



Question de Cours (05.0 points)

1. Un investisseur demande votre avis à propos de l'exploitation d'une source géothermique à une température **110°C** dans une location où la température moyenne est **27°C**. Que sera-t-elle votre suggestion ? Expliquez. (02.50 points)
2. Dans deux lieux qui se trouvent à la même altitude, les moyennes annuelles de vitesse sont égales, alors que l'un est plus chaud que l'autre. Quel endroit préférez-vous pour installer une éolienne ? Expliquez. (02.50 points)

Exercice 1 (02.50 points)

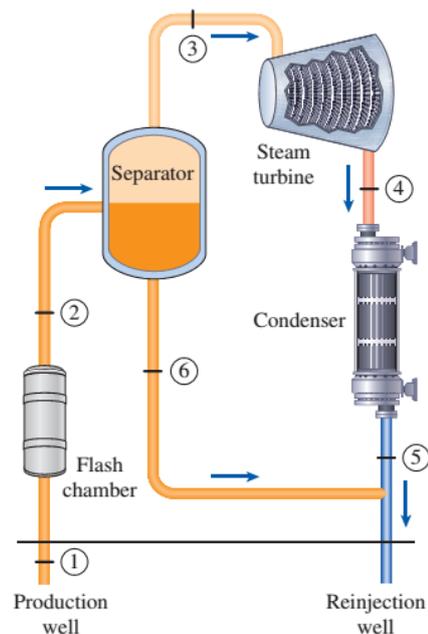
Un capteur solaire l'absorptivité de sa plaque est de **0.95**, alors que la transmissivité de son vitrage est de **0.86**. Le coefficient global de perte de chaleur est évalué à **3.0 W/m².K**. Si la température moyenne du capteur est **T_c =45°C** et celle de son environnement est **23°C**. Calculer l'efficacité du capteur. On donne le rayonnement incident **G=750 W/m²**.

Exercice 2 (05.00 points)

Les pressions en amont et en aval d'une turbine hydraulique sont respectivement ; **1325 kPa** et **100 kPa**. Que sera alors le travail maximal généré par cette turbine ? En déduire le débit volumique circulant dans la turbine si la puissance produite est **100 kW**.

Exercice 3 (07.50 points)

La figure ci-contre présente une installation géothermique à mono flash. De l'eau géothermique est extraite de la source à l'état liquide saturée à une température de **230°C**. Le débit d'eau exploitable à la production est **230 Kg/s**. Cette eau géothermique est soumise à une opération de flashage jusqu'à la pression **500Kpa**. Au niveau du séparateur la vapeur produite est évacuée vers la turbine pour qu'elle soit détendue. Après la détente dans la turbine la vapeur sort en forme de mélange (liquide + vapeur) à la pression **10 kPa** dont le titre de vapeur **x=90**, pour qu'elle soit condensée et réinjectée dans le puits d'injection.



En utilisant les tables des propriétés de l'eau **A4** et **A5**, calculer :

1. Le débit de vapeur rentrant à la turbine.
2. Le débit du liquide évacué en **6**.
3. Le rendement de la turbine
4. La puissance développée par la turbine.
5. Le rendement global de l'installation. Commenter !

Corrigé type

Question de cours : (05.00 P^{ts})

1.

Une installation géothermique peut être considérée comme un système thermodynamique qui fonctionne entre deux sources de chaleur l'une chaude à la température T_c , l'autre froide à la température T_f . Dans ce cas ; $T_c=110^\circ\text{C}$ et $T_f=27^\circ\text{C}$.

Dans de tel cas, le rendement théorique maximal est bien le rendement théorique de Carnot défini

par : $\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_c - T_f}{T_c}$, en appliquant ceci à la situation suggérée on trouve : $\eta_{\text{carnot}} = 21.7\%$. Or, le

rendement effectif de de cette installation est logiquement bien inférieur à cette valeur, *donc une installation géothermique à cet endroit est infructueuse.*

2.

Le potentiel énergétique du vent, par unité de surface, (\dot{W}_{disp}) peut être exprimé en fonction de la

masse volumique comme suit : $\dot{W}_{\text{disp}} = \frac{1}{2} \rho V^3$. Or, la masse volumique est inversement

proportionnelle à la température (en considérant l'atmosphère comme un gaz

parfait) $\frac{P}{\rho} = rT \Rightarrow \rho = \frac{P}{rT}$ on en déduit donc que l'endroit le plus froid est plus rentable pour une

installation éolienne.

Exercice 1 : (02.50 P^{ts})

Le rendement du capteur peut être calculé directement à partir de la formule :

$$\eta_{\text{cap}} = \tau_s \alpha_s - U \frac{(T_c - T_a)}{G} = (0.86)(0.95) - 3 \cdot \frac{(45 - 23)}{750} = 72.9\%$$

Exercice 2 : (05.00 P^{ts})

Sans aucune perte, le travail maximal, par unité de masse, que cette turbine hydraulique puisse

générer est : $w_{\text{max}} = \frac{P_{\text{amont}} - P_{\text{aval}}}{\rho}$ où ρ représente la masse volumique de l'eau = 1000 kg/m³.

$$\text{AN : } w_{\text{max}} = \frac{1325 - 100}{1000} = 1.225 \text{ kJ / kg}$$

Et la puissance produite : $\dot{W}_{\text{max}} = \dot{m} W_{\text{max}}$

$$\text{Alors le débit massique circulant dans la turbine : } \dot{m} = \frac{\dot{W}_{\text{max}}}{W_{\text{max}}} = \frac{100}{1.225} = 81.63 \text{ kg / s}$$

Le débit volumique : $Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{81.63}{1000} = 81.63 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$; ou encore en L/min :

$$Q = 81.63 \times 10^{-3} \times 1000 \times 60 = 4898 \text{ L/min}$$

Exercice 3 : (07.50 P^{ts})

a. Débit de vapeur rentrant à la turbine :

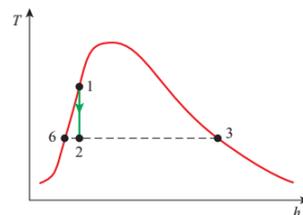
L'eau à la sortie du puits de production se trouve à l'état liquide (saturé) à la température $T=230^\circ\text{C}$ et son enthalpie peut être déduite des tables thermodynamiques à la saturation à $T=230^\circ\text{C}$

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 230^\circ\text{C} \\ x_1 = 0 \end{array} \right\} h_1 = 990.14 \text{ KJ/Kg}$$

L'évolution 1-2 est isenthalpique

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 500 \text{ Kpa} \\ h_1 = h_2 = 990.14 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right\} \text{Ce qui nous permet de déduire}$$

$$x_2 = \frac{h_2 - h_6}{h_3 - h_6} = \frac{990.14 - 640.09}{2748.1 - 640.09} = 0.1661$$



Et finalement :

$$\dot{m}_3 = x_2 \dot{m}_1 = 0.1661 \times 230 = 38.2 \text{ kg / s}$$

b. le débit évacué en 6

Le débit évacué en 6 sera alors : $\dot{m}_6 = (1 - x_2) \dot{m}_1 = (1 - 0.1661) \times 230 = 191.8 \text{ kg / s}$

c. Le rendement de la turbine :

Pour qu'on puisse calculer le rendement de la turbine il faut qu'on sache : h_3 , h_4 et h_{4s} ,

Sur les tables thermodynamiques de la vapeur d'eau on peut lire à l'état de saturation à la pression $P_3=500\text{Kpa}$ l'enthalpie d'entrée de la turbine à vapeur ainsi que l'entropie en ce point :

$$\left. \begin{matrix} P_3 = 500\text{Kpa} \\ x_3 = 1 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \left\{ \begin{matrix} h_3 = 2748.1\text{KJ/Kg} \\ S_3 = 6.8207\text{KJ/Kg.K} \end{matrix} \right.$$

Et puisque l'évolution théorique à la turbine c'est bien l'évolution isentropique 3-4s au cours de laquelle $S_3=S_{4s}$

$$\left. \begin{matrix} P_4 = 10\text{Kpa} \\ S_4 = S_3 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \Rightarrow h_{4s} = 2160.3\text{KJ/Kg}$$

En fait, l'évolution dans la turbine n'est plus une évolution isentropique parfaite mais ce qui a été donnée c'est le titre de vapeur à la sortie de la turbine d'où

$$\left. \begin{matrix} P_4 = 10\text{Kpa} \\ x_4 = 0.90 \end{matrix} \right\} \Rightarrow h_4 = h_{l@P_4} + x_4 (h_{v@P_4} - h_{l@P_4}) = h_{l@P_4} + x_4 L_{v@P_4} = 191.81 + 0.9(2392.1) = 2344.7 \text{ KJ/ Kg}$$

Et le rendement sera alors :

$$\eta_{turb} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} = \frac{2748.1 - 2344.7}{2748.1 - 2160.3} = 68.6\%$$



d. le travail développé par la turbine (par unité de temps):

$$\dot{W}_T = \dot{m}_3 (h_3 - h_4) = 38.2 (2748.1 - 2344.7) = 15410 \text{ kW}$$

e. Le rendement global de la turbine :

En considérant que l'eau quitte l'installation à l'état saturé et aux conditions normales de température ($x_0=0$; $T=20^\circ\text{C}$) à cet état l'enthalpie de l'eau est :

$$h_F = 104.83\text{KJ/Kg}$$

Et par conséquent l'énergie de l'eau géothermique disponible par unité de temps sera :

$$\dot{E}_{int} = \dot{m}_1 (h_1 - h_F) = 230(990.14 - 104.83) = 203622\text{kW}$$

Le rendement global de l'installation :

$$\eta_{glob} = \frac{\dot{W}_{Turb}}{\dot{E}_{int}} = \frac{15410}{203622} = 0.0757 = 7.6\%$$

Le rendement maigre de cette installation témoigne de la faible exploitation de l'énergie géothermique disponible.