

HYDRODYNAMIQUE ET MODELISATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE LA PLAINE DE SIDI BEL ABBÈS (NORD-OUEST ALGÉRIEN)

HYDRODYNAMIC AND MODELISATION OF THE ALLUVIAL WATER TABLE OF SIDI BEL ABBES'S PLAIN (N-W ALGERIA)

Yousfi S.¹, Bouanani A. ², Baba-Hamed K. ¹

¹ Département des Sciences de la Terre. Faculté des Sciences. Université de TLEMCEM. you_soumia@yahoo.fr

² Département d'Hydraulique – Faculté des sciences de l'ingénieur- Université de TLEMCEM

RESUME

La plaine de Sidi Bel Abbès fait partie des plaines intérieures de l'Algérie occidentale, elle renferme une nappe libre contenue dans un remblaiement alluvial plio-quaternaire qui a comblé la cuvette de Sidi Bel Abbès. Face aux besoins des populations, des industries et de l'agriculture, la nappe a subi une exploitation intensive ces dernières années. Une gestion par modèle mathématique devient nécessaire. Le traitement des paramètres hydrodynamiques et géométriques de l'aquifère par des méthodes géostatistiques nous a permis de réaliser la répartition spatiale de ces paramètres. Après une représentation du fonctionnement global du système aquifère, l'utilisation du modèle mathématique basé sur la méthode des différences finies en régime permanent améliore la connaissance des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère et l'évaluation d'un bilan hydrologique complet. La seconde simulation en régime transitoire conduit à l'estimation des valeurs du coefficient d'emménagement. L'exploitation du modèle a permis de déterminer l'impact des débits prélevés et les tendances climatiques sur l'évolution piézométrique de la nappe.

Mots-clés : Alluvions; Sidi Bel Abbès; Hydrodynamiques; Géostatistique; Modèle mathématique; Permanent; Transitoire; Simulations.

ABSTRACT

The plain of Sidi Bel Abbas forms part of the interior plains of West Algeria; it contains an unconfined aquifer contained in fill alluvial plio-quadernary which filled the basin of Sidi Bel Abbas. Vis-à-vis with the needs for the populations, industries and agriculture, the groundwater underwent an intensive exploitation these last years. A management by mathematical model becomes necessary. The treatment of the hydrodynamic and geometrical parameters of the aquifer by methods geostatistics made it possible for us to carry out space distribution of these parameters. After a representation of the total functioning of the aquifer's system, the use of mathematical model based on the finite differences in permanent mode improves knowledge of the hydraulic characteristic of aquifer and the evaluation of a complete hydrological balance. The second simulation in transient stat led to the estimate of the values of the coefficient of storage. The exploitation of the model made it possible to determine the impact of the flows taken and the climatic tendencies on the piezometric evolution of the aquifer.

Key words: Plain; Sidi Bel Abbas; Depots; Hydrodynamic; Geostatistics; Mathematical model; Permanent; Transient; Simulation.

INTRODUCTION

D'une superficie de 1000 Km², la plaine de Sidi Bel Abbès qui fait partie du bassin versant de la Mekerra, est considérée comme la plus importante du nord-ouest algérien. Les formations d'âge Plio-quadernaire remplissent la grande vallée alluviale de Sidi Bel Abbès et sont le siège d'un écoulement souterrain qui forme la nappe la plus exploitée de la région. Face aux besoins des populations, des industries et de l'agriculture, la nappe a subit une exploitation intensive ces dernières années. Une gestion par modèle mathématique devient nécessaire pour orienter l'exploitation vers le développement général des ressources en eau afin de résoudre les problèmes d'alimentation en eau potable, agricole et industrielle.

CADRE GEOGRAPHIQUE

La plaine de Sidi Bel Abbès fait partie d'un des plus vastes bassins versants de l'Oranie, celui de l'oued Mekerra. Ce bassin est limité, au nord par les Monts de Tessala, au sud par la ride anticlinale des Hauts-Plateaux de Ras-El-Maa, à l'ouest par le bassin de l'oued Isser et à l'est par les Monts des Béni Chougran et oued El Hammam. La plaine est traversée du sud vers le nord par l'oued Mekerra qu'il reçoit un seul affluent pérenne (l'oued Tissaf).

La plaine de Sidi Bel Abbès a une vocation agricole nécessitant une irrigation par aspersion en raison d'un climat continental semi-aride avec des étés secs et des épisodes pluvieux d'hiver. Une statistique des événements climatologiques de 1992 à 2005 à la station de référence de Sidi Bel Abbès indique une précipitation annuelle moyenne de 309.5 mm avec une évapotranspiration réelle de 307.1 mm estimée à partir de la relation de Turc. La pluviométrie dans la région de Sidi Bel Abbés, au cours des périodes 1970/1972 et 1975/2005, se caractérise par un déficit pluviométrique important à partir de 1975 ; ce qui correspond à la tendance déficitaire des précipitations lors des 30 dernières années, (Bouanani, 2004).

CADRE GEOLOGIQUE

La plaine de Sidi Bel Abbès est une cuvette dont les reliefs de bordure sont géologiquement très diversifiés. Sur la bordure nord, les monts du Tessala sont allongés en direction sud-ouest-nord est, très plissée à ossature crétacée et à recouvrement tertiaire très épais (Sourisseau, 1973). La bordure sud, les monts de Tlemcen-Saïda sont formés presque totalement de matériaux du Jurassique Moyen et Supérieur et Crétacé Inférieur et Moyen. Compris entre deux môles granitiques, ce massif peu plastique du Mésozoïque est disloqué par deux systèmes de faille. Sur la bordure ouest, les collines de marnes helvétiques séparent les bassins versants de l'oued Isser et l'oued Mekerra. A l'est, un prolongement des Béni Chougran, par la série marneuse du Miocène de Bou Henifia, atteint l'extrémité orientale de la plaine de Sidi Bel Abbés. Le centre de la plaine est une large cuvette à substratum uniforme argilo-marneux, gris et vert, daté du Miocène ou du Pliocène (Sourisseau, 1973), comblé par des formations quaternaires très hétérogènes essentiellement conglomératiques de galets hétérométriques centimétriques à décimétriques, et des dépôts sableux et gréseux alternant avec des limons rouges, contenant des petites lentilles de conglomérats d'âge Pliocène (fig. 1).

AQUIFERE PLIO-QUATERNAIRE

Le remplissage argilo-sableux plio-quaternaire contient une nappe souvent exploitable dont le débit des eaux est proportionnel aux pourcentages d'éléments sableux et argileux présents. Le chenal conglomératique situé le long des oueds Tissef et Mekerra constitue la nappe aquifère la plus riche de la plaine de Sidi Bel Abbès. La stratigraphie de quelques puits dans la plaine indique la variation de l'épaisseur du chenal, où elle peut atteindre les 38 mètres au centre du remplissage conglomératique (fig. 2).

PIEZOMETRIE DE LA NAPPE

Plusieurs campagnes piézométriques effectuées en 1971 (ANARH Oran), 1989 et 1996 (Lebid, 2001) ont conduit à l'élaboration de cartes piézométriques qui révèlent un axe d'écoulement préférentiel des eaux souterraines se superposant à la direction générale sud nord du chenal conglomératique (fig. 3). On distingue que :

- La nappe est convergente vers un seul exutoire dans la Mekerra au lieu dit Le Rocher.
- Les courbes piézométriques permettent de fixer une ligne des partage des eaux d'une direction nord-sud, située à l'ouest de la plaine et passant à quelques mètres de Ben Badis et Hassi Zehana.
- Les forts gradients hydrauliques intéressent les zones de bordures où la nappe est rapidement drainée (Sidi Ali Boussidi, Ben Badis, Chitouane). Les gradients moyens intéressent les zones intermédiaires entre les interfluves et les zones d'accumulation ou d'alimentation (Le Rocher, Sidi Yacoub, Bedrabine, Tabia). Les faibles gradients sont dus soit à l'accumulation des eaux souterraines, soit à un mauvais drainage (Vallée de Belarbi).

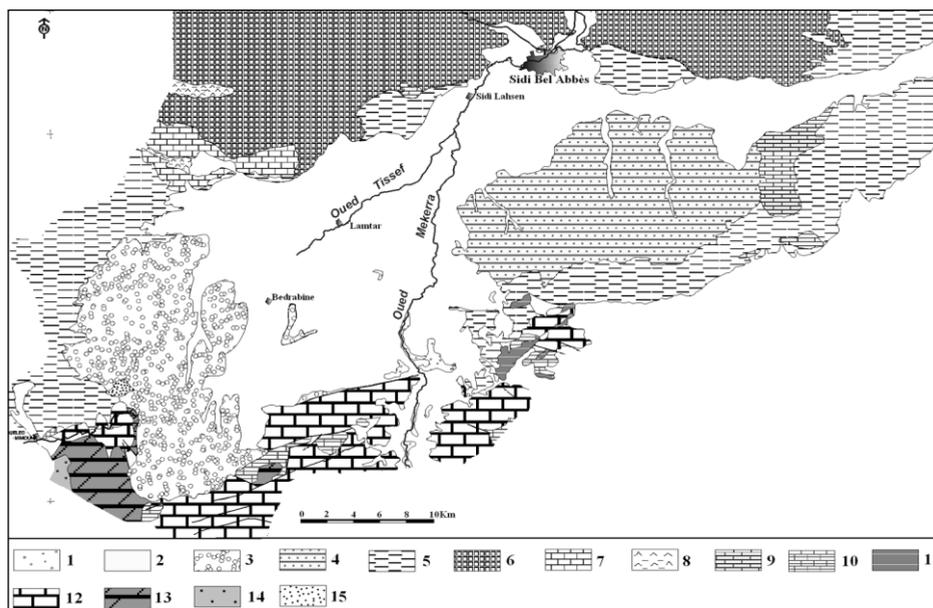


Fig. 1. Carte géologique simplifiée : Ech 1/100 000 de B. Souriseau (1973)
 1 : Quaternaire actuel; 2 : Conglomérats (Plio-quaternaire); 3 : Dépôts caillouteux et limoneux (Plio-quaternaire); 4 : Grès argileux (Pliocène); 5 :

Argile marneuse (Miocène moyen et supérieur); 6 : Oligocène nappe; 7 : Calcaire (Eocène); 8 : Marne gypseuse (Crétacé moyen et supérieur); 9 : Calcaire et grés calcaire (Aptien); 10 : Calcaire de Remailla (Hauterivien); 11 : Calcaire de Remailla (Valanginien); 12 : Calcaire de Remailla (Parebeckien); 13 : Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien); 14 : Grés de Franchetti (Oxfordien); 15 : Trias.

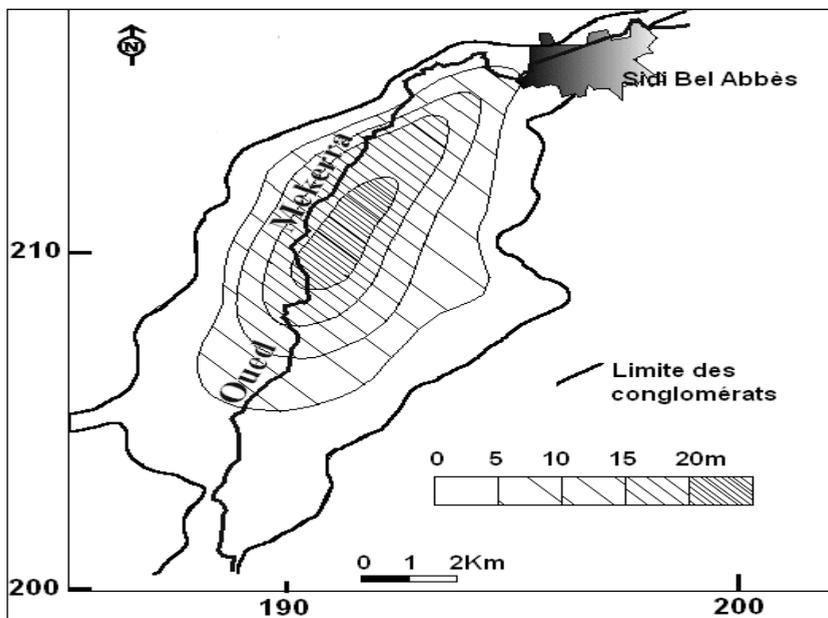


Fig. 2. Carte des isopaches des conglomérats plio-quadernaire.
(Sourisseau, 1973)

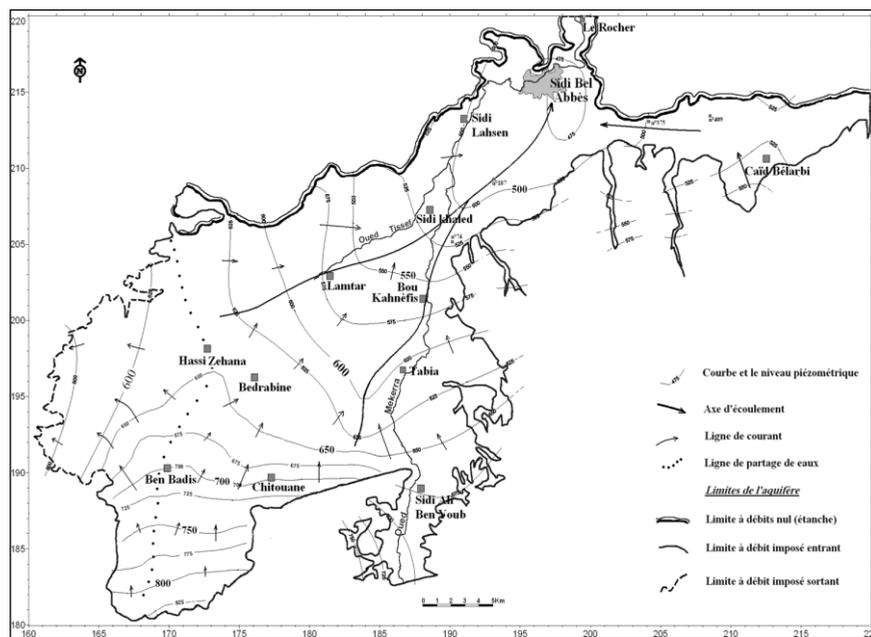


Fig. 3. Carte piézométrique de la nappe libre plio-quaternaire de Sidi Bel Abbès (oct. /nov. 1971)

INTERPOLATION PAR KRIGEAGE DES PARAMETRES DE L'AQUIFERE

Les paramètres importants qui définissent les caractéristiques d'un aquifère sont généralement connus à seulement quelques points répartis sur l'ensemble du domaine d'étude et sont aussi sujets à des imprécisions. On cherche donc à estimer ces paramètres sur l'ensemble du domaine à partir d'une information partielle. Le krigeage permet d'appréhender la structure spatiale du phénomène étudié et déterminer le plus précisément possible les caractéristiques de l'écoulement souterrain (L. DRAPEAU).

Certaines données relatives à la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbès sont traitées grâce aux méthodes d'estimation apportées par les outils de la géostatistique linéaire. Les perméabilités (fig. 4), les transmissivités (fig.5), les altitudes du sol et la piézométrie sont les paramètres examinés par le logiciel Surfer 8.0. Les valeurs krigées obtenues nous ont permis aussi de comprendre au mieux la variation spatiale des paramètres étudiés. Pour la modélisation mathématique, les paramètres hydrodynamiques doivent être connus dans tout le domaine, ce qui est fourni par l'étude géostatistique.

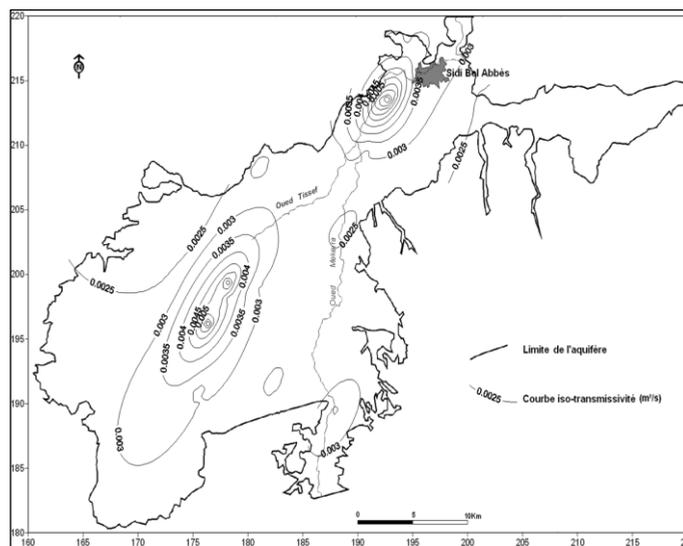


Fig. 5. Carte krigée des transmissivités

Les conditions aux limites suivantes ont été imposées (fig. 6) :

- Au sud et à l'est : limite à potentiel imposé d'entrée,
- A l'ouest : limite à potentiel imposé de sortie,

Au nord : limite étanche avec l'exutoire principal de la nappe.

Les paramètres

Le traitement des données de terrain par les méthodes géostatistiques a permis d'élaborer des documents cartographiques synthétiques qui permettent de fixer :

- Les épaisseurs d'aquifère utile de 150 m au sud et au centre pour diminuer régulièrement sur les bordures jusqu'au 50 m et jusqu'au 35 m au nord.
- Les transmissivités faibles au sud (10^{-4} m²/s) passent à $3 \cdot 10^{-4}$ m²/s en bordure de la plaine pour s'approcher de 10^{-2} m²/s dans l'axe du chenal conglomératique.
- Les états piézométriques de la nappe d'octobre/ novembre 1971, mai 1989 et novembre 1996.
- Le coefficient d'infiltration de 10% pour la totalité de la nappe.

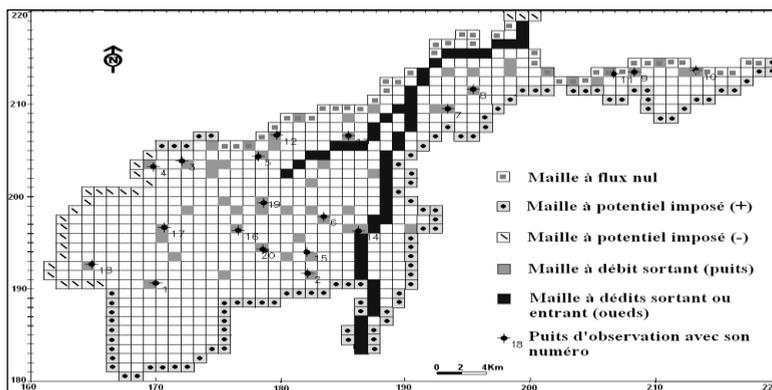


Fig. 6. Le maillage et les conditions aux limites du domaine à modéliser.

Le calibrage en régime permanent et le bilan

Le calibrage du modèle a été effectué pour obtenir une bonne coïncidence des hauteurs piézométriques observées sur le terrain et celles calculées par le modèle. Les résultats calculés par le modèle de l'état initial de 1971 révèlent une bonne reconstitution des niveaux piézométriques (avec des écarts compris entre 0 et 1.5 m). La comparaison des valeurs des potentiels calculés et mesurés ($H_c = F(H_m)$) pour toute les mailles montre que le nuage est bien situé autour de la droite définie par l'équation $H_c=H_m$. Le bilan hydrologique de la nappe calculé par le modèle en régime permanent (Tableau 1) est équilibré. Il nous permette de constater que l'alimentation de la nappe se fait surtout par les infiltrations efficaces.

Tableau 1. Bilan hydrologique de la plaine de Sidi Bel Abbès après calage du modèle en régime permanent

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
FLAWS (m ³ /s)			
CONSTANT HEAD	1.14	1.96	-8.14 10 ⁻¹
WELL	0.00	3.94 10 ⁻¹	-3.94 10 ⁻¹
BOUNDARY FLOW	2.01 10 ⁻²	0.00	2.01 10 ⁻²
RECHARGE	1.19	0.00	1.19
SUM	2.35	2.35	-3.10 ⁻⁶

Nous avons adopté une zonation des transmissivités très découpée (fig. 7) pour tenir compte de l'hétérogénéité de l'aquifère. Cinq plages de perméabilité comprises entre 10^{-4} et 10^{-2} m²/s ont été définies. Il apparaît cependant que la transmissivité au sud est faible (10^{-4} à $2 \cdot 10^{-3}$ m²/s) et elle est plus élevée au centre et au nord ($2 \cdot 10^{-3}$ à $1.2 \cdot 10^{-2}$ m²/s).

Cela dénote l'existence du chenal congglomératique dans la zone axiale de la plaine.

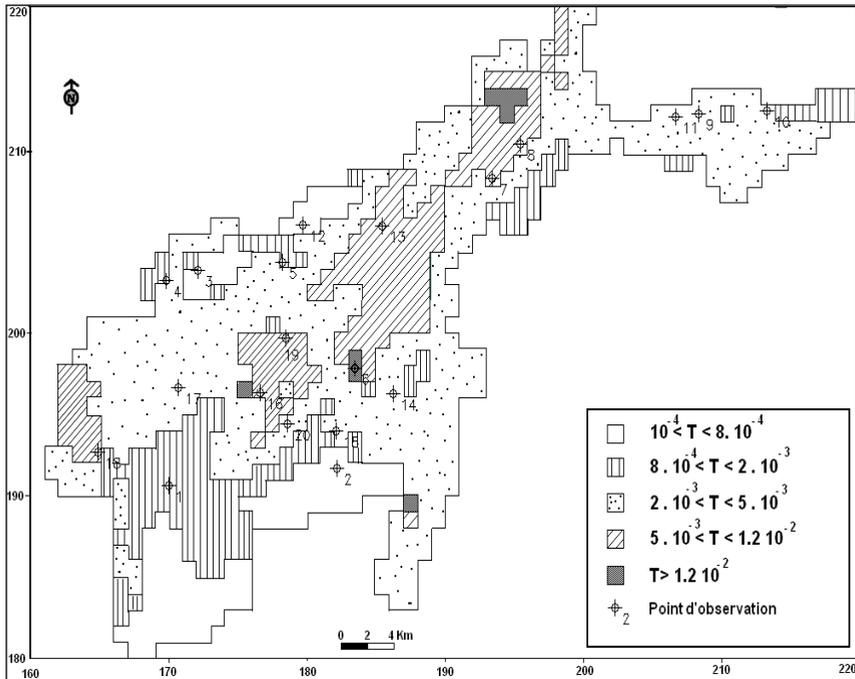


Fig. 7. Carte des transmissivités (m²/s) adoptées pour le calage du modèle en régime permanent.

Le calibrage en régime transitoire et les scénarios d'exploitation

La modélisation en régime transitoire par la méthode des différences finies permet de caler le coefficient d'emmagasinement et d'appréhender l'évolution de la piézométrie suite à des perturbations multiples et variables (débits extraits, l'infiltration efficace...).

La phase de simulation est considérée de 1971 à 1996. L'absence de données consistantes nous a conduits à subdiviser cette phase en 25 périodes avec un pas de temps d'une année. La distribution de la porosité efficace a été obtenue à partir des données disponibles variant entre 10 à 15 %. L'ajustement des valeurs du coefficient d'emmagasinement par le calibrage du modèle donne (fig. 8) :

- des valeurs faibles (moins de 5 %) dans le secteur sud ;
- des valeurs fortes (10 à 120 %) au centre.

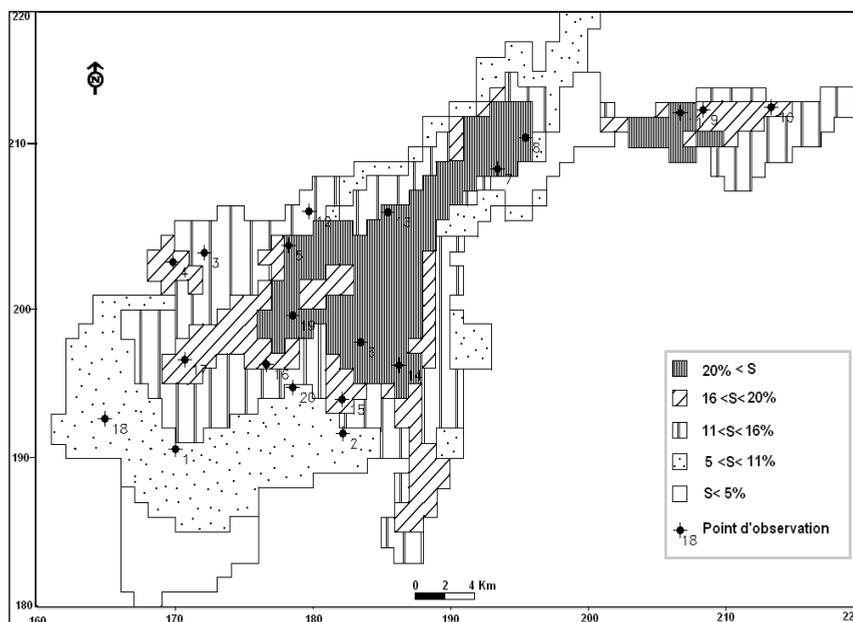


Fig. 8. Carte de distribution des valeurs du coefficient d'emmagasinement adoptées pour le calage du modèle en régime transitoire.

Les cartes piézométriques simulées permettent de restituer un historique de l'évolution du niveau de la nappe au pas annuel qui a ensuite été comparé à l'évolution piézométrique observée pour l'état de 1989 et celui de 1996. Les écarts ont été évalués entre 0 et 1.5 m. On observe un battement de la nappe dans presque sa totalité. L'amplitude des variations des niveaux piézométriques est de l'ordre de quelques mètres au nord et une dizaine de mètre au centre et au sud.

Nous avons également simulé un scénario d'exploitation en accroissant notablement les débits des captages (Q_{x4}). On note une baisse du niveau piézométrique d'environ 10 m dans toute la nappe. Puis nous avons diminué la recharge par les précipitations efficaces et le débit d'alimentation de la nappe par sa limite sud. Les graphes qui représentent la variation des ΔH dans le temps montrent une diminution considérable dans le niveau de la nappe. Mais cette diminution reste faible par rapport à celle de la première simulation.

CONCLUSION

Les formations d'âge Plio-quaternaire qui remplissent la grande vallée de Sidi Bel Abbés sont le siège d'un écoulement souterrain transitant principalement par les alluvions plus ou moins cimentés et les conglomérats des chenaux aquifères. La synthèse des travaux antérieurs nous a permis d'analyser le comportement hydrodynamique de la nappe. L'analyse géostatistique des paramètres hydrodynamiques et géométriques de l'aquifère nous aide à réaliser une bonne répartition spatiale de ces paramètres. Les résultats forment la base des données pour le modèle hydrodynamique.

La modélisation hydrodynamique de la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbés par le programme ASMWIN nous a permis de comprendre le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère, en estimant l'alimentation latérale de la nappe et la recharge par l'infiltration efficace puis l'influence des prélèvements par pompage sur l'écoulement souterrain. Le modèle mathématique en régime permanent a permis d'affiner la distribution spatiale de la transmissivité sur l'ensemble du domaine et de dresser le bilan de la nappe en régime permanent. Le modèle en régime transitoire a permis d'affiner la distribution spatiale du coefficient d'emmagasinement de l'aquifère. L'exploitation du modèle par la réalisation des scénarios nous a permis de simuler le comportement futur de la nappe en cas d'une surexploitation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bouanani A. (2004) : Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelque sous bassins de la Tafna (NW- Algérie). *Thèse de doctorat*. Univ. Tlemcen.
- Drapeau L. (s.d.) : Statistique et interpolation dans le SIG. <http://www.faocopemed.org/vldocs/0000028/publi10.pdf>
- Kinzelbach W., Rausch R. Chiang W. H. (1995): Aquifer simulation model help. L'aide du logiciel ASMWIN.
- Lebid H. (2001) : Modèles de représentation de cartes hydrogéologique et de vulnérabilité à la pollution. Exemple de la carte de Sidi Bel Abbès au 1/50 000. *Mémoire de magister en géologie appliquée*. Univ. D'Oran.
- Mania J., Djeda F. (1990) : Hydrogéologie de la plaine alluviale de Haut Cheliff de la région de Khemis-Miliana (Algérie). *BULL. Soc. Géol. Fr.*, 1990, n°3 pp. 505-513
- Sourisseau B. (1973) : Etude hydrogéologique de la nappe de Sidi Bel Abbès. *Rapport de la direction des études de milieu et de la recherche hydraulique*.
- Yousfi S. (2008) : Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès (N-O Algérie). *Mémoire de magister en hydrogéologie*. Univ. Tlemcen.