

01 MAI 2017

Article de recherche

ÉNERGIE, ENVIRONNEMENT

Produire de l'électricité par géothermie profonde

 Joel M. Zinsalo

 Louis Lamarche





L'image d'en-tête a été achetée sur Istock.com. Des droits d'auteur s'appliquent.

RÉSUMÉ:

La géothermie profonde permet de produire de l'électricité... mais comment? Ce second article permet de comprendre les technologies utilisées en géothermie profonde pour produire de l'électricité.

Introduction

Le premier article intitulé *La géothermie profonde : un potentiel peu exploré* présente cette source d'énergie renouvelable encore peu connue. Ce second article explique les technologies utilisées pour produire de l'électricité par géométrie profonde.

La géothermie profonde consiste à capter la chaleur contenue dans la croûte terrestre en vue de produire du chauffage lorsque la température est inférieure à 90 °C, ou même de l'électricité dès lors que la température est comprise entre 90 °C et 150 °C. Le transport de la chaleur du sous-sol se fait au moyen d'une circulation d'eau dans un circuit. La production d'électricité nécessite au moins deux forages profonds dont l'un pour l'extraction du fluide géothermal et l'autre pour la réinjection de l'eau refroidie dans le sous-sol. Différentes technologies peuvent être utilisées pour produire l'électricité.

La première et la plus importante étape pour concevoir une centrale géothermique est l'évaluation précise du potentiel géothermique, ainsi que de la prédiction de la réponse du réservoir à des configurations d'exploitation industrielle données (Franco et Vaccaro, 2014).

Types de réservoirs géothermiques

La production d'électricité par géothermie profonde peut être faite par l'exploitation de la chaleur de l'eau chaude présente naturellement dans le sous-sol : c'est la géothermie hydrothermale où les ressources énergétiques sont dites conventionnelles. La chaleur peut être aussi extraite des roches profondes fracturées hydrauliquement par injection d'eau sous forte pression : c'est la géothermie pétrothermale où les ressources énergétiques sont dites non conventionnelles et le système géothermique est appelé système géothermique amélioré (voir la figure 1).

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. Les développements se sont ensuite concentrés à l'échelle mondiale sur les régions volcaniques offrant la possibilité d'atteindre des ressources chaudes ($>200\text{ °C}$) à relativement faible profondeur et de produire de l'électricité directement à partir de vapeur sèche ou humide (Guzović, Majcen et Cvetković, 2012). L'essentiel de la production d'électricité d'origine géothermique se concentre à l'heure actuelle dans des pays bénéficiant d'un environnement géologique favorable à l'exploitation de tels systèmes.

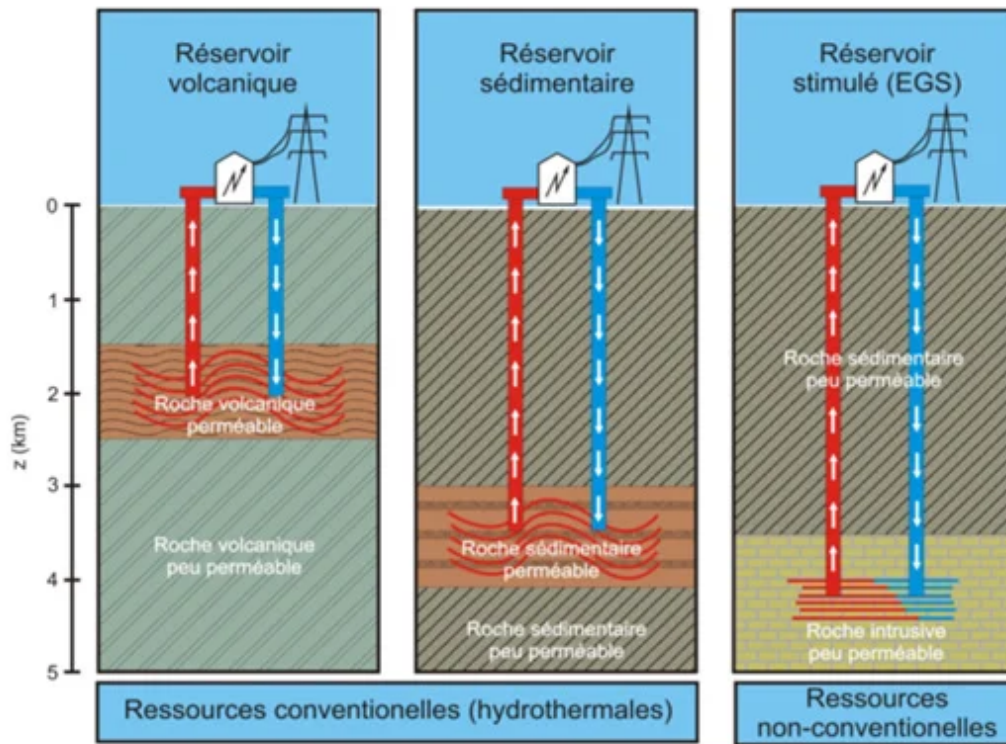
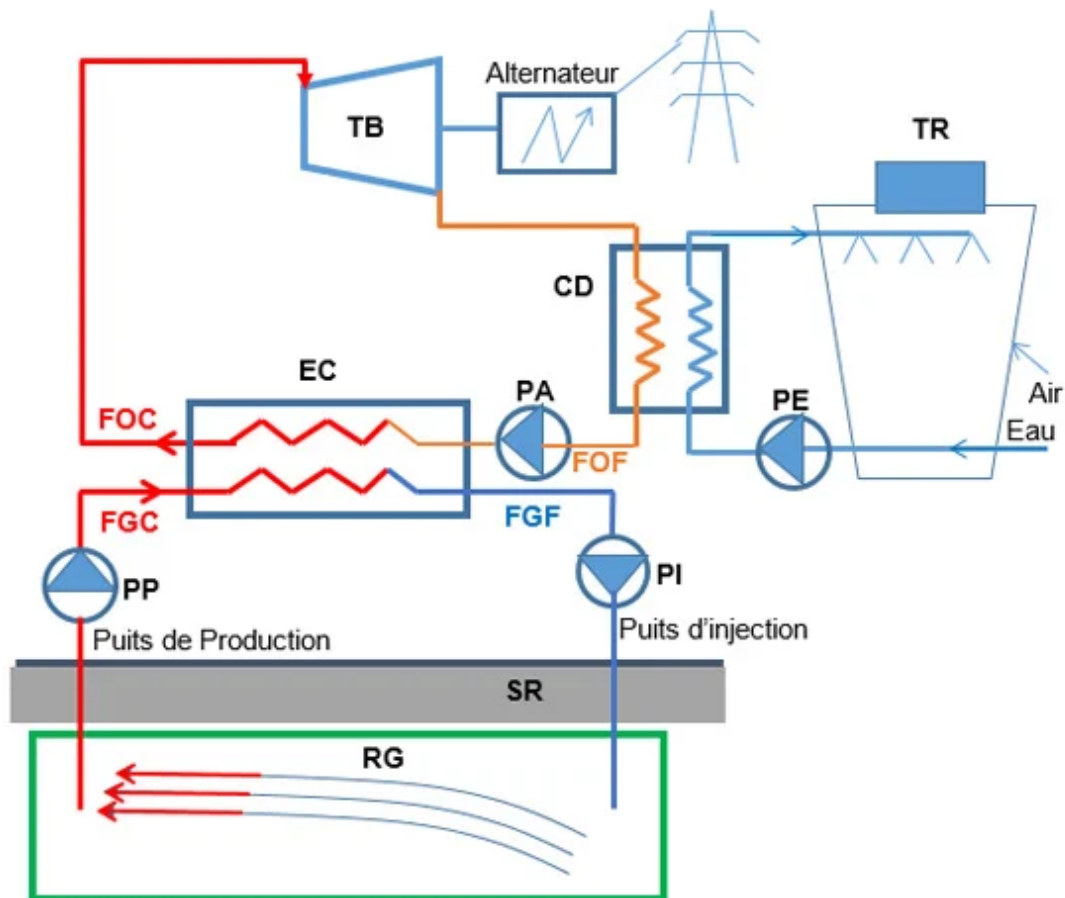


Figure 1 : Différents types de Réservoirs géothermiques

Le système géothermique amélioré

Le système géothermique amélioré (EGS) est un nouveau type de technologie ne nécessitant pas de sources hydrothermales naturelles et destiné à la production d'électricité à partir de l'eau circulant dans les roches à haute température à de grandes profondeurs. Le principe est très simple. Il consiste à créer dans des roches chaudes et sèches (HDR) des sources hydrothermales par stimulation hydraulique. Le système commence par l'injection d'eau froide dans le sol via un puits d'injection. Cette injection d'eau fait augmenter la pression de l'eau au sein du réservoir (granite) qui, sous l'effet de cette forte pression, se fissure; l'eau absorbe la chaleur de la roche à haute température, le sous-sol devient plus perméable. L'eau injectée parcourt les fractures dans le réservoir géothermique, capturant ainsi sa chaleur jusqu'à ce que, devenue très chaude et à haute pression, elle achemine la chaleur via le puits de production vers l'évaporateur où le fluide secondaire absorbe la chaleur du fluide géothermal.

Le fluide secondaire, dans un cycle organique de Rankine (ORC), se vaporise à une température inférieure à 100 °C et permet ainsi de faire tourner une turbine pour produire de l'électricité à l'aide d'une turbine. Le fluide secondaire détendu dans la turbine est refroidi par un condenseur avant de repasser dans l'échangeur (évaporateur) et le cycle recommence. Le fluide géothermal, en transmettant ses calories au fluide secondaire, est renvoyé dans le réservoir géothermique et la source géothermique est ainsi renouvelée. Ce procédé est schématisé à la figure 2.



EC : Echangeur de Chaleur **TB** : Turbine **CD** : Condenseur
PE : Pompe d'eau de refroidissement **TR** : Tour de refroidissement
PA : Pompe d'alimentation **PP** : Pompe de production **PI** : Pompe d'injection
RG : Réservoir géothermique **FGC** : Fluide géothermique chaud
FGF : fluide géothermique Froid **FOC** : Fluide organique chaud
FOF : Fluide organique froid **SR** : Sous-sol rocheux

Figure 2 : Centrale géothermique à cycle binaire

Il existe d'autres systèmes pour produire de l'électricité lorsque la température de la source est de l'ordre de 200 °C.

Centrale géothermique à vapeur sèche

La vapeur sortant du puits géothermique alimente directement une turbine pour produire de l'électricité (Guzović, Majcen et Cvetković, 2012). Utilisée en Californie aux États-Unis, en Italie, en Indonésie, au Japon et en Nouvelle-Zélande, cette technologie nécessite que le fluide géothermal soit de la vapeur sèche (Gehring et Loksha, 2012). La figure 3 montre les principaux composants d'une centrale géothermique à vapeur sèche.

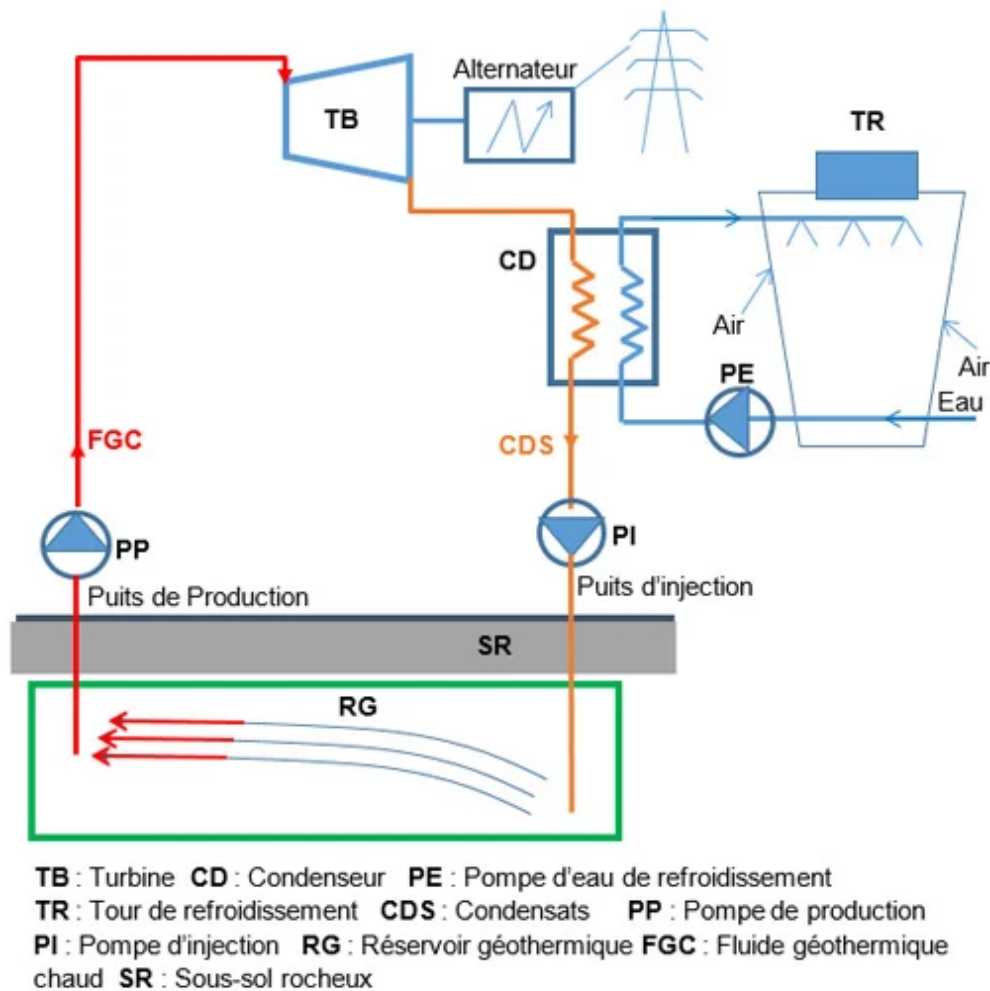


Figure 3 : Centrale géothermique à vapeur sèche

Centrale géothermique simple flash

Dans un réservoir géothermique, le fluide géothermal peut-être un mélange de liquide-vapeur à température supérieure à 200 °C et la technologie simple flash est utilisée pour produire de l'électricité (Gehring et Loksha, 2012). Dans ce cas, une détente partielle du mélange est faite dans un séparateur pour en évaporer une partie qui est envoyée vers la turbine; la partie liquide est réinjectée dans le réservoir via un puits d'injection. Les principaux composants de ce type de centrale sont indiqués à la figure 4.

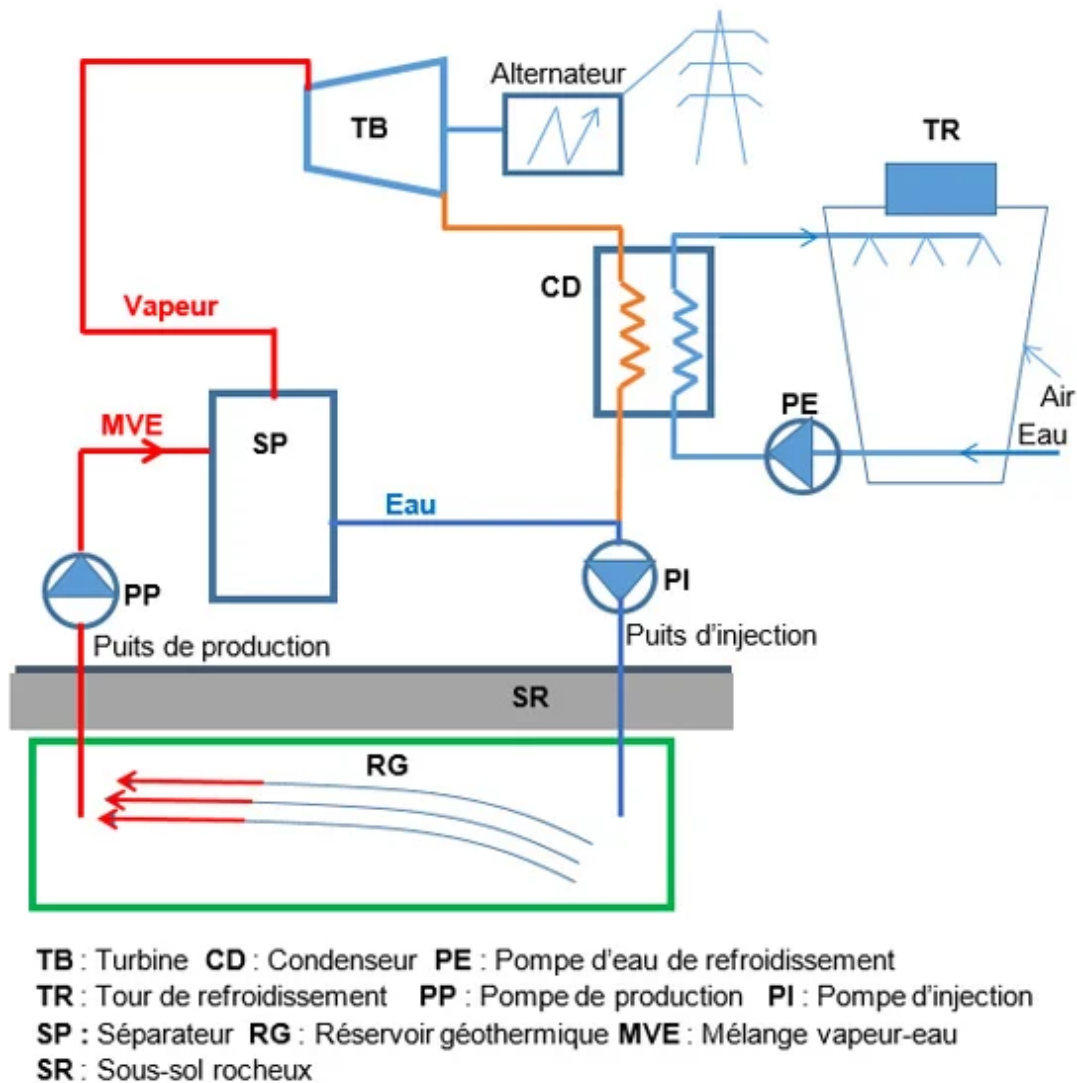


Figure 4 : Centrale géothermique simple flash

Centrale géothermique double flash

Dans la centrale géothermique double flash, le mélange liquide-vapeur est détendu dans deux séparateurs successifs, à deux niveaux de pression différents, en vue d'augmenter la performance de la centrale géothermique (Guzović, Majcen et Cvetković, 2012). Cette technologie optimise l'utilisation des ressources géothermiques et l'efficacité énergétique de la centrale s'en trouve améliorée. Par contre, elle implique un accroissement du coût d'exploitation (Gehring et Loksha, 2012). Une étude économique exhaustive s'avère donc indispensable avant la mise en œuvre de ce type de technologie (Gehring et Loksha, 2012). La figure 5 présente une centrale géothermique double flash.

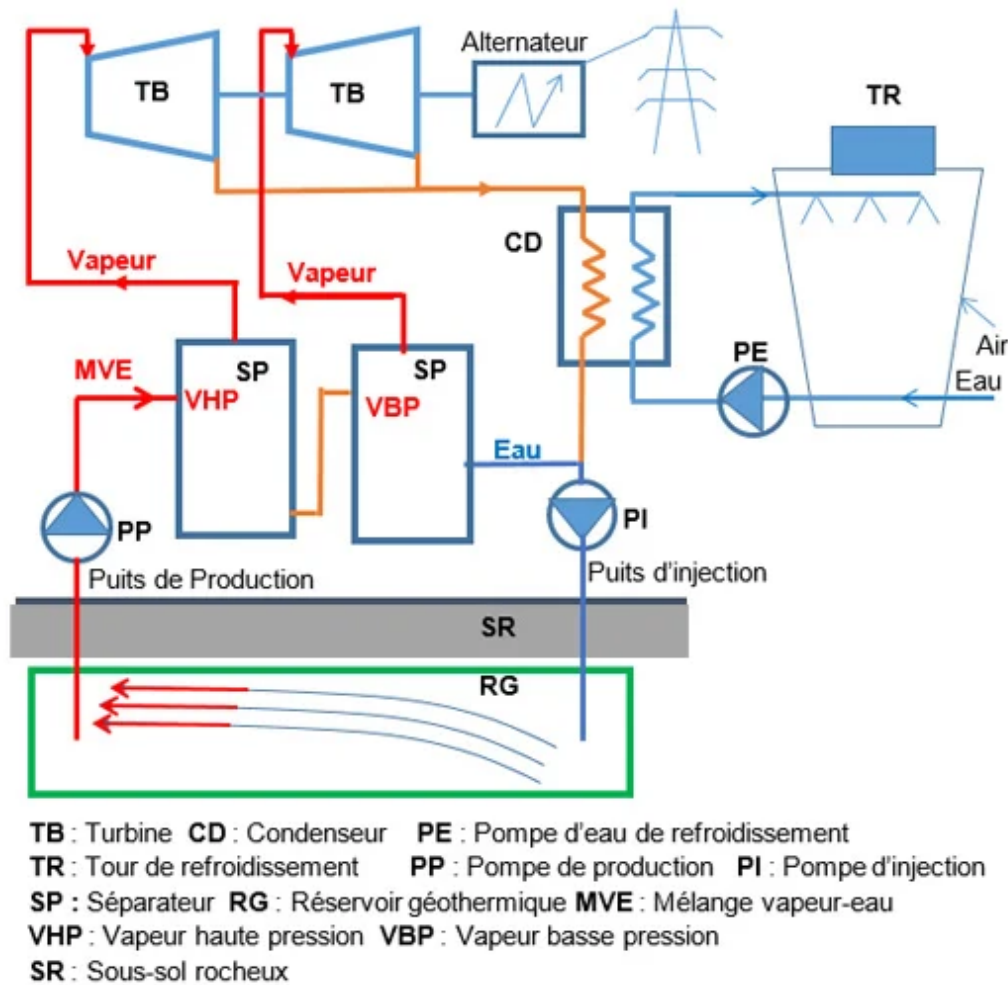


Figure 5 : Centrale géothermique double flash

Conclusion

La plupart des ressources géothermiques existantes 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 la production d'électricité à partir de ces ressources (DiPippo, 2008). Dans le cas des centrales binaires, une variation des propriétés des ressources géothermiques pourrait également conduire à une fin rapide de la vie de la centrale.

La première et la plus importante étape pour concevoir une centrale géothermique est l'évaluation précise du potentiel géothermique, ainsi que de la prédiction de la réponse du réservoir à des configurations d'exploitation industrielle données (Franco et Vaccaro, 2014). La performance des centrales géothermiques binaires utilisant le cycle de Rankine, est le résultat non seulement d'une optimisation technique, mais aussi d'une correspondance entre les caractéristiques du réservoir et de la solution technique adoptée. C'est pour cette raison que la simulation numérique du réservoir géothermique est capitale.



Joel M. Zinsalo

[Profil de l'auteur\(e\)](#)

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.

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.

Gehringer, Magnus et Victor Loksha, 2012a. *Guide Géothermique : planification et financement de la production d'énergie*. Programme d'assistance à la gestion du secteur énergétique, Banque Mondiale, 170 p. Document en ligne <https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/ESMAP_Geothermal%20Handbook_FRENCH.pdf>.

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.

Raymond, Jasmin (2015). « La géothermie au Canada : problématiques et opportunités de recherche ». Document en ligne < <http://claudemtm.inrs.ca/cours/energie/JRaymond/geothermie1.pdf> >. Consulté le 30 septembre 2015.

Domaines d'expertise : Géothermie Transfert de chaleur



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