

### *Centrale nucléaire (tiré de l'examen 2013)*

Une centrale nucléaire est installée le long d'un fleuve dont l'eau à la température  $T_f$  est utilisée comme source froide. La source chaude est constituée par le réacteur à la température  $T_c$ . La turbine de la centrale échange par cycle de durée  $\tau$  les quantités de chaleur  $Q_c$  et  $Q_f$  avec les sources chaudes et froides et un travail  $W$  avec l'extérieur. On note  $\dot{Q}_c = Q_c/\tau$  la quantité de chaleur moyenne échangée par unité de temps avec la source chaude et  $\dot{Q}_f = Q_f/\tau$  avec la source froide.

1. Préciser les signes de  $\dot{Q}_c$  et  $\dot{Q}_f$ . En supposant toutes les transformations réversibles, écrire les relations entre :
  - (a)  $\dot{Q}_c$ ,  $\dot{Q}_f$  et la puissance  $P$  délivrée à l'extérieur par la centrale ( $P = \dot{W}_{\text{ext}} = \dot{W}_{\text{ext}}/\tau$ ).
  - (b)  $T_c$ ,  $T_f$ ,  $\dot{Q}_c$  et  $\dot{Q}_f$ .
  - (c) Le rendement maximum possible  $\eta_m$  de la centrale en fonction de  $\dot{Q}_c$  et  $\dot{Q}_f$ .
  - (d) Le rendement maximum possible de la centrale en fonction de  $T_c$  et  $T_f$ .
2. En pratique le rendement réel  $\eta_r$  est plus faible que le rendement maximum,  $\eta_r < \eta_m$ , à cause de phénomènes irréversibles. Pour une même puissance  $P$ , la centrale échange une quantité de chaleur par unité de temps  $\dot{Q}_c^r$  avec la source chaude et  $\dot{Q}_f^r$  avec la source froide.
  - (a) Exprimer  $\eta_r$  en fonction de  $\dot{Q}_f^r$  et  $\dot{Q}_c^r$ .
  - (b) Lesquelles des affirmations suivantes sont correctes ?
$$|\dot{Q}_c^r| < |\dot{Q}_c|, |\dot{Q}_c^r| = |\dot{Q}_c|, |\dot{Q}_c^r| > |\dot{Q}_c|,$$
$$|\dot{Q}_f^r| < |\dot{Q}_f|, |\dot{Q}_f^r| = |\dot{Q}_f|, |\dot{Q}_f^r| > |\dot{Q}_f|.$$
3. Le gouvernement du pays refuse de communiquer des informations sur la puissance de la centrale. Un citoyen ordinaire mesure la différence de température du fleuve entre l'amont et l'aval de la centrale, il trouve  $T_f = 27^\circ\text{C} = 300\text{ K}$  et  $\Delta T = T_{\text{aval}} - T_{\text{amont}} = 1,5\text{ K}$ . Selon un club de pêche local, le débit volumique du fleuve est  $D = 400\text{ m}^3/\text{s}$  ( $D$  est donc le volume d'eau qui s'écoule par unité de temps). Exprimer  $\dot{Q}_f^r$  en fonction de  $\Delta T$ ,  $D$ , la capacité calorifique massique de l'eau  $C$  et la masse volumique de l'eau  $\rho$ .
4. Exprimer  $P$  en fonction de  $\eta_r$  et  $\dot{Q}_f^r$ . Par ailleurs, ce citoyen a trouvé que ce type de centrale fonctionne généralement avec  $T_c = 900\text{ K}$  et que le rendement de la turbine est de l'ordre de  $\epsilon = 50\%$  du rendement maximum de Carnot,  $\eta_m$ . Quelle est la puissance de la centrale ? On donne  $C = 4000\text{ J}/(\text{K kg})$  et  $\rho = 1000\text{ kg}/\text{m}^3$ .