

Étude des ressources géothermique du Sud de l'Algérie

Salima Ouali¹, Abdallah Khellaf¹ et Kamel Baddari²

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables,
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

² Laboratoire de Physique de la Terre, Université de Boumerdès,
35000 Boumerdès, Algérie

(reçu le 02 Novembre 2004 - accepté le 30 Octobre 2006)

Résumé - 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 existe à travers le monde deux types principaux de géothermie: - la géothermie haute énergie, elle concerne les gisements des zones continentales actives qui se caractérisent par des températures supérieures à 150 °C. Elle est destinée principalement à la production d'électricité; - la géothermie basse énergie, qui concerne les gisements des zones des plates formes continentales stables, recouvertes de terrains sédimentaires caractérisées par une température comprise entre 30 °C et 150 °C. Elle est destinée principalement au chauffage urbain et au chauffage de serres. Le Sud algérien est un vaste territoire dont le potentiel géothermique est contenu dans les bassins sédimentaires des zones continentales stables. Les ressources géothermiques sont principalement de basse énergie. Afin de déterminer les régions d'intérêt géothermique, les cartes de gradient géothermique de flux de chaleur sont établies. Deux zones géothermiques distinctes sont bien mises en évidence à travers ces cartes, l'une dans la partie Est et l'autre dans la partie Ouest du Sahara algérien.

Abstract - Geothermic is interested in the exploitation of resources of in-depth hot water. It constitutes one of the principal resources of renewable energy in the world. There exists through world two main kinds of geothermic: - geothermic high energy, it relates to the layer of the active continental zones which are characterized by temperatures higher than 150 °C. It is intended mainly for the production of electricity; - geothermic low energy, which relates to stable continental punt zones, covered with sedimentary grounds characterized by a temperature ranging between 30 °C and 150 °C. It is intended mainly for the district heating and the heating of greenhouses. The Algerian South is a vast territory whose geothermic potential is contained in the sedimentary basins of the stable continental zones. The geothermic resources are mainly of low energy. In order to determine the areas of geothermic interest, maps of geothermic gradient and heat flow are established. Two distinct geothermic zones are well shown through these maps, in the Eastern and Western parts of the Algerian Sahara.

Mots clés: Géothermie - Potentiel géothermique - Gradient géothermique - Flux de chaleur.

1. INTRODUCTION

La région d'étude est située dans le Sahara algérien (Fig. 1). Les forages pétroliers et hydrauliques qui traversent le territoire saharien indiquent bien que dans certaines régions, les eaux sont très chaudes, ces constatations nous permettent de considérer le Sahara algérien comme favorable à la production de l'énergie géothermique.

Si le potentiel géothermique du Nord algérien est bien déterminé, pour le Sud algérien une étude détaillée s'avère nécessaire pour l'évaluation du potentiel géothermique.

2. LA GEOTHERMIE EN ALGERIE

En Algérie, les études en géothermie ont été menées principalement sur le Nord algérien, 'Carte Géothermique Préliminaire du Nord de l'Algérie', au 1/100 000 (M. Abouriche *et al.*, 1988) [9]; (S. Rezig, 1991, 1992) [14, 15]. Ces études montrent que le Nord de l'Algérie compte un nombre important de sources thermales.

Près de 200 sources ont été inventoriées et elles sont réparties à travers tout le territoire Nord algérien, majoritaires au Nord-Est (**Tableau 1**). Parmi les plus importantes, nous pouvons citer Hammam Meskoutine (98 °C) à Guelma, Hammam Boutaleb (52 °C) à Sétif et Hammam Bouhanifia (66 °C) à Mascara.

Trois zones à fort gradient géothermique sont mises en évidence; au Nord-Ouest, au Nord-Est et au Centre Nord de l'Algérie, plus particulièrement dans les régions de l'Oranie, de la Kabylie et du Constantinois.

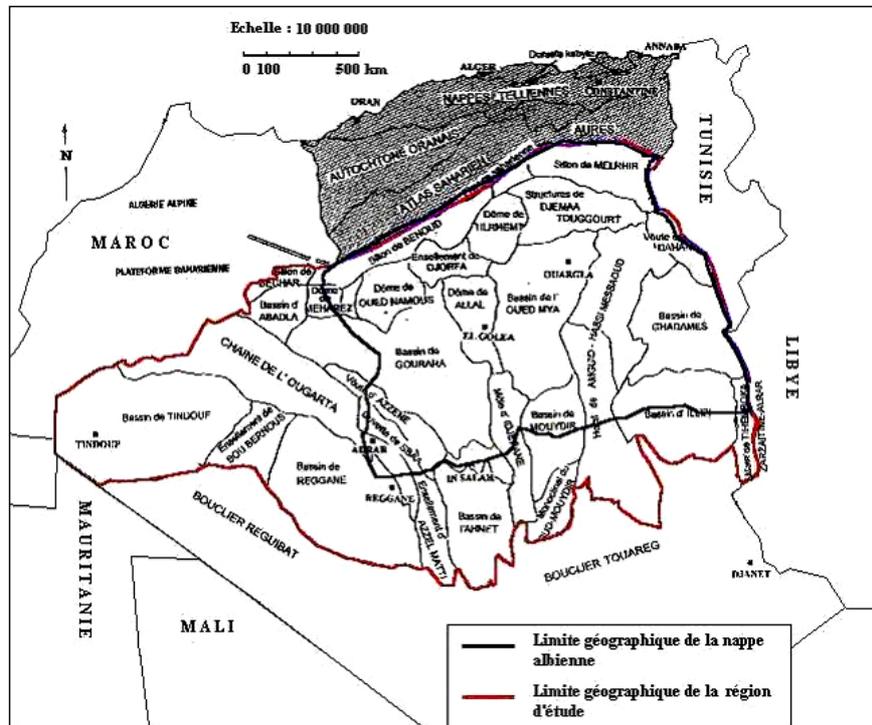


Fig. 1: Situation géographique de la région d'étude [1]

Tableau 1: Caractéristiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie [9]

Sources thermales	Région	Faciès chimique	Résidus secs (mg/l)	Température (°C)	Débit (litre/seconde)
H. Chellala	Guelma	Sulfaté magnésien	1600	98	100
H. Bou Hadjar	Ain Témouchent	Chloruré sodique	3210	66.5	-
H. Bouhanifia	Mascara	Bicarbonaté sodique	1400	66	-
H. Boutaleb	Sétif	Chloruré sodique	3416	52	-
H. Essalihine	Khenchela	Chloruré sodique	2082	70	-
H. Salhine	Skikda	Sulfaté magnésien	2046	55	-
H. Sidi Bou Abdellah	Relizane	Chloruré sodique	1194	51	-
H. Delaa	M'sila	Sulfaté sodique	1980	42	-
H. Rabi	Saïda	Chloruré sodique	1524	47	-
H. Sillal	Bejaia	Chloruré sodique	2221	46	-
H. Ben Haroun	Constantine	Chloruré sodique	3762	42	10

En plus des nombreuses sources thermales dans le Nord du pays, il existe dans le Sud algérien et plus exactement dans le Sahara septentrional, une importante réserve en eau thermale qui est la nappe du continental intercalaire (Fig. 2).

3. LE CONTINENTAL INTERCALAIRE

Dans la région d'étude, l'aquifère du continental intercalaire se présente sous forme d'une nappe artésienne, et elle constitue la plus grande réserve d'eau souterraine dans le Sahara algérien. Cette nappe est surmontée par celle du complexe terminal qui se présente sous forme d'une nappe libre, (Fig. 2).

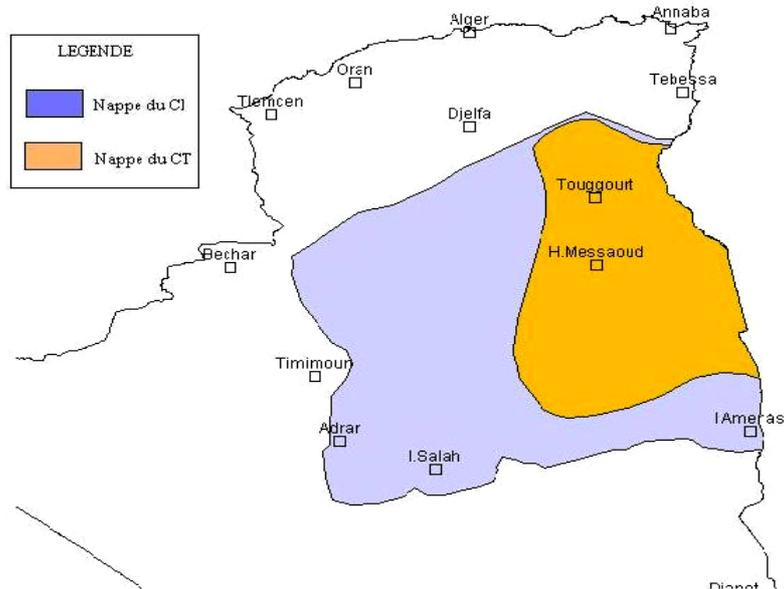


Fig. 2: Carte représentant les nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal

On définit l'aquifère du Continental Intercalaire comme les formations continentales du Crétacé inférieur, comprises entre l'Albien et le Néocomien, constituées de sables, de grès avec intercalations d'argiles dont la profondeur du toit varie de 700 à 1200 m environ.

Le Continental Intercalaire est surmonté par les dépôts du crétacé supérieur à savoir: Cénomaniens, Turonien et Sénonien salifère qui peu atteindre une épaisseur de l'ordre de 220 m. Le réservoir aquifère du Continental Intercalaire est particulier par son volume considérable du à la fois à son extension sur plus de 600.000 km² et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. De grandes quantités d'eau y ont été stockées pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire.

4. GRADIENT GEOTHERMIQUE

La température des roches augmente avec la profondeur, c'est ce qu'on appelle le gradient géothermique. Il varie selon les couches traversées. Le gradient géothermique observé dans la croûte continentale varie largement d'un endroit à un autre, bien que la valeur normale soit de l'ordre de 3 °C / 100 m, néanmoins certaines régions enregistrent plus de 100 °C / 100 m comme c'est le cas à Larderello (Italie), alors que d'autres sites ne dépassent pas 1 °C / 100 m comme c'est le cas pour Padoue (Italie).

4.1 Données

Les forages pétroliers étant les plus profonds, ils rendent le mieux compte du gradient géothermique. De nombreux forages pétroliers couvrent le Sahara algérien d'Est en Ouest, comme le montre la carte de gradient (Fig. 6). La majorité de ces forages sont localisés principalement dans la partie septentrionale du Sahara algérien, car cette région saharienne est par contre l'une des plus intéressantes du point de vue ressources fossiles (pétrole, gaz,.).

Les valeurs de BHT (Bottom Hole Temperature), représentant les températures de boue du fond de puits, nous ont permises de calculer de gradient géothermique.

Dans le cas général, les valeurs de BHT ne reflètent pas avec exactitude la température de la formation traversée, et elles sont par conséquent corrigées. Parmi ces méthodes de correction, il existe la méthode qui utilise les valeurs de DST comme référence. Cependant cette correction est négligée par certains auteurs. Dans cette étude, la correction des BHT n'a pas été utilisée en raison de l'absence des valeurs de DST pour un grand nombre de forages.

4.2 Graphes (Température - Profondeur)

Afin d'avoir une idée sur la variation de la température en fonction de la profondeur, sur le plan vertical, des graphes sont réalisés (Fig. 3).

Tous les graphes (Fig. 3) montrent clairement l'augmentation de la température avec la profondeur, indiquant que la profondeur est l'un des facteurs du gradient de température.

Il apparaît bien aussi à travers ces graphes que la loi de variation (température, profondeur) est généralement linéaire comme le montre (Fig. 4), mais cependant elle peut être non linéaire, ce cas se retrouve en figure 5.

Le gradient de température est représenté par les pentes des courbes $T = f(P)$. Il varie latéralement d'un forage par rapport à un autre, et parfois verticalement le long d'un même forage. Les graphes réalisés illustrent d'une façon générale le caractère non homogène du sous-sol saharien.

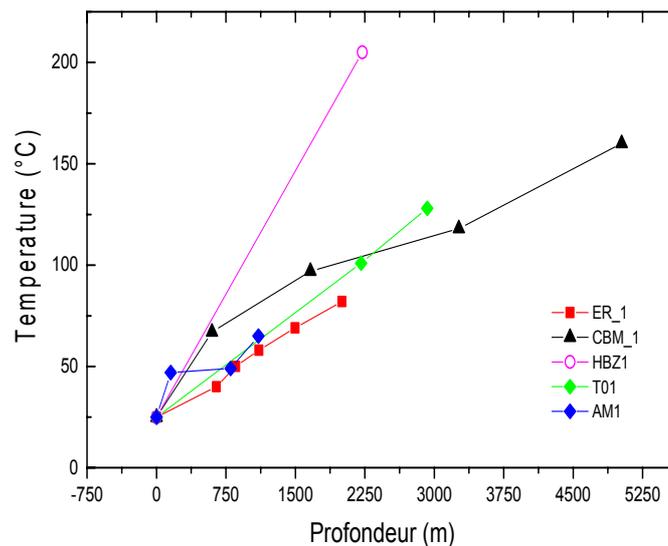


Fig. 3: Graphes (Température – Profondeur)
Au niveau des forages pétroliers, AM-1 - ER-1 - TO-1 - CBM-1 -HBZ-1

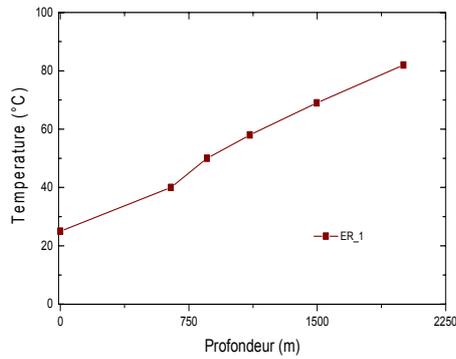


Fig. 4: Forage ER-1

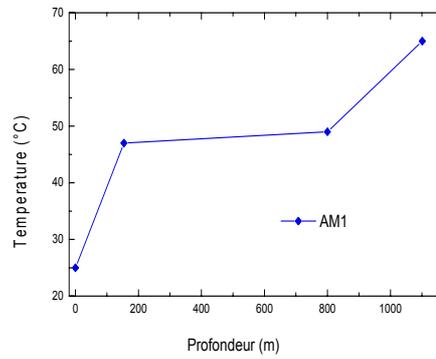


Fig. 5: Forage AM-1

$$G = DT / DZ \quad [^{\circ}\text{C}/100\text{m}]$$

T : Température (°C)

z : Profondeur (m).

4.3 Interprétation de la carte du gradient géothermique

Le Sahara algérien présente dans son ensemble un gradient géothermique moyen de l'ordre de 4 °C / 100 m.

Dans la partie septentrionale du Sahara, le gradient géothermique est de l'ordre de 3 °C / 100 m. Il est moyen, et il pourrait être dû uniquement à l'effet de la profondeur.

Une forte anomalie géothermique est bien mise en évidence dans la partie occidentale du Sahara dans les régions de Béchar, Beni Abbès et Timimoun. Les diagraphies de forages consultés montrent que cette zone est anormalement chaude, plus particulièrement au niveau du forage HBZ -1 situé dans la région de Beni Abbès où le gradient atteint plus de 6 °C / 100 m.

Ce gradient, qui est plutôt élevé, est probablement dû à la tectonique intense qu'a connue la partie occidentale de la plate forme saharienne au cours de l'orogénèse hercynienne.

Du point de vue pétrolier, la prospection pétrolière révèle que la province occidentale du Sahara algérien est pauvre en hydrocarbure liquide et ce, malgré que la condition majeure de son l'existence soit réunie en profondeur (la roche mère). Par contre la province orientale est très riche sur ce plan.

Sachant que le pétrole atteint le degré de maturité dans des conditions de température et de pression bien définies, au delà il perd sa maturité, soit il passe à la phase gazeuse, ou bien, dans des conditions extrêmes, il brûle carrément, on parle alors de 'pétrole cramé'.

Donc le gradient géothermique élevé dans le Sahara occidental pourrait être l'un des facteurs responsables de cette pauvreté en hydrocarbures liquide dans cette région. Les résultats obtenus à partir de la carte géothermique seraient en concordance avec les résultats de la prospection pétrolière.

5. LE FLUX DE CHALEUR

La terre est chaude, la chaleur terrestre qui se propage à travers la croûte continentale (appelé flux de chaleur) n'est pas homogène. Le flux de chaleur varie donc d'un endroit à un autre (H. Christopher *et al.* (1978) [7]).

En présence d'un flux de chaleur élevé, les eaux souterraines se réchauffent et se transforment en eau thermale. Le flux de chaleur est défini comme la quantité de chaleur qui s'écoule par unité de temps, et il traduit la vitesse avec laquelle la terre perd sa chaleur.

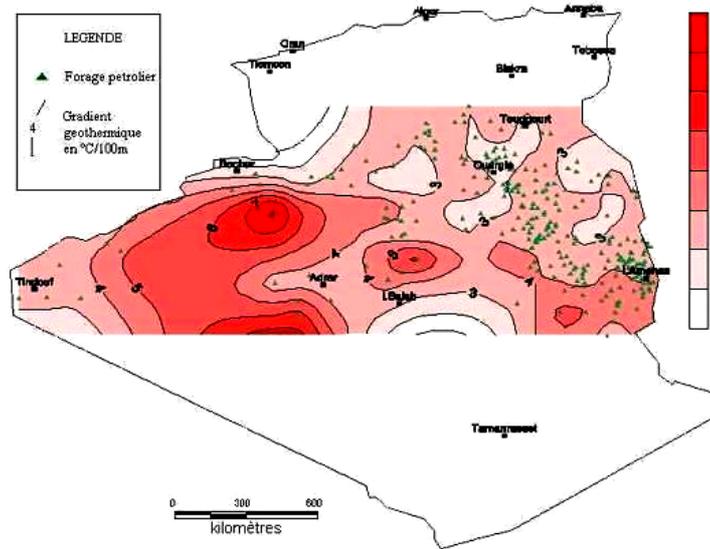


Fig. 6: Carte de gradient géothermique du Sud algérien

La densité de flux est le flux de chaleur par unité de surface (Wm^{-2}). En général, le flux de chaleur est assimilé à la densité de flux. L'unité de mesure du flux de chaleur est le watt (W).

Le flux moyen est de 60 mWm^{-2} . Il varie avec:

- l'épaisseur de la plaque: quand la plaque est mince le flux augmente.
- l'âge de la lithosphère: plus la lithosphère est jeune, plus le flux sera élevé.
- la production de chaleur dans la croûte: le flux augmente avec la concentration en radioéléments.

5.1 Origine de la chaleur terrestre

Une partie de la chaleur au niveau de la croûte terrestre provient de l'intérieur de la terre. Une forte quantité de chaleur est stockée dans le noyau et le manteau du globe. Une infime partie uniquement de cette chaleur est dissipée vers la surface, surtout dans les régions volcaniques et sismiques. Par contre, la plus grande partie de la chaleur dans la croûte provient de la radioactivité de certaines roches qui la compose.

La désintégration des éléments radioactifs représente à elle seule plus de 90 % du flux de chaleur terrestre, les 10 % du flux de chaleur restant semble être du à:

- la chaleur dégagée par réaction chimique exothermique à l'intérieur de la croûte.
- la friction au niveau des failles qui sont causées par les tensions tectoniques.
- la chaleur dégagée par cristallisation ou solidification des roches en fusion au cours du refroidissement.

5.2 Carte de flux de chaleur

Lorsqu'il y a un gradient de température, le flux de chaleur se propage par conduction. C'est le produit du gradient géothermique et de la conductivité thermique selon la loi de Fourier:

$$\vec{Q} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}T}$$

\vec{Q} : Flux de chaleur [mWm^{-2}]

λ : Conductivité thermique du milieu [$\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$]

$\overrightarrow{\text{grad}T}$: Gradient de température [$^{\circ}\text{Cm}^{-1}$].

• Détermination de la conductivité thermique

La conductivité thermique est l'un des paramètres le plus important à définir pour le calcul du flux de chaleur. Il caractérise l'aptitude d'une roche à conduire de la chaleur. La conductivité thermique d'une roche est variable de 1 à 10 W/m°C, et elle est de 100 à 1000 fois plus faible que celle des métaux.

D'après les études expérimentales de F. Brigaud *et al.* (1989) [5], il apparaît que la conductivité thermique d'une roche dépend essentiellement de la composition minéralogique (Tableau 2), du fluide constituant la roche, de la porosité de cette dernière et enfin de la température.

• La minéralogie

Au laboratoire, ceci se traduit par un changement dans les proportions minéralogiques, ainsi dans une roche à m éléments, la conductivité de la matrice obéit à la loi suivante:

$$\lambda_m = \prod_{i=1}^m \lambda_i \cdot p_i$$

L'indice i : [1,2,3,...,m] représente le nombre de constituants de la roche.

λ_m : Conductivité thermique de la matrice

λ_i : Conductivité thermique des constituants de la roche (le $i^{\text{ème}}$ constituant)

p_i : Proportion volumique des constituants de la roche (le $i^{\text{ème}}$ constituant).

Tableau 2: Conductivités thermiques des principaux constituants [Wm⁻¹°C⁻¹]
(Tiré de K.I. Horai, (1971); F. Brigaut *et al.* (1989))

Constituants	Conductivité Thermique
Quartz	7.7 ± 1.2
Calcite	3.4 ± 0.3
Argile	2.7 ± 0.7
Dolomie	5.5 ± 0.5
Anhydrite	6.0 ± 0.4
Sel (halite)	6.6 ± 0.6
Gypse	3.0 ± 0.1
Eau	0.6
Air	0.03

• La porosité

La porosité d'une roche est le rapport entre le volume du vide dans la roche au volume total de celle-ci. Il désigne le pourcentage du vide dans une roche.

La porosité d'une roche influe fortement sur la conductivité thermique suivant la relation suivante:

$$\lambda_i = \lambda_m^{1-\theta} \cdot \lambda_f^\theta$$

λ_i : Conductivité de l'électrofaciès (in-situ)

λ_f : Conductivité thermique du fluide, (celle de l'eau $\lambda_{\text{eau}} = 0.6 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$)

θ : Porosité exprimée en %.

La porosité est déterminée grâce aux diagraphies (Neutron, Sonic, Densité) suivant les relations suivantes [12].

$$t_{\text{Sonic}} = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_f - \Delta t_m}$$

$$\theta_{\text{Densité}} = \frac{\rho - \rho_m}{\rho_f - \rho_m}$$

$$\theta_{\text{Neutron}} = \theta_{\text{IH}} - \theta_{\text{IHa}} \times \text{Pa}$$

ΔT : Temps de trajet dans la roche, [μ .ft.s⁻¹]

ρ : Densité apparente de la roche, [g.cm^{-3}]

ΔT_m : Temps de trajet dans la matrice, [μ .ft.s⁻¹]

ρ_m : Densité de la matrice, [g.cm^{-3}]

ΔT_f : Temps de trajet dans le fluide, [μ .ft.s⁻¹]

ρ_f : Densité du fluide, [g.cm^{-3}]

θ_{IH} : Index d'hydrogène dans la roche, [%]

θ_{IHa} : Index d'hydrogène dans l'argile, [%]

Pa : Proportion d'argile dans la roche, [%]

• La température

La conductivité thermique décroît avec l'augmentation de la température. Cette décroissance est rapide, lorsque la température est élevée. Par conséquent, la conductivité croît avec la pression.

Sur la base des formules précédentes, la conductivité thermique est estimée pour chaque colonne stratigraphique d'un forage pétrolier. La colonne stratigraphique est d'abord subdivisée en unité lithologique homogène dzi. Pour chaque unité lithologique, est déterminée la conductivité d'électrofaciès.

Au niveau de toute la colonne stratigraphique, la conductivité totale est la moyenne statistique de toutes les conductivités calculées:

$$\lambda_T = \frac{\sum_{i=1}^K dzi}{\sum_{i=1}^K \lambda_i}$$

λ_T : Conductivité thermique de la formation.

dzi : Epaisseur du i^{ème} constituant de la roche (calcaires, grès, argiles) sur l'ensemble de la formation traversée par le forage pétrolier. Elle est calculée à partir du log hectométrique du forage.

λ_i : Conductivité de l'électrofaciès.

5.3 Interprétation de la carte de flux de chaleur

La carte de flux de chaleur du Sud algérien montre que les valeurs de flux de chaleur varient entre (60 mWm^{-2} et 100 mWm^{-2}). Donc le flux de chaleur enregistré au Sud de l'Algérie est élevé par rapport à la moyenne mondiale qui est de 60 mWm^{-2} .

Le flux de chaleur moyen est de 80 mWm^{-2} . L'axe Béchar – Adrar - In Salah - Illizi est caractérisé par un flux élevé de 100 mWm^{-2} . De part et d'autre de cet axe, les valeurs décroissent graduellement. On remarque aussi quelques petites anomalies locales positives au Nord-Est.

La carte de flux de chaleur met en évidence deux zones d'anomalies distinctes:

- la zone Ouest qui présente un flux élevé de 90 mWm^{-2} à 110 mWm^{-2} .
- la zone Est qui présente un flux moyen de 60 mWm^{-2} à 80 mWm^{-2} .

Il est constaté:

- une concordance entre la carte de flux et la topographie de la région. En effet, on retrouve les dépressions du grand Erg occidental et oriental bien définies à travers les zones d'anomalies

faibles. Les zones hautes comme les chaînes de l'Ougarta et les affleurements du bouclier Touareg au Sud, se retrouvent dans les zones d'anomalies élevées.

- une concordance entre la structuration et le flux de chaleur, la direction des anomalies suit relativement la direction de la structuration du Sahara algérien. Les directions NW-SE et N-S mises en évidence respectivement dans la partie occidentale et la partie orientale de la carte sont en concordance avec la direction de la structuration dans ces régions. La partie orientale est un bassin crétacé récent qui est doté d'aquifères en profondeur, la structure de l'aquifère est en concordance avec l'anomalie mise en évidence dans cette région.
- une concordance entre la tectonique et le flux de chaleur. En effet la partie occidentale du Sahara algérien était le siège des principales déformations de la phase de compression hercynienne, ceci se manifeste sur la carte de flux de chaleur par un état thermique actuel anormalement chaud par rapport à la partie orientale qui était plus stable sur le plan tectonique et qui présente sur la carte de flux de chaleur un état thermique actuel modéré.

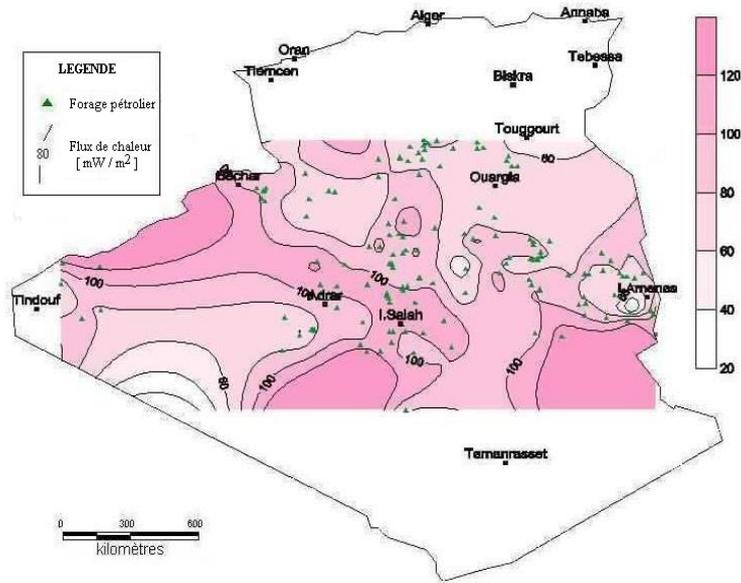


Fig. 7: Carte du flux de chaleur du Sud algérien
(D'après D. Takherist, 1986)

6. CONCLUSION

Les graphes (température - profondeur) nous ont permis de constater l'augmentation de la température avec la profondeur. Cette variation peut être linéaire ou non linéaire selon le milieu traversé.

Le Sahara algérien présente dans son ensemble un gradient géothermique moyen de l'ordre de $4\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$. Deux parties distinctes sont bien mises en évidence à travers la carte de gradient géothermique. L'une dans la partie septentrionale du Sahara, dont le gradient géothermique moyen est de l'ordre de $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. L'autre dans le Sahara occidental, qui présente un fort gradient géothermique qui atteint plus de $6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, plus particulièrement dans les régions de Béchar, Beni Abbès et Timimoun.

La carte de flux de chaleur nous a permis d'estimer de la chaleur en place dans chaque point du territoire saharien. Le Sahara septentrional présente un flux moyen, compris entre 80 et 100 MW/m², on remarque sur la carte quelques anomalies locales entre positives et négatives. La partie occidentale présente un flux élevé compris entre 90 et 110 MW/m². Les mouvements hercyniens semblent être les principaux responsables du flux élevé dans cette région. La partie septentrionale du Sahara algérien renferme les deux conditions majeures pour l'existence d'un réservoir géothermique, un gradient géothermique et une nappe aquifère en profondeur.

Sur la base des résultats précédents et afin d'assurer une meilleure exploitation possible des ressources géothermiques du Sahara algérien, il est suggéré l'utilisation de la géothermie basse énergie dans sa partie septentrionale. Le domaine du chauffage des serres serait très recommandé dans cette région.

REFERENCES

- [1] S. Ouali, '*Etude Géothermique du Sud de l'Algérie*', Mémoire de Magister en Géophysique, Université de Boumerdès, Mars 2006.
- [2] M.S. Beghoul, F. Brahmi et N. Guellati, '*Analyse Géothermique dans le Bassin de Oued Mya : Essai d'Interprétation des Résultats*', Rapport Interne SH/Exploration/District4, 1996.
- [3] M. Belkhdja et M. Benseradj, '*Mise au Point des Connaissances Géologiques et Problèmes Pétroliers - Bassin de Tindouf*', Rapport Interne SH/Exploration/District7, 1990.
- [4] F. Brigaut, '*Etude Méthodologique de la Conductivité Thermique des Roches Sédimentaires*', Rapport Final, C.G.G., Université des Sciences et des Techniques du Languedoc, Montpellier, pp. 55, 1985.
- [5] F. Brigaut and G. Vasseur, '*Mineralogy, Porosity and Fluid Control on Thermal Conductivity of Sedimentary Rocks*', Geophys. J. Vol. 98, pp. 525 – 542, 1989.
- [6] C. Castany, '*Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie*', Edition Dunod Université, 1982.
- [7] H. Cristopher et H. Armstead, '*La Géothermie, Exploration – Forage - Exploitation*', Edition du Moniteur, Paris, 1978.
- [8] Energies Nouvelles, '*La Géothermie en France*', Revue BRGM, 1978.
- [9] M. Abouriche, A. Fekraoui, F.Z. Kedaid et M. Rezig, '*Atlas des Ressources Géothermiques du Nord de l'Algérie*', Rapport Interne CDER, 1988.
- [10] J. Goguel, '*La Géothermie*', Edition Doin, Paris, 1975.
- [11] J. Grolier, A. Fernandez, M. Hucher et J. Riss, '*Les Propriétés Physiques des Roches, Théories et Modèles*', Edition Masson, Paris, 1991.
- [12] F.Z. Kedaid, '*Modélisation de la Composition Chimique des Eaux Thermales et du Transfert de Chaleur: Région Bouhadjar (N.E. de l'Algérie)*', Thèse de Magister, U.S.T.H.B., Alger, 1996.
- [13] F.Z. Kedaid et M. Rezig, '*Etude de Reconnaissance du Sud de l'Algérie*', Rapport Interne, CDER, 1990.
- [14] M. Rezig, '*Etude Géothermique de l'Extrémité Est de l'Atlas Saharien*', Rapport Interne, CDER, 1992..
- [15] M. Rezig, '*Etude Géothermique du Nord-Est de l'Algérie*', DEA, Université des Sciences et des Techniques du Languedoc, Montpellier, 1991.
- [16] D. Takherist, '*Etude Géothermique et Gravimétrique dans les Bassins Sédimentaires de l'Ahnet, du Mouydir et d'Illizi*', DEA, Université des Sciences et des Techniques du Languedoc, Montpellier, 1986.
- [17] D. Takherist, '*Structure Crustale, Subsidence Mésozoïque et Flux de Chaleur dans les Bassins Nord Sahariens (Algérie) - Apport de la Gravimétrie et des Données de Puits*', Thèse de Doctorat, Académie de Montpellier, 1990.
- [18] J. Varet, '*Energie Géothermique - Stockage de Calories*', Bulletin BRGM, Section 3: Hydro. Géol. Ing., Vol. 3, N°2, pp. 135 – 138, 1980.
- [19] J. Varet, '*Géothermie Basse Energie - Usage Direct de la Chaleur*', Edition Masson, 1982.