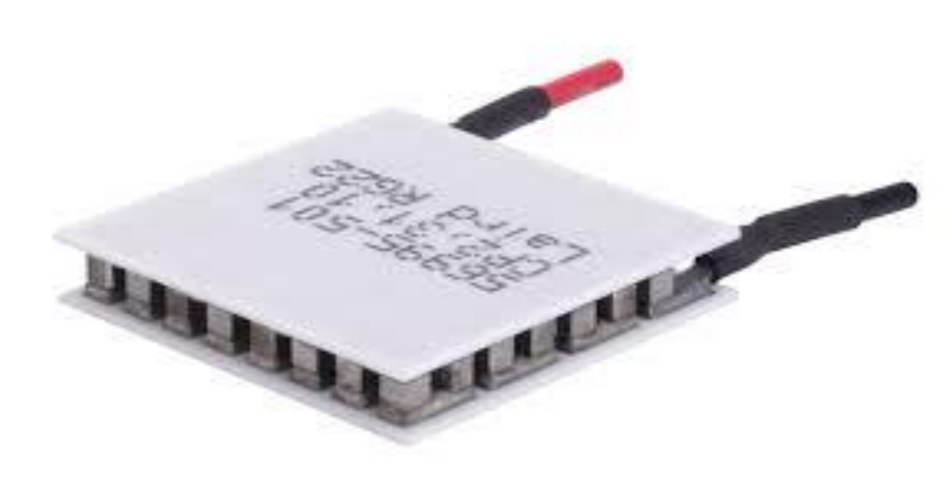
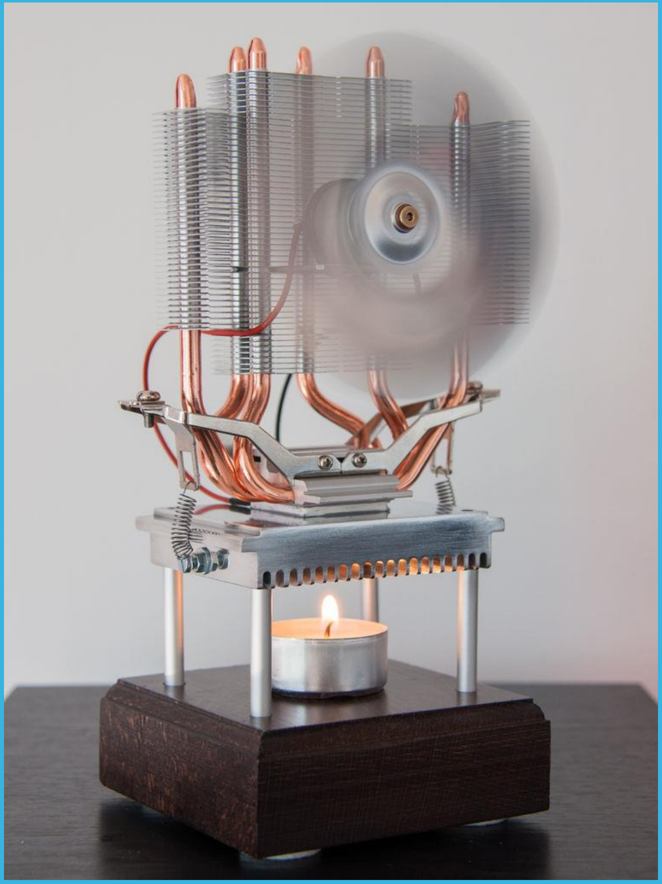
Etude et modélisation d'un générateur thermoélectrique solaire:





Proposé par: Mahdi Kallel

Problématique: Les effets thermoélectriques présentent ils une alternative pour la conversion de l'énergie solaire?

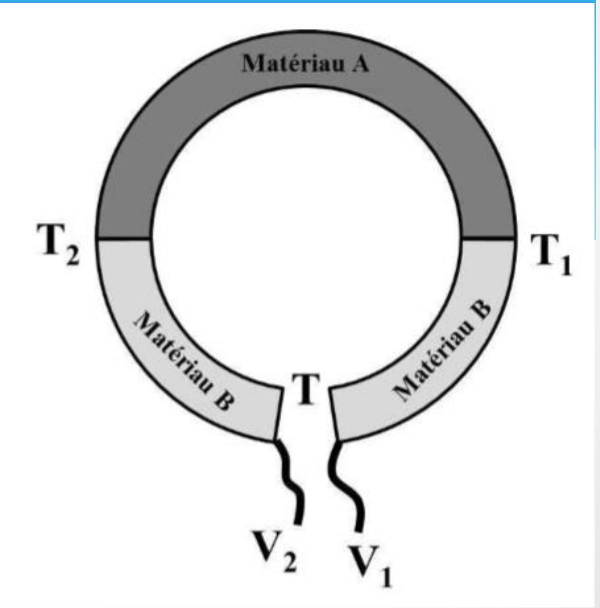
* 1.Introduction aux effets thermoélectriques:
* A)Les effets thermoélectriques.
* B)Mise en évidence.

* 2. Le générateur thermoélectrique (G.T.E):
* A)Fonctionnement
* B)Evaluation des performances.
* C)Facteur de mérite

* 3.Modélisation du G.T.E solaire:
* A)Dispositif
* B)Modélisation
* C)Conclusions

Effet Seebeck :

Un gradient de température donne naissance à une différence de potentiel :

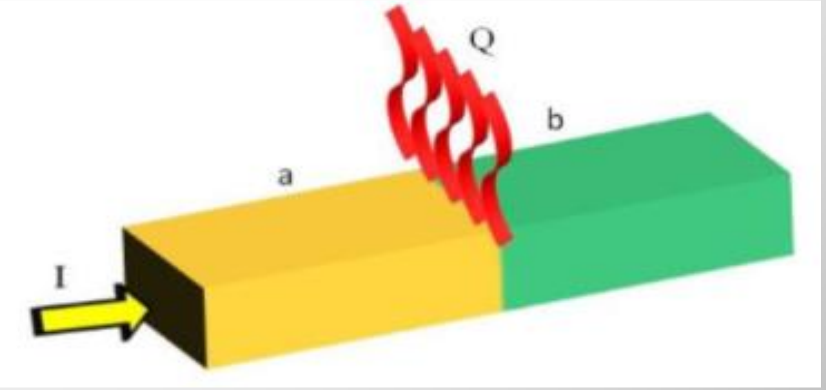


$$\alpha_{ab} = \alpha_b - \alpha_a = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1}$$

Effet Thomson :

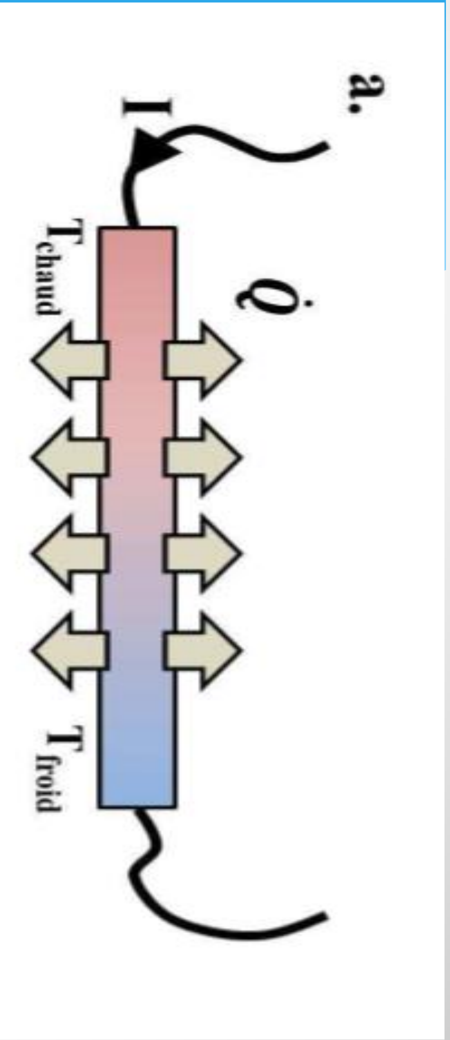
Le passage d'un courant électrique entre la jonction séparant deux matériaux est source d'un flux de thermique:

$$Q = (\pi_a - \pi_b)\, I$$



Effet Thomson:

Le passage d'un courant électrique dans un même matériau est source de dégagements thermiques qui se superposent a l'effet Joule :



$Q = J\tau \nabla T$

Relations de Kelvin:

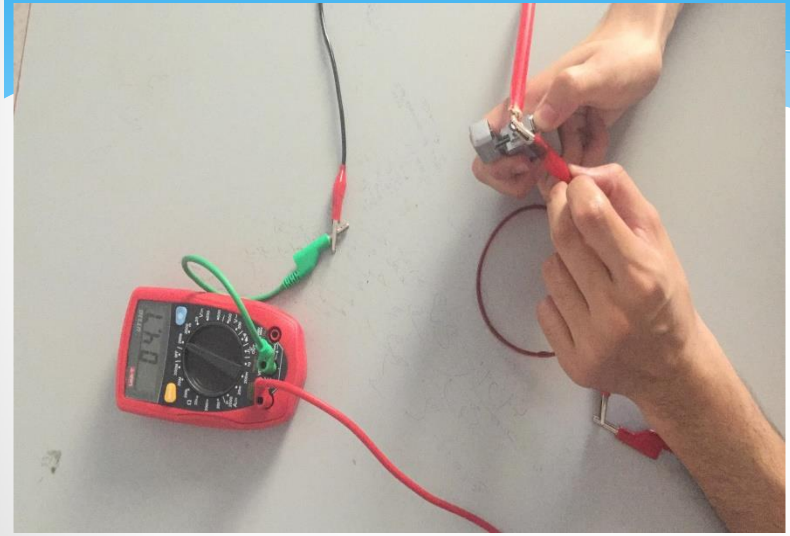
$$\tau = T\frac{d\alpha}{dx} \qquad \pi = \alpha T$$

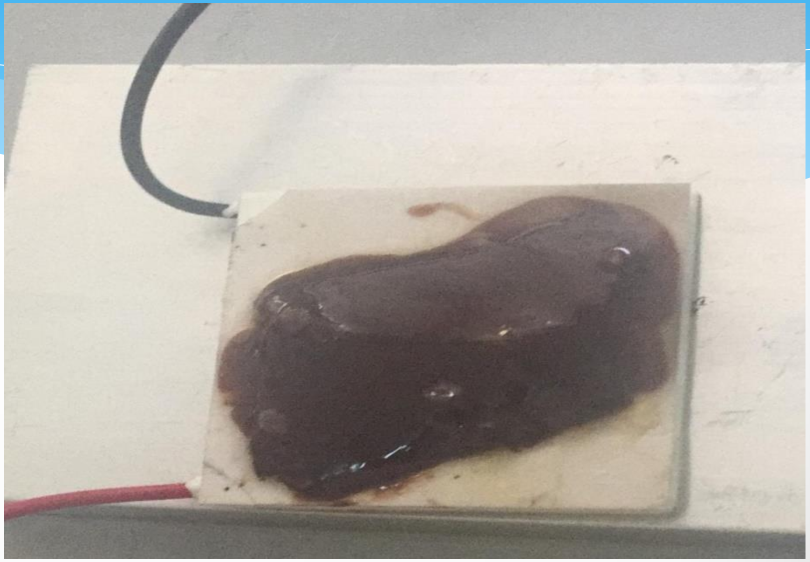
Equations générales:

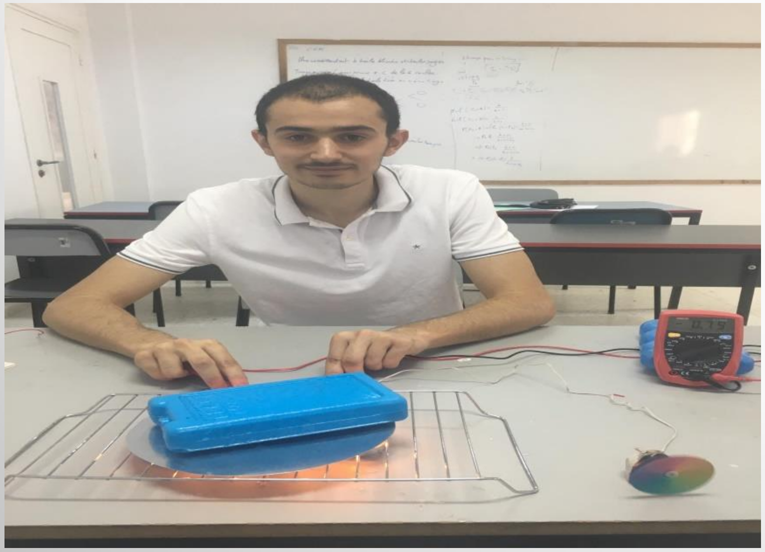
Densité de courant $J = -\sigma(\nabla V + \alpha \nabla T)$

Densité de flux thermique (J_{th}): $Q = JT\alpha - k\nabla T$

Experiences:







Le générateur thermoélectrique :

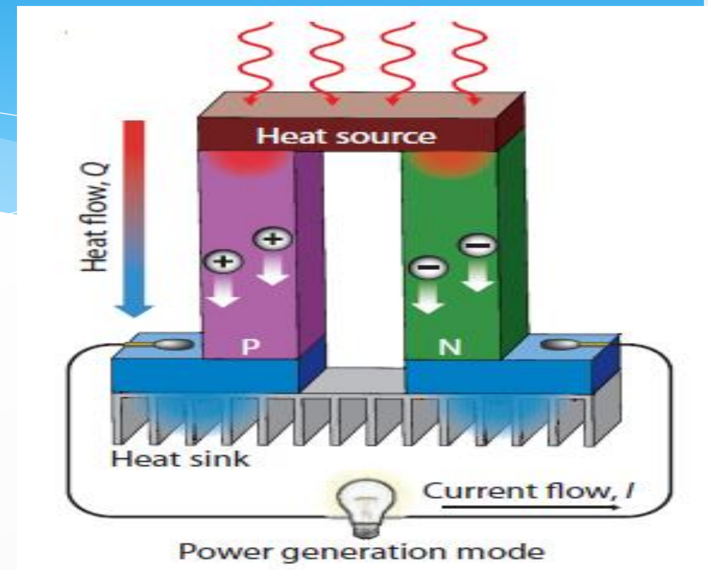
Electriquement en série: $R = R_n + R_p = \frac{\rho_n}{S_n} + \frac{\rho_p}{S_p}$

Thermiquement en parallèle: $K = K_n + K_p = \frac{k_n S_n + k_p S_p}{l}$

Dopage inhomogène pour pouvoir cumuler les courants crées.

$$Q_c = \alpha_t I T_c + K\,(T_c - T_f) - \frac{R_{int} I^2}{2}$$

Avec $\alpha_t = \alpha_p - \alpha_n$



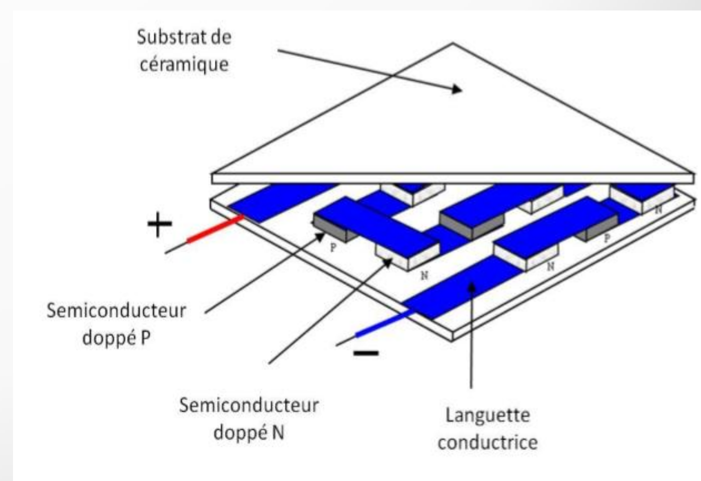


Figure 7 Schéma d'un module thermoélectrique

Optimisation de puissance

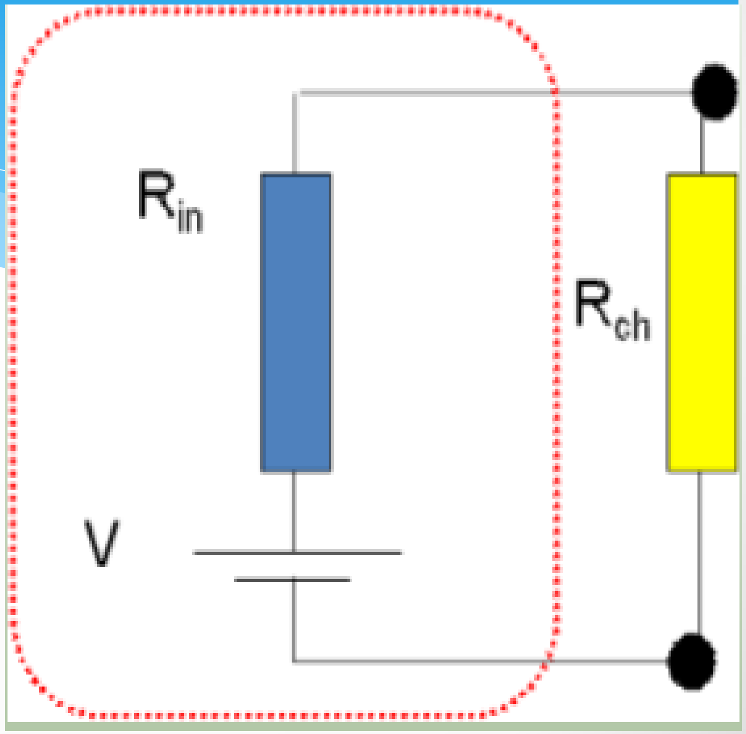
FEM: V= $\alpha\,(T_c - T_f)$

I= $\dfrac{V}{R_T} = \dfrac{V}{R_{int} + R_{ch}}$

On pose m = $\dfrac{R_{ch}}{R_{int}}$ ➔ I= $\dfrac{V}{R_{int}}\,\dfrac{1}{m+1}$

P= $R_{ch} * I^2 = = \dfrac{V^2}{R_{int}}\,\dfrac{m}{(m+1)^2}$

$$\frac{dP}{dm} = 0 \Rightarrow m = 1 \Rightarrow R_{int} = R_{ch}$$



$$P_{max} = \frac{\alpha^2 (T_c - T_f)^2}{4R}$$

Maximisation du rendement:

$$\eta = \frac{P}{Q_{recu}}$$

- $Q_c = \alpha_t I T_c + K\,(T_c - T_f) - \frac{R_{int} I^2}{2}$
- $I = \frac{V}{R_{int}} \frac{1}{m+1}$

$$\eta = \frac{R_{ch} I^2}{K(T_c - T_f) + I\,\alpha\,T_c - \frac{R_{int} I^2}{2}}$$

$$\eta = \eta_C \frac{\frac{m}{m+1}}{1 + \frac{K_0 R}{\alpha^2} \frac{m+1}{T_{\text{chaud}}} - \frac{1}{2} \frac{\Delta T}{T_{\text{chaud}}} \frac{1}{m+1}}$$

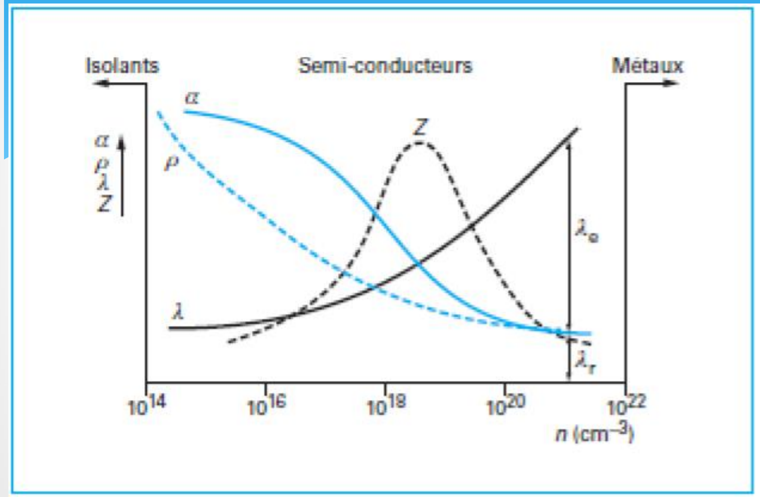
- $\frac{d\eta}{dm} = 0 \Rightarrow m_{opt} = \sqrt{1 + Z\overline{T}}$

$$Z = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2}{RK}$$

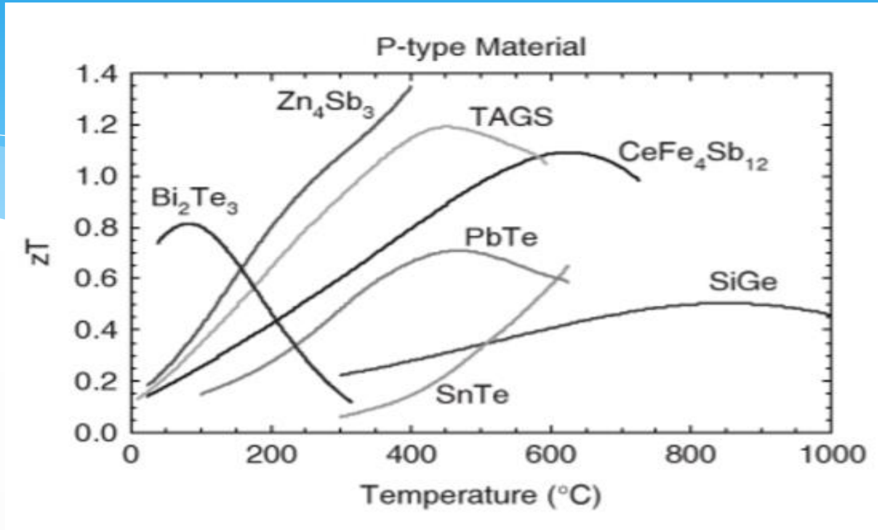
$$\eta_{max} = \eta_c * \frac{\sqrt{1 + Z\overline{T}} - 1}{\sqrt{1 + Z\overline{T}} + \frac{T_f}{T_c}}$$

Opt.Puissance
≠Opt.Rendement

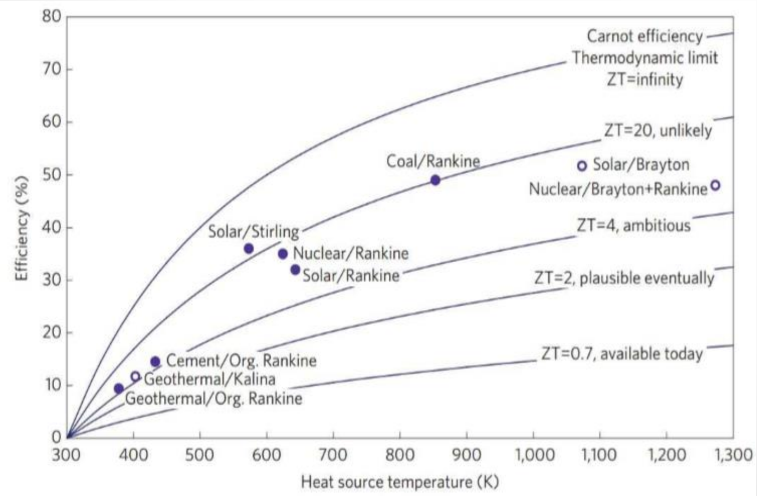
Facteur de mérite : ZT



Évolution des propriétés des matériaux suivant la concentration des porteurs de charge.

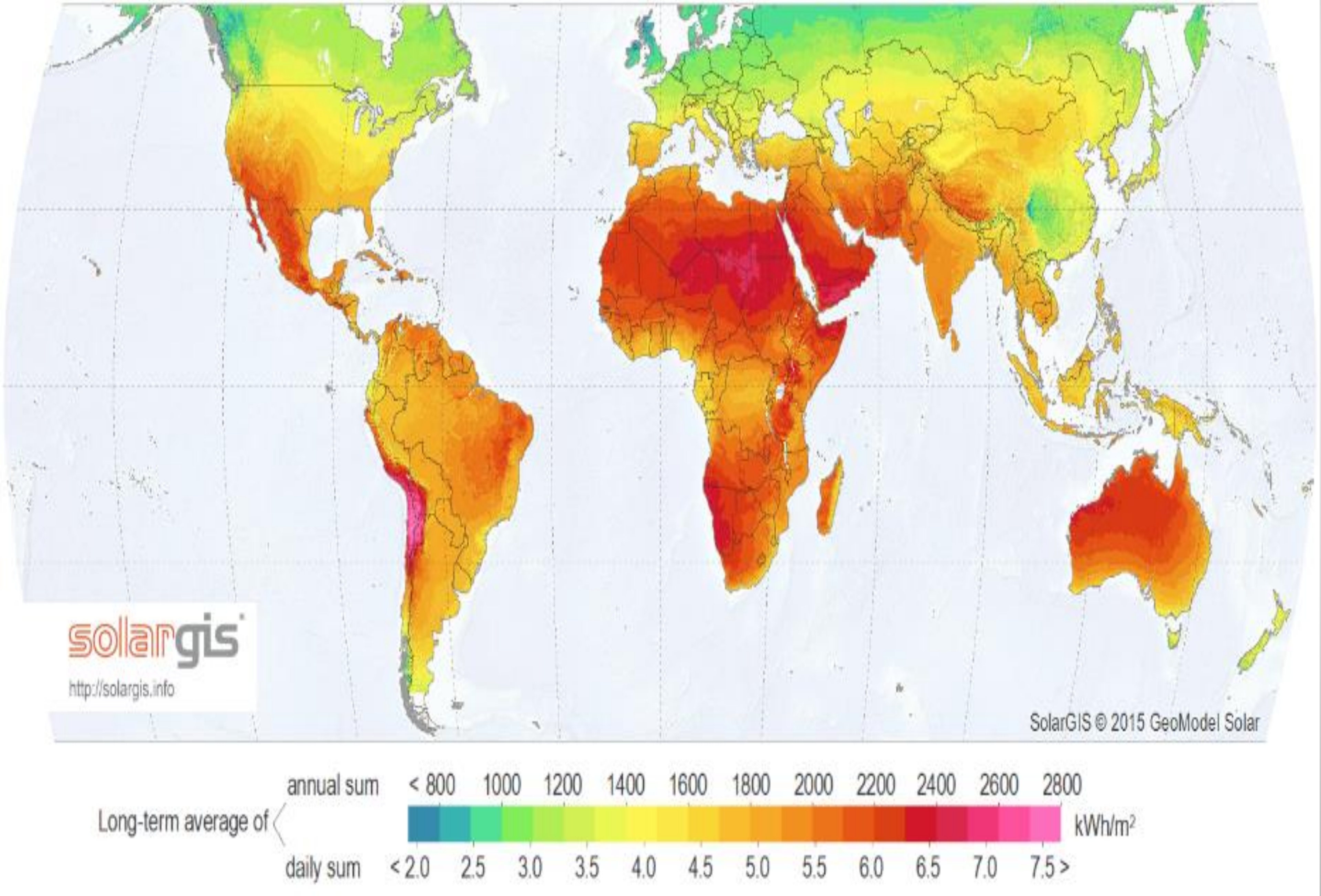


Évolution du facteur de mérite en fonction de la température.



Évolution de l'efficacité du G.T.E en fonction de la température le réservoir froid étant a 300k

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION



G.T.E solaire

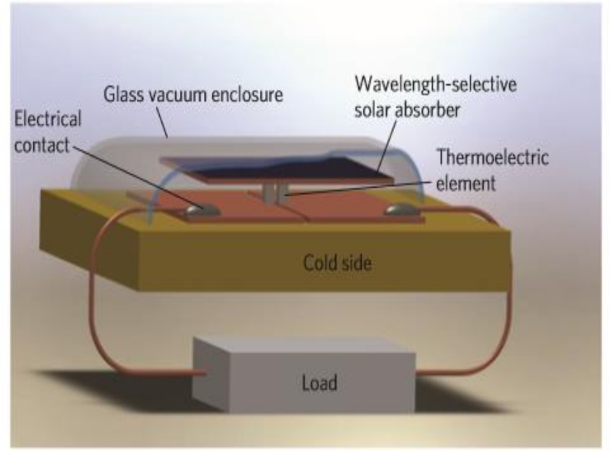
Equilibre thermique de l'absorbeur:

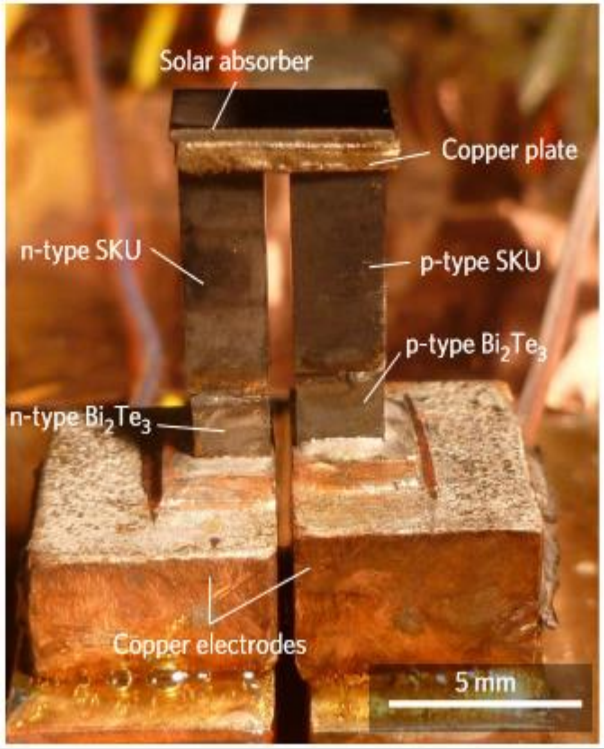
$$AG\tau\alpha = q(x = L) + A\epsilon\sigma(T^4(x = l) - Tamb^4)$$

Champ électrique : $E = \rho J + \alpha \nabla T$

Densité de flux thermique (J_{th}): $Q = JT\alpha - k\nabla T$

$\nabla J=0$ Il n'y a pas de cumul de charge en régime permanent





Equilibre thermique d'un tronçon élémentaire:

$\nabla Q = J.E$=Puissance dissipée par élément de volume

$\Rightarrow \nabla(k(x)\nabla T)$=JT(x) $\nabla\alpha$ -ρ(x)J²

Equations différentielles couplées:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{J(\alpha T)(x) - Q(x)}{k(x)}$$

$$\frac{dQ}{dx} = j^2\rho(x) + \frac{J^2(\alpha^2 T)(x) - J(\alpha Q)(x)}{k(x)}$$

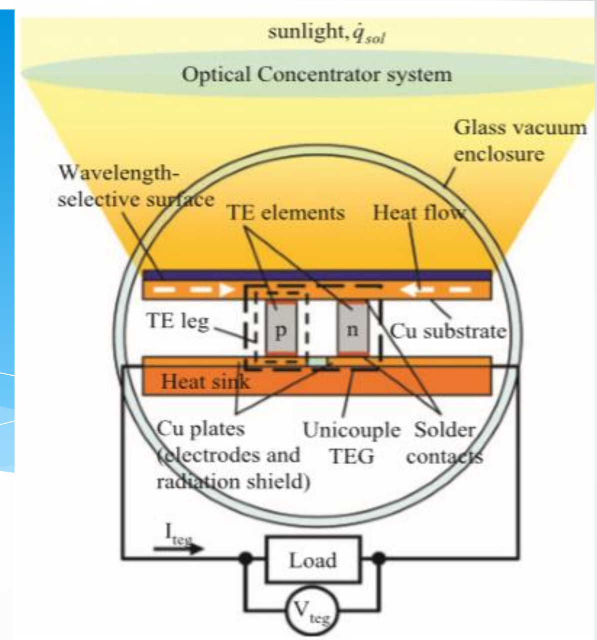


Schéma numérique:

$$\frac{\mathrm{T(i+1) - T(i)}}{\Delta x} = \frac{J\alpha(Ti) * T(i) - Q(i)}{k(Ti)}$$

$$\frac{\mathrm{Q(i+1) - Q(i)}}{\Delta x} = \frac{J\alpha^2(Ti) * T(i) - J\alpha(Ti) * Q(i)}{k(Ti)} + \rho(Ti) * J^2$$

Conditions aux limites:

$$\mathrm{Q}(x = L) = jTS(x = L) - k\frac{dT}{dx}\Big\|(x = L)$$

$$\tau\alpha G = Q(x = L) - \epsilon\sigma(T^4(x = L) - Tamb^4)$$

$T(x = 0) = T_{froid}$ = 300k

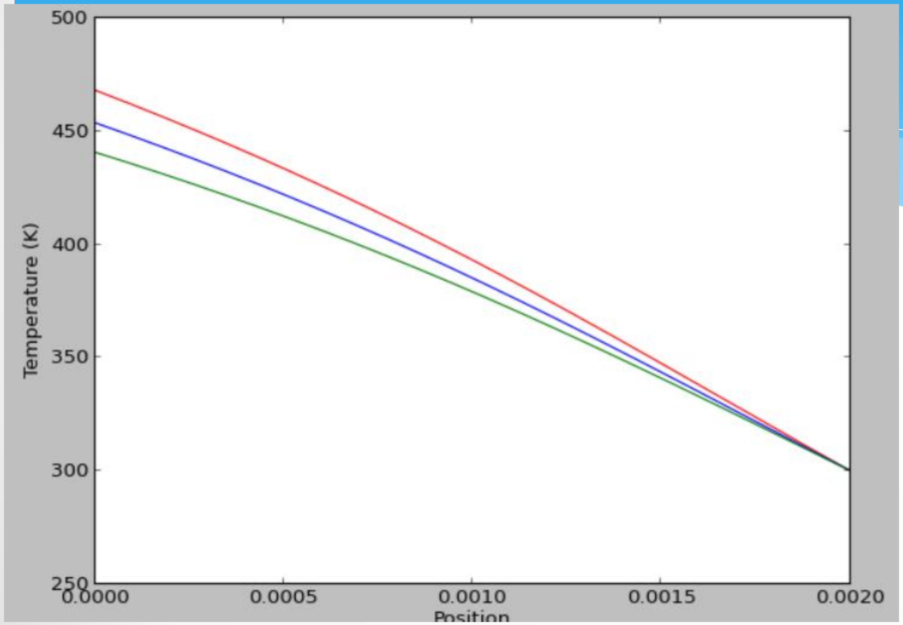
On postule T(x=L)

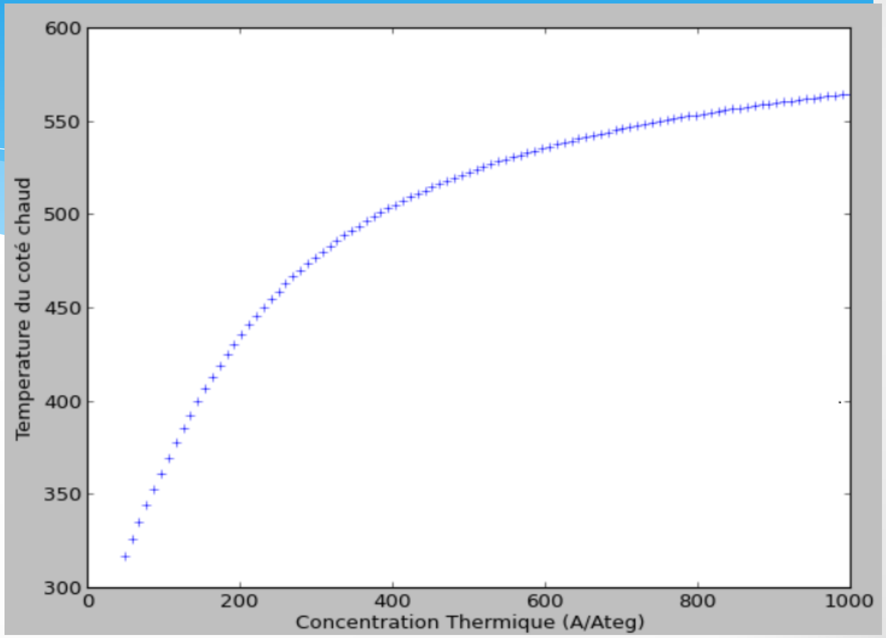
Q(x=L)

Profil de température

Contrôle: T(x=0)=T_{froid}

Simulations





Profil de température en fonction du courant pour

I=0.5 / I=1 / I=1,5

Température du coté chaud en fonction de la concentration thermique (Cth=A/Ateg)

Efficacité

Potentiel thermoélectrique:

$\Phi = \alpha T - \frac{k \nabla T}{J}$

$E = \nabla \phi$

$Q = J\ \Phi$

$P = J \nabla \phi$

$$\eta_{1+2,\text{series}} = \frac{W_1 + W_2}{U_1}$$

$$1 - \eta_{1+2,\text{series}} = (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)$$

$$1 - \eta_{\text{series}} = \prod_i 1 - \eta_i$$

$$\ln(1 - \eta_i) \approx -\eta_i$$

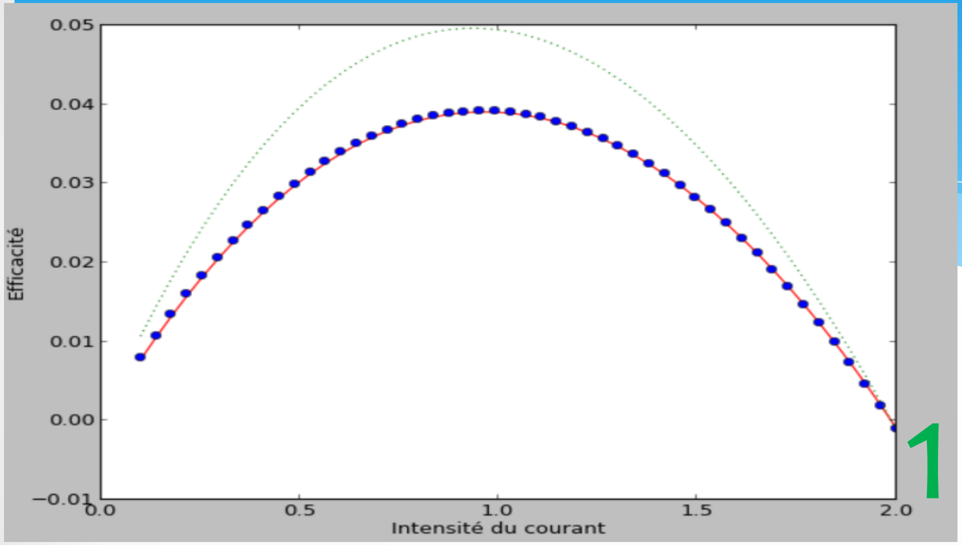
$$\ln(1 - \eta_{\text{series}}) = \int_i \ln(1 - \eta_i) = -\int_i \eta_i$$

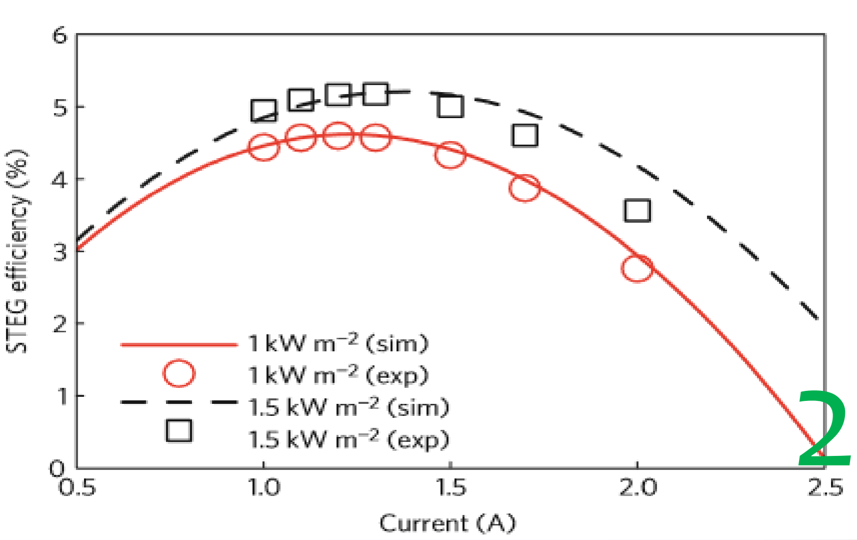
$$\eta_{\text{series}} = 1 - \exp\left[-\int \eta_{\text{local}}\right]$$

$$\int_{T_c}^{T_h} \frac{P}{Q} \mathrm{d}x = \int_{T_c}^{T_h} \frac{\nabla \Phi}{\Phi} \mathrm{d}x = \int_{T_c}^{T_h} \frac{\mathrm{d}\Phi}{\Phi} = \int_{T_c}^{T_h} \mathrm{d}\ln(\Phi) = (\ln \Phi)|_{T_c}^{T_h} = \ln\left(\frac{\Phi_h}{\Phi_c}\right)$$

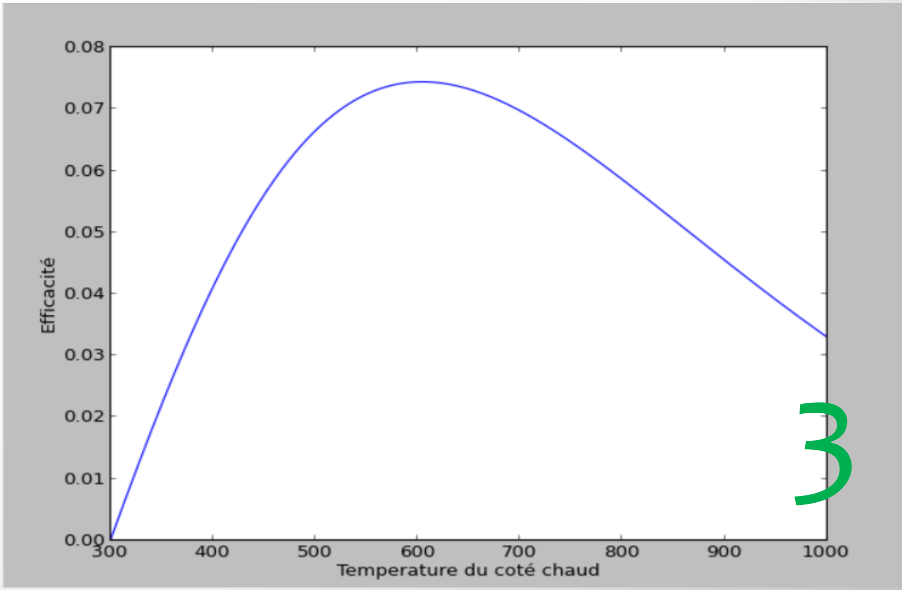
$$\eta = 1 - \frac{\Phi_c}{\Phi_h} = \frac{\Delta \Phi}{\Phi_h}$$

Conclusions :

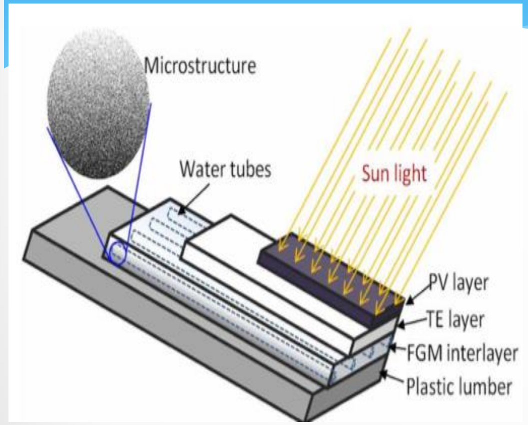


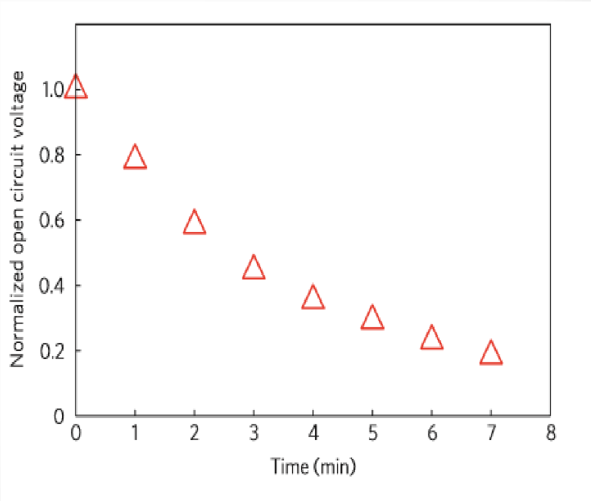


$$\eta_{total} = \eta_{th}\eta_{GTE}$$



Applications:





Fin

Merci pour votre attention.

Vos questions sont les bienvenues

Annexe:

```
from pylab import*
import matplotlib.pyplot as plt

cond = lambda T : (62605-277.7*T+0.4131*T**2)*10**-4

res = lambda T : (5112+163.4*T+0.6279*T**2)*10**-10

see = lambda T : (22224+930.6*T-0.9905*T**2)*10**-9

thom = lambda T :(930.6-2*0.9905*T)*10**-9

emis = lambda T : 0.025+(2.9*(T-300))*10**-4


def Qte (T,flux,A):
      global Q
      Q=((0.95*0.94*flux)-(emis(T)*(5.67*10**-8)*(T**4-300**4)))*A
      return(Q)


def temperature(T0,flux,I,A,Ate,Longueur,division):
      global Pas
      Pas=Longueur/division
      global J
      J=I/Ate
      global T
      T=[T0]
      Qte (T0,flux,A)
      global q
      q=[Q/Ate]
      for r in range(1,division):
            Ti=T[-1]
            qi=q[-1]
            Tii=(J*see(Ti)*Ti-qi)*(Pas/cond(Ti))+Ti
            qii=(((J*see(Ti))**2)*Ti/cond(Ti)-J*see(Ti)*qi/cond(Ti)+(J**2)*res(Ti))*Pas+qi
            T.append(Tii)
            q.append(qii)
      return(T[-1])
```

```
def profile (flux,I,A,Ate,Longueur,division,Tf):

    Tmax=(flux/(0.03*(5.67*10**-8))+Tf**4)**0.25
    Tmin=Tf
    i=0
    temperature(Tmax,flux,I,A,Ate,Longueur,division)
    while abs(T[-1]-Tf)>0.001:
          i=i+1
          global Tmoy
          Tmoy=(Tmax+Tmin)/2
          temperature(Tmoy,flux,I,A,Ate,Longueur,division)
          if T[-1]>Tf:
              Tmax=Tmoy
          else :
              Tmin=Tmoy
    global X
    X=linspace(0,Longueur,division)
    return(Tmoy)

def Tchaud_Cth(flux,I,Ate,Longueur,division,Tf):

      X=linspace(50,1000,100)
      Tc=[]
      for i in X:
            Tc.append(profile (flux,I,Ate*i,Ate,Longueur,division,Tf))
            print(i)
      plt.plot(X,Tc,'b+')
      plt.xlabel('Concentration Thermique (A/Ateg)')
      plt.ylabel('Temperature du coté chaud')
      plt.show()
```