A partir d'un calcul d'entropie judicieux, déterminer si ce cycle est réversible ou irréversible.