Exercices sur les cycles thermodynamiques et les machines thermiques (chapitre 6)

Exercice n°1: étude d'une compression

Une masse d'air de 1 kg subit la transformation suivante :
état initial : $P_1 = 10^5$ Pa (pression atmosphérique); $V_1 = 0,9$ m^3
état final : $P_2 = 4,5.10^5$ Pa ; $V_2 = ?$
La transformation 1-2 est telle que le produit P.V = Cte (transformation isotherme).
1- **Déterminez** le volume V_2.
2- **Tracez** avec précision, sur une feuille quadrillée, la courbe représentative de la transformation dans le plan P(V).
3- **Calculez** le travail échangé lors de cette transformation par une considération graphique.
4- **Calculez** le travail échangé lors de cette transformation algébriquement. (on rappelle qu'une primitive de 1/x est ln x).
5- **Est-il nécessaire** d'apporter de l'énergie motrice pour réaliser cette transformation ?

Exercice n°2: calcul du travail échangé lors de trois transformations différentes.

On effectue, de 3 façons différentes, une compression qui amène du diazote N_2 (≈ air) de l'état 1 ($P_1 = P_o \approx 1$ bar, $V_1 = 3.V_o$) à l'état 2 ($P_2 = 3.P_o$, $V_2 = V_o \approx 1$ litre)
La première transformation est isochore (volume constant) puis isobare (pression constante), la seconde est isobare puis isochore, la troisième est telle que P.V = Cte.
1. **Représentez** dans le plan P(V) les 3 transformations.
2. **Quelles sont** les travaux reçus dans les 3 cas ?
3. **Quelle transformation** choisira -t -on si l'on veut dépenser le moins d'énergie motrice ?

Exercice n°3: calcul du travail échangé lors d'un cycle

On reprend les 2 premières transformations de l'exercice précédent de manière à réaliser un cycle : on effectue donc une compression qui amène du diazote N_2 (≈ air) de l'état 1 ($P_1 = P_o \approx 1$ bar, V1 = $3.V_o$) à l'état 2 ($P_2 = 3.P_o$, $V_2 = V_o \approx 1$ litre) par une transformation isochore puis isobare. Puis on force le gaz à revenir à son état initial grâce à une détente isochore puis isobare.
1. **Quel est** le travail échangé par le gaz avec l'extérieur ?
2. **Est-ce qu'**un tel cycle nécessite l'apport d'un travail de l'extérieur pour pouvoir être exécuté ?

Exercice n°4: compression dans un moteur à explosion, 4 temps

Données
- Le gaz est supposé suivre la loi des gaz parfaits.
- - Transformation adiabatique : pV^{γ} = constante avec $\gamma = \dfrac{C_p}{C_V}$
- On prendra $C_p = 29,1$ J·mol^{-1}·K^{-1} ; $C_v = 20,8$ J·mol^{-1}·K^{-1}
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,31$ uSi

On étudie partiellement un moteur à explosion, 4 temps. Dans un cylindre, la position du piston détermine le volume de gaz. Lorsque le piston est en position haute, le volume est minimal et vaut 60 cm^3 ; c'est le volume espace mort de la chambre de combustion. Lorsque le piston descend, il balaye un volume de 450 cm^3 (augmentation de volume) ; c'est la cylindrée.

1.
- 1.1. **Donner** le volume de la chambre de combustion lorsque le piston est en position basse.
- 1.2. La température du gaz dans la chambre est de 27°C et sa pression de 10^5 Pa. **Calculer** la quantité de matière de ce gaz.

2.
- 2.1. Un des temps correspond à une compression adiabatique. **Que signifie** le terme adiabatique ?
- 2.2. **Quelle est** la pression à la fin de la compression ?
- 2.3. **Quelle est** la température atteinte à la fin de la compression ?

3. On admet que la température du gaz, à la fin de la compression, est de 430°C. **Calculer** la variation d'énergie interne au cours de la compression.

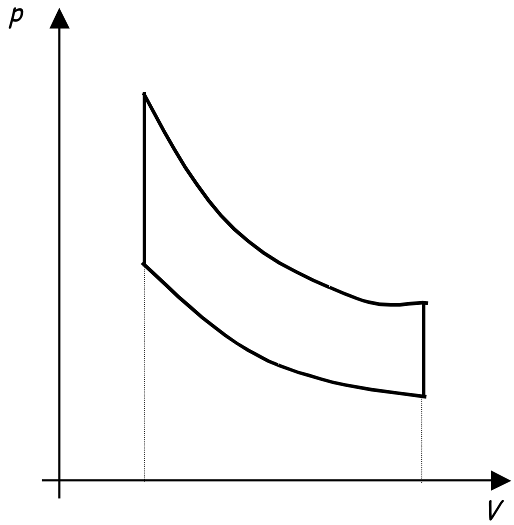
<u>Exercice n°5:</u> moteur à essence

On considère un moteur à essence fonctionnant selon le cycle réversible représenté à la figure du document-réponse
- Compression adiabatique : passage de l'état 1 à l'état 2, noté 1→2,
- Combustion à volume constant : passage de l'état 2 à l'état 3, ($p_3 > p_2$) noté 2→ 3 ;
- Détente adiabatique : passage de l'état 3 à l'état 4, noté 3→ 4 ;
- Transformation à volume constant : passage de l'état 4, à l'état 1 noté 4→1.

Le mélange des gaz décrivant le cycle est considéré comme un gaz parfait.

On donne :
- R= 8,32 J· mol^{-1}· K^{-1}
- Capacité thermique molaire à volume constant: C_v = 20,7 J·mol^{-1}·K^{-1} On admettra que C_v est indépendante de la température
- $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v} = 1,4$

Les conditions à l'admission sont
- $p_1 = 1,0\times10^5$ Pa $V_1 = 2,0\times10^{-3}$ m^3 T_1 = 300 K



1. Sur la figure du document-réponse, **reporter** les états 1, 2, 3, 4 et **flécher** le cycle.
2. **Calculer** le nombre de moles de gaz décrivant le cycle.
3. On donne $V_2 = 0,25\times10^{-3}$ m^3, ce qui correspond à un rapport volumétrique $\tau = \dfrac{V_1}{V_2} = 8,0$
   3.1. **Calculer** la température T_2 en fin de compression adiabatique.
   3.2. **Calculer** la température T_3 en fin de combustion sachant que $T_3 - T_2 = 2,0\times10^3$ K.
   3.3. **Calculer** la température T_4 en fin de détente adiabatique.

   On prendra pour la suite de la question 3 :
   $T_4 = 1,17\times10^3$ K.

   3.4. **Quelle est** la quantité de chaleur reçue par le gaz au cours de chacune des 4 transformations du cycle ?

   On notera .
   -Q_{12} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 1 → 2.
   -Q_{23} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 2 → 3.
   -Q_{34} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 3 → 4.
   -Q_{41} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 4 → 1.

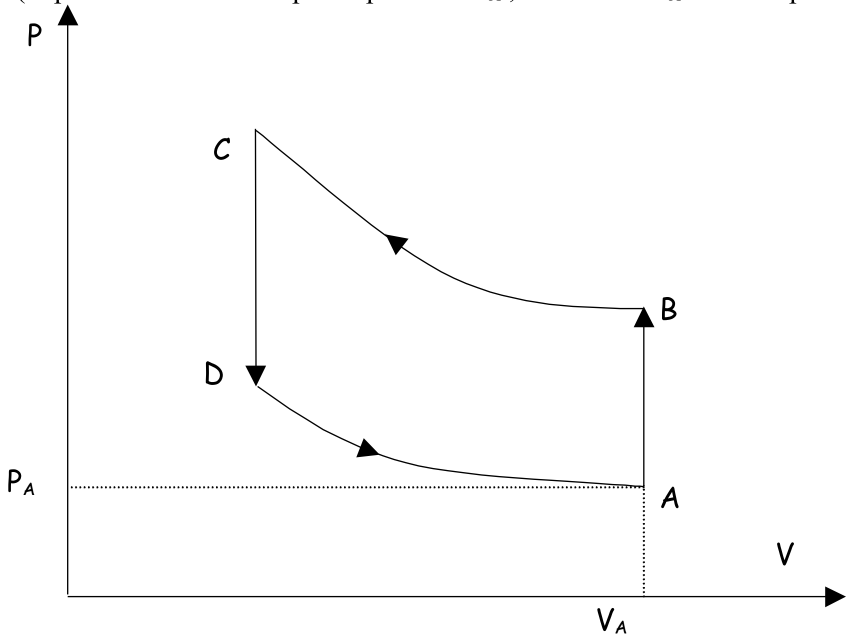
   3.5. **Calculer** la quantité de chaleur Q_{cycle}, reçue par le gaz au cours du cycle complet.
   3.6. **En déduire** le travail W_{cycle} reçu par le gaz au cours du cycle complet.
   3.7. **Calculer** le rendement du cycle $\eta = \left|\dfrac{W_{cycle}}{Q_{23}}\right|$
4. Avec un faible rapport volumétrique, on pourrait se contenter d'un carburant à base d'heptane C_7H_{16}.
   Écrire et **équilibrer** l'équation de la combustion de l'heptane dans le dioxygène O_2 sachant qu'il y a production de dioxyde de carbone CO_2 et d'eau H_2O .
5. Pour augmenter le rendement du cycle, on augmente le rapport volumétrique : il faut alors modifier la composition du carburant (on dit qu'on augmente l'indice d'octane). Pour cela et pour éviter l'utilisation du plomb (polluant), on peut introduire de l'éthanol de formule brute C_2H_6O . **Écrire** et **équilibrer** l'équation de la combustion de l'éthanol dans le dioxygène sachant qu'il y a production de dioxyde de carbone et d'eau.

Lors d'une transformation adiabatique réversible on a les relations suivantes

$$p_A V_A^{\gamma} = p_B V_B^{\gamma} \qquad T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \qquad T_A^{\gamma} p_A^{1-\gamma} = T_B^{\gamma} p_B^{1-\gamma}$$

<u>Exercice n°6:</u> pompe à chaleur

Soit une pompe à chaleur dans laquelle de l'air (assimilable à un gaz parfait) décrit le cycle ABCDA constitué par les transformations suivantes (le point A étant défini par la pression P_A ; le volume V_A et la température T_A):



A B : chauffage isochore jusqu'à la température T_B.
B C : compression isotherme, le volume en C étant V_C.
C D : refroidissement isochore jusqu'à la température T_A.
D A : détente isotherme.

1. **Calculer** les quantités de chaleur Q_{AB} ; Q_{BC} ; Q_{CD} et Q_{DA} échangées par l'air au cours des transformations AB ; BC ; CD et DA . **Vérifier** que $Q_{AB} = -Q_{CD}$.
2. **Calculer** les travaux W_{AB} ; W_{BC} ; W_{CD} et W_{DA} échangés par l'air au cours des quatre transformations du cycle.
3. **Calculer** le travail total W_{cycle} échangé par l'air au cours du cycle. **Quel est** son signe ? **En déduire** le sens de l'échange du travail entre l'air et le milieu extérieur.
4. L'efficacité e de la pompe à chaleur s'exprime en fonction de la grandeur Q_{BC} et W_{cycle}. **Préciser** l'expression de e en fonction des températures.
5. **Calculer** la valeur numérique de e avec les données précédentes.

On donne : $P_A = 1{,}0\times10^5$ Pa ; $V_A = 1{,}40$ m^3 ; $T_A = 263$ K ; $T_B = 293$ K ; $V_C = 0{,}38$ m^3.
Nombre de moles d'air mises en jeu : $n = 64$ moles
Constante des gaz parfaits $R = 8{,}31$ J·mol^{-1}·K^{-1}·
La capacité thermique molaire à volume constant de l'air, C_v, est constante et vaut 20,8 J·mol^{-1}·K^{-1}.

Formulaire :

Transformation isotherme : $Q_{1\rightarrow 2} = n\,R\,T\,\ln\dfrac{V_2}{V_1}$;

Transformation isochore : $Q_{1\rightarrow 2} = n\,C_v\,(T_2 - T_1)$.