

MOYEN D'INVESTIGATION DES SOUS-SOL ET IDENTIFICATION DE LA CAUSE DIRECTE GENERANT LE PROBLEME DE LA REMONTEE DES EAUX DE LA NAPPE LIBRE D'OUED SOUF (SE ALGERIEN)

Salim KHECHANA¹, Ali GHOMRI^{1,2}, Mohamed MANI¹, Tarek DJEDID¹ et Abdelmonem MILOUDI¹

1. Laboratoire d'Exploitation et de Valorisation des Ressources Energétiques Saharienne (LEVRES) – Université d'El-Oued B.P. 789 El-Oued 39000 –Algérie.

2. Laboratoire LARHYSS - Département de Génie civil et d'hydraulique- Université de Biskra

Corresponding Author E-Mail: khechana-salim@univ-eloued.dz

Résumé:

La vallée d'Oued-Souf souffre trop du problème de la remontée des eaux souterraines, qui affecte les surfaces agricoles et urbaines et dégrade toute une vie socio-économique des habitants. Ce problème qui a apparus dans les années quatre vingt, est dû essentiellement à la sur-exploitation des nappes profondes, l'absence d'un réseau d'assainissement et le rejet des eaux usées directement dans la nappe libre.

Pour résoudre ce problème, un méga projet à été planifié et réalisé, basé sur le principe d'assainir, drainer et évacuer le surplus d'eau, après leur traitement, vers le site de rejet final. Après deux ans de la mise en service du projet, les résultats attendus n'ont pas atteints, dont le niveau des eaux continu à se remonter. Ce travail nous permis de définir la cause directe de cet échec grâce à l'analyse de la structure hydrogéologique interne de la nappe libre, qui favorise l'affleurement des eaux souterraine à la surface. Le cœur de cette recherche est basé sur l'interprétation des essais de pompage effectués dans les forages de système de drainage.

Mots-clés: *vallée d'Oued-Souf, remontée des eaux souterraines, système de drainage vertical, structure hydrogéologique, essais de pompage.*

Keywords: *Oued-Souf valley, rising groundwater, vertical drainage system, hydrogeological structure, pumping tests.*

I. INTRODUCTION:

Les eaux souterraines sont des sources importantes des eaux douces pour les êtres humains, les animaux et les plantes [1]. Malheureusement, dans quelques régions algérienne, surtout celles situées dans le Sahara, sont aujourd'hui confrontées à des problèmes liées à des aspects quantitatives et qualitatives des ressources en eau, due essentiellement à la remontée des eaux des nappes libres, qui à un effet néfaste pour les habitants et l'agriculture [2].

La vallée de Oued-Souf est affectée par ce problème, qui à des conséquences négatives sur l'environnement et la santé. Toutes les études hydrogéologiques établies pour analyser le problème de la remontée des eaux considèrent que la nappe est homogène formant uniquement par les sables d'une perméabilité élevée [3], alors qu'en réalité, l'aquifère est hétérogène, composée en plus des sables, par des couches d'argiles, de marne et de gypse.

Ce manquement de détails de la structure hydrogéologique interne de la nappe conduit à des erreurs dans l'interprétation des résultats des essais de pompage, qui est à son tour influencé sur la conception des forages et les positions de ses crépines [4].

Cet article rapporté une nouvelle compréhension de la remontée des eaux dans la vallée d'Oued-Souf, avec l'analyse des essais de pompages indiquant que la nappe libre est formée par deux couches, séparées,

probablement par des lentilles d'argile et parfois d'argile sableux qui favorise la drainance.

II. MÉTHODES ET MATÉRIELS:

A. Cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude:

La géologie de la région d'El Oued n'est pas étudiée d'une manière détaillée, de telles sortes à comprendre la structure interne des couches superficielles. Une synthèse de toutes les études géologiques existées peut trouver résumé dans le rapport du Cretenet [3].

La figure 1 présente une coupe géologique élaboré par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques [5].

Toutes les coupes géologiques réalisées par la DRE (Direction des Ressources en Eau) sont basées uniquement sur les logs des forages profonds montrant une légère importance des couches superficielles et n'ont pas une précision suffisante pour déterminer la base de l'aquifère libre. D'après ces coupes, la profondeur des couches d'argile et de gypse est supérieure à 60m dans la quasi-totalité de la zone d'étude [6].

Une prospection géophysique (par sondages électriques) dans la longueur de la ligne AB = 500 m a été réalisée par ENAGEO (Entreprise Nationale de Géophysique) dans la région a montré qu'il y a trois domaines distincts [7]:

- Sables et graviers d'une résistivité forte;
- Sables argileux et argiles sableux d'une résistivité moyenne;
- Argiles d'une résistivité faible.

Où la profondeur de l'argile varie entre 10 et 100m et l'épaisseur de la nappe libre dans la région d'Oued-Souf est comprise entre 0 et 60m.

B. Solutions proposées pour résoudre le problème de la remontée des eaux :

Plusieurs efforts ont été fournis pour résoudre ce problème, le plus important d'entre eux est le grand projet qui a été planifié et financé par le ministère des ressources en eau et mis en œuvre par divers entreprises nationales et internationales, nommé " projet d'assainissement des eaux usées et drainage des eaux résiduelles, pluviales et d'irrigation dans la vallée d'Oued Souf-", ce projet est fondé essentiellement sur quatre (04) schémas [8]:

- Schéma d'épuration :

Les 12 communes sont regroupées en quatre (04) sous ensembles, une station d'épuration est proposée pour chaque centre. La filière d'épuration choisie est le lagunage aéré parce qu'elle est la plus adaptée aux objectifs attendus au contexte de ce projet.

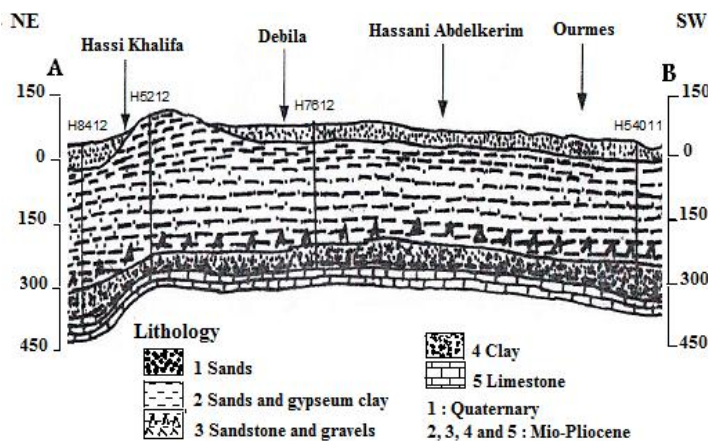


Fig 1. Coupe géologique extraite par les logs de forages profonds

- Schéma de drainage :

Dans l'aire d'étude, la solution de drainage proposée est par le système de drainage vertical, composé par un réseau de 58 drains (forages) connectés à 34 km de conduites, l'ensemble des eaux drainées aboutit à la station de pompage existante (ST10) qui refoulera ensuite vers le lieu d'évacuation final.

- Schéma d'évacuation :

L'évacuation de l'ensemble des eaux usées traitées avec les eaux de drainage s'effectue grâce à un collecteur de transfert d'orientation Sud-Nord vers le site de rejet final situé à 70 km au Nord-Ouest de la vallée. A l'aval des 4 stations d'épurations, un système de collecte des eaux usées traitées est installé avec la possibilité, de réutiliser l'eau à des fins agricoles, le long de ce système d'évacuation.

- Schéma d'assainissement :

Dans les grandes agglomérations de la vallée (12 communes), le mode d'assainissement utilisé est de type collectif avec un réseau de collecte de 750 km et 57 stations de pompes (relevage et refoulement), le reste (les 6 communes) en assainissements autonomes améliorés.

C. Les objectifs attendus de la nouvelle politique de gestion :

La gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued Souf concerne toutes les problématiques quantitatives et qualitatives, qui sont inter reliés, souvent en compétition et peuvent gérer dépendant avec des aspects socio-économiques et éco-systémiques [9]. Le choix de ce problème (la remontée des eaux de la nappe phréatique) qui fait l'objet de la gestion intégrée est fait conformément aux besoins de la population et aux valeurs de la société.

C'est pourquoi la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée vise quatre (04) objectifs principaux [9]:

- Rabattre ou stabiliser le niveau de la nappe :

Quand ce système mis en service, en aura fini avec la remontée des eaux et avec les nombreuses incidences néfastes qui en découlent, touchant plusieurs secteurs, notamment l'habitat, l'environnement et l'agriculture. La stabilisation de niveau piézométrique permettra de réduire les fluctuations des débits d'une période à l'autre [3].

- Réutilisation agricole des eaux drainées (ou restauration des eaux évacuées):

Le prélèvement, pour la réutilisation, d'eaux traitées sortants des stations d'épurations sera possible grâce à l'implantation d'ouvrages de piquage le long de la canalisation. Un robinet de prélèvement pour l'irrigation des espaces verts est prévu à la sortie du local de protection de chacun des forages implanté dans les endroits publics (écoles, annexes universitaires et administrations publiques), qui permettra de garantir un certain degré d'approvisionnement en eau d'irrigation pour protéger une part de la production agricole [10].

- Augmentation du pouvoir épurateur du sol :

L'espacement entre les forages a été calculé pour qu'au cours de pompage, le niveau d'eau se maintienne à 1m au-dessous de la surface du sol des points les plus bas (Ghouts), ce qui proscrie l'assainissement autonome.

- Maintien écologique et sanitaire du site de rejets :

L'évaluation environnementale stratégique et l'étude d'impact du site des rejets qui accompagnent ce projet, à savoir les contraintes et les potentiels environnementaux sur la santé et le milieu écologique ont pu être définis dans une perspective de développement durable. Les experts ont souligné que le site de rejet, à savoir le chott de Haloufa, situé au Nord-Ouest de la vallée d'El-Oued, est maintenu et que le choix de ce site est judicieux et n'aura aucun impact négatif que ce soit sur l'environnement ou sur l'exploitation des gisements de sel, distants de plus de 20 km, et tout changement du choix de ce site entraînera inéluctablement l'apparition, à nouveau, le problème de la remontée des eaux, mais, des associations locales et des organismes non gouvernementaux (ONG) ont été appelées au changement de cet endroit pour des raisons écologiques vers l'erg oriental [11].

D. Echec du système de drainage :

Après deux ans de fonctionnement du projet, les résultats attendus de système de drainage vertical n'ont pas atteint, où les débits de certains forages restent très faibles, ainsi que le niveau d'eau souterraine continu à s'augmenter, surtout dans les endroits les plus affectées par le problème de la remontée des eaux (cité de Chott et Sidi-Mestour). Les responsables de ce système manquaient un outil pour comprendre la cause de cet échec. Pour répondre à cette préoccupation, nous avons procédé à l'interprétation des résultats des essais de pompage effectué aux trois forages de système de drainage vertical [9].

III. ESSAIS DE POMPAGE:

L'analyse précise des essais de pompage effectués dans l'aquifère à nappe libre de la région est considérablement entravée par des difficultés à décrire la structure interne de cette réserve avec précision. La répartition spatiale des différents domaines hétérogènes de différentes perméabilités semble souvent fortement imprévisible, sinon totalement aléatoire. Cependant, la connaissance de ces structures est nécessaire pour déterminer le sens d'écoulement dans différentes zones et de comprendre s'il y a des limites étanches ou flux imposé.

Pour déterminer les limites de l'aquifère libre de la région et afin d'indiquer s'il y a des anomalies dans les structures internes du sous sol, nous nous sommes intéressés par les essais de pompage au niveau de trois forages de drainage (D05, D20 et D53) qui ont été réalisées en hiver 2008.

La durée des essais de pompage est de 24 heures avec un temps de remontée de 12 heures et les débits de pompage étaient de 2,8, 2,5 et 5,10 l/s respectivement. Nous avons choisi ces forages en raison de ses faibles débits (inférieur à 6 l/s) mesurées à la fin de l'opération de forage et de ses emplacements dans les cités les plus touchées par le problème de la remontée des eaux souterraines.

Après 24 heures des essais, nous avons pompé en deux puisards (SD5 et SD20) à proximité de D5 et D20 respectivement, en utilisant une pompe émergée.

Les rabattements et les rabattements résiduels sont mesurés au niveau des forages eux-mêmes (D05, D20 et D53) et aux deux puisards (SD5 et SD20).

La figure montre les variations des niveaux piézométriques en fonction du temps pendant les essais aux trois forages.

Juste après le début de pompage, le niveau d'eau est diminué rapidement dans les forages.

Au forage D05, le niveau statique a été 1.34m avec un débit de pompage de 2.8 l/s.

Le rabattement a atteint plus de 6.5m après 3 minutes de pompage et 6.96m après 1440 minutes (24 heures). Le niveau d'eau à D05 montre une réponse rapide après un temps réduit (3 min). Au cours du temps restant de pompage, le rabattement a atteint seulement 0.51m. Après deux minutes de l'arrêt de pompage, le niveau d'eau est monté rapidement à 6.5m, après ce temps, il y a une augmentation constante du niveau en fonction du temps.

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION:

• La courbe de descente: Cette courbe montre deux phases:

Le premier est le résultat de l'effet de la capacité caractériser le couple aquifère / puits et de vider le trou de forage. La seconde partie de la courbe avait une augmentation régulière du rabattement en fonction du temps, ce qui nous permet de tirer une ligne de pente C. Cette pente reflète l'impact d'une limite susceptible étanche.

Le calcul de la transmission T donné par C.V Theis :

$$T = \frac{0.183Q}{C}$$

Q: débit (l/s) et C: la pente de la courbe.

Après l'application numérique, on trouve que :

Pour D05, Q = 3 l/s et C05= 4.2, donc, $T = 0.183Q / C05 = 2.18 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Pour D20, Q = 2.5 l/s et C20= 4, donc, $T = 0.183Q / C20 = 1.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Pour D53, Q = 5.10 l/s et C53= 3.9, donc, $T = 0.183Q / C53 = 2.39 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

• La courbe de remontée a montré deux phases distinctes:

La première phase dans laquelle une augmentation rapide du niveau d'eau est observée en raison du phénomène de post-production et la reprise de la charge hydraulique dans le puits de pompage.

En deuxième phase, l'augmentation du niveau de l'eau était stable indiquant une remontée normale du niveau d'eau, où a remontée est résiduelle.

Au puisard (SD05), distant de 12m au forage D05, qui a été utilisé comme point d'observation, la réponse du niveau piézométrique est très lente, elle est de l'ordre de 1 à 2 cm après 04 heures de pompage. Du même, le pompage au puisard SD05 n'a aucun effet sur le niveau d'eau du forage D05.

Le niveau d'eau dans les puisards ne change pas pendant le pompage dans les puits, du même, le pompage dans les puisards n'a pas montré une quelconque influence sur le niveau des eaux souterraines dans les forages de drainage qui confirme l'existence d'une limite étanche entre deux aquifères séparés : le premier aquifère est en bas, soutient les eaux pompées dans les puits de drainage et la seconde est en haut, qui contient des eaux apparaissent dans les puisards (SD05 et SD20). Cette étanchéité est probablement due à :

- Soit l'existence d'une faille entre les forages et les puisards, qui est loin de la réalité, en raison de la prédominance des formations sableuses caractérisant une zone inactive du séisme;

- Soit à l'existence de formations imperméables ou semi-perméables (argiles sableuses, sables argileux) joue le rôle de compartimentation de l'aquifère multicouche (Fig.3).

L'existence de deux aquifères discontinus est confirmée par l'indépendance des niveaux d'eau dans les forages D05 et D20 suite aux pompages continus dans les puisards SD05 et SD20 respectivement [4].

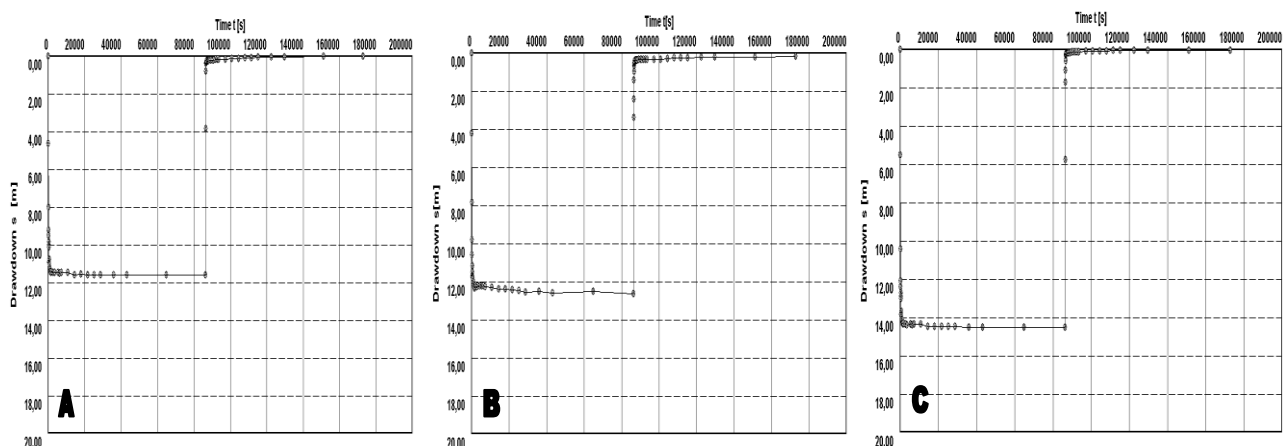


Fig. 2. Courbes de remontée et de remontée résiduelles mesurées dans D05, D20 and D53
A: Remontée dans D05; B: Remontée dans D20; C: Remontée dans D53.

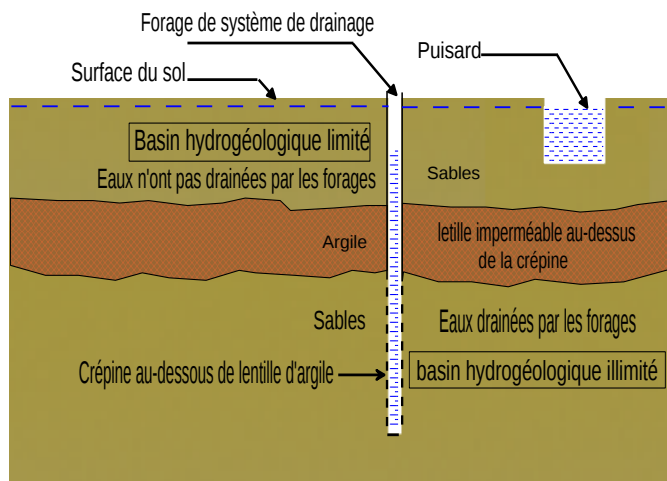


Fig.3. Structure interne de l'aquifère à nappe libre d'El Oued et échec de système de drainage vertical pour évacuer les eaux remontées

V. CONCLUSION:

Les autorités de la wilaya d'El Oued ont pris en charge la mise en œuvre d'un grand projet pour résoudre le problème de la remontée des eaux souterraines, basant essentiellement sur le principe de l'évacuer le surplus d'eau à travers un système de drainage vertical composé par 58 forages.

Après deux années de fonctionnement de ce système, l'eau dans la nappe libre continue à se remonter dans les cités les plus touchées (Chott et Sid Mestour).

Pour comprendre la cause de l'échec de ce système, nous avons procédé à effectuer des essais de puits dans ces cités. L'interprétation des essais, montre une indépendance entre le niveau d'eau pompée à partir de puits et pomper dans des puisards, qui nous a permis de dire que l'aquifère libre dans la région n'est pas homogène, il a une certaine hétérogénéité et est intercalé par des lentilles d'argile de faibles profondeurs. Ces lentilles d'argile agissent comme un substrat qui supporte l'eau à monter à la surface.

Les forages de drainage qui a un faible débit, serait probablement une mal position de la crépine, correspond à la couche d'argile [4]. Cela est dû à la prédétermination des positions des crépines de profondeur pour tous les puits (Altitude Z est entre 50 et 58m).

VI. RÉFÉRENCES:

- [1] Peiyue Li, Hui Qian, Jianhua Wu, Hongwei Liu, Xinsheng Lyu, Hongbo Zhang, 2013, Determining the optimal pumping duration of transient pumping tests for estimating hydraulic properties of leaky aquifers using global curve-fitting method: a simulation approach, Environ Earth Science, DOI 10.1007/s12665-013-2433-9.
- [2] S. KHECHANA, F. DERRADJI et N. MEGA, 2011, Hydro-chemical Characteristics Of Groundwater in Oued-Souf Valley (South East of Algeria), European Journal Of Scientific Research (EJSR), Vol 62 N 2.
- [3] J.-N. Cretenet, 2004. Study of sewerage wastewater, stormwater and irrigation and additional measures against the rising groundwater in Oued-Souf valley, Mission I, 111p.
- [4] S. KHECHANA, A. MILOUDI, A. GHOMRI, EH. GUEDDA and F. DERRADJI, 2016, Failure of a

vertical drainage system installed to fighting the rise of groundwater in El-Oued valley (SE of Algeria): causes and proposed solutions. Journal of Failure analyses and prevention. Vol 16 N° 02.

- [5] National Agency of Water Resources (NAWR), Regional Directorate of Ouargla, 1999, Summary report of rising groundwater in Oued Souf region. Ministry of Infrastructure and Planning Land, National Agency of Water Resources
- [6]. Direction des ressources en eau (DRE El Oued), 2003, Rapports sur les logs des forages.
- [7]. Entreprise Nationale de Géophysique, 1999, rapport des prospections géophysiques (électriques) dans la région du Souf.
- [8]. S. KHECHANA and F. DERRADJI, 2012, Management of Water Resources in a Hyper-Arid Area: Strategy and Issues (Case of Oued-Souf Valley-South Eastern of Algeria), Journal of Water Resource and Protection, Vol 4 N 11.
- [9]. S. KHECHANA, F. DERRADJI et A. DEROUICHE, 2010, La gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf –SE algérien-: Enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, Revue des Sciences Fondamentales et Appliquées (RSFA), Vol 2 N 2.
- [10].Burri J.M. and Burri P., 2001. Study of sewerage wastewater, stormwater and irrigation and additional measures against the rising groundwater in Oued-Souf valley, First campaign of hydrogeological measurements, 220p.
- [11]. DE (Department of Environment, El Oued)., 2009. Report "damage of rising groundwater and pollution of superficial aquifer in El-Oued", 19p.