

Contribution à l'étude géochimique des eaux géothermales du District de Betafo – Antsirabe, Région Vakinankaratra

Tovonirina Mamiharizo J. ⁽¹⁾, Ranoronirina M.J. ⁽²⁾, Rakotonindrainy⁽³⁾

(1) (2) : Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE) - B.P.1500 Université d'Antananarivo,
E-mail : jtovonirina11@gmail.com ; ranoronirinanoro@yahoo.fr

(3) : Ecole Supérieure Polytechniques d'Antananarivo, B.P.1500 Université d'Antananarivo,
E-mail : r5536981@gmail.com

Résumé – Ce présent travail vise à développer la géothermie en caractérisant les traits caractéristiques des eaux géothermales de la Région de Vakinankaratra. Des analyses par méthodes volumétriques et spectrophotométriques UV ont été adoptées afin de définir la minéralisation de ces eaux thermales. Les résultats issus de ces analyses sont ensuite utilisés pour évaluer les températures en profondeur dans les réservoirs géothermaux. Des comparaisons avec des études antérieures affirment la caractérisation de la stabilité et de la minéralisation des eaux de sources thermales.

Mots-clés : Géothermie, Hydrochimie, Géothermique, Stabilité, Eaux Thermales, Minéralisations, Réservoirs Géothermales

Abstract – This work attempts to develop the study of geothermal energy by characterizing the hydrochemical stabilities of the thermal waters of the Vakinankaratra Region. Volumetric and UV spectrophotometric analyzes were adopted to define the mineralization of its thermal waters. The results from these analyzes are then used to evaluate the depth temperatures in the geothermal reservoirs. Comparisons with previous studies confirm the characterization of the stability and mineralization of thermal spring water.

Keywords: Geothermal, Hydrochemical, Geothermal, Stability, Thermal Waters, Mineralization, Geothermal Reservoirs

1. INTRODUCTION

L'exploitation des ressources géothermiques comme source de vecteur d'énergie est possible dans la Région de Vakinankaratra. Malgré la connaissance globale de ses structures géologiques liées à des activités volcaniques et ses mouvements tectoniques, diverses études détaillées sont attendues et nécessaires pour confirmer son exploitabilité.

D'où notre contribution à définir la stabilité de la minéralisation des eaux de sources thermales de la Région Vakinankaratra, en comparant nos résultats d'analyses par des résultats d'étude géochimique des sources thermales d'Antsirabe en 1985. Ce travail décrit alors les traits caractéristiques hydrochimiques et géochimiques des eaux géothermales dans la Région Vakinankaratra.

2. METHODOLOGIE

A part des recherches bibliographiques, des études sur le fonctionnement physico-chimique des systèmes géothermiques ont été faites de façon multidisciplinaire suivie des travaux de mesures in situ et des analyses en laboratoire. L'élargissement des études géochimiques des sources thermales d'Antsirabe effectuées par SARAZIN G. et RAKOTONINDRAINY, complète nos analyses sur les caractéristiques géochimiques.

La récurrence des séismes dans le District de Betafo et Antsirabe a servi de guide dans l'étude des circulations hydrothermales et le fonctionnement supercritique du réservoir géothermal. Les analyses des échantillons prélevés ont été effectuées au Laboratoire de Chimie Minérale et de Procédés Chimique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

La comparaison à l'aide de graphiques des résultats d'analyses avec des travaux antérieurs permet de définir plus précisément les caractéristiques géochimiques des eaux géothermales de cette région.

3. CADRE D'ETUDES

Les zones étudiées se trouvent dans le District de Betafo et Antsirabe, Région Vakinankaratra.(Figure 1)

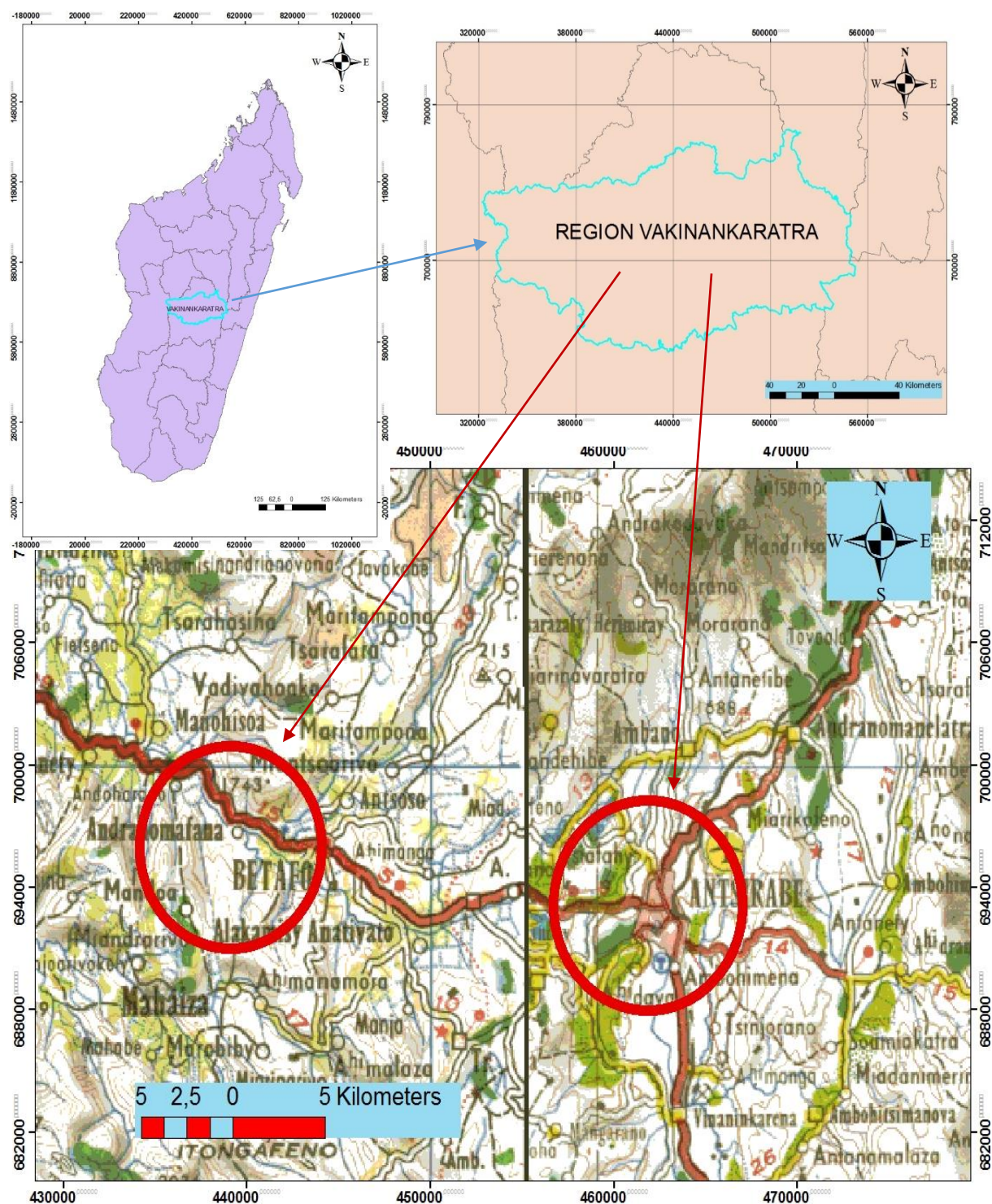


Figure 1: Localisation des sites étudiés

4. CONTEXTE GEOLOGIQUE [1] [5]

La Région Vakinankaratra, est généralement constituée d'un fond géologique volcanique datant du Néogène au Quaternaire de l'Ankaratra, de séries schisto - quartzo - calcaire du Sud et de massifs quartziques qui sont les roches sédimentaires, principalement sableux, ayant subi une métamorphisation importante, des massifs granitiques, généralement dispersés sur la bordure occidentale du massif volcanique de l'Ankaratra dans l'Ouest et dans le Sud, un relief sur socle à sols ferralitiques squelettiques.

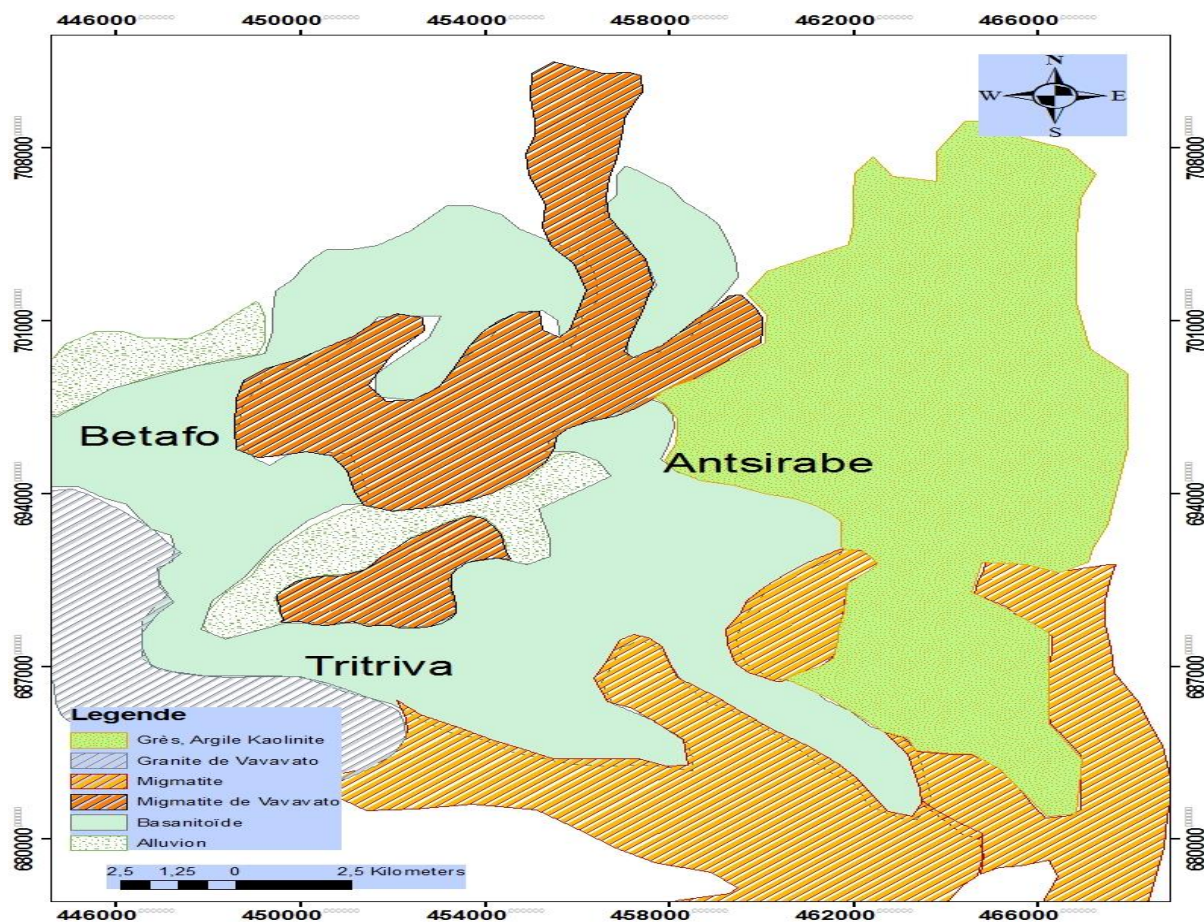


Figure 2: Les différentes formations géologiques aux environs des sites étudiés

Les cuvettes lacustres sont dues à des activités volcaniques : des coulées de lave ayant obturé des vallées et engendrant ainsi les lacs. Certaines cuvettes étaient autrefois reliées entre elles. D'où des zones d'alluvions lacustres montrant leur domination sur cette partie.

Dans l'ensemble, la géologie de la région est constituée par :

- des formations magmatiques et métamorphiques (granite, migmatite, gneiss, gabbro,...) :
- la série Schisto-Quartzo-Cipolin ou Dolomie (SQC ou SQD) ;
- des roches volcaniques (basaltes, basanites, basanitoïdes, trachytes...) et des coulées de laves ;
- des alluvions volcano-lacustres et des alluvions récentes

Le socle est surtout dominé par le massif granitique de Vavavato, par quelques affleurements de gabbros et de migmatites. Tandis que les massifs volcaniques d'âge Quaternaire renferment des basanites et des basanitoïdes. Les formations volcaniques sont très bien conservées entre Betafo et Tritriva avec les cônes de scories et les coulées de basanites et de basanitoïdes.

5. CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES ET GEOTHERMIQUES [3] [5]

Certaines eaux thermales de la région de Vakinankaratra forment un groupe de petites sources, de geysers, de griffons et de suintements. D'autres montrent des monticules de travertin, de tufs calcaires. Les températures des eaux varient de 26°C à 58°C. Le pH varie entre 6,95 et 8,21.

Les sources thermales à Antsirabe sont principalement localisées au centre de la ville autour du lac Ranomafana. Ce lac est un lac artificiel construit pour empêcher le gaz thermal à s'échapper dans l'air. A la surface se trouvent des sédiments récents recouverts par des couches de tephra (cinérite) altérées. Le téphra a été altéré en argile, mais la structure originale est préservée. Des sédiments argileux apparaissent au-dessous du téphra et deviennent sableux au-dessus du gneiss sous-jacent. BESAIRIE ne fait pas mention de l'épaisseur des différentes couches.

L'eau thermique, à Betafo, sort des fissures au niveau de la bordure des coulées de laves

6. ANALYSES EXPERIMENTALES SUR LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX THERMALES D'ANTSIRABE ET BETAFO

6.1. Analyses chimiques [5] [7]

Le tableau suivant montre les résultats d'analyses chimiques des eaux de la Région de Vakinankaratra depuis 1923.

Tableau 1- Résultats d'analyses chimiques des eaux thermales de Betafo et Antsirabe

Sources	T°C	pH	Ca	Mg	Na	K	Fe	Al	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₃	CO ₂	SiO ₂	Débit (L/s)
RANOMAFANA I (1923)	51	6,8	11,6	7,1	13,45	2,79	0,33	3,08	-	49,61	197,2	-	-	0,5	-	2,5
RANOMAFANA I (1946)	51	6,7	11,1	7,2	13,45	2,79	0,3	0,3	16,13	49,64	197	-	179,81	-	142	2,2
RANOMAFANA II (1946)	52	6,9	17,9	8	12,45	2,58	1,2	1,2	1710	50	194	-	-	-	-	1,5
RANOMAFANA II (1979)	51	6,8	9,45		13,89	1,76	-		-	478	199,2	-	-	-	-	1,5
RANOMAFANA BETAFO (1979)	57	8,2	18,5	1,7	122,5	5,3	-		-	7,2	181,9		86,741	111	68,5	0,4
RANOMAFANA I (1995)	52	6,8	2,96	2,78	58,8	4,3	-		-	13,9	1,83	-	3,1417	-	2,48	2,4
RANOMAFANA II (1995)	53	7	3,16	2,95	60,6	4,32	-		-	-	-	-	12,663	-	10	2,5
RANOMAFANA BETAFO (Janvier 2017)	58	7,3	11,64	3,88	137,7	2,75	0,06		244,1	28,4	156,2	2,63	5,0272	89	3,97	1,25
RANOMAFANA II (Janvier 2017)	52	6,8	5,9	15,55	46,26	3,25	0,03		5,91	9,57	205,2	27,87	0,8104	-	0,64	2,15
RANOMAFANA BETAFO (Novembre 2017)	58	7.7	22	1,7	74,58	12	0,5	0,2	143,96	15,62	93,44	2,13	-	-	-	1,2

Unités : Eléments chimiques (mg/L)

6.2. Détermination de Types d'eaux

Toutes les eaux présentent une teneur en carbonate élevée sauf celle de Betafo. L'eau thermique de Betafo montre un accord relativement bon entre les températures quartz, Na-K et Na-K.Ca bien que cette dernière ait des valeurs moins élevées.

Types d' eaux thermales d'Antsirabe et Betafo

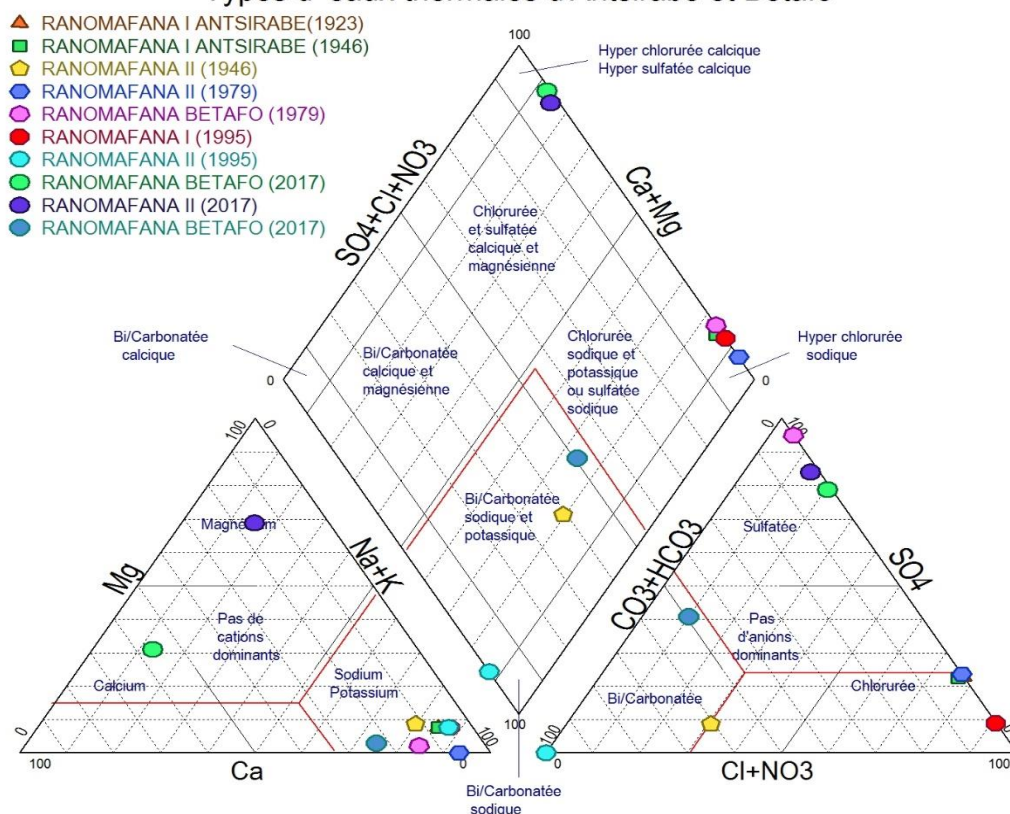


Figure 3: Représentation graphique des échantillons par diagramme de Piper

Les eaux des sources d'Antsirabe ont des températures d'équilibre quartz relativement uniformes de 154-164°C. Les températures Na-K et Na-K-Ca sont un peu plus élevées et se situent entre 208°C et 244°C et 215-232°C respectivement.

Une étude complémentaire menée en 1985 a montré que ces eaux thermales résultent d'un mélange entre une composante chaude et profonde et des eaux superficielles froides et diluées. Cette étude a montré que la température de l'eau dans le réservoir profond peut être estimée en supposant atteint un équilibre chimique global entre l'eau thermique et une paragenèse minérale où la calcédoine serait la phase stable de la silice.

Dans ce cas, la température de l'eau en profondeur serait voisine de 150°C et la pression partielle de CO₂ associée comprise entre 9 et 13 atmosphère.

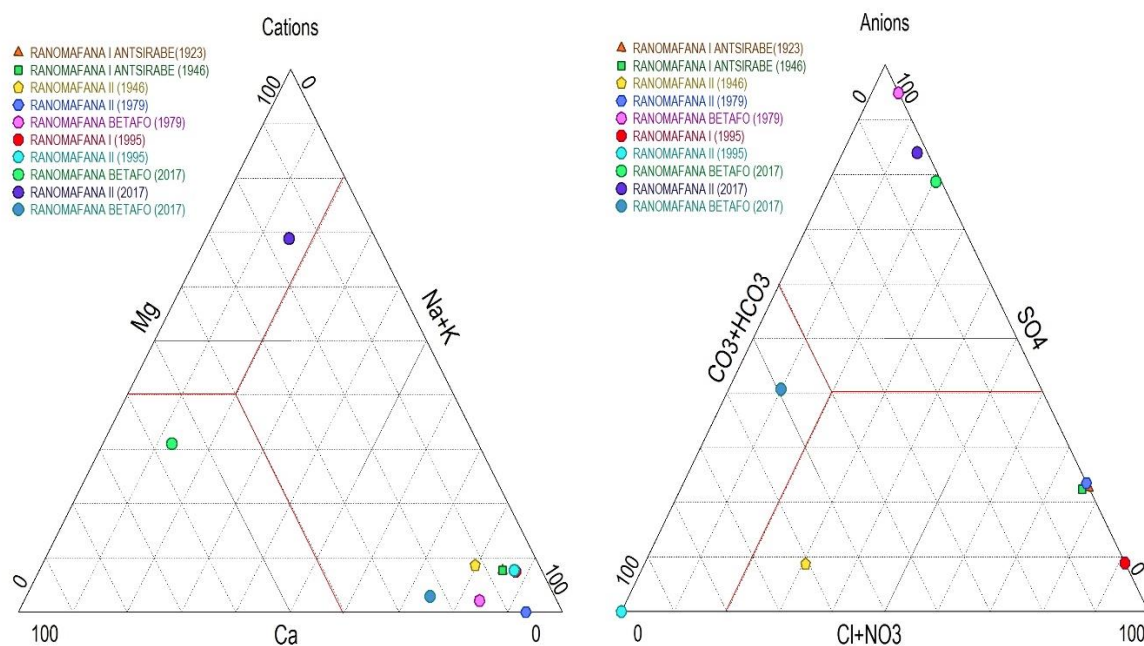


Figure 4: Teneur relative en Na, K, Cl, SO₄ et HCO₃ des eaux géothermales de Betafo et Antsirabe

6.3. Géothermométrie chimique : [5] [6]

Les valeurs dans le tableau ci-dessous indiquent les résultats des températures d'équilibre des minéraux correspondants dans les deux zones étudiées.

Tableau 2- Géothermométrie chimique en °C pour Antsirabe et Betafo

Localisation	T _{mes}	T _{quartz}	T _{1Na.K}	T _{2Na.K}	T _{Na.K.Ca}
Ranomafana Antsirabe	51	154	215	221	221
Andranomafana Betafo	57,5	117	112	123	82

7. CONCLUSION

Les eaux géothermales de la Région Vakinankaratra sont pour la plupart d'origine superficielle mais un certain nombre sont d'origine profonde. L'interprétation d'après le diagramme de Piper a permis de conclure les signatures géochimiques de l'eau thermique de la région.

D'après les analyses, les caractéristiques géochimiques de l'eau thermique d'Antsirabe et de Betafo n'ont pas subi trop de changement pendant ces dernières dizaines d'années, c'est-à-dire l'équilibre chimique est toujours atteinte et la température de l'eau thermique est toujours voisine de 150°C, ce qui est un très bon signe, on peut donc continuer à avancer dans l'étude de leur exploitation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] MANDIMBIARISON A. J. (2014) : Caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de pouzzolanes du District de Betafo – Antsirabe, Région Vakinankaratra. Madamines, vol.6, 2014, pp.38
- [2] MASSIMO C., Bernier M., Pasquier P. (2012) : Utilisation des g-fonctions d'Eskilson pour la simulation de systèmes géothermiques. Proceedings of eSim 2012: The Canadian Conference on Building Simulation
- [3] ANDRIANAIVO L. 2011 : Caractéristiques générales des systèmes et des régions géothermiques de Madagascar, Vol .2 Madamines, Université d'Antananarivo
- [4] A. FEKRAOUI (2007) : Caractéristiques géochimiques des eaux géothermales de la région d'Oran. Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda
- [5] RAKOTONINDRAINY, 1995 : Contribution à l'étude d'un aquifère profond d'épaisseur non négligeable – Thèse de Docteur ès- Sciences Physiques
- [6] SARAZIN G., Gil MICHARD, RAKOTONINDRAINY, 1986 : Etude géochimiques des sources thermales d'Antsirabe - Bulletin de l'Académie Malgache Nouvelle série Tome LXII/12, Antananarivo
- [7] RAVAOARISOA Philippine J., 1984 : Possibilités d'utilisations de l'énergie géothermique dans les Régions d'Antsirabe - Itasy. Mémoire de fin d'étude en ingénierat. Etablissement d'Enseignement Supérieur Polytechnique, Antananarivo
- [8] 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