

Possibilité De Développement De L'Energie Géothermique A Madagascar

Andriamifidisoa Miadana Vololomihaja¹, Andrianaivo Lala²

^{1,2}Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Petroleum Engineering Department, Laboratoire Exergie et Géoingénierie, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar

¹e-mail :vololomihaja@gmail.com



Résumé – La consommation d'énergie à Madagascar est faible par unité de personne, et sous développée en structure. La majorité de l'énergie électrique est actuellement fournie par des centrales thermiques et hydroélectriques à cause d'une demande croissante en électricité. Les prix élevés en carburant posent des contraintes au budget national et constituent pour l'instant un obstacle sérieux à la croissance économique pour un pays en développement comme Madagascar. Pour minimiser la dépendance sur les importations en énergie et conserver les devises étrangères, l'usage de sources d'énergies alternatives qui utilisent des ressources renouvelables est devenu d'une grande importance. Le développement de l'énergie géothermique paraît être la solution à long terme à ce problème.

La géothermie est une source d'énergie non polluante qui peut fournir de l'électricité à une échelle suffisamment grande pour apporter une contribution significative à nos besoins. L'énergie électrique géothermique de Madagascar serait de l'ordre de 5% des ressources hydroélectriques potentielles nationales. Il s'agit de plus de 350 mégawatts d'électricité qui sont répartis sur une dizaine d'emplacements, soit une économie de carburant fossile équivalente à 163 millions de barils de pétrole. Mais Madagascar n'est pas encore en mesure de développer sa demande d'électricité en utilisant l'énergie géothermique même à petite échelle. Chaque année, la demande d'énergie électrique augmente rapidement.

L'objectif global de cette étude est de développer l'énergie électrique géothermique en complément de l'hydroélectricité et d'autres sources d'énergie pour répondre à la demande énergétique des zones rurales et urbaines dans un environnement sain. Ce rapport donne une vue d'ensemble du secteur énergie à Madagascar et présente les opportunités et les défis, ainsi que la mise à jour du développement géothermique du pays.

Mots clés – Madagascar, exploration, ressources renouvelables , énergie géothermique, électricité, développement

Abstract – Energy consumption in Madagascar is low in per capita terms, and underdeveloped by structure. The electrical energy is currently predominantly on diesel generation and hydropower as consequence of an increasing demand for electricity. The high prices of oil are putting a strain on the national budget and constitute presently a serious hurdle to the economic growth for a developing country such as Madagascar. To minimize the dependency on energy imports and to save foreign currency, the use of alternate energy sources using renewable resources has become of great importance. Geothermal development seems to be the long term solution to this problem. Geothermal energy is a non-polluting energy source that can provide electricity on a large scale enough to make a significant contribution to our needs. Madagascar's geothermal electrical energy would be more than 5% of the national potential hydroelectric resources. This is more than 350 megawatts of electricity spread over a dozen locations, saving fossil fuel equivalent to 163 million barrels of oil. But Madagascar is not yet able to develop its demand for electricity using geothermal energy even on a small scale. Every year, the demand for electric power increases rapidly. The overall objective of the study is to develop geothermal energy to complement hydro and other sources of power to meet the energy demand of rural areas in sound environment. This report gives an overview of Madagascar energy sector and presents the opportunities, the challenges and the geothermal development update of the country.

Keywords – Madagascar, exploration, renewable resource , geothermal energy , electricity, ,development

I. INTRODUCTION

1.1. Notion d'énergie géothermique

L'énergie géothermique est l'énergie thermique générée par le noyau terrestre dont la température dépasse 6000 degrés Celsius et stockée dans la Terre. Le gradient géothermique, qui est la différence de température entre le noyau de la planète et sa surface, entraîne une conduction continue d'énergie thermique sous forme de chaleur du noyau vers la surface, la chaleur peut être utilisée pour la production d'électricité ou pour à des fins d'utilisation, comme le chauffage par pompes à chaleur géothermique et bien d'autres. La géothermie est une énergie verte, soutenable, durable et économique à long terme.

Avec des volcans éteints mais récents d'âge pliocène-pléistocène, Madagascar est dotée de ressources géothermiques non négligeables.

Les réserves d'énergie géothermique qui ont été étudiées à Madagascar ont le potentiel de produire jusqu'à plus de 350 mégawatts d'électricité (1MW = 106W), soit plus de 5 % des ressources hydroélectriques potentielles nationales ou l'équivalent de 163 millions de barils de pétrole [1].

Madagascar ne produit pas encore d'électricité géothermique. La lenteur de l'exploration et du développement causée par de nombreux obstacles font que le développement de l'énergie géothermique de Madagascar prend du retard par rapport à d'autres pays. Les obstacles les plus probables sont le manque de soutien du gouvernement (manque de politique), le coût d'investissement élevé, la culture locale et l'emplacement de certaines sources d'énergie principalement situées dans une zone de conservation qui est protégée de tout moyen d'exploration, de développement et d'exploitation. Le soutien du gouvernement et la collaboration des aides étrangères sont nécessaires pour accélérer et maximiser la production d'électricité à partir de l'énergie géothermique à Madagascar.

1.2. L'énergie géothermique comme source d'énergie renouvelable

Le développement de toute nature peut avoir des impacts environnementaux. Toute source d'énergie, renouvelable ou non, nécessitera des terres et des matériaux artificiels, mais les sources d'énergie renouvelables créent beaucoup moins d'impacts sur l'environnement que les sources traditionnelles de combustibles fossiles. La géothermie, en particulier, est unique dans sa capacité à produire peu d'impacts négatifs environnementaux, tout en assurant un haut niveau de fiabilité.

A titre d'exemple, vingt États et le District de Columbia ont des normes de portefeuille renouvelables (NPRs) qui exigent qu'un pourcentage de l'électricité fournie par les producteurs provienne de sources renouvelables. Pour de nombreux États, la géothermie peut être l'option préférée pour répondre aux NPRs : la géothermie est l'une des seules sources d'énergie renouvelables qui fournissent une puissance de base fiable. Lorsque la géothermie est utilisée en conjonction avec d'autres énergies renouvelables telles que l'éolien et le solaire pour répondre aux NPRs, la géothermie permet de garantir que l'énergie renouvelable est disponible sur une base cohérente, plutôt qu'intermittente.

L'objectif principal de cette étude est de développer l'énergie électrique géothermique en complément de l'hydroélectricité et d'autres sources d'énergies existantes (éolienne et photovoltaïque) pour répondre à la demande énergétique des zones rurales et/ou urbaines dans un environnement sain. Ce rapport donne une vue d'ensemble du secteur énergie à Madagascar et présente les opportunités et les enjeux, ainsi que la mise à jour du développement géothermique du pays.

II. SITUATION ENERGETIQUE DE MADAGASCAR

Madagascar a une capacité totale de production d'électricité installée de 810 mégawatts. La majeure partie de la capacité (production d'électricité par source) est issue de combustibles fossiles (37,04 %, importés) et de source hydraulique (62,96 %). Le taux de couverture nationale est d'environ 15% seulement et le taux d'accès en milieu rural est inférieur à 5% [2]. Le coût moyen de l'électricité pour les consommateurs domestiques est d'environ 0,14 USD par kilowattheure. Ce coût est principalement dû à l'utilisation de carburant diesel importé coûteux pour alimenter les centrales thermiques.

Compte tenu de la dépendance vis-à-vis des importations de pétrole et dans la perspective du développement à long terme du pays, Madagascar s'est fixé des objectifs ambitieux pour étendre l'accès à l'électricité. Dans les cibles, Madagascar prévoit d'augmenter le taux d'accès à l'électricité à 74% en milieu urbain et à 10% en milieu rural dans les prochaines années. L'approvisionnement en énergie proviendra de toutes les sources d'énergie possibles à Madagascar (solaire, hydraulique, éolienne, bioénergie).

Pour atteindre ces objectifs, Madagascar a élaboré la stratégie et la politique énergétique nationale. La politique énergétique nationale contient des déclarations de principe sur des questions telles que la tarification et les subventions de l'énergie, la gouvernance et la réglementation du secteur de l'énergie et le financement des investissements dans le secteur de l'énergie. La politique contient également une déclaration de politique distincte sur le sous-secteur de l'électricité, qui confirme l'engagement politique à améliorer l'accès à l'électricité, en particulier dans les zones rurales.

La stratégie énergétique nationale précise comment la transition énergétique à Madagascar sera réalisée compte tenu des impacts macroéconomiques de la consommation accrue de produits pétroliers et d'électricité. La stratégie souligne que les priorités du gouvernement visant à développer une économie fondée sur le savoir et à exploiter les ressources énergétiques indigènes contribueront à garantir que la consommation d'énergie moderne est compatible avec une augmentation durable des niveaux de revenu national.

Madagascar dispose d'un large éventail de ressources renouvelables susceptibles d'améliorer sa situation énergétique, telles que la géothermie, l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la micro hydraulique. Trois projets de microhydroélectricité sont développés par la société privée Hydelec SA : Sahanivotry 16,5 MWt, Maroantsetra 1,2 MWt et Mahitsy 12 MWt ([2]).

Actuellement, quatre mini et moyennes centrales hydroélectriques sont exploités par l'entreprise publique JIRAMA : Andekaleka 62 MWt, Mandraka 24 MWt, Telomita 8,2 MWt, Manandona 1,5 MWt.

Des études de microprojets hydroélectriques et géothermiques sont en cours. Par conséquent, la priorité est de développer d'autres ressources énergétiques indigènes du pays, telles que l'énergie géothermique, afin de répondre à la demande croissante d'énergie et de réduire les stations thermiques polluantes.

III. LA GEOTHERMIE A MADAGASCAR

3.1. Ressources géothermales de Madagascar

Madagascar abrite plusieurs indices indiquant la présence de ressources géothermales telles que des volcans (jeunes/dormants), des sources chaudes, des geysers, des monticules de travertin et des suintements.

Basés sur les études géologiques [3], géochimiques, géophysiques et des forages pétroliers, on dénombre dix régions géothermales à Madagascar [4].

- Pour la géothermie de moyenne à haute énergie : ce sont les régions volcaniques du Nord de Madagascar (en liaison avec le volcanisme basaltique quaternaire récent de la montagne d'Ambre), la région volcano-tectonique quaternaire d'Itasy, la région volcano-tectonique cénozoïque d'Ankaratra-Antsirabe (Figure 1);
- Pour la géothermie de basse à moyenne enthalpie, on distingue la zone de faille d'Andavakoera (type volcano-tectonique), la zone de faille de Sambirano, la zone de faille de l'Antongil-Doany-Ankaizina (système géothermique tectonique), la zone de faille de l'Ikopa (Beravina-Fenoarivobe) au Nord d'Antananarivo, la région centrale (Ambatofinandrahana-Midongy) au Sud d'Antsirabe (Figure2);
- Pour la géothermie de basse enthalpie, ce sont la zone de faille de la côte Est, le bassin sédimentaire de Morondava sur la côte ouest. Dans la partie Sud, les sources sont localisées dans les Districts de Manja, Morombe, Ankazoabo Atsimo, Sakaraha, Betsioky Atsimo, Amboasary Atsimo, et Taolognaro (Figure3).

Le niveau d'investigation est encore préliminaire dans la majorité des cas. L'étude actuelle s'est concentrée sur la géologie, la géochimie, l'hydrologie et la géophysique dans le but d'élucider les températures souterraines et l'étendue spatiale des systèmes géothermiques. La valeur du potentiel en énergie géothermique est encore spéculative.

Cependant, le projet d'installation de centrale géothermique produisant de l'électricité est envisageable. En effet, on pense que les prospects de la montagne d'Ambre, d'Itasy et d'Ankaratra-Antsirabes ont les plus prometteurs [5]. Ces trois zones sont à des stades avancés d'exploration de surface et doivent bientôt faire l'objet d'un levé géophysique et de forages exploratoires qui ouvriront la voie à une évaluation des ressources et à une étude de préfaisabilité. Les arguments en faveur de cette hypothèse d'exploitation de l'énergie géothermique sont : environnement géologique associé au volcanisme quaternaire récent, anomalies géochimiques, température du réservoir estimée à plus de 150°C (respectivement jusqu'à 155°C, 154°C et 171°C pour les trois prospects), système de rift continental, forte densité de population à Itasy et à Antsirabe, donc plus forte demande d'énergie car

proche de la capitale Antananarivo.

Les résultats des études géothermiques préliminaires sur d'autres zones prédisent des températures souterraines jusqu'à 131 °C (zone de faille de Doany, zone de faille de l'Ikopa, zone de faille de Namorona-Ifanadiana, bande côtière Toamasina-Fenoarivo Est) adaptées à la production d'électricité à petite et moyenne échelle et aux usages directs. Ces températures souterraines ont été prédites essentiellement par la géothermométrie [6],[7],[8]]

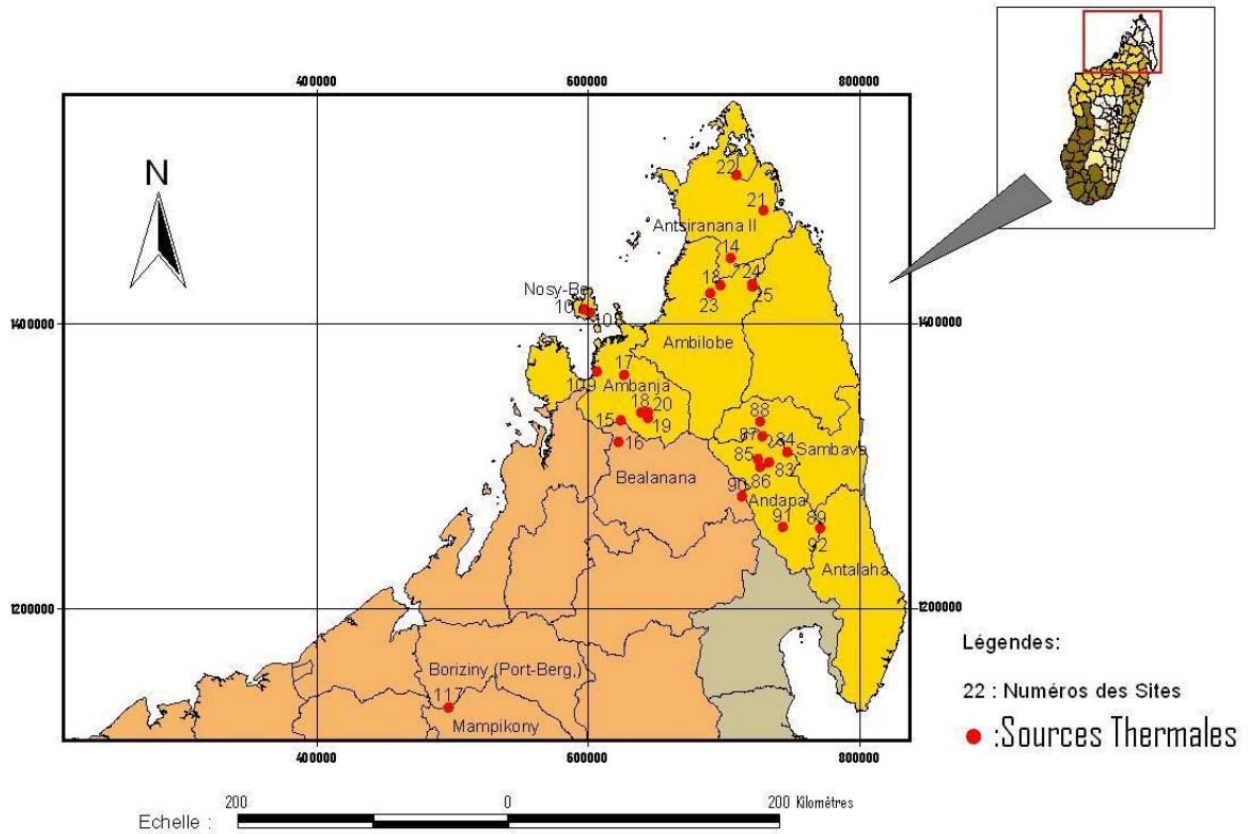


Figure 1 : Sources thermales dans la partie Nord de Madagascar (Virkir, 1981 ; modification par Andrianaivo et al, 2010)

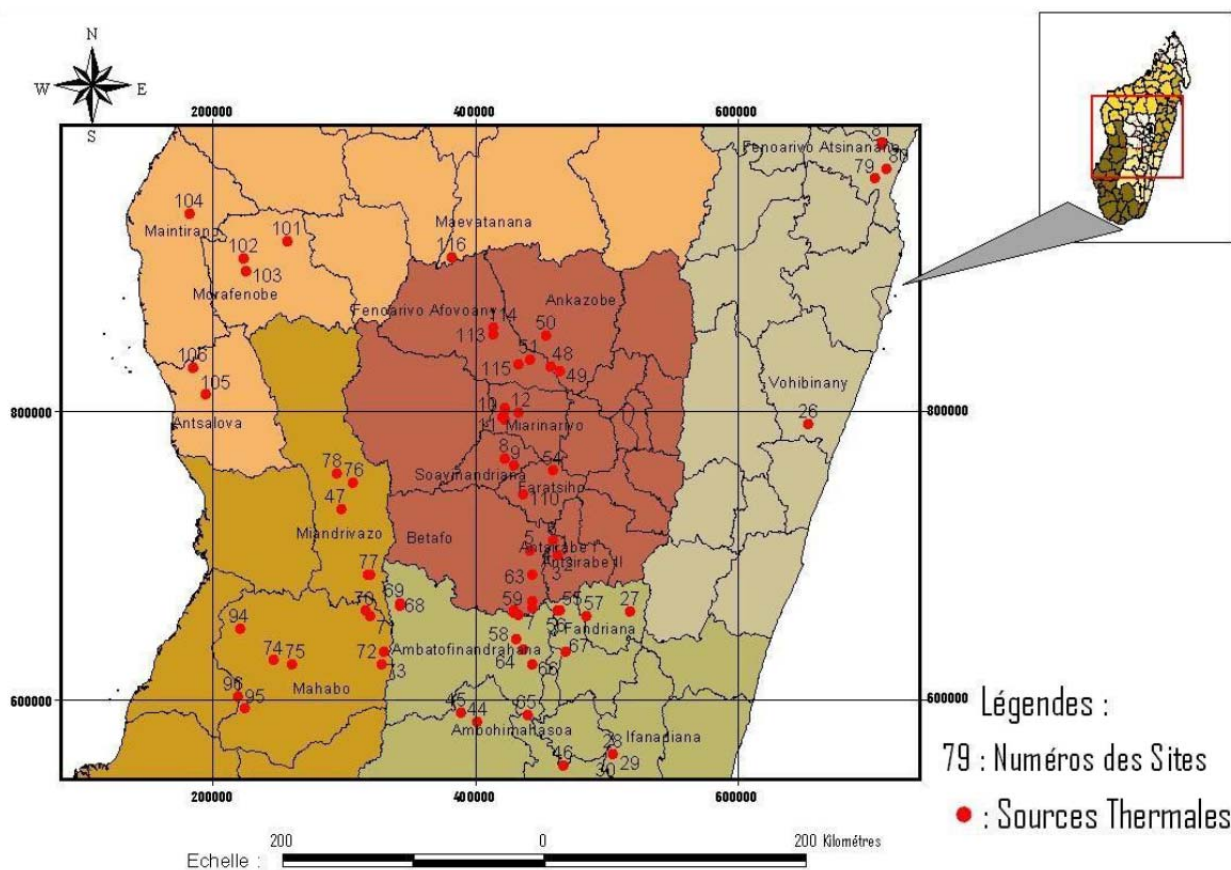


Figure 2 : Sources thermales dans la partie Centrale de Madagascar (Virkir, 1981 ; modification par Andrianaivo et al, 2010)

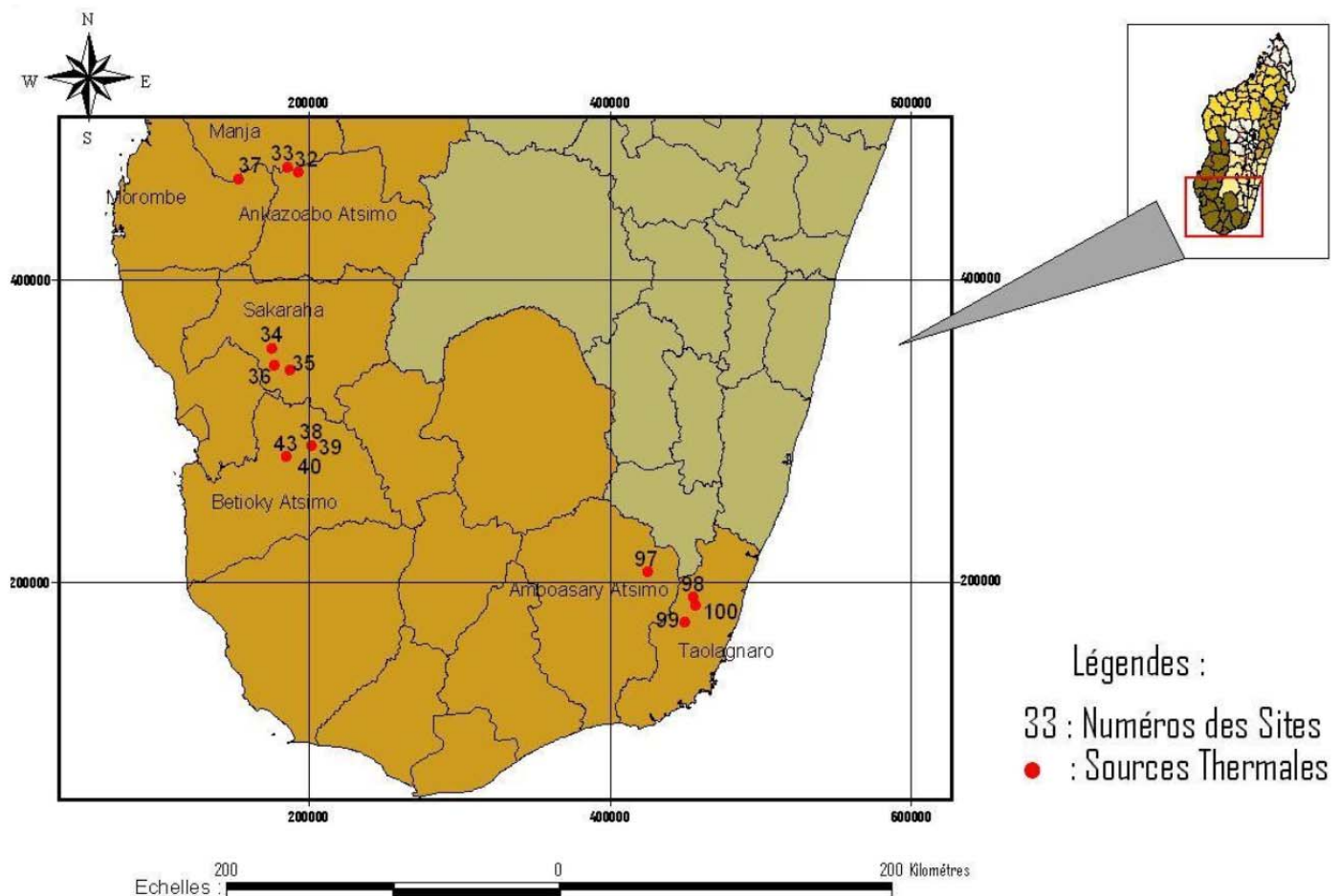


Figure 3 : Sources thermales dans la partie Sud de Madagascar (Virkir, 1981 ; modification par Andrianaivo et al, 2010)

3.2. Développement futur de l'énergie géothermique du pays

Des mesures géophysiques détaillées pour délimiter les champs anormaux et pour localiser les réservoirs profonds et les sites de forage dans les trois zones sont recommandées. Les résultats seront ensuite utilisés pour mettre à jour les modèles géothermiques qui serviront de base au forage de puits géothermiques profonds.

Une évaluation détaillée des ressources géothermiques de Madagascar est nécessaire de toute urgence afin d'évaluer correctement les perspectives géothermiques du pays. En 2008, c'est dans cette optique que le Gouvernement de Madagascar aurait travaillé avec la société « GNS Science » et Marshfield Energy PTE Ltd. pour l'évaluation des ressources géothermiques et le renforcement des capacités dans le nord et le centre du pays. Le gouvernement de Madagascar a en parallèle commencé à développer la capacité géothermique dans le pays. En 2008, des contacts fructueux ont été noués avec ces deux entreprises pour leur assistance dans le renforcement de capacité des techniciens nationaux.

Malheureusement, pendant une plus dizaine d'années Madagascar n'a pas pu effectuer des campagnes d'exploration fiable et à grande échelle à cause de la crise politique de 2009 et de la pandémie Covid19 depuis 2020.

L'exploration en surface du champ géothermique central du pays devrait commencer vers le début de l'année 2022. Le forage d'exploration est prévu pour les prochaines années.

3.3. Energie géothermique : opportunités, défis et enjeux pour Madagascar

3.3.1. Principe de travail de l'énergie géothermique

L'énergie géothermique peut être utilisée pour la production d'électricité, à des fins d'utilisation directe et pour l'efficacité du chauffage domestique. Efficacité du chauffage domestique grâce à la pompe à chaleur géothermique où des puits d'injection et de

production sont forés dans la terre pour échanger de la chaleur. Un puits d'injection est foré verticalement dans le sol dans lequel l'eau, les gaz et autres liquides sont pompés et peuvent s'écouler.

Un puits de production produit un fluide chauffé par la chaleur naturelle de la terre. En plus d'utiliser l'énergie géothermique uniquement pour les centrales électriques, elle est également utilisée à des fins de chauffage et de refroidissement des maisons respectivement en hiver et en été. A cet effet, les puits d'injection et de production sont utilisés (Figure 3). La durée de l'injection et du puits de production dépend des conditions géographiques de la région et de la disponibilité du site géothermique souterrain.

3.3.2. Centrale électrique à cycle binaire

Il convient de signaler que, en se basant sur les températures des réservoirs calculées dans les études antérieures [4], la technologie de centrale électrique à cycle binaire est la mieux adaptée à Madagascar. En effet, cette technologie utilise une eau à des températures plus basses d'environ 225°-360°F (107°-182°C). Dans les centrales électriques à cycle binaire, l'eau géothermique modérément chaude passe par un fluide secondaire avec un point d'ébullition beaucoup plus bas que l'eau. De ce fait, le fluide secondaire se vaporise et entraîne la turbine qui entraîne une génératrice qui produit de l'électricité (Figure 4).

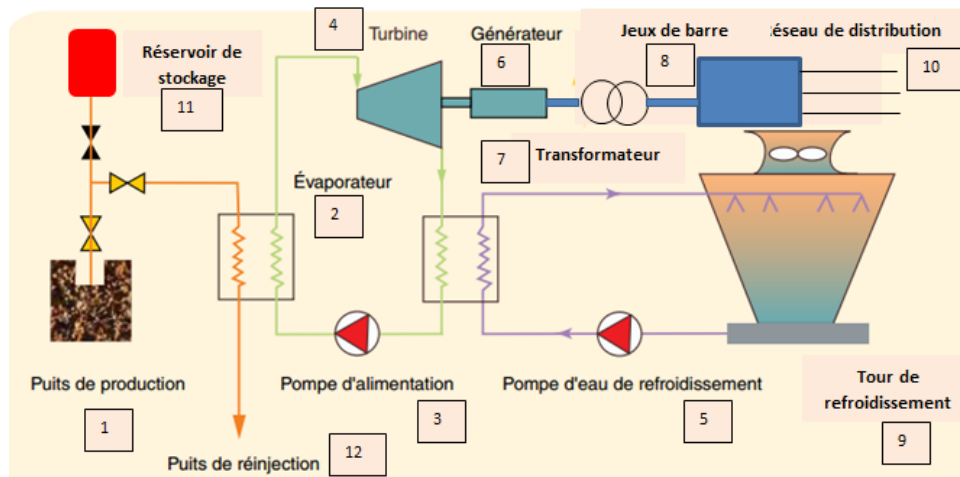


Figure 4 : Schéma de fonctionnement d'une centrale électrique à cycle binaire

Une évaluation détaillée des ressources géothermiques de Madagascar est nécessaire de toute urgence afin d'évaluer correctement les prospects géothermiques du pays.

Des mesures géophysiques détaillées pour délimiter les champs anormaux et pour localiser les réservoirs profonds et les sites de forage dans les trois zones sont recommandées. Les résultats seront ensuite utilisés pour mettre à jour les modèles géothermiques qui serviront de base au forage de puits géothermiques profonds.

3.3.3. Les enjeux

Le secteur de l'énergie joue un rôle important dans la réalisation du développement durable, qui couvre l'environnement social, économique et. Dans les pays en développement comme Madagascar, la demande principale d'énergie est couverte par des sources d'énergie fossiles. Alors que les sources d'énergie fossile diminuent toujours chaque année.

La demande d'énergie continue de croître ce qui a conduit à l'augmentation des importations de pétrole brut et de produits pétroliers.

D'autre part, la demande d'énergie à Madagascar augmente toujours avec le temps. A titre d'exemple, la consommation finale d'énergie à Madagascar pour la période 2003-2013 a augmenté en moyenne de 4,1% par an. Ainsi, les opportunités d'énergies renouvelables, en particulier le développement géothermique, sont tout à fait envisageables à Madagascar.

Le développement et l'utilisation de la source d'énergie géothermique à Madagascar sont très importants car ils peuvent aider à résoudre les problèmes énergétiques nationaux.

Madagascar a pour objectif d'utiliser des sources d'énergie renouvelables à 17% du bouquet énergétique national en 2025. Par

conséquent, le développement et l'utilisation de l'énergie géothermique doivent avoir une haute priorité pour un développement durable réalisé. Pour le développement futur, les sources d'énergie doivent être respectueuses de l'environnement et à faible coût. La source d'énergie géothermique peut être l'une des excellentes sources d'énergie.

Derrière le potentiel de la géothermie, il y a un certain défi à relever. Les principaux enjeux du développement de la géothermie à Madagascar sont :

- Plusieurs sources d'énergie géothermique sont situées dans le centre de la Grande Ile, qui est la plus forte demande d'énergie dans le pays. Il doit donc être soutenu par une infrastructure supplémentaire pour l'électricité.
- Coût élevé pour développer les sources d'énergie géothermique.
- Madagascar dispose d'un potentiel géothermique de réserves non négligeables, mais pourtant aucune de ces réserves n'a été développée pour la production d'électricité.
- Le tarif de l'électricité n'est pas représenté comme une viabilité économique en raison de la politique de subvention.

IV. DISCUSSION

La production d'énergie primaire à partir de sources domestiques n'a pas beaucoup changé au cours des cinq dernières années. Les parts les plus élevées appartiennent à l'hydroélectricité (63%) et à la centrale thermique (37%). La contribution des sources renouvelables est présentée conjointement avec l'hydroélectricité.

Un programme national de promotion du développement des sources d'énergies renouvelables jusqu'à 2025 a été approuvé. Il est axé sur la réduction de l'électricité et des combustibles liquides comme sources de chauffage et leur remplacement par des énergies renouvelables. Selon le rapport publié par le ministère de l'Énergie, un objectif de 10 % de la part des énergies renouvelables en 2025 pourrait être atteint principalement en augmentant la contribution des centrales hydroélectriques.

Une Commission d'État pour l'énergie délivre des licences et fixe des prix d'achat préférentiels obligatoires pour la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables. Les prix sont formés sur la base de l'analyse des dépenses d'investissement par technologie, des dépenses de production d'énergie par technologie et du taux de remboursement du capital. Aucun prix d'achat n'est disponible pour la production d'électricité à partir des eaux thermales car cette activité fait toujours défaut dans le pays.

Un problème substantiel dans le développement des énergies renouvelables dans le pays est le manque de coordination de ce processus. Pourtant, aucun registre officiel pour les applications renouvelables n'est disponible.

Les principaux obstacles actuels énoncés pour la période de dix années précédentes pour le développement géothermique dans le pays restent les mêmes :

- Absence de statut préférentiel à l'utilisation de la géothermie pour la production d'électricité et de chaleur.
- Manque d'expertise dans la préparation de l'exploration et du plan d'affaires.
- Financement commercial insuffisant.
- Les taxes et redevances locales sont une source de financement importante mais très insuffisante pour les budgets des municipalités.
- Le manque d'investissements et les problèmes d'organisation restent les freins majeurs au développement de la géothermie dans le pays

Un processus d'évaluation de la ressource géothermique existante concernant les possibilités de production d'électricité en utilisant les technologies modernes est en cours.

Le projet du gouvernement, représenté par l'Office de Régulation de l'Électricité (ORE), consistant en une régulation en mutation du secteur électrique est également en cours.

Le gouvernement de Madagascar doit renforcer ses capacités humaines au sein du secteur. La participation du secteur privé pour le développement des ressources géothermiques de Madagascar est plus que nécessaire.

La politique énergétique devra faciliter le développement des ressources énergétiques pour un approvisionnement économique des consommateurs. Il faudra également accélérer le développement des ressources énergétiques indigènes et à promouvoir l'investissement privé dans la production et la fourniture d'énergie.

Actuellement, Madagascar connaît une crise énergétique, c'est pourquoi nous avons besoin d'une énergie alternative et renouvelable pour répondre à notre demande. Fondamentalement, la demande est généralement fonction de la croissance de la population, de la demande de logements et de l'intensité énergétique des opérations dans les secteurs industriels et commerciaux de l'économie. Dans ce cas, effectivement dans la demande d'électricité, les variations de la demande globale reflètent généralement la capacité des particuliers ou des entreprises d'un secteur particulier à surveiller et à ajuster les activités en réponse aux variations des prix de l'énergie livrée.

Cependant, nous avons besoin d'un coût élevé pour utiliser ces avantages et conserver cette source pour construire une centrale géothermique à Madagascar. Ainsi, l'application de technologies d'économie d'énergie ou d'efficacité énergétique aura un impact immédiat sur la baisse de la demande, et peut réduire la pente globale de la demande pour l'avenir.

V. CONCLUSION

Compte tenu de la sécheresse fréquente qui affecte l'hydroélectricité nationale, des fluctuations des prix des combustibles fossiles dans le monde et de la demande rapide de plus d'électricité, l'énergie géothermique offre une source d'énergie alternative indigène et respectueuse de l'environnement pour Madagascar. La déficience du développement de la ressource géothermique à Madagascar est due à la disponibilité d'une hydroélectricité bon marché, cependant en raison du contexte énergétique existant, le développement de cette ressource est désormais fondamental.

Cette énergie géothermique est actuellement de forte demande, associée à une réduction des émissions de gaz à effet de serre, une énergie verte durable et aura un impact important sur la demande d'électricité de Madagascar. Elle permettra d'économiser beaucoup d'argent à l'avenir si elle est suffisamment optimisée. Des différents matériels, méthodes, l'avancée technologique aide à mieux exploiter un tel type de géothermie et à l'utiliser de façon appropriée. Madagascar a un potentiel non négligeable pour construire des centrales géothermiques de moyenne enthalpie car le pays dispose de plus de 350 mégawatts (MW) de ressources géothermiques électriques potentielles équivalentes à 163 millions de barils de pétrole, donc une économie de carburant fossile non négligeable. Une bonne politique gouvernementale (loi et réglementation) concernant cette énergie renouvelable éliminera de nombreux obstacles au développement de l'énergie géothermique.

REFERENCES

- [1] Andrianaivo, L., (2008b): Geothermal Energy for Sustainable Development: An Expanded Role in Madagascar's Energy Supply Chain. Final report, Unpublished Project Study, February 2008, MCC, Antananarivo
- [2] Institut National de la Statistique - INSTAT, (2011) : Tableau de bord de l'économie de Madagascar, Direction Générale, Direction des Synthèses Economiques, Madagascar
- [3] Besairie, H., 1959a: Contribution à l'étude des sources minérales et des eaux souterraines de Madagascar. Travaux du Bureau Géologique, n°92, Service Géologique Antananarivo.
- [4] Anadrianaivo L., 2011. Caractéristiques générales des systèmes et des régions géothermiques de Madagascar. Madamines, ISSN 2220-0681, vol. 2, pp11-21
- [5] Andrianaivo, L., (2008a): Geothermal system and Resource in Madagascar: Preliminary Results. Advanced report No.2008.1, Unpublished Project Study, January 2008, MCC, Antananarivo
- [6] Gunnlaugsson, E., Arnorsson, S., and Matthiasson, M., (1981): Etude de reconnaissance des ressources géothermiques de Madagascar, Projet MAG/77/104, Contract 141/79 VIRKIR, Traduction française, 1, 1-101.
- [7] Manissale, A., Vasseli, O., Tassi, F., Magro, G., and Pezzotta, F., (1999): Thermal springs around the Quaternary volcano Ankaratra, Madagascar. Geochemistry of the Earth's surface, Armannsson Edition, Rotterdam, 523 – 526
- [8] Andrianaivo, L., Ramasiarino V. and Randrianja R., (2011) : Geothermal Development in Madagascar: An Alternative to the Energy Crisis. Madamines, ISSN 2220-0681, vol. 2, pp61-67