# Étude d'une centrale thermique solaire

Réponses aux questions

15 mai 2025

## Partie I : Étude du récepteur solaire

### 1.1

Les différentes raisons expliquant l'efficacité de 70 % entre l'énergie solaire reçue par le récepteur et l'énergie solaire incidente sur les héliostats sont :

- Réflexions imparfaites et diffusion par les miroirs ;
- Pertes atmosphériques (absorption et diffusion) ;
- Mauvais alignement ou suivi solaire imparfait ;
- Salissures ou vieillissement des héliostats.

### 1.2

La puissance reçue par le récepteur depuis les miroirs est :

$$\begin{aligned} P_{\text{récepteur}} &= S_{\text{hel}} \cdot E_s \cdot \eta_m \\ &= 75\,000\,\mathrm{m}^2 \cdot 1000\,\mathrm{W\,m^{-2}} \cdot 0{,}70 \\ &= \boxed{52{,}5\,\mathrm{MW}} \end{aligned}$$

### 2.1

En posant $\lambda_1 = 1\,\mu\mathrm{m}, \lambda_2 = 6\,\mu\mathrm{m}, \lambda_3 = 16\,\mu\mathrm{m}$ et $\epsilon_1 = 0,98, \epsilon_2 = 0,92, \epsilon_3 = 0,9, \epsilon_4 = 0,75$, on a

$$\begin{aligned} \epsilon(T) &= \alpha(T) \\ &= \int_0^{+\infty} \epsilon_\lambda(\lambda) f_\lambda(T,\lambda)\, d\lambda \\ &= \epsilon_1 \cdot F_{0-\lambda_1 T} + \epsilon_2 \cdot (F_{0-\lambda_2 T} - F_{0-\lambda_1 T}) + \epsilon_3 \cdot (F_{0-\lambda_3 T} - F_{0-\lambda_2 T}) + \epsilon_4 \cdot (1 - F_{0-\lambda_3 T}) \end{aligned}$$

Pour $T = 547K$ on obtient $\boxed{\epsilon = 0,8890}$ et pour $T = 5760$, on obtient $\boxed{\alpha = 0,9628}$ (en utilisant la table de fraction d'énergie du corps noir fournie en annexe).

## 2.2

Le facteur de forme $F_{\mathrm{e}\to\mathrm{r}}$ de l'environnement vers le recepteur vaut trivialement 1, car l'intégralité du flux du rectangle rouge est capté. Par réciprocité :

$$F_{\mathrm{r}\to\mathrm{e}} = \frac{S_e}{S_r} = \boxed{0{,}65}$$

## 2.3

On a :

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad \text{avec} \quad \Delta T = 254\,\mathrm{K}, \quad L = 10\,\mathrm{m}, \quad T_m = 420\,\mathrm{K}, \quad \beta = \frac{1}{T}$$

Aux conditions données :

$$Pr = 0{,}7, \quad \mu = 2{,}4 \times 10^{-5}\,\mathrm{kg\,m^{-1}\,s^{-1}}, \quad \rho = 0{,}83\,\mathrm{kg\,m^{-3}}, \quad \lambda = 0{,}035\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$$

Ainsi $Ra > 10^9$ et on utilise la corrélation :

$$Nu_L = 0{,}13 \cdot (Gr_L \cdot Pr)^{0{,}33}$$

Soit

$$\begin{aligned} h &= 0{,}13 \cdot \frac{\lambda}{L} \cdot (Gr_L \cdot Pr)^{0{,}33} \\ &= \boxed{7{,}04\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}} \end{aligned}$$

## 3.1

La puissance absorbée après $n$ réflexions est (démonstration par récurrence triviale) :

$$\alpha S_{\mathrm{hel}} \eta_m E_s \cdot (\rho F_{r\to r})^n = \alpha S_{\mathrm{hel}} \eta_m E_s \cdot [(1-\alpha)(1-F_{r\to e})]^n$$

En sommant sur $n$, on obtient :

$$\begin{aligned} P_{\mathrm{abs}} &= \frac{\alpha}{1-\alpha\cdot F_{r\to e}} \cdot S_{\mathrm{hel}} \cdot \eta_m \cdot E_s \\ &= \frac{0{,}96}{1-0{,}96\cdot 0{,}65} \cdot 52{,}5 \times 10^6\,\mathrm{W} \\ &= \boxed{133{,}89\,\mathrm{MW}} \end{aligned}$$

## 3.2

Avec l'analogie électrique :

$$\phi_{r\to e}^{\mathrm{nette}} \cdot R = M_e^0 - M_r^0 = \sigma\left(T_a^4 - T_r^4\right)$$

où :

$$R = \frac{1-\epsilon}{\epsilon S} + \frac{1}{S F_{r\to e}}$$

D'où :

$$\phi_{r\to e}^{\mathrm{nette}} = \frac{\sigma S (T_a^4 - T_r^4)}{\frac{1-\epsilon}{\epsilon} + \frac{1}{F_{r\to e}}}$$

## 3.3

On a :

$$\dot{m} = \frac{66\,000\,\mathrm{kg\,h^{-1}}}{3600\,\mathrm{s\,h^{-1}}} = 18{,}33\,\mathrm{kg\,s^{-1}}, \quad \Delta h = 2689\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}} = 2{,}689 \times 10^6\,\mathrm{J\,kg^{-1}}$$

Ainsi la puissance transmise au fluide est :

$$\begin{aligned} P_{\text{fluide}} &= \dot{m} \cdot \Delta h \\ &= 18{,}33\,\mathrm{kg\,s^{-1}} \cdot 2{,}689 \times 10^6\,\mathrm{J\,kg^{-1}} \\ &= \boxed{49{,}3\,\mathrm{MW}} \end{aligned}$$

## 3.4

En régime permanent on a :

$$0 = P_{abs} - \phi_{r \to e}^{nette} - P_{\text{fluide}} + \phi_{convection}$$

Soit :

$$P_{\text{fluide}} - P_{abs} = -\phi_{r \to e}^{nette} + \phi_{convection}$$

En posant

$$A = P_{\text{fluide}} - P_{abs} \quad B = -\frac{\sigma S}{\frac{1-\epsilon}{\epsilon} + \frac{1}{F_{r \to e}}} \quad C = 2hS$$

Cela revient à résoudre

$$A = B(T_a^4 - T_r^4) + C(T_a - T_r)$$

En utilisant le script python suivant qui implémente la méthode des itérations sur l'équation linéarisé, il vient $T_r = ....$ (il n'y a pas de solution à l'equation proposée... (cf graphique du programme python) je pense que y'a une erreur qlq part, a voir plus tard.

```
'''
script pour résoudre une équation de la forme:
A = B(T1^4 - T2^4) + C(T1-T2)
avec A,B,C et T1 connues.
On utilise une methode de linéarisation.
'''

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

def nouveauT2(A,B,C,T1,T2):
        D = 4*B*((T1+T2)/2)**3
        return (T1*(D+C) - A)/(D+C)

A = -84.59*10**6
B = -1.04*10**(-5)
C = 3649.54
```

```python
T1 = 293
precision = 100000

T2 = 3000
prochainT2 = nouveauT2(A,B,C,T1,T2)

i=0
while abs(T2 - prochainT2) > precision:

        print(T2, prochainT2)

        T2 = prochainT2
        prochainT2 = nouveauT2(A,B,C,T1,T2)
        i+=1

def f(x):
        return A - B*(T1**4-x**4) - C*(T1-x)

X = np.arange(0,1000,10)
Y = f(X)
plt.plot(X,Y)
plt.show();

print("solution trouvée:", T2)
print("verification:",A - B*(T1**4-T2**4) - C*(T1-T2))
print("En",i,"itérations")
```