



**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)

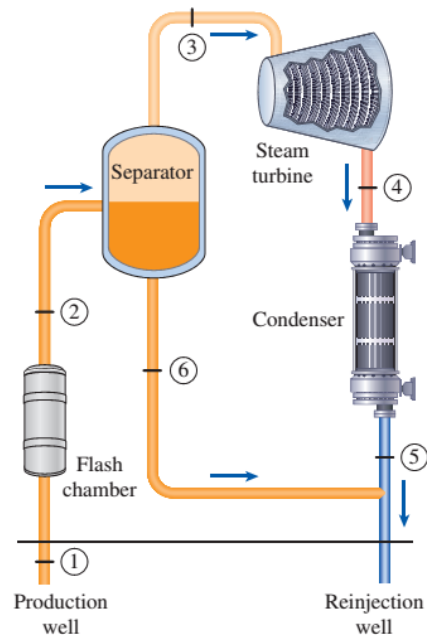
Un capteur solaire l'absorptivité de sa plaque est de **0.95**, alors que la transmissivité de son vitrage est de **0.86**. Le coefficient global de perte de chaleur est évalué à **3.0 W/m<sup>2</sup>.K**. Si la température moyenne du capteur est **T<sub>c</sub> =45°C** et celle de son environnement est **23°C**. Calculer l'efficacité du capteur. On donne le rayonnement incident **G=750 W/m<sup>2</sup>**.

**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 géothermale 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 géothermale 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<sup>ts</sup>)

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, ( $\dot{W}_{\text{disp}}$ ) 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<sup>ts</sup>)

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<sup>ts</sup>)

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  $\rho$  représente la masse volumique de l'eau = 1000 kg/m<sup>3</sup>.

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

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<sup>ts</sup>)

**a. Débit de vapeur rentrant à la turbine :**

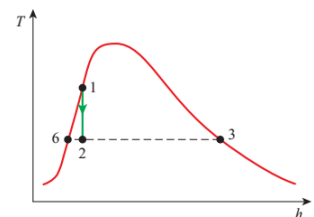
L'eau à la sortie du puits de production se trouve à l'état liquide (saturé) à la température  $T=230^\circ\text{C}$  et son enthalpie peut être déduite des tables thermodynamiques à la saturation à  $T=230^\circ\text{C}$

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

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.