

DM 8 – Étude du cycle de Rankine

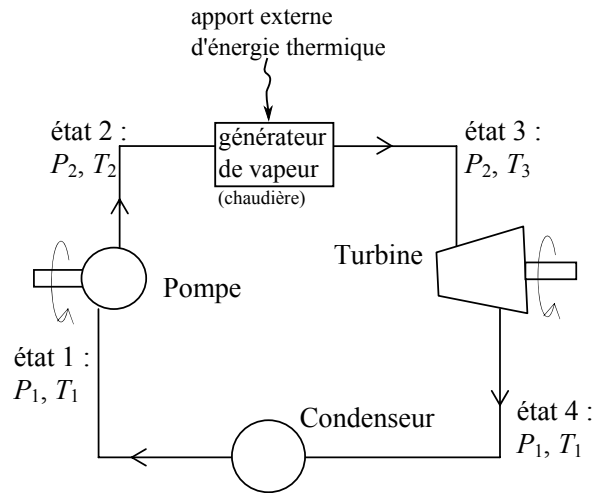
Une centrale thermique produit de la chaleur en brûlant un combustible fossile (charbon, gaz naturel). Une centrale nucléaire produit également de la chaleur en exploitant des réactions nucléaires de fission. Dans ces deux cas, il faut trouver un moyen de convertir cette énergie thermique en travail mécanique (rotation d'un arbre) qui peut ensuite, via une dynamo, être utilisée pour générer de l'électricité.

La plupart des centrales thermiques ou nucléaires utilisent pour cela le cycle de Rankine, que nous allons étudier ici. C'est aussi ce cycle qui est utilisé dans les machines à vapeur des bateaux (la source de chaleur est alors une chaudière), ou dans les sous-marins nucléaires (la source de chaleur est un réacteur nucléaire).

Le fluide caloporteur est l'eau. Il entre dans la pompe sous forme de liquide saturé (état 1), puis est comprimé de façon isentropique (adiabatique réversible) à la pression qui règne dans le générateur de vapeur (GV). En entrant dans le GV, l'eau se trouve sous forme de liquide comprimé à la pression p_2 (état 2). Elle en ressort sous forme de vapeur (état 3) à la même pression p_2 puis pénètre dans la turbine où elle se détend de façon isentropique (adiabatique réversible) en entraînant l'arbre de l'alternateur. À la sortie de la turbine (état 4), l'eau est diphasée. Ce mélange liquide-vapeur est alors liquéfié à pression constante dans le condenseur et en sort dans l'état 1.

Il n'y a pas de parties mobiles dans le GV et dans le condenseur.

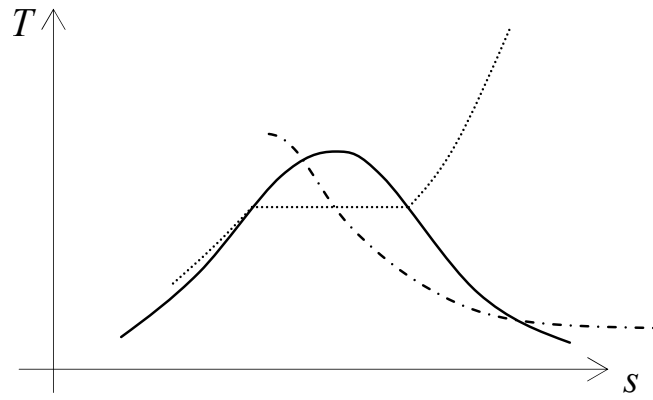
On utilise le diagramme entropique de l'eau fourni à la fin du document (doc. 2). Il représente la température en fonction de l'entropie massique de l'eau. On donne également une représentation schématique (doc. 1) du diagramme $T-s$.



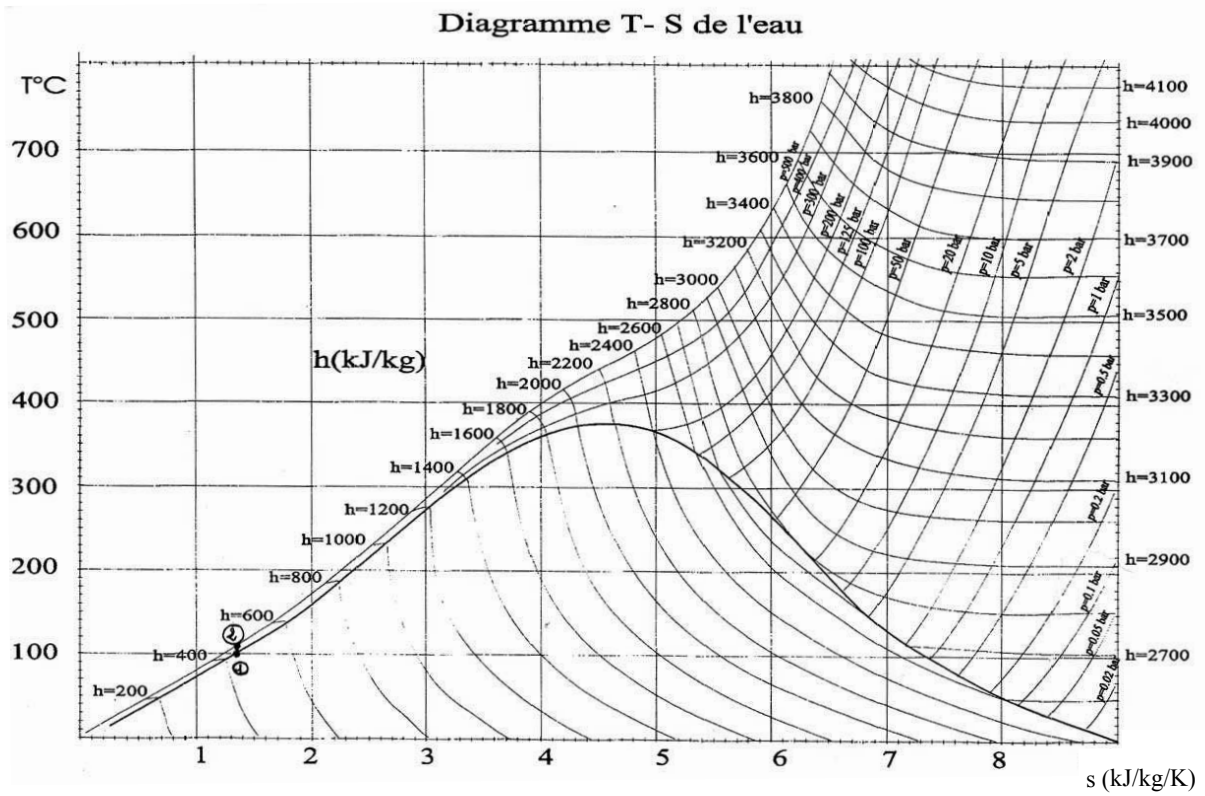
1. Sur cette représentation schématique (doc. 1), indiquer la courbe de rosée, d'ébullition, le domaine du liquide, de la vapeur, de l'équilibre diphasique, ainsi que ce qui représente une évolution isobare et une évolution isenthalpique.

On donne $p_2 = 50 \times 10^5 \text{ Pa}$, $p_1 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, $T_3 = 773 \text{ K}$ (500°C). Les points 1 et 2 figurent déjà sur le diagramme $T-s$ de l'eau fourni.

2. Sur le diagramme expérimental (doc. 2), placer les points 3 et 4 qui correspondent aux états 3 et 4 du fluide, et tracer le cycle de Rankine décrit par le fluide.
3. Toujours à l'aide du même diagramme, donner les valeurs numériques de T_1 , h_3 , h_4 , s_4 , $s_v(T_1)$ entropie massique de la vapeur juste saturante à T_1 , et $s_l(T_1)$ entropie massique du liquide juste saturé à T_1 .
4. Déduire de la question précédente la valeur du titre en vapeur x_4 à la sortie de la turbine. On exprimera pour cela s_4 en fonction de x_4 , $s_v(T_1)$ et $s_l(T_1)$.
5. On donne $h_1 = 440 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $h_2 = 475 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Exprimer puis calculer le transfert thermique massique q_{GV} reçu par le fluide dans le GV.
6. Faire de même pour le transfert thermique massique q_{cond} reçu par le fluide dans le condenseur.
7. On considère qu'il y a une masse m d'eau en écoulement dans le système. En appliquant le premier principe sur un cycle au fluide caloporteur, donner l'expression du travail reçu W par le fluide au cours du cycle en fonction de m , q_{GV} et q_{cond} .
8. Définir le rendement η du cycle, puis donner son expression en fonction de q_{GV} et q_{cond} , et enfin donner sa valeur numérique dans le cas considéré ici (les données de l'énoncé correspondent à la propulsion d'un sous-marin nucléaire).
9. Si on estime que le sous-marin a besoin d'une puissance motrice de 60 MW sur l'arbre en sortie de la turbine, quelle doit être la puissance thermique apportée par le réacteur nucléaire ?



(doc. 1) Diagramme T-s schématique à compléter.



(doc. 2) Diagramme T-s de l'eau à compléter avec le cycle.