

# Caractéristiques Hydrogéochimiques Et Isotopiques De Quelques Sources Thermominerales

## De L'Algérie Septentrionale : Relation Avec Les Températures De Gisement

CHORFI Hadjer<sup>(1)</sup>, Moula A.S<sup>(1)</sup>, Cherchali M.E-H<sup>(1)</sup>, Khouss D<sup>(1)</sup>, Abdelouahab R<sup>(1)</sup>, Ouarezki S<sup>(1)</sup>.

(1) Centre de Recherche Nucléaire d'Alger  
Boulevard Frantz Fanon, Bp 399, Alger-gare, Alger.  
Tél/Fax (213)021434444-(213)021434280  
hadjer\_ch@hotmail.fr

### Résumé —

*Le présent travail concerne l'étude des caractéristiques hydrogéochimiques, géothermiques et l'analyse isotopique des eaux thermales du Nord algérien. De nombreuses sources thermales émergent, à la faveur de failles, au bord des massifs montagneux, mais aussi au niveau des plaines. Les transversales qui génèrent d'importantes sources thermales, sont aussi responsables de la remontée du flux de chaleur, des formations évaporitiques et des coulées magmatiques. Le gradient géothermique calculé est souvent supérieur à 4°C/100m. L'interprétation des données illustrées par la projection sur le diagramme de Piper et par l'analyse statistique (ACP), montre en général des eaux de types chlorurée-sodique et sulfatée. Cette caractérisation des ions majeurs indique un mélange des eaux. L'étude des équilibres chimiques montre une saturation vis-à-vis du quartz, de la calcite et de l'aragonite.*

### Mots clé—

*Géothermiques - Sources thermales - caractéristiques hydrogéochimiques - ACP- Température.*

## I. INTRODUCTION

Une eau thermale ou thermo-minérale est définie comme une eau profonde dont la température à l'émergence, est supérieure à la température moyenne annuelle de la région où elle se trouve. Elle possède des caractéristiques

physico-chimiques constantes pour chaque source (débit, température, concentration en minéraux et en gaz) et ceci, indépendamment des modifications climatiques et environnementales (saisons, pluviométrie, sécheresse).

Il existe sur le territoire algérien plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croît régulièrement quand on se déplace vers l'Est du pays. Le thermalisme de l'Algérie septentrionale est caractérisé par une forte concentration des sources chaudes au Nord, généralement liées à de grandes fractures affectant profondément les formations sédimentaires et parfois même le socle cristallin. Ces fractures sont souvent remplies d'évaporites triasiques. Leurs directions respectives sont NE-SW, NW-SE ou E-W, limitant les grands ensembles géostructuraux.

Dans ce contexte, quarante huit points chauds répartis sur le Nord du pays, ont fait l'objet d'une analyse physico-chimique et isotopique ayant pour but de caractériser ces sources thermominérales et d'estimer les températures de gisement.

## II. GEOLOGIE

L'histoire géologique de l'Algérie s'inscrit dans une longue évolution géodynamique. Dans son état actuel, l'Afrique du Nord correspond à une zone ayant subi plusieurs phases de déformation et de sédimentation depuis le

Précambrien. La géologie de la partie septentrionale de l'Algérie est marquée par l'empreinte de l'orogénèse alpine (domaines tellien et atlasique). Le linéament majeur du pays correspond à la *Flexure Sud-Atlasique* qui sépare l'Algérie Alpine au Nord de la Plate-Forme Saharienne au Sud. Le système Atlasique dans sa partie septentrionale, il est formé par les hautes plaines oranaises (la Meseta Oranaise), Les hautes plaines algéroises et les hautes plaines constantinoises.

### III. MATERIELS ET METHODES

Cette étude hydrochimique est fondée sur une analyse complète des échantillons au niveau des sources et des forages qui sont répartis sur le Nord Algérien. Pour atteindre cet objectif, quatre campagnes de prélèvement et d'analyses ont été réalisées pour la collecte de 48 échantillons qui ont été filtrés à travers un filtre 0,45(µs).

Certains paramètres ont été mesurés in-situ. Il s'agit de la température, du pH, de l'oxygène dissous, de la conductivité et de la salinité.

#### A. Analyse chimique

Les analyses des sels dissous concernent les principaux anions (fluorures, chlorures et les sulfates) et cations (Potassium, Calcium, Magnésium et Sodium) ont été déterminés simultanément par chromatographie ionique à l'aide d'un chromatographe ionique (modèle Dionex DX-120 Ion Chromatograph). Cette méthode a pour principe la séparation des constituants ioniques de l'échantillon par différence entre leurs constantes d'équilibre lors de leur partage entre la phase mobile et la phase stationnaire. Les échantillons d'eaux micron d'acétate de cellulose.

Titre alcalimétrique complet T.A.C (mg/l HCO<sub>3</sub>) : la mesure a été effectuée par volumétrie avec l'acide sulfurique.

#### B. Analyse des isotopes stables de la molécule d'eau (δ<sup>2</sup>H, δ<sup>18</sup>O)

Les analyses de Deutérium et Oxygène 18

(δ<sup>2</sup>H, δ<sup>18</sup>O) sont effectuées sur « Picarro »

Les échantillons prélevés pour l'analyse des isotopes stables 2H et 18O de la molécule d'eau ont été collectés dans des flacons 30ml

## IV. RESULTATS ET DISCUSSION

### A. Paramètres du terrain

Les températures mesurées aux émergences du Nord-Est varient de 38,6 °C à Béni-Haroun à 93°C à Hammam Chellala (Guelma), et pour la partie Nord-Ouest varient de 20°C à Ain-Bagra à 67,2°C à Sidi-Boussaid. Le gradient géothermique mesuré ou calculé est de 4,0°C/100m à l'Est, 4,3 °C/100m à l'Ouest et 4,2°C/100m au centre.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente elle varie entre 296 et 24400 µs

Les sources thermales de l'Algérie sont généralement caractérisées par une minéralisation assez élevée, leurs Solides Totaux Dissous (TDS) varient entre 435 et plus de 16000 mg/l.

### I. Tableau n°01 résultats des paramètres insitu des eaux thermales

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
pH	5,87	7,56	6,80	0,45
T	21,50	93,00	42,26	13,74
CE	296,00	24400,00	4128,89	5103,61
OD	0,00	6,90	2,766	2,10
TDS	435,00	16350,00	2104,17	3484,72
TAC	60,00	970,00	2289,91	183,01

### B. Analyse chimique et graphique

La représentation des échantillons dans les diagrammes de Piper (fig1) permet de conclure que ces eaux sont majoritairement de type primaire, c'est-à-dire regroupant les trois types Chloruré-Sodique, Sulfaté-sodique et Chloruré-sulfaté-sodique (NaCl, NaSO<sub>4</sub> et NaCl-SO<sub>4</sub>). Cependant, les eaux de Forage Zenata sont de type bicarbonaté (NaSO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>),

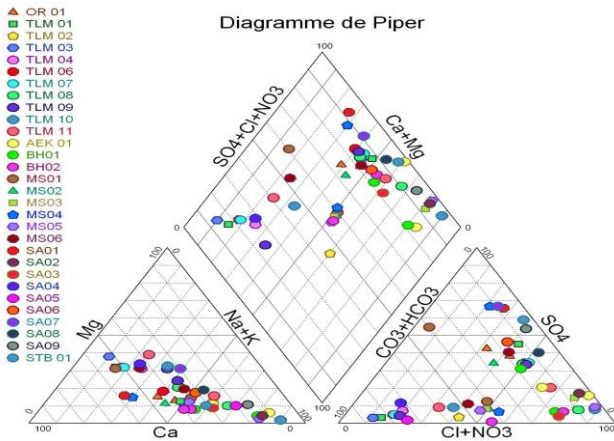


Fig1 Représentation graphique des échantillons sur diagramme Piper

Les eaux présentent globalement un même profil géochimique vis-à-vis des substances sauf pour les alcalins où on distingue une opposition entre les eaux thermales (Fig2).

On constate des oppositions au niveau des teneurs en spéciations de la dissolution des minéraux évaporitiques, notamment,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . La variabilité des ions cités est due, soit à un mélange d'eaux soit à une dissolution incongrue de ces sels au niveau des différents réservoirs

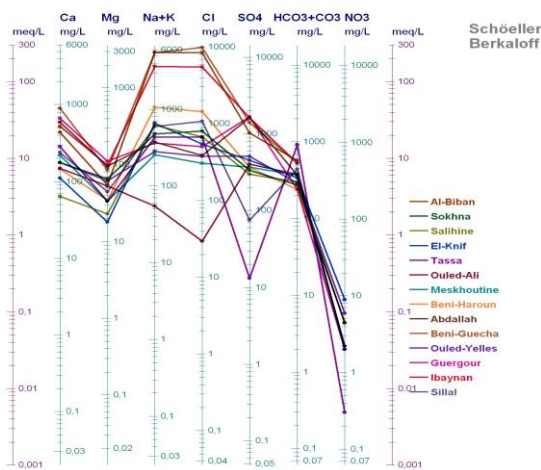


Fig2 Représentation graphique des échantillons sur diagramme de schoeller

L'étude des indices de saturation montre que pour les éléments évaporitiques, la halite est en sous-saturation dans les eaux, ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en Sodium (Na) et en Chlorure (Cl) sauf pour un seul échantillon (source thermique de Tassa, Souk-Ahras) qui est sur-saturée ce qui provoque une précipitation sous forme de Halite.

L'étude des équilibres chimiques montre une saturation vis-à-vis du quartz, de la calcite et de l'aragonite.

### C. Analyse statistique des données

L'analyse statistique des données physico-chimiques – 17 variables, 48 individus – a été réalisée par l'analyse en composante principale (ACP). La matrice des corrélations nous donne une première idée des associations existant entre les différentes variables telles que Na, Cl,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  et CE (conductivité électrique). Ces paramètres sont relativement bien corrélés entre eux.

Les valeurs propres de la matrice des corrélations permettent de mesurer le pourcentage de la variance expliquée par chaque facteuriel. Nous apporterons une attention importante aux variables ayant une forte contribution positive ou négative à l'axe factoriel, ce qui facilitera la compréhension de la source de variabilité expliquée par cet axe.

Le premier plan factoriel s'est révélé suffisant pour traduire l'essentiel de cette inertie.

Sur les graphiques issus de l'analyse factorielle, nous voyons des regroupements, des oppositions et des tendances directionnelles.

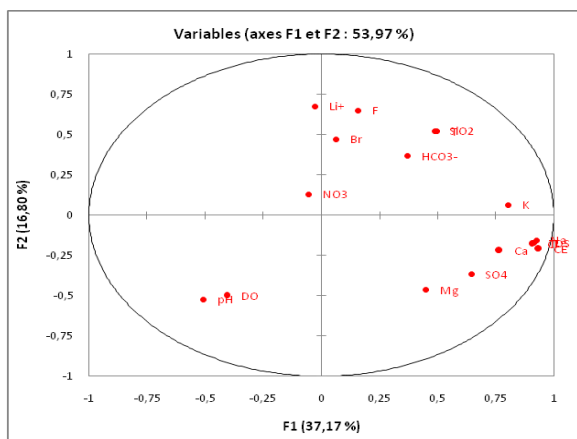


Fig3 Projection des variables sur le plan factoriel F1/ F2

#### D. Analyse isotopique

Les résultats des analyses en isotopes stables des eaux thermales étudiées montrent que la teneur en isotopes stables de la molécule d'eau varie entre -9.6 ‰ et -6.28 ‰ pour l'oxygène-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ), sur l'ensemble des échantillons, la teneur moyenne en  $^{18}\text{O}$  est de -7.74‰. Les teneurs en Deutérium ( $\delta^2\text{H}$ ) oscillent entre -64.6 ‰ et -37.3 ‰ avec une moyenne de -52.73 ‰.

Les résultats obtenus nous indiquent que les teneurs en isotopes stables sont appauvries et homogènes pour les eaux thermales analysées.

#### C. Etude géothermique

Les méthodes de géothermométrie chimique (géothermomètre à silice et cationique) permettent, à partir de l'analyse des eaux des sources chaudes, de calculer la température à laquelle elles ont été portées dans le sous-sol "au niveau de leur gisement".

## V. CONCLUSION

Nous avons utilisé une approche pluridisciplinaire axée sur la géologie, l'hydrochimie et l'étude isotopique. Il ressort de cette approche que cet ensemble est caractérisé par la présence d'une série de horsts et de grabens. Ces massifs carbonatés affleurent au milieu d'une vaste plaine comblée par des formations alluvionnaires. L'outil hydrochimique montre que les eaux chaudes se caractérisent par la présence de trois faciès chimiques différents, le premier de type Cl-Na à l'Est, le second de type SO<sub>4</sub>-Ca au centre et le troisième de type SO<sub>4</sub>-Na à Ca à l'Ouest. Cette analyse a aussi permis d'attribuer au sodium, aux chlorures et aux sulfates une origine terrigène évaporitique. La salinité qui caractérise ces eaux thermales est principalement due à la circulation des eaux à grande profondeur dans les formations cristallophylliennes et les formations carbonatées. Le géothermomètre à silice montre que ces eaux thermales ont une température de 80 °C et que l'eau proviendrait d'une profondeur allant de 1 400 à 2 200 m à travers un système de failles qui affecte le socle. Il est montré que la baisse de la température de 40 °C est due en partie au mélange avec les eaux superficielles.

## REFERENCES

- [1] S. Ouali, 'Etude géothermique du Sud de l'Algérie.', Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara, Boumerdes, Algérie, 2006.
- [2] K. Bouzidi, S. Ouali, C. Belfedal, 'Possibility of geothermal uses in Algeria', International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources-NuRER-201 4, Antalya, Turquie, 26-29 Oct. 2014.
- [3] A. Ait-Ouali, 'Geothermal Exploration Under Geology and Geophysics Methods in North Algeria', Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 Avril, 2015.
- [4] S. Guigue, 'Les sources thermominérales de l'Algérie', Etude géochimique, Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, 3ème série, Vol. 2, 1947.

[5] Tardy Y. Géochimies des interactions entre les eaux, les minéraux et les roches. S.A.R.L. ELEMENTS édit. Tarbes, 1980,199 p.