Cartographie et caractérisation des ressources géothermiques de l'Algérie

S. Ouali, M.M. Hadjiat, A. Ait-Ouali, K. Salhi et A. Malek

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, 16340, Alger, Algérie

(reçu le 10 Mars 2018 - accepté le 30 Mars 2018)

Résumé - *L'Algérie contient des réserves d'eau thermales importantes qui se manifestent en surface par les nombreuses sources thermales au Nord et aussi par les forages artésiens qui captent la nappe de l'Albien au Sud. La cartographie et la caractérisation des ressources géothermiques de l'Algérie est réalisée à partir des données recueillies auprès d'organismes nationaux (Sonatrach/Exp, ANRH) et dans les rapports techniques. Elle intègre des informations quantitatives sur les ressources géothermiques de l'Algérie basées sur les caractéristiques physico-chimiques des points d'eau thermale. La cartographie et la caractérisation des ressources géothermiques de l'Algérie constituent une évaluation préliminaire du potentiel géothermique existant qui nous permettra d'établir une première approche des zones d'intérêt pour la mise en place de projets d'application de l'énergie géothermique.*

Abstract - *Algeria contains important thermal water reserves which appear on the surface by the numerous thermal springs in the North and also by the artesian wells that capture the Albien aquifer in the South. The mapping and characterization of geothermal resources in Algeria is based on data collected from national organizations (Sonatrach / Exp, ANRH) and in technical reports. It integrates quantitative information on the geothermal resources of Algeria based on the physicochemical characteristics of the thermal water points. The mapping and characterization of geothermal resources in Algeria is a preliminary assessment of the existing geothermal potential that will allow us to establish a first approach to areas of interest for the implementation of geothermal energy projects.*

Mots-clés: Géothermie - Source thermale - Algérie - Albien - Potentiel - Caractérisation.

1. INTRODUCTION

Les équipes de recherches du Centre de Développement des Energies Renouvelables s'efforcent, depuis 1985, de développer la géothermie et ses ces applications en Algérie.

Dans ce contexte de nombreux ouvrages et études ont été ainsi réalisés {(Kedaid *et al.*, [1]; Rezig, [2]; Fekraoui *et al.*, [3]; Ouali, [4]; Hadjiat, [5]; Benziada, [6]; Bouzidi *et al.*, [7]; Ait-Ouali, [8], etc.}.

D'autres études régionales ont aussi abordé la géothermie en Algérie sur le contexte géologique, hydrogéologique et géochimique {Guigue, [9]; Cornet, [10]; Waring, [11]; UNESCO, [12]; ENEL, [13]; Nedjai, [4]; Tabouche *et al.*, [15], etc.}.

De ces études, il apparaît que les régions les plus prometteuses se situent au Nord-Est et au Nord-Ouest de l'Algérie et dans le bassin sédimentaire du Sahara septentrional (figure 1). Le gradient géothermique du Nord de l'Algérie serait principalement d'origine tectonique ou chimique (activité séismique, réactions exothermiques), et secondairement du au gradient géothermique. La théorie qui associe le gradient

géothermique de l'Algérie au volcanisme n'est pas fondée, notre volcanisme datant de plus de 12 ma, aucun système géothermique ne pourrait être actif avec cet âge.

Les sources thermales du Nord de l'Algérie sont généralement liées à de grandes fractures affectant profondément les formations sédimentaires et parfois même le socle cristallin. Ces fractures limitant les grands ensembles géo-structuraux sont souvent injectées d'évaporites triasiques et leurs directions respectives sont NE-SW, NW-SE ou E-W.

L'étude présente vient compléter et valoriser les anciens travaux de recherche en géothermie et ce en rassemblant toutes les données dans la cartographie et caractérisation des ressources géothermiques de l'Algérie. Une cartographie qui permettra de visualiser d'une façon globale les champs géothermiques existants et de classer les diverses ressources potentielles.

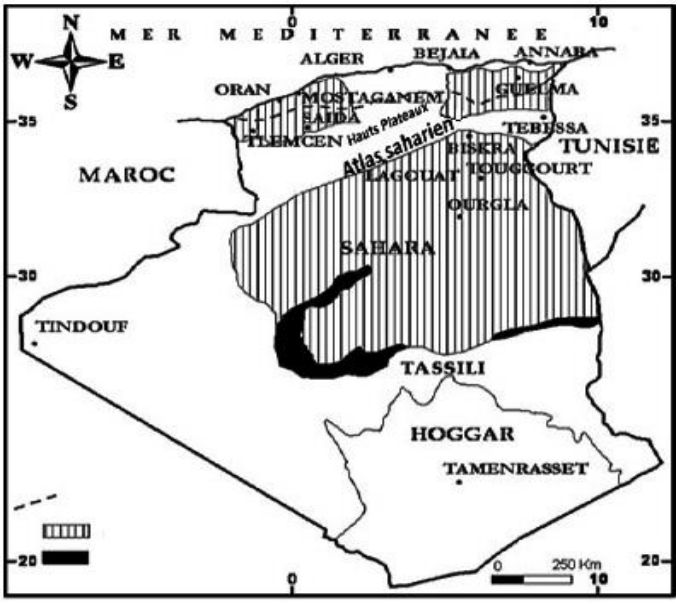

Fig. 1: Principales zones géothermiques en Algérie [3]

2. DONNEES SUR LA GEOTHERMIE DE l'ALGERIE

Le Nord de l'Algérie contient une abondance en sources thermales de composition chimique très variée. En effet, plus de 282 sources thermales ont été inventoriées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Elles sont réparties sur 24 wilayas avec une plus forte concentration au Nord-Est du pays. Ces sources thermales sont principalement exploitées en balnéothérapie.

Dans ce contexte, l'Algérie compte huit (08) stations thermales relevant du secteur public, il s'agit de Hammam Righa à Ain Defla, Hammam Guergour à Sétif, Hammam Bouhanifia à Mascara, Hammam Rabbi à Saida, Hammam Salihine à Biskra, Hammam Meskhoutine à Guelma (figure 2) et Hammam Bouhadjar à Tlemcen.

Des centres de balnéothérapie qui offrent des services tels-que la rééducation physique et d'autres soins de santé donnés par une équipe médicale spécialisée.

Le réservoir Albien du Sud de l'Algérie est l'un des plus grands aquifères confinés au monde, il s'étend sur une surface de 01 million de km^2 avec 650 000 km^2 en Algérie, 250 000 km^2 en Tunisie et 100 000 km^2 en Lybie. Il recèle environ 31 000 milliards de

mètres cubes d'eau {à titre de comparaison, la nappe de l'Albien du bassin de Paris occupe environ 100 000 km^2, n'en renferme que 425 milliards de mètres cubes}.

La nappe albienne est considérée comme une nappe fossile car l'essentiel de son alimentation remonte aux périodes pluvieuses du Quaternaire. Cette réserve qui est faiblement renouvelable par rapport à son volume se trouve aujourd'hui confrontée au problème de la surexploitation qui pourrait entrainer des risques majeurs de déséquilibre de la nappe. La rationalisation de l'exploitation s'avère nécessaire afin de préserver cette précieuse réserve d'eau souterraine.

Fig. 2: Source thermale de Hammam Meskhoutine, Guelma, Algérie

3. METHODOLOGIE

Une première partie de l'étude consiste à l'acquisition des données qui se base essentiellement sur l'inventaire des points d'eau thermale et de leurs caractéristiques physico-chimiques.

Les informations recueillies engendrent les noms des sources, leurs localisations et leurs caractéristiques physico-chimiques. Les informations hydrogéologiques recherchées sont collectées après un important travail d'analyse et de vérification dans les rapports techniques, les thèses et les ouvrages scientifiques.

La seconde étape de traitement des données commence par la classification minutieuse des données afin de retenir uniquement les sources dont la température est supérieure à 20 °C et aussi d'identifier les sources thermales dont les noms ont été changés au cours des années afin d'éviter des répétitions induisant des erreurs sur le fichier principal.

En troisième étape, l'homogénéisation des coordonnées géographiques des points d'eau thermale grâce à la conversion de toutes les coordonnées vers le système degrés décimal. Cette étape est nécessaire avant le transfert des données vers les logiciels de cartographie.

Pour finir, la hiérarchisation imagée des ressources géothermiques de l'Algérie a été réalisée en utilisant des logiciels de cartographie: MapInfos11 et Surfer7.

Dans les **tableaux 1** et **2** suivants sont illustrées les caractéristiques physico-chimiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie et des forages artésiens du Sud de l'Algérie.

Tableau 1: Données physico-chimiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie

Source	Wilaya	Temp. (°C)	Résidus secs (mg/l)	Débit (l/s)	Faciès chimique
Hm. Ouled Aïcha	Batna	35	7143	4	Chloruré-sodique
Hm. Sillel	Bejaia	46	2221	10	Chloruré-sodique
Hm. Chegua	Biskra	50	6210	20	Chloruré-sodique
Hm. Boughrara	Tlemcen	43	398	6,5	Chloruré-magnésien
Hm. Charef	Djelfa	42	1670	38	Chloruré-calcique
Hm. Sokhna	Sétif	50	2052	-	Sulfaté-sodique
Hm. Sidi Aisa	Saïda	44,5	2502	5	Sulfaté-sodique
Hm. Salah Bey	Constantine	23	25582	-	Chloruré-sodique
Hm. Touansa	Médéa	22	8970	5	Sulfaté-sodique
Hm. Delaa	M'Sila	42	1980	25	Sulfaté-sodique
Hm. Bouhanifia	Mascara	66	2012	23	Chloruré-sodique
Hm. Ain Franine	Oran	35	5343	-	Chloruré-sodique
Hm. Sidi Trad	El Tarf	63	542	1,8	Chloruré-sodique
Hm. Sidi Slimane	Tissemsilt	42	2374	5	Chloruré-sodique
Hm. Elssalhine	Khenchela	70	2082	60	Chloruré-sodique
Hm. Serghine	Tiaret	40	4400	12	Chloruré-sodique
Hm. Righa	Ain Defla	68	2466	2,5	Sulfaté-calcique
Hm. Ksena	Bouira	60	3520	50	Chloruré-sodique

Tableau 2: Données physico-chimiques de quelques forages Albiens du Sud de l'Algérie

Forage	Région	Débit (l/s)	Résidus secs (mg/l)	Temp. (°C)	Faciès chimique
H011-516	El Oued	197	1970	65	Sulfaté-sodique
H011-516	El Oued	197	1970	65	Sulfaté-sodique
J0010-583	Ouargla	120	1620	51	Sulfaté-calcique
J0011-94	Ouargla	150	1760	60	Sulfaté-calcique
L011-11	Ouargla	22	3333	48	Sulfaté-sodique
H006-64	Laghouat	10	435	-	Sulfaté-sodique
H008-59	Laghouat	12	2300	34	Sulfaté-calcique
I009-55	Ghardaia	160	1569	40.75	Chloruré-sodique
J008-78	Ghardaia	22	1750	-	Chloruré-sodique
G010-84	Biskra	4	909	-	Sulfaté-sodique
G009-109	Biskra	100	2822	53	Chloruré-calcique

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats dégagés de l'étape précédente sont obtenus sous forme de deux cartes; la carte de localisation et température des ressources géothermiques de l'Algérie (figure 3) et la carte de localisation et caractéristiques chimiques des ressources géothermiques de l'Algérie (figure 4).

4.1 Carte de température

Le Nord de l'Algérie renferme de nombreuses sources thermales classées de basse à moyenne température et réparties d'Est en Ouest, avec une plus forte concentration dans

la région Est. Comme le montre la figure 3, les températures mesurées à l'émergence des varient de 22 °C à 98 °C. Les sources thermales dont la température est comprise entre 22 et 45 °C sont les plus nombreuses, suivies par celles dont la température est comprise entre 45 et 60 °C et enfin par celles dont la température est supérieure à 60 °C.

A l'Est de l'Algérie, les sources thermales sont nombreuses dans toute la région qui s'étend de Sétif à Constantine et qui atteint Biskra vers le Sud. L'eau thermale de Hammam el Biban à Sétif, émerge à une température de 80 °C. A Bejaïa, l'eau thermale de Hammam Sidi Yahia Al Aidli arrive en surface à une température de 58 °C et celle de Hammam Sidi Trad à El Kala jaillit à une température de 63 °C.

La plus renommée de ces sources est celle de Hammam Meskhoutine de Guelma (figure 2) qui est surtout connue pour être classée la source thermale la plus chaude au monde (98 °C).

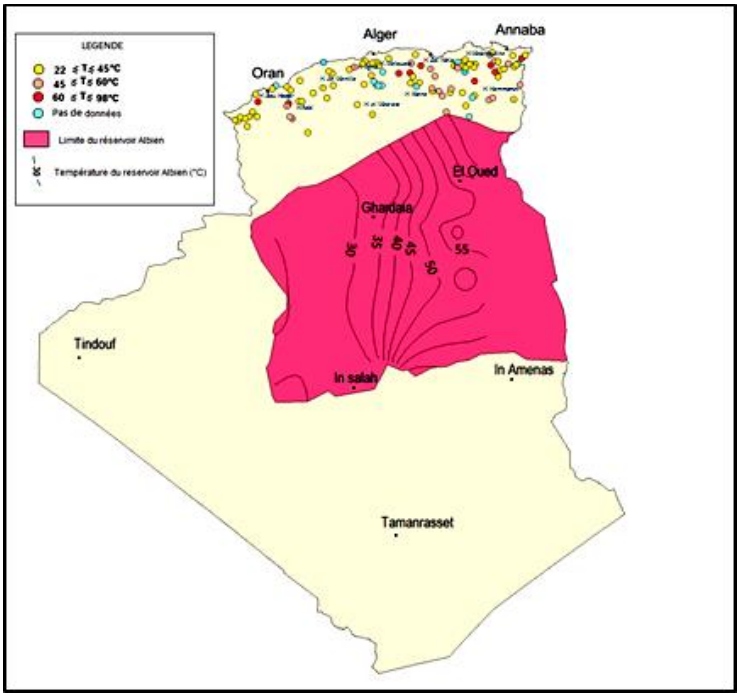

Fig. 3: Localisation et température des ressources géothermiques de l'Algérie

Le Centre de l'Algérie compte aussi de nombreuses sources thermales de température variant entre moyenne à chaude, les plus connues sont, Hammam Righa (60 °C) à Ain Defla, Hammam Melouane (38 °C) à Blida et Hammam Ksena (60 °C) à Bouira.

A l'Ouest de l'Algérie, dans le département de l'Oranie, sont comptées plus d'une trentaine de sources thermales, leurs températures sont pour la plupart inferieures à 45 °C. Les plus importantes sont les sources de Hammam Rabbi (47 °C) à Saïda, Hammam Boughrara (43 °C) à Tlemcen et Hammam Bouhanifia (66 °C) à Mascara.

Dans le cas de la nappe Albienne, les eaux les plus profondes sont les plus chaudes. Ainsi, la température de l'eau est minimale au Sud-Ouest, zone d'affleurement de nappe (nappe libre) et maximales au Nord-Est, zone où la nappe est profonde (nappe captive). A Adrar et In Salah, la température de l'eau est d'environ 20 °C, alors qu'à Biskra, Ouargla et Touggourt, elle atteint plus de 60 °C. Sur 121 forages captant le réservoir

Albien, 36 sont classés méso thermaux (22°C < T < 37°C); 17 ortho thermaux (37°C < T < 45°C) et 68 hyperthermaux (T > 45°C).

Cette forte température de l'eau a nécessité pendant des années, un équipement pour refroidir l'eau, destinée à l'irrigation et aux besoins domestiques. De nos jours, avec le développement de l'énergie géothermique, il est possible d'exploiter cette eau chaude dans des applications de l'énergie géothermique, telles-que le chauffage d'habitation, le chauffage de serres, la production d'électricité, le séchage, etc.

Une telle exploitation pourrait faire baisser la température de l'eau thermale et la rendre irrigable sans recourir au système de refroidissement qui est très consommateur d'énergie et qui nécessite de plus un entretien permanent, vu la qualité chimique des eaux géothermales.

4.2 Carte chimique

La carte chimique de la figure 4 montre la classification chimique des sources thermales du Nord de l'Algérie. Trois types principaux sont mises en évidence:

- les eaux sulfatées sodiques (Na-SO_4),
- les eaux chlorurées sodiques (Na-Cl),
- les eaux bicarbonatées sodiques (Na-HCO_3).

Cette classification est en concordance avec les résultats obtenus en recherche bibliographique qui révèle qu'un pourcentage élevé de sources thermales du Nord de l'Algérie qui jalonnent les grands accidents géologiques et fractures, ont un faciès chloruré ou sulfaté (type 1 et 2) et sont souvent chaudes (hyper ou méso thermales). En parallèle, les sources qui montrent un faciès bicarbonaté calcique ou sodique (type 3) sont par contre généralement liées aux massifs calcaires ou au socle et sont parfois carbo-gazeuses.

Les sources thermales de l'Algérie sont généralement caractérisées par une minéralisation assez élevée, leurs Solides Totaux Dissous (TDS) varient entre 0.4 et plus de 10 g/l.

Pour la nappe Albienne, les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates, ainsi que le calcium et le magnésium. Comme il est montré dans la carte de la figure 4, la composition chimique dominante des eaux thermales du réservoir Albien est sulfatée sodique (Na-SO_4) et chlorurée sodique (Na-Cl), elles sont modérément minéralisées et les concentrations en sels varient entre 1 et 3 g/l (exemple des forages Albiens de Tamerna à Touggourt et d'Ouled Djellal à Biskra).

La carte de la figure 4 montre la progression de la minéralisation qui se fait du Sud-ouest (Adrar et In-Salah) vers le Nord-est (Biskra, El Oued). Selon l'étude bibliographique, l'accroissement de ce paramètre suit le sens de l'écoulement des eaux.

L'eau de l'Albien est artésienne, avec un débit variant de 100 à 400 l/s. Le taux de minéralisation ainsi que l'acidité due à la concentration en Sulfure d'hydrogène (H_2S), causent de sérieux problèmes de corrosion et d'entartrage des forages et des canalisations.

L'exploitation de cette eau nécessite d'abord d'apporter des solutions quand à ces deux problèmes majeurs à travers me traitement chimique et mécanique de l'eau thermale.

5. CONCLUSION

Cette étude a concerné les sources thermales du Nord de l'Algérie, ainsi que le réservoir Albien du Sahara septentrional. Les résultats sont obtenus à partir des cartes de température à l'émergence et des caractéristiques chimiques des eaux thermales.

A travers ces cartes, il nous a été possible d'étudier l'évolution des principaux paramètres de qualité physico-chimique tant du point de vue géographique que géologique. Ainsi les eaux sulfatées et chlorurées constituent le faciès chimique dominant des eaux thermales de l'Algérie, elles seraient en relation avec les grands accidents géologiques qui ont affecté les formations sédimentaires et le socle.

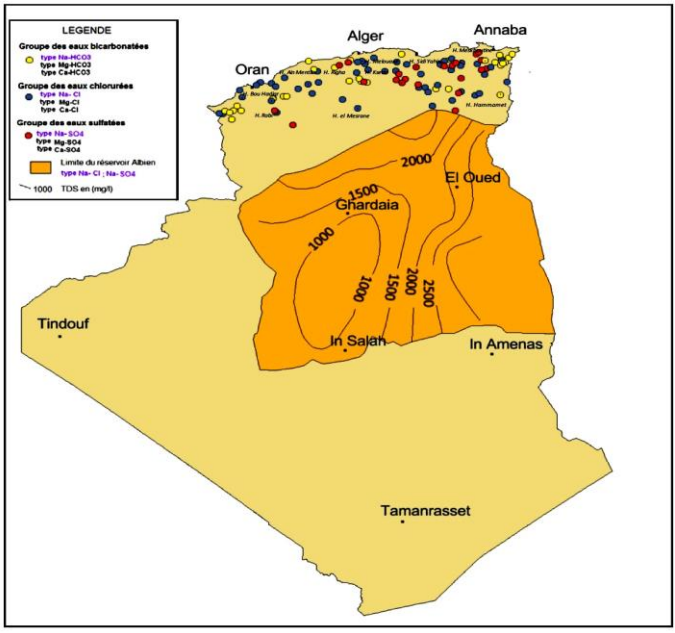

Fig. 4: Localisation et caractéristiques chimiques
des ressources géothermiques de l'Algérie

D'une façon générale, ces eaux thermales présentent une minéralisation relativement élevée variant entre 0.4 et 10 g/l. L'accroissement de ce paramètre suit le sens de l'écoulement des eaux dans la nappe Albienne.

Les ressources géothermiques de l'Algérie sont classées de moyenne température (température inférieure à 100 °C). Elles seraient plus adaptées aux utilisations directes de la chaleur géothermique.

REFERENCES

[1] F.Z. Kedaid, M. Rezig, M. Abouriche, et A. Fekraoui, '*Carte Géothermique Préliminaire du Nord de l'Algérie au 1/1000. 000'*, Rapport du CDER, 35 p. 1988.

[2] M. Rezig, '*Etude Géothermique du Nord-Est de l'Algérie*', DEA, Université des Sciences et des Techniques du Languedoc, Montpellier,1991.

[3] A. Fekraoui, et M. Abouriche, 'Algeria Country Update Report'. In: Proceedings, the World Geothermal Congress, Vol. 1, 1995, 31.4.

[4] S. Ouali, *'Etude géothermique du Sud de l'Algérie.'*, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara, Boumerdes, Algérie, 2006.

[5] M. Hadjiat, K. Kaci, S. Bahria, *'Modélisation et simulation d'un chauffe-eau géothermique'*, International Conference on elecrtical engineering - Cige2013, Université de Bechar, 17-19 Novembre 2013.

[6] M. Benziada, '*The Prospects for Geothermal Application in Algeria*.' In: Dincer I., Midilli A., Kucuk H. (eds) Progress in Sustainable Energy Technologies: Generating Renewable Energy. Springer, Cham, 2014.

[7] 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.

[8] A. Ait-Ouali, *'Geothermal Exploration Under Geology and Geophysics Methods in North Algeria*', Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 Avril, 2015.

[9] S. Guigue, *'Les sources thermominérales de l'Algérie'*, Etude géochimique, Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, 3emme série, Vol. 2, 1947.

[10] A. Cornet, '*Introduction à l'hydrogéologie saharienne'*, Revue de géographie physique et de géologie dynamique (2), 1964, Vol. 6, N°1, pp. 5-72.

[11] A.G. Waring '*Thermal Springs of the United States and Other Countries of the World A Summary*', Geological Survey Professional, Paper 492, United States Government Printing office, Washington:383 p., 1965.

[12] Rapport UNESCO, '*Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional*', Projet ERESS, 1972.

[13] Rapport Technique, ENEL, '*Etude de Reconnaissance Géothermique du Constantinois Oriental'*.SONELGAZ, 135 p, 1982.

[14] R. Nedjaï, '*Etude Hydrogéologique et Hydrochimique des Eaux Thermales du Centre Algérien (Nord)*', Thèse de Doctorat, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1987.

[15] N. Tabouche et S. Achour, '*Etude de la Qualité des Eaux Souterraines de la Région Orientale du Sahara Septentrional Algérien*', Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N° 03, pp. 99 - 113, Juin 2004.