

Devoir surveillé n°7

Durée : 2 h / La calculatrice **est autorisée**.

Le sujet comporte 4 pages et 2 problèmes indépendants. **Merci d'utiliser une nouvelle copie pour chaque problème.**

Le poids de chaque problème dans le barème total est indiqué en % dans son titre.

Problème 1 : Gilet de sauvetage automatique (35%)
--

On étudie ici un modèle de gilet de sauvetage à "gonflage automatique hydrostatique" : lors de l'immersion, la pression de l'eau agit sur une membrane qui libère le percuteur d'une cartouche de gaz sous haute pression. Le gaz se détend, assurant ainsi un gonflage immédiat de la vessie (enveloppe étanche) du gilet.

Le modèle de gilet étudié offre une flottabilité F_a de 150 N et nécessite pour fonctionner une cartouche d'une contenance de 33 g de dioxyde de carbone, CO_2 .

Le volume utile de la cartouche de CO_2 est de 15 mL.



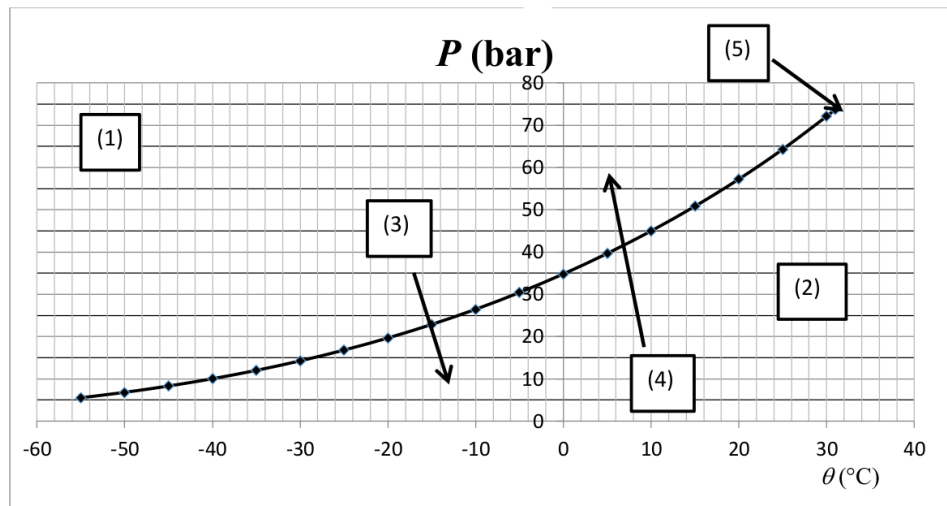
Données			
Atome	Numéro atomique	Nombre de masse	Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)
C	6	12	12
O	8	16	16
Constante des gaz parfaits : $R = 8,3 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1,0 \text{ bar}$ Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0\cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$			

Pour simplifier les calculs, on supposera que le gilet est utilisé en eau douce. Chaque fois que c'est nécessaire, on suppose que le $\text{CO}_{2(\text{g})}$ se comporte comme un gaz parfait.

1. Quelle quantité de matière de CO_2 trouve-t-on dans les cartouches préconisées pour le gonflage du gilet ?

On fournit ci-dessous le diagramme de phase (P, T) pour l'équilibre liquide-vapeur du CO_2 . On précise que :

- (1) et (2) sont des domaines du diagramme,
- (3) et (4) sont des transformations,
- (5) est un point particulier.



Courbe d'équilibre liquide-vapeur du CO₂

θ (°C)	P (bars)	v' volume massique du liquide saturant (m ³ /kg)	v'' volume massique de la vapeur saturante (m ³ /kg)	h' enthalpie massique du liquide saturant (kJ/kg)	h'' enthalpie massique de la vapeur saturante (kJ/kg)
10	45,06	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$7,52 \cdot 10^{-3}$	27,2	228,6
15	50,93	$1,22 \cdot 10^{-3}$	$6,32 \cdot 10^{-3}$	42,3	222,6
20	57,33	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$5,27 \cdot 10^{-3}$	58,6	213,9
25	64,32	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-3}$	78,7	198,2
30	71,92	$1,68 \cdot 10^{-3}$	$2,98 \cdot 10^{-3}$	108,5	171,5
31,1	73,76	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	139,8	139,8

Extrait des tables thermodynamiques du CO₂ pour l'équilibre liquide-vapeur

- Donner les 5 noms manquants de la courbe d'équilibre.
- Quelle serait la pression à l'intérieur de la cartouche si tout le CO₂ à la température $T = 300$ K se trouvait à l'état gazeux (hypothèse gaz parfait) ? Conclure éventuellement quant à l'état physique correspondant.
- En calculant le volume massique du fluide dans la cartouche, justifier l'état physique dans lequel se trouve le CO₂.
- Expliquer pourquoi la cartouche va se refroidir lorsqu'elle sera percutée et donner le nom et la valeur, à 25 °C, de la grandeur thermodynamique décrivant ce phénomène.

Telle qu'elle est annoncée ici, la flottabilité Fa représente la norme de la poussée d'Archimède que subirait le gilet s'il était entièrement immergé.

- Rappeler l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède en indiquant la signification de chacun des termes utilisés dans cette expression.
- Montrer que le volume du gilet gonflé doit être de 15 L pour obtenir la flottabilité souhaitée.

Dans la question suivante, on suppose que ce volume, initialement vide, est occupé uniquement par du dioxyde de carbone CO₂ gazeux, obtenu après ouverture de la cartouche. On suppose la température du gaz $T = 300$ K ($\theta = 27$ °C). On considère que le gonflage est correct dès que la pression à l'intérieur du gilet dépasse la pression atmosphérique.

- Montrer que la pression à l'intérieur du gilet permet un gonflage correct du gilet.

Problème 2 : Thermodynamique d'un moteur deux temps de scooter (65%)

A / Généralités

Soit un fluide, définissant le système étudié, effectuant un cycle de transformations entre deux thermostats de températures respectives T_C et T_F avec $T_C > T_F$, qui seront appelées respectivement sources chaude et froide dans la suite. Au cours d'un cycle, le fluide reçoit de manière algébrique des quantités de chaleur Q_C et Q_F respectivement des sources chaude et froide. Enfin, au cours d'un cycle, le travail algébrique reçu par le système est noté W .

- A1.** A l'aide de l'un des principes de la thermodynamique, établir la relation entre Q_C , Q_F et W .
A2. A l'aide de l'un des principes de la thermodynamique, relier les grandeurs Q_C , Q_F , T_C et T_F par une inégalité.
A3. Envisager le cas d'un cycle décrit de manière réversible. Dans ce cas, exprimer la relation entre Q_C , Q_F , T_C et T_F sous forme d'une égalité.
A4. Dans le cas d'une machine fonctionnant en moteur, on définit le rendement η du système par $\eta = \frac{-W}{Q_C}$. Exprimer ce rendement en fonction de Q_C et Q_F uniquement en utilisant

On peut montrer que ce rendement est toujours inférieur au rendement théorique de Carnot η_c obtenu pour des évolutions réversibles. (théorème de Carnot). Le rendement de Carnot exprimé uniquement en fonction des températures des sources est $\eta_c = \frac{T_C - T_F}{T_C}$

Discussions :

- A5a.** Si les hypothèses de fonctionnement d'un cycle de Carnot étaient respectées, quelle serait la puissance moyenne, sur un cycle, développée par un tel dispositif ?
A5b. Justifier qualitativement qu'un cycle de Carnot est forcément composé de deux isentropiques et de deux isothermes.
A5c. Identifier en pratique (pour un moteur réel) les sources chaude et froide.
A5d. Proposer une valeur numérique plausible pour le rendement de Carnot. Les rendements réels des moteurs thermiques sont-ils proches de cette valeur ?

B / Le moteur deux temps

La prochaine partie étudie plus précisément le moteur à deux temps de marque Marinelli®. Ce moteur, inventé en 1860 par Etienne Lenoir, est dédié aux scooters de petite cylindrée (typiquement des « 50 cm³ »).

Le principe de fonctionnement est le suivant : (illustré en figure 2)

- étape A : admission dans le carter du mélange par une « lumière » notée (A) et début de la compression dans le haut du cylindre d'une autre partie du mélange ;
- étape B : fin de la compression de la partie du gaz située dans le carter et explosion puis détente dans le haut du cylindre ;
- étape C : transfert entre le carter et le cylindre par une deuxième « lumière », notée (C) pendant que s'échappent les gaz brûlés par une troisième « lumière » (E) ;
- la partie supérieure du cylindre possède un volume compris entre $V_{\min}$ et $V_{\max}$.

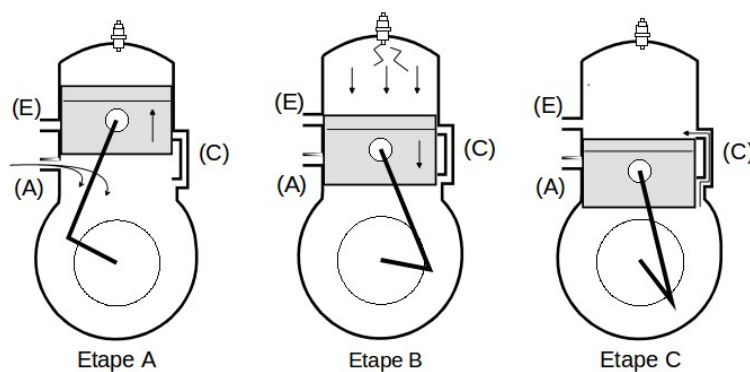


Figure 2

Le cycle thermodynamique décrit par le mélange gazeux dans le cylindre est modélisé par un cycle représenté ci-dessous, figure 3.

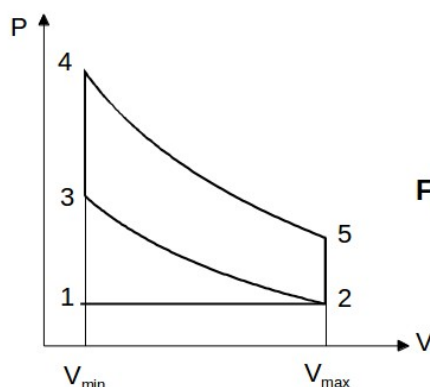


Figure 3

Le taux de compression volumétrique est noté : $a = V_{\max}/V_{\min}$.

La notice technique du motoriste indique les informations suivantes :

- vitesse maximale : 50 km.h^{-1} ;
- vitesse angulaire maximale du vilebrequin : $6,5.10^3 \text{ tours.min}^{-1}$;
- puissance maximale : $2,40 \text{ kW}$;
- cylindrée : $V_{\max} - V_{\min} = 49,2 \text{ cm}^3$;
- course du piston : $39,3 \text{ mm}$.

Le rendement du moteur s'exprime simplement par la relation : $\eta = 1 - \frac{1}{a^{\gamma-1}}$.

Le mélange gazeux, composé en majorité d'air, est considéré comme un gaz parfait de masse molaire 29 g.mol^{-1} , pour lequel $(C_p/C_v) = \gamma = 1,4$.

Les coordonnées thermodynamiques du point 2 du cycle sont : $T_2 = 300 \text{ K}$; $P_2 = 10^5 \text{ Pa}$. La constante des gaz parfaits est $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Le pouvoir calorifique, noté q , supposé indépendant de la température, correspond à la chaleur libérée par la combustion d'un volume unitaire d'essence : $q = 30 \text{ kJ.cm}^{-3}$.

- B1.** Pourquoi ce moteur à explosion est-il considéré comme un moteur à deux temps ?
- B2.** Lorsque le scooter roule à vitesse maximale avec un vilebrequin tournant lui aussi à sa vitesse maximale, calculer la durée d'un cycle moteur.
- B3.** En déduire la vitesse moyenne du piston sur un cycle.
- B4.** Sachant qu'aux températures moyennes du mélange gazeux, la vitesse quadratique moyenne des molécules est de l'ordre de 500 m.s^{-1} , justifier que l'on modélise les transformations 2 – 3 et 4 – 5 par des quasi-statiques adiabatiques.
- B5.** La pression en fin de compression s'élève à $6,0.10^5 \text{ Pa}$. En déduire la valeur numérique du

taux de compression volumétrique.

B6. Pour un rendement de 0,4, calculer la chaleur libérée par la combustion à chaque cycle, lorsque le scooter roule à sa vitesse maximale et à son régime de puissance maximale.

B7. En déduire la consommation d'essence pour parcourir 100 km. Commenter le résultat.

B8. La puissance d'un moteur à deux temps est environ 1,5 fois plus grande que celle d'un moteur à quatre temps de même cylindrée. Commenter.