

Géothermie

Rapide historique²⁴

Les premières traces d'utilisation de la géothermie par l'homme remontent à près de 20 000 ans. La pratique des bains thermaux s'est multipliée et, depuis un siècle, les exploitations industrielles se sont développées pour la production d'électricité et le chauffage urbain.

Dès 1330, les archives font mention d'un réseau distribuant l'eau *géothermale* à quelques maisons, sur la commune de Chaudes-Aigues (Cantal, France). Elle servait même, déjà, à quelques usages « industriels » comme le lavage de la laine et des peaux. À la même époque, en Italie, dans la région de Volterra en Toscane, les lagoni, petits bassins d'eau chaude saumâtre d'où s'échappe la vapeur à plus de 100 °C, sont exploités pour l'extraction du soufre, du vitriol et de l'alun.

En 1818, le Français François Larderel entreprend dans la région de Volterra la première véritable exploitation industrielle – donnant naissance à un village qui portera son nom. Il invente la technique du « lagoni couvert », permettant de capter la vapeur à une température suffisante pour alimenter des machines destinées à pomper les eaux boriques. L'Islande, à la même époque, consacre son premier usage industriel de la géothermie à l'extraction du sel. Et en France, on réalise entre 1833 et 1841, dans le quartier de Grenelle à Paris, le premier forage pour capter, à 548 m, l'eau douce à 30 °C des sables albiens. Au 20^e siècle, le mouvement s'amplifie. C'est encore en Italie, à Larderello, que la géothermie produit de l'électricité pour la première fois au monde, en 1904.

Le premier réseau moderne de chauffage urbain alimenté grâce à la géothermie est installé, quant à lui, à Reykjavik (Islande) en 1930. Dès lors, des réseaux de chaleur utilisant la géothermie vont voir le jour en France, Italie, Hongrie, Roumanie, URSS, Turquie, Géorgie, Chine, États-Unis. La production mondiale d'électricité géothermique ne deviendra significative qu'à partir des années 70, poussée par les crises pétrolières. La puissance électrique installée dans le monde est ainsi passée de 400 MW en 1960 à 8 000 MW à la fin du siècle.

La géothermie en bref

• Électricité:	
Capacité installée:	8,9 GW
Production annuelle:	55 TWh
1000 à 5000 euros/kW installé	
0,05 à 0,10 €/kWh	
• Durée de vie:	30 à 50 ans
• Rendement:	5 à 10 %, >90 % si cogénération
• Chaleur:	
Capacité installée:	27 GWth
Production annuelle:	70 TWh

État de l'art

La géothermie regroupe deux principaux champs d'application: la production d'électricité avec des sources à haute température et la production de chaleur basse et très basse température.

La production d'électricité: elle n'est pratiquement possible qu'avec des sources de température supérieure à 100 °C. Les rendements sont globalement assez faibles, de l'ordre de 5 à 10 %, mais la géothermie a l'avantage de produire de l'électricité de base de manière parfaitement régulière.

Plusieurs techniques existent: pour les sources de vapeur haute température, l'électricité peut être produite directement par injection de la vapeur dans une turbine ou indirectement par échange de chaleur avec une eau moins corrosive. Pour les sources moins chaudes (moins de 175 °C), de nombreuses techniques jouent sur la condensation puis la détente du fluide géothermal. La technique dite du « cycle binaire » utilisée pour des installations de petite capacité utilise la chaleur du fluide géothermal pour vaporiser un fluide au point d'ébullition beaucoup plus bas que l'eau. Enfin, la technologie des « roches chaudes fracturées » (HFR), telle qu'elle est expérimentée à Soultz la Forêt en France, consiste à utiliser la chaleur des roches du sous-sol profond en injectant de l'eau

24. Référence principale: BRGM.

dans des fractures artificielles. Cette technique, si elle se développait, permettrait d'accroître très largement le gisement utilisable.

Toutes les techniques électriques peuvent bien sûr être couplées à une valorisation de la chaleur par cogénération et permettre ainsi d'améliorer très sensiblement le rendement de l'installation.

La production de chaleur: deux applications principales, l'utilisation de la vapeur des sources haute température directement pour des applications industrielles comme à Larderello par exemple, et l'alimentation directe d'un réseau de chaleur par une source chaude de moyenne ou basse température. À noter que les pompes à chaleur utilisées pour l'habitat, qui utilisent les réserves de chaleur à faible température du sous-sol à faible profondeur (de moins d'un mètre à une centaine de mètres), connaissent un développement très important, notamment en Europe, même si le débat fait rage pour savoir si on doit les considérer comme de la géothermie au sens strict du terme.

Coûts de la production électrique

Investissement: l'investissement est très variable en fonction des gisements et des techniques: 1200 à 3900€/kW installé selon les données du Ministère de l'Énergie américain (US DOE), 1000 à 10000 euros selon la Commission Européenne. La technologie des roches chaudes fracturées affiche des coûts prévisionnels de 2 à 3000 euros/kW.

Coûts de production: ils sont eux aussi très variables: 12 à 39€/MWh aux États-Unis 50 à 90€/MWh en Europe.

Capacité installée²⁵

Électricité: la capacité mondiale installée atteignait 8,9 GW fin 2005. Sept pays (États-Unis, Philippines, Mexique, Italie, Japon, Indonésie, Nouvelle-Zélande) regroupent aujourd'hui 90 % de cette capacité.

Chaleur: la capacité installée atteint 27 GWth, principalement sous forme de réseaux de chaleur. Sur les 70 pays équipés, quatre pays (États-Unis, Chine, Suède, Islande) se partagent près de 50 % de la capacité.

Production

Électricité: La production mondiale d'électricité par géothermie a atteint 55 TWh en 2005.

Il est intéressant de noter qu'elle représente déjà 10 % de la consommation pour trois pays en développement: Philippines, Salvador, Nicaragua.

Chaleur: 70 TWh de chaleur annuels.

Marché actuel

Le marché total de la géothermie (chaleur et électricité) était estimé à environ 2 milliards d'euros en 2005²⁶, soit 7 % du marché total des énergies renouvelables. Le taux de croissance annuel moyen observé depuis les années 80 est de 5 %.

Le marché des centrales électriques est aujourd'hui concentré en Asie et en Amérique latine. Cinq compagnies se le partagent au niveau international. Les données pour 1999 faisaient état de 40000 à 45000 salariés et d'un chiffre d'affaires d'environ 1,6 milliard d'euros.

Potentiels

Selon la US Geothermal Association²⁷, le potentiel équipable pour la production d'électricité atteindrait 85 GW à l'horizon 2030 dont 45 pour le seul continent américain, 25 pour l'Asie du Sud-Est et 10 pour l'Afrique de l'Est.

Le World Energy Assesment 2000, quant à lui, présentait les valeurs suivantes (toutes applications confondues) qui sont considérables:

- Gisement théoriquement disponible (chaleur disponible à moins de 5 km de profondeur): 140 millions d'Exajoules (EJ).
- Ressource accessible: 600000 EJ.
- Ressource (économiquement accessible en 50 ans): 5000 EJ soit plus de 120 gtep.
- Ressource économiquement accessible en 10 à 20 ans: 500 EJ, soit 12 Gtep.

Bilan des énergies renouvelables électriques

Nous avons rassemblé ici, sous forme d'un tableau, les caractéristiques de production de coûts et les marchés annuels des différentes technologies de production d'électricité renouvelable.

Ce tableau montre la diversité des situations rencontrées, avec des productibles annuels qui varient d'un facteur 7 à 8 entre les technologies solaires (photovoltaïque et thermodynamique) et géothermiques ou hydraulique

25. World Geothermal Council, 2005.

26. «Renewables, Global Status Report», REN21, 2006.

27. In «Renewables for power generation», AIE 2003.