

# Proposition de stratégies de développement des ressources géothermales basées sur une économie circulaire à Madagascar

Lala Andrianaivo

Université d' Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique, Département Ingénierie pétrolière, BP 1500, Antananarivo 101, Madagascar. E-mail: [andrianaivol@gmail.com](mailto:andrianaivol@gmail.com) & [andrianaivo@univ-antananarivo.mg](mailto:andrianaivo@univ-antananarivo.mg)

Voahanginirina J. Ramasiarinoro

Université d' Antananarivo, Faculté des Sciences, DST, Laboratoire de Géotechnique, BP 906, Antananarivo 101, Madagascar.

## RESUME

Dans le contexte de crise d'énergie, au cours des dernières années, Madagascar commence à préconiser vigoureusement le développement de nouvelles sources d'énergies y compris l'énergie géothermique.

Comparée avec les autres pays développés dans l'exploitation minière et l'utilisation des ressources géothermales, les techniques et les moyens utilisés dans le pays sont encore rudimentaires. Pour résoudre ce problème, après avoir analysé la situation de base des ressources géothermales à Madagascar, cet article introduit premièrement une nouvelle perspective, la Perspective de l'Économie Circulaire. Nous analysons par la suite les rôles que le gouvernement et les entreprises devraient jouer dans le processus de créer une industrie géothermique pleine de compétitivité internationale par "le modèle Diamant" établi par Porter et construire un cycle modèle de tout le cycle de vie entier des produits des ressources géothermales sur la base du développement industriel.

Cet article propose une stratégie de développement de base des ressources géothermales de Madagascar dans les prochaines 20-40 années de la façon suivante: éclaircir les fonctions du gouvernement, cultiver les sujets des marchés, créer une économie circulaire orientée sur l'industrie des ressources géothermales qui est pleine de compétitivité internationale dans une économie de marché organisée et forme la nouvelle économie d'énergie, en particulier l'économie des ressources géothermales.

**Mots-clés:** Stratégie, développement, ressources géothermales, économie circulaire.

## 1. CARACTÉRISTIQUES DES RESSOURCES GÉOTHERMALES DE MADAGASCAR

Les ressources géothermales sont les occurrences d'énergies thermiques dans les roches et le fluide géothermal et leurs composants utiles concomitants dans la croûte qui peuvent être exploités économiquement et peuvent être utilisés par les êtres humains dans les situations courantes de la technologie, l'économie et l'environnement géologique. L'énergie géothermique, le solaire, l'énergie du vent, l'énergie de la marée, la bioénergie et l'énergie des océans sont appelées énergies alternatives renouvelables dans la totalité. Comparée avec le solaire, l'énergie du vent, l'énergie de la marée, la géothermie est l'énergie la plus potentielle de ces énergies alternatives. L'énergie géothermique est une importante ressource d'énergie renouvelable. Ce sera une énergie propre et inépuisable si nous adoptons une mode de développement adéquate.

Selon la température du réservoir (Nicholson, 1993), les ressources géothermales peuvent être divisées en haute température ou haute enthalpie type ( $>150^{\circ}\text{C}$ ), moyenne enthalpie ( $90-150^{\circ}\text{C}$ ) et basse enthalpie ( $<90^{\circ}\text{C}$ ). Nous devrions aussi noter que l'énergie géothermique à faible profondeur appartient aux ressources géothermiques.

Dans le contexte global, Madagascar est un pays relativement riche en ressources géothermales avec environ 117 sources thermales répertoriées (Gunnlaugsson et al, 1981). La distribution de sources chaudes, les sources de chaleur et la nature des réservoirs géothermiques sont contrôlées par les structures géologiques. Les régions géothermiques peuvent être divisées en trois sections: terrain volcanique, zone de faille, et bassin sédimentaire. Les ressources et les systèmes géothermales sont de deux types: volcano-tectonique et tectonique (Andrianaivo, 2011). Les régions géothermiques de basse à moyenne énergie sont largement étendues dans le pays. L'usage de ces ressources est limité à la balnéothérapie et le tourisme (bien-être, loisir et récréation, etc.) (Andrianaivo & Ramasiarinoro, 2014).

De loin, il y a plus que 100 pays qui exploitent et utilisent leurs ressources géothermales et ces données augmentent environ de 12% par an. En 2015, il est attendu que le montant d'utilisation de l'énergie géothermique sera de l'ordre de 40%-80% de la valeur totale de l'énergie du monde.

Bien que nous gagnions beaucoup en utilisant les ressources géothermales, il existe des problèmes dans le développement et l'exploitation des ressources entre autres:

1. L'investigation nationale et l'évaluation ne sont pas avancées et l'estimation des réserves n'est pas exacte ;
2. Le niveau d'exploitation et d'utilisation est bas et il y a de sérieux gaspillages des ressources;
3. Les constructions rudimentaires et l'exploitation dans quelques sites résultent des crises potentielles de la destruction des ressources ;
4. Il y a l'imperfection du système de gestion nationale, l'absence de législation adéquate et la précarité du mécanisme de marché;
5. Malgré les efforts déployés par les géothermaliens de l'Université d'Antananarivo, l'aspect du système d'ingénierie géothermique est encore au stade du début.

Dans les circonstances de faire face à la "crise d'énergie", le point vue "développement scientifique" et "l'économie

circulaire” proposé dans cet article, l’utilisation des ressources géothermales sera vigoureusement et efficacement un aspect important d’application de l’énergie courante à Madagascar.

## 2. LA PROPOSITION D’ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Le modèle économique linéaire “extraire-produire-consommer-jeter” qui prévaut depuis la révolution industrielle, trouve aujourd’hui ses limites face à la raréfaction des ressources, de l’emploi et de l’augmentation de la population mondiale. La prise de conscience collective a permis d’engager une réduction relative des impacts environnementaux. Ce ne peut être qu’une transition car cette réduction ne fait que reculer l’échéance. Un changement de modèle s’impose donc.

Les embryons de pensée sur l’économie circulaire ont été évoqués dans les années 1960 quand l’idée de la protection de l’environnement a été considérée comme une nécessité. En 1962, le livre de l’écologiste Rachel Carson a indiqué les risques que la biosphère et l’être humain devaient faire face. Le terme “économie circulaire” a été proposé en premier par l’économiste américain Kenneth E. Boulding (1966). Ce concept veut dire nous devrions changer l’économie traditionnelle qui compte sur la consommation de la ressource pour réaliser la croissance linéaire à une nouvelle économie qui compte sur le cycle de la ressource écologique pour réaliser le développement.

L’objectif de l’économie circulaire est bien de parvenir à découpler la croissance économique de l’épuisement des ressources naturelles par la création de produits, services, modèles d’affaire et politiques publiques innovants. Aussi l’objectif de l’économie circulaire est d’utiliser efficacement et circulairement les ressources. Sa caractéristique est un cycle de circuit fermé de matières et l’utilisation en cascade de l’énergie. L’économie circulaire est un genre de modèle économique qui fonctionne sous le modèle de cycle matériel et du courant de l’énergie dans un système écologique naturel. Elle exige que les activités économiques de la société humaine obéissent aux principes de l’écologie. Elle vise à réaliser le développement soutenable pour la société, l’économie et l’environnement à travers la diminution de l’émission des polluants par l’utilisation efficace du cycle de ressources. Elle s’appuie sur une logique de recherche de création de valeurs positives, économiques, sociales et environnementales, à chaque étape de la boucle matière (Fondation Ellen MacArthur, 2013 ; Encyclopédie écologique, 2013).

A partir de cette définition, nous pouvons montrer que cette économie circulaire remplace le type linéaire unidirectionnel de la chaîne industrielle auquel cas le modèle du type ressources-produits-détritus est remplacé par le type circulaire dont le modèle est du type ressources - produits-renouvelables. Dans cette optique, nous pouvons bien accomplir le développement harmonieux entre la nature et l’être humain ainsi que le développement coordonné entre la consommation des ressources et la croissance économique.

Ainsi, trois principes de l’économie circulaire sont considérés:

- 1) Réduction. Ce principe nous exige de développer l’efficacité de l’utilisation des ressources pour diminuer la consommation des ressources.

- 2) Réutilisation. Ce principe est destiné à étendre la période d’utilisation des produits aussi long que possible et utiliser les produits dans plusieurs cas. Ainsi, nous devrions faire attention à l’utilisation en cascade de l’énergie et l’extension de la chaîne industrielle.
- 3) Recyclage. Cela diminue même l’émission de gaz le plus possible jusqu’à zéro émission. Nous pouvons remplacer les ressources non renouvelables par les ressources renouvelables et encourager le développement de l’énergie géothermique, l’énergie la plus potentielle, et mettre la production sur la circulation écologique naturelle.

Pour résoudre les problèmes du risque croissant d’énergie et la détérioration de l’environnement naturel, nous proposons explicitement le développement de l’économie circulaire; et le prenons comme une façon importante d’ajuster la structure économique et la disposition économique pour la transformation du mode de la croissance économique.

Dans le prochain quinquennat, le gouvernement devra prendre en considération le développement de l’économie circulaire, la sauvegarde de la ressource et l’environnement sain comme stratégies de base.

D’après ces d’analyses, nous pourrions tirer une conclusion qui développe grandement les ressources géothermales et on pense que une structure de consommation de l’énergie sera un chemin nécessaire pour pratiquer l’économie circulaire et se rendre compte du développement soutenable.

## 3. DISCUSSION SUR LES STRATÉGIES DE DÉVELOPPEMENT DES RESSOURCES GÉOTHERMALES

La proposition d’économie circulaire applique une chance précieuse d’exploiter et d’utiliser les ressources géothermiques selon une demande croissante et que le développement de ressources géothermiques doit obéir au principe des “3R” susmentionné.

Ainsi, dans les prochaines décennies, une stratégie de développement de base des ressources géothermales est que, sous surveillance du gouvernement, nous devrions appliquer un mécanisme de marché flexible dans une sorte de recombinaisons ayant des liens avec les ressources géothermales, à savoir l’exploration, l’évaluation, le développement, l’utilisation, puis construire une industrie des ressources géothermales et forme une nouvelle économie d’énergie, en particulier l’économie des ressources géothermales. Pour analyser comment recombinaisons une chaîne d’industrie de l’industrie des ressources géothermales, cet article introduit “le modèle Diamant” de Porter et construit un modèle de cycle de tout le cycle de vie des produits des ressources géothermales sur la base du développement industriel.

En 1990, un économiste américain nommé Michael E. Porter a publié un livre intitulé “L’Avantage Compétitif de Nations”. Dans ce livre, il a construit un nouveau paradigme analytique à la compétitivité nationale. C’est le modèle Diamant (Porter, 1990).

Ce modèle peut répondre aux questions comme suit: Pourquoi est-ce que quelques pays sont prospères alors que

d'autres pays échouent dans la compétition internationale? Comment quelques industries peuvent gagner ardemment la compétitivité internationale? Il a amené sa recherche historique sur plusieurs centaines de genres d'industries dans huit pays avancés (Amérique, Angleterre, Suède, Japon, Italie, Allemagne et Danemark) et deux nouveaux pays industrialisés (Corée et Singapour). Dans cette recherche, il a conclu qu'un pays ou une industrie qui veut gagner l'avantage compétitif doit se concentrer sur quatre éléments clés. Ce sont les facteurs conditions, les conditions de la demande, les industries apparentées et secondaires et la stratégie d'entreprise, structure et rivalité. En plus de cela, il y a deux facteurs auxiliaires: gouvernement et chance (Porter, 1990). La dénomination du modèle Diamant vient du rapport du diamant constitué par ces quatre facteurs et des deux variables. Ce modèle est illustré dans la figure 1.

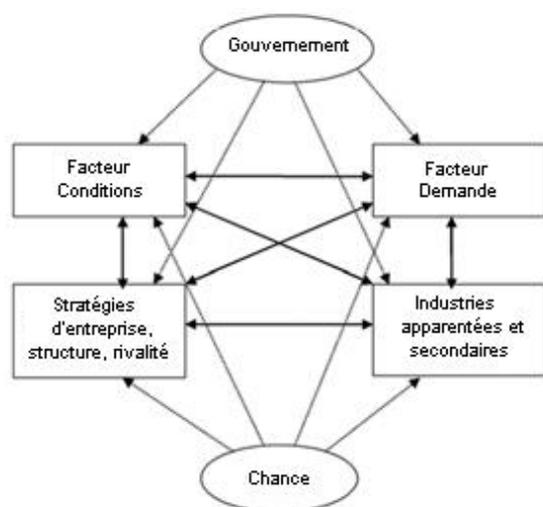


Figure 1: Le Model Diamant de Porter - les déterminants de l'avantage national (Porter, 1990)

### 3.1. Le facteur conditions

Porter a divisé le facteur conditions en facteur fondamental de production et facteur avancé de production. Quant aux attributs naturels des ressources géothermales, ils ne sont pas convenables pour le transport de longue distance. Ainsi, le principal marché de la demande pour les ressources géothermales est le marché domestique, particulièrement le marché local. La demande domestique inclut la structure, l'échelle et la croissance du marché. Pour l'industrie géothermique, la structure du marché peut être principalement divisée en centrale électrique géothermique et usage direct.

Madagascar n'est pas encore un pays producteur d'électricité géothermique et l'usage direct de la géothermie est très limité. Ainsi, dans les prochaines 20-40 années, nous devrions nous concentrer sur le marché de l'électricité géothermique y compris le développement de la technologie des centrales à fluide binaire. En même temps, nous devrions fortifier la recherche et l'extension de l'exploration et l'utilisation des technologies des ressources géothermales.

En plus de cela, nous devrions exploiter les marchés activement des petites îles éparses et fortifier la recherche et le développement de la technologie et le produit qui ont la

propriété intellectuelle indépendante comme la centrale géothermique utilisant la technologie d'expansion en spirale.

### 3.2. Les industries apparentées et connexes

Cet auteur pense que, pour une seule entreprise ou une seule industrie, il est dur de garder un avantage compétitif et c'est seulement la formation de groupes industriels efficaces et l'interaction positive entre les industries en amont et les industries en aval peuvent conserver un avantage compétitif industriel (Porter, 1990). Cette règle peut être appliquée à l'industrie géothermique. L'industrie majeure qui a des liaisons moins évoluées avec l'industrie géothermique est l'industrie de l'exploration des ressources.

L'exploration de ressources géothermales adopte principalement des genres de disciplines et de moyens comprenant la géophysique, la géochimie, l'hydrogéologie, la télédétection aéroportée. Le degré d'application de ces technologies d'exploration dans l'industrie géothermique correspond au niveau de développement de son industrie en amont qui est l'industrie de l'exploration des ressources. Pour certaines entreprises, l'industrie compétitive en amont peut fournir des matériels avancés et des technologies pour elles et tous ceux-ci sont d'importantes parties de la compétitivité industrielle.

Les industries qui ont des liaisons avancées avec l'industrie géothermique sont l'industrie de l'immobilier, l'industrie du tourisme, agriculture, l'industrie du textile, l'industrie des papiers, l'industrie du cuir et ainsi de suite. Le développement de l'industrie géothermique peut élargir la gamme d'applications et le niveau de ces industries en aval, et inversement le développement de ces industries en aval a fait avancer l'exigence pour l'industrie géothermique. Cette exigence aide l'industrie géothermique à garder un avantage pour lui-même et se rendre compte du développement sain et soutenable de lui-même.

Les industries qui ont des liaisons latérales avec l'industrie géothermique sont l'industrie du charbon, l'industrie du pétrole, l'industrie du gaz naturel, l'industrie hydroélectrique, etc. Elles appartiennent à l'industrie énergétique tout comme l'industrie géothermique. Ces industries énergétiques font communément des demandes pour l'exploration des ressources et certains moyens d'investigation peuvent être appliqués à une ou plusieurs sortes d'industries énergétiques.

Prenons comme exemple le choix de l'emplacement des forages géothermiques. Ayant obtenu de l'eau thermale à partir des sondages pétroliers, nous pouvons forer les puits là où il y a des puits d'exploration d'huile et de gaz. C'est le cas du site de Bezaha-Ranomay dans le Sud de Madagascar. Les données de la lithologie, la perméabilité et l'épaisseur de la nappe aquifère, la température de l'eau thermale et l'hydrochimie fournis par les puits d'exploration d'huile jouent un rôle important dans le guide de l'exploration et du développement des ressources géothermales.

Ces industries apparentées peuvent former un "effet de promotion". Sous la circonstance de la technologie active combinée qui explique la haute proportion et dans l'étape initiale du cycle de vie de l'industrie, cet effet sera considérable. Ainsi, le développement de l'industrie géothermique n'est pas isolé. Nous devrions développer l'industrie géothermique dans une large vision et

promouvoir le développement de l'industrie géothermique à travers la construction de groupes industriels.

### 3.3. Stratégie d'entreprise, structure et rivalité

C'est un exercice au sujet de la relation triangulaire de gestion d'entreprise proposée par Porter. Il inclut quelques questions comme comment fonder, organiser et diriger/gérer l'entreprise, comment faire face aux concurrents.

Les entreprises, considérées comme une micro-organisation dans le système industriel, jouent un rôle important dans la formation et le développement des industries. Selon l'orientation du développement des ressources géothermales, nous devrions fonder quelques entreprises géothermiques professionnelles qui ont une propriété bien définie, un parfait mécanisme de gouvernance, une maturité technologique et une méthode scientifique de gestion d'être responsable du développement et de l'utilisation des ressources géothermales par la prémisses de régler le marché de l'exploration et les droits miniers et assurer une exploitation bénéfique.

Nous devrions former un mode de gestion efficace du développement et de l'utilisation des ressources géothermales en suivant la politique de développer en protégeant et protéger en développant.

Nous pouvons encourager ces entreprises professionnelles à opérer suivant la loi du marché dans le but de faire attention aux avantages sociaux et aux bénéfices/avantages économiques et encourageant le développement économique local.

La compétition libre est la source de la compétitivité nationale. La compétition libre domestique ne peut pas seulement augmenter l'avantage compétitif des entreprises domestiques mais aussi les forcer à ouvrir des marchés extérieurs. La compétition libre entre entreprises géothermiques peut stimuler l'esprit créatif en elles-mêmes, intégrer une sorte de facteur conditions et fournir des forces continues pour la recherche technique du développement et de l'utilisation de ressources géothermales. Cela aide à développer grandement certaines technologies clés, y compris l'application de la technologie d'énergie géothermique peu profonde, la technologie de la roche chaude sèche, la technologie du cycle de Rankine, la technologie de l'irrigation en retour de l'eau géothermale et ainsi de suite, lesquelles sont en rapport avec la perspective de l'application de l'énergie géothermique.

### 3.4. Chance et gouvernement

D'un côté, au 21<sup>ème</sup> siècle, les pays dans le monde doivent faire face à la "crise d'énergie". La pénurie des combustibles fossiles devient progressivement la condition de la fondation qui contraint le développement de tous les pays. Chercher de l'énergie alternative devient une tâche difficile pour les pays.

De l'autre côté, le réchauffement de la planète a mené à la signature de la Convention des Nations Unies sur le Changement du Climat. Les émissions de carbone deviennent un indicateur critique. Le mode de développement traditionnel non-soutenable nous a amené à un accord selon lequel le développement de l'économie circulaire est le meilleur chemin. Dans cette optique, les ressources géothermales, considérées comme l'énergie la

plus potentielle des énergies alternatives, font face à une opportunité précieuse de développement. En même temps, nous devrions savoir que ces chances ne sont pas isolées et sont seulement liées avec d'autres facteurs dans le modèle Diamant où ils peuvent jouer un rôle positif.

Le gouvernement est le dernier variable dans le modèle du diamant. Porter pense que le gouvernement peut créer en dehors des industries compétitives non pas par lui-même mais en les unissant avec d'autres variables dans le modèle du diamant et en les guidant. Le rôle du gouvernement est de fournir un bon environnement pour le développement des industries et des entreprises. Pour être spécifique, le gouvernement devrait formuler trois fonctions majeures.

- 1) La première est une fonction administrative. Les gouvernements devraient faire attention non pas à l'opération d'hospitalisation mais à la gestion d'hospitalisation. Le SIG (Système d'Information Géothermique) peut être appliqué dans le champ de développement et d'utilisation des champs géothermiques.
- 2) La deuxième est une législation sûre. À cause du double attribut des ressources géothermales: attribut ressource en eau et attribut ressource minérale, il est essentiel de publier une loi de base sur les ressources géothermales qui peut régler certaines choses dans le champ de développement et d'utilisation de ressources géothermales. Entre-temps, il est supposé de compiler la planification et l'organisation de l'industrie nationale des ressources géothermales sur la base de l'investigation nationale et l'évaluation des ressources géothermales. Nous devrions inclure cette organisation dans le Plan de Développement National et la combiner avec d'autres plans, comme le plan de développement industriel et le plan de développement urbain, dans le but de régler macroscopiquement le développement des ressources géothermales et dans le but d'assurer des bénéfices ou avantages économiques et sociaux.
- 3) La dernière est le système construction. À travers une série d'arrangements institutionnels, nous pouvons élever le niveau de l'industrie des ressources géothermales et former un marché parfait d'exploration et des droits miniers. Nous pouvons allouer les ressources géothermales avec le mécanisme du marché, tel que vente aux enchères des ressources géothermales pleines de valeur commerciale et introduire des entreprises géothermiques qui peuvent rivaliser librement l'une avec l'autre. En plus de cela, nous devrions intégrer la filière financement, construire un système de risque préventif et encourager ou promouvoir la construction de sites de démonstration pour les ressources géothermales. Dans cette voie, nous pouvons créer de bons outils politiques et environnement du marché pour le développement et l'utilisation des ressources géothermales.

### 3.5. Proposition de modèle

D'après l'exigence du principe "3R" de l'économie circulaire et des analyses ci-dessus, cet article construit un

modèle de cycle de tout le cycle de vie des produits des ressources géothermales sur la base du développement de l'industrie (figure 2).

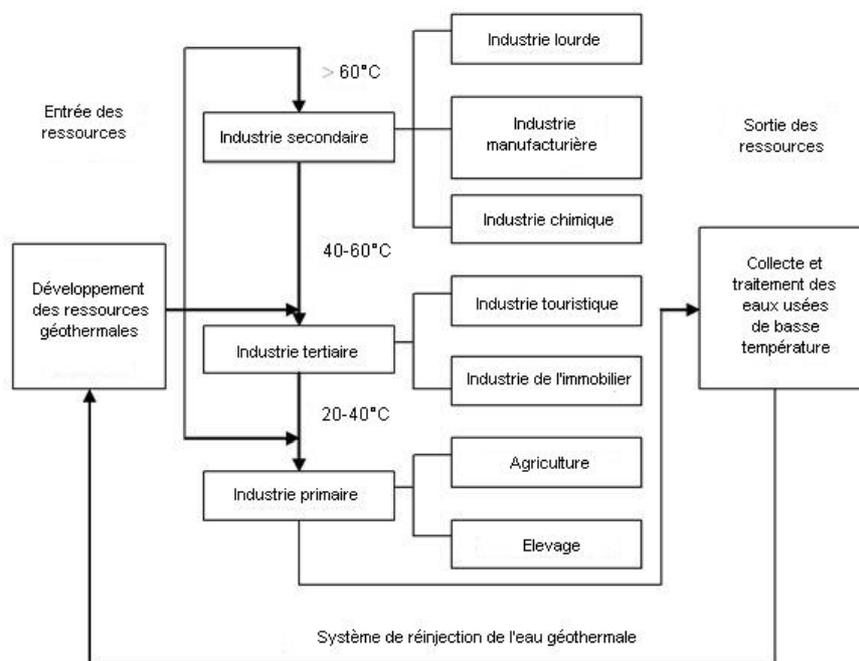


Figure 2 : Un modèle de cycle de tout le cycle de vie des produits des ressources géothermales sur la base du développement industriel

#### 4. CONCLUSION

Les ressources géothermales, considérées comme l'énergie la plus potentielle des énergies alternatives, joueront un rôle important dans 21<sup>ème</sup> siècle.

La proposition d'économie circulaire fournit une façon de développer scientifiquement les ressources géothermales pour nous.

Une stratégie de base du développement des ressources géothermales de Madagascar dans les prochaines 20-40 années se présente de la façon suivante: éclaircir les fonctions du gouvernement, cultiver les sujets des marchés, créer une économie circulaire orientée sur l'industrie des ressources géothermales qui est pleine de compétitivité internationale dans une économie de marché organisée et forme la nouvelle économie d'énergie, en particulier l'économie des ressources géothermales.

#### BIBLIOGRAPHIE

##### Périodique

Andrianaivo L., (2011): - Caractéristiques générales des systèmes et des régions géothermiques de Madagascar. *Madamines*, ISSN 2220-0681, 2, (2), 11-21

Andrianaivo & Ramasiarino, 2014 : - Importance des ressources géothermales naturelles sur le tourisme. *Mada-hary*, 1, (4), 19-33

##### Rapport

Gunnlaugsson, E., Arnorsson, S., and Matthiasson, M., (1981): Etude de reconnaissance des ressources géothermiques de Madagascar, *Projet MAG/77/014, Contrat 147/79 VIRKIR*, Traduction française, Vol.2 de 2, 1-101

##### Livre

Nicholson, K.: *Geothermal Fluids*. Springer Verlag, Berlin, XVIII -264 pp, (1993).

Porter, M.E.: *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press, New York, (1990, 1998).

Rachel Carson [1st. Pub. Houghton Mifflin, 1962]: *Silent spring*. Mariner Books, ISBN 0-618-24906-0, (2002)

Boulding, K.E.: *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. H. Jarrett (edits.), *Environmental Quality in a Growing Economy*, pp. 3-14. Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press. (1966).

##### Site Internet

Ellen MacArthur Foundation, (2013): *Circular economy*. Online Document, <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy>