

# Devoir surveillé de Thermodynamique

Mercredi 13 novembre 2024

**Durée : 1h30. Sans documents.**

## Exercice 1

On considère un cycle de Brayton d'une masse  $m = 1$  kg d'air. Ce cycle représente le fonctionnement d'une turbine à gaz et il est composé des évolutions suivantes :

- de l'état 1 à 2, une compression adiabatique ;
- de l'état 2 à 3, une transformation isobare qui comporte une augmentation de volume ( $V_3 > V_2$ ) ;
- de l'état 3 à 4, une détente adiabatique ;
- de l'état 4 à 1, une transformation isobare qui comporte une diminution de volume ( $V_1 < V_4$ ).

Toutes ces transformations sont supposées mécaniquement réversibles.

L'air sera assimilé à un gaz parfait de caractéristiques  $r = 287$  J/(kg K),  $c_V = 713$  J/(kg K) (on rappelle aussi que  $c_P = c_V + r$  et  $\gamma = c_P/c_V$ ). On connaît : les volumes  $V_1 = 0,83$  m<sup>3</sup> et  $V_3 = 0,27$  m<sup>3</sup> (dans les états 1 et 3, respectivement), la pression  $P_1 = 10^5$  Pa (dans l'état 1) et le rapport de compression  $P_2/P_1 = 15$  (avec  $P_2$  la pression dans l'état 2).

Q1) Tracer le graphique du cycle dans le plan volume-pression et préciser le sens dans lequel il doit être parcouru.

Q2) Déterminer la température (expression et valeur numérique) dans l'état 1. Déterminer aussi le volume et la température (expressions et valeurs numériques) à la fin de la compression adiabatique (état 2).

Q3) Calculer le travail  $W_{12}$  échangé par l'air pendant la compression adiabatique  $1 \rightarrow 2$  et dire si  $W_{12}$  est cédé ou reçu par l'air.

Q4) Calculer la température dans l'état 3. Calculer ensuite le travail  $W_{23}$  et la quantité de chaleur  $Q_{23}$  échangés dans la transformation  $2 \rightarrow 3$  et dire si  $W_{23}$  et  $Q_{23}$  sont cédés ou reçus par l'air.

Q5) Déterminer toutes les variables thermodynamiques (expressions et valeur numériques) caractérisant l'état 4.

Q6) Calculer le travail  $W_{34}$  échangé par l'air pendant la détente adiabatique  $3 \rightarrow 4$  et dire si  $W_{34}$  est cédé ou reçu par l'air.

Q7) Calculer le travail  $W_{41}$  et la quantité de chaleur  $Q_{41}$  échangés dans la transformation  $4 \rightarrow 1$  et dire si  $W_{41}$  et  $Q_{41}$  sont cédés ou reçus par l'air.

Q8) Identifier les quantités de chaleur reçue ( $Q_{in}$ ) et cédée ( $Q_{out}$ ) par l'air, afin de calculer le rendement  $\eta$  du cycle. Calculer la valeur de  $\eta$ .

Q9) Montrer que le rendement peut aussi s'écrire comme  $\eta = 1 + (T_1 - T_4)/(T_3 - T_2)$ . A partir de cette expression de  $\eta$ , montrer que  $\eta = 1 - 1/T_r$ , où  $T_r = T_2/T_1$  est le rapport des températures (de la turbine).

## Exercice 2

Par ciel bleu et clair, l'énergie solaire rayonnée disponible est d'environ  $1000 \text{ W/m}^2$ . On considère un chauffe-eau solaire rectangulaire de côtés  $\ell_1 = 1,5 \text{ m}$  et  $\ell_2 = 1,6 \text{ m}$ , dont le rendement est de 30%. Le fluide caloporteur dans le capteur est l'eau (masse volumique  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ , chaleur massique  $c = 4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) ; il circule avec un débit  $q_v = 20 \text{ l/h}$ .

Q1) Déterminer la puissance solaire reçue par le panneau rectangulaire.

Q2) Calculer la puissance thermique du chauffe-eau.

Q3) Déterminer l'énergie (quantité de chaleur) disponible après 2 heures de fonctionnement.

Q4) Déterminer la masse d'eau qui circule dans le panneau durant 2 heures et, ensuite, l'élévation de température du fluide au bout de ces 2 heures.