

Etude des ressources géothermiques du sud algérien

S. Ouali^{1,2*}, A. Khellaf¹ et K. Baddari²

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

² Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie,
Université M'Hamed Bouguerra, Avenue de l'Indépendance, Boumerdes

(reçu le 20 Février 2007 – accepté le 25 Septembre 2007)

Résumé – L'énergie géothermique est l'une des plus importantes sources d'énergies renouvelables en Algérie. Les utilisations de cette énergie sont multiples. Elles vont des utilisations directes, telles que la pisciculture, le chauffage des serres et la balnéothérapie aux utilisations industrielles, telles que la production d'électricité. Si le potentiel des ressources géothermiques du Nord de l'Algérie est bien déterminé, pour le Sud algérien aucune étude détaillée n'a été encore menée. Le but principal de la communication est la présentation du potentiel géothermique du Sud algérien à travers une esquisse du gradient géothermique. Les résultats sont présentés sous forme de cartes et de graphes de gradient. Ces résultats montrent que le Sud algérien est caractérisé dans son ensemble par un gradient géothermique moyen 3°C/100m. La partie Est montre une anomalie thermique qui est de 3 à 4°C/100m. Le bassin de Béchar est anormalement chaud avec un gradient dépassant les 7°C/100m. A travers la carte réalisée, il convient de conclure que les conditions thermiques sont réunies dans le sud algérien pour avoir un important potentiel géothermique.

Abstract – Geothermal energy is one of the most important sources of renewable energies in Algeria. The uses of this energy are multiple. They go from the direct uses, such as pisciculture, the heating of the greenhouses and the balneotherapy with the industrial uses, such as the production of electricity. If the potential of the geothermic resources of the North of Algeria is well defined, for the Algerian South no detailed study was still undertaken. The principal goal of the communication is the presentation of the geothermic potential of the Algerian South through a draft of the geothermic gradient. The results are presented in the form of charts and of graphs of gradient. These results show that the Algerian South is characterized as a whole by an average geothermic gradient 3°C/100m. The part east watch a thermal anomaly which is 3 with 4°C/100m. The basin of Bechar is abnormally hot with a gradient exceeding the 7°C/100m. Through the chart carried out, it is advisable to conclude that the thermal conditions are met in the Algerian south to have an important geothermic potential.

Mots clés: Complexe terminal - Continental intercalaire – Géothermie - Gradient géothermique - Nappe albienne - Potentiel géothermique - Sahara septentrional - Source thermique.

1. INTRODUCTION

La géothermie est une partie de la géophysique qui s'intéresse à l'étude des phénomènes thermiques de la terre qui sont liés à la formation et à la composition du globe.

Les ressources géothermiques dites de haute énergie se caractérisent par une température supérieure à 150 °C et sont principalement destinées à la production d'électricité. La géothermie de moyenne et de basse énergie se caractérise par une température comprise entre 30°C et 150°C et elle est destinée au chauffage des logements (60°C à 80°C), au chauffage de serres, la pisciculture, etc.

Une nouvelle technique en géothermie est mise au point depuis 1987 par Soultz sous Forêts, c'est la géothermie roche chaude sèche ou Hot Dry Rock (HDR). La technique consiste à injecter de l'eau froide en profondeur dans des puits et à la pomper vers la surface par d'autres puits après

* univer_03@yahoo.fr

que son transfert à travers le réseau des fractures du sous-sol l'ait portée à haute température, (<http://www.ciele.org>).

Aujourd'hui, la géothermie est la troisième énergie renouvelable effectivement exploitée dans le monde après la biomasse et l'hydraulique. L'utilisation de l'énergie géothermique est en pleine expansion, elle est développée dans une soixantaine de pays, comme par exemple les Etats-Unis, le Japon, l'Islande, la Nouvelle-Zélande, les Antilles françaises et la Suisse.

Sur les 14 400 TWh d'électricité produits dans le monde en 1998, 45 TWh étaient d'origine géothermique. Les pays les plus grands producteurs sont les USA avec 15,5 TWh, les Philippines avec 9 TWh, le Mexique avec 5,5 TWh et l'Italie avec 4,2 TWh. (D. Madet, 2001: <http://sfp.in2p3.fr>).

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 (Kedaid *et al.*, 1988), (Rezig, 1991), (Rezig, 1992). Ces études montrent que le Nord de l'Algérie compte un nombre important de sources thermales. Près de 200 sources ont été inventoriées, 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, Nord-Est et au Centre Nord de l'Algérie, plus particulièrement dans les régions de l'Oranie, de la Kabylie et du Constantinois algérien.

Tableau 1: Caractéristiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie [4]

Sources thermales	Région	Faciès chimique	Résidus Secs (mg/l)	Température (°C)	Débit (l/s)
H.Chellala	Guelma	Sulfaté magnésien	1600	98	100
H.Bou Hadjar	Ain Timouchent	Chloruré sodique	3210	66.5	-
H.Bouhanifia	Mascara	Bicarbonaté sodique	1400	66	-
H.Boutaleb	Setif	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	Saida	Chloruré sodique	1524	47	-
H.Sillal	Bejaia	Chloruré sodique	2221	46	-
H.Ben Haroun	Constantine	Chloruré sodique	3762	42	10

Bien que le potentiel géothermique soit très important dans notre pays, le domaine de l'exploitation reste limité et se restreint principalement à la balnéothérapie et aux utilisations domestiques.

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.

L'exploitation de l'énergie géothermique dans le Sud de l'Algérie peut être facilitée considérablement grâce aux nombreux forages pétroliers qui traversent le territoire saharien.

L'objectif principal de cette étude est la cartographie du gradient de température du Sud de l'Algérie afin d'y identifier les régions d'intérêt.

2. LA GEOLOGIE

L'Algérie est l'un des plus vastes pays d'Afrique et le plus vaste du Nord du continent. La partie Sud où les formations tabulaires prédominent est comprise dans le domaine saharien dont elle occupe un vaste territoire (Fig. 1).

Le relief saharien se caractérise par d'immenses zones sableuses, les ergs, couvertes de dunes en forme de croissant, des établissements caillouteux, les regs et enfin à l'extrême Sud un espace

rigide où s'élèvent deux massifs, le Tassili (2154 m dans l'Adrar) et le Hoggar (3000 m dans l'Atakor).

La partie centrale du Sahara est occupée par un plateau élevé, le Tademait (900 m) à partir duquel les altitudes s'abaissent vers le Sud-Ouest et vers le Nord-Est.

Le substratum saharien est formé de terrains sédimentaires et éruptifs très anciens affleurant dans les larges boucliers Reguibat à l'Ouest et le bouclier Targui au Sud. Un soulèvement récent tertiaire et quaternaire a porté à plus de 1000 ou 2000 m d'altitude la surface de ce socle. Autour de ces affleurements du socle ancien s'étagent des couches sédimentaires déposées dans des mers peu profondes qui ont momentanément envahi le bouclier africain.

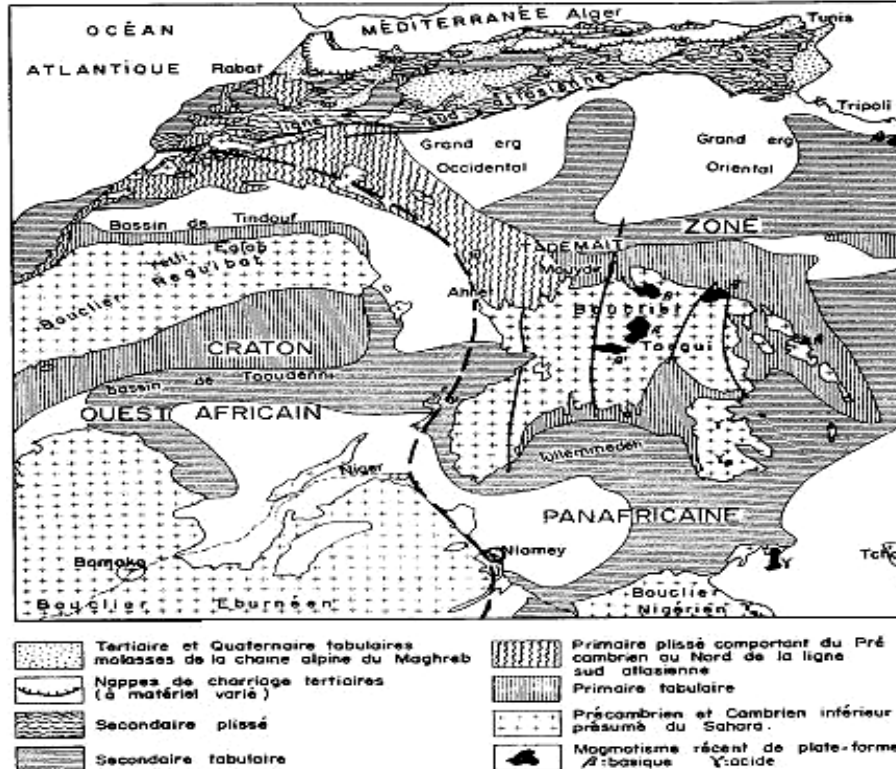


Fig. 1: Carte géologique de l'Algérie (A. Cornet, 1964)

La série sédimentaire comprend deux ensembles sédimentaires séparés par une importante lacune (discordance hercynienne), le tout reposant sur un socle Précambrien métamorphique.

- Une série Paléozoïque inférieure formée principalement de dépôts d'âge Cambrien à Carbonifère à dominance de grès et d'argile. Elle est développée principalement à l'Ouest de la plate forme saharienne; elle affleure sur le pourtour de la cuvette de Tindouf, au Nord du Hoggar, au Sud-Ouest, sur les bordures orientales du bassin de Taoudenni, au Nord-Ouest, dans les bassins de la Saoura et de Béchar.
- Une série Mésozoïque supérieur discordante sur le Paléozoïque, est présentée par les dépôts salifères du Trias et argilo-greux du Crétacé. Le Mésozoïque est développé dans les zones les plus déprimées des bassins sahariens, principalement dans le Sahara septentrional.
- Le Cénozoïque est représenté par la série détritique du Mio-Pliocène.

3. CLIMAT ET HYDROGRAPHIE

Le climat du Sahara algérien se caractérise par une intense sécheresse avec un taux humidité très faible. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25 °C, avec des étés chauds et des hivers rigoureux. Les températures extrêmes sont de plus de 50 °C en été.

Les pluies se caractérisent par leurs grandes variabilités interannuelles. Dans le Sahara septentrional, elles sont fines alors qu'elles sont diluviennes au centre.

Ces différentes caractéristiques climatiques se répercutent sur l'hydrographie saharienne. Ainsi l'écoulement des oueds est temporaire et se perd dans les dépressions fermées. Lorsque les vallées n'ont pas d'écoulement superficiel, elles ont souvent un écoulement souterrain, lequel prend beaucoup d'importance vue la rareté des eaux superficielles.

4. HYDROGEOLOGIE

Les ressources en eau du Sahara se trouvent dans deux grands complexes géologiques, à savoir, le continental intercalaire et le complexe terminal.

4.1 Continental intercalaire

Dans la région d'étude, l'aquifère du continental intercalaire se présente sous forme d'une nappe artésienne. Elle constitue la plus grande réserve d'eau souterraine dans le Sahara algérien (Fig. 2).

Cette nappe est surmontée par celle du complexe terminal qui se présente sous forme d'une nappe libre. On définit l'aquifère du continental intercalaire comme étant les formations continentales du crétacé inférieur, comprises entre l'Albien et le Neocomien, et qui sont 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, cenomanien, turonien et senonien salifère qui peut 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 à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. De grandes quantités d'eau y ont été stockées pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire.

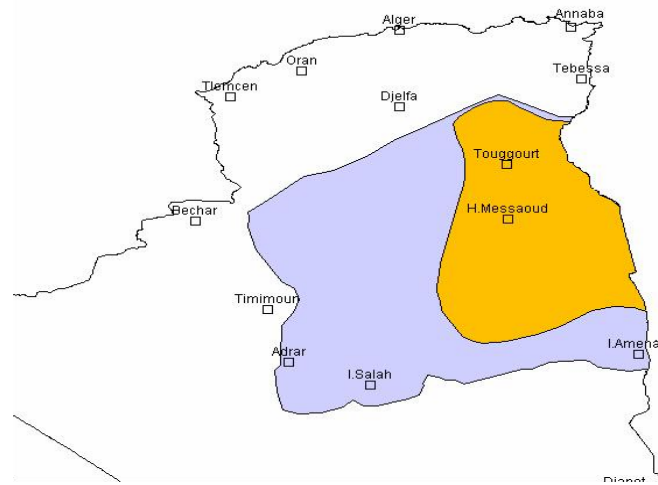


Fig. 2: Carte montrant les nappes aquifères du Sahara algérien
Le continental intercalaire - Le complexe terminal

4.2 Caractéristiques

- L'artésianisme est élevé au centre et maximum dans la région de l'Oued Rhir.
- L'aquifère est de plus en plus profond vers le Nord-Est, où le toit de la nappe se trouve à 1500 à 2000 m. Vers la périphérie, la nappe est ascendante peu profonde et à température moyenne.
- La nappe affleure dans les régions d'Adrar et de In Salah. Les eaux sont chaudes au Nord-Est du bassin (la température moyenne est de 60°C). L'alimentation est faible, environ 268 Mm³/an, grâce aux épandages des oueds descendants de l'Atlas Saharien et à l'infiltration des pluies dans le grand erg occidental. En plus des foggaras et des forages qui sont les exutoires artificiels de la nappe albiennaise, les eaux s'écoulent principalement vers le Sud et l'Ouest de la nappe où se trouvent les zones évaporatoires du Touat du Gourara et du Tidikelt. Une autre direction d'écoulement se fait vers le Nord-Est, zone côtière tunisienne, à travers les failles géologiques d'El Hamma et de Médenine.

4.3 Complexe terminal

Cette nappe a été désignée sous le nom de complexe terminal, car elle est contenue dans les divers horizons perméables du crétacé supérieur et du tertiaire, essentiellement: le sénonien supérieur carbonaté, l'éocène inférieur carbonaté, le mio-pliocène sableux. Ces couches aquifères sont en plus ou moins en étroite relation, ont été groupées en un seul réservoir qui intègre également les formations carbonatées du turonien dans les zones de bordures.

Dans le bassin occidental, la nappe du complexe terminal étant en liaison directe sous une grande partie de l'erg avec celle du continental intercalaire a été intégrée à celle-ci. Dans le bassin oriental par contre, les deux systèmes aquifères sont nettement distincts.

La nappe du complexe terminal s'étend sur une superficie de l'ordre de 350.000 km².

4.4 Caractéristiques

Artésianisme au centre.

Faible profondeur 100 à 400 m.

L'alimentation est faible de l'ordre de 583 Mm³/an. Elle s'effectue par infiltration du ruissellement de l'Atlas Saharien et par infiltration directe des pluies dans le grand erg oriental qui repose directement sur les terrains perméables du complexe terminal.

5. GRADIENT GEOTHERMIQUE

La carte de gradient géothermique est une étape importante en géothermie. Elle montre la variation de la température en fonction de la profondeur en chaque point de la région d'étude.

Généralement, le gradient géothermique observé varie largement d'un endroit à un autre, ne dépassant pas parfois 1°C/100 m.

5.1 Acquisition

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 figure 1, la majorité de ces forages sont localisés dans la partie septentrionale du Sahara algérien vue que cette dernière est plus intéressante du point de vue pétrolier.

L'étape de l'acquisition commence, en premier lieu, par l'établissement d'un inventaire assez complet des forages pétroliers du Sud algérien avec les coordonnées géographiques correspondantes.

En second lieu, sont relevées les températures BHT (Bottom Hole Temperatures) à partir des diagraphies de forages.

En dernier lieu, le gradient géothermique est calculé pour chaque forage, grâce à la relation suivante:

$$G = \Delta T / \Delta Z \quad [^{\circ}\text{C}/100\text{m}]$$

Z : Profondeur (m) et T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

La carte de gradient géothermique (Fig. 3) montre la variation latérale du gradient géothermique dans la région d'étude.

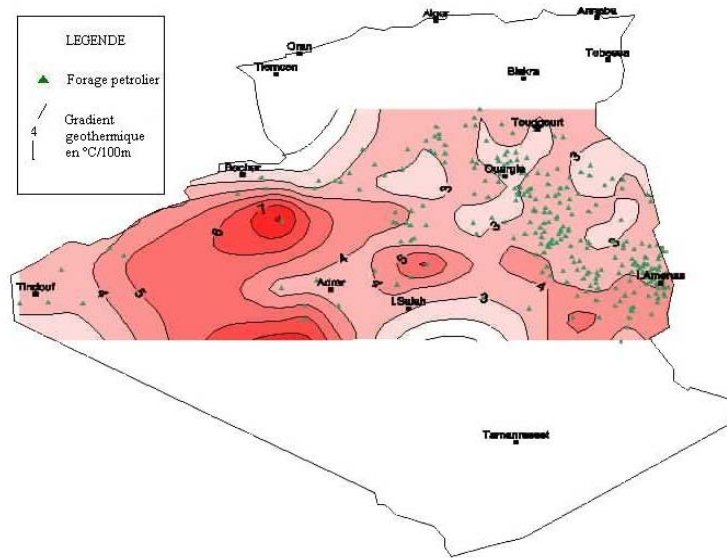


Fig. 3: Carte géothermique du Sud algérien

Le **tableau 2** donne un aperçu du gradient de température de quelques forages situés à différents endroits du domaine d'étude. On voit que les forages Ouest présentent des gradients de température importants.

Tableau 2: Gradient géothermique au niveau de cinq forages pétroliers

Forage	X	Y	G ($^{\circ}\text{C}/100$)
ER-1	01°42'54''W	31°32'58''N	3.1
CBM-1	2°22'46'' W	31°27'56''N	3.4
HBZ-1	1°07'44''W	30°07'44''N	8
AM-1	0°29'00''W	27°18'10''N	6.63
T01	6°27'32''E	30° 04'18''N	3.7

La figure 4 représente les courbes de variation de la température en fonction de la profondeur ($T = f(p)$). Tous les graphes (Fig. 4) montrent clairement l'augmentation de la température avec la profondeur. Donc la profondeur est l'un des facteurs du gradient de température.

5.2 Interprétation

Le Sahara algérien présente dans son ensemble un gradient géothermique moyen de l'ordre de $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Dans la partie septentrionale du Sahara, le gradient géothermique moyen est de $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Ce dernier semble être dû à l'effet de la profondeur.

Une forte anomalie géothermique est bien mise en évidence dans partie occidentale du Sahara dans les régions de Béchar, Béni Abbès et Timimoun. Le gradient, qui y est de plus de $6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, est probablement due à la tectonique intense qu'a connue la partie occidentale de la plate forme saharienne durant l'orogénèse hercynienne.

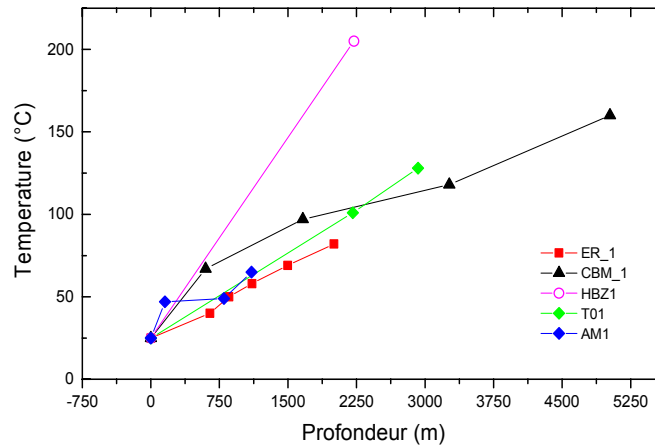


Fig. 4: Courbes de variations (température – profondeur) au niveau des forages mentionnés ci-dessus

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

Le gradient géothermique élevé dans le Sahara occidental pourrait être l'un des facteurs responsables de cette pauvreté en hydrocarbures liquide dans cette région. En effet 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'.

Les résultats obtenus à partir de la carte géothermique seraient donc en concordance avec les résultats de la prospection pétrolière.

6. CONCLUSION

Les études hydrogéologiques réalisées dans le Sud de l'Algérie révèlent que les ressources en eau du Sahara se trouvent dans deux grands complexes géologiques : le continental intercalaire et le complexe terminal.

Les deux nappes se situent dans le Sahara septentrional. La nappe du continental intercalaire est chaude, elle est la plus intéressante du point de vue géothermique.

D'après la carte de gradient géothermique, deux parties distinctes sont mises en évidence :

- L'une dans le Sahara septentrional dont le gradient est moyen de 3 à 4°C/100m.
- L'autre dans le Sahara occidental avec un gradient de 6°C/100m.

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.

A 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] A. Cornet, '*Introduction à l'Hydrogéologie du Sahara, Algérie*', Revue Géographie Physique et de Géologie Dynamique, Vol. 6, N°1, pp. 5 – 72, 1964.
- [2] A. Cornet et N. Gousskov, '*Les Eaux du Crétacé Inférieur Continental dans le Sahara Algérien (Nappe dite Albienne)*'. XIX Cong. Géol. Inter. La Géologie et les Problèmes de l'Eau en Algérie. Tome II. Données sur l'Hydrogéologie Algérienne, pp. 144 – 169, 1952.
- [3] J. Fabre, '*Introduction à la Géologie du Sahara Algérien et des Régions Voisines*', Edition SNED, Alger, 1976.
- [4] M. Abouriche, A. Fekraoui, F.Z. Kedaïd et M. Rezig, '*Atlas des Ressources Géothermiques du Nord de l'Algérie*', Rapport Interne, CDER, 1988.
- [5] F.Z. Kedaïd et M. Rezig, '*Etude de Reconnaissance du Sud de l'Algérie*', Rapport Interne, CDER, 1990.
- [6] F.Z. Kedaïd, M. Rezig, M. Abouriche et A. Fekraoui, '*Carte Géothermique Préliminaire du Nord de l'Algérie au 1/100000*', Rapport Interne, CDER, 1988.
- [7] M. Rezig, '*Etude Géothermique de l'Extrémité Est de l'Atlas Saharien*', Rapport Interne, CDER, 1992.