

Contribution géothermique à l'identification du réservoir thermal de la wilaya de Sétif, Est Algérien

Djemmal SAMIR^{1*}, Menani MOUHAMED REDA¹ et Chamekh KHEMESSI²

¹Laboratoire de Mobilisation et Gestion des Ressources en Eau, Université de Batna 2, Algérie

²Laboratoire de l'Eau et Environnement, Université de Tébessa, Algérie

* Correspondance, courriel : samirgeol@yahoo.fr

Résumé

Afin de déterminer les zones d'intérêt géothermique de la wilaya de Sétif, une étude hydrogéochimique des eaux des sources a été effectuée à partir des analyses en éléments majeurs. Quatre faciès chimiques ont été ainsi identifiés : $\text{SO}_4\text{-Ca}$, $\text{SO}_4\text{-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Na}$ et Cl-Na . Ceci est lié aux interactions avec les formations traversées c'est-à-dire les eaux infiltrés et acquièrent leur minéralisation initiale carbonatée et remontent par la suite le long d'un circuit en contact avec une formation terrigène salifère lui permet d'acquérir un faciès secondaire enrichi en chlorures. Les eaux émergent à travers un système de fractures profondes. Les températures des sources varient de 30 à 52°C. L'application des géothermomètres à silice (Quartz) semblent les mieux adaptés dans notre cas. Ils donnent des températures estimées à l'origine de l'ordre de 80°C, caractérisant un système géothermal de basse enthalpie. Celles-ci sont supérieures à celles mesurées à l'émergence et traduisent une dissipation moyenne de 48 °C. L'analyse de ces résultats, confrontée au gradient géothermique de la région, permet d'identifier les calcaires fissurés du Jurassique comme réservoir thermal où les eaux se sont emmagasinées et circulé à des profondeurs de plus de 2600 m.

Mots-clés : *sources, faciès, réservoir, géothermomètre, fractures, Sétif.*

Abstract

Geothermometry contribution for the identification of the thermal reservoir of Setif, Eastern Algerian

A detailed hydrochemical study of the areas of geothermal interest was carried out from major elements analysis of spring waters. Four groundwater facies were identified : $\text{SO}_4\text{-Ca}$, $\text{SO}_4\text{-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Na}$ and Cl-Na . which could result from the interactions with formations, it means that the waters infiltrated and acquire their initial carbonate mineralization and then ascend in contact with a terrigenous salt formation to acquire a secondary facies enriched in chloride. The ground water emerges through a deep faults system. The water spring's temperatures vary from 30 to 52°C. The application of silica geothermometers the most suitable in our case, gives estimated temperatures at the origin about 80 °C, characterizing a low enthalpy geothermal system. It is higher than that measured at the emergence meaning an average dissipation of 48 °C. Comparing these results, to the geothermal gradient in the region, leads to identify the fissured Jurassic limestone as the thermal reservoir where the waters have been stored and have circulated at depths over than 2600 m.

Keywords : *springs, facies, reservoir, geothermometers, fractures, Setif.*

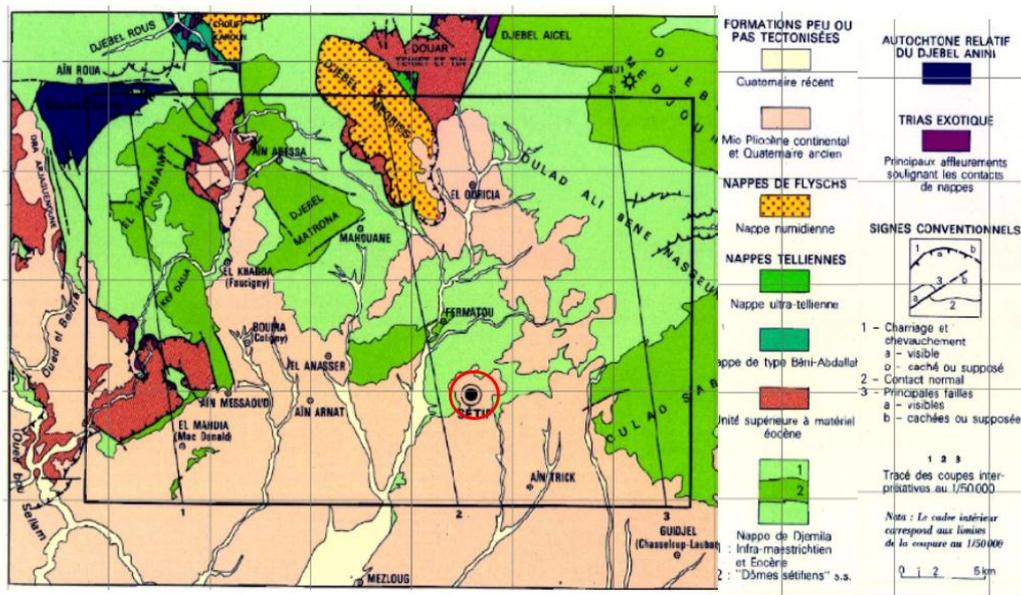
1. Introduction

La géothermie s'intéresse à l'exploitation des sources d'eau chaude en profondeur. Elle constitue l'une des principales ressources d'énergie renouvelable dans le monde. Il y a plus de 240 sources thermales en Algérie [2]. Trois zones géothermiques ont été délimitées selon certaines considérations géologiques et thermiques : Les dolomies Tlemcenian dans la partie nord-ouest de l'Algérie. Les formations carbonatées dans la partie nord-est de l'Algérie et les grès de réservoir Albien dans le Sahara Algérienne. La wilaya de Sétif appartient aux formations carbonatées du Nord-Est de l'Algérie. Elle fait l'objet de plusieurs études hydrothermales qui ont été menées à l'échelle régionale citons quelques exemples comme celles établies par [10, 11 - 17] et [12] ont été typiques pour mieux limiter les grands réservoirs hydrothermaux de l'Algérie, mais elles n'ont pas étudié en détail l'ensemble des mécanismes contribuant à l'émergence des sources thermales dans notre région. Le présent travail se propose, par une approche hydrogéochimique et géostructurale. La première, a pour objectifs d'apporter des informations sur le contexte géothermique des sources thermales. Ceci permettra l'identification et la caractérisation du réservoir thermal de ces sources ainsi que les zones d'intérêt géothermique. La deuxième, pour comprendre les mécanismes tectoniques responsables de ces émergences. La région d'étude est située à environ 300 km au sud-est d'Alger et à 100 km au sud de la méditerranée. Elle soumit un climat semi-aride de type méditerranéen. Cette région est caractérisée par une saison pluvieuse de septembre, avril et mai (400 mm / ans). La température moyenne annuelle est de l'ordre de 15 °C. La zone d'émergence se situe dans une région chaotée par un réseau de failles très développé. L'eau émerge de plusieurs sources avec un débit d'environ 1 à 55 L / s, une température s'étale de 30 jusqu'à 52 °C, une conductivité électrique moyenne (1170 à 3160 $\mu\text{S} / \text{cm}$) et une minéralisation d'environ 1922.6 mg / L [7].

2. Matériel et méthodes

2-1. Lithostratigraphie et hydrogéologie

La région d'étude appartient aux séries telliennes qui font partie des zones externes de la chaîne atlasique. À l'échelle régionale, entre les séries telliennes au nord et les séries hodnéennes au sud [13]. Ces zones font partie intégrante de la chaîne Alpine Maghrébine qui constitue l'ossature des reliefs de toute l'Algérie septentrionale au nord de la flexure saharienne.



Légende: ○ Zone d'étude

Figure 1 : Schéma structural simplifié, extrait de la carte géologique de Sétif / 50000

Sur le plan lithostratigraphique, la partie basale est représentée par des calcaires dolomitiques et gréseux du Lias inférieur et dans sa partie sommitale, par des formations carbonatées et gréseuses avec parfois d'épaisses couches marneuses de l'Eocène. Cependant le centre de la zone est comblé par des calcaires lacustres et des conglomérats surmontés par des argiles rouges parfois gypseuses et des alluvions, d'âge Mio-Plio-Quaternaire. La région comporte également plusieurs pointements triasiques, formé par une variété de sédiments (amas de gypse broyé avec de petits cubes calcaréo-dolomitiques), de grès verdâtres, de roches vertes (ophiolites), avec des extrusions magmatiques appartenant au socle paléozoïque. L'ensemble est emballé dans des argiles versicolores [13]. Les études hydrogéologiques et géophysiques (méthode électrique) réalisées dans notre région ont permis de mettre en évidence deux grands types d'aquifères : Le premier, superficiel à porosité d'interstices dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire. Le second, dans les formations carbonatées karstifiées et gréseuses à perméabilité de fissures (**Figure 1**). Ils sont représentés par les séries calcaréo-dolomitiques des djebels Zdim, Youssef, Braou, Tnoutit, Messaouda, qui constituent un énorme réservoir [1, 3 - 7].

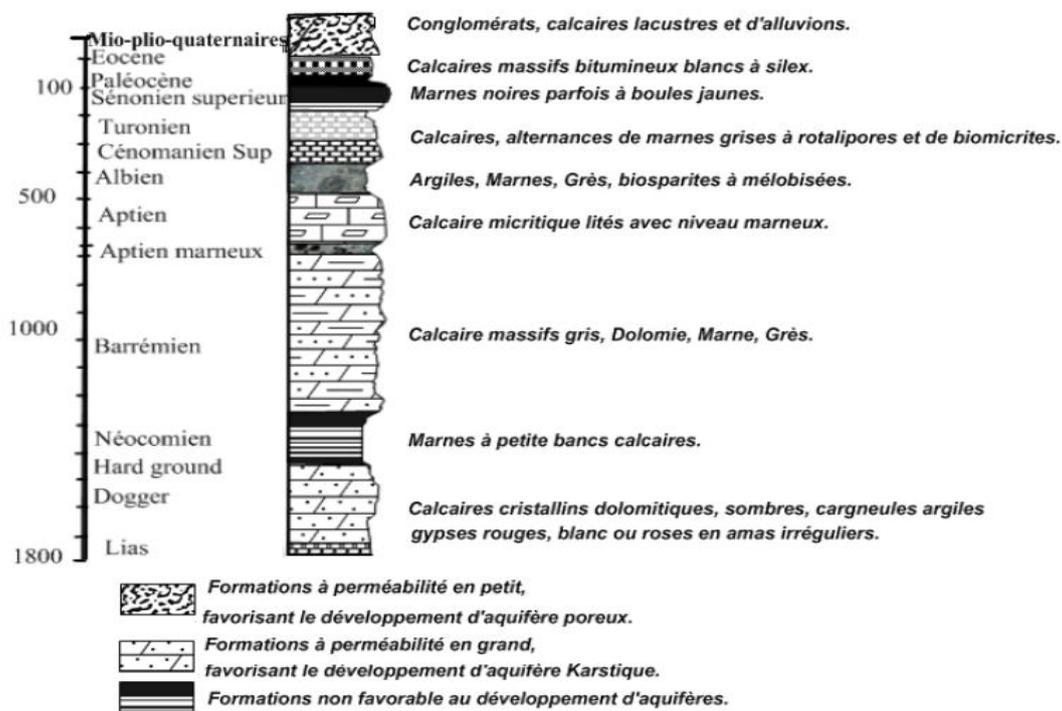


Figure 2 : Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique modifiée [13]

2-2. Analyse structurale et fracturation

Le réseau des accidents tectoniques affectant l'Algérie du nord en général et la région de Sétif particulièrement, a permis la formation d'une série de dépressions fermées drainant la majorité des eaux de surface et souterraines de la région et donnant à ce domaine une structure plutôt en horsts et en grabens qu'en forme de nappe de charriage. Au nord de la région de Sétif, le domaine septentrional de djebel Babor, à 2004 m d'altitude, apparaît en fenêtre tectonique, sous les nappes telliennes, sous forme de dôme monoclinale. Au centre, se situe le système médian des Biban de Zemmoura (1503 m) et des hauteurs de Djemila (1462 m). Le sud et le sud-ouest, sont occupés par les premiers contreforts des monts du Hodna auxquels appartient à la zone d'étude, où l'altitude atteint (1890 m) à Djebel Boutaleb. La construction de rosaces à partir des études linéamentaires détaillées nous permet de conclure à l'existence de deux familles de failles les plus importantes sont : NNW-SSE, NW-SE et NE-SW, les directions secondaires sont NW-SE, EEN-WWS, NNE-SSW.

2-3. Géothermométrie

L'utilisation des eaux à des fins géothermiques implique que l'on puisse connaître leur température en profondeur soit au niveau du gisement thermal, basées sur la composition chimique des eaux qui arrivent à l'émergence, Une campagne de terrain réalisée a permis d'échantillonner les eaux thermales des différentes sources existant dans notre région d'étude [15]. De nombreuses méthodes ont été proposées pour résoudre ce problème, elles ont reçu le nom de méthodes géothermométriques. Plusieurs géothermomètres sont appliqués, notamment les géothermomètres chimiques classiques basés sur les relations d'équilibre entre espèces en solutions et minéraux de l'encaissant. Les méthodes utilisées sont établies comme suit [16]. Les concentrations chimiques sont exprimés en mg / L et $\beta = 4/3$, T est exprimé en °C.

Géothermomètre de silice

$$\text{Quartz sans perte de vapeur : } T_1 = (1309 / 5,19 \log \text{SiO}_2) - 273,15 \quad (1)$$

$$\text{Calcédoine : } T_2 = (1032 / 4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15 \quad (2)$$

$$\alpha\text{-Cristobalite : } T_3 = (1000 / 4,78 - \log \text{SiO}_2) - 273,15 \quad (3)$$

$$\beta\text{-Cristobalite : } T_4 = (781 / 4,51 - \log \text{SiO}_2) - 273,15 \quad (4)$$

$$\text{Silice amorphe : } T_5 = (731 / 4,52 - \log \text{SiO}_2) - 273,152 \quad (5)$$

$$\text{Quartz perte de vapeur maximale à } 100^\circ\text{C : } T_6 = (1522 / 5,75 - \log \text{SiO}_2) - 273,15 \quad (6)$$

Géothermomètre Na / K

$$\text{Selon A.J. Ellis : } T_1 = [908 / 0,700 + \log (\text{Na} / \text{K})] - 273,15 \quad (7)$$

$$\text{Selon R.O. Fournier : } T_2 = [1217 / 1.483 + \log (\text{Na} / \text{K})] - 273,15 \quad (8)$$

$$\text{Selon A.H. Trusdell : } T_3 = [856 / 0.857 + \log (\text{Na} / \text{K})] - 273,15 \quad (9)$$

$$\text{Selon Arnorson: } T_4 = [933 / 0.993 - \log (\text{Na}/\text{K})] - 273,15 \quad (10)$$

Géothermomètre Na-K-Ca

$$T_1 = (1647 / [\log (\text{Na} / \text{K}) + \beta \log (\text{Ca} / \text{Na})^{1/2} + 2.06] + 2.47) - 273,15 \quad (11)$$

3. Résultats et discussion

3-1. Géothermomètre silice

L'application des géothermomètres de silice sur l'ensemble des sources thermales nous permettrons d'apprécier que les eaux des points étudiés sont en équilibre avec le quartz, peu avec la calcédoine, mais ne le sont pas avec la cristobalite (T4 et T5), ni avec la silice amorphe (T6). On constate aussi que les températures estimées avec les géothermomètres quartz (T1) et calcédoine (T2) sont plus élevées au niveau des sources de Hammam Boutara et Ouled Yelles, et ne dépassent pas 100°C pour l'ensemble des sources. Ces deux sources représenteraient soit une partie plus chaude du réservoir qui en contact avec le socle et ne présente aucun contact avec les aquifères traversés de la région d'étude. Les résultats obtenus sont consignés dans le **Tableau** ci-dessous (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Températures estimées par les géothermomètres à silice en °C

Source	T (°C) mesurée	Géothermomètre silice					
		T1	T2	T3	T 4	T 5	T6
Hamam Guergour	48	76,87	80,82	45,39	27,17	- 17,90	- 35,02
Hamam Dehamcha	30	73,60	77,94	41,96	24,02	- 20,81	- 37,73
Hamam Boutaleb	52	76,44	80,44	44,94	26,75	- 18,29	- 35,38
Hamam Ouled Tabben	48	77,87	81,70	46,44	28,14	- 17,01	- 34,19
Hamam Douar El Kebir	34	74,97	79,14	43,39	25,34	- 19,60	- 36,60
Hamam Boutara	37	85,88	88,72	54,89	35,88	- 9,83	- 27,51
Hamam Soukhna	45	78,71	82,44	47,33	28,95	- 16,26	- 33,49
Hamam Ouled Yelles	40	89,89	92,22	59,15	39,77	- 6,20	- 24,14

3-2. Géothermomètre Na / K

L'application des géothermomètres Na / K, nous à permis de constaté que ces géothermomètres ont donne des températures supérieures à celles calculées par les géothermomètres silice, elles dépassent les 100 °C, dont la totalité et rarement pour les températures calculée de géothermomètre (T9). Les résultats obtenus sont écrits dans le **Tableau** ci-dessous (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Températures estimées par les géothermomètres Na / K en °C

Source	T (°C) mesurée	Géothermomètre Na/K			
		T7	T8	T9	T10
Hamam Guergour	48	113,4	115,4	68,5	- 1695,8
Hamam Dehamcha	30	107,7	111,1	63,7	- 1622,8
Hamam Boutaleb	52	138,2	133,8	88,9	- 2087,4
Hamam Ouled Tabben	48	130,7	128,3	82,7	- 1952,6
Hamam Douar El Kebir	34	161,4	150,5	107,8	- 2624,9
Hamam Boutara	37	132,5	129,6	84,2	- 1983,4
Hamam Soukhna	45	116,2	117,6	70,8	- 1733,4
Hamam Ouled Yelles	40	265,1	219,5	191,0	- 7751,4

3-3. Géothermomètre Na-K-Ca

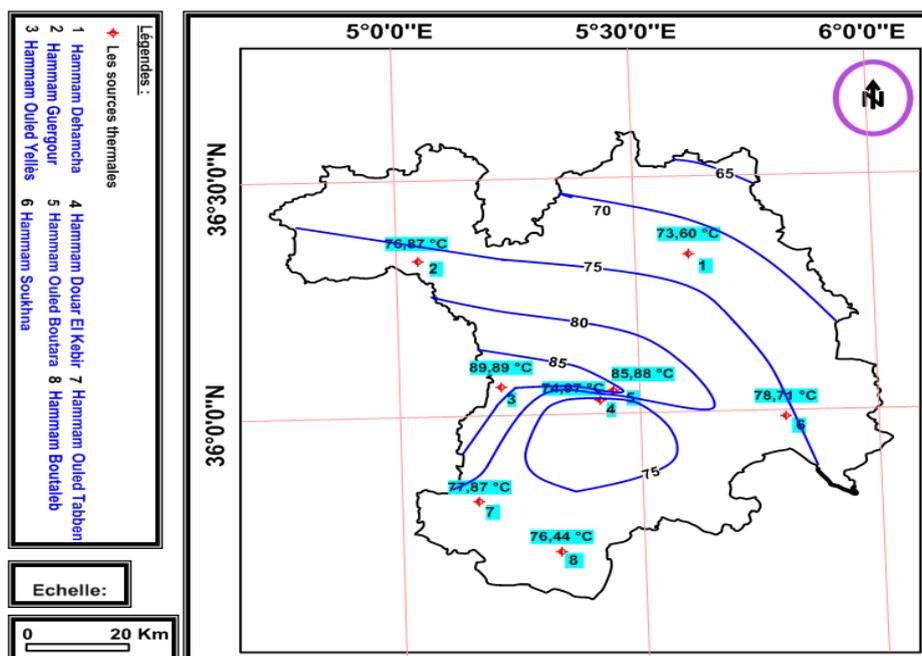
L'application du géothermomètre Na-K-Ca à donné des températures clairement supérieure à celles calculées par les géothermomètres silice. Lorsque l'eau dépose du carbonate de Calcium on peut observer des températures anormalement élevées, où l'on observe des quantités importantes de CO2 libre. Mais on pourrait également admettre à leur niveau d'un apport d'eaux chlorurées sodiques liées au complexe gypsifère qui déplaceraient l'ensemble $[\log (Na / K) + \log (Ca / Na)]$ vers des valeurs basses qui conduiraient à des valeurs excessives de température [5]. Les résultats obtenus sont déposés dans le **Tableau** ci-dessous (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Températures estimées par le géothermomètre Na-K-Ca en °C

Source	T (°C) mesurée	Géothermomètre Na-K-Ca
		11
Hammam Guergour	48	190,8
Hammam Dehamcha	30	181,8
Hammam Boutaleb	52	356,3
Hammam Ouled Tabben	48	121,0
Hammam Douar El Kebir	34	157,5
Hammam Boutara	37	190,7
Hammam Soukhna	45	295,5
Hammam Ouled Yelles	40	179,4

3-4. Carte géothermique du réservoir

La carte (**Figure 3**), montre que les valeurs du gradient sont très importante dans les parties ouest, centre et sud de la région et diminue ont allant vers l'Est et le nord; les valeurs maximales sont enregistrées aux alentours des sources H, Ouled Yelles (89,89 °C) et H, Ouled Boutara (85,88 °C). La valeur minimale est enregistrée autour de source de H, Dehamcha (73,60 °C).

**Figure 3 :** Carte des températures du réservoir à l'aplomb de la Wilaya de Sétif

3-5. Carte des iso-bathes du réservoir thermal

La carte (**Figure 4**), montre que les valeurs de profondeur du réservoir thermal sont plus importantes dans les parties ouest, centre et sud de la région et diminue en allant vers l'est et le nord; les valeurs maximales sont enregistrées aux alentours des sources H, Ouled Yelles (3150 m) et H, Ouled Boutara (3010 m). La valeur minimale est enregistrée autour de Source de H, Dehamcha (2590 m).

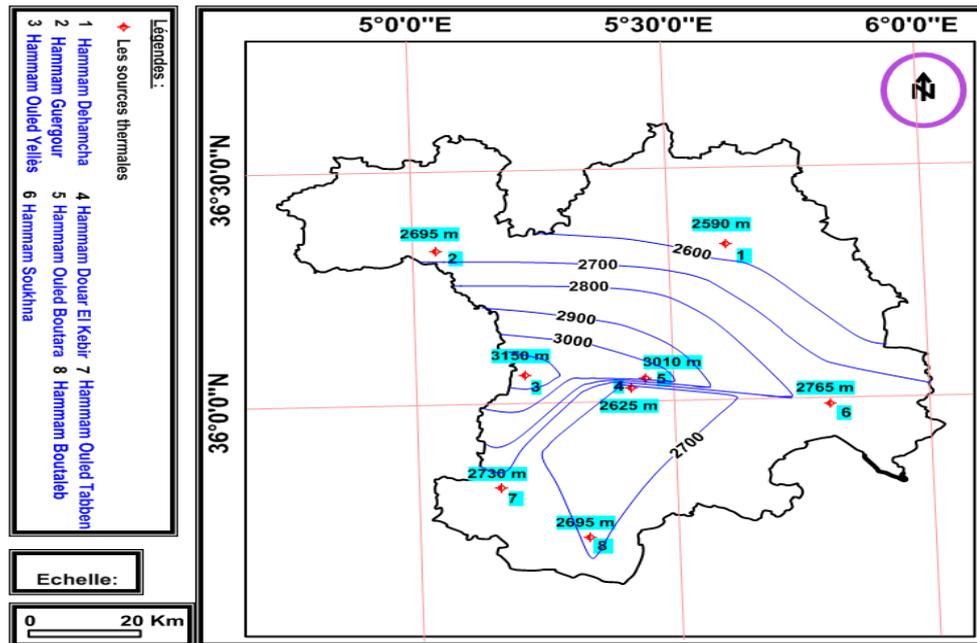


Figure 4 : Carte des iso-bathes du réservoir thermal de la Wilaya de Sétif

3-6. Analyse géothermométrique

D'après [10, 12], la région de Sétif appartient à une zone où le gradient géothermique est de l'ordre de $35\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}^{-1}$, nous permettant d'évaluer la profondeur du réservoir entre 2 600 à 3200 m. Afin d'estimer la température maximale atteinte par l'eau dans le réservoir lors des derniers équilibres chimiques, et ce à partir de sa composition chimique au point d'émergence, nous avons utilisé les géothermomètres à silice [1, 5]. L'utilisation de ces géothermomètres suppose qu'il n'y a pas de changement chimique significatif de l'eau au cours de sa remontée. La température de l'eau estimée à l'origine est de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Elle est nettement supérieure à celle mesurée à l'émergence, traduisent une dissipation moyenne de $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant la remontée vers la surface. Cette dissipation pourrait être due, soit au mélange avec des eaux moins profondes et plus froides, soit à la diffusion thermique liée à un grand circuit d'écoulement de ces eaux pour arriver en surface. La région de Sétif pourrait renfermer les deux conditions majeures pour l'existence d'un réservoir géothermique [4], un gradient géothermique et une nappe aquifère en profondeur. Les deux cartes de gradient et la profondeur du réservoir nous permettront d'estimer la température en chaque point du territoire de la wilaya de Sétif. La partie occidentale présente une température élevée, comprise entre 80 et $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les autres parties de la carte présentent une température moyenne inférieure à $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les mouvements atlasiques, alpins (accidents très profondes) semblent être les principaux responsables des températures élevées dans la partie occidentale. On remarque aussi que l'augmentation ou bien la diminution des valeurs de la température et de la profondeur sont étroitement liées l'une à l'autre, ce qui laisse supposer l'existence de deux réservoirs en profondeur, l'un dans la partie ouest et l'autre à l'Est. Les sources ouest se trouvent en contact avec les formations volcaniques [14].

3-7. Diagramme de Piper

Le diagramme (Figure 5), montre que les eaux de la région présentent quatre faciès chimiques différents. Le premier, de type Sulfaté-classique (Ca-SO_4), le second, de type Sulfaté-sodique (Na-SO_4) le troisième et le quatrième est de type Chloruré-sodique (Na-Cl), Bicarbonaté-sodique (Na-CO_3). La répartition des eaux dans ce diagramme peut résulter d'une forte influence des formations évaporitiques (CaSO_4 et NaCl) avec une tendance bicarbonatée.

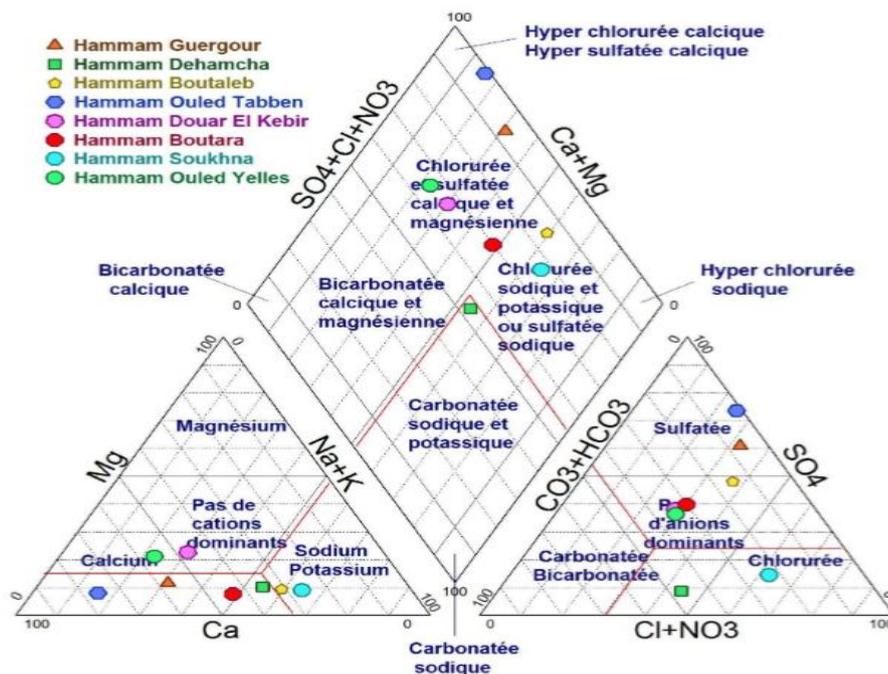


Figure 5 : Représentation des eaux le diagramme de Piper

3-8. Diagramme de Langelier-Ludwing

Le diagramme (*Figure 6*), confirme l'effet des terrains salifères sur le chimisme des eaux thermales de notre région. Ainsi, l'augmentation de la concentration en sodium et en potassium se fait en parallèle avec celle des chlorures et des sulfates, pourraient être attribués à la dissolution de l'anhydrite et de la halite, mais d'une manière inverse avec celle des éléments carbonatés. Cette tendance pourrait être due à un échange de base Na-Ca avec les argiles entraînées des profondeurs par la dysharmonie thermique affectant la région comme il a été démontré par [17] dans un cas similaire à Sfax en Tunisie. Signalons aussi que la présence des ions Cl et Na avec des concentrations significatifs peut également résulter du lessivage des formations argileuses encroûter de silice [7].

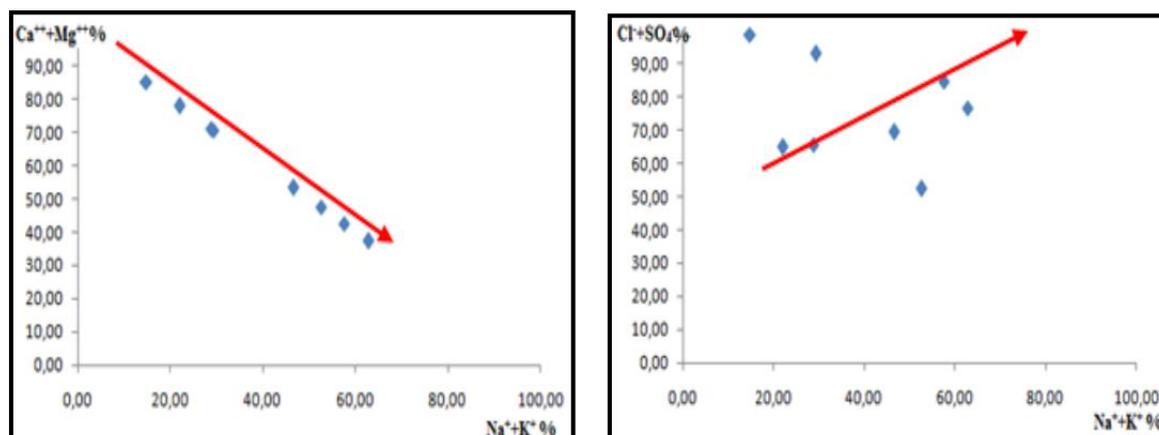


Figure 6 : Diagramme de Langelier-Ludwing appliqués aux eaux des sources

$Ca + Mg - Na + K$ et $Cl + SO_4 - Na + K$

4. Conclusion

Une étude linéamentaires détaillées a été effectuée nous permet de conclure l'existence de deux familles de failles l'une principale dont les directions sont NNW-SSE, NW-SE et NE-SW et l'autre secondaire. Quatre faciès chimiques des eaux ont été identifiés varient d'Ouest vers l'Est, à l'Ouest un faciès de type Ca-SO₄, au centre un faciès de type Na-SO₄ et à l'Est un faciès de type Na-Cl et Na-HCO₃. L'ampleur des fractures liées à un accident profond, affectant le socle cristallin, permet l'acheminement des eaux thermales profondes vers la surface et la libération d'un flux de chaleur très important réchauffant et mettant en communication les différents réservoirs sus-jacentes, où se dissipe une grande partie de leur énergie initiale. L'interprétation géochimique en association avec les cartes en iso-bathe et géothermique, nous permet de conclure que le réservoir qui alimente les deux aquifères est emmagasiné dans les calcaires fissurés du Jurassique, où les eaux ont circulé à des profondeurs de plus de 2600 m, cette interprétation conforte l'existence de deux systèmes hydrothermaux, l'un se trouve dans les formations carbonatées et cristallophylliennes à l'Ouest et l'autre dans les formations terrigènes salifères à l'Est. Le réservoir thermal correspondrait alors aux formations des calcaires fissurés du Jurassique qui affleurent sous forme de dôme anticlinal dans notre région où les eaux acquièrent leur minéralisation originelle (carbonatée) et se minéralisent par la suite en sulfates au contact du Trias diapirique jalonnant dans les failles. L'oxydation de la pyrite, très fréquente dans les calcaires jurassiques, peut conduire aussi à l'enrichissement des eaux en sulfates.

Références

- [1] - A. BOUDOUKHA, M. ATHAMNA et L. BENAABIDAT, Etude Du Potentiel Hydrothermal De Hammam Sokhna. Est Algérien. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N°24 (2015) 161 - 174 p.
- [2] - H. SAIBI, Geothermal resources in Algeria. *Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia*, (2015) 19 - 25 p.
- [3] - A. BOUDOUKHA et B. MESSAID, Caractérisation électrique des formations aquifères de L'Est Algérien. *Courrier du Savoir*, N°18 (2014) 77 - 82 p.
- [4] - F. Z. BOUCHAREB-HAOUCHINE, A. BOUDOUKHA et A. HAOUCHINE, Hydrogéochimie et géothermométrie : apports à l'identification du réservoir thermal des sources de Hammam Righa, Algérie. *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques*, 57 (6) (2012) 1184 - 1195 p.
- [5] - A. BOUDOUKHA et M. Athamena, Caractérisation des eaux thermales de l'ensemble Sud sétifien. Est algérien, *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, Vol. 25, N° 2 (2012) 103 - 118 p.
- [6] - F. Z. BOUCHAREB-HAOUCHINE et A. BOUDOUKHA, Hydro-geochemical and litho-structural approach of deep circulations in the mounts of Hodna, Algeria. *Eur. J. Sci. Res.*, 37 (2009) 12 - 20 p.
- [7] - S. DJEMMAL, L'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie Sud-Est de la wilaya de Sétif cas de Guidjal, (2008) 254 p.
- [8] - A. LAKHDAR, A. NTARMOUCHANT, M. L. RIBEIRO, M. BEQQALI, K. EL OUADEIHE, L. BENAABIDATE, M. DAHIRE, Y. DRIUCHE et A. BENSLIMANE, Détermination de l'origine de la minéralisation des eaux thermales de Moulay Yacoub par des approches géologiques et géochimiques, *Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda*, (2007) 81 - 84 p.
- [9] - A. BOUDOUKHA, Hydrogéologie des hautes plaines sétifiennes et hydrochimie des eaux souterraines. Thèse de Doctorat, Univ. Annaba, Algérie. (1998) 230 p.
- [10] - A. ISSAADI, Mécanismes de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux thermominérales algériennes et aux eaux de Hammam Bou-Hadjar. *Bull. Ser. Géol. Algérie*, 7 (1996) 71 - 85 p.

- [11] - A. ISSAADI, Le thermalisme dans son cadre géostrucurale, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Thèse de Doctorat, Univ. Alger, Algérie, (1992) 274 p.
- [12] - H. DIB-ADJOUL, Le thermalisme de l'Est algérien. Thèse de Doctorat, Univ. Alger, Algérie, (1985) 281 p.
- [13] - J. M. VILA, La chaine alpine d'Algérie orientale et les confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, (1980) 665 p.
- [14] - P. VERDEIL, Le thermalisme algérien dans son cadre géostrucurale (en coll. avec H. Gonad et J. Grevellec) 5è réunion des Sciences de la terre. Rennes, (1977)
- [15] - H, M. SCHOELLER, Le géothermomètre basé sur les rapports cations sur Silice de l'eau thermale et de l'aquifère profond. C.R. acad. Paris t 284. Série D, 1273 (1977)
- [16] - N. RACHID, Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux thermales du centre algérien (Nord). Geochemistry. Université Scientique et Médicale de Grenoble, French, (1987) 154 p.
- [17] - B. CHULLI, J. MAKNI, M. BEDIR et H. BENDHIA, Une approche multidisciplinaire pour la prospection des bassins hydrogéothermiques : cas du Sahel de Sfax (Tunisie orientale). *Hydrol. Sci. J*, 56 (2011) 507 - 520 p.