

Estimation et interprétation du gradient géothermique en Algérie du Nord.

Fatima-Zohra BOUCHAREB - HAOUCHINE* , Abderrahmane ISSAADI* et Hamed BEN DHIA**

* Laboratoire d'hydrogéologie IST/USTHB, B.P. 32 El Alia Alger.

** Département de géologie ENIS/SFAX, B.P. 3008 Sfax Tunisie.

Résumé: Nous avons utilisé les données de forages pétroliers (BHT, DST) pour le calcul du gradient géothermique moyen et l'élaboration de carte d'isogradients à travers l'Algérie du Nord. L'interprétation des trois anomalies observées tient compte des critères géologiques et géophysiques.

Mots clés: Géothermie, forage pétrolier, BHT, DST, gradient, anomalie source thermique, tectonique alpine, sismicité, gravimétrie.

Estimation and interpretation of geothermic gradient in the North of Algeria.

Abstract: In order to calculate the average geothermic gradient and to elaborate the isogradients map through the north of Algeria, the oil wells data (BHT, DST) are used. The interpretation of observed anomalies are based on geological and geophysical criterions.

Key word: Geothermic, oil well, BHT, DST, gradient, anomaly, thermal spring, alpine tectonics, seismicity, gravimetry.

INTRODUCTION

Directement fonction du flux de chaleur terrestre et de la conductibilité calorifique des roches, le gradient géothermique est un paramètre nécessaire à toute investigation approfondie des éventuels réservoirs souterrains. Sa connaissance reste indispensable pour l'évaluation de la température souterraine en profondeur et particulièrement pour l'estimation de cette température au toit d'un aquifère donné.

Les seules mesures effectuées en Algérie sont celles des régions de Bou Hadjar non loin de la frontière algéro - tunisienne et de l'Oued Bou Namoussa aux alentours du barrage de Hammam Meskhoutine.

Les forages exécutés, d'une profondeur de 60m à 120m, ont donné des valeurs pour une

profondeur de 10m, respectivement de 1,6°C, 0,75°C et 1,0°C. Celle estimée dans la région nord numidique (Azzaba) serait de 0,49°C (Mezghahi *et al.*, 1988), de même, les mesures effectuées sur un des forages de Tafraoui dans l'Oranie le 01/03/87 donnent une valeur de 0,63°C (Meunier, Verdeil et Khanafou, communication orale). En fait, ces différents résultats peuvent être faussés par des circulations d'eaux chaudes dans les aquifères superficiels et seul un forage profond pourrait donner la valeur exacte du gradient géothermique.

La première carte (Fig.1) du gradient géothermique (Kazi Tani, 1974) établie à l'aide des diagraphies thermo - métriques continues et des relevés de températures effectués lors des tests de production et des descentes d'outils de diagraphies, donne une approche globale du gradient géothermique de l'Algérie du Nord.

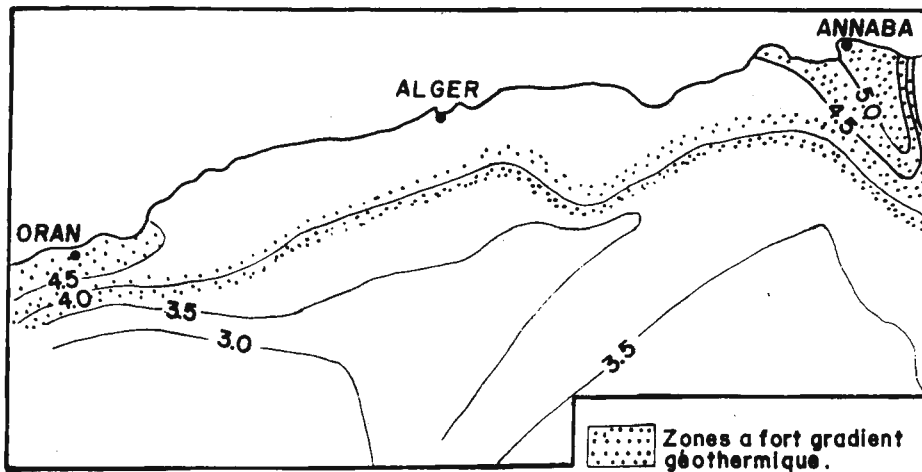


Fig. 1 - Carte du gradient géothermique (d'après Kazi Tani, 1974).

Même si cette carte reste assez approximative en raison en particulier des conditions de mesure et du manque de détails dus à l'insuffisance et à la répartition hétérogène des forages à travers l'Algérie du Nord, il n'en demeure pas moins qu'elle met en évidence au moins deux secteurs à gradient géothermique élevé. Le premier, concerne le littoral oranais et la plaine de la Macta, le second intéresse tout le secteur compris entre Skikda - Annaba et se poursuit vers le Sud jusqu'à Tébessa.

On peut observer d'autre part:

- une protubérance au Sud-Est d'Alger dans le système atlasique;
- une organisation nord-sud dont la limite méridionale correspond à la courbe 40°C/km.

Kazi Tani attribue cette organisation à une marge périplaque (système tellien) récemment plissée dont les contours guident les isanomaes géothermiques. Le flux thermique étant deux fois plus important dans le système tellien que dans l'avant-pays atlasique intraplaque.

Toujours selon cet auteur, l'anomalie du littoral oranais et de la Macta serait attribuable au volcanisme récent, celle d'Annaba - Tébessa à un

amincissement crustal et une remontée du manteau. Par ailleurs, les travaux de la GEMP (General electro-magnetic prospecting, 1977-1978) concluaient pour cette dernière anomalie à l'existence d'un batholite "Numidien" allongé Est - Ouest sur 150 km entre Constantine et la frontière algéro-tunisienne. Hypothèse que semble confirmer l'anomalie gravimétrique définie par J. Lagrula (1951) dans ce secteur. Si le seul indice direct de cette anomalie est la présence du pointement rhyolitique de Zitouna localisé au Sud - Est d'Annaba, l'influence du plutonisme miocène de l'Edough - Cap de fer et du "metamorphic core complex" n'est certainement pas négligeable.

Notons enfin que J.M. Vila (1980) mentionne dans ce même secteur une grosse anomalie centrée sur le front des nappes telliennes et leur substratum intégré à la chaîne alpine.

CALCUL DU GRADIENT GÉOTHERMIQUE

Si l'utilisation des mesures thermométriques obtenues lors de l'exécution des forages pétroliers reste actuellement l'un des seuls moyens directs qui permet d'apprécier la valeur du gradient géothermique, il est nécessaire, en raison de

ESTIMATION ET INTERPRETATION DU GRADIENT GEOTHERMIQUE EN ALGERIE DU NORD

l'influence de la boue de forage, de procéder à la correction des données de base fournies par les sondages pétroliers.

Deux types de températures sont mesurés:

- B.H.T.: (Bottom Hole Temperature), mesurée sur la boue de forage et qui accompagne systématiquement les opérations de diagraphie;
- D.S.T: (Drill Stem Temperature), mesurée lors

des tests de formation et reflétant donc la température de l'échantillon recueilli. Ces mesures qui paraissent plus proches de la réalité que les B.H.T malgré les perturbations dues en particulier à l'invasion de la formation testée par le filtrat de boue, serviront de référence pour corriger les B.H.T (Ben Dhia, 1983; Sekiguchi, 1984).

Ainsi, chaque forage fournit une valeur de gradient géothermique moyen et les résultats obtenus pour l'ensemble de l'Algérie du Nord ont permis de dresser la carte du gradient géothermique moyen.

Pour la correction des B.H.T l'étude statistique des données consiste:

- à déterminer la loi de variation des D.S.T et des B.H.T en fonction de la profondeur (Fig.2);
- à définir l'écart de température D_t entre les valeurs des D.S.T et des B.H.T à la même profondeur (Fig.3);
- à déterminer la loi de variation de D_t en fonction de la profondeur qui servira d'abaque pour la correction des B.H.T (Fig.4).

Sur les 180 rapports de fin de sondages pétroliers consultés, 67 forages ont été sélectionnés car ceux sont les seuls qui fournissent en même temps les données de B.H.T et de D.S.T. Nous avons alors retenu 112 valeurs de B.H.T et 93 valeurs de D.S.T.

LES RESULTATS OBTENUS

Le gradient géothermique ainsi calculé varie entre $22,2^\circ\text{C}/\text{km}$ et $53,6^\circ\text{C}/\text{km}$. L'examen de la carte du gradient géothermique moyen à travers l'Algérie du Nord (Fig.5) permet d'observer:

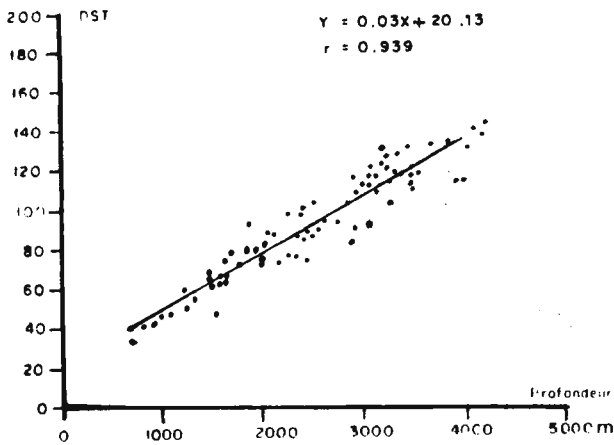


Fig. 2 - Graphe de corrélation $DST = f(\text{Prof})$.

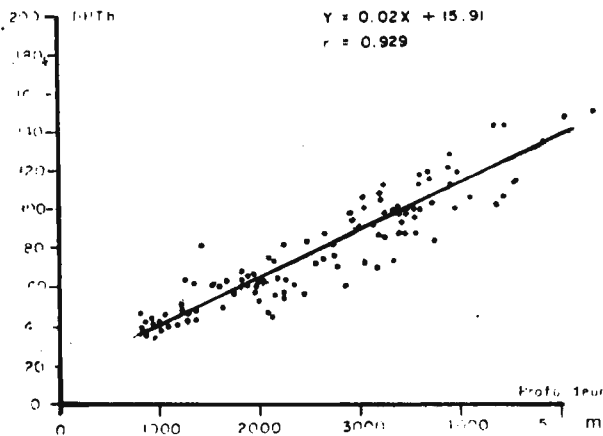


Fig. 3 - Graphe de corrélation $BHTb = f(\text{Prof})$.

- à l'Est, un gradient qui varie globalement entre $2,68^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ et $4,22^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. L'anomalie orientée SW - NE circonscrite par la courbe isogradient $4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ serait globalement due au batholite "Numidien" pressenti par G.E.M.P. Son influence thermique en surface est matérialisée par de nombreuses sources mésothermales et hyperthermales avec souvent d'abondants dégagements de CO_2 d'origine profonde. Ces sources apparaissent à l'intersection de deux systèmes de failles majeures orientées W E - NNE SSW à NE SW ou NNW SSE à NW SE (Issaadi, 1992);

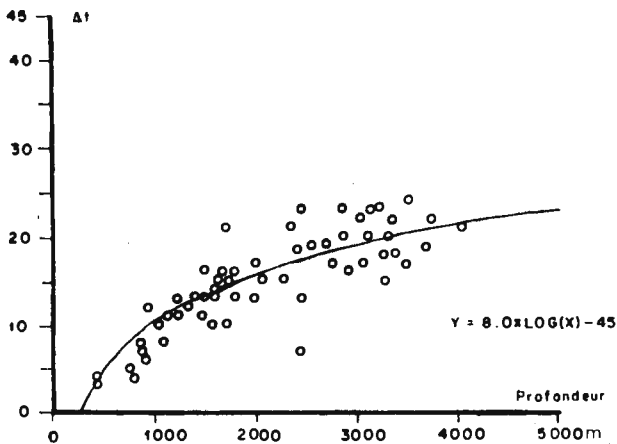


Fig. 4 - Graphe de corrélation $Dt = f(\text{Prof})$.

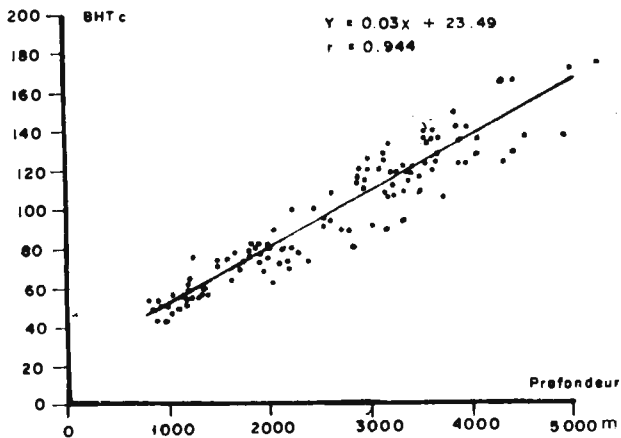


Fig. 5 - Graphe de corrélation $BHTc = f(\text{Prof})$.

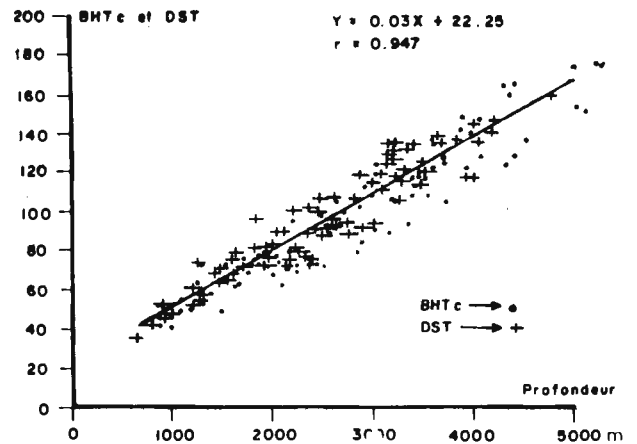


Fig. 6 - Graphe de corrélation $DST + BHTc = f(\text{Prof})$.

- au centre, au droit de la zone bibanique, un gradient supérieur à $5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Plusieurs arguments géologiques et géophysiques justifient cette importante anomalie: forte activité sismique, flexure bibanique pluri-kilométrique orienté W-E qui se transforme en faille franche en profondeur (Kieken, 1974) et affecte toute la série sédimentaire ainsi qu'une partie du socle cristallin dont la proximité est prouvée par la forte anomalie gravimétrique positive, présence de source mésothermales et hyperthermales à l'intersection de la flexure et des accidents orientés NNE - SSW à NE - SW et NNW - SSE à NW - SE (Nedjai et Issaadi, 1988), qui constitue un drain ascensionnel privilégié des eaux vers la surface;

- à l'Ouest, le manque de données n'a pas permis d'apporter les précisions souhaitées. Toutefois, on peut relever des valeurs relativement élevées dans le Bas-Chélif qui se justifie par l'intense activité sismique de ces secteurs, la présence de volcanisme plio - quaternaire et de sources mésothermales et hyperthermales à CO_2 profond. Ces émergences sont liées aux accidents globalement orientés W - E et aux failles transverses (Issaadi, 1992).

ESTIMATION ET INTERPRETATION DU GRADIENT GEOTHERMIQUE EN ALGERIE DU NORD

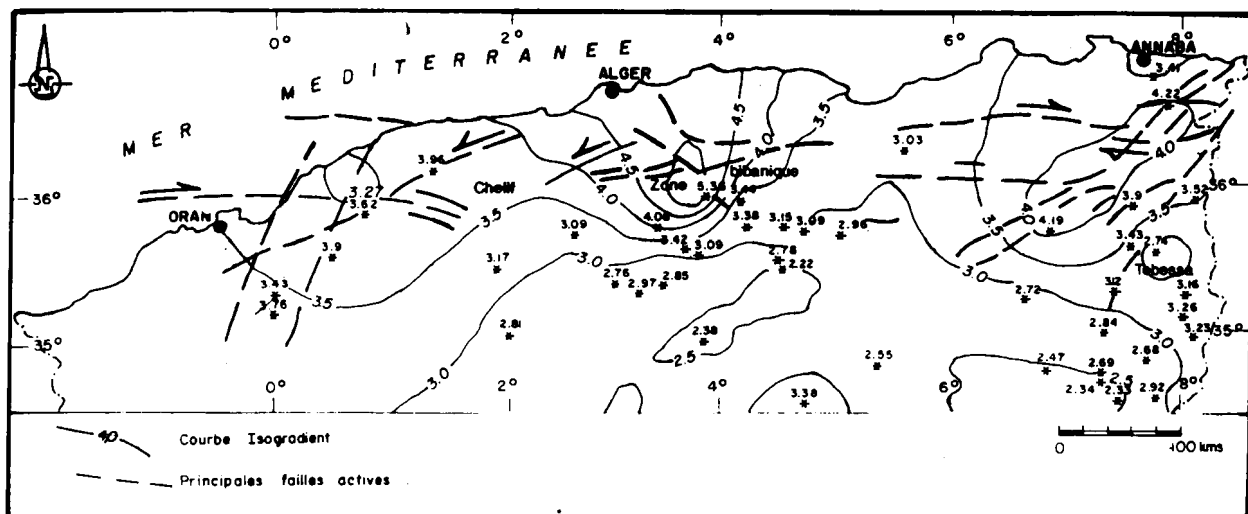


Fig. 7 - Carte du gradient géothermique de l'Algérie du Nord.

CONCLUSION

Les données de forages pétroliers (B.H.T et D.S.T) ont servi à calculer le gradient géothermique moyen et à l'élaboration de l'esquisse d'isogradients de l'Algérie du Nord. Des zones à gradient particulièrement élevé apparaissent et que nous avons lié aux critères géologiques et géophysiques tels que les failles majeures, la sismicité, les anomalies gravimétriques, les sources thermales à dégagement de CO₂ profond et le volcanisme récent. Seulement, les résultats obtenus ne représentent qu'une estimation en raison d'abord de l'inexistence de forage dans certaines régions (région occidentale et prolongement oriental des Bibans) et de leur répartition hétérogène, ensuite du manque de données pour tous les forages existants.

BIBLIOGRAPHIE

Ben Dhia, H. 1988. Tunisian geothermal data oil wells. *Geophysics*, 53, n°11, pp 1479-1487.

Bouchareb - Haouchine, F.Z. 1993. Apports de la géothermométrie et des données de forage profonds à l'identification des réservoirs géothermiques de l'Algérie du Nord. Application à la région du Hodna. *Thèse Magister en hydrogéologie, IST/USTHB, Alger.*

Caby, R., Hammor, D. 1992. Le massif de l'Edough: un "métamorphique core complex" d'âge miocène dans les maghrébides. *C.R. Acad. Sc., Paris.*

Deming, D. 1989. Application of bottom hole temperature corrections in geothermal studies. *Geothermics*, vol. 18, n°5/6, pp 775 - 786.

Goguel, A. 1975. La géothermie. *Edition Doin.*

Issaadi, A. 1992. Le thermalisme dans son cadre géostructural - Apport à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. *Thèse Doctorat d'Etat en hydrogéologie, IST/USTHB, Alger.*

Kazi Tani, N. 1986. Evolution géodynamique de la bordure Nord Africaine - Approche mégaséquentielle. *Thèse Doctorat es-sciences, Université de Pau.*

Kieken, M. 1974. Etude géologique du Hodna, du Titteri et de la partie occidentale des Bibans. *Publ. Serv. Carte Géol. de l'Algérie. Bull. n°46 nouv. sér.,*

Lagrula, J. 1951. Etude gravimétrique de l'Algérie - Tunisie. *Publ. Serv. Carte géol. de l'Algérie. 4° ser., n°2.*

Marignac, C. 1985. Les minéralisations filoniennes d'Aïn Barbar (Algérie): un exemple d'hydrothermalisme lié à l'activité géothermique en Algérie du Nord. *Thèse Doctorat d'Etat, Sciences. Inst. Nat. Polyt. de Lorraine, Nancy.*

Meghraoui, M. 1988. Géologie des zones séismiques du Nord de l'Algérie. *Thèse Doctorat d'Etat, Université de Paris VII.*

Mezghachi, M. et al. 1988. Estimation du flux géothermique dans la zone mercurifère nord-numidique (Azzaba - Algérie). *C.R.Acad. Sc*, t. 307, sér. II, pp. 1647-1650.

Nedjai, R. et Issaadi, A. 1988. L'anomalie géothermique des Bibans. 1ères journées Tunisiennes de géologie appliquée. t. II , pp. 169-179.

Sekiguchi, K. 1984. A method of determining terrestrial heat flow in oil basinal areas. *Tectonophysics*, 103, pp. 67-79.

Takherist, D., Lesquer, A. 1989. Mise en évidence d'importantes variations régionales du flux de chaleur en Algérie. *Canadian Journal of Earth Sciences.*

Vila, J.M. 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse Doctorat Sciences, Univ. P. et M. Curie, Paris VI.*