

CARACTÉRISATION HYDRODYNAMIQUE D'UN SYSTÈME AQUIFÈRE HÉTÉROGÈNE SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE. EXEMPLE DE LA PLAINE DE TÉBESSA.

Tarek DERIAS*et Ahmed Cherif TOUBAL **

RÉSUMÉ

La zone étudiée fait partie du sous bassin du Mellègue situé au nord-est de l'Algérie. Cette zone est caractérisée par un climat semi-aride. Le système aquifère y est formé par des alluvions plio-quadernaires reposant sur un substratum marneux d'âge eocène.

L'étude géostatistique des paramètres hydrodynamiques (charge hydraulique, transmissivité) a permis d'appréhender leur évolution spatiale par la méthode du krigeage par bloc et d'identifier les zones à potentialités aquifères.

A cet égard, la carte des transmissivités montre une zone préférentielle dans le secteur d'Aïn Chabro, situé au sud de la plaine. Ce secteur présente les meilleures valeurs de la transmissivité (10^{-3} à 5×10^{-2} m²/s).

L'utilisation d'un modèle bidimensionnel aux différences finies, a permis d'établir le bilan global de la nappe et d'affiner le champ des transmissivités. Celles-ci varieraient plutôt entre 10^{-4} à 10^{-2} m²/s.

La démarche méthodologique, associant l'approche probabiliste sous-tendue par la théorie des variables régionalisées à celle déterministe du modèle, conduit à une meilleure connaissance de l'hydrogéologie de cette zone semi aride.

Mots-clé : Hydrodynamisme - Géostatistique - Modélisation - Chabro - Tébessa.

* Maître Assistant. Département des Sciences de la Terre. Faculté des Sciences. Université de Batna.
tderias@yahoo.fr.

**Professeur, Directeur de Recherche, FSTGAT, USTHB, BP. 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger.
toubal@hotmail.com.

- Manuscrit déposé le 10 Mai 2008, accepté après révision le 24 Juin 2009.

HYDRODYNAMIC CHARACTERISATION OF A HETEROGENEOUS AQUIFER SYSTEM UNDER SEMI-ARID CLIMATE EXAMPLE OF THE PLAIN OF TEBESSA.

ABSTRACT

The studied zone is a part of the Mellegue sub-basin situated in the North-East of Algeria, this zone is characterised by its semi-arid climate.

The water-bearing system is formed by the Plio-Quaternary alluvium overlying on a Eocene marly substratum.

The geostatistic study of the hydrodynamic parameters (pressure water, transmissivity) allowed the comprehension of their spatial distribution with kriging method, then the identification of the water-bearing potentialities zones.

In this respect, the transmissivity map shows a preferential zone in the Aïn Chabro region which, is situated in the South of the plain. This area represents the best values of the transmissivity (10^{-3} to 5×10^{-2} m²/s).

The use of a 2-dimensional model with the ended differences allowed us to establish the global assessment of the sheet and to refine the transmissivity field. These ones would vary rather between 10^{-4} and 10^{-2} m²/s.

The methodologic steps associating the probability approach by the theory of regionalized variables with that determining the model has led to a better acquaintance with the hydrogeology of this semi-aride region.

Keywords - Hydrodynamics - Geostatistics - Modeling - Chabro - Tébessa.

I - INTRODUCTION

Le bassin d'effondrement de Tébessa contient une nappe alluviale en perpétuelles sollicitations. De ce fait, les niveaux piézométriques et débits de sources sont en constante décroissance, menaçant à brève échéance la pérennité de la ressource.

Pour pallier à cette menace, nous nous proposons d'établir un diagnostic portant sur le comportement hydrodynamique de la nappe. Un tel diagnostic devrait nous permettre de proposer des compléments à même d'assurer à l'avenir, la gestion rationnelle de la ressource. Les paramètres hydrodynamiques sont dans un premier temps déterminés aux moyens d'essais de nappe à travers des méthodes analytiques d'interprétation très diversifiées (Theis,

Jacob, Chow, Stallman, et Walton). Ces méthodes tiennent compte de l'hétérogénéité du milieu. La fonction transfert (piézométrie et transmissivité) est ensuite étudiée par l'utilisation conjointe de la méthode probabiliste du krigeage et la méthode déterministe du modèle.

II - LE MILIEU RECEPTEUR

La zone étudiée (fig. 1) fait partie du bassin versant de l'Oued Medjerda, sous-bassin du Mellègue, située dans l'extrême nord-est algérien. Le climat y est semi-aride, avec une température moyenne de 15°C et une pluviométrie annuelle n'excédant pas les 350 mm. Elle est drainée principalement par l'oued Kébir et l'oued Chabro.

CARACTÉRISATION HYDRODYNAMIQUE D'UN SYSTÈME AQUIFÈRE HÉTÉROGÈNE SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE
EXEMPLE DE LA PLAINE DE TÈBESSA

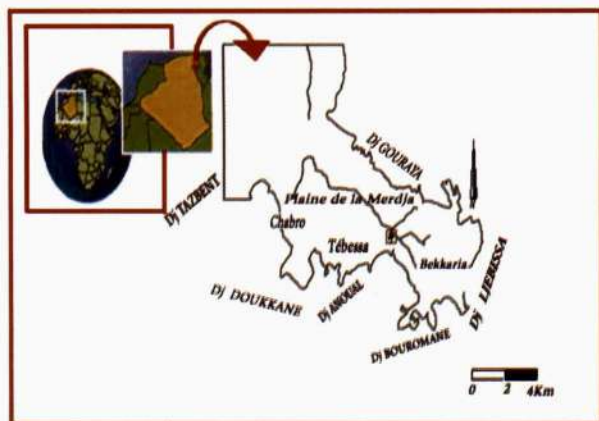


Fig. 1- Situation géographique de la zone d'étude
Geographical location of the studied area

La plaine correspond à un fossé d'effondrement à remplissage continental plio-quaternaire reposant sur un substratum marneux d'âge Miocène (fig.2).

Le contact des formations de bordures avec les alluvions (fig.3), se fait à travers des failles masquées par les colluvions et éboulis de pente récente. Ainsi les calcaires albo-aptiens du Dj. Bouremène, les calcaires turoniens du Dj. Doukane et mæstrichtiens du Dj. Mestiri, constituent une limite d'alimentation importante.

L'étude géophysique révèle l'existence d'une structure synclinale comblée par un niveau très hétérogène de résistivité variant de 10 à 100m correspondant aux alternances de sédiments perméables et aquifères, sable, argile sableuse,

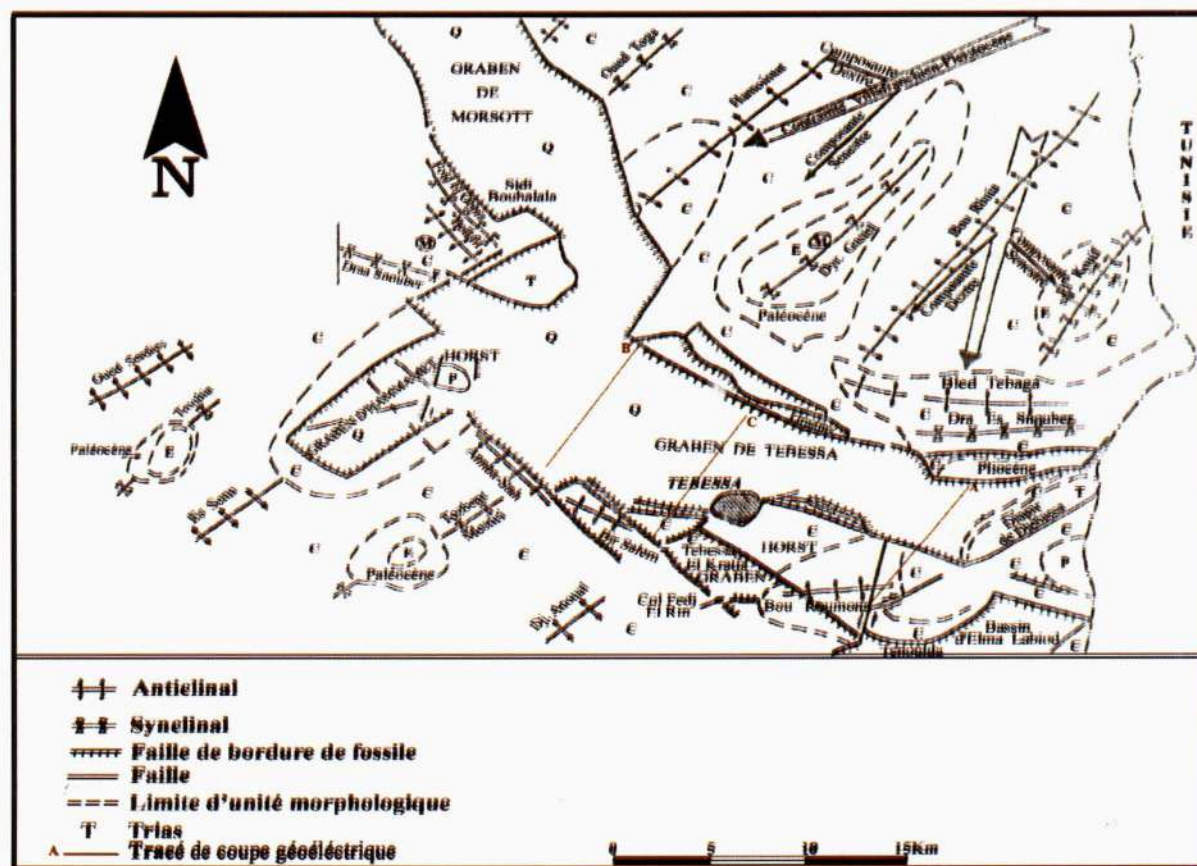


Fig. 2 - Carte structurale de Tébessa d'après Kowalski (1997)

Structural map of Tébessa after Kowalski (1997)

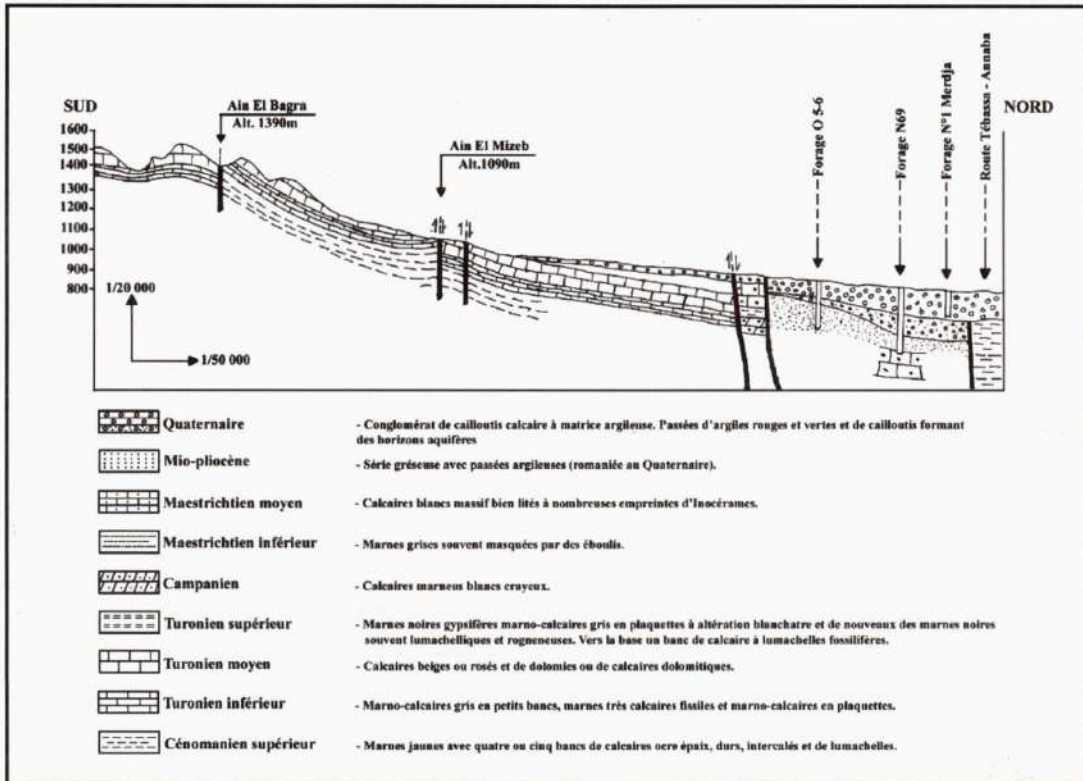


Fig. 3 - Coupe géologique schématique montrant le contact entre les formations de bordures et le remplissage alluvionnaire, (d'après Ricard, 1973).

Geological cross section of the Tébessa plain showing the contact between the boundaries formations and the alluvial filling (after Ricard, 1973)

cailloutis de calcaire et limons plus aux moins sableux séparés par écrans étanches (Plio-Quaternaire). Ainsi, est réalisé un système aquifère à nappes empilées, communiquant entre elles. Ces formations reposent sur un niveau conducteur dont la résistivité varie de 2 à 8 m, correspondant aux marnes dano-montiennes (fig.4).

III - APPROCHE GÉOSTATISTIQUE DES PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES

La géostatistique a pour objet, l'étude de tout phénomène quantitatif qui se développe de façon structurée dans l'espace et/ou dans le temps. Son but principal est l'estimation de la variable, à des points précis de l'espace, à partir

d'observations faites en d'autres points.

III. 1 - Approche géostatistique de la charge hydraulique

Une campagne piézométrique a été effectuée dans la plaine en Décembre 2002. Nous avons recensé 52 puits répartis irrégulièrement sur toute la plaine captant l'aquifère plio-quaternaire et qui servent en grande partie à l'irrigation et aux besoins domestiques. Le diamètre des puits varie entre 0,8 et 4m avec la prédominance des puits tubulaires avec une profondeur variant entre 2 et 40m.

les résultats de l'analyse statistique élémentaire des données sont regroupées dans le tableau suivant.

CARACTÉRISATION HYDRODYNAMIQUE D'UN SYSTÈME AQUIFÈRE HÉTÉROGÈNE SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE
EXEMPLE DE LA PLAINE DE TÈBESSA

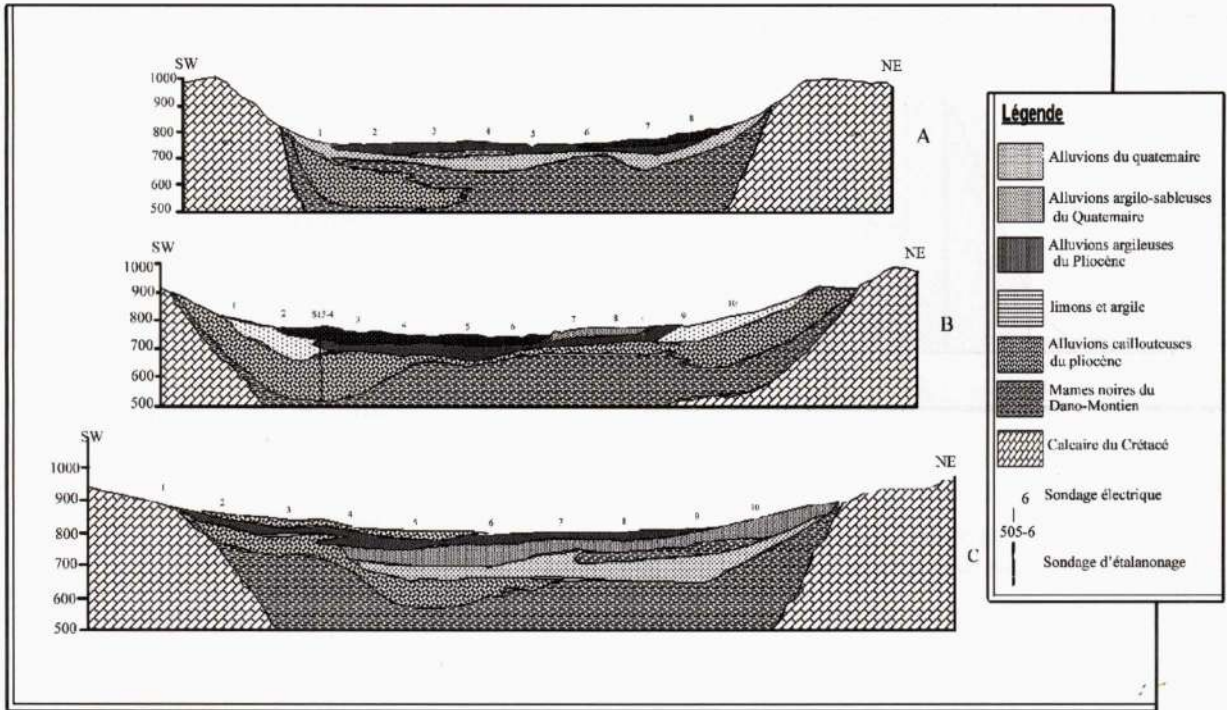


Fig. 4 - Coupes géoélectriques
Geoelectric cross sections

(a) zone de Bekkaria (**Bekkaria zone**), (b) zone d'Aïn Chabro (**Ain Chabro zone**), (c) zone de Tébessa. (CGG 1975) (**Tébessa zone**). (CGG 1975).

Tableau I - Résultats statistiques des données de la charge hydraulique

Statistic of results of the pressure water data

Nombre	Min	Max	moy	Variance
52	748	895	825.71	710.50

La représentation graphique des valeurs de la piézométrie (charge hydraulique) en fonction de leurs fréquences relatives, montre une symétrie traduisant à une loi Normale.

Le test d'ajustement nous donne un indice de Kolmogorov-Smirnov égal à 0.55 et une signification asymptotique (bilatérale) de 0.92, d'où la validation de la loi Normale.

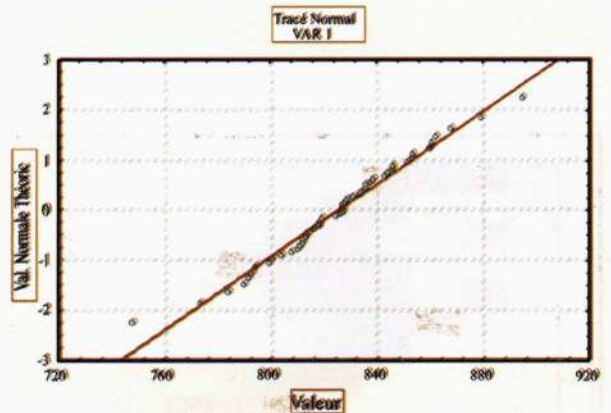


Fig. 5 - Histogramme des fréquences des charges hydrauliques (Tébessa, Décembre 2002)
Frequency histogram of the pressure water (Tébessa, December 2002)

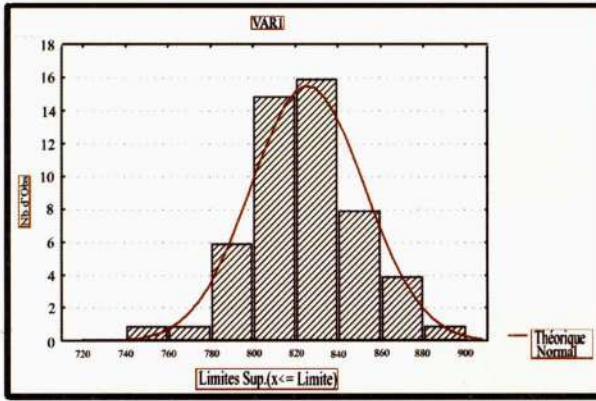


Fig. 6 - Tracé de la loi Normale des charges hydrauliques (Tébessa, Décembre 2002)
The Normal law layout of the pressure water (Tébessa, December 2002)

La reconnaissance de la structure spatiale des charges hydrauliques, résumée par son variogramme a été réalisée à l'aide du logiciel variowin. On constate que les charges hydrauliques présentent une dérive en relation avec une direction préférentielle d'écoulement. Ce paramètre est régi par la loi de Darcy, pour enlever cette dérive (anisotropie), le variogramme de surface nous montre une direction de 180° qui est la direction de l'isotropie. Cette direction sera prise en compte lors de l'établissement du variogramme directionnel dans le programme VARIO 2D (fig. 7).

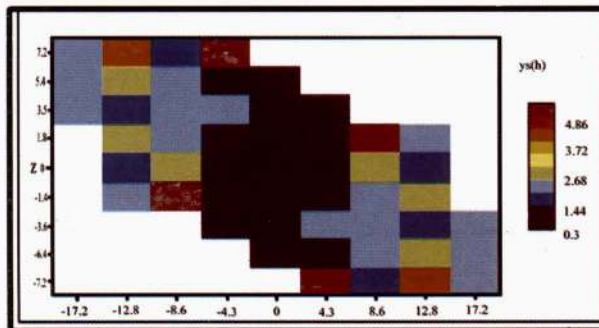


Fig. 7 - Variogramme de surface des charges hydrauliques (Tébessa, Décembre 2002)
Variogram of the pressure water surface (Tébessa, December 2002)

Le programme MODEL, ajuste le variogramme expérimental au modèle du type linéaire de puissance 1.8.

L'effet de pépite égal à 380 représente la discontinuité à l'origine. La variance est de 6.44 avec comme équation du variogramme :

$$\gamma(h) = 327.4 + 6.44h^{1.4}.$$

L'IGF de 0.07 confirme le bon ajustement.

L'effet de pépite de 380 démontre une variation des charges hydrauliques purement aléatoire (bruit blanc), pouvant être associée à des erreurs d'échantillonnage.

L'analyse variographique a permis de tracer les cartes à l'aide du logiciel SURFER.

L'interprétation de la carte piézométrique krigée (fig.9) montre trois secteurs différents:

- le premier occupe la zone de Bekkaria (SE) où l'espacement des courbes est presque régulier. L'écoulement privilégie une direction ESE-WNW. Le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.58%. L'alimentation est assurée par les formations carbonatées de bordure;

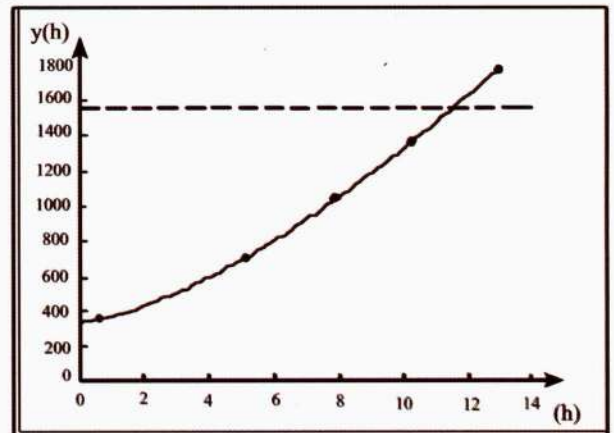


Fig. 8 - Variogramme de surface des charges hydrauliques (piézométrie) (Tébessa, Décembre 2002)
Variogram of the pressure water surface (piezometry) (Tébessa, December 2002)

CARACTÉRISATION HYDRODYNAMIQUE D'UN SYSTÈME AQUIFÈRE HÉTÉROGÈNE SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE
EXEMPLE DE LA PLAINE DE TÉBESSA

- le second intéresse la zone de Tébessa, l'allure des courbes isopièzes est irrégulière. Les filets liquides y sont convergents. Cette morphologie de la surface piézométrique est due probablement à la concentration des points d'eau et à l'hétérogénéité de la nappe. Le gradient hydraulique varie entre 0.5% et 1%;

- le troisième englobe la zone d'Aïn Chabro-El Hammamet, l'espacement des courbes est

de nouveau régulier. Le gradient hydraulique varie entre 0.5% et 0.8% et L'écoulement se dirige vers la zone de drainage.

III. 2 – L'application de l'approche géostatique aux données des transmissivités

La transmissivité est un paramètre indispensable pour la modélisation des écoulements souterrains.

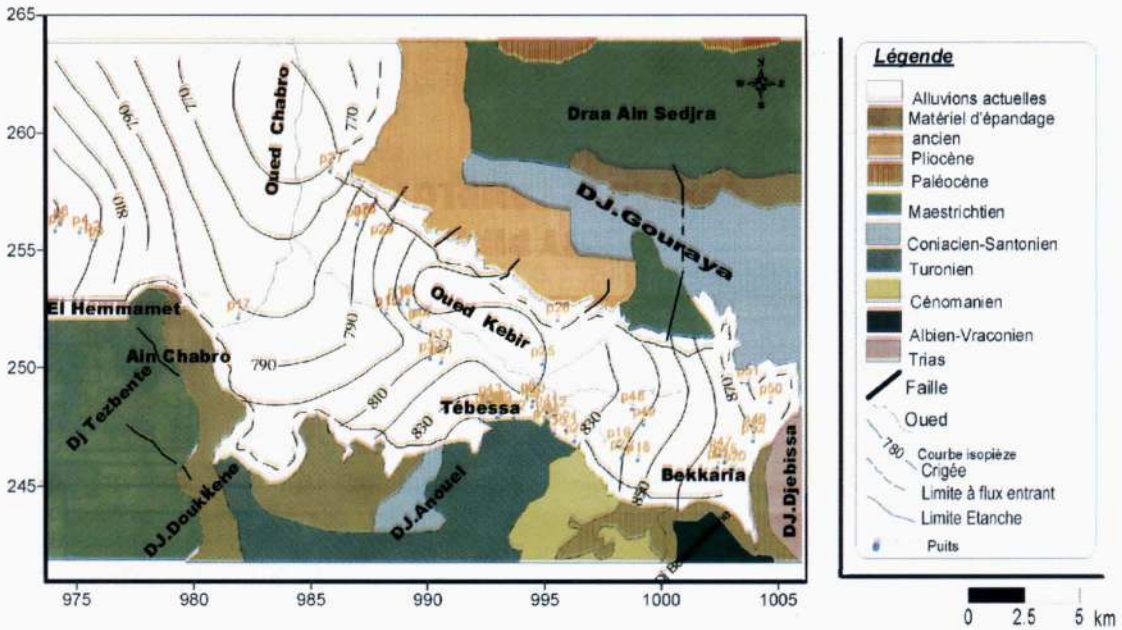


Fig. 9 - Carte piézométrique krigée de la nappe alluviale de Tébessa (Décembre 2002)
Piezometric kriging map of the alluvial sheet of Tébessa (December 2002)

Tableau II - Caractéristiques des ouvrages expérimentaux
Characteristics of the experimental holes

Nom de l'ouvrage	Localité	Nature de l'ouvrage	Coordonnées		Débit (l/s)	Durée de l'essai (heure)	
			X	Y		descente	remontée
O5-6	Tébessa	Forage	990,825	247,65	73,7	23.6	54
N 69	Tébessa	Forage	990,825	248,7	30	48	148
W2 bis	Bekkaria	Forage	999,825	245,925	30	25	18
FA-1	Bekkaria	Forage	1000,200	247,1	18	72	36
FA-2	Bekkaria	Forage	1000,9	250,95	30	9h30	-
J2-3	El-Hammamet	Forage	984,2	250,95	40	48	8
YS-4	El-Hammamet	Forage	977,525	253,3	70	72	6h30
FG1bis	El-Hammamet	Forage	980,45	252,6	44	48	-
EF1bis	El-Hammamet	Forage	980,45	253,3	40	120	22

Les valeurs de la transmissivité sont obtenues grâce aux 9 essais de pompage réalisés en régime transitoire et interprétés par les méthodes de Theis, Jacob et Chow (Genetier, 1984). Pour l'étude géostatistique, on retiendra la valeur moyenne déduite des trois méthodes.

Pour revenir au cas Gaussien traité en géostatistique, nous avons défini une nouvelle variable : $Z = \text{Log } T$ (Shakeel, 1987). Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III - Résultats statistiques du Log T
Statistic results of the log T

N	Min	Max	Moy	Variance
9	-2,58	0,36	-1,25	1,08036

La distribution expérimentale des valeurs de Z montre un histogramme bimodal que nous ramenons par lissage à une distribution unimodale, que nous savons mieux traiter. Le test d'ajustement donne un indice de Kolmogorov-Smirnov égal à 0.55 et une signification asymptotique (bilatérale) de 0.92, d'où la validation de la loi Log - Normale.

Le nombre de couples obtenus par le pro-

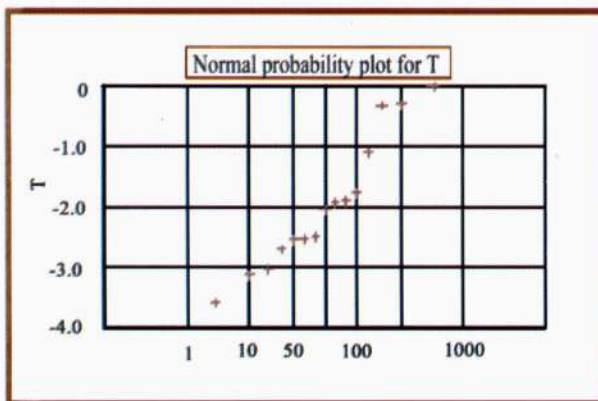


Fig. 10 - Histogramme des fréquences des transmissivités - Tébessa.

Frequency histogram of transmissivity - Tébessa.

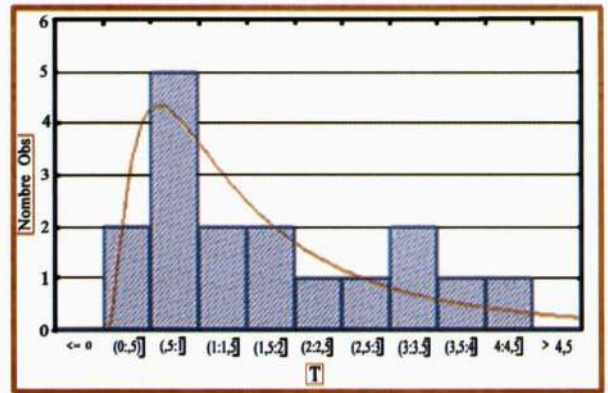


Fig. 11 - Tracé de la loi Log-Normale des transmissivités - Tébessa.

Layout of the Log Normal of the transmissivities law - Tébessa.

gramme PREVAR2D est de 135. Le variogramme de surface présente une isotropie aux environs de la direction 0° (fig. 12). Cette valeur d'isotropie sera prise en considération pour le variogramme expérimental (fig. 13).

Le programme MODEL ajuste le variogramme expérimental au modèle du type **linéaire**.

L'effet de pépité étant égal à 0.69, la variance à 0.138 avec une équation du variogramme :

$$\gamma(h) = 0.69 + 0.138h^{1.8}, \text{ et un IGF} = 0.002.$$

Pour la cartographie des transmissivités par la méthode de krigeage, l'estimation des moyennes de $Z = \text{log } T$, a été réalisée sur des mailles de 2x2 km. Le passage aux valeurs naturelles de T est obtenu par transformation inverse; $T = 10^Z$ (Delhomme, 1979).

La méthode de krigeage utilisée dans l'estimation, est le krigeage par bloc.

L'interprétation de la carte des transmissivités obtenue (fig. 14), montre que la zone d'Aïn Chabro, présente des transmissivités appréciables pouvant atteindre $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Cette zone est caractérisée par la présence de cailloutis calcaires sur une épaisseur importante.

CARACTÉRISATION HYDRODYNAMIQUE D'UN SYSTÈME AQUIFÈRE HÉTÉROGÈNE SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE
EXEMPLE DE LA PLAINE DE TÉBESSA

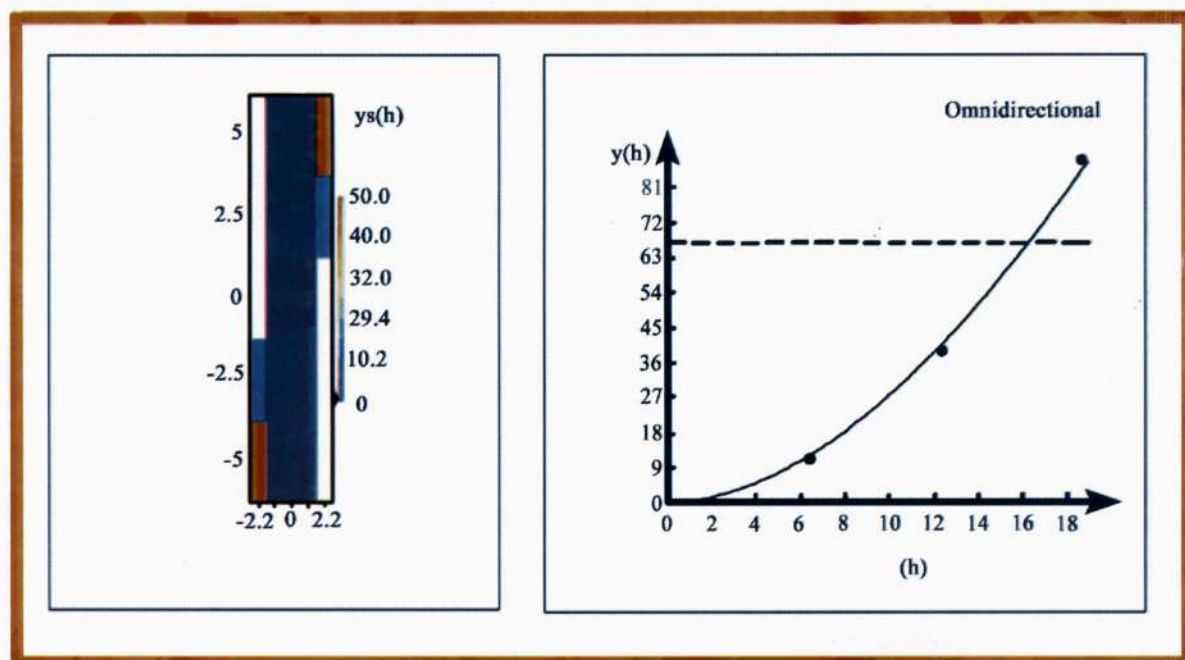


Fig. 12 - Variogramme de surface de Log de T
Variogram of T Log surface

Fig. 13 - Variogramme des Log de T
Variogram of T Log

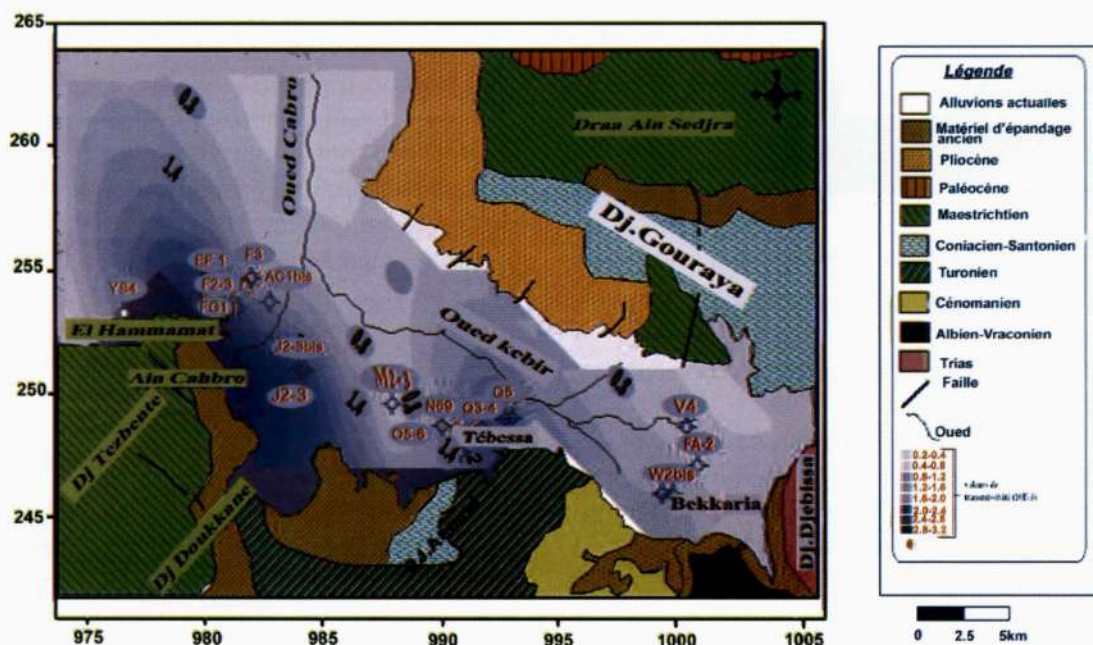


Fig. 14 - Carte de transmissivité krigées ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) de la nappe alluviale de Tébessa
Transmissivity kriging map ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) of alluvial tablecloth of Tébessa

IV – MODÉLISATION NUMÉRIQUE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE TÉBESSA

Le modèle ASM, mis au point par Kinzelbach et Rausch en 1990 et amélioré par Chiang, Kinzelbach et *al.* (1997), permet la représentation de la nappe des alluvions selon un modèle monocouche à écoulement bidimensionnel linéaire avec hypothèse de Dupuit, du fait d'une faible variation des épaisseurs mouillées (Peaudecerf, 1970).

La discrétisation du domaine aquifère est défini par 16x11 mailles carrées de 2000 m de côté. Le modèle est ainsi constitué de 83 mailles actives, soit une superficie étudiée de 332 km² (fig. 15).

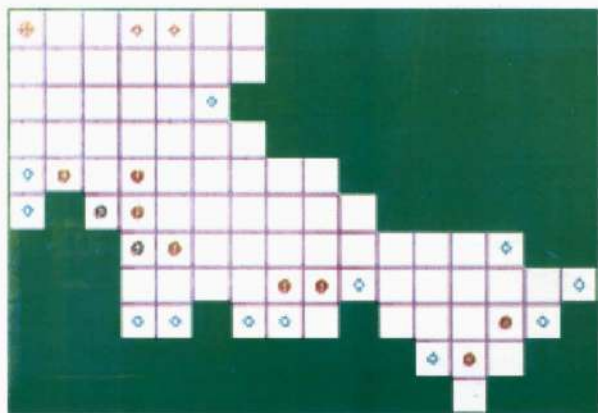


Fig. 15 - Discrétisation de la zone d'étude
Discretization of the studied zone

Les données prises en compte concernent :

- l'état piézométrique de référence, qui a permis de caler le modèle en régime permanent et la carte piézométrique krigée par bloc (Décembre, 2002) (fig.9) qui traduisent la période de stabilité de la nappe;
- les transmissivités krigées par bloc (fig 14).
- La moyenne annuelle des précipitations égale à 345.18 mm enregistrée à la station de Tébessa, sur une période de 25 ans (1976 / 2000);

- l'infiltration efficace de l'ordre de 0,98 mm/an évaluée à partir de la méthode du bilan de Thornthwaite;

- les conditions aux limites : prélèvement par pompage (0.235 m³/s), prélèvement par l'ETR, Les limites imperméables, les limites de débits (0.20 m³/s).

Le calage du modèle en régime permanent a permis de reconstituer la piézométrie et l'optimisation des champs de transmissivité.

La reconstitution de la piézométrie qui apparait dans La figure 16 montre une similitude admissible entre les courbes piézométriques calculées par le modèle et celles mesurées. En effet, l'écart entre ces courbes, est inférieur ou égal à 1 m, à l'exception de certaines mailles, situées principalement dans la zone exutoire (zone marécageuse) où des écarts plus importants sont enregistrés.

Pour l'optimisation du champ des transmissivités, les différents essais du modèle ont permis d'ajuster les transmissivités dans une fourchette qui s'étale entre 10⁻⁴ et 10⁻² m²/s (fig. 17). Les zones les plus transmissives sont localisées dans le secteur d'Aïn Chabro et Tébessa. les valeurs plus faibles sont enregistrées au centre de la plaine. Globalement, on constate que la répartition des transmissivités issues du calage est pratiquement la même que celle obtenue par krigeage.

Le bilan hydrogéologique issu du calage en régime permanent a permis d'établir le bilan suivant :

- débit de fuite vers le nord: 9.10⁻⁷ m³/s [soit 9.10⁻⁴ l/s ou 8.5 x 10 mm/ an];
- apport par les calcaires maestrichtiens et turoniens : 0,26 m³/s, [260 l/s, 24.7 mm/an];
- apport par les précipitations : 0.0216 m³/s , [2.16 l/s, 2.05 mm / an];
- débit de fuites par pompage : 0.28 m³/s, [280

CARACTÉRISATION HYDRODYNAMIQUE D'UN SYSTÈME AQUIFÈRE HÉTÉROGÈNE SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE
EXEMPLE DE LA PLAINE DE TÈBESSA

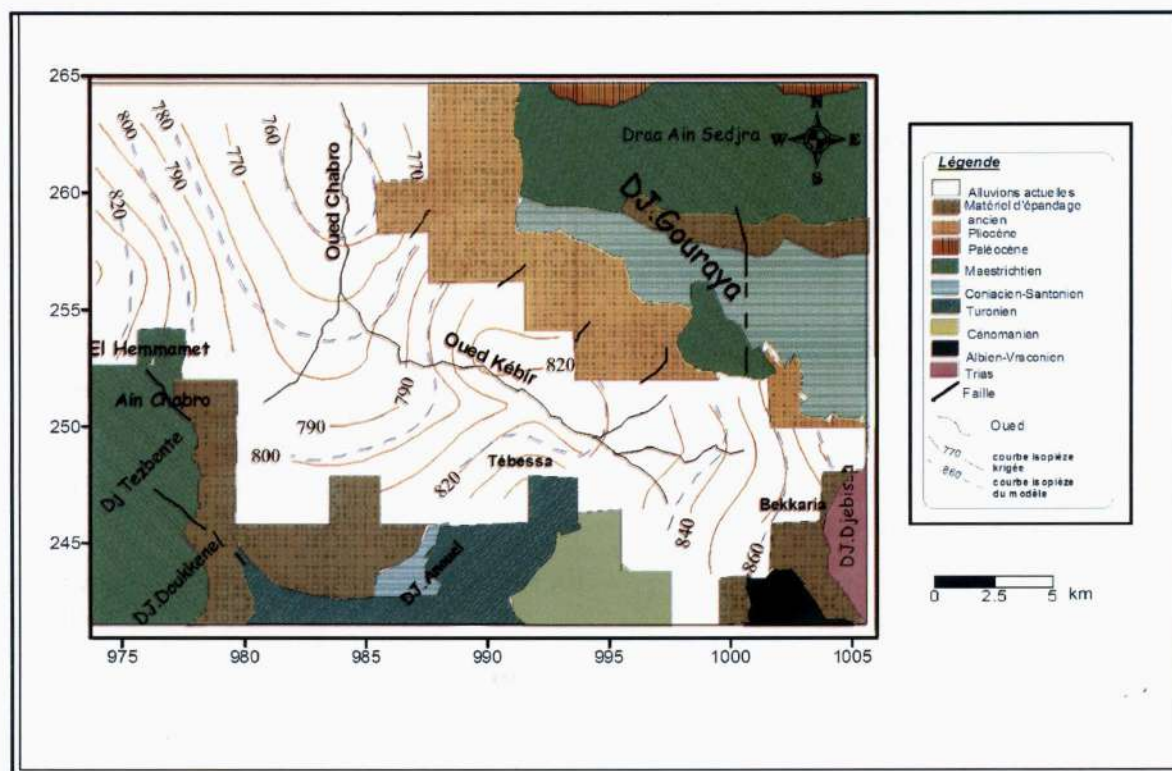


Fig. 16 - Comparaison des courbes isopièzes krigées et simulées en régime permanent

Comparison between the kriging and simulated isopièstic curves isopièzes in permanent mode

l/s, soit 26.7 mm/ an].

Les résultats obtenus par le modèle, surtout les apports par les formations de bordures, vont dans le même sens que ceux calculés par l'approche empiriques. (citée dans la présentation des données prises en compte).

CONCLUSION

L'étude géostatistique des paramètres hydrodynamiques (charge hydraulique, transmissivité) a permis d'étudier leur distribution spatiale et d'identifier des zones à perspectives hydrogéologiques prometteuses.

Dans ce contexte, le secteur d'Aïn Chabro, situé au sud de la plaine, présente les meilleures valeurs de la transmissivité (10^{-3} à 5×10^{-2} m²/s)

et de perméabilité (1.2×10^{-4} à 3×10^{-4} m/s).

La simulation numérique des écoulements souterrains a par ailleurs, permis d'établir le bilan global de la nappe et d'affiner la distribution des transmissivités. Celles-ci varient entre 10^{-4} et 10^{-2} m²/s.

La part des pluies susceptibles de s'infiltrer vers la nappe reste discutable, du fait que les précipitations sont souvent de forte intensité. Les crues brèves et violentes, contribuent ainsi avec un certain retard à l'alimentation de la nappe. Ce qui nous laisse supposer une alimentation latérale substantielle à partir des calcaires de bordure. Ce constat est confirmé par l'apport latéral annuel calculé par le modèle qui est de l'ordre de 0.26 m³/ s.

A cet égard, la combinaison de l'approche probabiliste du krigeage et la démarche déter-

ministe du modèle, a conduit à une meilleure connaissance de l'hydrogéologie de cette région semi-aride.

BIBLIOGRAPHIE

- BONNET, M. 1970.** Objectif et base de pompage d'essai. *Document BRGM.*
- BONNET, T. 1982.** Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie. *Thèse de doctorat d'état en science (géologie appliquée). INP lorraine – NANCY, document BRGM, n° 34.*
- BOUDALIA, A. 1994.** Etude de l'estimation des paramètres hydrogéologiques et de leur variabilité spatiale par des méthodes d'approches géostatistiques (variographie-krigeage), application aux données du complexe aquifère de Annaba Bouteldja, Algérie. *Thèse de magister en hydrogéologie, IST, USTHB.*
- CASTANY, G. 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Paris, édition duno, 298 p.
- CHILES, J.P. 2004.** La modélisation géostatistique de la variabilité spatiale et ses applications. *Thèse d'habilitation à diriger des recherches. Académie de Paris. Univ. Pierre et Marie Curie, 61 p.*
- COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE.CGG, 1975.** Prospection géophysique de la plaine de Tébessa. *Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa, 22p.*
- DAVAUX, F. 1986.** Interprétation des essais de puits. Méthodes nouvelles. *Edition thechnip. Paris.*
- DELHOMME, J.P. 1979.** Spatial variability and un certainty in groundwater flow parameters, a geostatistical approach. *Water resources research*, vol. 15, n° 2, pp. 269-280.
- DUROZOY, G. 1985.** Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa, feuille 206.
- GENETIER, B. 1984.** La pratique des pompages d'essais en hydrogéologie. *BRGM. Orleans, 132p.*
- KINZELBACH, W. ET RAUSCH, R. 1990.** Programme de simulation par modèle mathématique des écoulements bidimensionnels en milieux poreux. *Programme ASM (Aquifer Simulation Model).*
- KINZELBACH, W., CHIANG, H. ET RAUSCH, R. 1997.** Amélioration du programme de simulation par modèle mathématique des écoulements bidimensionnels en milieux poreux. *Programme ASM (Aquifer Simulation Model).*
- KOWALSKI, W.M. 1997.** Les stades d'effondrement du graben de Tébessa (confins algéro-tunisiens) et la tectonique plicative plio-quadernaire. *Bull. Soc. His. Nat. Pays de Monbéliard. France.*
- PEAUDECERF, P. 1970.** Informatique hydrogéologique. Simulation par modèle mathématique des écoulements bidimensionnels en milieux poreux compte tenu des pertes par drainance. Régime permanent. *Programme DROPP, BRGM, Orleans, pp. 88-122.*
- RICARD, J. 1973.** Etude des ressources en eau souterraines du sud de la wilaya de Annaba. *Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa, 72p.*
- RICARD, J. 1974.** programme spécial Tébessa. Rapport interne. *Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa, 45p.*
- RICARD, J. 1974.** Esquisse de synthèse géophysique, géologique de la région de Tébessa. Rapport interne. *Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa, 23p.*
- RICARD, J. 1975.** Inventaire des points d'eaux (puits, sources, forages) du système aquifère Tébessa – Morsott. *Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa, 15 p.*
- SHAKEEL, A. 1987.** Estimation des transmissivités des aquifères par méthodes géostatistiques multi-variables et résolution indirecte du problème inverse. *Thèse Docteur en hydrologie et hydrogéologie quantitatives, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. France, 264 p.*
- STROJEXPORT, 1978.** prospection géophysique par la méthode électrique dans la plaine de Tébessa, Prague. *Opération N° 5.391.1.129.00.01.*
- TOUBAL, A.C. 1983.** Etude hydrogéologie du massif dunaire de Bouteldja .W. Annaba. *Thèse de doctorat 3^{ème} cycle, IST, USTHB, 300 p.*