

ESTIMATION DE LA TEMPERATURE DES EAUX THERMALES DANS LES RESERVOIRS PROFONDS A L'AIDE DES GEOTHERMOMETRES. APPLICATION AUX SOURCES DE TAMERSIT, KHENCHELA NORD – EST ALGERIEN.

BRINIS Nafaa*, YOUB Saïd**, KHELLIF Hanane**, RAHMANI Mebarka**, ALLAOUI Abdelmalek

* Laboratoire de mobilisation et de gestion des ressources en eau ISTU, Géologie - Batna2

** Bureau des études techniques de l'Hydraulique – Batna

nafaa.brinis@gmail.com, s_youb@yahoo.fr

Résumé— La température d'une eau thermale mesurée au griffon est la plus faible de tout le circuit. Elle est cependant plus élevée en profondeur atteignant son maximum au niveau du réservoir. L'abaissement de la température est lié à plusieurs facteurs.

L'estimation de la température des eaux dans le réservoir est rendue possible grâce à plusieurs géothermomètres basés sur les teneurs en certains éléments chimiques variant avec la température.

Le calibrage des géothermomètres a été souvent effectué dans des formations cristallines. Leurs utilisations dans des formations sédimentaires est possible dans la majorité des cas.

Dans ce papier, nous avons exploité sept géothermomètres basés sur les teneurs en silicium (SiO₂) en sodium (Na), en potassium (K) et en Lithium (Li) pour prendre ceux qui nous paraissent compatibles avec les mesures sur terrain pour en tirer une moyenne. Les résultats indiquent que trois modèles T1, T2 et T3 basés sur la silice semblent donner des résultats logiques alors que, T4 et T5 (modèle silice et rapport sodium – Lithium) donnent des valeurs sous estimées, par contre, T6 et T7 (modèle du rapport sodium – Potassium) des valeurs exagérées. Ces résultats nous permettent par ailleurs, de mettre en évidence d'éventuelles déperditions d'énergie (chaleur) lors d'ascension de ces eaux vers la surface.

Mots clés : Eau thermale, géothermomètre, silice, Tamerssit

1. INTRODUCTION :

Le territoire algérien recèle un grand nombre de sites qui dépasse 200, dont les eaux se manifestent sous forme de source thermale, ce nombre croît régulièrement quand on se déplace vers l'Est du pays. Les températures mesurées à l'émergence varient de 19°C à Ben Haroun à 98 °C à Hammam Debagh. (S. Ouali, 2008). La région des Aurès, à l'est algérien, est connue pour l'exploitation de ces eaux depuis l'époque romaine, elle est célèbre par ses sources : de hammam Essalhine (Aquaeflaviana de l'époque romaine), El Bouzani près

d'Ouled Fadhel, Oughendja à Timgad, Chabora dans la zone montagneuse de T'kout, et hammam d'Ouled Aïcha à Tiginamine.

Les sources étudiées d'Ain Tamersit sont situées dans le village de Tibouchrikte dans un secteur boisé de pin d'Alep, chêne et de genévrier. Des palmiers et d'oliviers sont cultivés sur les rives d'Oued l'Arabe. La région est caractérisée par un climat semi-aride (501,8 mm moy annuelle des précipitations et une moy. annuelle des températures de 15,76 °C) avec une diversité dans le relief.

La source (Tamersit 1) est située sur la rive droite d'Oued Zeriba, elle est captée et exploitée par les riverains, une autre émergence apparaît à 1.19 km vers le nord-Est que nous appelons (Tamersit 2).

Le site des deux émergences se trouve à 6.36 Kilomètre de la commune de Khirane, et 22 km de la commune d'El-Ouedja dans la wilaya de Khenchela. (Figure N°1)

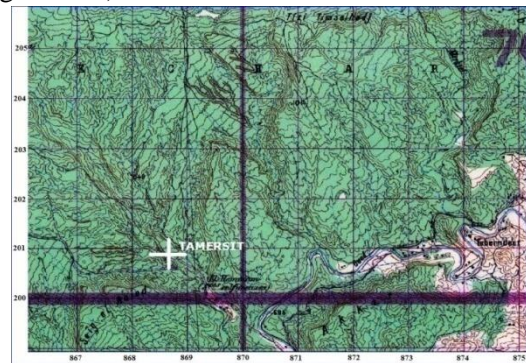


Figure 1 : Situation de source de Tamersit (Extrait De La Carte topo1/50 000. Djebel Toubount N°262)

2. MATERIELS ET METHODES :

2.1 Contexte géologique :

A l'échelle locale, la succession lithologique relevée à partir de l'extrait de carte géologique de l'Est algérien 1/200000 (Lafitte, 1939) concerne en plus des formations récentes du quaternaire, celles appartenant aux secondaire (Trias, Jurassique et Crétacé).

2.2 Description des sites des sources :

- **Tamersit 1** : L'émergence de la source se trouve au

niveau des calcaires d'âge cénomanien de 10° de pendage avec une direction N110E sur la rive droite d'un oued Zeriba sous une épaisseur assez importante de formations marneuses du même âge avec des barres de calcaires centimétriques. Les dépôts quaternaires composés de graviers mal répartis dans une matrice marneuse.

• **Tamersit 2** : La source se situe sous une dalle calcaire affleurant au niveau d'un petit affluent, dont la rive droite s'élève à plus de 16 m façonnée par les eaux de ruissellement en période des crues dessinant une cascade sur cette hauteur donnant une succession lithologique d'âge cénomanien. La description est la suivante : (figure N° 2)

A la base (au niveau de l'oued) se trouve des bancs de calcaires de couleur noire avec des traces d'une activité tectonique (présence de stries et des niches d'arrachement).

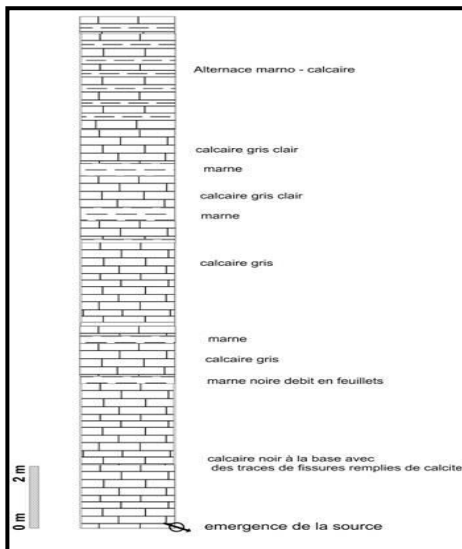


Figure 2 : colonne lithologique de la rive Droite du site de Tamersit 2

En allant vers le sommet les calcaires deviennent plus clairs avec une présence des marnes noirâtres à débit en feuillets en alternance avec ces derniers. Ces passages marneux ne dépassant pas dans les meilleurs des cas 50 cm.

La rive droite présente une formation marneuse. L'échantillonnage d'eau a intéressé les sources de Tamersit (1 et 2), durant Aout/ septembre 2016. Les analyses ont été réalisées dans différents laboratoires selon les paramètres analysés tableau N° 1.

Des exigences strictes ont été respectées pendant toute l'opération de prélèvement conformément aux recommandations de Rodier, 2009. Le transport des échantillons au laboratoire se fait dans une glacière,

une fois au labo, ils sont déposés dans un réfrigérateur en attendant l'opération d'analyse.

Concernant les paramètres sensibles tels que la température, la conductivité électrique (CE) et le pH, ils ont été mesurés sur terrain à l'aide d'une sonde multi-paramètre.

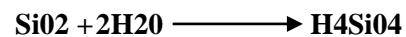
Tableau N° 1 : Résultats d'analyse de quelques paramètres physico-chimiques des eaux des sources.

Paramètre	Tamersit 1	Tamersit 2	Laboratoire d'analyse
Temp. (°C)	27,4	25,5	In-situ
Na (mg/l)	619,23	452	Labo. ADE Batna
K (mg/l)	146	99,5	Labo. ADE Batna
SiO ₂ (mg/l)	18,6	18,2	Analyse physico-chimique des matériaux – Ain M'lila
Li (mg/l)	0,17	0,15	Analyse physico-chimique des matériaux – Ain M'lila

Les différents géothermomètres testés sont :

2.3 Géothermomètre à silice :

Les différentes variétés allotropiques de la silice se dissolvent en donnant naissance, à l'équilibre, à un monomère non chargé en SiO₄. La réaction de solubilisation est :



Cette réaction est indépendante du pH et de la force ionique de la solution.

Trois variétés allotropiques peuvent intervenir et prédominent à différentes températures.

- Au-dessus de 160°C, c'est le quartz qui précipite.
- Entre 120 et 160°C, c'est le quartz et la calcédoine qui peuvent précipiter.
- A la température ordinaire, c'est la silice amorphe.

La teneur en silice mesurée aux émergences est finalement celle correspondant à la température de l'eau dans la zone de mélange. Cette température peut se calculer par l'une ou l'autre des formules suivantes :

$$\text{T}(1) = 12 \sqrt{\text{SiO}_2}$$

$$\text{T}(2) = \frac{1522}{5,75 - \log \text{SiO}_2} - 273,15$$

$$\text{T}(3) = \frac{1309}{5,19 - \log \text{SiO}_2} - 273,15$$

$$\text{T}(4) = \frac{1032}{4,69 - \log \text{SiO}_2} - 273,15 \quad (\text{Teneurs en mg/l})$$

2.4 Géothermomètre Na/Li (Fouillac et Michard 1981) :

L'utilisation du Lithium donne dans certains cas des résultats satisfaisants :

$$\text{T}(5) = \frac{1000}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{Li}}\right) - 0,14} - 273 \quad (\text{Teneurs en mg/l})$$

2.5 Géothermomètre Na-K :

Ces géothermomètres ont mis empiriquement en évidence la relation entre le rapport Na/K et la température profonde de l'eau.

Selon Fournier R.O :

$$\text{T}(6) = \frac{1217}{1,483 + \log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)} - 273,15$$

Selon Arnorson :

$$\text{T}(7) = \frac{933}{0,993 + \log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)} - 273,15 \quad (\text{Teneurs en mg/l})$$

Pour la détermination de la lithologie du réservoir profond, nous pensons que la méthode d'IIRG (Institut International de recherches Géothermiques) développée par D'AMORE *et al.* (1983), constitue l'outil le plus approprié.

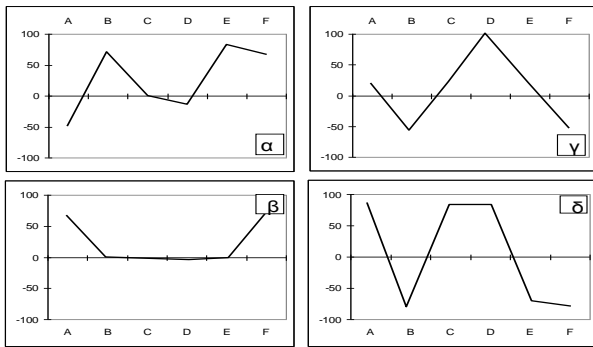


Figure N°3 : modèles proposés par l'Institut

International de recherches Géothermiques (IIRG)

Le principe de cette méthode repose sur l'utilisation des rapports des concentrations des éléments majeurs et la somme des cations $\Sigma(+)$ et des anions $\Sigma(-)$ exprimées en méq/l. Six paramètres (A, B, C, D, E et F), sans unité, sont ainsi définis et normalisés entre -100 et +100. Ces modèles (α , β , γ et δ) correspondent à : α : série évaporitique; β : circulation dans les calcaires; γ : circulation profonde à travers un socle cristallin; δ : formation argileuse. (Figure N° 3)

3. RESULTATS ET DISCUSSION:

Pour estimer la température du dernier équilibre thermodynamique, on a appliqué plusieurs géothermomètres, mais il semblerait que celui de la silice est le mieux adapté aux eaux chaudes des sources étudiées.

Le tableau N° 2 récapitule les températures des eaux dans le réservoir estimées par différents géothermomètres.

Tableau N°2 : Estimation des températures des eaux dans les réservoirs

Sce	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Moy (T°C) T1, T2, T3
Tamersit1	51,75	66,55	60,74	28,56	19,13	303,49	2279,51	59,6785
Tamersit2	51,19	65,83	59,93	27,73	26,34	295,46	2506,24	58,9865

T1, T2 et T3 basées sur la silice semblent donner des résultats logiques alors que, T4 et T5 donnent des valeurs sous estimées, par contre, T6 et T7 des valeurs exagérées.

La moyenne des trois premières températures indique des valeurs élevées au réservoir profond. Par ailleurs, on note une différence entre la température des eaux profondes et celles au griffon de 32 à 34 °C ce qui peut être expliqué par une dissipation d'énergie au cours de la remontée d'eau du réservoir jusqu'à la surface du sol. Cette dissipation pourrait être due :

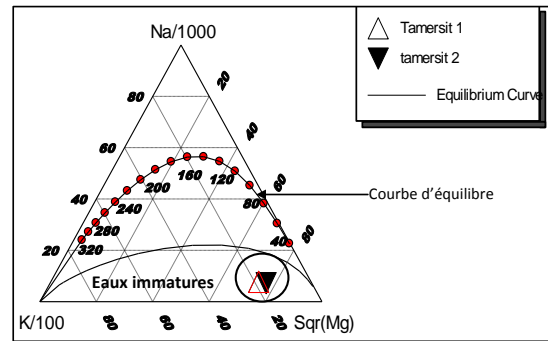


Figure N°4 : Diagramme de Giggenbach appliquée aux sources de Tamersit

- Soit à un mélange avec les eaux de surface ; les points correspondants s'alignent dans le diagramme de Giggenbach (1988) figure N°4 en bas du triangle à droite ce qui correspond aux eaux superficielles immatures et sous saturées confirmant ainsi l'influence en partie par une dilution par les eaux froides superficielles durant leur ascension vers la surface,
- Soit à la diffusion thermique liée au long trajet parcouru par ces eaux pour arriver en surface.
Par ailleurs, le calcul des indices A, B, C, D et F selon la méthode IIRG et l'établissement des diagrammes correspondants appliqués aux sources étudiées (figure N°5) montre que les eaux étudiées correspondent au modèle « δ ». Ceci peut être expliqué par la circulation probable de ces eaux dans les formations argileuses du Trias se trouvant

en profondeur, les eaux sont arrivées en surface par le biais de nombreux accidents tectoniques.

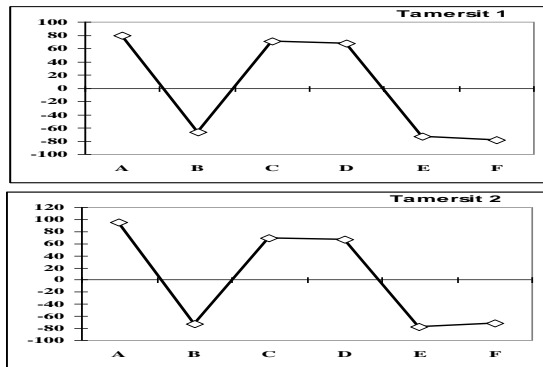


Figure N°5: Diagrammes (IIRG) appliqués
Aux sources de Tamersi

4. CONCLUSION :

Les sources de Tamersi (1 & 2) se trouvent dans les Aurès. Les émergences se situent au niveau de bancs de calcaires à intercalations marneuses, la température de l'eau varie aux griffons entre 25 et 27 °C. Un essai d'étude de la température au niveau du réservoir profond à l'aide des différents géothermomètres notamment ceux de la silice indique une valeur qui avoisine 60°C. Les géothermomètres à base de cations (sodium et potassium ainsi que celui à base de lithium) ne donnent pas des valeurs convaincantes.

Par ailleurs, le diagramme de Giggenbach montre que les eaux des sources étudiées sont immatures et sous-saturées par rapport à la ligne d'équilibre, ceci est dû sans doute à un mélange de ces eaux pendant leur ascension vers la surface avec les eaux froides des aquifères superficielles ou la déperdition par diffusion de l'énergie le long du parcours par ces eaux vers la surface. Le calcul des indices A, B, C, D et F selon la méthode IIRG et établissement des diagrammes correspondants montre que les eaux étudiées sont influencées dans le réservoir profond par des formations argileuses probablement celles du Trias.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Arnorsson, S, E. Gunnlaugsson and H. Svavarsson,(1983): 'The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. Part III: Chemical Geothermometry in Geothermal investigations', *Geochemical and Cosmochimica Acta*, Vol. 47, pp. 567 – 577.
- BETH (2016): *Etude Pour l'élaboration d'un Bilan Thermal de 02 Sources : Ain Djaarir Et AinTamerssite*,
- Bouchareb-Haouchine, F.Z. 1993. "Apports de la géothermométrie et des données de forages profonds à l'identification des réservoirs géothermiques de l'Algérie du Nord. Application à la région du Hodna". In Thèse de Magister, Université Science et Technologie, USTHB Alger.
- Bouchareb-Haouchine, F.Z., Issaadi, A. and et BenDhia, H. 1994. Estimation et interprétation du gradient géothermique en Algérie du Nord. *Bulletin de la Service Géologique d'Algérie*, 5(1): 69–74.
- d'Amore, F., Fancelli, R. and et Caboi, R. 1987. Observation on the application of chemical geothermometers to some hydrothermal systems in Sardinia. *Geothermics*, 16: 271–282.
- d'Amore, F., Scandifio, G. and et Panichi, C. 1983. Some observations on the chemical classification of ground waters. *Geothermics.*, 12(2/3): 141–148.
- Fournier, R.O. 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5: 41–50.
- Fournier, R.O. Silica in thermal waters: Laboratory and field investigations. *Proceedings, international symposium on hydrogeochemistry and biogeochemistry*. 1970, Tokyo. Vol. 1, pp.122–139. Washington, DC: Clark.
- Giggenbach, W.F. (1986): *Graphical Technics for the Evaluation of Water-Rock Equilibration Condition by Use of Na, K, Mg and Ca Contents of Discharge Waters*, *Procs. 8th N.Z. Geothermal Workshop*, Labo. Géologie, ENS; Paris, ERAG on CNRS.
- Giggenbach, W.F., (1988), 'Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators', *Geochemical and Cosmochimica Acta*, Vol. 52, pp. 2749 – 2765,.
- Hamel. A, (2009): *Hydrogéologie des systèmes aquifères en pays montagneux a climat semi-aride. cas de la vallée d'oued el abiod (Aurès)*. Mémoire de magister de l'université Mentouri Constantine. 178 pages.
- Laffitte. R, (1939) : *Etude géologique de l'Aurès et esquisse géologique des Aurès*, Thèse, Paris, Bull. Service de la carte géologique de L'Algérie, Alger, 2eme édition, 484 p.
- OUALI, S, (2008) : *Les sources Thermales en Algérie Division Energie Solaire Thermique et Géothermie*, revue « Recherche et Développement »
- Rihani, A, (2008) : *Etude hydrogéologique du bassin de Bouzina «sous bassin d'Oued Abdi massif des Aurès*». Mémoire de magister en géologie, université de Batna.
- Rodier J. Legube, B, Merlet,N Et Coll. (2009). *L'analyse de L'eau*, 9^{ème} Edition. Dunod, Paris, France.