

Extraction de l'énergie géothermique

- Tipe 2017-2018
 - Thème: Milieux; Interfaces, Interaction, Homogénéité, Rupture

Introduction :

parmi les Causes du réchauffement climatique :

>Emission du CO_2 a effet de serre par les centrales thermique(gaz, fuel, charbon).

Recherche d'autres sources d'énergie :

>Les centrales géothermiques .

But :

>Evaluation du potentiel thermique de la terre .

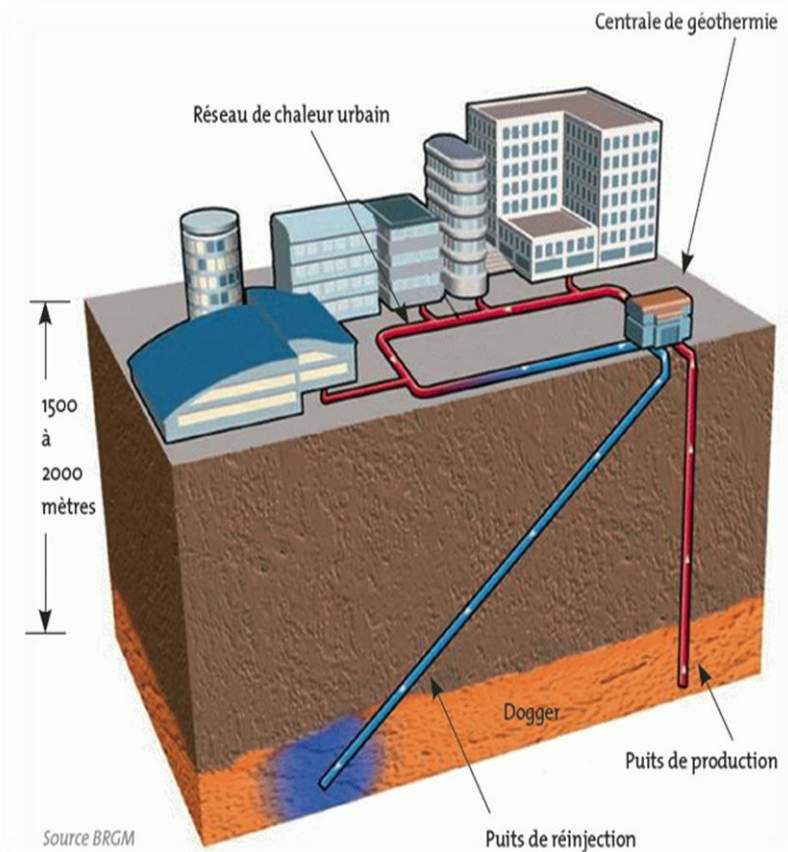
>Etude thermodynamique d'un modèle de centrale géothermique et calculer son rendement.

| | |
|----------------|---|
| Points fort | <ul style="list-style-type: none"> -Energie renouvelable et non carboné -Source continue potentiel important -Pas de dépendance des condition métrologique |
| Points faibles | <ul style="list-style-type: none"> -Investissement conséquent(forage) -Risques géologique et hydraulique(débit commerciaux) élevés |

Problématique:

La Géothermie: Quel potentiel pour cette énergie renouvelable?

Afin d'exploiter le potentiel géothermique pour produire du chauffage ou de l'électricité, il nous faut tout d'abord extraire l'énergie, étudier et évaluer le potentiel thermique terrestre.



PLAN

Introduction

I-Evaluation du potentiel géothermique

- 1-Modèle géologique de la terre*
- 2-Gradient de température terrestre*
- 3-Manifestation du gradient de température sur la surface terrestre*
- 4-Techniques d'extraction de l'énergie géothermique*
- 5 -Equation de la chaleur généralisée et en deux dimensions*
- 6-Resolution Numérique de l'équation de la chaleur*
- 7-Implementation avec python et résultats*

II-Récupération du potentiel thermique terrestre

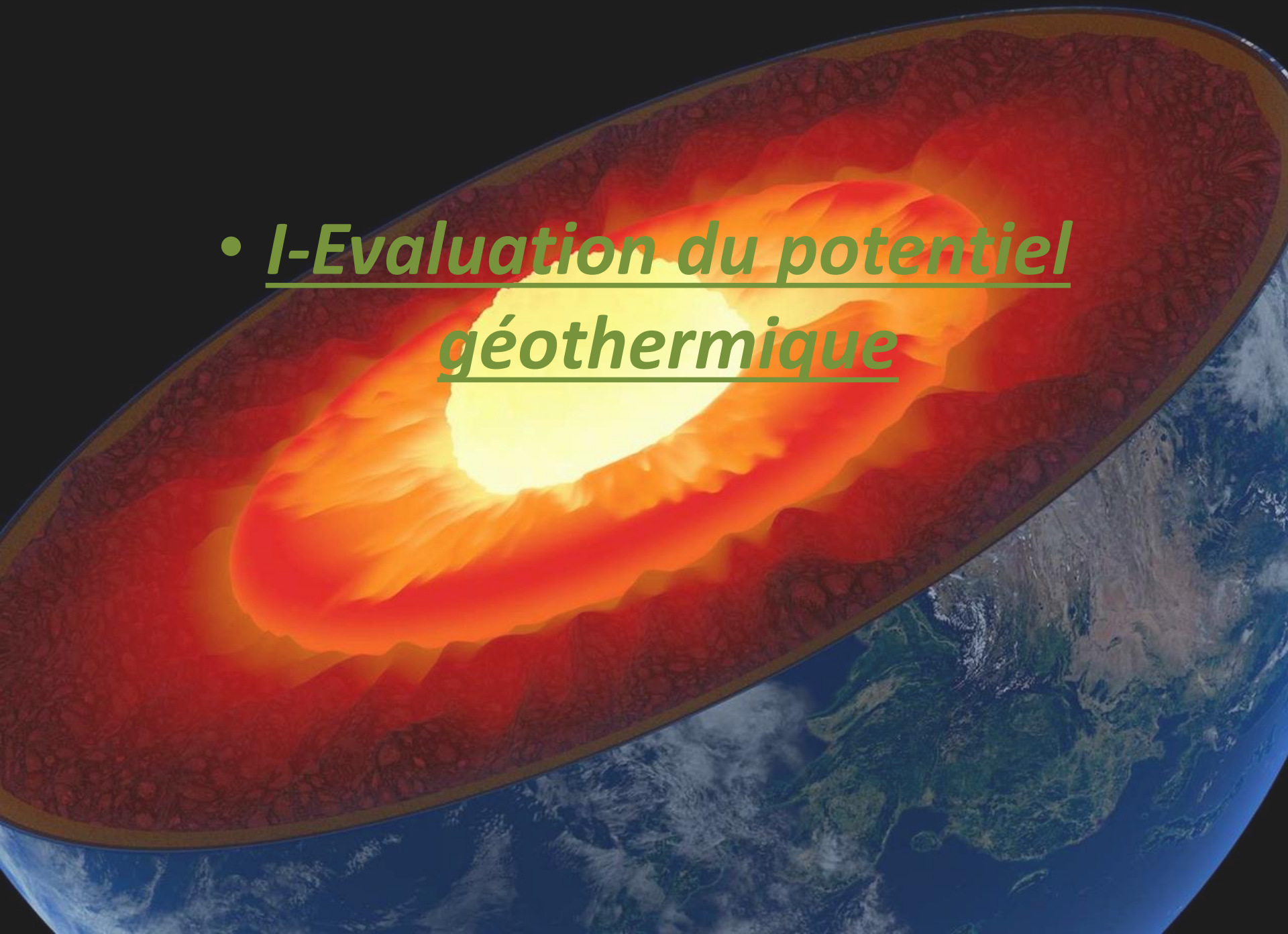
- 1-Cycle de RANKINE (étagé)*
- 2-Rendement du cycle*

III-Expérience (au lycée)

- 1-Résultats*
- 2-Rendement*
- 3-Commentaires*

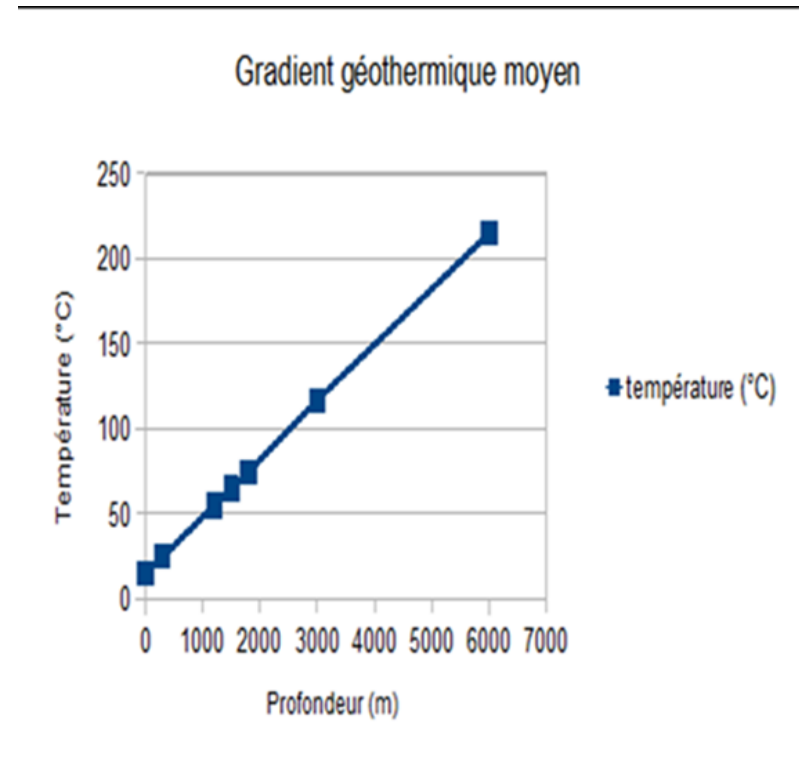
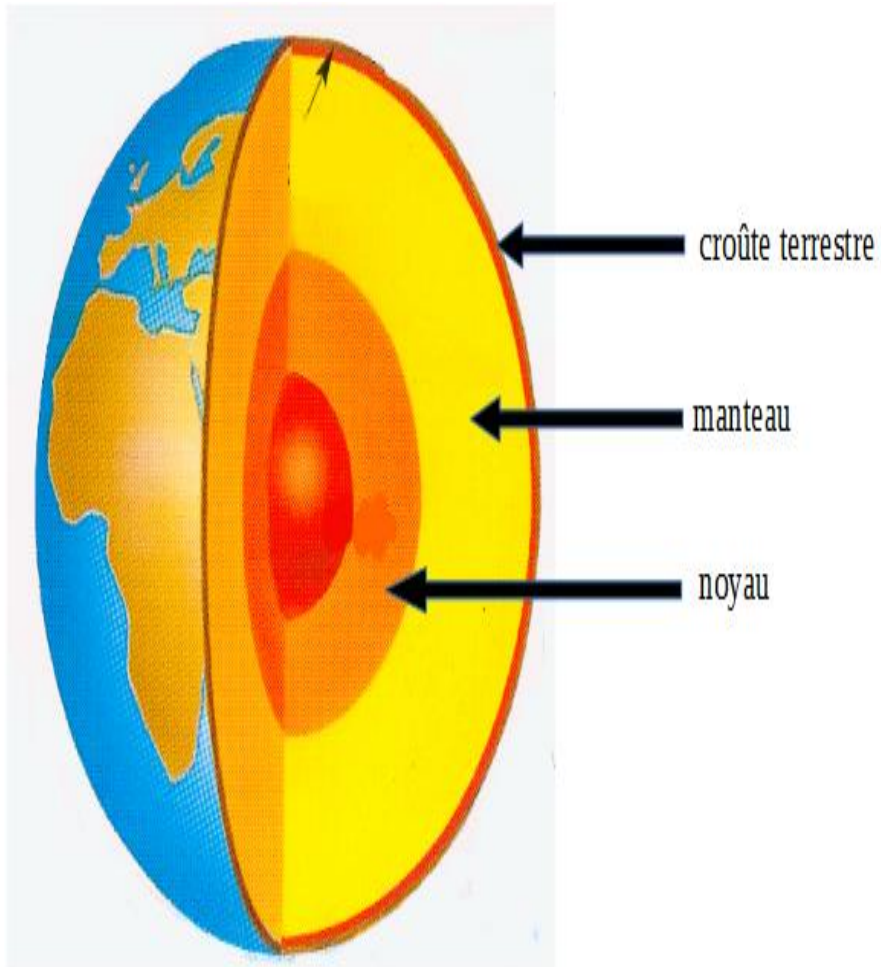
IV - Conclusions

- I-Evaluation du potentiel géothermique



I-1-Modèle géologique de la terre

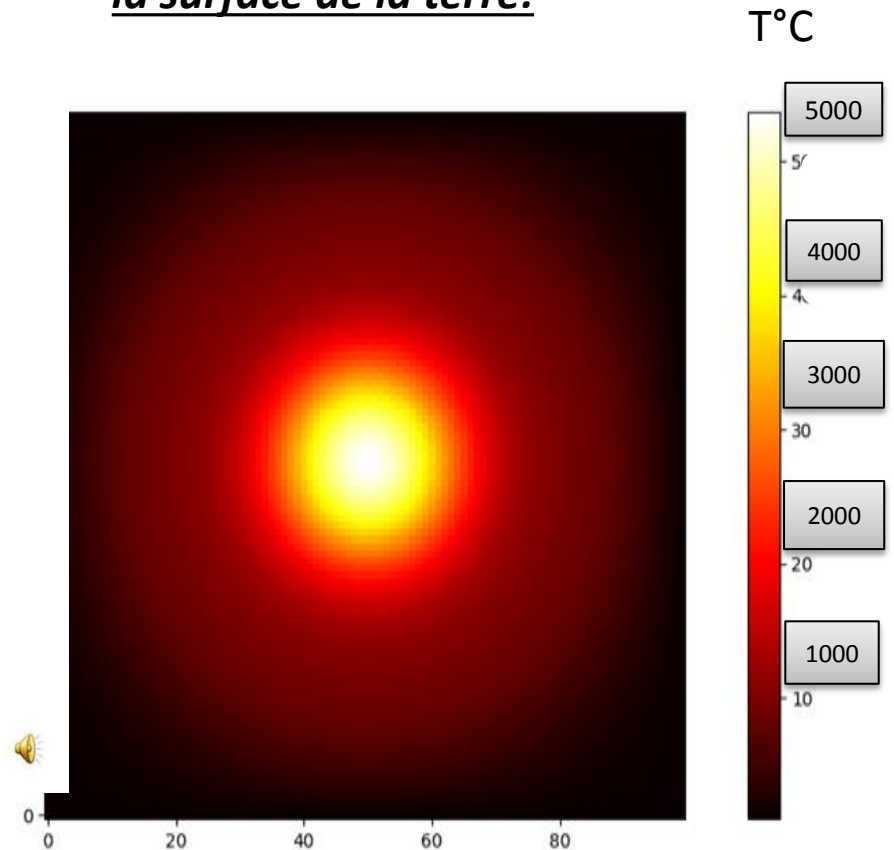
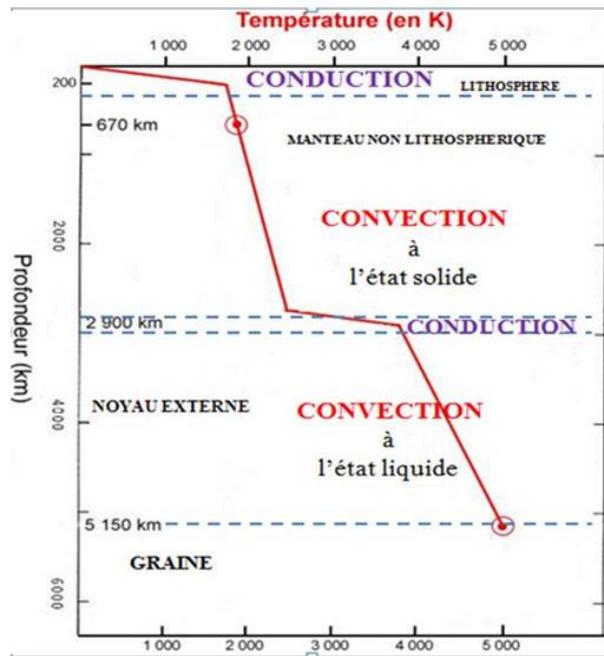
.La terre est constituée d'une succession de couches hétérogènes → une distribution de température non uniforme



I-2-Gradient de la température terrestre

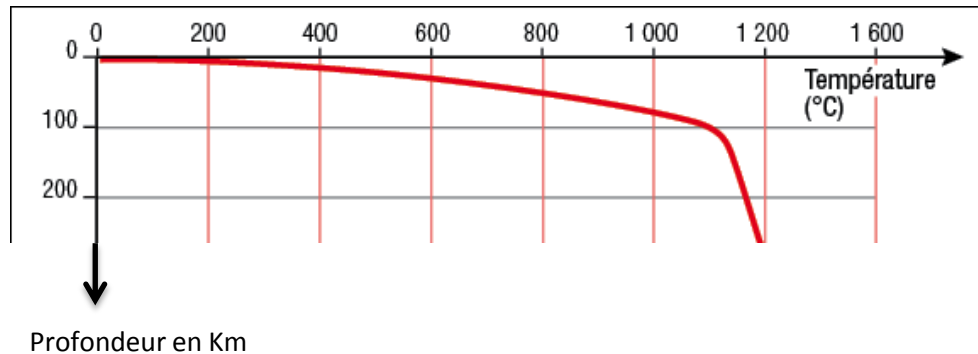
La diffusion de la chaleur du Noyau vers la surface de la terre:

Gradient géothermique profond et type de transfert par enveloppe

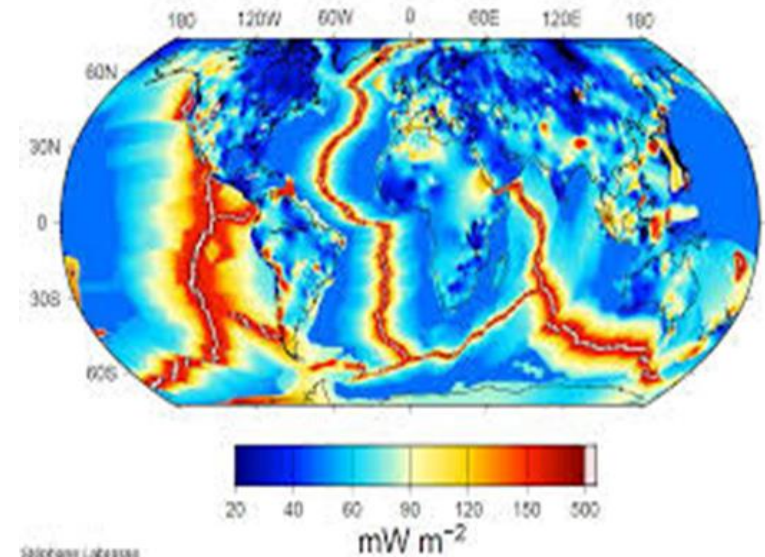


Simu_diffusion_sphérique.py

I-3-Gradient de température à la surface



La carte mondiale de flux thermique



*Un flux de chaleur est important dans les régions rouges → Un gradient plus important que les autres rouges

*La courbe montre un fort gradient de température au niveau de la croûte terrestre → présence de convection

I-4-Différentes techniques d'extraction à partir d'une tranche à la surface de la Terre

On se place au voisinage de surface de la terre et on néglige sa concavité:

Très basse énergie:

- Nappe prof < 100m
- Température < 30°C
- utilisation: chauffage

(a)

Basse Énergie

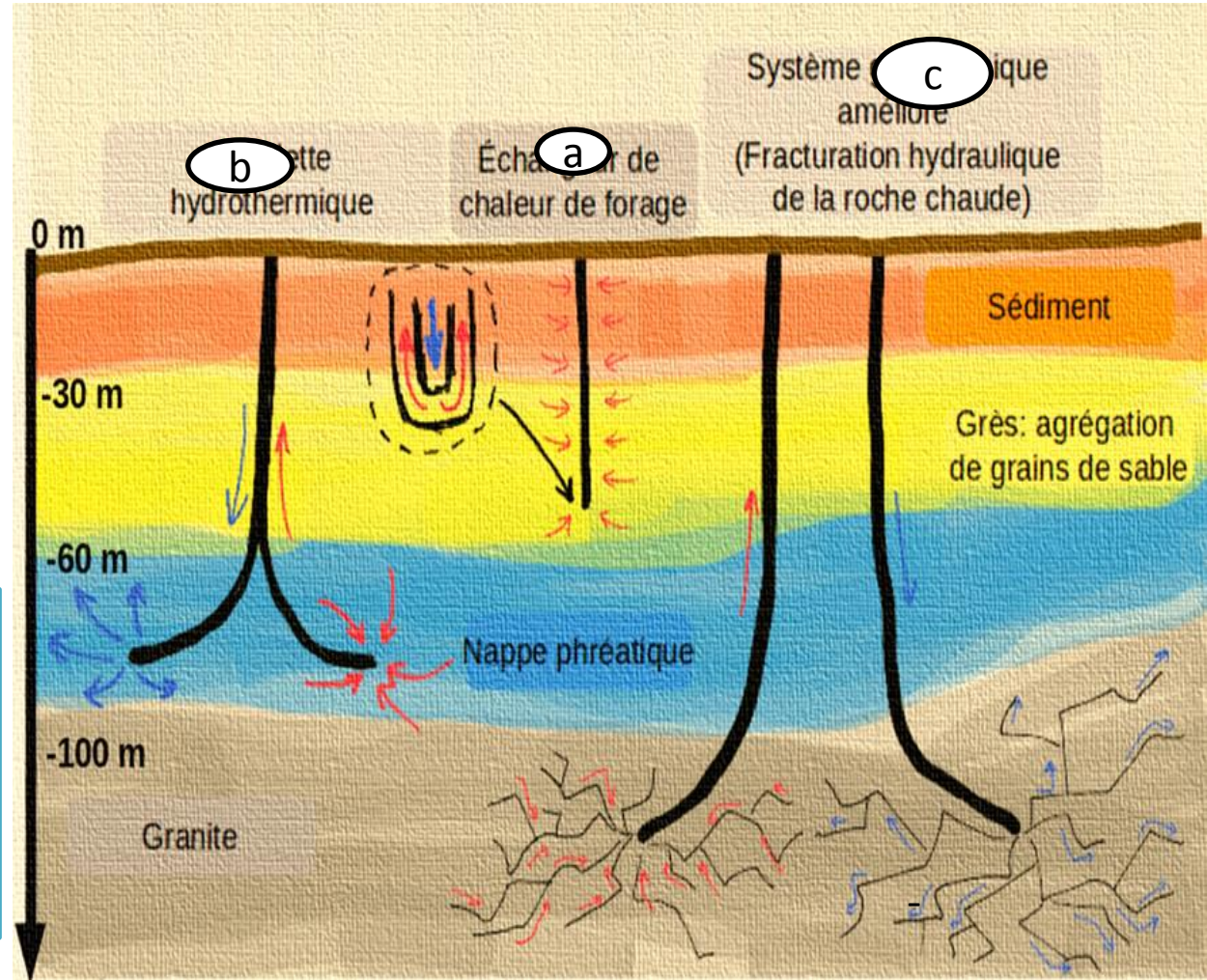
- 30 < Température < 100
- Prof jusqu'à 1500m (aquifère profond)
- Utilisation: utilisation industrielle,

(b)

Haute énergie:

- 150 < température < 350
- Prof > 2500
- Production de l'électricité

(c)



I-5-Modèle Mathématique : équation de la chaleur généralisé dans un milieu solide avec interface fluide solide

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\vec{J}) + h(T - T_s) + \sigma$$

l'équation de la chaleur dans et une couche

Masse volumique
Courant Thermique
Coefficient
Courant Thermique par convection
Terme de production par radioactivité des roches
Température du fluide

D'après la loi de fourrier : $(\vec{J}) = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T)$

$\lambda = \text{constante}$:

On obtient : $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \Delta T + \frac{h}{\rho c} (T - T_s) + \sigma$

Conductivité thermique

Equation de la chaleur bidimensionnelle:

pour aboutir à un problème 2D (en espace réel)

En supposant la diffusion est bidimensionnelle : $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{h}{\rho c} (T - T_s) + \sigma \quad (1)$

I-6-Résolution Numérique de l'équation sans terme de production

Méthode de la différenciation

On définit les pas des variables x, y et t

$$\begin{cases} x_i = x_0 + i.\Delta x \\ y_j = y_0 + j.\Delta y \\ t_k = t_0 + k.\Delta t \end{cases} \quad \longrightarrow \quad \begin{cases} T(x_{i+1}, y_j, t_k) = T_{i+1,j}^k \\ T(x_i, y_{j+1}, t_k) = T_{i,j+1}^k \\ T(x_i, y_j, t_{k+1}) = T_{i,j}^{k+1} \end{cases}$$

D'après le développement de Taylor à l'ordre 1: $T(x_i, y_j, t_{k+1}) = T(x_i, y_j, t_k) + \rho.c.\Delta t \frac{\partial T}{\partial t} + \mathcal{O}(\Delta t^2)$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{T_{i,j}^{k+1} - T_{i,j}^k}{\Delta t} \\ \bullet \quad \frac{\partial T}{\partial x} &= \frac{T_{i+1,j}^{k+1} - T_{i,j}^k}{\Delta x} \end{aligned} \quad (a)$$

En Utilisant la méthode de Lip Frog(saut de grenouille)

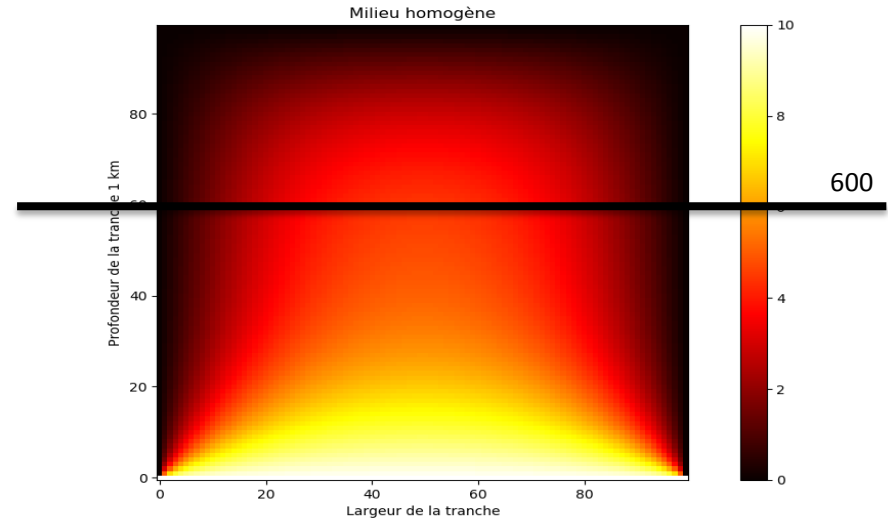
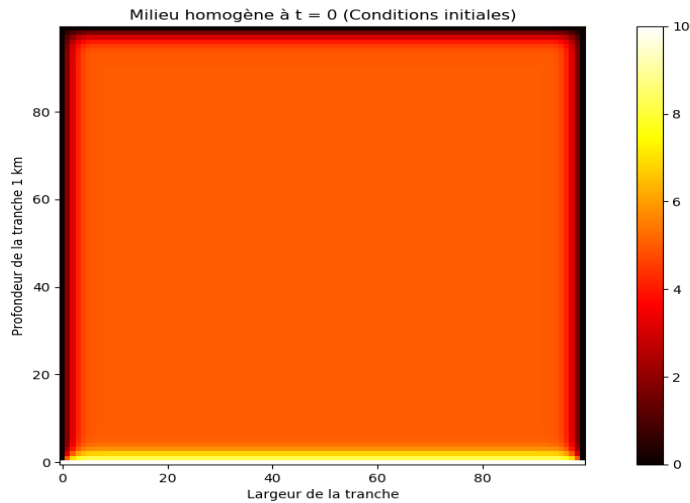
$$\begin{aligned} \bullet \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= \frac{T_{i+1,j}^k + T_{i-1,j}^k - 2T_{i,j}^k}{\Delta x^2} \\ \bullet \quad \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} &= \frac{T_{i,j+1}^k + T_{i,j-1}^k - 2T_{i,j}^k}{\Delta y^2} \end{aligned} \quad (b)$$

En Injectant les résultats précédent (a) et (b): On obtient la forme :

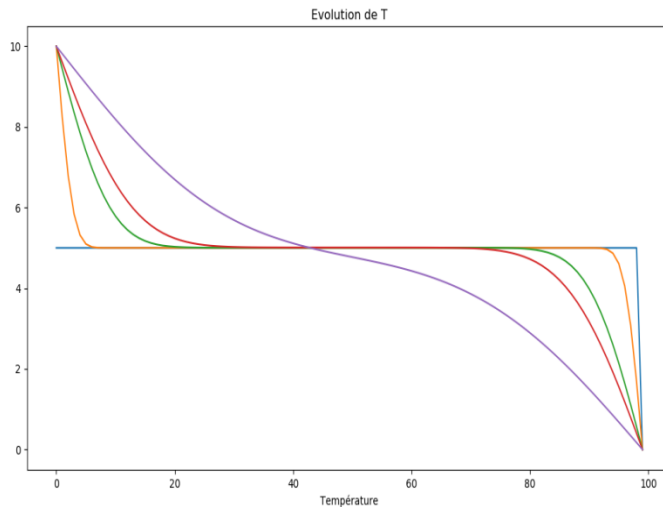
$$\longrightarrow T(x_i, y_j, t_{k+1}) = T(x_i, y_j, t_k) + \rho.c.\Delta t \left(\frac{T_{i+1,j}^k + T_{i-1,j}^k - 2T_{i,j}^k}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1}^k + T_{i,j-1}^k - 2T_{i,j}^k}{\Delta y^2} \right)$$

I-7-Implémentation python et Résultats:

i. Résolution numérique de l'équation de la chaleur dans un milieu homogène solide contenant une seule tranche

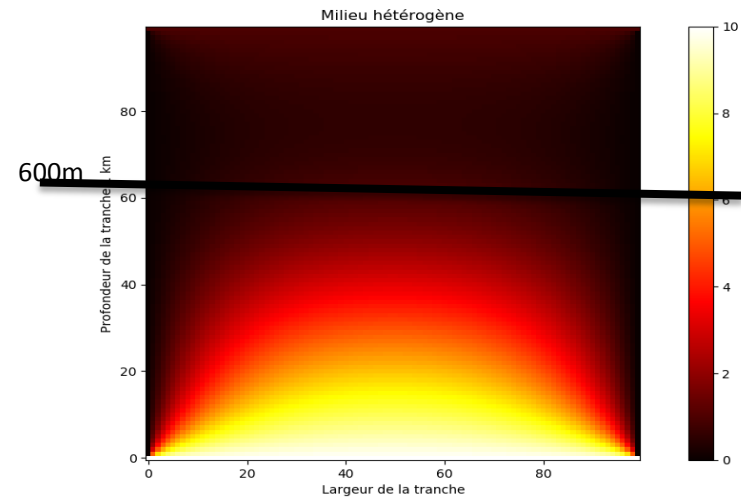
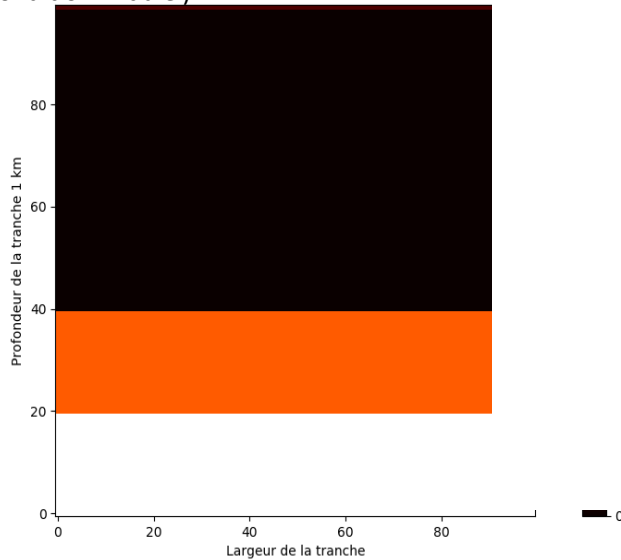


À 600m → 550K

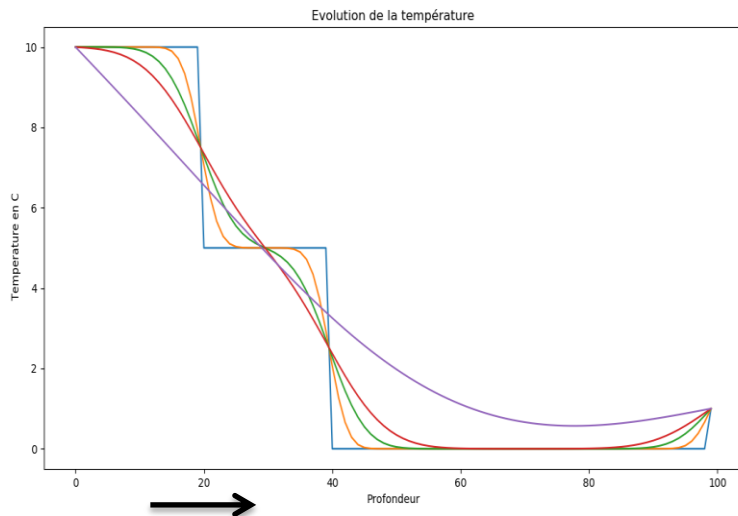


ii. Résolution numérique de l'équation de la chaleur dans un milieu hétérogène solide contenant deux couches:

À $t=0$ (condition initiale) Milieu hétérogène



À 600m 200K



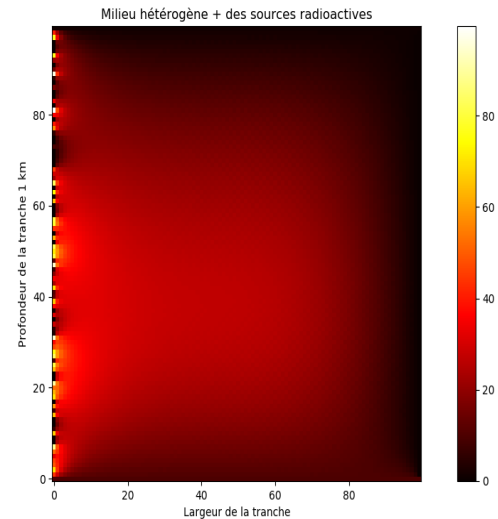
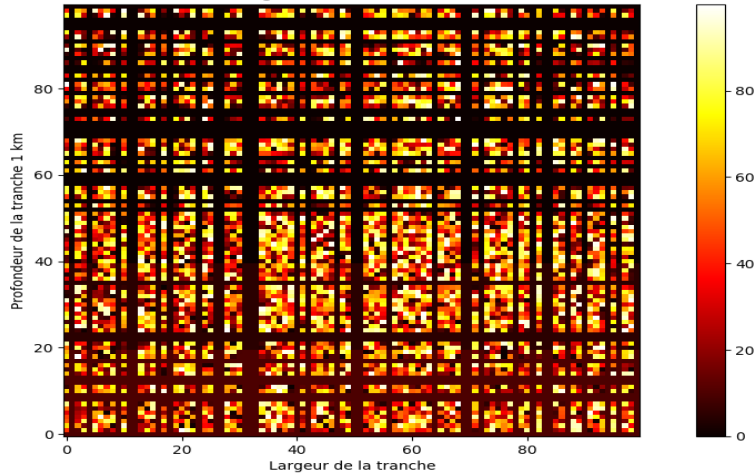
→ on n'obtient pas la même température au niveau de la même profondeur.

Conclusion:

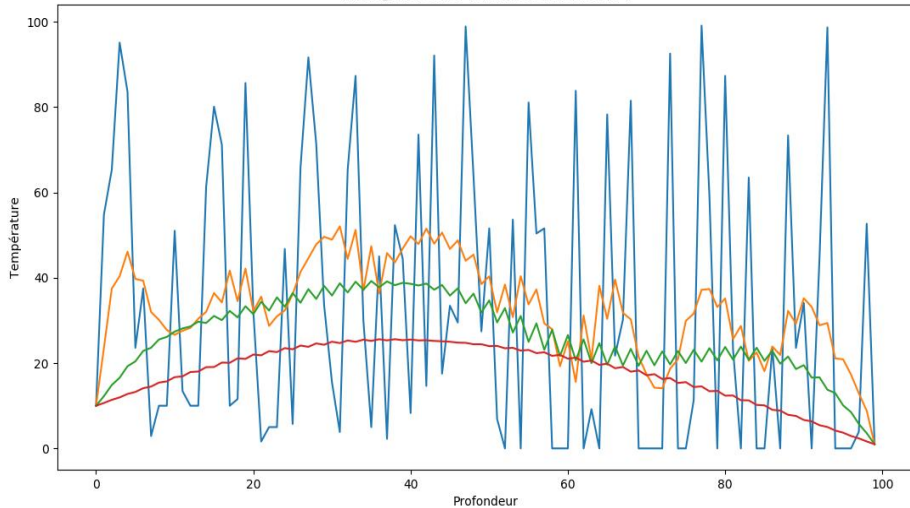
Le fait d'introduire une certaine discontinuité par rapport à la conductivité thermique fait chuter les transferts thermiques (analogue au principe de double vitrage)

iii. Résolution numérique de l'équation de la chaleur dans un milieu hétérogène contenant des sources radioactives

À t=0 (condition initiale) Milieu hétérogène + des sources radioactives



Homogénéisation du milieu en fonction T



→ Une homogénéisation de la température
Dans le milieu au bout d'un certain temps

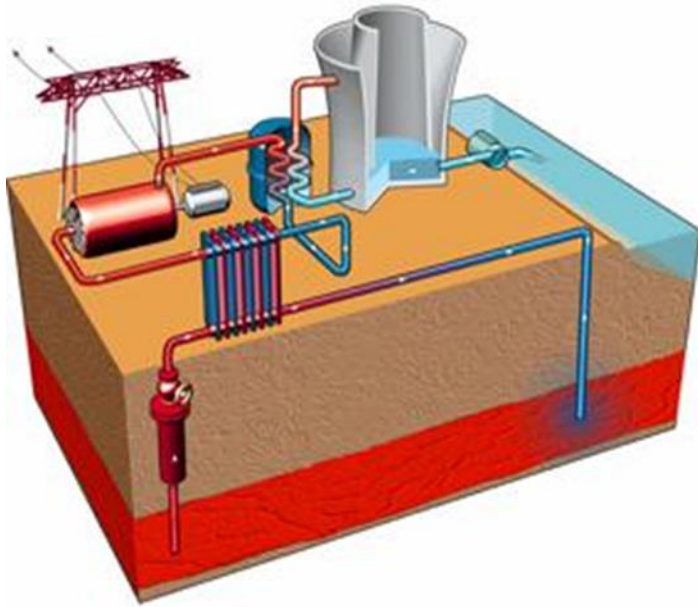
On déduit le Rôle des sources de la
radioactivité dans l'homogénéisation
d'un milieu hétérogène

- *II-Récupération du potentiel thermique terrestre:*

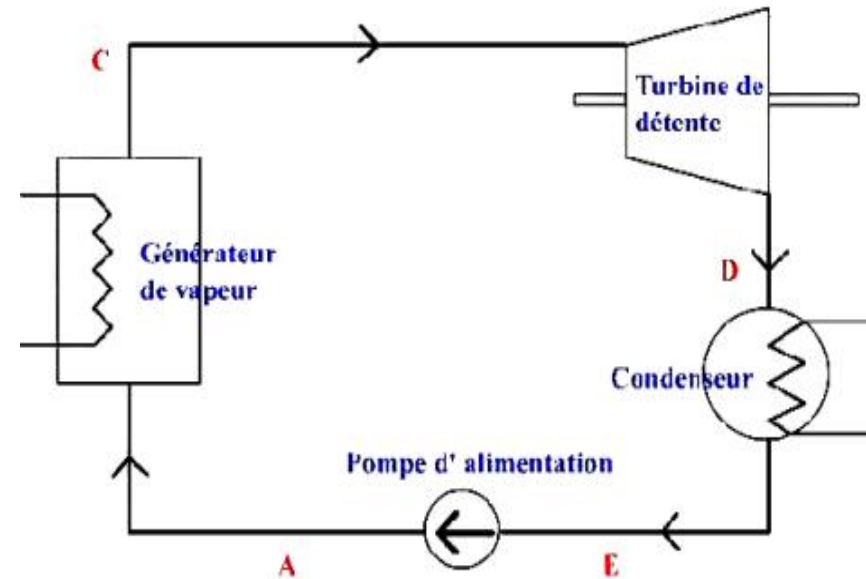
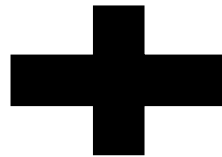


II-1-Fonctionnement d'une centrale géothermique

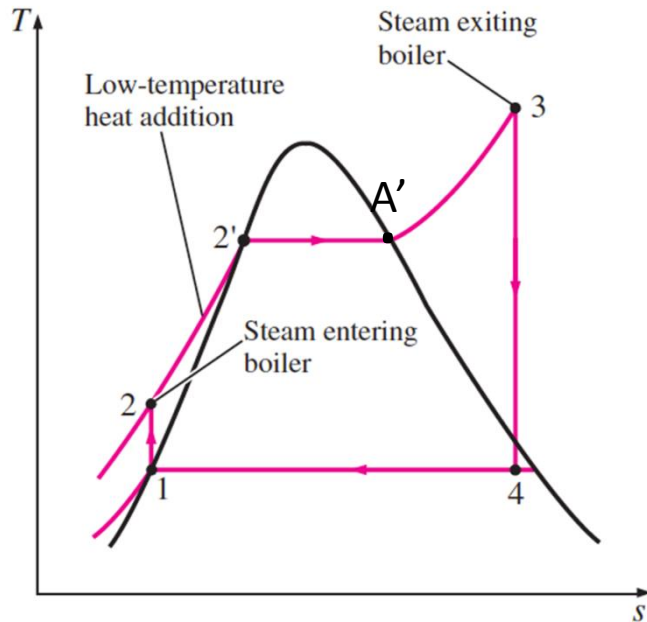
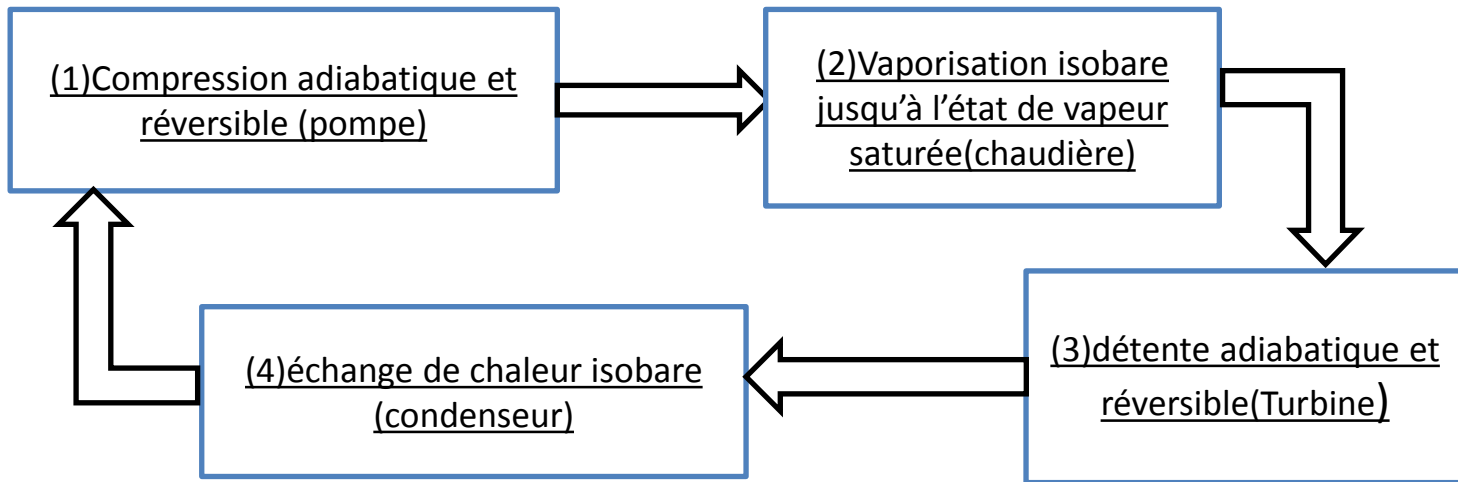
Centrale géothermique à cycle de Rankine



Centrale géothermique



Cycle de Rankine



Rendement de Cycle:

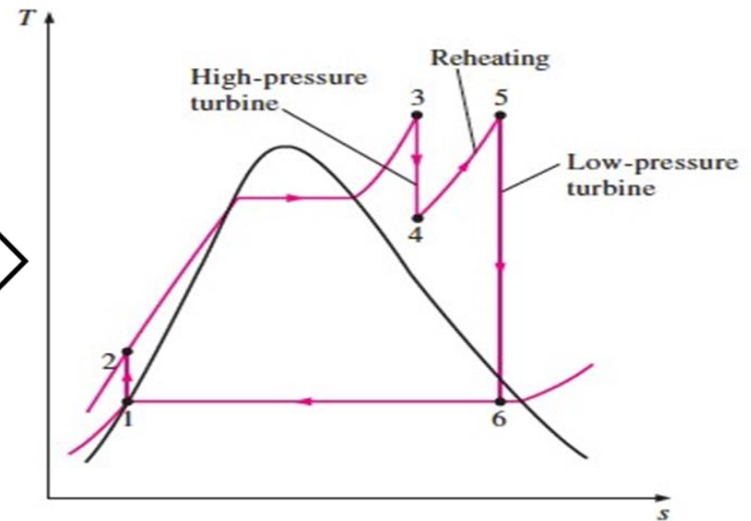
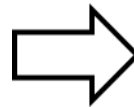
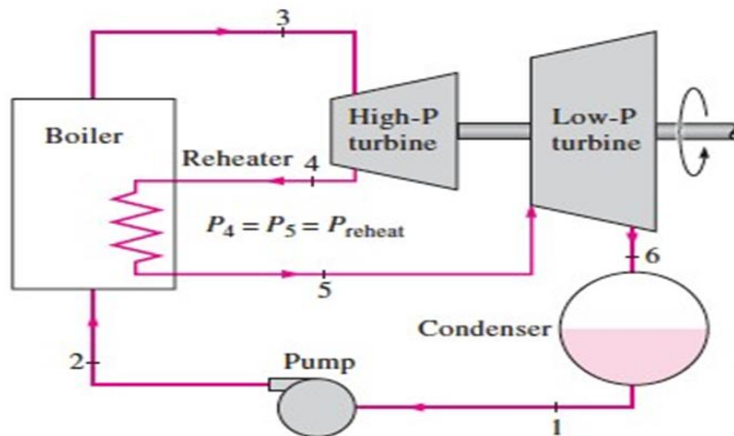
$$\eta = \frac{h_4 - h_1}{c(h_3 - h_1) + c(T_{A'} - T_2)}$$

II-2-Cycle de Rankine étagé

- cycle réel

la détente étagée : elle se fait d'abord dans une turbine « haute pression » puis dans une turbine « basse pression ».

entre les deux turbines, l'eau passe dans un « surchauffeur »



$$\eta' = \frac{(h_4 - h_3) + (h_6 - h_5)}{(h_a' - h_a)} > \eta$$

conclusion

L'ajout d'une turbine en série fait augmenter le rendement

-Expérience

Matériels: chalumeau-
Pyrex-Gaz-mini turbine-2 -
Argile-pompe –concassage-
multimètre-Hélices

**Déroulement de
l'expérience** :L'eau se
chauffe jusqu'à qu'il atteint
une température $\geq 100K$ et
se vaporise dans le tuyau ,
en passant par la turbine le
vapeur d'eau va faire
tourner les hélices.



thermocouple

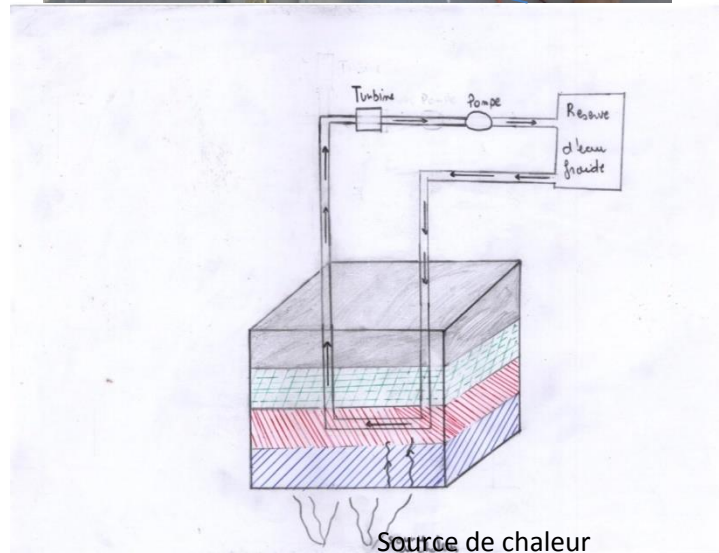


Schéma de
l'expérience:

Résultats

Mesures de l'expérience:

La température de la source froide : $T_f = 16^\circ\text{C}$

| $T^\circ\text{C}$ (source chaude) | 100 | 120 | 140 | 160 | 170 | 180 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\eta(\text{carnot})$ | 0,225 | 0,264 | 0,300 | 0,332 | 0,347 | 0,367 |

-Commentaire :

Le rendement augmente en fonction de la température de la source chaude

-conclusion:

D'après l'expérience précédente on conclut que le fait de placer les centrales géothermiques dans les régions où le flux thermique est important est plus rentable.

IV -Conclusions

- Rôle des interfaces dans la propagation du flux de la chaleur (effet du double vitrage).
- Effet de la nature du milieu (hétérogène/homogène) sur la diffusion thermique
- Amélioration du cycle de Rankine (cycle de Rankine étagée)