

# Modélisation de l'écoulement des eaux souterraines de la plaine d'Ain Oussera (Algérie).

Mohamed Azlaoui<sup>1</sup>, Salah Karef<sup>1</sup>, Rachid Zegait<sup>1</sup>, Imed Eddine Nezli<sup>2</sup>, Atif Foufou<sup>3</sup>, Nadjib Haied<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de modélisation optimisation et simulation des systèmes complexes réels, Université de Djelfa

<sup>2</sup> Geology Laboratory of the Sahara, University Kasdi Merbah, 30,000 Ouargla, Algeria

<sup>3</sup> Earth & Univers Sciences Departement, Ziane Achour-Djelfa University. Djelfa 17000 Algeria

E-Mail: [mohamedniji@gmail.com](mailto:mohamedniji@gmail.com)

**Abstract**—L'objectif de ce travail est une contribution à la gestion efficace des eaux souterraines de la plaine étudiée en employant un modèle mathématique proportionné permettant de gérer le potentiel en eau et préserver sa qualité. Pour cette raison, nous avons établi un modèle conceptuel par le programme informatique MODFLOW, qui a la faculté de nous fournir une simulation numérique déterministe et bidimensionnelle, en régime permanent et transitoire, de l'écoulement souterrain des eaux de la nappe. Les principaux résultats ont permis de mieux visionner les différents scénarios des fluctuations piézométriques. Les prédictions établies montrent que cette nappe est dans un état alarmant, d'où la nécessité d'entreprendre une gestion intégrée des ses ressources souterraines, afin de garantir un développement durable.

Mots clés : Modélisation, MODFLOW, nappe de l'Albienne, plaine d'Ain Oussera.

## I. INTRODUCTION

La plaine d'Ain Oussera, s'inscrit dans un domaine steppique dans la partie centrale de l'Algérie du nord au sein de la wilaya de Djelfa, entre l'Atlas tellien, au nord, et l'Atlas saharien au sud. A 200 Km environ au Sud d'Alger, la plaine s'étend sur 105 Km suivant un axe NE - SW, et sur 30 Km suivant un axe perpendiculaire (Fig.1). Sa superficie est d'environ 3790 km<sup>2</sup>. La nappe des grès de l'Albien doit subvenir à l'ensemble des besoins en eau de la région, y compris l'alimentation en eau potable de la population. La nappe phréatique des alluvions de l'oued Touil et du Plio-Quaternaire constitue un aquifère

secondaire peu important exploité par des puits traditionnels. La plaine d'Ain Oussera a connu un développement important depuis le début des années 2000 avec le lancement des programmes nationaux de développement et d'investissement Agricole. L'augmentation des surfaces irriguées a entraîné une forte sollicitation de la nappe albienne ce qui a entraîné, depuis plus d'une trentaine d'année (1985), une baisse significative du niveau d'eaux de la nappe et une détérioration de leur qualité chimique.

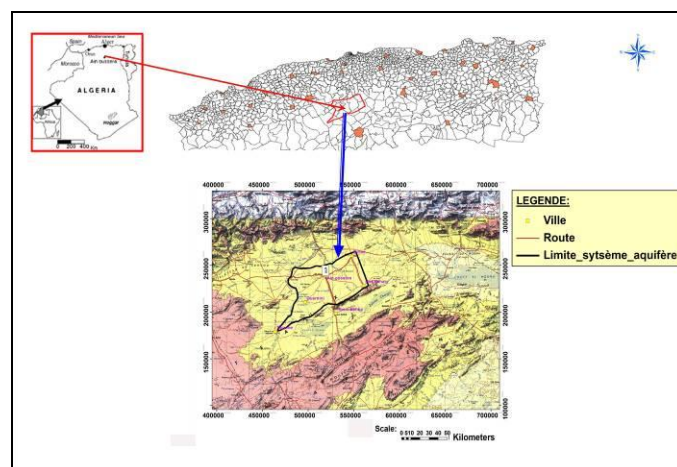


Fig.1 : Carte situation de la plaine d'Ain Oussera.

## II. GÉOLOGIE ET CLIMATOLOGIE

La géologie de la nappe d'Ain Oussera (Fig 2) a été élaborée à partir des coupes géologiques des forages réalisés.

La plaine de Aïn Oussera se présente comme un vaste anticlinorium à cœur crétacé, compliqué par un système d'anticlinaux, développés sur les versants Sud et Nord [1]. et dont l'axe passerait par Bou Cedraïa. Les dépôts Quaternaires recouvrent presque totalement la plaine, sur les

flancs Sud et Nord, les formations crétacées affleurent à Koudiat Es-Segouia, El Fia, El Mouilah, Doghmane et en Nesser [2].

La plaine d'Ain Oussera est caractérisée par un climat semi-aride, avec un été chaud et sec et un hiver froid et humide. La précipitation moyenne annuelle est de 226.15mm et la température moyenne maximale atteint les 24.1°C.

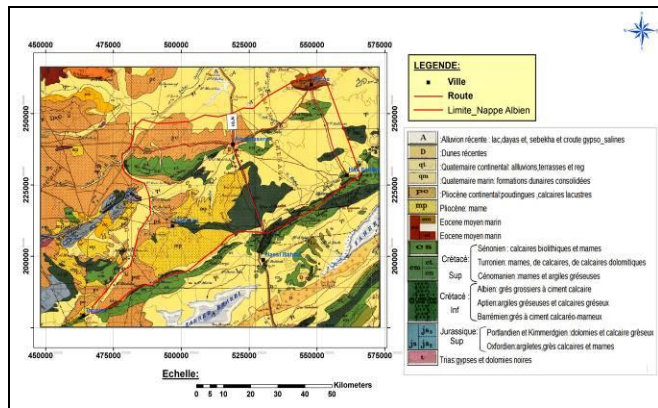


Fig. 2 : Carte géologique de la plaine d'Ain Oussera, extrait de la carte géologique 1/500 000 de l'Algérie Nord (Flandrin et al, 1951).

### III. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

La plaine d'Ain Oussera renferme divers formations aquifères avec des potentialités hydrauliques différentes. Ces formations sont représentées par le remplissage du Quaternaire, les grès de du Miocène, les calcaires de l'Eocène inférieur, du Turonien et du Cénomaniens et les grès albo- Barrémiens. Les grès de l'Albien inférieur constituent l'aquifère principal dans la région d'étude, c'est une nappe libre à grande extension et une épaisseur assez appréciable, variant entre 83 à 225 m avec une épaisseur moyenne de 150m. Les argiles et les marnes de l'Aptien constituent un écran imperméable limitant la libre circulation de l'eau entre l'Albien et le Barrémien [2]. Selon le même auteur, l'Albien est affecté par de nombreuses failles qui facilitent la circulation des eaux. Les terrains albiens constituent donc un milieu de circulation hétérogène. La direction dominante des failles est Est-Nord-Est / Ouest-Nord-Ouest.

Le gradient hydraulique le plus élevé est de 0,016 et ne dépasse rarement 0,005 dans l'ouest [3].

Les paramètres hydrodynamiques sont obtenus à partir des analyses des données des essais de pompages effectuées dans les forages réalisés dans la zone d'étude. Les valeurs de la perméabilité varient entre  $0.1 \cdot 10^{-5}$  m/s et  $4.3 \cdot 10^{-4}$  m/s et un coefficient d'emménagement qui peut osciller entre  $0.93 \cdot 10^{-3}$  et  $1.3 \cdot 10^{-3}$ .

Symbole	Système	Etage	Faciès Lithologique	Catctéristiques de l'aquifère	Epaisseur ( m )	
	Quaternaire		Alluvion récente et sable argileux	nappe superficielle à porosité d'interstice Exploitée par de puits et des forages peu profonds	10 à 30	
	Tertiaire	Miocène	Grès et argiles sableuses	Aquifère perméable limité, exploité par des puits au niveau du Birne	170	
		Eocène	Calcaire à silex	Aquifère fissurée à potentialité faible Exploité par des puits		
	Crétacé	Turonien	Calcaire dolomitique	Aquifère fissurée à Potentialité limitée non exploitée	150	
		Supérieur	Cénomaniens	Calcaire dolomitique marneux calcaire	Aquifère à perméabilité Des fissures, non exploitée	200 à 280
		Inférieur	Albien	Grès beige faible à ciment calcaire sable et argile	Aquifère à potentialité hydraulique importante exploité par des forages	150 à 200
Inférieur	Barrémien	Grès grossier à ciment Calcaire et passées d'argiles	Aquifère perméable Non exploité, mauvaise qualité d'eau	350		

Fig.3: Caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations (ANRH, 1983).

### IV. MODELISATION HYDRODYNAMIQUE

#### A. Inventaire des points d'eau (forages et puits)

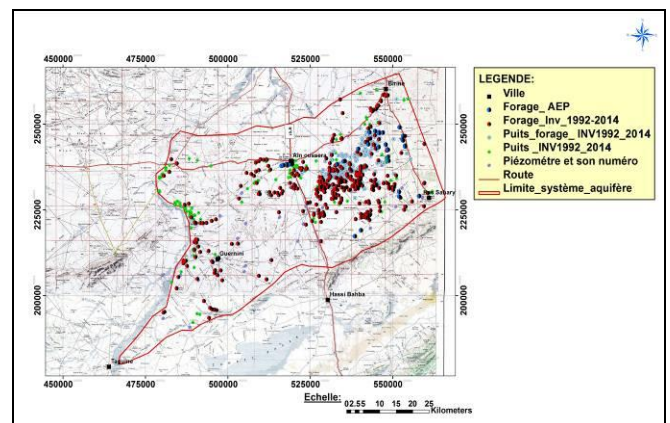


Fig.4 : Carte des points dans la nappe d'Ain Oussera (Inventaire 2014).

### B. Chroniques piézométriques

Les chroniques piézométriques sont disponibles de 1985 à 2014 pour l'ensemble du réseau piézométrique suivi par l'ANRH de Djelfa, soit 61 piézomètres. 32 points de mesures peuvent être exploités dans le cadre de cette étude.

### C. Extension horizontale et verticale du système aquifère

La zone d'étude a été discrétisée de façon régulière en mailles carrées de 500 m x 500 m de côté, soit un total de 37800 mailles

#### Extension verticale

Toit : La carte topographique de la zone d'étude a été réalisée à partir du modèle numérique de terrain (MNT). Ces modèles sont mis gratuitement à la disposition du public, <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

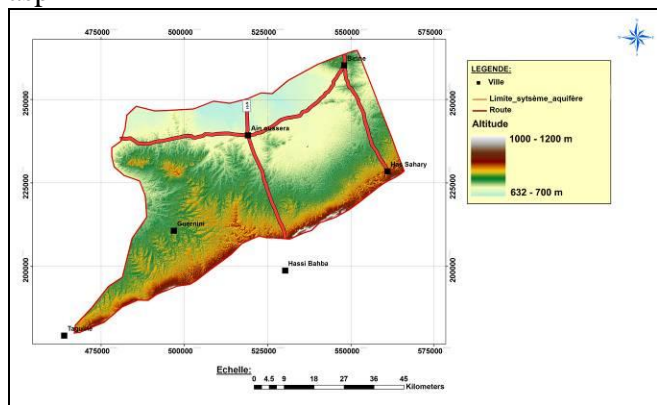


Fig.5: Modèle Numérique de Terrain de la zone modélisée (MNT).

Le toit du substratum : le substratum du système aquifère de l'Albien est constitué par les marnes de l'Aptien. la carte du toit du substratum a été élaborée à partir des données des coupes géo-électriques et les coupes géologiques des forages réalisés.

Les épaisseurs maximums enregistrées sont de 175 à 225 m, et caractérisent la zone Nord de la plaine, dans cette partie les formations de l'albien conservent son épaisseur sous recouvrement du crétacé supérieur, dans le reste de la plaine, les épaisseurs de l'Albien oscillent entre 100 à 175m,

L'épaisseur moyenne de la formation de l'Albien est de 150 m.

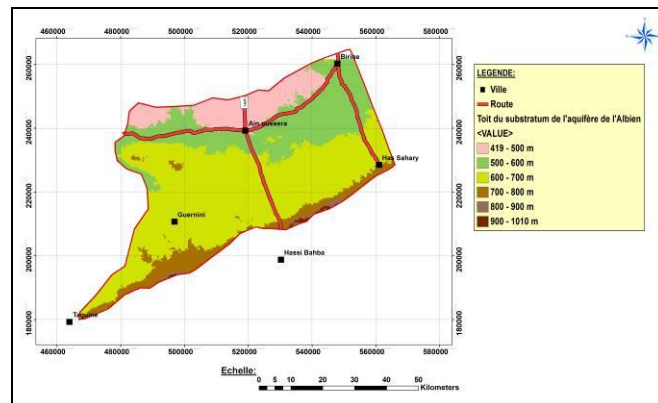


Fig.6: Carte de Toit du substratum de la zone modélisée.

#### Extension Horizontale

La synthèse géologique et géophysique a permis de déterminer l'extension horizontale de l'aquifère de l'Albien :

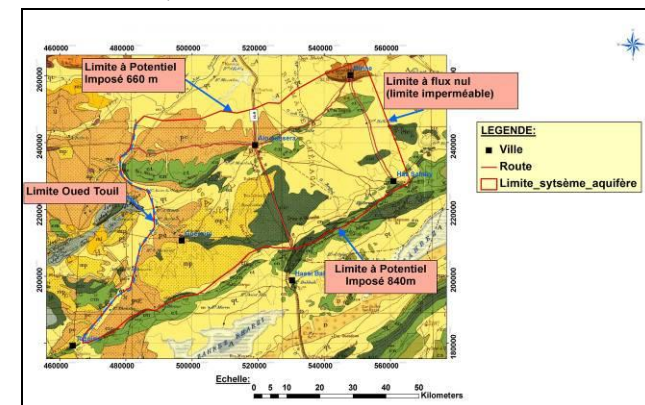


Fig.7 : Carte des conditions aux limites du domaine modélisé

### D. Programmes informatiques utilisés

La réponse dynamique du système aquifère aux diverses sollicitations, auxquelles il est soumis, ne peut être analysée de manière appropriée qu'à travers la modélisation [4]-[5]. Le modèle de MODFLOW a été choisi pour simuler le système d'écoulement des eaux souterraines 2-D et 3-D de la couche aquifère plaine d'Ain Ousser, a été développé par [6]-[7].

## V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### A. Calage en régime permanent pour l'année 1985



Le calage en régime permanent aboutit à une reproduction réaliste des écoulements et des gradients, par comparaison avec les données piézométriques disponibles pour l'année 1985 de référence. Les valeurs de la perméabilité d'ajustement sont extrêmement hétérogènes et varient entre  $2.10^{-6}$  m/s et  $4.6.10^{-4}$ . En comparaison avec les valeurs issues par les essais de pompages, on remarque qu'il y a une concordance dans la zone d'étude.

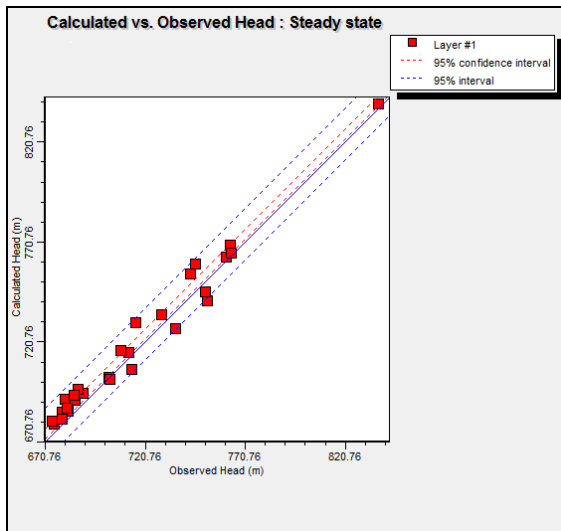


Fig.8: Comparaison entre piézométrie calculée et piézométrie observée.

La différence entre la majorité des charges calculées et mesurées varient entre 0.36 m et 1.75 m ce qui correspond à une calibration très satisfaisante.

Le bilan hydrique de la nappe pour un régime permanent est présenté dans le tableau 1.

Tableau.1 : Bilan hydraulique calculé dans le cas du régime permanent établi pour l'année 1985.

Entrés (Hm3/an)	Sorties (Hm3/an)
Frontière Sud = 17.549	Frontière Nord = 53.786
Prélèvement = 0	Prélèvement = 0
Recharge = 52.298	Recharge = 0
Alimentation par Oued Touil = 3.767	Drainage par Oued Touil = 19.827
Total IN = 73.614	Total OUT = 73.613
Bilan hydraulique	IN - OUT= 0.00139

### B. Régime Transitoire (1985-2014)

La simulation en régime transitoire effectuée entre l'année 1985 et 2014 soit une période de 29 ans, a permis de reproduire la fluctuation piézométrique, les hauteurs piézométriques calculées et ceux mesurées sont en générale cohérentes. L'écart entre les valeurs simulées et observées varie entre 0.15 m (point 126) et 2.03 m (Point 84). Cette différence des valeurs reviennent au manque des données de certains paramètres comme le débit d'exploitation réelle surtout dans la période de sécheresse, et l'incertitude de certaines données comme l'impacte des points d'eaux. Cela correspond à un bon ajustement dans le cadre d'un modèle régional et au vue des données disponibles.

Les résultats montrent les niveaux d'eau calculés qui montrent la baisse piézométrique observée liée à l'exploitation de la nappe pour l'agriculture entre 1985 et 2014.

Tableau.2 : Bilan hydraulique calculé dans le cas du régime Transitoire établi pour l'année 2014

Entrés (Hm3/an)	Sorties (Hm3/an)
Frontière Sud = 17.610	Frontière Nord = 38.12
Prélèvement = 0	Prélèvement = 34.56
Storage = 16.60	Storage=0.63
Recharge = 52.298	Recharge = 0
Alimentation par Oued Touil = 4.94	Drainage par Oued Touil = 18.10
Total IN = 74.84	Total OUT = 90.78
Bilan hydraulique	IN - OUT= -15.94

### C. Exploitation du Modèle

Les scénarios seront simulés sur une période de (2014-2024). Cette période considère comme suffisante pour tester la réactivité de la nappe aquifère de l'albien lorsqu'elle soumise à des changements des conditions aux limites.

Notons que les scénarios d'exploitations qui seront proposés sont:

La recharge utilisée dans les scénarios est la moyenne calculée qui de l'ordre de 13.9 mm/an.

## Résultats des simulations

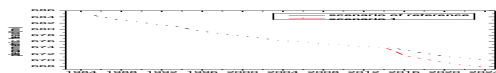


Fig.9: Piézométrie simulée au piézomètre PZ 84 (Scenarior de référence), et. Piézométrie simulée au piézomètre PZ 84 (Scenarior 01).

Les scénarios ont mis en évidence que la plaine d'Ain Oussera est relativement peu sensible. Ils ont réalisé de nouveaux champs captant et une réalisation de deux nouveaux périmètres. En effet, le niveau piézométrique diminue localement dans les zones où les prélèvements AEP et agricoles (baisse inférieure à 4,5 m). Mais si on continue le déstockage de cette réserve souterraine, pourrait entrainer un dénoyage de la nappe d'eau et les rabattements seront à long terme important.

## VI. CONCLUSION

Les simulations numériques en régime permanent 1985 et transitoire 1985-2014 ont permis d'affiner la distribution spatiale des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère et d'évaluer son bilan hydrique. Au cours de cette modélisation, le bilan s'est avéré déficitaire et Déstockage très important de la nappe aquifère par les forages d'eaux surtout au niveau du plateau du Sersou et au sud de Bérine, le volume extrait constitue 46.17% de l'alimentation globale de la nappe aquifère. Ceci est dû à une exploitation croissante des eaux souterraines.

Pour l'ensemble des scénarios, on remarque une baisse continue de la piézométrie de la nappe

aquifère de 2014 jusqu'à 2024, et qui revient à la poursuite de la surexploitation par les forages d'eaux, surtout dans le plateau de Sersou et dans la zone sud de la plaine d'Ain oussera.

Les simulations ont montré que l'exploitation de la nappe dans les zones d'alimentation aura des effets indésirables sur la recharge qui provient des apports souterrains du système aquifère.

## REFERENCES

- [1] Caratini, C. 1970. Etude géologique de la région de Chellala-Reibell. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, Alger, sér.n°40, 2 vol., pp. 1-311.
- [2] Ayad, A. 1983. Etude hydrogéologique de la nappe d'Ain Oussera. n°83 DHYG. 011. 48p.
- Sylvain, M, Modélisation hydrodynamique de la nappe phréatique quaternaire du bassin du lac Tchad, Université de Montpellier II, France, 2001.
- [3] Mebrouk .N.2007. GEOCHEMICAL AND ISOTOPIC CHARACTERIZATION OF HIGH-MG GROUNDWATERS IN AN ENDORHEIC BASIN,AIN OUSSERA, ALGERIA. Journal of Environmental Hydrology. Volume 15 Paper 26 November 2007
- [4] Bredehoeft, J. (2002) The Water Budget Myth Revisited: Why Hydrogeologists model. *Groundwater* **40**(4), 340–345.
- [5] Dong, Y., Li, G. & Xu, H. (2012) An areal recharge and discharge simulating method for MODFLOW. *Comput. Geosci.* **42**, 203–205. doi:10.1016/j.cageo.2011.10.005
- [6] McDonald, M. G. & Harbaugh, A. W. (1988) A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model: US Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations ( No. 6-A1), 586. Washington, USA.
- [7] Harbaugh, A. ., Banta, E. R., Hill, M. C. & McDonald, M. G. (2000) MODFLOW-2000. The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model User Guide to Modularization Concepts and the Groundwater Flow. ( No. 0–92). Water-Resources Investigations Report, pp 121. Process. U.S. Geological Survey.