

# BCPST 1 : Devoir Surveillé n°5 - PHYSIQUE

Mercredi 29 Janvier 2025 – 1h30

Usage de la calculatrice : autorisé

Toute réponse doit être justifiée.

On attend un résultat littéral préalablement à toute application numérique.

Tout résultat final doit être mis en valeur.

**Les parties A, B et C sont totalement indépendantes.**

## Partie A : cycle de Lenoir

Le cycle de Lenoir est un modèle idéalisé de cycle moteur à deux temps, proposé par Etienne Lenoir en 1860 pour décrire le fonctionnement du moteur à gaz qu'il avait mis au point l'année précédente.

On raisonne sur un système fermé constitué d'une quantité de matière  $n$  du mélange air-carburant présent dans la chambre de combustion du moteur, modélisé par un gaz parfait de capacité thermique à volume constant  $C_V = \frac{n \cdot R}{\gamma - 1}$ , où  $\gamma$  est le coefficient adiabatique défini par la relation :  $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = 1,4$ .

Après l'admission d'air dans la chambre de combustion, l'état du mélange ( $P_1, V_1, T_1$ ) est supposé connu.

Le cycle que subit le système se compose des transformations suivantes, supposées quasi-statiques et mécaniquement réversibles :

- $1 \rightarrow 2$  : explosion isochore jusqu'à la pression  $P_2$  ;
- $2 \rightarrow 3$  : détente isotherme jusqu'à un volume  $V_3 = 2V_1$  ;
- $3 \rightarrow 1$  : compression isobare modélisant le renouvellement du mélange (échappement, admission, injection de carburant, inflammation).

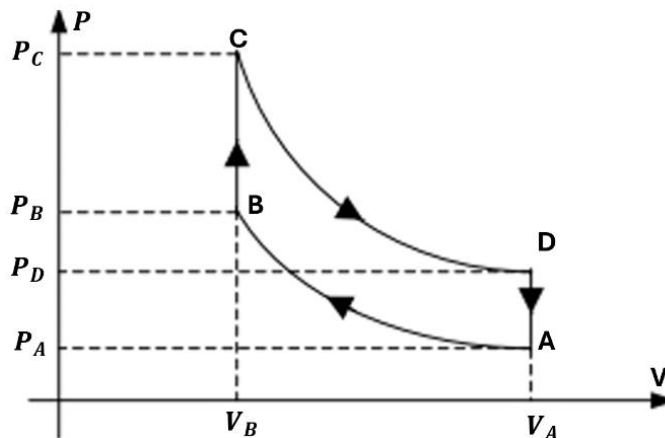
1. Déterminer les caractéristiques ( $P, V, T$ ) des points ② et ③ du cycle en fonction de  $P_1, V_1$  et  $T_1$ .
2. Déterminer l'équation d'une isotherme d'un gaz parfait dans le diagramme de Watt ( $P, V$ ), c'est-à-dire une équation de la forme  $P = f(V)$  ; en déduire la forme attendue. Tracer alors la représentation du cycle complet dans le diagramme de Watt.
3. Déterminer les expressions du travail reçu par le système au cours de chacune des trois transformations, respectivement notées  $W_{1 \rightarrow 2}$ ,  $W_{2 \rightarrow 3}$ ,  $W_{3 \rightarrow 1}$ , en fonction de  $P_1$  et  $V_1$ . Commenter.
4. Calculer le travail moteur  $W_m$  fourni par le mélange au cours du cycle complet, à exprimer également en fonction de  $P_1$  et  $V_1$  (*attention, on demande le travail fourni et non reçu...*). Commenter.

5. Rappeler l'énoncé du premier principe de la thermodynamique pour un système fermé subissant une transformation finie en précisant la signification de chaque terme. Le simplifier dans le cas d'un système macroscopiquement au repos.
6. Donner l'expression de la variation d'énergie interne  $\Delta U$  du système de  $n$  moles du gaz parfait au cours d'une transformation finie en fonction de  $n$ ,  $R$ ,  $\gamma$  et de la température  $T$ .
7. Déterminer l'expression de l'énergie thermique  $Q_{exp}$  reçue par le mélange lors de l'explosion en fonction de  $P_1$ ,  $V_1$  et  $\gamma$ .
8. En déduire le rendement du cycle  $\eta = \frac{W_m}{Q_{exp}}$ . Faire l'application numérique.

## **Partie B : cycle de Beau de Rochas**

Le cycle de Beau de Rochas (ou cycle d'Otto) succède au cycle de Lenoir et offre un meilleur rendement grâce à l'introduction d'une compression adiabatique préalable du mélange, ce qui améliore l'efficacité thermique du moteur.

Le cycle thermodynamique décrit par le mélange air-essence, toujours modélisé comme un gaz parfait, se décompose en quatre étapes :



- **A → B** : compression, adiabatique réversible, du mélange. Dans l'état B, le volume est égal à  $V_B$ .
- **B → C** : Echauffement isochore du gaz.
- **C → D** : détente adiabatique et réversible du gaz.
- **D → A** : refroidissement isochore du gaz.

On définit le « taux de compression » comme le rapport  $\tau = \frac{V_A}{V_B}$ , avec ici  $\tau = 10$ . Par une étude similaire à celle menée dans la partie précédente, on établit que le rendement du cycle est donné par  $\eta_1 = 1 + \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B}$ .

**Donnée : Relation de Laplace pour une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait :**

$$TV^{\gamma-1} = \text{constante}$$

9. Rappeler la définition d'une transformation adiabatique.
10. À l'aide de la relation de Laplace et de la définition du taux de compression, établir l'expression du rendement  $\eta_1$  du cycle de Beau de Rochas en fonction du taux de compression  $\tau$  et du coefficient adiabatique  $\gamma$ . Faire l'application numérique.
11. En réalité, le rendement réel d'un moteur est inférieur au rendement théorique  $\eta_1$ . Expliquer.

## **Partie C : Pare-brise chauffant**

Le pare-brise chauffant permet d'ôter rapidement le givre. Dans les véhicules modernes, il suffit d'activer la fonction de dégivrage rapide pour que le pare-brise soit dégivré en environ une minute. On évite ainsi l'utilisation d'un grattoir à glace, qui pourrait endommager le verre, ou l'option de verser de l'eau chaude, qui risquerait de provoquer la rupture du verre en raison d'un choc thermique. Cette partie de l'exercice a pour objectif l'étude d'un tel dispositif.

Une voiture a été laissée dehors pendant la nuit. Au matin, le pare-brise est recouvert d'une fine couche de givre de masse totale  $m_G = 1,50 \text{ kg}$  qu'on assimile à de la glace à la température initiale  $T_1 = -5 \text{ °C}$ . Le pare-brise en verre a une masse  $m_{PB} = 10,00 \text{ kg}$  et sa température initiale vaut également  $T_1$ . Pour permettre le dégivrage, les  $N$  filaments chauffants du pare-brise élèvent sa température jusqu'à la température finale de  $T_2 = 0 \text{ °C}$ .

**Données** : Pression de l'air atmosphérique, supposée constante :  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

**Capacité thermique massique de la glace** :  $c_G = 2,06 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

**Capacité thermique massique du verre** :  $c_{\text{Verre}} = 720 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

**Enthalpie massique de fusion de l'eau à  $T_2 = 0 \text{ °C}$  et  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$**  :  $\ell_{\text{fusion}} = 333 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

12. Quel(s) mode(s) de transfert(s) thermique(s) permet(tent) l'échauffement du pare-brise lorsque le mode dégivrage est actionné ?
13. Donner la définition de l'enthalpie massique de fusion de l'eau.
14. Rappeler les deux conditions nécessaires pour exprimer le premier principe de la thermodynamique sous forme de bilan d'enthalpie. Ces conditions sont-elles satisfaites lors de cette transformation ?
15. Exprimer la variation d'enthalpie  $\Delta H_{PB}$  du pare-brise entre l'état initial et l'état final en fonction des données de l'énoncé.
16. En supposant que toute la glace a fondu dans l'état final, exprimer la variation d'enthalpie  $\Delta H_G$  du givre entre l'état initial et l'état final.
17. En déduire l'énergie à fournir au système {givre + pare-brise} pour réaliser le dégivrage.
18. Étant donné que chaque filament de pare-brise génère une puissance  $P = 500 \text{ W}$ , déterminer le nombre  $N$  de filaments chauffants nécessaires pour dégivrer le pare-brise en une durée  $\Delta t = 1 \text{ minute}$  ?