Devoir maison n°5

A faire pour le lundi 27 avril

Problème 1 : Etude thermodynamique d'un moteur PSA EB2:

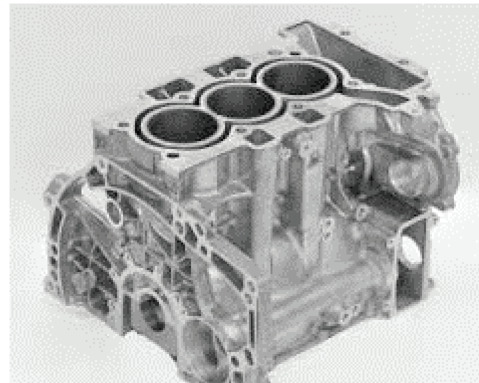


Figure 1 — Moteur PSA EB2

*Ce moteur (**figure 1** ci-contre), connu sous sa dénomination commerciale 1,2 Puretech, équipe en particulier les Peugeot 108. 208 et 2008, les Citroën Cl, C3, C4 Cactus ainsi que la DS3,*

Compte tenu de la faible proportion d'essence dans le mélange air-essence, celui-ci sera assimilé uniquement à l'air qu'il contient, lui-même considéré comme un gaz parfait diatomique.

Q1. En vous aidant du document en fin de problème, déterminer, à l'aide de la cylindrée et du rapport volumétrique de compression, les valeurs numériques exprimées en cm^3 des volumes V_1 et V_2 correspondant respectivement au point mort haut et au point mort bas.

Q2. Tracer dans un diagramme de Watt (pression en ordonnées, volume d'un des trois cylindres en abscisses) l'allure du cycle idéalisé, appelé cycle de Beau de Rochas et décrit dans le document.
On veillera à faire figurer les points A, B, C, D et E.

Le cycle réel est un peu différent du cycle idéalisé. Enoncer deux raisons possibles à cela.

Dans la suite du problème, le modèle adopté est celui du cycle idéal Beau de Rochas décrit à pleine puissance par le moteur E132 et synthétisé dans le **tableau** 1 ci-dessous.

Point	A	B	C	D	E
P (bar)	1	1	P_C	P_D	4
V (cm^3)	40	440	40	40	440
T(K)	300	300	T_C	2 820	1 193

Tableau 1— Cycle thermique du moteur EB2

Q3. Déterminer les valeurs manquantes : P_C, T_C et P_D.

Q4. Déterminer l'expression littérale du travail W_{BC} reçu par le gaz au cours de la compression BC en fonction de P_C, V_C, P_B, V_B et γ. Faire l'application numérique.

Q5. Déterminer l'expression du transfert thermique Q_{CD} reçu par le gaz au cours de l'explosion CD en fonction de P_C, V_C, P_D, V_D et γ. Faire l'application numérique.

Q6. On donne $|W_{DE}| = 596$ J et $|Q_{EB}| = 328$ J. On définit le rendement du moteur par la relation : $\boxed{\boldsymbol{R_{dt} = -\frac{W_{cycle}}{Q_{CD}}}}$. Expliquer cette relation et déterminer la valeur numérique du rendement R_{dt} du cycle*.

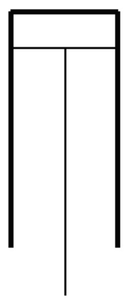
* On remarquera qu'il s'agit d'un rendement purement thermodynamique pour un cycle idéal. Il ne tient pas compte des considérations mécaniques. En pratique, le rendement global est moins bon et dépend fortement du point de fonctionnement (couple-vitesse) considéré. Ce résultat permet néanmoins de comparer des cycles et de poser des limites.

Q7. A partir des principes de la thermodynamique, reconstruire l'expression du rendement d'un cycle de Carnot R_{dtC} dont les températures extrémales sont : T_F pour la source froide et T_{Ch} pour la source chaude. Comparer le rendement R_{dt} trouvé précédemment avec celui d'un cycle de Carnot pour lequel $T_F = 300$ K et $T_{Ch} = 2820$ K. Faire l'application numérique et conclure.

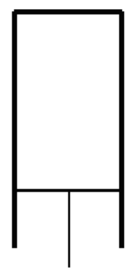
Document

Principe du moteur à quatre temps :

Dans un moteur multicylindre à 4 temps, le volant est relié à un vilebrequin qui assure le synchronisme du fonctionnement des pistons des différents cylindres. Les soupapes non représentées sur la figure ci-dessous sont commandées par des cames entraînées par le volant moteur.



Position du piston au point mort haut (PMH) : $V = V_1$



Position du piston au point mort bas (PMB) : $V = V_2$

1^er^ temps : admission

Il y a ouverture de la soupape d'admission. La rotation du volant entraîne avec la bielle rabaissement du piston du point mort haut au point mort bas. La dépression produite aspire dans le cylindre le mélange air-essence. Il y a ensuite fermeture de la soupape d'admission.

2^ème^ temps : compression

Pendant cette phase, la rotation du volant fait remonter le piston dans le cylindre jusqu'au point mort haut. Cette compression échauffe le mélange.

3^ème^ temps : explosion et détente

La bougie d'allumage crée une étincelle qui provoque l'explosion, responsable d'une augmentation de la pression . Ensuite, le gaz se détend. En fin de détente, le piston est au point mort bas,

4^ème^ temps : échappement

Il y a ouverture de la soupape d'échappement. La rotation du volant entraîne la remontée du piston jusqu'au point mort haut, cc qui chasse les gaz, brûlés vers l'extérieur.

Cycle de Beau de Rochas :

AB : admission isobare et isotherme du mélange air-essence,
BC : compression adiabatique réversible,
CD compression isochore,
DE : détente adiabatique réversible,
EB refroidissement isochore,
BA : échappement isobare et isotherme.

Données :

Constantes physiques :

Constante des gaz parfait : $R = 8,314 J.mol^{-1}.K^{-1}$

Conversion d'unité :
1 bar = 10^5 Pa.

Données thermodynamiques :

Relation de Mayer : $C_{Pm} - C_{Vm} = R$
où C_{Pm} et C_{Vm} désignent respectivement les capacités thermiques molaires à pression et à volume constant pour un gaz parfait.

Rapport des capacités thermiques molaires pour un mélange air-essence : $\gamma = \frac{C_{Pm}}{C_{Vm}} = 1,4$.

Caractéristiques techniques du moteur PSA EB2 :

Architecture : **3 cylindres en ligne**

Puissance maximale 82 ch à 5 750 tr/min.

Rapport volumétrique de compression
$\delta = \frac{V_{PMB}}{V_{PMH}} = \frac{V_2}{V_1} = 11$

Cylindrée : $V_C = 1\,199$ cm^3.

On rappelle que la cylindrée d'un moteur à combustion interne correspond au volume d'air aspiré par **l'ensemble des cylindres** du moteur lors un cycle.

Caractéristiques d'une Peugeot 108 équipée du moteur EB2 :

Consommation mixte
-Donnée constructeur : 4,31/100 km
- Essai Autoplus n° 1450 : 5,71/100 km.
Rejet moyen de CO_2, donné par le constructeur : 99 g/km.

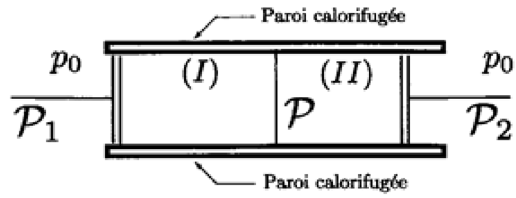
Problème 2 : Double compression de gaz parfaits

Deux gaz identiques, assimilés à des gaz parfaits diatomiques, sont enfermés dans deux compartiments cylindriques (I) et (II) séparés par un paroi fixe P.

Chaque compartiment contient n moles de gaz.

Les gaz communiquent avec un pressiostat extérieur (système imposant la pression à la frontière du système) à la pression p_0 par l'intermédiaire de deux pistons mobiles P_1 et P_2 de masses négligeables qui coulissent sans frotter.

Les parois du cylindre sont calorifugées (cf figure ci-contre).



On note R la constante des gaz parfaits et γ le facteur isentropique de Laplace, rapport de la capacité thermique molaire à pression constante C_{pm} sur la capacité thermique molaire à volume constant C_{vm}.

On indique l'expression de la variation d'entropie molaire d'un gaz parfait entre un état initial i et un état final f : $\Delta S = C_{vm} \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + R \ln \left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ en notant T la température et V le volume du gaz.

Initialement le compartiment (I) est à la température T_1 et le compartiment (II) à la température T_2 , la pression valant p_0 dans les deux compartiments.

Indiquer la ou les bonne(s) réponses en justifiant tout votre raisonnement.

I - Dans un premier temps, on suppose que les pistons P_1 et P_2 sont calorifugés et que la paroi intermédiaire P est diatherme. On note T_f la température finale du système lorsqu'il n'évolue plus.

1 – Exprimer les capacités thermiques molaires C_{vm} et C_{pm} en fonction de R et γ (démonstration attendue).

A) $C_{vm} = \frac{R}{\gamma}$; B) $C_{vm} = \frac{R}{1-\gamma}$; C) $C_{pm} = \frac{R}{\gamma-1}$; D) $C_{pm} = \frac{\gamma R}{\gamma-1}$.

2 – Exprimer la variation d'énergie interne ΔU entre l'état initial et l'état final.

A) $\Delta U = n\, C_{vm} \left(2T_f - T_1 - T_2\right)$; B) $\Delta U = n\, C_{pm} \left(2T_f - T_1 - T_2\right)$;

C) $\Delta U = nR\, (2T_f - T_1 - T_2)$; D) $\Delta U = n\, C_{pm}\, (T_f - \frac{T_1+T_2}{2})$.

3 – Exprimer le travail des forces de pression (énergie échangée par transfert mécanique) W et la chaleur (énergie échangée par transfert thermique) Q reçus par les deux gaz durant cette transformation.

A) $W = n\, C_{vm} \left(T_1 + T_2 - 2T_f\right)$; B) $W = n\, R \left(T_1 + T_2 - 2T_f\right)$;

C) $Q = 0$; D) $Q = n\, C_{pm} \left(T_f - T_1 - T_2\right)$.

4 – Exprimer la température finale T_f.

A) $T_f = \frac{\gamma}{2-\gamma}(T_1 + T_2)$; B) $T_f = \frac{1-\gamma}{2-\gamma}(T_1 + T_2)$;

C) $T_f = \frac{\gamma}{3-\gamma}(T_1 + T_2)$; D) $T_f = \frac{T_1+T_2}{2}$.

5 – Exprimer l'entropie créée $S^{(C)}$ durant la transformation.

A) $S^{(C)} = \frac{n\,R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_f{}^2}{T_1\,T_2}\right)$; B) $S^{(C)} = \frac{n\,\gamma\,R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_f{}^2}{T_1\,T_2}\right)$;

C) $S^{(C)} = \frac{n\,R}{\gamma} \ln\left(\frac{T_f{}^2}{T_1\,T_2}\right)$; D) $S^{(C)} = n\,\gamma\,R\, \ln\left(\frac{T_f{}^2}{T_1\,T_2}\right)$.

II – Désormais, on suppose que les pistons P_1 et P_2 sont diathermes et que la paroi P est calorifugée. Le milieu extérieur, qui est toujours un pressiostat de pression p_0, devient également un thermostat à la température T_e . Les conditions initiales sont inchangées : Le compartiment (I) à la température T_1, le compartiment (II) à la température T_2 et les pressions p_0 sont identiques dans les deux compartiments. L'état final est l'état du système lorsqu'il n'évolue plus.

6 – Exprimer la chaleur Q' reçue par le système des deux gaz entre l'état initial et l'état final.

A) $Q' = \frac{n\,\gamma\,R}{\gamma-1}\,(2T_e - T_1 - T_2)$; B) $Q' = \frac{n\,R}{\gamma-1}\,(T_e - T_1 - T_2)$;

C) $Q' = \frac{n\,R}{\gamma-1}\,(T_e - T_1 - T_2)$; D) $Q' = \frac{n\,R}{\gamma}\,(2T_e - T_1 - T_2)$.

7 – Exprimer de nouveau l'entropie créée $S'^{(C)}$ durant cette transformation.

A) $S'^{(C)} = \frac{n\,R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_e{}^2}{T_1\,T_2}\right)$; B) $S'^{(C)} = \frac{n\,\gamma\,R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_e{}^2}{T_1\,T_2}\right) - \frac{Q'}{T_e}$;

C) $S'^{(C)} = \frac{n\,R}{\gamma} \ln\left(\frac{T_e{}^2}{T_1\,T_2}\right)$; D) $S'^{(C)} = n\,\gamma\,R \ln\left(\frac{T_e{}^2}{T_1\,T_2}\right) - \frac{Q'}{T_e}$.