

21 OCT 2015

Article de recherche

ÉNERGIE, ENVIRONNEMENT

La géothermie profonde : un potentiel peu exploré



Joel M. Zinsalo



Louis Lamarche





RÉSUMÉ:

Vous connaissez peut-être la géothermie, cette source d'énergie provenant du sous-sol terrestre qui permet de réchauffer et climatiser les bâtiments. Connaissez-vous la géothermie profonde qui permet de produire chaleur et électricité? Cette source d'énergie peu exploitée s'avère une alternative prometteuse d'énergie verte pour répondre à la demande énergétique mondiale toujours en croissance. Cet article présente les caractéristiques de cette technologie, les pays où elle est déjà utilisée et le potentiel du Canada. Un deuxième article portant sur les types de procédés et intitulé Production d'électricité par la géothermie profonde : les technologies utilisées suivra sous peu.

Introduction

La consommation énergétique mondiale ne cesse de s'accroître en raison de l'augmentation globale de la population et du développement industriel. Du point de vue énergétique, le XXI^e siècle se doit d'être un siècle de transition énergétique, voire de rupture avec l'utilisation des énergies fossiles. Ce siècle aura à résoudre la croissance inéluctable de la demande énergétique mondiale et son surcoût, ainsi que les effets du changement climatique.

Le scénario présenté par l'Agence internationale de l'énergie prévoit un taux annuel de croissance moyen de 1,6 % pour les 25 prochaines années (Lemale, 2009). On doit tenir compte de la croissance démographique et économique, notamment dans les pays émergents. Il est clair que les énergies fossiles ne seront plus à même d'assurer la totalité de la demande énergétique dans des conditions économiques et environnementales satisfaisantes. En effet, le secteur énergétique des énergies traditionnelles est responsable aujourd'hui d'environ 65 % des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique (Lemale, 2009). Les principaux soucis sont liés au nombre accru d'événements

climatiques (comme les périodes de sécheresse qui peuvent avoir un impact sur les ressources hydroélectriques), au tarissement des ressources d'hydrocarbures dont l'exploitation ne cesse d'augmenter les émissions de gaz à effet de serre et à la sécurité des installations de production d'énergie nucléaire. La préoccupation actuelle est la réduction de la consommation d'énergie et le choix d'énergies renouvelables dont les impacts environnementaux sont très faibles.

La géothermie

« La géothermie est l'utilisation de la chaleur naturelle de la Terre, en tant que source d'énergie locale, concurrentielle, durable et acceptable du point de vue écologique et social, pour produire de l'électricité et pour les applications directes de la chaleur » (Sommet mondial UNESCO, Paris 1993, citée par Lemale, 2009, p. 3). L'utilisation la plus connue de la géothermie est le chauffage et la climatisation des bâtiments. L'énergie géothermique provient des structures volcaniques, de la désintégration des matières radioactives dans les roches. L'énergie géothermale peut être valorisée au moyen de différents procédés qui se distinguent essentiellement par la profondeur et la température de la ressource. Plus le réservoir géothermique est profond, plus la température est élevée et plus elle peut être exploitée comme source renouvelable d'électricité et couvrir une bonne part de la charge de base de la population. On classe habituellement la géothermie en trois types : peu profonde, profonde et très profonde (voir le tableau 1).

Type	Profondeur du forage	Température	Utilisation
Géothermie peu profonde à basse température	< 400 m	< 32 °C	Climatisation Chauffage collectif Chauffage individuel Eau chaude sanitaire
Géothermie profonde à haute température	< 7 km	< 150 °C	Électricité Chauffage urbain Chauffage industriel
Géothermie très profonde à très haute température	> 7 km	> 150 °C	Électricité Chauffage industriel

Tableau 1 Types de géothermie et principales utilisations

La géothermie profonde dans le monde

La production d'électricité à partir de sources géothermiques a été développée il y a une centaine d'années. Les premiers essais de production à partir de vapeur ont eu lieu à Lardarello, en Italie, en 1904. Le développement s'est ensuite concentré à l'échelle mondiale sur les régions volcaniques offrant la possibilité d'atteindre des ressources chaudes (> 200 °C) à relativement faible profondeur et de produire de l'électricité directement à partir de vapeur sèche ou humide (Guzović, Majcen et Cvetković, 2012). À l'heure actuelle, l'essentiel de la production d'électricité d'origine géothermique se concentre toujours dans des pays bénéficiant d'un environnement géologique favorable à l'exploitation de tels systèmes. Il existe environ 200 unités de centrales binaires dans le monde, mais ce nombre ne cesse de croître (Bertani, 2012). La plupart des ressources géothermiques dans le monde sont à eau dominante, à des températures de moins de 150 °C et à des pressions inférieures à 15 bars (Barbier, 2002). La technologie du cycle binaire utilisant le cycle organique de Rankine (ORC) est la solution la plus efficace pour ce type de ressources (DiPippo, 2008). Les pays produisant de l'électricité par géothermie profonde sont montrés à la figure 1.

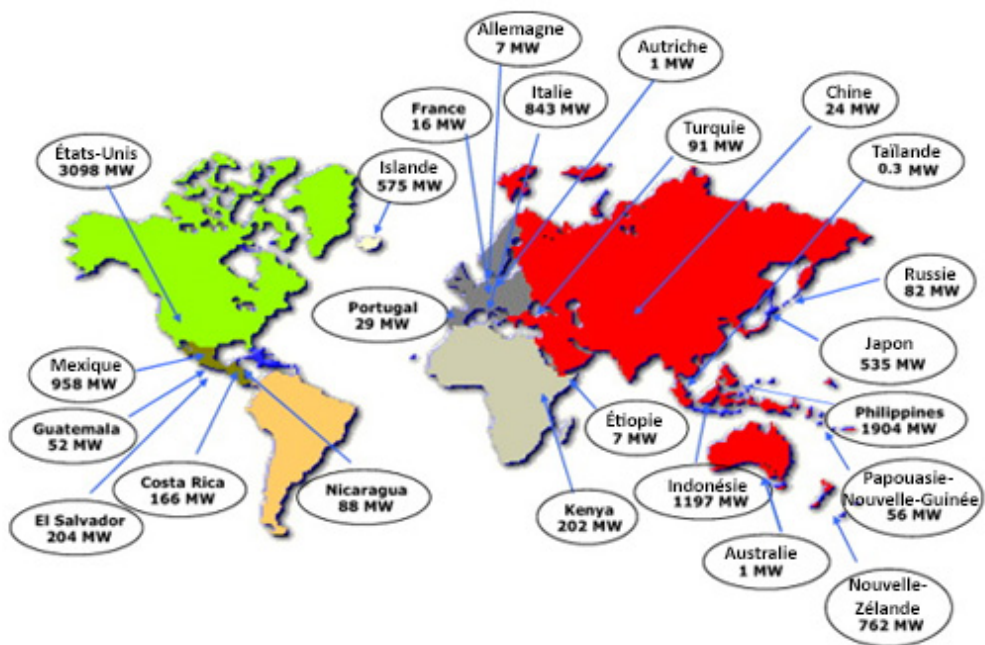


Figure 1 Énergie géothermique : capacité installée dans le monde (Bertani, 2010, traduction libre)

Le tableau 2 présente les centrales géothermiques en fonctionnement dans le monde.

Pays	Unités	Capacité installée (MW)	Énergie électrique produite GWh/an
Australie	2	1,1	0,5
Autriche	3	1,4	3,8
Chine	8	24,2	150,0
Costa Rica	6	165,5	1131,0
El Salvador	7	204,4	1422,0
Éthiopie	2	7,3	10,0
France	3	16,2	95,0
Allemagne	4	7,1	50,2
Guatemala	8	52,0	289,2
Islande	25	574,6	4597,0
Indonésie	22	1197,3	9600,0
Italie	33	842,5	5520,0
Japon	20	535,2	3063,5
Kenya	14	202,0	1430,0
Mexique	37	958,0	7047,4
Nouvelle-Zélande	43	761,6	4055,0
Nicaragua	5	87,5	310,0
Papouasie-Nouvelle-Guinée	6	56,0	450,0
Philippines	56	1904,1	10311,0
Portugal	5	28,5	175,0
Russie	11	81,9	440,7
Thaïlande	1	0,3	2,0
Turquie	5	91,1	489,7
États-Unis	210	3098,0	16603,4
Total	536	10897,8	67246,4

Tableau 2 Nombre de centrales géothermiques en fonctionnement, capacité installée et quantité d'énergie électrique produite selon le pays pour l'année 2010 (Chamorro et al., 2012, traduction libre)

Potentiel du Canada

Le Canada fait partie des plus grands consommateurs d'énergie, mais à ce jour, cette ressource insoupçonnée dort sous ses pieds. Toutefois, Hydro-Québec a le projet de construire une centrale géothermique pilote. Les formations géologiques étudiées au Québec sont : le bassin sédimentaire Basses-Terres du Saint-Laurent (Raymond et coll., 2012), les calcaires en Gaspésie et les dômes de sel des Îles de la Madeleine (Minea et Majorowicz, 2012b).

La grande majorité du territoire canadien est constituée de roches chaudes situées à plusieurs milliers de mètres sous la terre. Une évaluation préliminaire du potentiel géothermique de tout le territoire québécois, ainsi que la cartographie associée estimant les températures profondes de 3 à 10 km de profondeur, ont été réalisées. La figure 2 présente l'évaluation de Minea et Majorowicz (2012a) concernant le potentiel géothermique de la partie ouest de la vallée du Saint-Laurent (région peuplée comprenant Montréal, Trois-Rivières, Québec, Rimouski et Sherbrooke) pour le système géothermique amélioré (EGS).

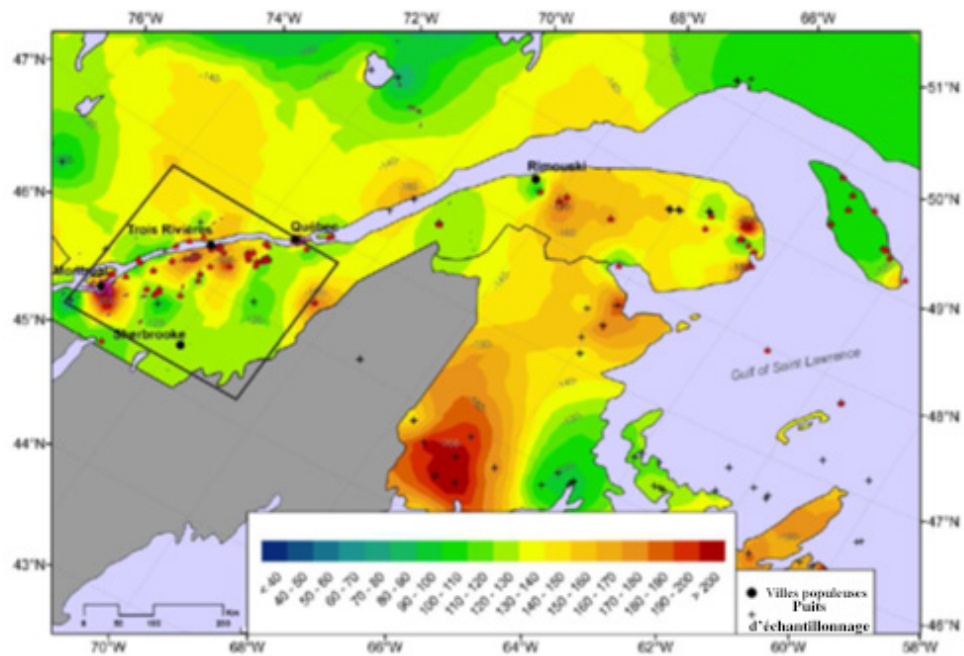


Figure 2 Températures à 7 km de profondeur de la partie ouest de la vallée du Saint-Laurent (Minea et Majorowicz, 2011., traduction libre).

Coût d'investissement de la géothermie profonde

Le tableau 3 suivant permet de comparer les coûts d'investissement de la géothermie profonde à ceux d'autres types d'énergie.

Caractéristiques d'une centrale*

CENTRALE	COMBUSTIBLE	CAPACITÉ	DURÉE DE VIE ÉCONOMIQUE	COÛT D'INVESTISSEMENT	COÛT ANNUELISÉ D'INVESTISSEMENT	COÛT VARIABLE E&M	COÛTS FIXES E&M	TAUX EFFICACITÉ/ CHALEUR	
		MW	ANNÉES	USD/MW	USD/kW/An	USD/MWh	USD/kW/An	%	BTU/kWh
DSR	HFO	20	20	1 900	257	7,5	47	43	7 862
Turbine à vapeur	HFO	200	25	2 500	321	2,1	34	31	11 006
Turbine à vapeur	Charbon	250	25	2 250	289	2,1	34	32	10 663
Turbine à combustion	GN	100	20	730	99	2,4	9,8	28	12 186
Turbine mixte	GN	150	25	1 500	192	1,5	24,5	53	6 438
Turbine mixte	GLN	150	25	1 500	192	1,5	24,5	53	6 438
Turbine mixte	FO #4	150	25	1 500	192	1,5	24,5	53	6 438
Turbine à combustion	FO #4	100	20	800	108	2,5	12	28	12 186
Petite éolienne	Éolienne	0,5	30	2 260	282	4	55		
Grande éolienne	Éolienne	1,5	30	1 700	212	2	35		
Petite Centrale hydraulique	Hydro	20	40	2 500	304	4	20		
Grande Centrale hydraulique	Hydro	500	50	2 800	337	1	15		
Centrale géothermique	Vapeur	50	30	3 000	374	2	35		

*Taux d'actualisation 12 %

Source | Fernando Lecaros.

Tableau 3 Comparaison des coûts entre différents types d'énergie (Gehring et Loksha, 2012)

Conclusion

La géothermie profonde permet une production d'électricité constante, jour et nuit, quel que soit le temps et l'utilisation directe de la chaleur par les résidences et les industries. Elle est une source d'énergie renouvelable qui s'adresse aux deux grandes filières énergétiques : production d'électricité et production directe de chaleur sans utilisation de pompes à chaleur. Le potentiel d'exploitation de l'énergie géothermique est très fort; elle demeure une source d'énergie renouvelable très compétitive. Pour une exploitation optimale de ce type de centrale, il importe de connaître les types de technologie appropriée à la température du fluide géothermal du réservoir géothermique.

Candidat au PhD à l'ÉTS au département de génie mécanique, Joël M. Zinsalo est membre de la Chaire de recherche industrielle en technologie de l'énergie et en efficacité énergétique et du Centre de technologie thermique.

Programme : Génie mécanique



Louis Lamarche

Profil de l'auteur(e)

Louis Lamarche est professeur au Département de génie mécanique de l'ÉTS. Ses recherches portent sur le transfert de chaleur, la simulation de systèmes énergétiques et mécaniques, la géothermie et l'instrumentation.

Programme : Génie mécanique

CACHER LES RÉFÉRENCES

AFFICHER LES RÉFÉRENCES DES IMAGES

VOIR LES COMMENTAIRES

Références

Barbier, Enrico, 2002. « Geothermal Energy Technology and Current Status: an Overview », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 6, no 1-2, pp. 3-65.

Bertani, Ruggero, 2010. « Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report ». Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25-29 April. 41 p.

Chamorro, César R. et al. 2012. « World Geothermal Power Production Status: Energy, Environmental and Economic Study of High Enthalpy Technologies ». *Energy*, vol. 42, no 1, pp. 10-18.

DiPippo, Ronald, 2008. *Geothermal Power Plants : Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*, 2nd ed. Amsterdam Boston London: Elsevier/Butterworth-Heinemann, xxiv, 493 p.

- Franco, Alessandro et Maurizio Vaccaro, 2014. « Numerical Simulation of Geothermal Reservoirs for the Sustainable Design of Energy Plants: a Review » . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 30, pp. 987-1002.
- Frick, Stephanie, Martin, Kaltschmitt et Gerd, Schröder, 2010. « Life Cycle Assessment of Geothermal Binary Power Plants Using Enhanced Low-Temperature Réservoirs ». *Energy*, vol. 35, no 5, pp. 2281-2294.
- Guzović, Zvonimir, Boris Majcen et Svetislav Cvetković, 2012. « Possibilities of Electricity Generation in the Republic of Croatia from Medium-Temperature Geothermal Sources » . *Applied Energy*, vol. 98, no 0, pp. 404-414.
- Lemale, Jean, 2009. *La géothermie*. Paris: Dunod , Ed. Le Moniteur, 307 p.
- Minea, Vasile, et Jacek Majorowicz, 2011. « Assessment of Enhanced Geothermal Systems Potential in Québec, Canada » . AAPG/SPE/SEG Hedberg Research Conference, 5 p.
- Minea, Vasile, et Jacek Majorowicz, 2012a. « Preliminary Assessment of Deep Geothermal Resources in Trois-Rivieres Area, Quebec » . Transactions – Geothermal Resources Council : Geothermal Resources Council, vol. 36 1, pp. 709-715.
- Minea, Vasile, et Jacek Majorowicz, 2012b. « Preliminary Assessment of Deep Geothermal Resources in Trois-Rivières Area, Québec » . *GRC Transactions*, vol. 36, pp. 1-13.
- Raymond, Jasmin et al. 2012. « Assessing the Geothermal Potential of the St-Lawrence Lowlands Sedimentary basin in Quebec, Canada » . IAH Congress, 8 p.

Domaines d'expertise :
[Géothermie](#)
[Instrumentation](#)
[Simulation de systèmes énergétiques](#)
[Simulation de systèmes mécaniques](#)



SUBSTANCE

ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE
ET INNOVATION DE L'ÉTS

CATÉGORIES

AÉROSPATIALE

AIDE À LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉNERGIE

ENTREPRENEURIAT ET GESTION

INFRASTRUCTURES ET MILIEUX BÂTIS

L'EXPÉRIENCE ÉTS

MATÉRIAUX ET FABRICATION

TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS

SANTÉ

ROBOTIQUE

À PROPOS

À PROPOS

NOUS JOINDRE

ÉVÉNEMENTS

POLITIQUE ÉDITORIALE