

Corrigé de l'EC8: Centrale nucléaire

Énoncé

Dans une centrale nucléaire, l'énergie thermique dégagée par la fission des atomes (source chaude à la température $T_{ch} = 700\text{K}$) sert à chauffer de l'eau entraînant une turbine (travail mécanique) qui entraînera un alternateur. La source froide est un fleuve à la température $T_{fr} = 298\text{K}$ et de débit volumique $q_V = 500 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. On supposera que le rendement de l'alternateur est de 1, la puissance fournie par la centrale est de 1000MW et le rendement de l'installation est à 60% du rendement de Carnot. La température maximale autorisée de l'eau en sortie de la centrale est de 30°C .

1. Redémontrer la formule du rendement de Carnot dans le cas d'un moteur. En déduire la valeur numérique du transfert thermique Q_{ch} de la source chaude sur une durée de fonctionnement de 1s de la centrale nucléaire.
2. Donner la valeur numérique du transfert thermique Q_{fr} de la source source sur une durée de fonctionnement de 1s de la centrale nucléaire.
3. En déduire la température de l'eau en sortie de la centrale.
4. En pratique, la centrale ne capte pas toute l'eau du fleuve, quel proportion d'eau du fleuve la centrale doit-elle capter pour respecter la législation ? Commenter.

Correction

1. D'après le premier principe sur un cycle, on a $\Delta U_{cycle} = W_{cycle} + Q_{fr} + Q_{ch}$.

U étant une fonction d'état, on a donc $\Delta U_{cycle} = 0$.

Donc $W_{cycle} + Q_{fr} + Q_{ch} = 0$.

D'après le second principe sur un cycle, on a $\Delta S_{cycle} = \frac{Q_{fr}}{T_{fr}} + \frac{Q_{ch}}{T_{ch}} + \delta S_{cycle}^{cr}$.

Le moteur de Carnot étant réversible, on a $\delta S_{cycle}^{cr} = 0$.

S étant une fonction d'état, on a donc $\Delta S_{cycle} = 0$.

Donc $\frac{Q_{fr}}{T_{fr}} + \frac{Q_{ch}}{T_{ch}} = 0$.

Donc $Q_{fr} = -\frac{T_{fr}}{T_{ch}} Q_{ch}$.

En injectant dans l'équation obtenue à l'aide du premier principe, on a $W_{cycle} - \frac{T_{fr}}{T_{ch}} Q_{ch} + Q_{ch} = 0$

Donc $W_{cycle} = \left(\frac{T_{fr}}{T_{ch}} - 1 \right) Q_{ch}$.

Dans le cas d'un moteur, on a $\rho = \frac{|W_{cycle}|}{Q_{ch}} = \frac{-W_{cycle}}{Q_{ch}}$.

On en déduit finalement $\rho_C = 1 - \frac{T_{fr}}{T_{ch}}$.

Le rendement de Carnot de la centrale est donc $\rho_C = 0,574$.

Le rendement de la centrale est $\rho = 0,60 \times \rho_C = 0,345$.

Sur une durée de fonctionnement de 1s, on a $W_{cycle} = -1000\text{MJ}$.

Donc $Q_{ch} = \frac{-W_{cycle}}{\rho} = 2900\text{MJ}$.

2. On a $Q_{fr} = -W_{cycle} - Q_{ch}$.

Donc $Q_{fr} = -1900\text{MJ}$.

3. L'eau du fleuve reçoit un transfert thermique $-Q_{fr}$ en 1s.

Ce transfert thermique correspond alors à une variation d'énergie interne $\Delta U = mc\Delta T$ en supposant que l'eau du fleuve se comporte comme une phase condensée incompressible et indilatable.

On a donc $\Delta T = \frac{-Q_{fr}}{mc}$.

En 1s, le volume d'eau chauffée est de 500m^3 , la masse d'eau chauffée est donc 500 tonnes.

On a donc $\Delta T = 0,91^\circ\text{C}$.

La température de l'eau en sortie de centrale est alors de 26°C pour une température en entrée de 25°C .

4. La variation maximale autorisée de la température d'eau du fleuve par la législation est $\Delta T_{max} = 5^\circ\text{C}$.

La fraction d'eau que le fleuve doit capter f vérifie alors la relation $fmc\Delta T = -Q_{fr}$.

On a donc $f = \frac{-Q_{fr}}{mc\Delta T} = 0,18$. Il est donc nécessaire de capter 18% des eaux du fleuve.

Cela fait beaucoup et peut parfois nécessiter des restrictions de production électrique voire l'arrêt de la centrale ne pouvant capter suffisamment d'eau du fleuve pour ne pas dépasser la température maximale de rejet des eaux.

En pratique ce cas est assez extrême, notamment une température d'eau d'un fleuve français de 25°C est le plus souvent atteint en période de forte chaleur. En moyenne, au mois d'août à Lyon (ville proche de la centrale du Bugey qui a dû réduire sa production à l'été 2025), l'eau du Rhône est d'environ 23°C .