Taha-Hocine Debieche, Drouiche Abdelmalek, Boulatrous Bouchra, Bounneche Ahlam, and Rouikha Youcef.
Caractérisation et modélisation conceptuel du fonctionnement des eaux thermo-minérales. Cas de la région de Mila (NE Algérien)
International Journal Water Sciences and Environment Technologies
Vol. (x), Issue 2, October 2025, pp. 55-60
e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal |
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: August 2025 / Revised: September 2025 / Accepted: September 2025 / Published: October 2025

Caractérisation et modélisation conceptuel du fonctionnement des eaux thermo-minérales. Cas de la région de Mila (NE Algérien)

Taha-hocine Debieche [1], Abdelmalek Drouiche[2], Bouchra Boulatrous[2], Ahlam Bounneche[2], Youcef Rouikha[2]

[1,2] *Equipe de recherche Eau et Environnement, Laboratoire de Génie Géologique (LGG), Faculté SNV, Université de Jijel, Algérie*

Résumé

L'Algérie compte plus de 200 sources thermo-minérales, dont une forte concentration à l'Est du pays et la température de leur eau varie entre 22 et 97°C. La région de Mila est un exemple type de ces eaux du NE algérien, où environ 20 sources émergents, mais peu étudiées. Ce travail de recherche a pour but de caractériser chimiquement ces eaux et de montrer leur fonctionnement hydrodynamique. Pour atteindre cet objectif une campagne d'échantillonnage a été effectuée le 10/04/2021 sur 3 localités où huit sources thermales émergent dans trois localités à formations géologiques différentes : carbonatées (Béni-Haroun), triasique (Béni-Guechat) et alternées (carbonatées - marneuse) d'Ouled Achour – Zouaoui. Des mesures in-situ des paramètres physico-chimiques (T, pH et conductivité) et des analyses au laboratoire (éléments majeurs) ont été effectuées. Les résultats obtenus montrent que la température des sources des ces trois localités oscillent entre 36,9 et 53.1°C, les conductivités entre 4900 µs/cm et 27600 µs/cm, le pH entre 7.04 (neutre) et 5.97 (acide) et l'existence de deux faciès chimiques (selon la classification de Piper) : bicarbonaté sodique et potassique pour Béni Guechat et chloruré sodique et potassique ou sulfatée sodique pour Béni Haroun et Ouled Achour-Zouaoui. La combinaison des résultats chimiques et des données géologiques et structurelles, nous a permet d'estimer la profondeur originaire d'eau de ces sources (470 à 827 m) et de dresser 3 modèles conceptuels qui expliquent le fonctionnement hydrodynamique de ces sources thermo-minérales.

Mots clés : Eau Thermo-Minérale, Hydrochimie, Gradient Géothermique, Modèle Conceptuel

Characterization and conceptual modeling of the functioning of thermo-mineral waters. Case of the Mila region (NE Algeria

Abstract

Algeria has more than 200 thermal mineral springs, with a high density in the east of the country and the temperature of their water varies between 22 and 97°C. The Mila region is a typical example of these waters in northeastern Algeria, where around 20 springs emerge, but little studied. The aim of this research is to chemically characterize these waters and demonstrate their hydrodynamic functioning. To achieve this aim, a sampling campaign was carried out on April 10, 2021, at three locations where eight thermal springs emerge in three localities with different geological formations: carbonate (Béni-Haroun), Triassic (Béni-Guechat), and alternating carbonate-marl (Ouled Achour – Zouaoui. In-situ measurements of physico-chemical parameters (T, pH, and conductivity) and laboratory analyses (major elements) were carried out. The results obtained show that the temperature of the springs in these three locations ranges from 36.9 to 53.1°C, conductivity from 4900 µs/cm to 27600 µs/cm, pH between 7.04 (neutral) and 5.97 (acidic), and the existence of two chemical facies (according to Piper's classification): sodium and potassium bicarbonate for Béni Guechat and sodium and potassium chloride or sodium sulfate for Béni Haroun and Ouled Achour-Zouaoui. The combination of chemical results and geological and structural data has enabled us to estimate the original depth of the water in these springs (470 to 827 m) and to draw up three conceptual models that explain the hydrodynamic functioning of these thermal mineral springs.

Keywords: Thermomineral Water, Hydrochemistry, Geothermal Gradient, Conceptual Model.

[1] Corresponding author: debieche_taha-hocine@univ-jijel.dz

1. INTRODUCTION

Les eaux thermo-minérales sont des eaux d'origine souterraine, caractérisées par leur température élevée, supérieure à la température moyenne du milieu environnant (20°C) [1], et leur richesse en minéraux et oligo-éléments. Le Nord-Est algérien possède une potentialité importante en eau thermo-minirales, où plus de 50 sources d'eau émergent d'une manière naturelle et avec des températures de 22 à 98°C [2], lié au gradient thermique (2.5 à 4.5°C/100m) [3]. Les faciès chimiques de ces eaux thermales sont présentés principalement par trois familles : chloruré, sulfaté et bicarbonaté [4]. Ils sont dus principalement à la dissolution des formations gybsyfères et carbonatées lors du parcours des eaux en profondeur. La région de Mila est caractérisée par la présence de plusieurs sources thermales, mais peu étudiées, d'où l'intérêt de cette étude qui a pour objectif de caractériser et d'illustrer le fonctionnement hydrodynamique de quelques de ses sourses thermo-minirales.

1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se trouve dans la wilaya de Mila (NE algérien) (Figure 1A) et occupe sa partie Nord (Figure 1B). Elle se caractérise par des précipitations élevées et qui varient entre 500 et 1200 mm/an [5]. La wilaya de Mila se caractérise par une richesse en eaux thermale, où plus de 20 sources thermales ont été recensées (Figure 1B), dont trois émergent dans notre zone d'étude (Figure 1C). Cela est lié principalement à la tectonique intense et profonde de la région qui favorise la remonté rapide des eaux en gardant des températures élevées.

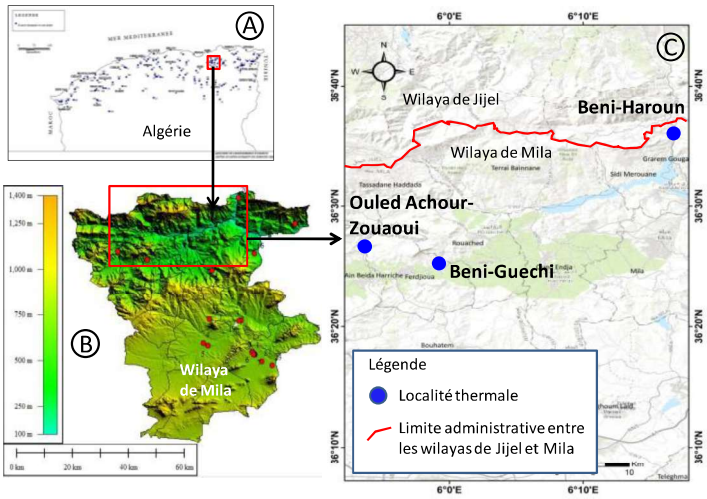

Fig. 1 - Situation de la zone d'étude. A) Inventaire des sources thermo-ménirales du Nord Algérien [4] ; B) Inventaire des sources dans la wilaya de Mila ; C) Inventaire des localités thermales de la zone d'étude

Dans cette étude, nous nous concentrons sur trois localités thermales, à formations géologiques différentes, de la partie nord de la wilaya (Figure 1 C) : la première est celle de Beni-Haroun et qui se caractérise par des formations carbonatées ; la deuxième est celle de Beni-Guécha et qui se caractérise par des formations triasiques ; et la troisième est celle Ouled Achour-Zouaoui et qui se caractérise par un contact calcaire-marne.

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour étudier les sources thermales de ces trois localités, une campagne de prélèvement a été réalisée le 10/04/2021, où 8 sources ont été échantillonnées : deux dans la localité de Beni-Haroun (BH1 et BH2) et espacées par une distance de 50 m, trois dans la localité de Beni-Guécha (BG1, BG2 et BG3) et espacées par des distances de 60 m (BG1- BG2) et de 70 m (BG2 et BG3) et trois dans la localité d'Ouled Achour-Zouaoui (OA1, OA2 et Z1) et espacées par des distances de 125 m (OA1 - OA2) et de 350 m (OA1 - Z1).

©2025 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

Les paramètres physico-chimiques (pH, Température et conductivité) ont été mesurés in-situ à l'aide d'un multiparamètre de marque Hanna. L'analyse des éléments majeurs a été faite au laboratoire de Génie Géologique (LGG) en utilisant trois méthodes : titrimétrique pour le dosage de Ca^{2+}, TH, Cl^- et HCO_3^- ; spectrophotométrique d'absorption moléculaire, en utilisant l'appareil VWR - UV 1600 PC, pour le dosage de SO_4^{2-}, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ et PO_4^{3-} ; spectrophotométrique d'absorption atomique, en utilisant le photomètre de flamme AFP 100, pour le dosage de Na^+ et K^+.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. *Caractérisation physico-chimique des eaux thermo-minérales*

Les résultats des mesures in-situ (Figure 2A) montre que la température maximum (53.1 °C) est enregistrée dans la source de Béni-Ghuechat 2 et la température minimale (37.8 °C) est enregistrée dans la source d'Ouled Achour 1. Selon la classification des eaux thermales (Verdeil 1982), les eaux de ces trois localités varient entre deux classes : la classe des eaux chaudes (30 – 50 °C) présentée par la localité de Beni-Haroun et la localité d'Ouled Achour - Zouaoui et la classe des eaux très chaude (50-100°C) indiquent la zone de Béni-Guechat. Les valeurs mesurées de la conductivité varient entre 4900 et 27 600 µs/cm, indiquent une forte minéralisation. Les valeurs les plus élevées sont observées dans les sources de la localité de Beni-Guechat (26 100 à 27600 µS/cm), puis les sources de la localité de Beni-Haroun (6400 µS/cm) et les plus basses sont celle de la localité Ouled Achour – Zouaoui (4900 – 5090 µS/cm). Ces valeurs indiquant que les sources de Beni-Guechat sont les plus chargées, sûrement dû à la dissolution des formations triasiques où les sources émergent. Le potentiel hydrogène (pH) mesuré sur les trois localités montre un pH neutre dans les sources de Béni-Haroun (7 à 7.04) et un pH légèrement acide dans les autres localités avec des valeurs les plus faible (5.97 à 6.24) aux sources de Béni-Guechat.

Pour les cations (Figure 2 B et C), on observe une dominance du sodium (418 – 4890 mg/L), puis le calcium (75 – 473 mg/L) et puis le potassium (12 – 120 mg/L). Les autres cations présentent des concentrations inférieures à 120 mg/L. Les teneurs les plus élevées en calcium et en sodium sont observées au niveau des sources de la localité de Beni-Guechat.

Concernant les anions (Figure 2D), on observe que l'anion le plus abondant est les bicarbonates (335 – 1799 mg/L), puis les chlorures (124 – 298 mg/L), et puis les sulfates (113 – 237 mg/L). Les autres anions présentent des concentrations inférieures à 12 mg/L. Les fortes concentrations en bicarbonates et en sulfates sont observées dans les sources de la localité de Beni-Guechat. Les chlorures sont observés dans les 3 localités avec des concentrations maximums qui varient entre 273 et 298 mg/L. On constate aussi l'existence des nitrates (9 – 12 mg/L) dans les eaux thermo-minérales de Beni-Haroun (Figure 2E), cela peut être expliqué par un contact entre les eaux thermales (origine profonde) et les eaux de la nappe superficielle qui peuvent contenir des nitrates.

Cette évolution chimique montre que les sources liées aux formations triasiques sont plus chargées en éléments chimiques et plus chaude, due surement à la tectonique intense de la remonté du trias et à la présence des formations à forte solubilité, tel que l'halite et le gypse.

La représentation de ces 8 échantillons sur le diagramme de piper a indiquée l'existance de deux facièces chimiques : bicarbonatée sodique et potassique (Béni Guechat 1, 2 et 3) et chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (Béni Haroun 1 et 2, Ouled Achour 1 et 2 et Zouaoui 1).

4.2. Profondeur des eaux thermo-minérale

Les eaux thermo-minérales du nord-est algérien sont d'origine météorique et l'augmentation de la température des eaux est liée essentiellement au gradient thermique [6]. Selon la carte du gradient géothermique de Kazi Tani [7], la région de Mila a un gradient d'environ 4°C par 100 m. En partant d'une température moyenne des nappes superficielle (20°C) et de la température la plus élevée de chaque localité : Ouled Achour – Zouaoui (38.8°C), Béni-Haroun (39.7°C) et Béni-Guechat (53.1°C), on constate que la température liée au gradient termique de chaque localité est la suivante : Ouled Achour – Zouaoui (18.8°C), Béni-Haroun (19.7°C) et Béni-Guechat (33.1°C). En appliquant la règle de trois par rapport au gradient géothermique on peut déduire que la profondeur originaire des eaux de chaque localité est la suivante : Ouled Achour – Zouaoui (470 m), Béni-Haroun (492.5m) et Béni-Guechat (827.5m).

©2025 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

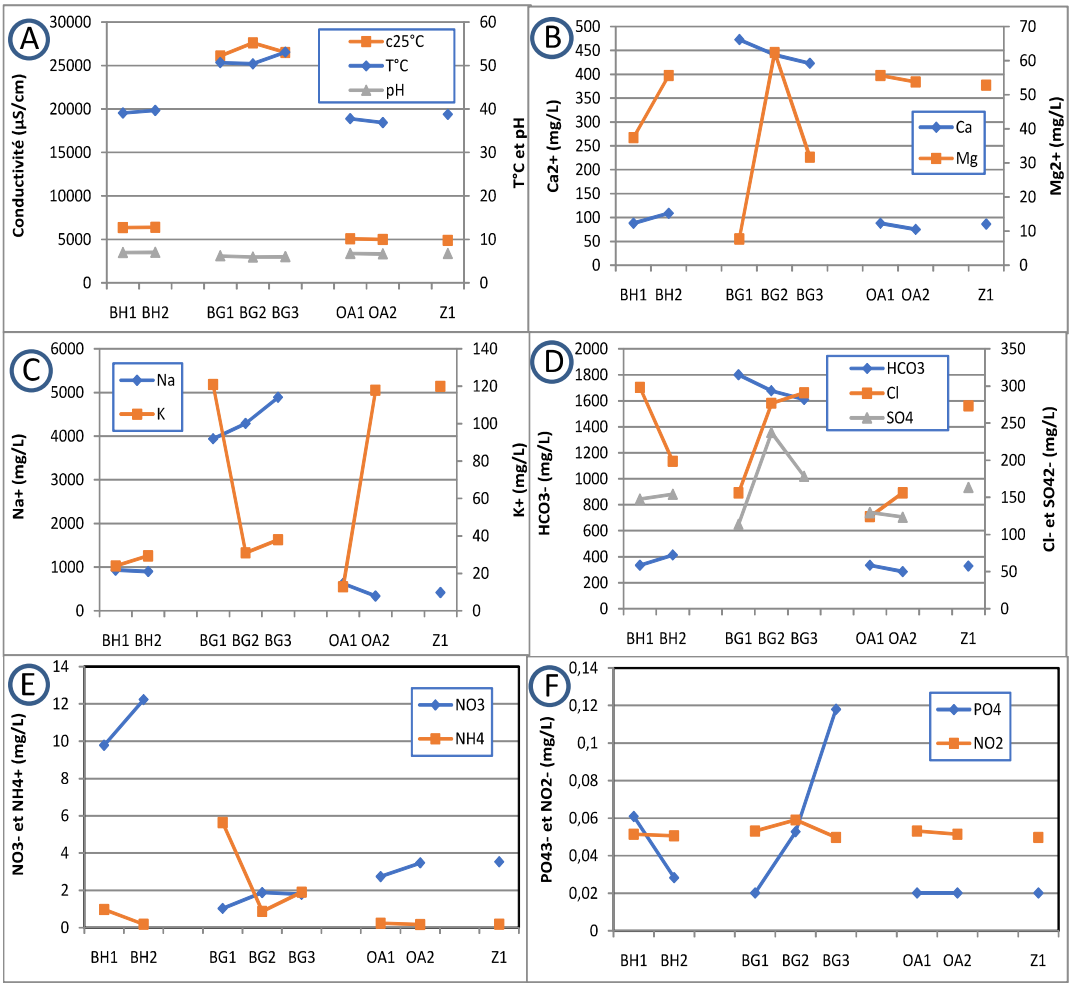

Fig. 2 – Composition chimique des eaux thermo-ménirale des localités de Béni Haroun (BH), Béni Guechat (BH), Ouled Achour (OA) - Zouaoui (Z)

4.3. Modèle conceptuel du fonctionnement des eaux thermo-minérales

En se basant sur le contexte géologique de la zone d'étude et les réponses hydrochimiques des sources thermo-minérales, nous proposons ces 3 schémas conceptuels qui schématisent le fonctionnement hydrodynamique des sources des trois localités de la zone d'étude (figure 3) :

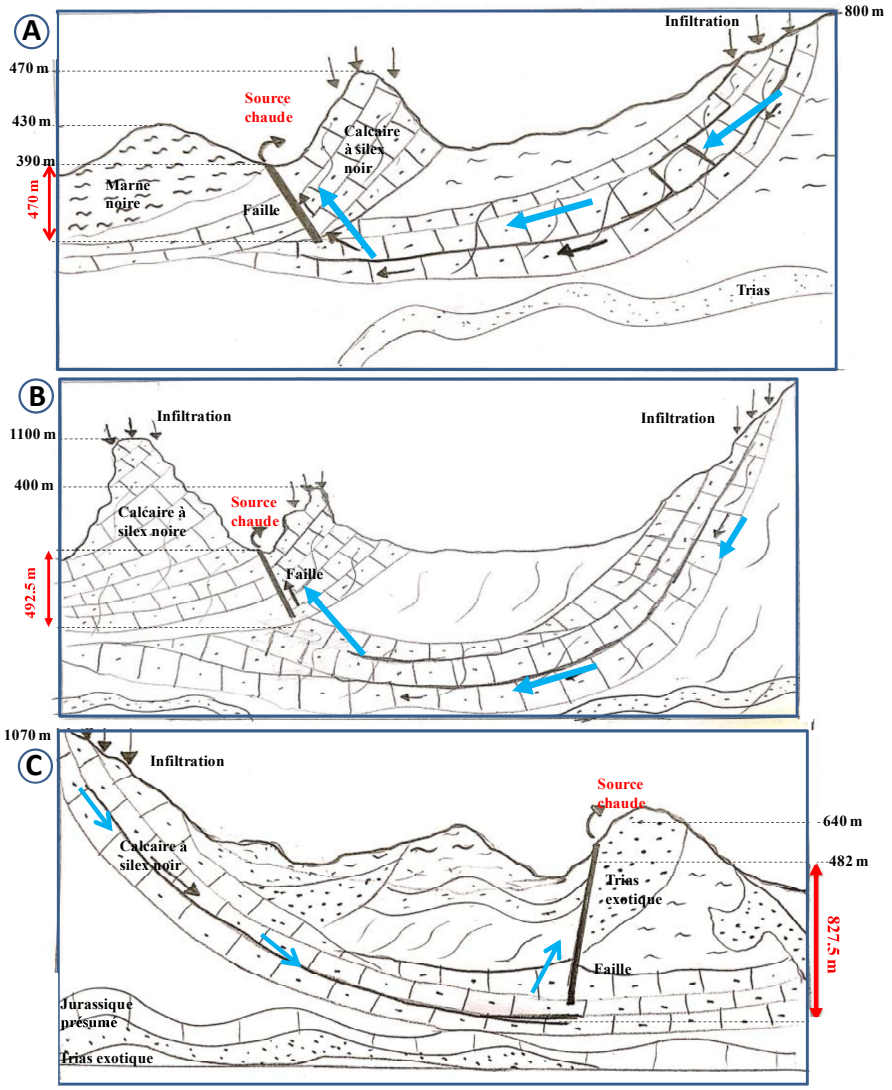

Fig. 3 - Modèle conceptuel du fonctionnement des eaux thermo-minérales dans les localités de : A) Ouled Achour-Zouaoui, B) Béni-Haroun et C) Béni-Guechat.

- La localité d'Ouled Achour – Zouaoui (figure 3A) : l'émergence des eaux thermo-minérales se fait dans un contact entre les marnes et les calcaires. L'origine de ces eaux est liées aux eaux d'infiltration dans des montagnes de voisinage ou lointaine, où l'eau s'infiltre progressivement en profondeur, jusqu'au moment où elle rencontre une faille profonde, puis elle remonte rapidement en conservant une grande partie de sa température.
- La localité de Béni Haroun (figure 3B) : le cheminement des eaux est comparable à celui de la localité d'Ouled Achour – Zouaoui, sauf que l'émergence se fait à travers une faille dans les formations carbonatées.
- La localité de Béni Guechat (figure 3C), le cheminement des eaux est comparable aux précédents, sauf que l'émergence se fait dans un contact anormal des formations gypsifères.

©2025 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

CONCLUSION

Cette étude montre l'importance de la combinaison des approches géologique et hydrochimique dans la compréhension du fonctionnement des sources thermales. Les résultats obtenus illustrent le rôle de la température et du gradient thermique dans la détermination de la profondeur des eaux, le rôle de la combinaison entre la chimie (paramètres physico-chimique et éléments majeurs) et la géologie pour la schématisation du cheminement des eaux, et le rôle de la tectonique profonde dans l'émergence des sources thermales. Malgré les résultats obtenus, cette étude reste incomplète et nous recommandons de la compléter par des analyses plus détaillées et continues de la chimie (éléments traces, isotopes…) et du débit pour connaitre l'effet de la pluie sur ces eaux ainsi que ses zones d'alimentation.

Références

[1] M. Morgane, Source thermale : qu'est-ce que c'est ?. Futura Sciences. https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/geologie-source-thermale-1620/ (2022), consulté 31/7/2025)
[2] Djorfi, S. Djorfi, M. Djidel 2014, Les sources thermominérales du Nord-Est Algérien. Influence des conditions lithologiques et structurales. Proceeding du 1er colloque International : L'hydrogéologie et la géothermie, Université de Guelma, du 11 au 12 novembre (2014) 20-26
[3] F.-Z. Bouchareb-Haouchine, A. Issadi, H. Ben Dhia. Estimation et interprétation du gradient géothermique en Algérie du Nord. Bulletin du Service Géologique de l'Algém, 5 (1994), n°1, 69-74.
[4] CDER, Cartes du Gisement Géothermique, https://www.cder.dz/vlib/carte/ima/carte10.jpg. Consulté le 31/7/2025
[5] A.N.R.H., Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p.). Ministère de l'Equipement, Alger, Ed. I.N.C. (1993)
[6] G. Féneyrou, La Vie des eaux thermominérales, Edition Eres, 1989, 197 p.
[7] N. Kazi-Tani, Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord-algérien : approche megaséquentielle. Thèse de doctorat, Université de Pau, (1986), 784 p.

©2025 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688