

Machines à écoulement de fluide : Cycle d'une centrale nucléaire REP

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité, qui utilise un réacteur nucléaire pour produire de la chaleur. Le fonctionnement des réacteurs à eau pressurisée utilisés en France repose sur trois circuits d'eau indépendants. Dans le bâtiment réacteur, les réactions nucléaires chauffent l'eau du circuit primaire. Le « fluide thermodynamique » est l'eau du circuit secondaire. Celle-ci se vaporise au contact du circuit primaire dans le générateur de vapeur, puis entraîne en rotation plusieurs turbines couplées à un alternateur. Elle est ensuite condensée au contact du circuit de refroidissement avant d'être comprimée puis renvoyée dans le générateur de vapeur.

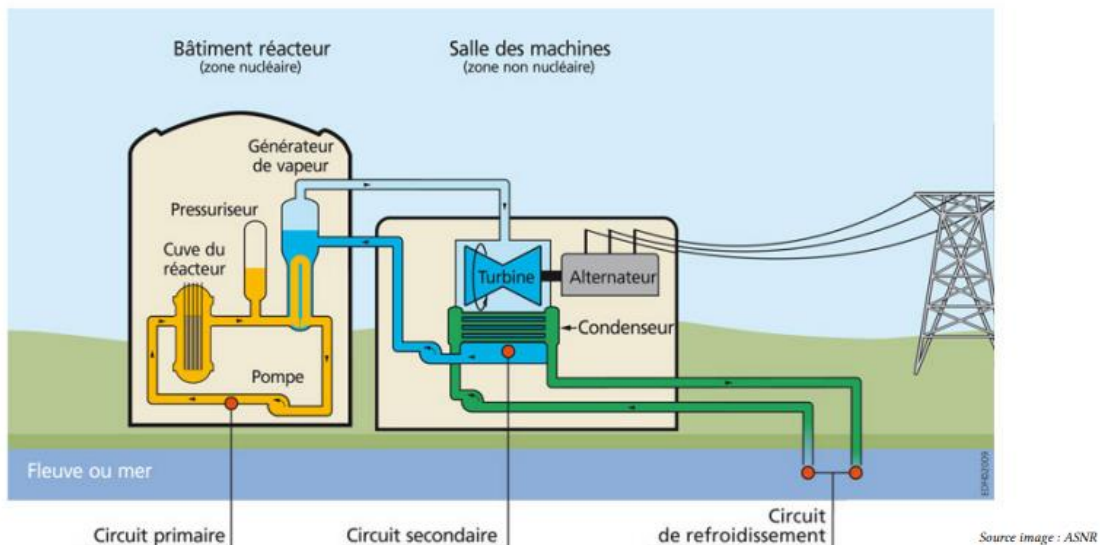


Figure 3 – Structure d'une centrale nucléaire REP.

1 - Quel peut être l'intérêt d'utiliser trois circuits d'eau séparés ?

2 - Sur le plan thermodynamique, une centrale nucléaire est-elle une machine motrice ou réceptrice ? Identifier la source chaude et la source froide.

On s'intéresse au cycle suivi par l'eau du circuit secondaire d'une tranche de centrale de type P4, comme par exemple celles de Paluel ou Penly en Seine-Maritime, produisant une puissance électrique de 1300 MW. Le schéma thermodynamique est représenté figure 4.

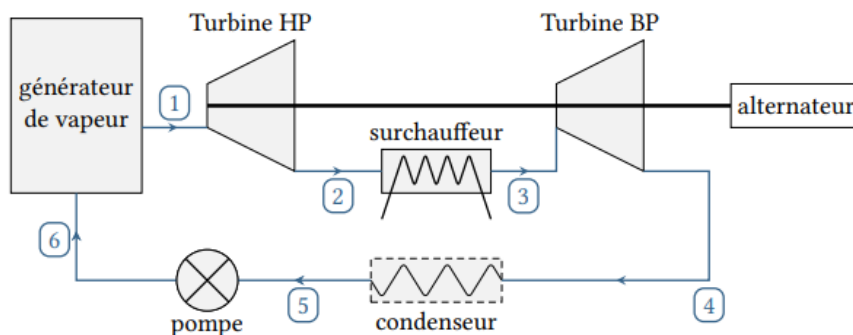


Figure 4 – Schéma thermodynamique du circuit secondaire.

- ▶ L'eau sort du générateur de vapeur sous forme de vapeur saturante sèche à 65 bar (état 1);
- ▶ Elle traverse alors une première turbine dite « haute pression » dans laquelle elle se détend jusqu'à 10 bar;
- ▶ La présence des gouttelettes d'eau liquide étant nocive en raison des chocs avec les pales des turbines, dont l'extrémité atteint quasiment la vitesse du son, l'eau passe dans un surchauffeur isobare où elle est remise en contact thermique avec de l'eau chaude issue du circuit primaire jusqu'à atteindre une température de 280 °C (état 3);
- ▶ Une deuxième détente a lieu dans une seconde turbine « basse pression »;
- ▶ L'eau traverse ensuite le condenseur, où elle atteint de manière isobare l'état de liquide saturant par contact avec le circuit de refroidissement;
- ▶ Enfin, un bloc pompe ramène l'eau à 65 bar pour la renvoyer dans le générateur de vapeur.

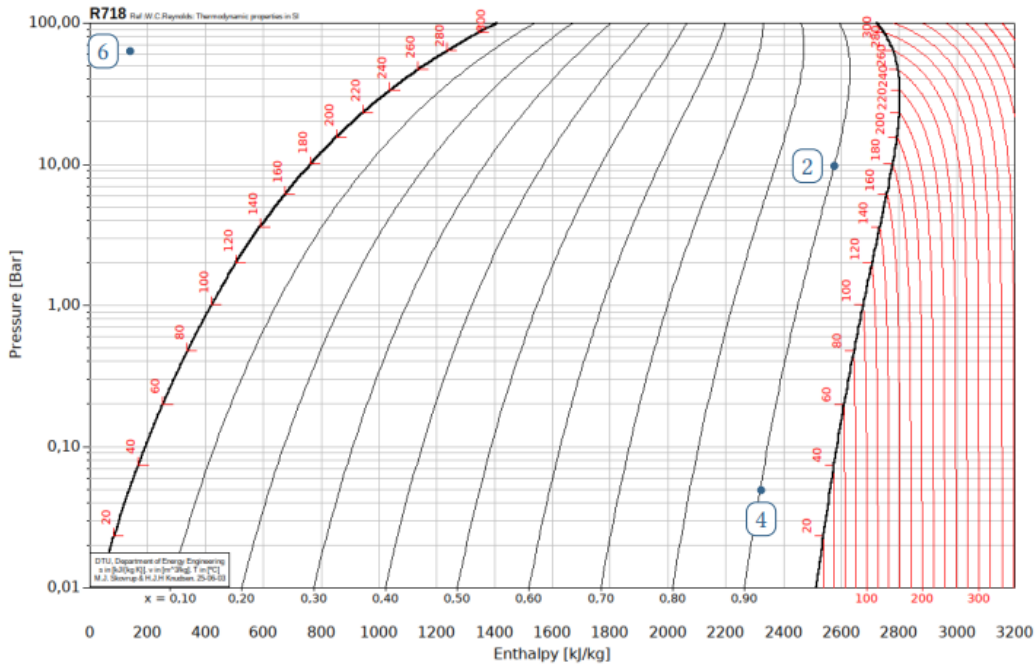
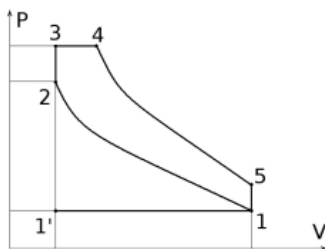


Figure 5 – Cycle thermodynamique du circuit secondaire représenté dans le diagramme des frigoristes.

- 3 - Placer les points manquants sur le diagramme figure 5 et tracer le cycle.
- 4 - Déterminer les températures T_2 et T_6 et les titres en vapeur x_2 et x_4 .
- 5 - Déterminer le travail massique algébrique total fourni par les turbines, supposées parfaitement calorifugées.
- 6 - En déduire le débit d'eau, en $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$, permettant à la centrale de produire une puissance électrique de 1350 MW.
- 7 - Déterminer le transfert thermique algébrique total fourni par la source chaude. En déduire le rendement thermodynamique du cycle.

Machines à pistons : Moteur Diesel à double combustion



Dans les moteurs Diesel à double combustion, le cycle décrit par le mélange air-carburant est modélisable par celui d'un système fermé représenté en coordonnées de Watt ci-contre. Après la phase d'admission $1' \rightarrow 1$ qui amène le mélange au point 1 du cycle, celui-ci subit une compression adiabatique supposée réversible jusqu'au point 2. Après injection du carburant en 2, la combustion s'effectue d'abord de façon isochore de 2 à 3 puis se poursuit de façon isobare de 3 à 4. La phase de combustion est suivie d'une détente adiabatique à nouveau réversible de 4 à 5, puis d'une phase d'échappement isochore $5 \rightarrow 1'$ puis isobare $1 \rightarrow 1'$.

Au point 1 du cycle, la pression $p_m = 1,0$ bar et la température $T_m = 293$ K sont minimales. La pression maximale, aux points 3 et 4, est $p_M = 60$ bar et la température maximale, au point 4, vaut $T_M = 2073$ K. Le rapport volumétrique de compression vaut $\beta = V_M/V_m = 17$.

On raisonne sur n mol de gaz, et on suppose que le mélange air-carburant se comporte exactement comme l'air, c'est-à-dire comme un gaz parfait diatomique de masse molaire $M = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, et de capacités thermiques respectives C_P et C_V , et on note $\gamma = C_P/C_V = 1,4$.

- 1 - Exprimer les températures T_2 , T_3 et T_5 en fonction de p_m , p_M , T_m , T_M et β . Calculer les valeurs numériques.
- 2 - Calculer le transfert thermique Q_c reçu par l'air au cours de la phase de combustion $2 \rightarrow 4$.
- 3 - Calculer le transfert thermique Q_f échangé avec le milieu extérieur entre les points 5 et 1.
- 4 - En déduire le travail W échangé au cours d'un cycle.
- 5 - Définir et calculer le rendement de ce moteur.

