

Technologies d'Exploration et d'Exploitation de l'Energie Géothermique

Salima OUALI

Maître de Recherche A

Division Thermique et Thermodynamique Solaire et Géothermie - CDER

E-mail : s.ouali@cder.dz

1. Introduction

L'énergie géothermique est une source d'énergie renouvelable obtenue à partir de la chaleur provenant des profondeurs de la Terre. Elle se manifeste en surface à travers des phénomènes naturels comme les geysers, fumeroles, volcans et sources thermales. Cette énergie écologique est disponible partout dans le monde et offre de nombreux avantages, notamment pour le chauffage et la climatisation.

Les activités de prospection et d'exploitation géothermiques visent à identifier et caractériser ces ressources en vue de leur exploitation économique. Face aux urgences climatiques, les efforts se sont intensifiés pour perfectionner les technologies d'exploration et d'exploitation géothermique. Les avancées technologiques actuelles permettent de forer en profondeur, dans des zones où les températures des roches peuvent atteindre entre 150 °C et 373 °C, permettant à l'eau d'atteindre une phase dite « supercritique » – un état qui la rend idéale pour la production d'électricité.

2. L'exploration géothermique

La prospection géothermique comprend l'ensemble des activités destinées à découvrir et à caractériser les fluides ainsi que les formations géologiques jusqu'à la validation de leur

potentiel d'exploitation économique pour la production de chaleur. L'exploration géothermique vise à identifier, délimiter et évaluer les ressources géothermiques. Elle débute généralement à une échelle régionale et s'affine progressivement vers des zones cibles plus restreintes, à mesure que les données révèlent les sites les plus prometteurs. Lors de la phase d'exploration, des méthodes de prospection géologiques et géophysiques sont utilisées. La cartographie géologique et géochimique repose principalement sur des observations directes en surface, et peut inclure des relevés en puits lorsque ceux-ci sont disponibles.

Les méthodes d'exploration géophysique de surface utilisent des équipements permettant de mesurer directement certains paramètres physiques en surface, lesquels sont influencés par les propriétés ou les processus en profondeur. Les données géoscientifiques recueillies sur le site géothermique (comportant les informations géophysiques, géochimiques, géologiques, géotechniques et hydrogéologiques) sont ensuite analysées et interprétées pour localiser les réservoirs exploitables et déterminer les emplacements optimaux des forages nécessaires à l'extraction des fluides chauds en profondeur.



Figure 1. Source thermique de Hammam Debagh, Guelma, Algérie [1].



Figure 2. Campagne de prospection géologique appliquée à la géothermique, Guelma, Algérie.



Figure 3. Campagne de prospection géophysique (magnétotellurique appliquée à la géothermie), Alaska [2].

3. L'exploitation géothermique

Les systèmes géothermiques constituent une technologie mature, déjà utilisée dans de nombreux pays pour la production d'électricité ou pour alimenter les maisons et les bâtiments commerciaux. Dans le cadre de l'utilisation directe de la chaleur géothermique, l'eau thermale n'a pas besoin d'atteindre des températures très élevées : des températures comprises entre 70 et 100 °C suffisent pour le chauffage urbain (district heating). Des températures plus basses, entre 20 et 70 °C, peuvent être utilisées pour des applications telles que le séchage agricole, le chauffage de serres, l'aquaculture, le chauffage de piscines ou encore le déneigement des trottoirs.

L'énergie géothermique se classe en deux catégories : superficielle et profonde.

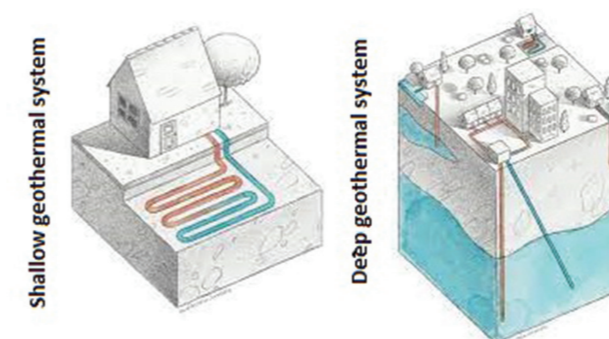


Figure 4. Schéma descriptif des systèmes géothermiques superficiels et profonds [3].

L'énergie géothermique superficielle est la chaleur de faible qualité (10 à 25 °C) stockée dans le sous-sol à des profondeurs allant jusqu'à 500 m. Elle nécessite l'utilisation de pompes à chaleur géothermiques et est principalement destinée au chauffage des bâtiments.

L'énergie géothermique profonde correspond à la chaleur stockée au-delà de 500 m de profondeur. Les températures augmentent avec la profondeur en fonction du gradient géothermique local, qui est en moyenne d'environ 30 °C/km. À titre indicatif, les températures moyennes dans le sous-sol atteignent environ 45 °C à 1 000 m, 90 °C à 3 000 m, et 140 °C à 5 000 m de profondeur. Ces températures sont suffisamment élevées pour fournir directement de la chaleur pour le chauffage des locaux et de l'eau chaude sans nécessiter de pompe à chaleur.

3.1 Chauffage et climatisation urbain

La géothermie de moyenne température permet d'alimenter des systèmes de chauffage et de climatisation, que ce soit pour des maisons individuelles ou des immeubles. Les réseaux de chauffage urbain exploitent l'eau chaude provenant de sources ou de réservoirs souterrains. Cette eau chaude, située près de la surface terrestre, peut être acheminée directement dans les bâtiments et les installations industrielles pour le chauffage. Un réseau de canalisations distribue ensuite cette eau aux différents locaux de la région en se raccordant au réseau de chaleur. Les réservoirs géothermiques profonds peuvent être exploités grâce à un système de doublet géothermique. La récupération de la chaleur s'effectue via un échangeur thermique à plaques en titane, qui transfère ensuite cette chaleur au circuit d'eau chaude destiné au chauffage des bâtiments.



Figure 5. a) Réseau de chaleur par géothermie (Deep geothermal system), Champs-sur-Marne, France [4]; b) Réseau de chaleur par géothermie (Shallow geothermal system), Bruxelles Belgique [5].

3.2 Le chauffage de serres

L'agriculture sous serre nécessite de grandes quantités de chaleur, surtout pendant les périodes froides. L'une des solu-

tions écologiques pour réduire l'utilisation des hydrocarbures dans ce secteur consiste à exploiter l'énergie géothermique. Le chauffage des serres est ainsi l'une des applications les plus prometteuses de cette énergie. Une part importante des installations utilise la chaleur géothermique des nappes phréatiques. La géothermie de moyenne température (30 °C < T < 90 °C) fournit la chaleur nécessaire aux cultures sous serre. L'eau thermique est transportée de la centrale géothermique aux exploitations agricoles par un réseau de conduites, avec un contrôle précis de la température pour maximiser le rendement des cultures.



Figure 6. Serre chauffée par la géothermie, Istanbul, Turquie [6].

(À Istanbul, l'entreprise Yediylol a achevé la première phase de son projet de serres chauffées par géothermie, couvrant une superficie totale de 100 hectares.)

3.3 Le séchage agricole

Le séchage agricole est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments. Ce processus consiste à éliminer progressivement l'eau contenue dans les fruits et légumes pour réduire leur taux d'humidité en dessous de 20 %. Le séchage est une étape critique après la récolte, car une déshydratation insuffisante peut entraîner des pertes par moisissure ou germination. Les méthodes de séchage industriel classiques, basées sur le gaz, le charbon ou le mazout, engendrent des coûts élevés et polluent l'environnement.

Le séchage géothermique représente une technologie verte et économique, améliorant la qualité des produits finaux à des coûts compétitifs. En industrie, des températures d'eau thermique de 40 à 100 °C sont employées pour déshydrater fruits et légumes, et dès 60 °C, l'air chauffé peut servir au sé-



Figure 7. Séchoir à grains utilisant la vapeur géothermique, Menengai, Kenya [7].

de séchage géothermique utilisent l'énergie géothermique stockée dans le sol pour chauffer l'air de séchage. La chaleur est transportée vers l'équipement de séchage par un circuit de circulation d'air. Dans la chambre de séchage, les températures élevées évaporent l'humidité du produit, facilitant ainsi une conservation durable.

3.4 La pisciculture

En pisciculture, l'utilisation d'eaux thermales permet de maintenir une température d'eau constante, favorable à la croissance des poissons. Lorsque la température de l'eau baisse en dessous des valeurs optimales, le métabolisme des poissons ralentit, ce qui diminue leur capacité à s'alimenter et affecte leur croissance. L'eau géothermique maintient un climat doux et stable, favorisant une meilleure productivité. Les installations aquacoles peuvent ainsi utiliser des fluides géothermiques à basse température (inférieures à 35 °C), un avantage particulièrement intéressant dans les climats froids ou dans les régions éloignées, où le chauffage conventionnel est coûteux.

Les principales espèces élevées dans ces conditions incluent la carpe, le poisson-chat, le tilapia, le rouget, l'anguille, le saumon, ainsi que d'autres espèces comme l'esturgeon, la crevette, le homard et l'écrevisse. Ce procédé permet aux exploitations aquacoles de bénéficier d'une production constante pendant toute l'année.

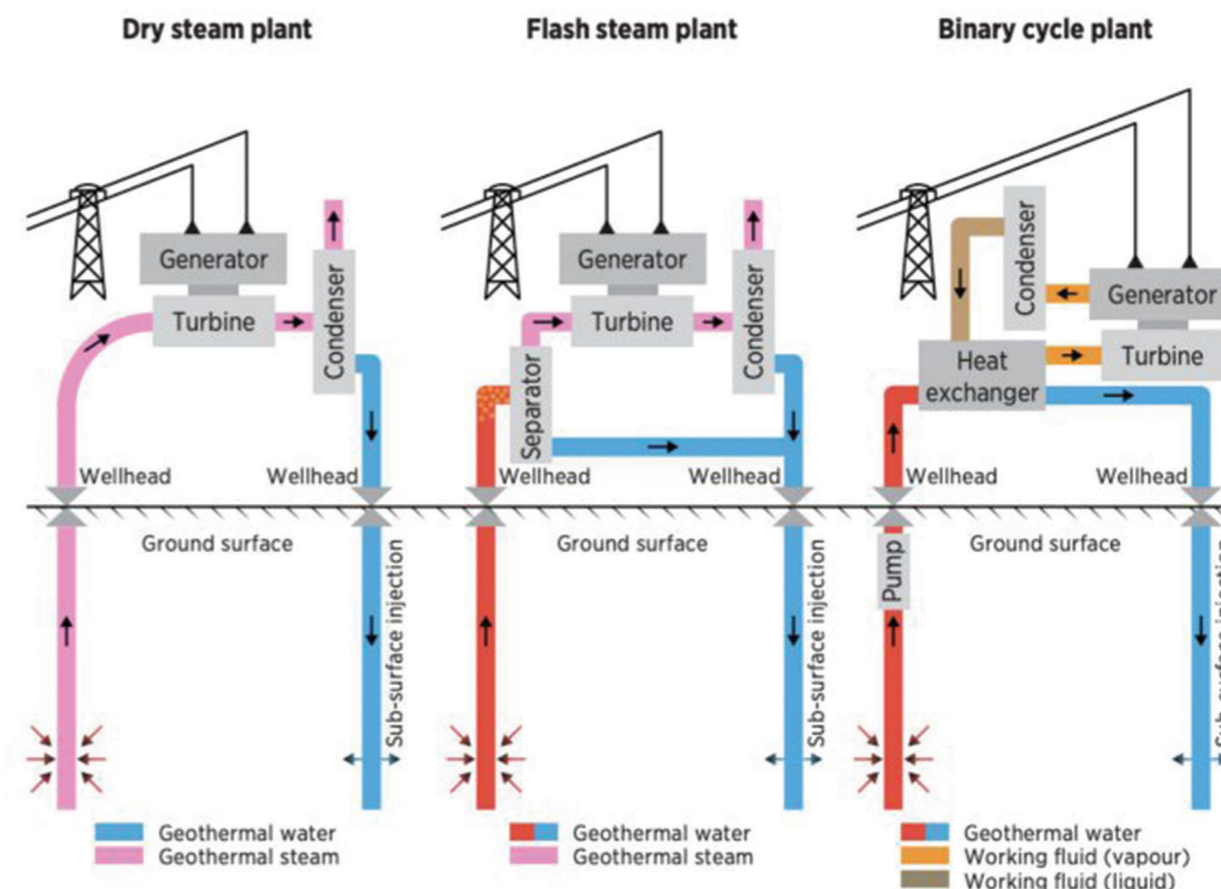


Figure 8. Aquaculture géothermale en Islande [8].

3.5 La production d'électricité

Pour produire de l'électricité à partir de la géothermie, il faut forer à une profondeur suffisante, souvent au-delà de 1,6 km, afin d'extraire de l'eau chaude qui, transformée en vapeur, entraîne des turbines reliées à des générateurs électriques. L'eau est ensuite réinjectée dans le sous-sol par un autre puits. Les principaux facteurs de rentabilité sont la température et le débit de l'eau : plus l'eau est chaude et abondante, plus l'efficacité est grande.

Il existe trois types de centrales géothermiques : à vapeur sèche, à flash et binaires. La technologie à vapeur sèche utilise directement la vapeur du sol pour faire tourner une turbine. Les installations flash amènent de l'eau à haute pression dans un environnement de basse pression, créant de la vapeur pour la turbine. Les centrales binaires font passer l'eau chaude dans un fluide secondaire à point d'ébullition bas, provoquant sa vaporisation pour actionner une turbine. La plupart des centrales futures seront probablement binaires.



Based on: USGS (2003).

Figure 9. Les trois types de centrales géothermiques : à vapeur sèche, à flash et binaires [9].

La première centrale géothermique a été établie à Larderello, en Italie, en 1904. Aujourd'hui, plus de 20 pays produisent de l'énergie géothermique, avec les États-Unis en tête. Par exemple, The Geysers, au nord de San Francisco, est le plus grand développement géothermique au monde. Avec plus de 25 volcans actifs et de nombreuses sources chaudes et geysers, l'Islande est considérée comme le pays de la géothermie par excellence. Ses caractéristiques géologiques uniques lui permettent de tirer une grande partie de son énergie de ressources géothermiques.



Figure 10. Centrale géothermique à fluide binaire (ORC), Alsace, France [10].

Références

1. https://www.tripadvisor.fr/Attraction_Review-g2602144-d9797194-Reviews-Hammam_Debagh_Hot_Springs-Guelma_Guelma_Province.html
2. <https://frontierscientists.com/2014/06/geothermal-energy-in-remote-alaska/>
3. https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/pres-210323-pac-1-2-geoth-fr.pdf
4. <https://www.revolution-energetique.com/reseaux-de-chaleur-lancement-du-projet-geothermique-geomarne/>
5. <https://www.renouvelle.be/fr/bruxelles-installe-son-premier-reseau-de-chaleur-par-geothermie/>
6. <https://balkangreenenergynews.com/turkish-geothermal-heated-greenhouse-firm-wants-to-beat-netherlands-in-food-exports/>
7. <https://www.thinkgeoenergy.com/eoi-seeking-investment-in-geothermal-direct-use-gdc-kenya/>
8. <http://cathyclandgeothermal.blogspot.com/2010/07/day-12-two-fish-farms-gorge-and.html>
9. <https://www.powermag.com/the-big-picture-geothermal-power-landscape-infographic/>
10. <https://socatoa.net/energie-renouvelable>