

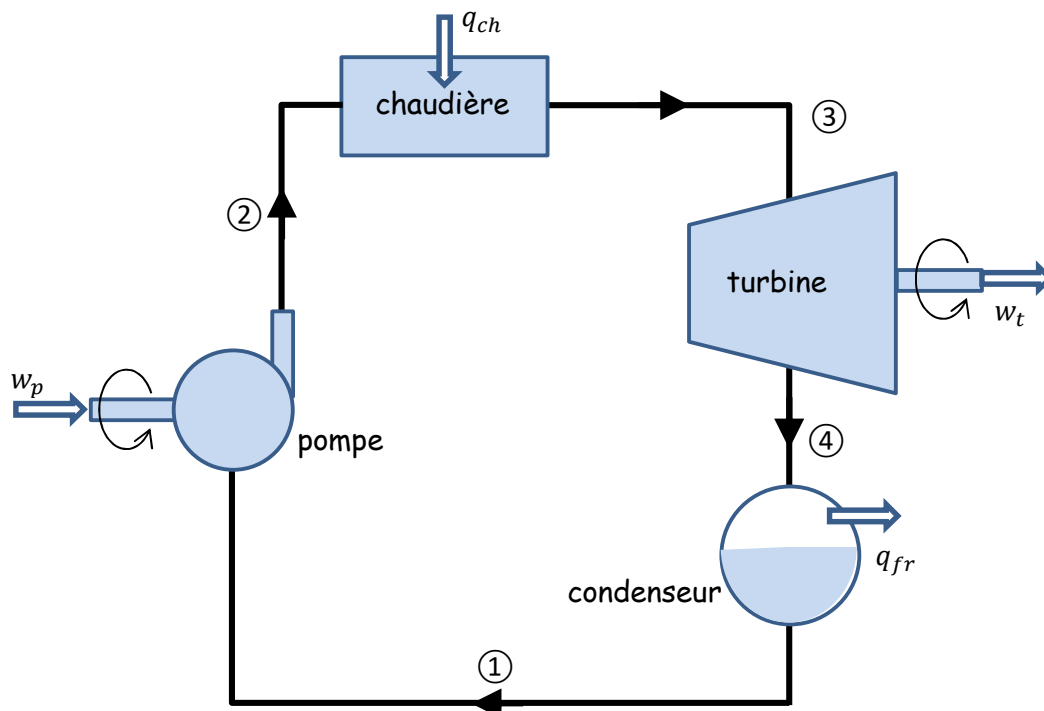
THERMODYNAMIQUE

Chapitre 1 : Systèmes ouverts en régime stationnaire

Exercice : Cycle de Rankine

Beaucoup de centrales fonctionnent avec un circuit dans lequel de l'eau subit des transformations entre l'état liquide et l'état gazeux permettant de transformer un transfert thermique, provenant de la combustion du charbon ou du réacteur nucléaire, en travail mécanique. Ce travail mécanique est transformé par un alternateur en énergie électrique.

Le schéma de principe du circuit d'eau est représenté ci-dessous. Les flèches indiquent le sens réel des échanges d'énergie.



Le fluide circule en régime stationnaire dans la machine et passe par quatre états successifs :

- **Etat 1** : le fluide sort du condenseur à l'état liquide saturant à la température T_1 et à la pression $P_1 = P_{sat}(T_1)$, pression de vapeur saturante à la température T_1 ;
- Transformation 1 → 2 : dans la pompe, le liquide subit une compression adiabatique et réversible ;
- **Etat 2** : le fluide est à l'état liquide à la pression $P_2 > P_1$ et à une température $T_2 \sim T_1$;
- Transformation 2 → 3 : dans la chaudière, le fluide reçoit du transfert thermique à pression constante. Il monte en température, est totalement transformé en vapeur et monte encore en température ;
- **Etat 3** : le fluide est à l'état de vapeur sèche à la température $T_3 > T_2$ et à la pression $P_3 = P_2$;
- Transformation 3 → 4 : dans la turbine, le liquide subit une détente adiabatique et réversible ;
- **Etat 4** : le fluide est à l'état de mélange liquide-vapeur de titre massique en vapeur x_4 , à la température $T_4 = T_1$ et à la pression $P_4 = P_1$;
- Transformation 4 → 1 : dans le condenseur, la vapeur se condense totalement de manière isobare et isotherme.

Les échanges d'énergie entre le fluide et l'extérieur au cours du cycle sont les suivants :

- Dans la pompe, le fluide reçoit du travail. On appelle w_p le travail massique reçu correspondant : $w_p > 0$.
- Dans la chaudière, le fluide reçoit un transfert thermique d'un thermostat « chaud » de température T_{ch} . On appelle q_{ch} le transfert thermique massique reçu correspondant : $q_{ch} > 0$.
- Dans la turbine, le fluide cède du travail. On appelle w_t le travail massique reçu correspondant : $w_t < 0$.
- Dans le condenseur, le fluide cède du transfert thermique à un thermostat « froid » de température T_{fr} . On appelle q_{fr} le transfert thermique reçu correspondant : $q_{fr} < 0$.

On peut négliger les variations d'énergie cinétique et potentielle dans chaque constituant du cycle devant les autres échanges énergétiques.

- 1) Appliquer les deux principes à chaque constituant du cycle de Rankine. En déduire deux relations concernant le cycle complet.
- 2) Définir le rendement de cette machine thermique et l'exprimer à l'aide des grandeurs énergétiques.
- 3) Démontrer que ce rendement reste inférieur à celui du cycle de Carnot.

On donne les caractéristiques suivantes pour le cycle considéré :

- Pression basse : $P_1 = P_4 = 0.20 \text{ bar}$
 - Pression haute : $P_2 = P_3 = 100 \text{ bar}$
 - Température à la sortie de la chaudière : $T_3 = 613 \text{ K}$
 - Température de la source chaude : $T_{ch} = T_3$
 - Température de la source froide : $T_{fr} = 288 \text{ K}$ (température de l'eau d'une rivière)
- 4) Représenter le cycle dans le diagramme $(\ln P, h)$ fourni. On assimilera l'isentrope $1 \rightarrow 2$ à une droite verticale. Quelle conséquence cela a-t-il sur w_p et sur le rendement.
 - 5) Lire sur le diagramme les valeurs de la température $T_1 = T_4$, de la fraction massique en vapeur x_4 .
 - 6) Déterminer le rendement et le rendement de Carnot.
 - 7) Déterminer l'entropie créée dans la chaudière et dans le condenseur.

