

Contribution de la géomatique à l'interprétation géoélectrique du bassin de Hassi Naga (Sud-ouest Algérien)

Hami Khelifa^{1,2,*}, Zeroual Ibrahim^{1,3}, Talhi Abdelkrim¹, Djmila Ali¹

¹Institut des sciences et de la technologie, Centre Universitaire de Tindouf, Tindouf, Algérie

²Laboratoire ENERGARID, Université Tahri Mohamed Béchar, Béchar, Algérie

³Laboratoire GEOREN-université Oran2, Algerie

*E-mail : hamikhelifa@yahoo.fr

Résumé : Dans ce travail, on propose un modèle de géomatique dans la région de Hassi Naga, qui est située dans la Hamada de Tindouf, sud-ouest Algérien, à environ 70 km au Nord-Ouest de la région. Cette approche est basée sur la prospection et l'analyse thématique de la distribution des mesures géoélectriques pour arriver à mieux estimer et gérer l'hydrogéologie de cette région du bassin de Tindouf. Les résultats de la prospection géophysique permettent de concevoir un modèle complet qui réponds aux besoins de l'hydrogéologie, dont la méthodologie qu'on a appliqué consiste à décomposer notre sujet en 3 classes d'entités : géomatique, géophysique et l'hydrogéologique, découvrant les liens relationnelles, faisant l'analyse thématique et aboutant à des résultats qui participent à résoudre la problématique de l'eau (hydrogéologie) de la zone étudiée.

Mots clés : Géomatique ; Géoélectrique ; Résistivité ; Simulation ; Forages d'exploitation.

I. INTRODUCTION

La zone de Hassi Naga appartient au flanc Nord du bassin de Tindouf, vaste synclinal asymétrique constitué d'un ensemble de formations sédimentaires d'âge paléozoïque recouvert en discordance par des dépôts continentaux du Néogène[1]. La présente étude montre l'intérêt de la géomatique pour l'exploitation géoélectrique dans la région de Hassi Naga et d'en faciliter l'interprétation spatiale. Le résultat pour cette recherche étant l'établissement d'un modèle géo-spatial permettant d'impact des mesures en hydrogéologie de la zone de Hassi Naga[2,3]. Les résultats géophysique permettent de confirmer qu'il existe des formations susceptibles d'être aquifères, et présentent un intérêt hydrogéologique au niveau du complexe Néogène qui fait ressortir trois classes :

- Une classe peu profonde d'épaisseur ne dépassant pas 140 m.
- Une classe médiane épaisse (800 m), correspondant aux argiles silteuses du Carbonifère supérieur.
- Une classe qui concerne un substratum très résistant, sec et profond (≥ 800 m).

La géomatique nous a permis de réaliser une cartographie de synthèse permettant une simulation de la position des forages d'exploitation de la zone de Hassi Naga.

L'objectif principal de cette étude est l'analyse de la résistivité électrique pour une reconnaissance des ressources en eau souterraine de la zone de Hassi

Naga, située au Nord - Ouest du bassin de Tindouf (SW- Algérien). En tenant compte de l'ensemble des études existantes et la confrontation avec les résultats de la

géoélectrique par prospection se basant sur la méthode électrique. En mesurant la résistivité des couches, à partir desquelles on détermine la lithologie et la structure de la région pour définir les niveaux aquifères, leur géométrie et leur épaisseur.

Dans le domaine de la cartographie et la cartographie cognitive, les techniques de la géomatique sont importantes pour l'étude de la surface de la terre [4,5]. Les données sont indispensables pour toute surveillance, analyse photographique et modélisation morphologique, quelle que soit l'échelle. Les nouvelles solutions sont attrayantes, rapides, utilisables dans tout type de configuration morphologique et fournissent des données aisément intégrables dans des Systèmes d'Information Géographique, à des résolutions allant de la dizaine de mètres au centimètre [6,7].

Dans plusieurs domaines d'intérêt de la géomatique cognitive joue un rôle central et incontournable sur :

- L'incertitude spatiale ;
- L'implantation de la géomatique au sein des organisations ;
- La diffusion (communication);
- La visualisation et la navigation.

Les paramètres géomatiques, pour la géologie et la géotechnique sont utilisés sur des mesures

géophysiques [8, 9,10] afin de mettre en place la cognition en hydrogéologie. Dans ce travail on insiste sur l'apport de la topographie, la photogrammétrie et des SIG [11], pour élaborer des cartes thématiques et des cartes de synthèse. Localisation géographique de la zone étudiée est définie sur la figure 1. La colonne lithostratigraphique nous informe sur les faciès composants principalement de la région d'étude (figure 2).

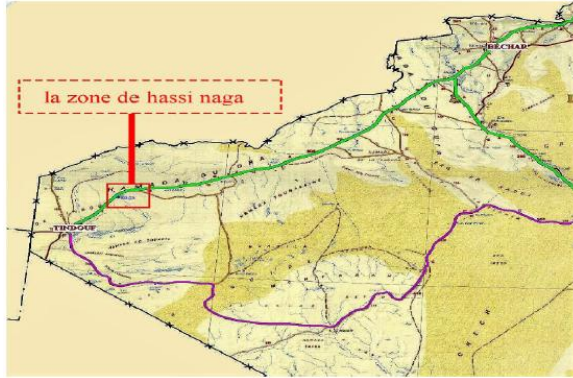


Fig. 1. Localisation géographique de la zone étudiée [6].

Ere	Age	Etage	Strates	Profon	Epaiss	Lithologie	
Paléozoïque	Carbonifère	Stephansien		139	381	Argiles sableuses	
		Namuriens		510	427	Argiles à passées de grès et de calcaires	
		Viseen sup		937	793	Alternance de calcaires et d'argilles à passées de grès	
		Viseen inf		1730	557	Argiles silteuses, fines intercalation de calcaires parfois intercalations de calcaire	
		Tournaisien		2267	149	Argile gréseuses à passées de grès très fines avec intercalation de calcaire	
		Devonien	Strunien		2416	369	Succession d'argiles, de grès et de siltstones avec de passées de dolérite
			Famenien		2785	854	Argiles noires avec des passées de siltstones.
			Frasien		3639	297	Argiles noires feuilletées à passées.
		Permien	Givetien		3936	160	Argiles noires feuilletées à passées.
			Elfélien		4095	307	Argiles noires feuilletées à passées.
	Emsien			4402	231		
	Profondeur final				4433.85		

Fig. 2. Colonne lithostratigraphique de forage pétrolier NG1 [6].

II. METHODE

La méthode des sondages électriques verticaux consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu à l'aide de deux électrodes en acier

inoxydables et de mesurer la différence de potentiel créée entre les bornes de deux autres électrodes en cuivre [12,13]. L'ensemble constitue un quadripôle tel qu'il est dans la figure suivante, un résistivimètre est employé pour mesurer le courant électrique et la différence de potentiel ; et nous permet de déterminer la résistivité apparente du milieu selon le schéma et les formules suivants [14,15] :

Il existe plusieurs dispositifs des modèles de quadripôles, les plus utilisés sont celles de Wenner et de Schlumberger.

- Le Wenner : toutes les électrodes sont équidistantes, $AM = MN = NB = AB/3$
- Le Schlumberger : La distance MN est petite par rapport à AB. En général $MN < AB/5$

A. Modèle mathématique

La méthode électrique consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu à l'aide de deux électrodes en acier inoxydable et de mesurer la différence de potentiel créée entre les bornes de deux autres électrodes en cuivre. L'ensemble constitue un quadripôle tel qu'il est dans la figure suivante, un Ampèremètre est employé pour mesurer le courant électrique et un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel (Figure. 3 et 4) :

L'idée est de déplacer solidairement les quatre électrodes AMNB et d'effectuer ainsi des profils et des cartes de résistivité. Les dispositifs sont nombreux et variés, le quadripôle reste le plus répandu. La source de courant est généralement des piles de 90 v, plus rarement une génératrice à essence avec un redresseur ou une batterie de voiture, les nouveaux appareils marchent avec dix (10) piles en série [16, 17].

Cette méthode permet de mesurer la différence de potentiel ΔV et le courant électrique injecté et récupéré dans le sous-sol I , il ne nous reste qu'à calculer la résistivité ρ dans le milieu considéré avec deux pôles A et B, l'action conjuguée de A et B donnera [18]:

- Potentiel en M :

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (1)$$

- Potentiel en N :

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (2)$$

- Différence de potentiel entre M et N :

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3)$$

D'où :

$$\rho = \frac{k \cdot \Delta V}{I} \quad (4)$$

Avec :

$$k = \pi \cdot \frac{AM \cdot AN}{MN} \quad (5)$$

- La résistivité en milieu en ohm-mètre est calculée par :

$$\rho_a = \frac{k \cdot \Delta V}{I_{AB}} \quad (6)$$

Avec :

k : facteur géométrique qui ne dépend que de la relation des électrodes et s'exprime par (5) ;

ΔV : différence de potentiel aux bornes des électrodes MN ;

I_{AB} : intensité du courant électrique circulant dans le circuit AB.

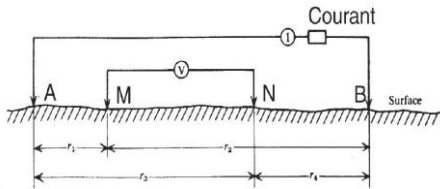


Fig. 3. Schéma de Schlumberger choisi pour la prospection du présent travail.

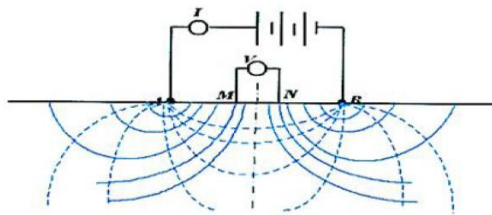


Fig. 4. Principe de fonctionnement du dispositif (lignes de courant et — surfaces équipotentiel). —

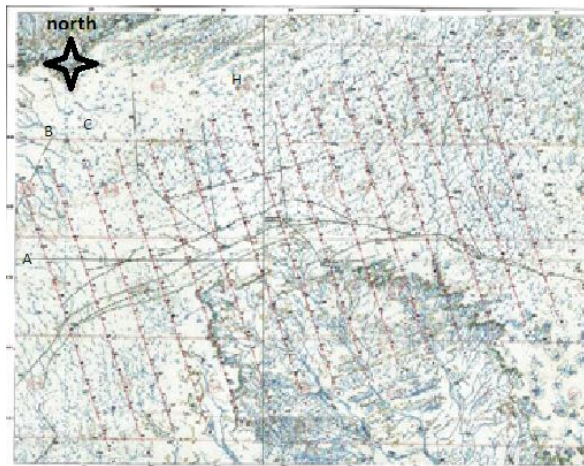


Fig. 5. Carte des profils (A-P) et points des sondages électriques sur terrain.

Les coupes et les profils géophysiques nous ont permis de construire deux niveaux d'analyse par agrégation des résistivités, niveau 1 (R1, R2, R3 et R4) et le niveau 2 (R5, R6, R7 et R8). Ces deux niveaux sont présentés dans la figure 6.

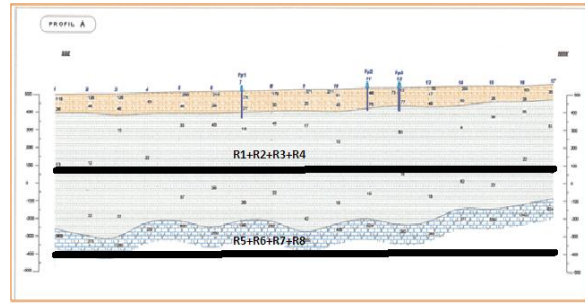


Fig. 6. Profil représentant les niveaux de résistivités variant entre R1 et R8.

III. RÉSULTATS

Le résultat est basé sur l'interprétation des cartes des résistivités apparentes :

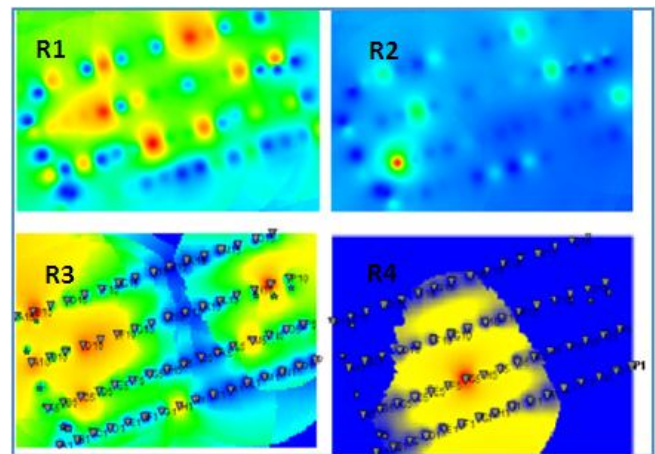


Fig. 7. Distribution spatiale de la résistivité spatiale, niveau 1 (R1, R2, R3, R4).

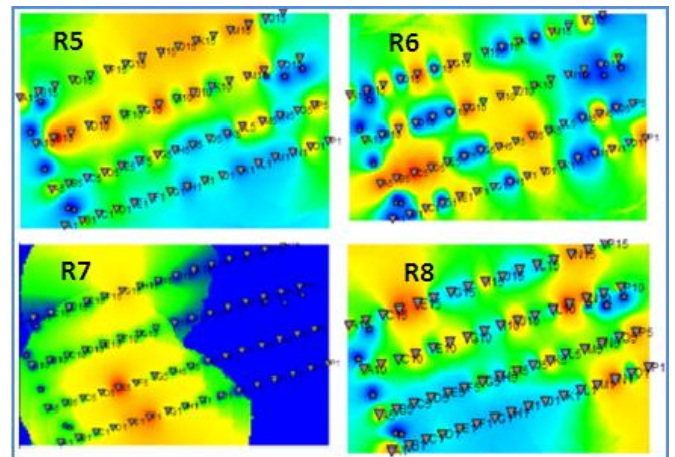


Fig. 8. Distribution spatiale de la résistivité, niveau 2 (R5, R6, R7, R8).

Les résultats de l'interprétation sont exprimés sous forme de coupes géoélectriques interprétatives et des cartes des résistivités apparentes. Tous les profils sont orientés Sud-Sud-est/Nord-Nord-Ouest présentant des similitudes dans leur allure monotone, dans les épaisseurs des formations géologiques, et par les résistivités enregistrées presque similaires. En surface

les résistivités sont élevées traduisant, à cause des caractéristiques des calcaires dur et compact couvrant une partie importante du Hamada.

				inférieur
--	--	--	--	-----------

Coupes Géoelectriques du profil A : Selon la résistivité et les épaisseurs, trois classes sont à envisager :

Classe 1 : 120 m d'épaisseur avec une 1^{ère} plage de résistivité de 118 à 571 Ohm-m, relative à la croute de calcaire d'environ 1m d'épaisseur, et une 2^{ème} plage de 25 à 77 Ohm-m correspond à la formation Néogène de la Hamada (argile, argile sableuse avec intercalation de calcaire).

Classe 2 : 600 à 700 m d'épaisseur, avec une résistivité de 8 à 62 Ohm-m. terrain du carbonifère supérieur.

Classe 3 : 700 à 800m, avec une résistivité de 196 à 1342 Ohm-m. relative au Carbonifère inférieur (Viséen supérieur), leur épaisseur est de 578m.

Le résumé des résistivités des classes est défini dans le tableau I.

TABLE I. RESUME DE LA DISTRIBUTION DE LA RESISTIVITE.

Profils	Classe 1 C1	Classe 2 C2	Classe 3 C3	Observations
B	31-116 Ohm-m	18-52 Ohm-m / 70-102 Ohm-m	190 à 1342 Ohm-m.	C1 : Néogène de la Hamada C2 : Carbonifère Supérieur C3 : Carbonifère inférieur.
C-D	≥200 Ohm-m	10 – 57 Ohm-m	234 - 1453 Ohm-m	C1 : Néogène de la Hamada C2 : Carbonifère Supérieur C3 : Carbonifère inférieur.
E-F	20 - 200 Ohm-m	15-50/65- 73 Ohm- m.	205 et 1216 Ohm-m	C1 : Néogène C2 : Carbonifère C3 : Carbonifère inférieur.
G-H	21 - 90 Ohm-m	11 à 41/ 52 à 57 Ohm-m	≥ 229 Ohm-m	C1 : Néogène C2 : Carbonifère Supérieur C3 : Carbonifère inférieur
I-J	≥ 129 Ohm-m	< 100 Ohm-m	< 50 Ohm- m	C1 : Néogène de la Hamada C2 : Carbonifère Supérieur C3 : Carbonifère inférieur
K-L	77-115 Ohm-m	< 50 Ohm- m	≥ 350 Ohm-m	C1 : Néogène de la Hamada C2 : Carbonifère Supérieur C3 : Carbonifère inférieur
M-N	< 43/58 à 265 Ohm- m	< 50 Ohm- m / ≥ 400 Ohm-m	≥ 350 Ohm-m	C1 : Néogène de la Hamada C2 : Carbonifère Supérieur C3 : Carbonifère inférieur
O-P	< 30 / ≥ 45 Ohm-m	10-46 ohm-m	≥ 200 Ohm-m	C1 : Néogène de la Hamada C2 : Carbonifère Supérieur C3 : Carbonifère

A. Commentaries et discussions

- Carte des résistivités apparentes (AB = 450 m)

La profondeur d'investigation pour une ligne AB égale 450 m sera située à une profondeur de 100 à 150m, qui caractérise la nature de la Hamada du Néogène. Les valeurs des résistivités apparentes sont réparties selon deux ordres de grandeur :

- une plage relativement conductrice : dont (Ro < 60 Ohm-m) dans la majorité des sondages électriques suggéreraient de niveaux peu argileux.

- une plage relativement élevée : au droit des sondages dont : (Ro > 80 Ohm-m), dans la majorité des sondages électriques suggéreraient de niveaux peu argileux : (Ro > 120 Ohm-m). Seraient des niveaux gréseux peu argileux.

- Carte des résistivités apparentes (AB = 2000 m)

La profondeur d'investigation pour une ligne AB égale 2000 m sera située à une profondeur de 300 à 400m, qui caractérise la nature du Carbonifère Supérieur représenté par des argiles silteuses. Les valeurs des résistivités apparentes sont réparties selon deux ordres de grandeur :

- plage relativement conductrice : dont (20 < Ro < 60 Ohm-m) dans l'ensemble de la carte.

- plage dont : (Ro > 80 Ohm-m) indique l'existence des niveaux gréseux au sein de ce complexe de nature argilo – silteuse.

- Carte des résistivités apparentes (AB = 6000 m)

La profondeur d'investigation pour une ligne 6000m AB correspondant au substratum résistant du Carbonifère inférieur (Viséen supérieur 1200m à 1500m) de nature à calcaires dolomitiques à intercalation d'anhydrite. Les valeurs des résistivités apparentes sont réparties selon deux ordres de grandeur :

-plage conductrice dont : (Ro < 60 Ohm-m) qui correspondant aux calcaire dolomitiques à forte proportion d'anhydrite.

-plage relativement élevée dont : (Ro > 80 Ohm-m) correspondant au calcaire dolomitique avec très faibles intercalations d'anhydrite.

- Carte du toit du Carbonifère supérieur

Le toit de carbonifère supérieur forme la discordance hercynienne constitue le substratum imperméable très épais de la Hamada du Néogène. Dans la région de Hassi Naga est échappée de toute tectonique violente d'une façon générale et que leur toit est à des faibles profondeurs (320m et 480m). La remontée du

toit fait de manière progressive du Sud vers le Nord.

- Carte du toit du Carbonifère inférieur (Viséen supérieur)

On note l'existence de nombreuse ondulation dus aux résistivités élevées des profondeurs du Viséen Supérieur ; Les valeurs passent de 450m au sud vers 100m au Nord indiquant la surélévation du substratum dans la partie Nord de la zone d'étude.

B. Confirmation et vérification des essais

La structure et la nature du sous-sol ont été élaborées et envisagée selon l'étalonnage des essais. Ce dernier se fait conformément avec les données du forage pétrolier NG1[6], situé dans le secteur étudié et les informations hydrogéologiques disponibles sur la région. La confrontation des résultats avec des forages existants offre une bonne vérification et justifient la continuité des formations géologiques et conformité lithologiques avec les classes envisagés par la géophysique. Les coupes géoélectriques de **A** à **D** montrent un substratum calcaire à intercalation d'anhydrite résistant à très résistant sec appartenant au Viséen supérieur, une formation argilo-silteuse très épaisse, Le Néogène hammadienne plus hétérogène des changement de facies latéraux important. Les coupes de **E** à **H** montrent la structure qu'A et B, avec les particularités suivantes : substratum résistant, le carbonifère supérieur est très argileux, un plongement remarquable des structures vers le Sud et un léger épaissement de la Hamada du Néogène vers le Sud. Le même schéma géologique est observé sur les coupes **I** et **L**, avec les deux éléments suivants : un amincissement relatif du complexe argilo-silteux du carbonifère supérieur dans la partie Nord du secteur d'étude. Une remontée du substratum résistant vers le Nord. Les coupes géologiques de **M** à **P** situées dans la partie Est du secteur étudié, montrent une continuité de la même structure géologique observée dans les coupes précédentes, avec un substratum résistant profond.

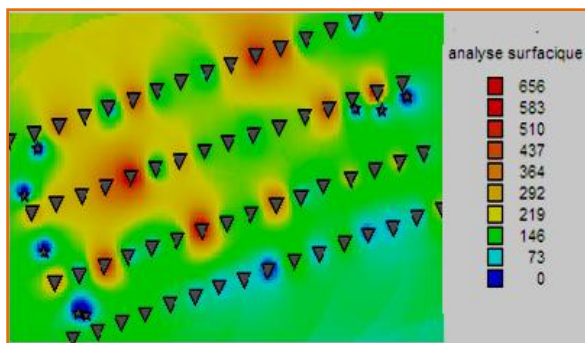


Fig. 9. Agrégation de la résistivité pour les couches R1-R4 (0-656).

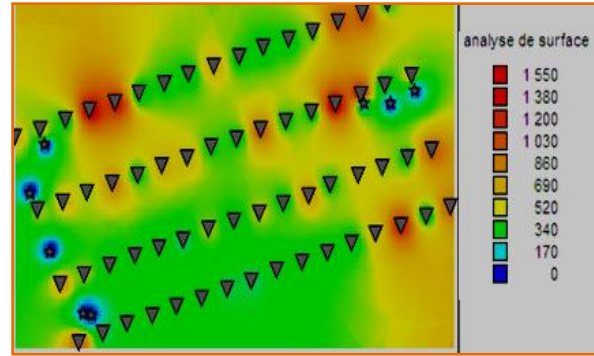


Fig. 10. Agrégations de la résistivité pour les couches R5-R8 (0-1550).

Les figures 7 et 8 représentent des cartes utilisant la fonction d'agrégation (somme) pour deux niveaux (N1 et N2). Les zones en bleu montrent la possibilité d'un forage positif et les zones en rouges expriment un socle dur et profond.

Conclusion

Ce travail est une contribution de la prospection géoélectrique pour le besoins de l'hydrogéologie. Le bilan s'articule autour d'un modèle qui tient compte de trois classes mettant en valeur trois facies. La topographie, la géophysique et l'hydrogéologie nous ont permis de structurer l'information géologique. Les relations spatiales entre ces classes, nous a donné des cartes thématiques permettant de situer la présence de l'eau dans l'aquifère appartenant aux formations du Néogène et d'autre horizons notamment dans le carbonifère supérieurs. Les résistivités de ce dernier sont de l'ordre de 90 Ohm-m et plus, est susceptible d'indiquer des aquifères. La cartographie spatiale nous a permis de délimiter les zones par rapport à la surface topographique et de visualiser la forme de la surface de niveau en fonction des données géoélectriques. L'intégration d'autres méthodes géophysiques, en tenant compte de tous les paramètres géologiques, et les données géomatiques disponibles dans la région en matières hydrogéologique, peut nous aider à développer et à moderniser le model d'analyse proposé vers une bonne exploitation et une gestion intégrée des ressources en eau.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont aux responsables des laboratoires de l'algérienne des eaux, et des services des ressources hydrauliques de la région de Tindouf pour la consultation des données.

REFERENCES

- [1] Fabre, "Géologie du Sahara occidentale et centrale", Tervuren Bilgique Collection, Vol. 108, pp. 85-130, 2005.
- [2] Gaucher G., Burdin S., "Géologie, Géomorphologie et hydrologie des terrains salés", Techniques vivantes, Presses Universitaires de France, Imp. Boudin, Paris, p. 234, 1974.

- [3] MESSAOUDI H., "Lithostratigraphie, paléontologie, biostratigraphie et environnements sédimentaires dans les terrains du Dévonien Inférieur et Moyen de Gara Djebilet (bassin de Tindouf)", p. 6, 2008.
- [4] Oulaaross Z., "Etude climatologique, hydrogéologique et géophysique du Sahel Côtier des Doukkala (Maroc). Apport de l'analyse statistique et de l'inversion des données géoélectriques à l'étude du biseau salé de la lagune de Sidi Moussa", Thèse Doct., Univ. Chouaib Doukkali & Univ. Bordeaux 1, p. 279, 2009.
- [5] Consults, "Etude géophysique dans la région de Hassi Naga", A.N.R.H, BET BETA, Wilaya de Tindouf, pp. 24-44.
- [6] ANRH, "Plan de développement", Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger, 2015.
- [7] BRGM, "Méthodes et moyens de contrôle des biseaux salés", Rapport scientifique, N° 38847, p. 81, 1996.
- [8] Hamouda M., Sahari A., "Contribution à l'étude hydrogéologique du champ captant Hassi Abdellah", Viséen Supérieur, p. 27, 2013.
- [9] Szalai S., Szarka L., "On the classification of surface geoelectric arrays", Geophysical Prospecting, Vol. 56, 2008.
- [10] A.W Thierno, "Cartographie élémentaire avec Mapinfo professional", UNIVERSITE PARIS ESTENPC, LVMT, p.103, 2008.
- [11] Bourhan A., "Discrimination de l'origine de la salinité des masses d'eau souterraine: contexte hydrogéologique et méthodes d'étude", Géosciences Réunion, BRGM, Univ. Avignon, p.108, 2010.
- [12] Capellier D., "prospection électrique des surfaces/cours de géophysique", université de Lausanne, institut Française du pétrole, pp. 55-59.
- [13] Dubois J. , M .Diament , J.P.Cogné "Géophysique cours et exercices corrigés", Dunod, 230232, pp. 223-229, 2013.
- [14] G Eau Sol (BET), "Etude géophysique par la méthode électrique – Etude d'implantation de forages d'eau dans la région sud de Marhoum (chott chergui) *Dhw* wilaya sidi bel abbés", 2006.
- [15] Hassani M.I., "Interprétation de pompages de longue durée pour la détermination des relations hydrodynamiques entre les aquifères profonds et la surface du Chott Chergui", Actes du Séminaire National sur l'eau, Université de Tlemcen, pp. 05-06 novembre 2001.
- [16] Mahammed D., Toubal A.C., Mansour H., Benzeguir A., "Utilisation de la géophysique électrique et du géoradar pour la détection d'anomalies souterraines sur des sites de construction de l'agglomération d'Oran", Annales des Mines et de la Géologie, N°44, ISSN : 0330-0013, Edition du Service du Géologique de Tunisie, juin 2010
- [17] Mahammed D., Toubal A.C., Hassani M.I., "Approche géophysique non conventionnelle d'un aquifère carbonaté fissuré et karstifié : cas du Djebel Murdjadjo (Oran-Algérie)", Journal of hydrocarbures mines and Environmental Ressources, ISSN :2107-6510, Vol. 2, Issue 2, 2011.
- [18] Stamboul M., Issaadi A., Mahammed D., Safa A., "Apport de la géophysique électrique à la perte de l'oued El Malah et du rôle des eaux infiltrées dans l'alimentation des nappes profondes sud-atlasique (Djebel Amour ,Atlas Saharien)", Bulletin du service géologique de l'Algérie, Vol.16, N°2, 2005.