

### T35. Mélange de deux liquides

On mélange un volume  $V_1 = 50 \text{ cm}^3$  d'éthanol à la température  $T_1 = 20^\circ\text{C}$  avec un volume  $V_2 = 100 \text{ cm}^3$  d'eau à la température  $T_2 = 60^\circ\text{C}$ . On donne les capacités thermiques massiques des deux liquides :  $c_1 = 2460 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  et  $c_2 = 4185 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

- On donne la masse volumique de l'éthanol  $\rho_1 = 789 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , celle de l'eau est supposée connue. Déterminer les capacités thermiques de l'éthanol et de l'eau.
- Déterminer la température finale du mélange. On admettra que les échanges thermiques se font uniquement entre les deux liquides, autrement dit que l'ensemble des deux liquides constitue un système isolé : on lui appliquera donc  $\Delta\mathcal{U} = 0$ .

### T36. Détente adiabatique mécaniquement réversible d'un gaz parfait diatomique

1) Établir la relation, traduisant la loi de Laplace, entre la température et la pression d'un gaz parfait au cours d'une évolution adiabatique mécaniquement réversible. On partira de la relation  $pV^\gamma = \text{cste}$ .

2) Un gaz parfait diatomique subit une détente adiabatique mécaniquement réversible entre l'état initial ( $p_i = 5 \text{ bar}$ ,  $T_i = 323 \text{ K}$ ) et l'état final à la pression de  $1 \text{ bar}$ . On donne  $\gamma = 7/5$ . Calculer sa température finale.

Rép : 204 K

### T37. Étude d'un gaz réel.

Les transformations adiabatiques d'une masse constante d'un certain gaz obéissent à la relation :  $pV^B = \text{constante}$ ; où  $B$  est une constante caractéristique du gaz considéré. On n'utilisera pas le modèle du gaz parfait.

1) Soient alors deux états ( $p_1, V_1$ ) et ( $p_2, V_2$ ) sur une même adiabatique.

Application numérique :  $B = 5/3$ ;  $V_1 = 1 \text{ L}$ ;  $p_1 = 32 \text{ bar}$ ;  $V_2 = 8 \text{ L}$ .

1-a) Calculer la pression  $p_2$ , sans calculatrice.

1-b) Exprimer la différence d'énergie interne entre les deux états 1 et 2. Montrer

que  $\Delta\mathcal{U}(1 \rightarrow 2) = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{B - 1}$ . Application numérique.

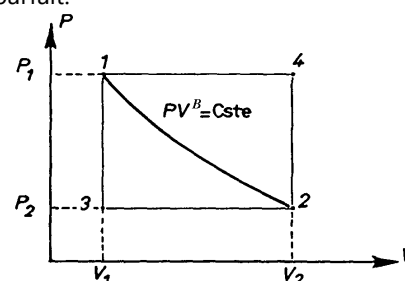
1-c) Calculer le travail  $W$  et la chaleur  $Q$  échangés par le système dans la transformation  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$ , le travail et la chaleur échangés sur  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2$ .

2) L'énergie interne du gaz étudié est de la forme :  $\mathcal{U} = A.p.V$  (où  $A$  est une constante). Calculer :

2-a) la constante  $A$ .

2-b) la chaleur échangée par le système lors des processus  $1 \rightarrow 3$ ;  $3 \rightarrow 2$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $4 \rightarrow 2$ .

2-c) On pose  $H = \mathcal{U} + pV$  (fonction enthalpie). Calculer  $\Delta H(3 \rightarrow 2)$  et  $\Delta H(1 \rightarrow 4)$ . Commenter.



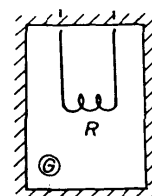
### T38. Chauffage d'un gaz.

Un gaz G dont l'énergie interne est de la forme :  $\mathcal{U} = A.p.V$  (où  $A$  est une constante) est maintenu dans une enceinte athermane rigide de volume  $V$ . Une résistance  $R$ , de capacité calorifique négligeable y est immergée; elle est parcourue par un courant d'intensité  $I$  constante.

1) Effectuer le bilan énergétique (expressions de  $\Delta\mathcal{U}$ ,  $W$  et  $Q$  pendant une durée  $\Delta t$ ) du gaz G, puis de la résistance  $R$ , et enfin de l'ensemble  $\{R+G\}$ . On regroupera les résultats dans un tableau.

2) On note  $p_0$  la pression à  $t = 0$ . Donner l'expression de la pression  $p$  en fonction du temps  $t$ .

On donne  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $I = 1 \text{ A}$ ,  $V = 10 \text{ L}$ ,  $A = 3/2$  et  $p_0 = 1 \text{ bar}$ . Au bout de combien de temps la pression a-t-elle doublé ?



### T39. Étude de différentes transformations subies par un gaz.

On considère une masse de dioxygène  $m = 50 \text{ g}$  à la température de  $-15^\circ\text{C}$  et à la pression de  $1,2 \text{ bar}$ .

On donne la masse molaire du dioxygène  $M = 32 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  $C_{vm} = 20,8 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  $C_{pm} = 29,1 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Le gaz est considéré comme parfait.

1) a) On donne la définition de l'enthalpie :  $H = \mathcal{U} + pV$ . Montrer que pour un gaz parfait  $\Delta H = C_p \Delta T$ .

b) Calculer  $C_v$ ,  $C_p$  et  $nR$  par la relation de Mayer.

2) On chauffe lentement ce gaz jusqu'à la température de  $50^\circ\text{C}$ , à pression constante. Calculer :

a) la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie du système.

b) la quantité de travail échangée.

c) la quantité de chaleur échangée. Comparer à  $\Delta H$ .

3) On chauffe ce gaz jusqu'à la température de  $50^\circ\text{C}$ , en maintenant son volume constant. Calculer :

a) la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie du système.

b) les quantités de travail et de chaleur échangées.

4) On comprime ce gaz jusqu'à ce que sa pression atteigne  $3,5 \text{ bar}$ , en maintenant sa température constante. Calculer :

a) la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie du système.

b) les quantités de travail et de chaleur échangées.

**T40. Travail reçu par un gaz parfait diatomique au cours d'une évolution adiabatique**

Une masse de 1 kg d'air, assimilé à un gaz parfait diatomique, subit une compression adiabatique qui fait rapidement passer sa température de  $T_i = 293$  K à  $T_f = 333$  K. Trouver l'expression du travail nécessaire à la compression. Application numérique : on donne :  $C_{vm} = 5R/2$  ;  $M(\text{air}) = 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Note : on n'utilisera pas la loi de Laplace.

Rép : 28,7 kJ

**T42. Compression adiabatique mécaniquement réversible d'1 litre d'azote**

On fait subir une compression adiabatique mécaniquement réversible, avec un rapport volumétrique de 1,9, à 1,0 L d'azote considéré comme parfait ( $\gamma = 1,4$ ) pris dans les conditions normales de température et de pression.

1) Donner la température initiale  $T_i$  et la pression initiale  $p_i$ , et en déduire  $n$ . On donne  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

2) Calculer la pression finale, la température finale et le travail reçu par le gaz.

**T43. Détente adiabatique d'un gaz monoatomique**

Un gaz monoatomique, considéré comme parfait, est maintenu à une pression de 3 bar et à une température 300 K, dans une enceinte cylindrique de volume  $V_i = 1$  L, grâce à une force  $F$  appliquée sur un piston de masse  $m_p = 1$  kg. Le piston est à une hauteur  $h_i = 30$  cm. On supprime la force  $F$ , ce qui permet au gaz de se détendre, de façon adiabatique, jusqu'à la pression finale d'équilibre  $p_f$ ; le volume est alors  $V_f$ . On désigne par  $p_a = 1$  bar la pression atmosphérique.

Application numérique :  $C_{vm} = 3R/2$  ;  $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

1) Calculer la surface du piston.

2) Calculer l'intensité de la force  $F$  et la pression finale  $p_f$ .

3) Effectuer le bilan énergétique de la transformation.

NB : la transformation ne pouvant pas a priori être considérée comme mécaniquement réversible, on n'appliquera pas la loi de Laplace. On exprimera indépendamment  $W$  et  $\Delta\mathcal{U}$  en fonction de  $p_i$ ,  $p_f$ ,  $V_i$  et  $V_f$ .

4) Trouver les rapports  $a = V_f/V_i$  et  $b = T_f/T_i$ .

5) Calculer  $p_i V_i^\gamma$  et  $p_f V_f^\gamma$ .

**T44. Calculs de différents travaux reçus par un gaz parfait entre des états extrêmes identiques**

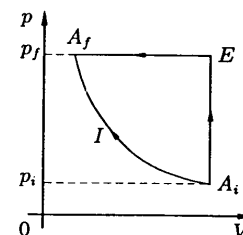
On comprime une mole de dioxygène, assimilé à un gaz parfait diatomique de température  $T_i = 300$  K et de pression  $p_i = 1$  bar, jusqu'à une température  $T_f = T_i$  et une pression  $p_f = 5$  bar.

La compression peut se produire de deux façons différentes (voir figure) : la première  $A_i I A_f$  est isotherme et la seconde suit le chemin  $A_i E A_f$ .

1) Calculer le travail reçu par ce gaz au cours de l'évolution  $A_i I A_f$ . En déduire la chaleur reçue.

2) Mêmes questions au cours de l'évolution  $A_i E A_f$ .

On donne :  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $C_{vm} = (5R)/2$ .



**T46. Détente de Joule / Gay-Lussac**

Un gaz contenu dans un récipient A se détend dans le récipient B, initialement vide, après ouverture du robinet R. L'ensemble est thermiquement isolé de l'extérieur. Quel travail reçoit-il de l'extérieur ? Y a-t-il une différence suivant que la détente est brusque ou lente, (R étant très peu ouvert) ?

**T47. Cycle d'un turboréacteur**

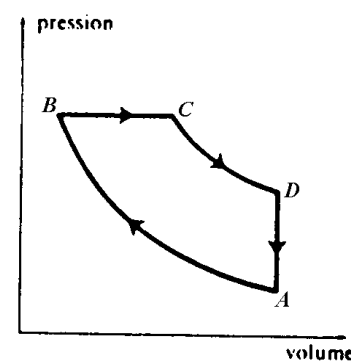
Tracer dans le diagramme de Clapeyron le cycle quasistatique d'un turboréacteur, composé d'une compression adiabatique AB, d'un chauffage isobare BC, d'une détente adiabatique CD, et d'un refroidissement isobare DA. Exprimer le rendement en fonction du rapport de compression  $\alpha = p_B/p_A$  et du coefficient  $\gamma$  du gaz supposé parfait.

Rép :  $\eta = 1 - \alpha^{(1-\gamma)/\gamma}$

**T49. Cycle de Diesel**

Dans le cycle de Diesel le premier temps (représenté par AB) est une compression adiabatique de l'air seul avec un rapport volumétrique assez élevé. Le carburant n'est injecté dans le cylindre qu'à partir de B. La température en B est suffisante pour que le mélange s'enflamme spontanément (sans l'aide de bougies). Le taux d'injection est réglé de manière que la pression reste constante pendant la phase BC de la détente. On arrête l'injection en C et on laisse le mélange se détendre adiabatiquement selon CD. En D le piston est alors au point mort bas : on suppose un refroidissement isochore DA.

Exprimer le rendement du cycle en fonction du coefficient isentropique  $\gamma$  (supposé constant et indépendant de la composition du mélange), du rapport volumétrique à la compression  $\alpha = V_A/V_B$  et du rapport volumétrique à la détente  $b = V_D/V_C$ . On suppose les gaz parfaits.



### T50. Cycle de l'air dans un moteur Diesel à double combustion.

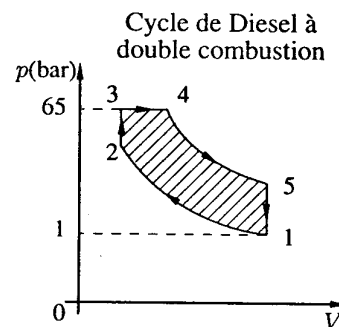
Dans les moteurs Diesel actuels, le cycle décrit par l'air est celui représenté sur la figure dans le diagramme de Clapeyron ( $p, V$ ) : la pression en 1 est 1 bar et la température 293 K. La pression maximale est 65 bar et la température maximale (en 4) vaut 2 173 K. 1→2 et 4→5 sont adiabatiques.

On suppose que l'air est un gaz parfait d'indice adiabatique  $\gamma = 1,4$  et de masse molaire  $M = 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . On donne le taux de compression :  $\alpha = V_1/V_2 = 19$ . On indique que la combustion a lieu durant les phases 2→3 et 3→4.

1) Exprimer, en fonction de  $\gamma = C_p/C_v$ , et des températures  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  des points correspondants sur le diagramme, le rendement  $\eta_M$  du moteur Diesel à double combustion.

2) Calculer  $T_2, T_3$  et  $T_5$ . En déduire la valeur de  $\eta_M$ .

3) Quelle est, en kJ, la chaleur reçue par 1 kg d'air au cours de l'évolution entre les points 2 et 4 ? Quelle est la chaleur reçue entre les points 5 et 1 ? En déduire le travail fourni par 1 kg d'air au milieu extérieur au cours d'un cycle.



### T52. Cycle Beau de Rochas.

En ce qui concerne les échanges énergétiques, le cycle du moteur à quatre temps peut être ramené théoriquement au cycle suivant :

1°) Une compression adiabatique AB de  $\{V_0, T_A\}$  à  $\{V_0/a, T_B\}$ .

2°) Un échauffement isochore BC au cours duquel le gaz reçoit la quantité de chaleur  $Q_{CH}$ . Il atteint en C la température  $T_C$ .

3°) Une détente adiabatique CD jusqu'au volume  $V_D$  (la température est alors  $T_D$ ).

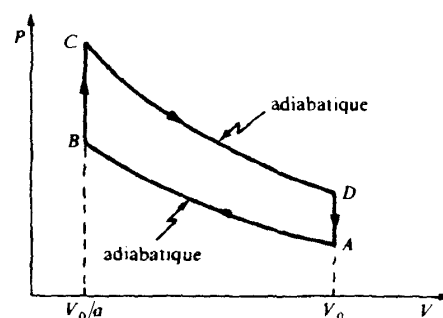
4°) Un refroidissement isochore DA au cours duquel le gaz fournit à la source froide la quantité de chaleur  $Q_{FR}$ .

1) Déterminer le rendement du cycle en fonction de  $a$  et du rapport  $\gamma$  supposé constant, le gaz étant considéré comme parfait.

2) En admettant que le mélange combustible a un pouvoir calorifique de 2760 J par gramme de mélange, et en assimilant ce dernier à l'air ( $c_v = 0,71 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $\gamma = 1,4$ ) déterminer la température en fin d'explosion (point C du cycle). On donne la température du milieu extérieur  $T_A = 300 \text{ K}$ , on prendra pour rapport volumétrique  $a = 9$ .

3) En imaginant une machine idéale fonctionnant entre  $T_C$  et  $T_A$ , calculer son rendement  $\eta_{MO} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$  (voir chapitre T5),

nommé rendement théorique optimal, et le comparer au rendement théorique du cycle Beau de Rochas.

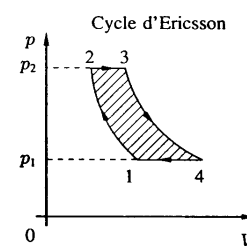


### T53. Cycle d'Ericsson.

De l'air supposé parfait parcourt, dans le sens 1 - 2 - 3 - 4, un cycle d'Ericsson constitué de deux isothermes, de températures respectives  $T_1$  et  $T_3 > T_1$  et deux isobares de pressions respectives  $p_1$  et  $p_2 > p_1$ . Ce cycle fut appliqué par J. Ericsson à des moteurs à air destinés à la propulsion navale. On donne  $\gamma = 1,4$  et on précise que  $Q_{CH} = Q_{2\rightarrow3}$ .

1) Exprimer le travail ainsi que les quantités de chaleur reçus par le fluide au cours des quatre étapes du cycle, en fonction de  $T_1, T_3, p_1$  et  $p_2$ .

2) En déduire le rendement du cycle moteur en fonction de  $T_1, T_3, p_1$  et  $p_2$ .



### T54. Cycle de Lenoir

Le premier moteur à combustion interne à 2 temps a fonctionné suivant un cycle de Lenoir :

1<sup>er</sup> temps : entrée du mélange air-combustible et allumage avec explosion en 1.

2<sup>ème</sup> temps : entre 1 et 2, combustion fournissant de la chaleur, puis entre 2 et 3, détente adiabatique réversible et enfin échappement isobare entre 3 et 1.

Pour un tel cycle décrit par de l'air, supposé parfait, exprimer le rendement  $\eta_M$  du cycle moteur en fonction du coefficient isentropique  $\gamma$  et du rapport de compression  $\alpha_p = p_2/p_1$ ,  $p_2$  étant la pression au point 2 et  $p_1$  celle au point 1. Application numérique : Calculer  $\eta_M$  pour  $\alpha_p = 5$ .

