

# Centrale Géothermique – simple et double flux

---

## Partie 'Cours '

Une centrale géothermique produit de l'électricité grâce à la chaleur de la Terre qui transforme l'eau contenue dans les nappes souterraines en vapeur et permet de faire tourner une turbine et un alternateur. De l'eau de pluie ou de mer s'infiltré dans les fractures de la croûte terrestre pour constituer un réservoir dans le sous-sol, appelé nappe aquifère, à haute température, de 150 à 350 °C. Grâce à un forage dans le sous-sol, l'eau chaude est pompée jusqu'à la surface.

Dans une installation géothermique à simple flux (figure 1), c.à.d. avec une unique chambre d'expansion (flash chamber – équivalent d'une vanne de détente d'un point de vue thermodynamique :  $h=cte$ ), la pression de l'eau géothermique (pompée à saturation liquide) est abaissée à une valeur prédéterminée dans la chambre ce qui provoque son évaporation partielle.

Le mélange diphasique qui en résulte est séparé en liquide et en vapeur dans le séparateur. La vapeur est acheminée vers une turbine dans laquelle elle est détendue à la pression du condenseur. La vapeur sortant de la turbine est condensée avec de l'eau de refroidissement obtenue dans une tour de refroidissement ou un bassin d'aspersion avant d'être réinjectée. L'eau géothermique liquide à la sortie du séparateur et celle à la sortie du condenseur sont réinjectées dans le sol.

Dans une centrale géothermique à double flux (figure 2), l'eau liquide qui quitte le séparateur après le premier processus de détente est encore détendue dans une deuxième chambre d'expansion. La vapeur d'eau supplémentaire résultant de ce processus est séparée et envoyée vers un étage à plus basse pression de la turbine pour une production d'énergie supplémentaire. Le reste du fonctionnement est identique à celui de l'installation à simple flux.

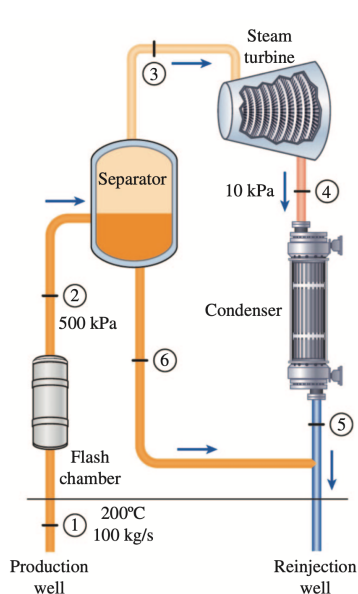


Figure 1: centrale simple flux

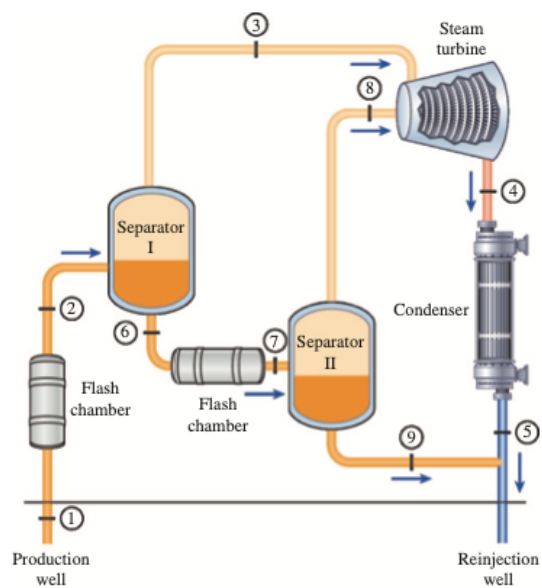


Figure 2: centrale à double flux

## Partie 'Application'

Soit une centrale géothermique. L'eau liquide géothermique à 200°C est extraite d'un puits géothermique à un débit de 100 kg/s. Cette eau est portée à une pression de 500 kPa dans la chambre d'expansion (flash chamber 1-2) de la centrale.

### Partie 1 – Bases du système

Considérons la centrale à simple flux (figure 1). Le condenseur est maintenu à une pression de 10 kPa. L'efficacité isentropique de la turbine est de 83 %.

(a) Quel est le débit massique de la vapeur d'eau à l'entrée de la turbine (3) ? Le débit d'eau en sortie du séparateur (6) et la fraction de vapeur à la sortie de la chambre d'expansion (2).

(b) Déterminez la puissance de la turbine et le rendement thermique de l'installation. Pour ce dernier considérer une énergie fournie comme le différentiel d'énergie entre le point 1 et un point fictif 0 où la température de l'eau saturée serait à 25°C.

### Partie 2 – Double flux

(c) Supposons que la centrale à simple flux de la partie 1 soit réaménagée pour fonctionner comme une centrale à double flux (figure 2). [Faire une seconde fonction dans le même programme].

Les premières et deuxièmes pressions d'expansion sont choisies à 500 kPa et 150 kPa, respectivement. Les autres paramètres restent les mêmes. Quels sont la puissance et le rendement thermique de cette centrale à double flux ?

### Partie 3 – Etude graphique

(d) Effectuer une étude graphique de l'évolution de la puissance des centrales en fonction de la température de l'eau géothermale. Tracer aussi X2 et X7 pour vérifier que vous restez dans un domaine d'utilisation physique des chambres d'expansion.

#### Partie 4 - Etude financière

(e) Considérons à nouveau la centrale à simple flux (figure 1) de la partie 1. Au lieu d'adapter l'installation à une conception à double flux, l'eau liquide qui sort du séparateur (en 6) doit être utilisée pour le chauffage urbain des bâtiments.

Supposons que la température de retour de l'eau du quartier urbain soit de  $60^{\circ}\text{C}$  avec un circuit qui reste à la pression du séparateur. Le chauffage géothermique des locaux remplacera le chauffage actuel au gaz naturel. La chaleur géothermique sera vendue au quartier au même prix que le chauffage au gaz naturel.

Quel est le revenu annuel potentiel de la vente de la chaleur géothermique au quartier ? Le prix moyen de vente du gaz au kWh est de 0.042 €. L'efficacité du chauffage au gaz naturel est de 83 %. Prenez les heures de chauffage annuel à 3000 h.

Quel est le revenu annuel potentiel de la vente de l'électricité issue de la géothermie. Le prix moyen de vente de l'électricité au kWh pour ce calcul est de 0.075 €. Prenez une consommation annuelle à 8000 h et une efficacité de l'alternateur égale à 1.