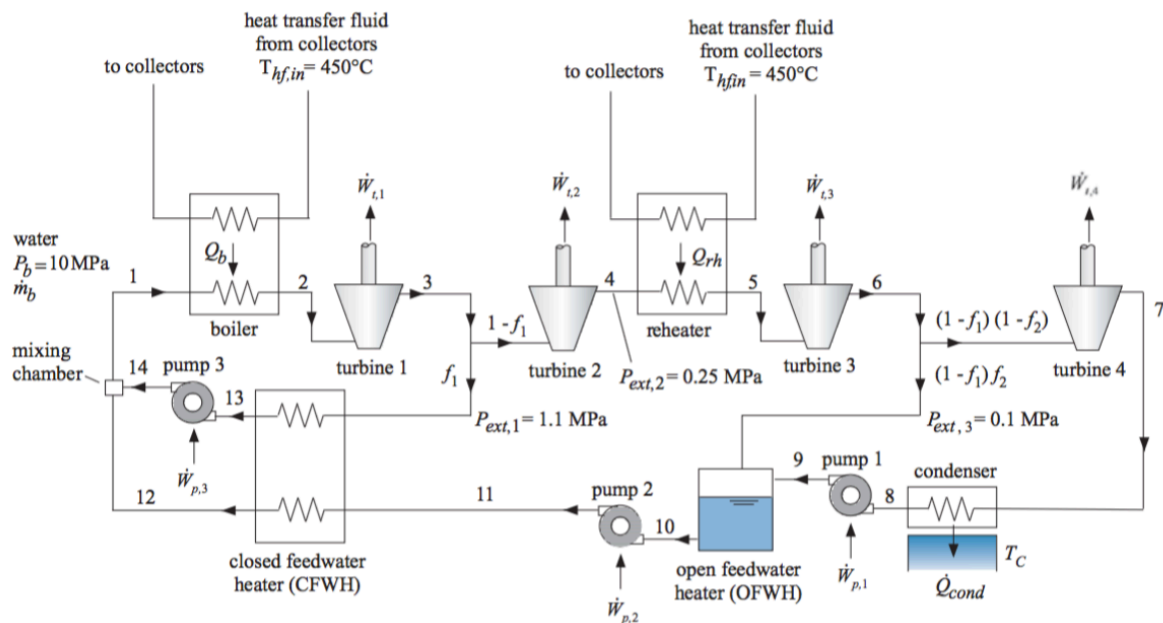


Centrale Solaire

Note : il s'agit là d'un travail de longue haleine. Merci de rédiger un rapport clair avec les résultats présentés par des phrases complètes et des références aux figures. Tous les éléments demandés dans l'énoncé doivent apparaître dans le rapport. Il est **fortement** recommandé de sauvegarder votre code avec un nom différent à la fin de chaque partie. Donc vous aurez 4 codes à la fin de ce projet – ne pas copier/coller de codes dans le rapport).

Une centrale solaire suit un cycle de Rankine qui utilise l'énergie du soleil comme pour l'apport d'énergie. L'énergie solaire incidente est focalisée par des miroirs paraboliques sur une conduite de réception qui transporte le fluide utilisé pour les transferts de chaleur. Le fluide est chauffé alors qu'il parcourt le champ de miroir puis il retourne vers la centrale. Un échangeur de chaleur est utilisé pour transférer la chaleur collectée vers le fluide de travail de la centrale. Le cycle de Rankine montré sur la figure est utilisé pour transformer l'énergie thermique en énergie électrique. Le cycle utilise à la fois le réchauffage et la régénération avec des réchauffeurs d'eau d'alimentation ouverts et fermés.



Le fluide de travail du cycle de Rankine est l'eau ('water'). La pression du bouilleur (boiler) est $P_b = 10\text{ MPa}$. Le fluide utilisé pour les transferts de chaleur (heat) revient du collecteur solaire avec $T_{hf,in} = 450^\circ\text{C}$. La centrale rejette de la chaleur dans un réservoir à température $T_c = 30^\circ\text{C}$. Un des objectifs du problème est d'optimiser les pressions d'extraction. Cependant, dans un premier temps, nous supposons que le fluide est extrait de la turbine 1 (état 3 du schéma) à $P_{ext,1} = 1.1\text{ MPa}$. La fraction de l'écoulement amenée

au réchauffeur d'eau d'alimentation (fermé) est f_1 . Le fluide est par la suite extrait de la turbine 2 (état 4) à $P_{ext,2} = 0.25 \text{ MPa}$ et réchauffé. Le fluide est finalement extrait de la turbine 3 (état 6) à $P_{ext,3} = 0.1 \text{ MPa}$. La fraction du fluide extrait à l'état 6 qui est redirigée vers le réchauffeur d'eau d'alimentation (ouvert) est f_2 . Le fluide restant passe au travers de la turbine 4 vers le condenseur. Les efficacités des quatre turbines sont $\eta_{t,1} = 0.87$, $\eta_{t,2} = 0.90$, $\eta_{t,3} = 0.92$, $\eta_{t,4} = 0.93$. L'écoulement quittant le condenseur est pompé à $P_{ext,3}$ avec la pompe 1 qui a une efficacité $\eta_{p,1} = 0.65$. Le liquide saturé est extrait du réchauffeur d'eau d'alimentation ouvert à l'état 10 et pompé jusqu'à la pression du bouilleur avec la pompe 2 qui a une efficacité $\eta_{p,2} = 0.67$. L'écoulement au travers du réchauffeur d'eau d'alimentation fermé (CFWH) est contrôlé de manière à ce que le fluide sortant à l'état 13 soit un liquide saturé. Le différentiel de température des liquides quittant le CFWH est $\Delta T_{CFWH} = 2 \text{ K}$, donc $T_{12} = T_{13} - \Delta T_{CFWH}$.

Le fluide quittant le CFWH à l'état 13 est pompé à la pression du bouilleur à l'état 14 avec la pompe 3 d'efficacité $\eta_{p,3} = 0.69$. Les différences de température d'approche avec le bouilleur et le réchauffeur sont : $\Delta T_b = 15 \text{ K}$ et $\Delta T_{rh} = 10 \text{ K}$. Dans un échangeur, la différence de température d'approche est la différence de température entre le fluide de service extérieur (entrée ech.) et le fluide du système (sortie ech.). Donc l'eau quitte le bouilleur à $T_2 = T_{hf,in} - \Delta T_b$ et quitte le réchauffeur à $T_5 = T_{hf,in} - \Delta T_{rh}$. La différence de température d'approche associé avec le condenseur est $\Delta T_{cond} = 5 \text{ K}$, soit $T_8 = T_C + \Delta T_{cond}$. La perte de pression qui a lieu dans les échangeurs est négligée.

Partie 1 : Cycle de base [niveau 1]

- a. Déterminer l'efficacité du cycle η_{th} (et montrer que la somme des échanges d'énergie est nulle).

Partie 2 : Panneaux Solaires [niveau 2]

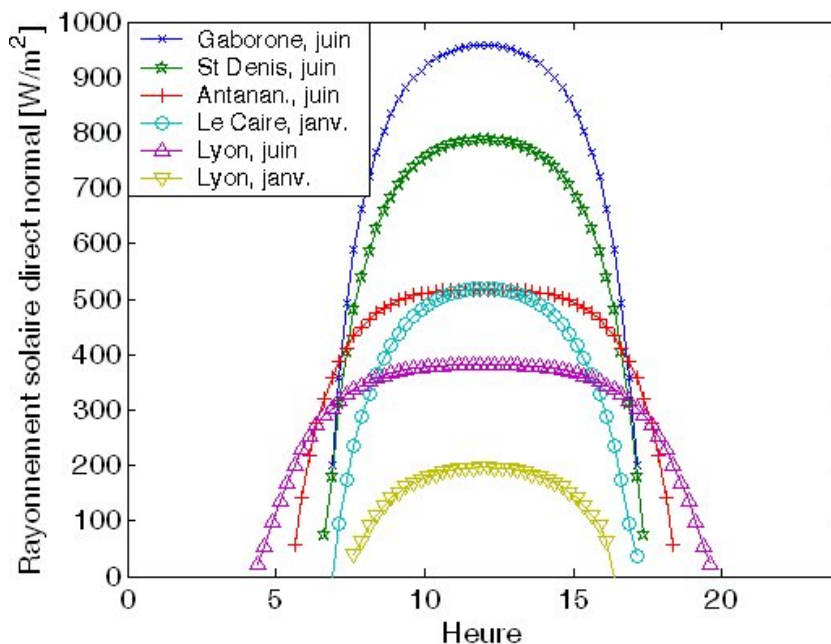
- b. Le champ de panneaux solaires totalise une surface de « collection » telle que $A_{col} = 40000 \text{ m}^2$. Il fonctionne un jour où le rayonnement solaire est $P_{sol} = 1000 \text{ W/m}^2$. Nous supposons que l'ensemble du rayonnement est absorbé par le fluide caloporteur. Déterminer la puissance (W) absorbée par le champ de panneaux.
- c. Dans le panneau, la conduite qui contient le fluide caloporteur est séparée de l'air ambiant par du vide. La paroi extérieure est faite de verre telle que le soleil puisse passer au travers et chauffer directement la conduite. Ce concept permet de minimiser les transferts de chaleur entre le fluide caloporteur et l'air ambiant. Cependant il y a une quantité non négligeable d'énergie perdue par la conduite. Ce taux de transfert entre le fluide caloporteur et l'atmosphère est donné par $P_{loss} = L_c A_{col} (T_{hf,in} - T_{amb})$ avec $L_c = 0.35 \frac{\text{W}}{\text{K.m}^2}$ un coefficient de perte donné par la conception du panneau et $T_{amb} = 20^\circ \text{C}$, la température ambiante. Calculer la puissance nette $P_{sol2plant}$ qui est celle transférée au fluide caloporteur et donc au cycle thermodynamique. Elle est définie par l'énergie absorbée par le champ de panneaux moins la perte thermique P_{loss} . Quelle est l'efficacité du champ de panneau η_{panel} ?
- d. Vous devez donc adapter votre fonction principale pour que le mass flow rate de référence de la centrale soit tel que la puissance reçue par la centrale corresponde

à celle fournie par les panneaux solaires $P_{\text{boiler}} + P_{\text{reheater}} = P_{\text{sol2plant}}$. Déterminer le débit massique de l'eau passant à travers le bouilleur \dot{m}_b et la puissance nette produite par la centrale P_{net} .

- Déterminer l'efficacité totale de la centrale solaire. η_{tot} est définie par le rapport entre la puissance nette fournie par le cycle et l'énergie absorbée par le champ de panneaux.
- Tracer cette efficacité en fonction de la température à laquelle le fluide caloporteur $T_{\text{hf},\text{in}}$ est chauffé. Déterminer la valeur optimale de $T_{\text{hf},\text{in}}$. Comment expliquez vous l'existence de cette valeur optimale.

Partie 3 : Étude sur une journée [niveau 3]

- En vous inspirant de la figure qui suit, choisir ou inventer une courbe quotidienne de rayonnement solaire. Vous pouvez extraire la courbe via le site de webplotdigitizer <https://apps.automeris.io/wpd/>. Créer une fonction python qui renvoie le rayonnement en W/m^2 en fonction de l'heure 'décimale' de la journée. Tracer proprement au format .pdf la courbe du rayonnement entre 0h et 24h.



- Effectuer une étude dans le temps de la production de votre centrale : calculer et tracer la puissance fournie par la centrale dans le temps, calculer la puissance totale quotidienne ainsi que son efficacité globale sur la journée.

Partie 4 : Questions subsidiaires indépendantes. [niveau 4]. Vous êtes très libre quant au choix des hypothèses si elle sont clairement exprimées.

- Calculer l'impact du passage de nuages au-dessus de la centrale en fonction de deux critères : le taux de diminution du rayonnement, le temps de passage.
- Estimer la variation annuelle (sur 365 jours) du maximum de rayonnement solaire de votre courbe choisie en (g.) et tracer cette variation. Tracer la puissance quotidienne fournie par la centrale par rapport aux jours de l'année.
- Optimiser l'efficacité η_{th} du cycle en faisant varier les trois pressions d'extraction : $P_{\text{ext},1}$, $P_{\text{ext},2}$, $P_{\text{ext},3}$. Attention, nous devons avoir la contrainte ($P_8 < P_{\text{ext},3} <$

$P_{ext,2} < P_{ext,1} < P_b$). L'optimisation se fait pour l'efficacité ponctuelle où le rayonnement est $\dot{Q}_{sol} = 1000 \text{ W/m}^2$.