

Rapport Sur Le Développement De La Géothermie A Madagascar En 2022: Etat Des Lieux

Andriamifidisoa Miadana Vololomihaja¹, Andrianaivo Lala²

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

e-mail : aandrianaivoogmail.com



Résumé – La Les ressources géothermiques de Madagascar sont largement réparties dans tout le pays. Il y a 120 sources chaudes connues à la surface, avec une température supérieure à 26°C. Cependant, le ratio d'exploration et d'utilisation de l'énergie géothermique est encore faible.

Depuis le début des années 2010, reconnaissant l'importance de la géothermie comme source d'énergie alternative et renouvelable, l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) a mené des prospections stratégiques visant à identifier les ressources à haute température pour la production d'électricité. À ce jour, 10 zones géothermiques ont été reconnues et peuvent être divisées en trois sections : terrain volcanique, zone de faille et bassin sédimentaire. Les ressources et les systèmes géothermiques sont de deux types : volcano-tectoniques et tectoniques. Les températures du sous-sol ont été prédites par la géothermométrie et les modèles de mélange, de l'ordre de 155°C pour la zone nord, entre 92 -176°C pour Itasy et entre 88 -265°C pour Antsirabe-Betafo dans la partie centrale. Le potentiel de production estimé pour le pays est de 350 MW.

Pendant des siècles, les gens utilisent l'eau de source chaude à des fins thérapeutiques, récréatives, touristiques et de lavage avec peu de retour économique.

Cet article résume systématiquement les réalisations nationales dans l'exploration et le développement des ressources géothermiques. Un aperçu du secteur énergétique de Madagascar, des ressources géothermiques connues et de leur potentiel, de l'utilisation géothermique actuelle et de la mise à jour du développement géothermique est également présenté.

Mots clés – Sources thermales, ressources géothermales, développement, usage direct, Madagascar.

Abstract – Geothermal resources in Madagascar are widely distributed throughout the country. There are known 120 hot springs occurring at the surface, with a temperature exceeding 26°C. However, the ratio of explored and utilized of geothermal energy is still low.

Since the early 2010's, recognizing the importance of geothermal energy as an alternative and renewable energy source, the Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) has conducted preliminary explorations aimed at identifying high temperature resources for electrical generation. To date 10 geothermal areas have been recognized, and can be divided in three sections: volcanic terrain, fault zone, and sedimentary basin. Resources and geothermal systems are of two types: volcano-tectonic and tectonic.

Subsurface temperatures have been predicted by geothermometry and mixing models, of about 155°C for the northern zone, between 92 -176°C for Itasy and between 88 -265°C for Antsirabe-Betafo in central part. The estimated generation potential for the country is 350 MW.

For centuries the Malagasy people have used hot spring water for therapeutic, recreational, tourism and washing with little economic return.

This paper systematically summarizes the domestic achievements in the exploration and development of geothermal resources. An overview of Madagascar energy sector, known geothermal resources and their potential, present geothermal utilization and geothermal development update is given.

Keywords – springs, geothermal resources, country update, development, direct use, Madagascar

I. INTRODUCTION

La solution au problème d'approvisionnement énergétique à Madagascar serait l'utilisation d'énergies alternatives. Nous pensons que l'une des solutions à long terme est le développement de l'énergie géothermique.

En matière de politique électrique, le Gouvernement est représenté par l'Office de Régulation de l'Electricité (ORE). Le projet concerne la régulation en mutation du Secteur de l'Electricité, incluant : la transition énergétique orientée vers les énergies renouvelables, le cadre réglementaire plus attractif et plus sécurisant pour les investissements privés, et des mesures incitatives pour faciliter le développement des énergies renouvelables.

Cet article présente un résumé des résultats importants sur la mise à jour du développement géothermique de Madagascar.

II. RESSOURCES GEOTHERMALES ET LEUR POTENTIEL

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

Au cours des dernières années, l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) de l'Université d'Antananarivo a évalué les ressources géothermiques à l'aide de la géologie, des analyses de données géochimiques et des mesures géophysiques dans le but d'élucider les températures du sous-sol et l'étendue spatiale des systèmes géothermiques. Malgré un équipement limité et après des années de recherche, ces ouvrages publiés ont permis d'identifier les potentialités géothermiques du pays. Les résultats préliminaires de cette exploration indiquent qu'environ 120 affleurements géothermiques naturels (geyser, sources chaudes, etc.) sont reconnus dans le pays.

La répartition des sources chaudes, le flux de chaleur et la nature des réservoirs géothermiques sont contrôlés par les structures géologiques. Sur la base du contexte géologique et structural, les zones géothermiques peuvent être divisées en trois sections : terrain volcanique, zone de faille et bassin sédimentaire. Les ressources et les systèmes géothermiques à Madagascar peuvent être regroupés en deux types principaux : volcanotectonique et tectonique. Le potentiel géothermique dans le domaine volcanotectonique peut généralement avoir un potentiel modéré à moyen.

Des systèmes géothermiques de température moyenne existent dans la zone volcanique récente et la possibilité de forer dans un réservoir géothermique de température moyenne est élevée, en particulier dans le nord et le centre du pays.

Apartir des études de reconnaissances préliminaires, trois importantes zones présentant un intérêt potentiel géothermique pour la production d'électricité peuvent être sélectionnées [1] : la zone géothermique de la partie nord (Ramena, Sambirano, Ankaizina), la zone géothermique d'Itasy et la zone géothermique d'Antsirabe dans la partie centrale (figures 1 et 2).

L'exploration de l'énergie géothermique est encore au stade préliminaire. 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. Les résultats indiquent que l'activité géothermique dans les trois zones potentielles suivantes est liée aux activités volcaniques et tectoniques, qui ont un flux de chaleur plus élevé que la croûte précambrienne environnante. Des températures du sous-sol autour de 155°C pour la partie nord de l'île, entre 92 -176°C pour la zone Itasy et entre 88-265°C pour Ankaratra-Antsirabe dans la partie centrale qui ont été prédites par la géothermométrie et les modèles de mélange [1],[2],[3],[5],[6].

Les prospects d'Itasy et d'Antsirabe-Betafo sont à des stades avancés d'exploration de surface et feront prochainement l'objet de forages exploration qui ouvriront la voie à une étude de préfaisabilité. Les méthodes volumétrique et comparative sont utilisées afin d'estimer la valeur moyenne de l'électricité géothermique estimée de chaque prospect.

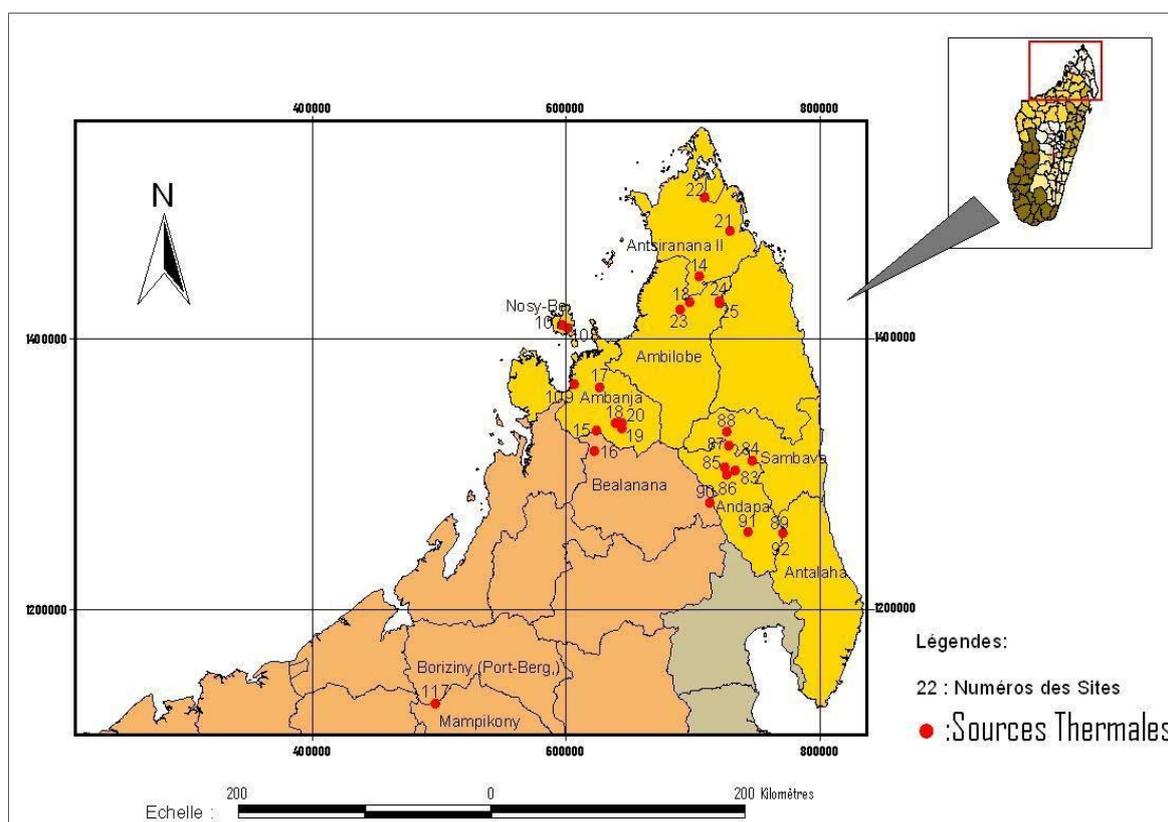


Figure 1: Sources thermales dans la partie nord de Madagascar (Virkir, 1981; modification par Lala Andrianaivo et al, 2010)

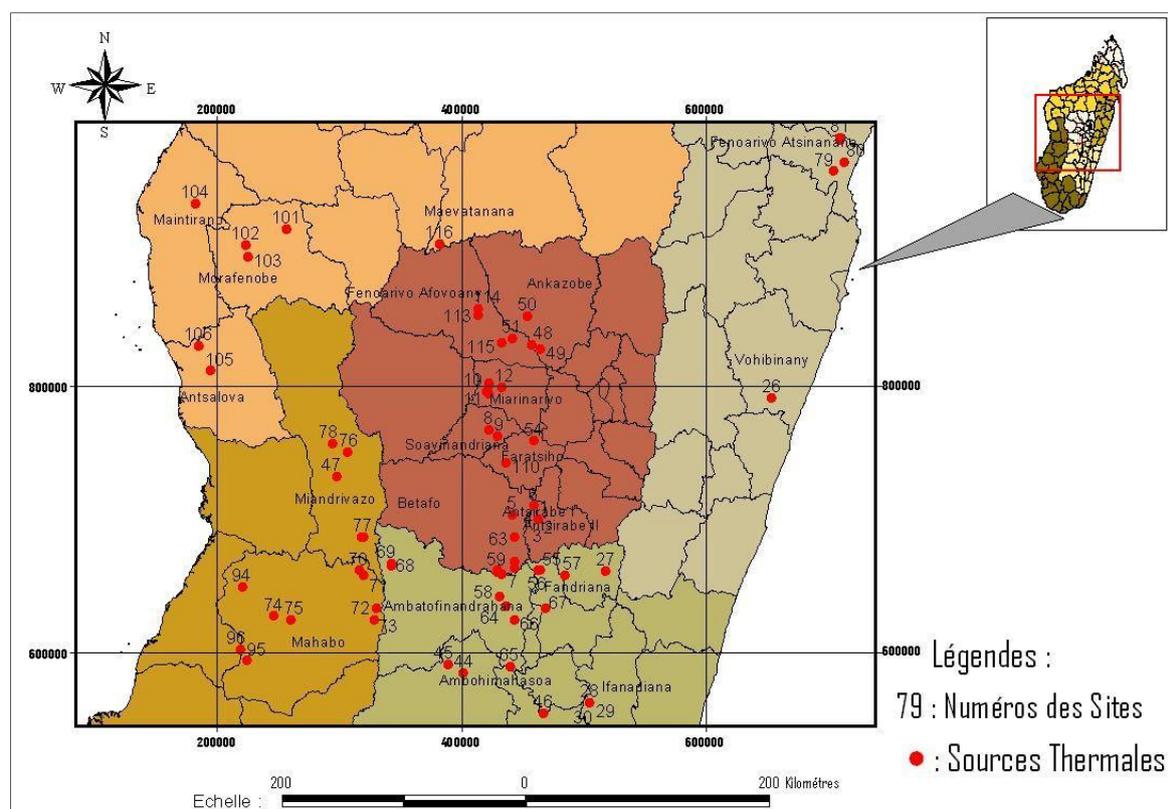


Figure 2: Sources thermales de la partie centrale de Madagascar (Virkir, 1981; modification par Lala Andrianaivo et al, 2010)

III. UTILISATION DE LA GEOTHERMIE

Les deux principales catégories d'utilisation, la production d'électricité et l'usage direct, sont déjà introduites dans de nombreux pays du monde ; en outre, l'expansion de la distribution est possible et devrait être de plus en plus appliquée.

L'usage direct de la chaleur est l'une des formes d'utilisation de l'énergie géothermique les plus anciennes, les plus communes et aussi les plus courantes. Les usages les plus courants de la géothermie à Madagascar sont les usages traditionnels : le thermalisme et les loisirs. La baignade, la natation (usage thérapeutique) sont les formes d'utilisation les plus connues dans ce pays.

Il existe actuellement à Madagascar cinq stations d'eau thermale utilisées pour le thermalisme, les sports et loisirs et comme centres touristiques. Les eaux minérales sont également mises en bouteille par trois sociétés spécialisées dans ce domaine, est régie par la loi sur les concessions.

Un grand hôtel et centre de rééducation avec piscine exploite les eaux géothermales d'Antsirabe. Une utilisation similaire est pratiquée à Ranomafana Namorona Spa près du parc national . Les sources thermales de Bezaha Spa et de Betafo Spa sont utilisées pour centre de réadaptation et centre de loisirs.

L'eau potable du robinet permet une utilisation massive pour la prévention des maladies. L'eau utilisée pour la détente, les besoins sanitaires et la prévention possède la part la plus élevée en thermalisme.

Les tableaux 1, 2, 3 et 4 présentent l'état des lieux du développement énergétique à Madagascar.

Tableau 1. Production d'électricité actuelle et projection dans le futur

	Géothermie		Fuels Fossiles		Hydraulique		Solaire photovoltaïque		Eolienne		Total	
	Capacité MWe	Production nette GWh/an	Capacité MWe	Production nette GWh/an	Capacité MWe	Production nette GWh/yr	Capacité MWe	Production nette GWh/an	Capacité MWe	Production nette GWh/an	Capacité MWe	Production nette GWh/an
Opérationnelle en décembre 2019			~199,8	~799,2	340,2	~1360,8	~20	~77,7	~13	~52	~540	~2035,8
Estimation totale avant 2023			~267	~1068	~476	~1904	~20	~77,7	~13	~52	~756	~3024

Tableau 2.	Utilisation de l'énergie géothermique pour l'usage direct jusqu'en décembre 2021									
1)	I = Chaleur industrielle				H = Chauffage individuel (autre que les pompes à chaleur)					
	C = Climatisation (refroidissement)				D = Chauffage urbain (autre que les pompes à chaleur)					
	A = Séchage agricole (céréales, fruits, légumes)				B = Baignade et natation (dont balnéothérapie)					
	F = Aquaculture				G = Serre et chauffage du sol					
	K = Elevage d'animaux				O = Autres					
	S = Fonte des neiges				Boisson pour soigner la gastro-entérite					

2)	L'information d'enthalpie n'est donnée que s'il y a de la vapeur ou un écoulement diphasique											
3)	Capacité (MWt) = Débit maximum(kg/s)*[température d'entrée(°C) – température de sortie (°C)] x 0.004184											
	ou = Débit maximum (kg/s)[enthalpie d'entrée (kJ/kg) –enthalpie de sortie (kJ/kg)] x 0.001											
4)	Consommation d'énergie (TJ/yr) = débit moyen (kg/s) x [température d'entrée (°C) - - température de sortie(°C)] x 0.1319											
	ou = débit moyen (kg/s) x [enthalpie d'entrée (kJ/kg) - enthalpie de sortie (kJ/kg)] x 0.03154											
5)	Facteur de capacité = [Consommation d'énergie annuelle (TJ/yr)/Capacité (MWt)] x 0.03171											
	Note: le facteur de capacité doit être inférieur ou égal à 1,00 et est généralement inférieur,											
	puisque les projets ne fonctionnent pas à 100 % de leur capacité toute l'année.											
			Utilisation maximale					Capacité ³⁾	Utilisation annuelle			
Localité	Type ¹⁾	Débit	Température (°C)		Enthalpie ²⁾ (kJ/kg)			Débit moyen	Energie ⁴⁾	Capacité		
		(kg/s)	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	(MWt)	(kg/s)	(TJ/an)	Facteur ⁵⁾		
AntsirabeRanomafana I	B	2.3	51	30			0,202	2,2	6,094	0,956		
AntsirabeRanomafana II	B	1,5	51	30			0.132	1,25	3,462	0,833		
Antsirabe Lac	B/O	0,25	35	25			0,010	0,22	0,290	0,880		
Antsirabe Lac	B	0,7	38,5	26			0,037	0,5	0,824	0,714		
AntsirabeHôpital	B/O	0.58	42	27			0,036	0,5	0,989	0,862		
AntsirabeHôpital	B	1,5	45	30			0,094	1,2	2,374	0,800		
AntsirabeRanovisy	B/O	2,3	42	27			0,144	2	3,957	0,869		
AntsirabeRanovisy	B	2	46	35			0,092	1,7	2,467	0,850		
BetafoRanomafana	B	0,4	57,5	35			0,038	0,35	1,039	0,875		
RanomafanaBetafo 1	B	0,5	58	30			0,059	0,4	1,477	0,800		
RanomafanaBetafo 2	B	0,3	48	30			0,023	0,25	0,594	0,833		
RanomafanaBetafo 3	B	0,3	46	25			0,026	0,2	0,554	0,666		
FaratsihoRagainandro	B	0,1	42	25			0,007	0,07	0,157	0,700		
SoavinandrianaRanomafana	B	3,2	45	35			0,134	3	3,957	0,937		
ItasyMasahona	B	3	57	35			0,276	3	8,705	1,000		

ItasyAndranomangotraka	B	10	28	25		0,126	8	3,166	0,800
Itasy Marais d'Ifanja	B	3	46	30		0,201	3	6,331	1,000
MahatsinjoAmbohipano	B	3	40	25		0,188	2,8	5,540	0,933
IfanjaAnosibeRanomafana	B	5	49	35		0,293	4	7,386	0,800
RanomafanaNamorona 1	B	0,7	41	30		0,032	0,6	0,871	0,857
RanomafanaNamorona 2	B	0,9	44	30		0,053	0,8	1,477	0,889
RanomafanaNamorona 3	B	11,2	46,5	35		0,539	10	15,169	0,893
RanomafanaNamorona 4A	B	0,7	47,5	35		0,037	0,55	0,907	0,785
RanomafanaNamorona 4B	B	0,36	46,5	35		0,017	0,3	0,455	0,833
RanomafanaNamorona 4D	B	0,69	31,5	25		0,019	0,4	0,343	0,580
Total						2,814		78,585	20,942

Tableau 3.		Tableau récapitulatif des usages de chaleur directe géothermique au 31 décembre 2021							
1) Capacité installée(énergie thermique) (MWt) = Débit maximale (kg/s) x [température à l'entrée (°C) –température à la sortie (°C)] x 0,004184									
		ou = Débit maximale (kg/s) x [enthalpie à l'entrée (kJ/kg) –enthalpie à la sortie (kJ/kg)] x 0,001							
2) Consommation d'énergie annuelle (TJ/yr) = Débit moyen (kg/s) x [température à l'entrée(°C) - température à la sortie(°C)] x 0,1319		(TJ = 10 ¹² J)							
		ou = Débit moyen (kg/s) x [enthalpie à l'entrée(kJ/kg) - enthalpie à la sortie (kJ/kg)] x 0,03154							
3) Facteur de capacité = [Consommation d'énergie annuelle (TJ/yr)/Capacité (MWt)] x 0,03171		(MW = 10 ⁶ W)							
		Note: le facteur de capacité doit être inférieur ou égal à 1,00 et est généralement inférieur, car les projets ne fonctionnent pas à 100 % de capacité toute l'année							
Utilisation	Capacité installée ¹⁾	Consommation d'énergie annuelle ²⁾		Facteur de capacité ³⁾					
	(MWt)	(TJ/yr = 10 ¹² J/yr)							
Séchageagricole ¹⁾	(mais non déterminé)	(non déterminée)							
Baignade et natation ²⁾	2,814	75,585		0,852					

Total		2,814	75,585	0,852
1)	Y compris le séchage ou la déshydratation des céréales, des fruits et des légumes			
2)	Y compris la balnéothérapie			

Tableau 4.	Puits forés pour l'utilisation électrique, usage direct et combiné des ressources géothermiques du premier janvier 2015 au 31 décembre 2021 (hors puits de pompe à chaleur)
1)	Y compris les puits à gradient thermique, mais pas ceux de moins de 100 m de profondeur

Objectif	Température de la tête de puits	Number of Wells Drilled				Profondeur totale (km)
		Puissance électrique	Usage direct	Combinée	Autres à spécifier	
Exploration ¹⁾	(toute)	néant	2			0,3
Production	>150° C	néant				
	150-100° C	néant				
	<100° C	néant				
Injection	(toute)	néant				
Total		0	2			0,3

Tableau 5. Affectation de personnel professionnel aux activités de géothermie (Réservé au personnel titulaire d'un diplôme universitaire)

- | | |
|----------------------|--|
| (1) Gouvernement | (4) Consultants étrangers rémunérés |
| (2) Services publics | (5) Contribution par le biais de programmes d'aide étrangère |
| (3) Universitaires | (6) Industrie privée |

Année	Staff professionnel - Années d'effort					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2016		1	3			
2017		1	5			
2018		1	7			
2019		0	7			
Total		3	22			

Tableau 6 Total des investissements en géothermie en (2021) US\$

Période	Recherche et développement inclus. Explorateur de surface. & Forage d'exploration	Développement sur le terrain, y compris forage de production et équipement de surface	Usage		Type de financement	
			Direct	Electrique	Privé	Public
	Million US\$	Million US\$	Million US\$	Million US\$	%	%
1995-1999	néant	néant	inconnu	néant	inconnu	néant
2000-2004	néant	néant	inconnu	néant	inconnu	néant
2005-2009	0.009	néant	inconnu	néant	100	néant
2010-2014	0.001	néant	inconnu	néant	100	néant
2014-2018	0.135	néant	inconnu	néant	100	néant
2019-2021	néant.	néant	inconnu	néant	inconnu	néant

IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

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 concernent l'hydroélectricité (63 %) et les centrales thermiques (37 %). La contribution des sources renouvelables est présentée conjointement avec l'hydroélectricité.

Selon le rapport publié par le ministère de l'Énergie, un objectif de 10 % de la part des énergies renouvelables en 2023 pourrait être atteint principalement en augmentant la contribution des centrales hydroélectriques.

Un programme national de promotion du développement des sources d'énergies renouvelables pour la période 2015-2025 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. Malheureusement, pour cause de pandémie Covid19 depuis 2020 jusqu'à actuellement, il est difficile de mettre en exécution ce calendrier.

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 encore défaut dans le pays.

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

Parmi les différents types d'application de la géothermie, seuls le thermalisme (besoins sanitaires, prévention, traitement et réhabilitation), les piscines, l'eau potable et la relaxation ont connu une croissance. Certaines quantités d'eau thermale ont été

utilisées pour répondre à la demande d'eau potable et domestique. La capacité totale installée pour l'utilisation directe de la chaleur s'élève à 2,814MWt (tableau 2).

Les principaux obstacles actuels déclarés pour la période de 5 ans précédente pour le développement géothermique dans le pays restent les mêmes :

- Absence de statut préférentiel à l'utilisation de l'énergie géothermique pour la production 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 principaux obstacles au développement de la géothermie dans le pays.

Les centres de Spa existants situés au centre de Madagascar augmenteraient la part de l'eau thermale dans leur activité et le type d'applications également.

Un processus d'évaluation des ressources géothermales existantes concernant les possibilités de production d'électricité à l'aide de technologies modernes est en cours[4].

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

REFERENCES

- [1] Andrianaivo, L., (2008): Geothermal system and Resource in Madagascar: Preliminary Results. Advanced report No.2008.1, Unpublished Project Study, January 2008, MCC, Antananarivo, (2008)
- [2] Gunnlaugsson, E., Arnorsson, S., and Matthiasson, M.: Etude de reconnaissance des ressources géothermiques de Madagascar, Projet MAG/77/104, Contrat 147/79 VIRKIR, Traduction française, (1981), 1-101
- [3] Manissale, A., Vasseli, O., Tassi, F., Magro, G., and Pezzotta, F.: Thermal springs around the Quaternary volcano Ankaratra, Madagascar. *Geochemistry of the Earth's surface*, Armannsson Edit, Rotterdam, (1999), 523 – 526
- [4] Rajomalahy J. & Andrianaivo L., 2022 : Technique de prise de décision dans la gestion de maintenance sur la production d'électricité géothermique : cas du système binaire. *Mada-Hary*, ISSN 2410-0315, 12, 79-89
- [5] Sarazin L., Michard G., Rakotondrainy and Pastor L.: Geochemical study of the geothermal field of Antsirabe (Madagascar). *Geochemical Journal*, 20, (1986), 41-50
- [6] Ramasiarinoro V.J. and Andrianaivo L.: Geochemical Characteristic of Thermal Springs in Volcanic Areas of Antsirabe-Itasy, central Madagascar: Preliminary Results. *Proceedings, World Geothermal Congress 2010, 25-30 April 2010, Bali – Indonesia*, Paper 1413, (2010), 1- 6
- [7] Institut National de la Statistique (INSTAT) : Tableau de bord de l'économie de Madagascar, Direction Générale, Direction des Synthèses Economiques, Madagascar, (2011)
- [8] Ministère de l'Energie : Politique Sectorielle Energie, Direction Générale, Antananarivo, Madagascar, (2009).