

Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : cas de la région d'El-Oued (SE Algérie)

Boualem BOUSELSAL^{1*} et Nacer KHERICI²

¹*Laboratoire de Géologie du Sahara, Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Kasdi Merbah Ouargla, BP 30 000 Ouargla, Algérie*

²*Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 23 000 Annaba, Algérie*

* Correspondance, courriel : boualembouselsal@yahoo.fr

Résumé

La mauvaise gestion des ressources en eau dans la région d'El-Oued (SE Algérie) a provoqué une augmentation de niveau piézométrique, jusqu'à la surface de sol, ou près de la surface. Les conséquences de cette augmentation est néfaste sur l'homme et l'environnement. On note ; le noyage des palmeraies et leurs asphyxies, le noyage des fosses domestiques et la propagation de la pollution bactériologique dans la nappe, contamination des eaux par les nitrates d'origines domestique et agricole, la forte minéralisation d'eau à cause de l'évaporation à partir des plans d'eau libre. La remontée des eaux a conduit également au changement progressif de l'occupation des sols à la cour des trente dernières années.

Mots-clés : *gestion, ressources en eau, niveau piézométrique, pollution.*

Abstract

Effects of rising waters of the unconfined aquifer on man and the environment: the case of the region of El-Oued (SE Algeria)

Mismanagement of water resources in the region of El-Oued (Algeria SE) caused an increase in groundwater level until soil surface or near the surface. The consequences of this increase is detrimental to humans and the environment. There; flooding palm and their asphyxiation, flooding pits and domestic spread of bacterial pollution in the water, water contamination by nitrates from agricultural and domestic sources, the high mineralization of water due to the evaporation from open water. Upwelling also leads to the gradual change in land use at the court of the last thirty years.

Keywords : *management, water resources, groundwater level, pollution.*

1. Introduction

Dans la région d'El-Oued (SE Algérie), la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, nécessite le recours des ressources en eau profondes, les prélèvements des eaux de complexe terminal et de continentale intercalaire augmentent chaque année (1134 Hm³ en 1999 à 1566 Hm³ en 2010) [1,2]. Les quantités d'eaux prélevées sont rejetées directement dans la nappe phréatique sans aucun traitement, avec l'absence de réseau assainissement et un exutoire naturel [3], le niveau piézométrique commence à monter jusqu'à la surface de sol ou à un niveau proche de la surface de sol [4]. La région vivrait une catastrophe par la disparition quasi totale des Oasis ayant survécues en tant que bases de vie durant des milliers d'années et la contamination de la nappe phréatique. Cette étude réalisée au laboratoire de Géologie du Sahara, vise à déterminer les effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement, et pour but d'élaborer un plan de gestion adéquate des ressources hydrique dans la région d'El-Oued.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

2-1-1. Situation géographique

La région d'étude fait partie de la wilaya El-Oued localisée (**Figure 1**) au Sud Est Algérien et limitée par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa au Nord, Djelfa au Nord-Ouest, Ouargla au Sud et Sud-ouest et la Tunisie à l'Est [5], elle occupe une superficie de 220Km², se situe les coordonnées UTM : X = 290000 E/315000 E, et Y = 3680000 N/3700000 N. La région fait partie de la grande Erg Oriental, qui se caractérise par un ensemble de dunes de sable d'origine Continental et d'âge quaternaire, La pente de la zone d'étude est généralement orienté Sud-Nord, avec des valeurs d'altitude oscillant entre 64m et 120m. Nous signalons ici existence des entonniers artificiel, creuser par les habitants pour planté les palmeraies et les légumes, appeler localement « ghout »[6]. Le climat de la région est de type saharien, la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 28,4°C, les précipitations sont rares avec une moyenne interannuelle de l'ordre de 70,03 mm.

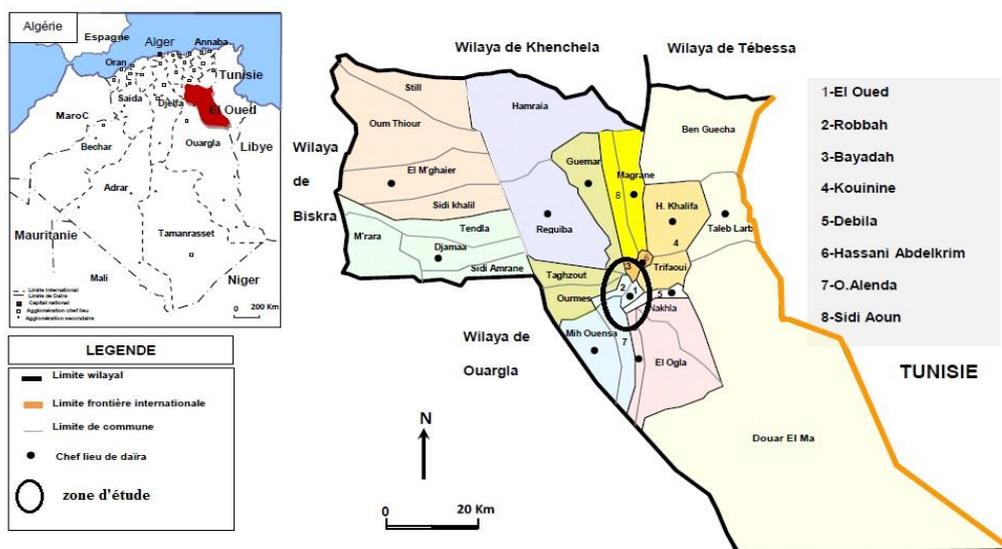


Figure 1 : situation géographique de la zone d'étude

2-1-2. Cadre hydrogéologique

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois aquifères (**Figure 2**) ; un aquifère libre, et deux aquifères captifs (le complexe terminal "CT" et le continentale intercalaire "CI") [7,8]. L'aquifère libre est constituée de formations détritiques d'âge Quaternaire et Miopliocène représentées par les: sable, grès, sable argileux, et l'argile sableuse, alors que le substratum est constitué d'argile. La profondeur du substratum est comprise entre 50 et 90 mètres [9].

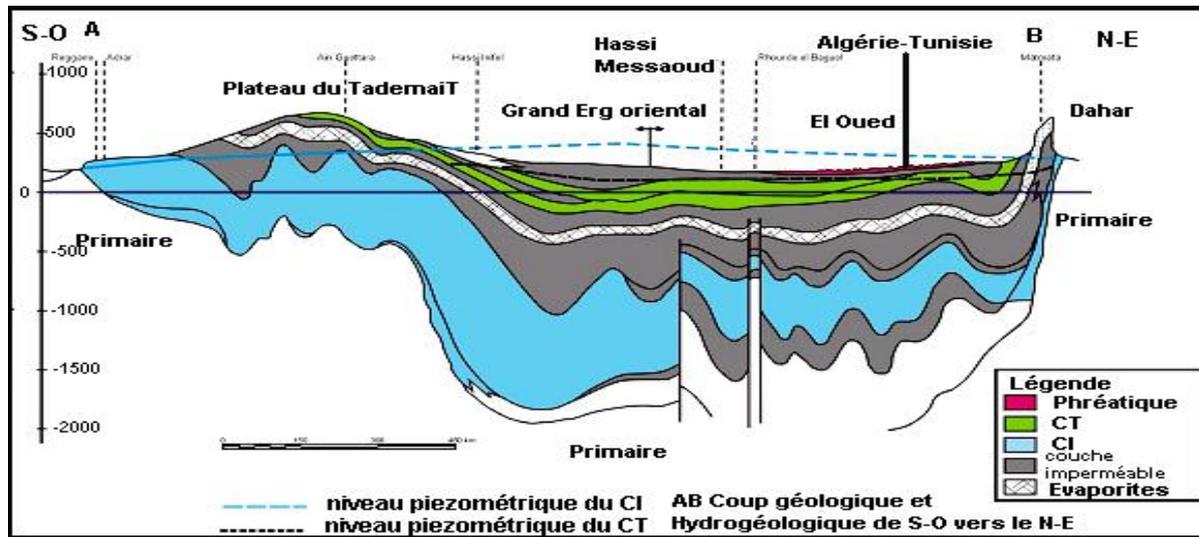


Figure 2 : Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO, 1972)

2-1-3. Historique de la remontée des eaux dans la zone d'étude

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle [10]. Avant 1956, toute l'eau utilisée pour l'alimentation humaine, animale et l'agriculture provenait de la nappe phréatique. L'augmentation de la population et l'extension des cultures ont conduit à creusé en 1956 le premier forage au Complexe Terminal (CT) pour l'AEP d'El Oued, entre 1957 et 1969, environ un nouveau forage par an a été exécuté dans le CT, de 1970 à 1980, environ 2 forages par année ont été réalisés dans le CT, dès 1980, on observe les premiers ghouts ennoyés à El Oued et une montée progressive et persistante de la nappe phréatique aux portes d'El Oued, ce qui en 1985 alarme les Autorités. Entre 1980 et 1987 une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le CT et trois forages dans Continental Intercalaire (C.I.), ses derniers sont fortement artésiens, et débits de 200 l/s, soit de 5 à 10 fois plus importantes que ceux de CT.

En 1993, la nappe avait ennoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine-Robbah. A partir de 1993 jusqu'en 2004, une série d'investigations ont été entreprises pour connaître les caractéristiques géométriques et géologiques de l'aquifère, et recensé et les forages existants. A la fin d'investigation une série des mesures telles que ; l'arrêt de nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI, et remplacés par des puits dans la nappe phréatique, la réduction des allocations d'AEP à la population, la construction pour l'agriculture de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique et la mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles ont eu un impact positif avec une stabilisation ou une baisse du niveau piézométrique dans certaines des zones affectées [4], alors que dans la ville d'El Oued, la nappe continue à monter de 40 à 60 cm par année dans les quartiers les plus touchés de la ville. Devant ce problème une étude a été faite pour effectuer un réseau de drainage vertical dans les centres urbains, constitué de 58 forages débitants de 6 l/s, connecté à 34 km de conduites, l'ensemble des eaux drainées aboutit à la station de pompage qui refoulera vers Chott Halloufa, le réseau de drainage devient opérationnel depuis 2011, et maintien le niveau d'eau à 1m de profondeur sous les zones les plus bas (ghouts).

2-2. Méthode

Pour la réalisation de cette étude, nous avons effectué une campagne de prélèvement, dans les puits et les forages de la nappe phréatique. Les paramètres physico-chimiques (pH, température et conductivité) ont été déterminés in situ, grâce à un multi-paramètre portatif. La profondeur de l'eau a été mesurée à l'aide d'une sonde piézométrique sonore. Pour les nitrates les mesures ont été faites par colorimétrie. Les échantillons devant être analysés au laboratoire ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène après être filtrés et acidifiés pour les cations. Le calcium, magnésium et chlore ont été dosés par titrimétrie. Le sulfate par photo-colorimétrie, le sodium et potassium au moyen d'une spectrométrie d'absorption atomique à flamme. Le nombre d'échantillons analysés pour déterminer le taux de nitrate est 92 et pour les éléments majeurs seulement 20 échantillons. Les données de la qualité bactériologique des eaux sont recueillies à partir de direction d'hydraulique d'El-Oued.

3. Résultats et discussion

3-1. Carte piézométrique juin 2010

La carte piézométrique de juin 2010 (*Figure 3*), montre que ; La partie haute de la nappe, représentée en brune, est située au sud-ouest avec une cote de près de 82 m et Une zone basse au nord-est, représentée en bleu, avec une cote de 60m, l'écoulement de la nappe se fait en générale de sud-ouest vers nord-est. Le gradient hydraulique oscille entre 0.66% et 0.08, comme titre d'exemple nous donnèrent les valeurs de gradient hydraulique dans quelques points sur la carte : (A = 0.62%), (B = 0.09%) (C = 0.08%), (D = 0.66%) et (E = 0.11%).

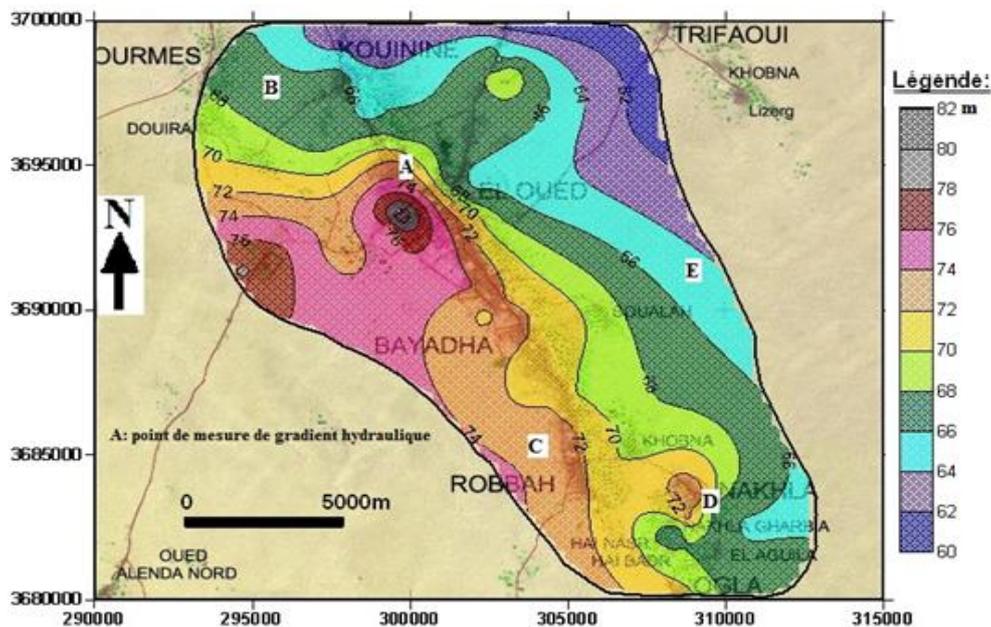


Figure 3 : Carte piézométrique de la zone d'étude de juin 2010

La comparaison entre la carte piézométrique et la carte de profondeur de surface de la nappe (*Figure 4*), rendre le phénomène de la remontée claire, on constate que ; Les centres urbains et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes de CT, présentent sur la carte des dômes piézométriques, à cause d'une alimentation forte de la nappe par les eaux d'infiltrations (les eaux domestiques et les eaux d'irrigations) [4,10-12], ces zones étendues de Sud-Est à Nord-Ouest de la zone d'étude le long de l'axe Nakhla-Kouinine, on ajoute à ces dernières les zones de dépressions de Chot, hôtel Louss et la zone de rejet d'El-Oued.

Par contre les zones irriguées à partir des puits dans la nappe phréatique, apparaissent sur la carte piézométrique comme des zones de dépressions piézométriques, c'est le cas de ; Nakhla Gharbia et Robah au sud, les plantations de Mehri au Nord-Ouest et au sud de Trifaoui.

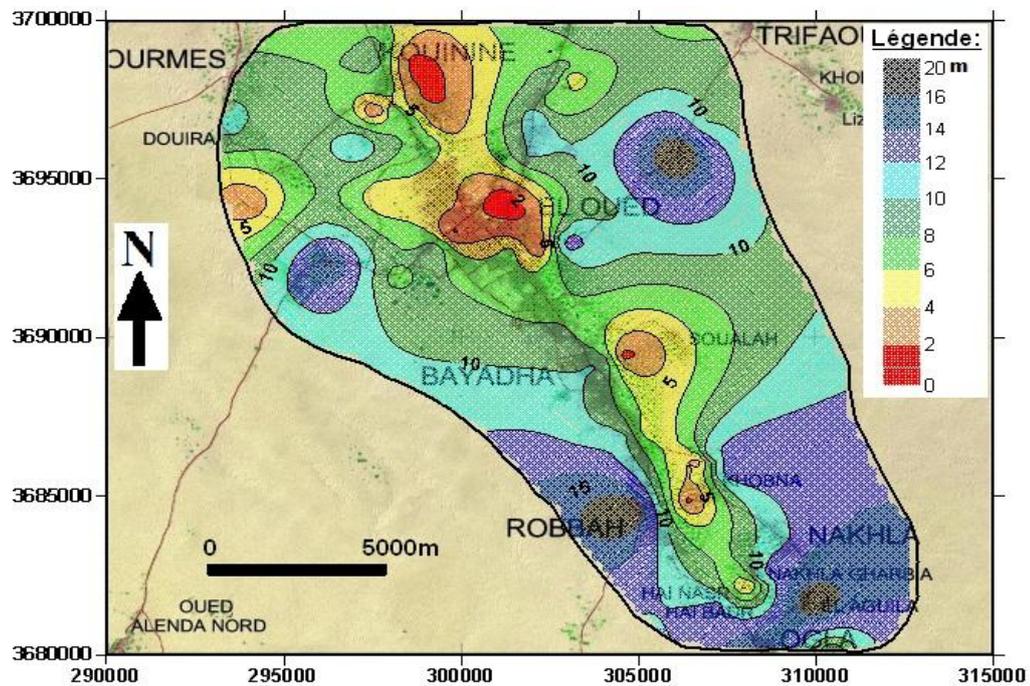


Figure 4 : carte de profondeur de la surface de la nappe juin 2010

3-2. Carte de conductivité de la nappe

La conductivité des eaux de la nappe libre (**Figure 5**) oscille entre 2170 et 47150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs les plus faibles localisent dans les endroits isolés ou dans les zones agricoles irriguées à partir des forages profondes de CT, à la suite de dilutions par ses dernies (conductivité moyenne 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) [4]. Les plus forts valeurs localisent au Nord, dans les zones de dépression ; au niveau de Chot, hôtel Louss et la zone de rejet de la ville d'El-Oued (47150 $\mu\text{S}/\text{cm}$), à la suite de forts évaporation des eaux qui se trouvent en faible profondeur [13-15].

3-3. Pollution par les Nitrates (NO_3)

Le taux des Nitrates dans la nappe phréatique d'El-Oued (**Figure 6**), varie entre 1,5 et 220 mg/L, les valeurs les plus faibles sont mesurées dans les plantations de Mahri, à l'ouest de l'Ogla et Bayadha, à Sidi Abdalah et au sud de Kouinine, due à la dilution des eaux de la nappe phréatique par les apports des nappes profondes de CT [4] et dans les ghouts ennoyés recouverts de roseaux à la suite de leur utilisation pour la croissance des roseaux et au niveau du rejet d'El-Oued, où l'oxygène nécessaire à la respiration des microorganismes est assuré par la dénitrification des nitrates. Les valeurs de NO_3 dans la plupart des forages sont supérieures à l'énormes (50 mg/L), Ils proviennent essentiellement des eaux usées et des fosses perdus, dans les zones urbaines [4,16], surtout à la partie sud est comme ; l'est Bayadha, El-Oued et Robbah, et des activités agricoles dans d'autres régions comme la plantation de Ogla, Nakhla et Khobna.

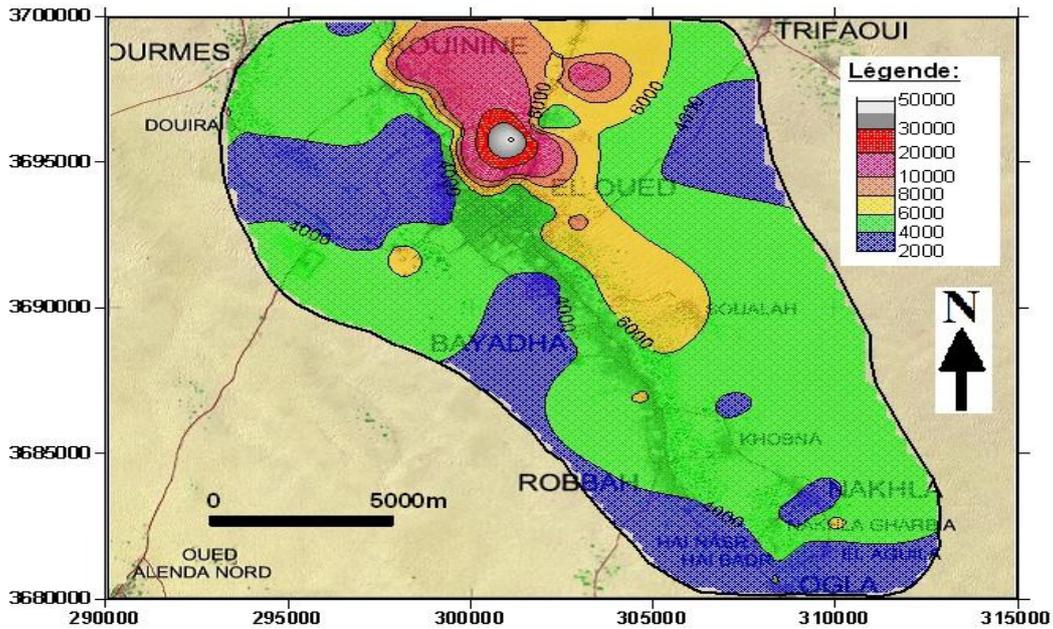


Figure 5 : carte de conductivité électrique en $\mu S/cm$ de juin 2010

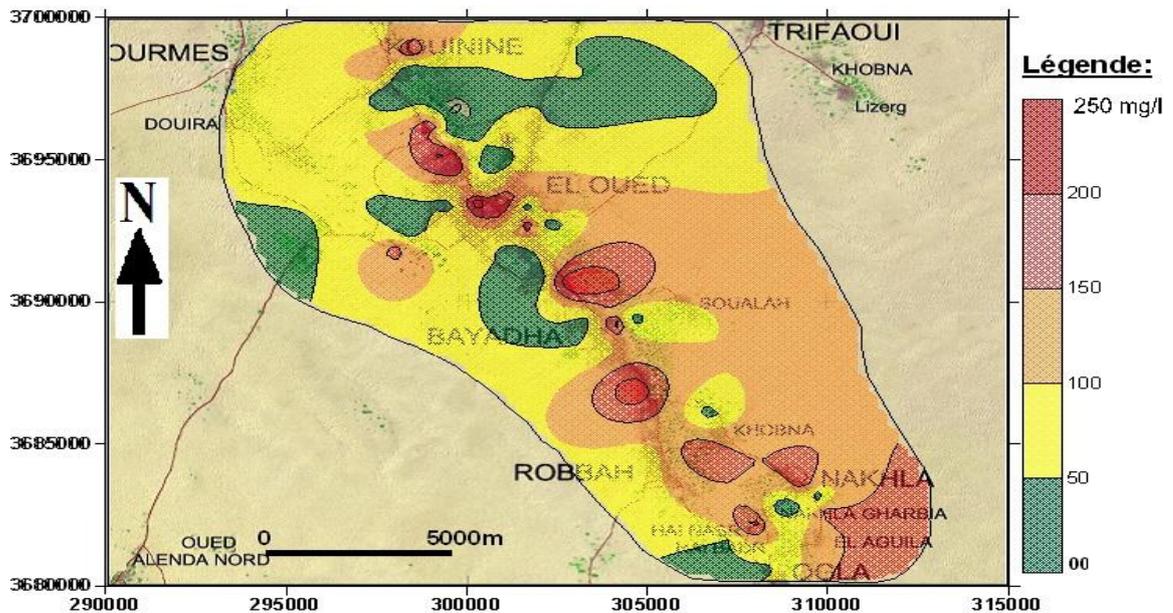


Figure 6 : Carte des taux de nitrate dans la nappe phréatique en juin 2011

3-4. Les eaux de la nappe phréatique et l'irrigation

Le diagramme de Piper montre que la majorité des échantillons se coïncident sur les pôles caractérisant les faciès sulfaté magnésique et sulfaté sodique. La représentation des échantillons sur le diagramme de Richards (**Figure 7**) montre que, les eaux de la nappe phréatique sont très salées et de mauvaise qualité pour l'irrigation [13]. L'origine de la salinité des eaux de la nappe libre est la dissolution des évaporite et la concentration des sels à la suite de l'évaporation de l'eau dans les zones où la nappe se trouve à une faible profondeur [17] et dans les zones agricoles male drainé [18] où on constate que l'évaporation de l'eau est très important, on ajoute aussi la salinisation des eaux d'origine anthropique, causé par l'évacuation des eaux usées industrielles ou domestiques.

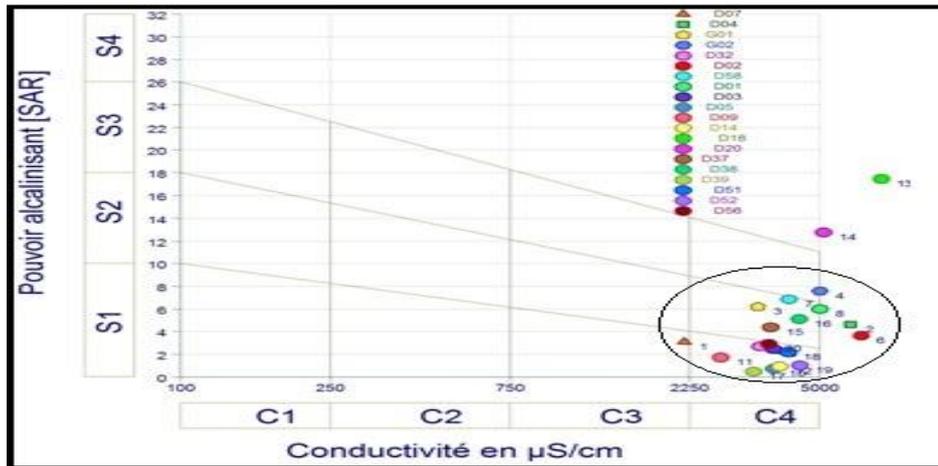


Figure 7 : Le diagramme de Richards des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued

3-5. Qualité microbiologique de l'eau

L'analyse microbiologique des eaux de nappe phréatique d'El-Oued, montre que ; a l'exception des forages D04, G01 et G02 qui sont situés dans les régions éloignées du centre ville, tous les forages analysés, sont contaminés [19,20] par les coliformes thermotolérants (*Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, etc.), streptocoques fécaux (genres *Enterococcus* et *Streptococcus*) et bactéries aérobies, ce qui les rend inaptes à la consommation. Ses microorganismes proviennent de fosses septiques et des fuites dans le réseau d'assainissement, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières et du rejet d'eaux superficielles.

3-6. Impacts de la remontée des eaux sur l'environnement

L'analyse des photos satellite de la zone d'étude, montrent les conséquences de la remontée sur l'environnement dans la zone d'étude dans la période étendue de 1987 à 2009. **Photo 1 de 1987**: dans les années 80, le problème de la remontée des eaux a été en début, on voit encore (*Figure 8*), l'existence des palmeraies dattiers cultivés dans des cratères artificiels appelés (ghout). Les palmeraies dictent une forme de croissance fortement linéaire, le long d'une dépression nord-sud. Les zones urbaines limitant les ghouts de côté ouest [5], on voit aussi que l'agriculture est exercée seulement dans les ghouts.

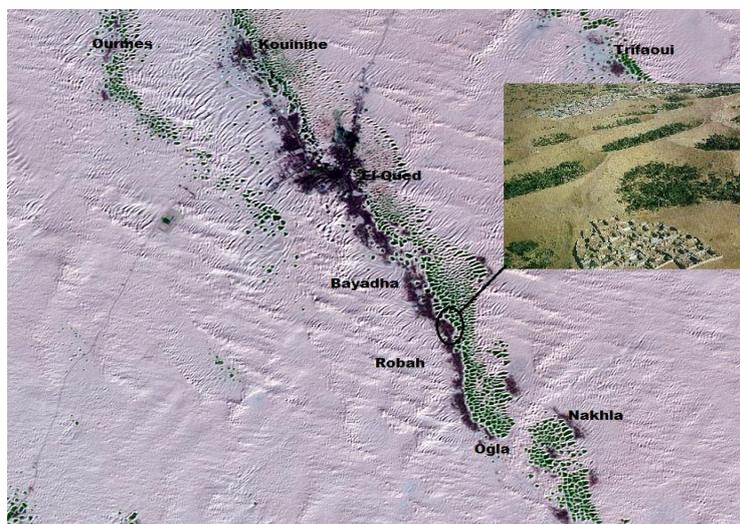


Figure 8 : photos satellite de la zone d'étude en 1987

Photo 2 de 2000: nous remarquons la disparition des palmeraies et noyage des ghouts [6-20] (**Figure 9**), où on constate que plus de 1000 Ghouts inondés sur un total de 9500 à la commune d'El Oued seulement. Ceci s'est traduit par une perte de plus de 150000 palmiers dattiers, à cause de l'asphyxie, selon la direction agricole d'El Oued. Cette disparition est traduite par remplacement de le couleur vert dans photos 1 par le couleur noir dans la photos2, le tissu urbain se repousse ver l'ouest, a cause de la croissance démographique, le couleur bleu ciel dans la partie nord représente les eaux de surface apparues dans les zones de dépression (Sidi Mestour, hôtel Louss, Chot et zone de rejet de la ville d'El-Oued). Les habitants commence à exercé la culture sur la surface en dehors des ghouts inondés, comme à Nakhla, plantation de Mehri et Bayadha.

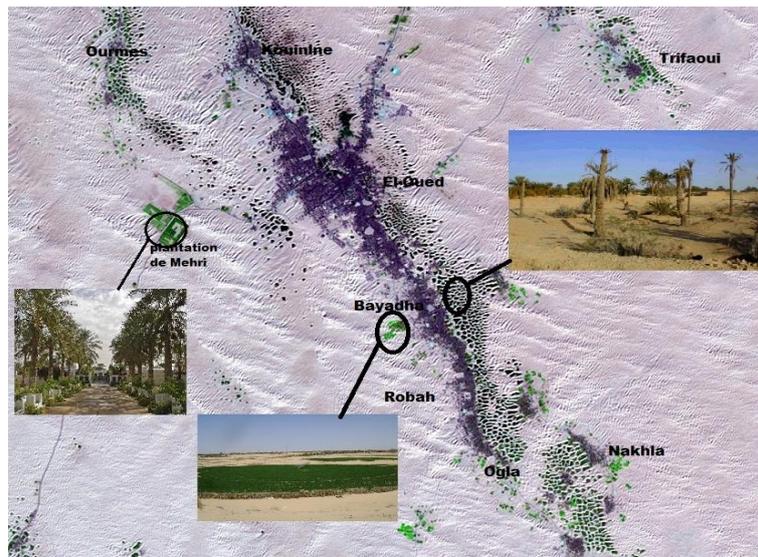


Figure 9 : photos satellite de la zone d'étude en 2000

Photo 3 de 2005: les roseaux repousse dans les ghouts inondés est remplaçants les palmeraies morts, les zones agricoles connues une très grande extension sur toute la zone d'étude [20] (**Figure 10**), les agriculteurs ont profité des aides de gouvernement pour construire des nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique pour irrigués les surfaces cultivés, causant une baisse locale de niveau piézométriques, surtout au sud ; Ogla, Nakhla et Robah. Par contre à la ville d'El-Oued, le niveau d'eau ne s'asse pas à accroître, la superficie de la zone de rejet (nord de la ville) agrandie entre 1987 et 2005.

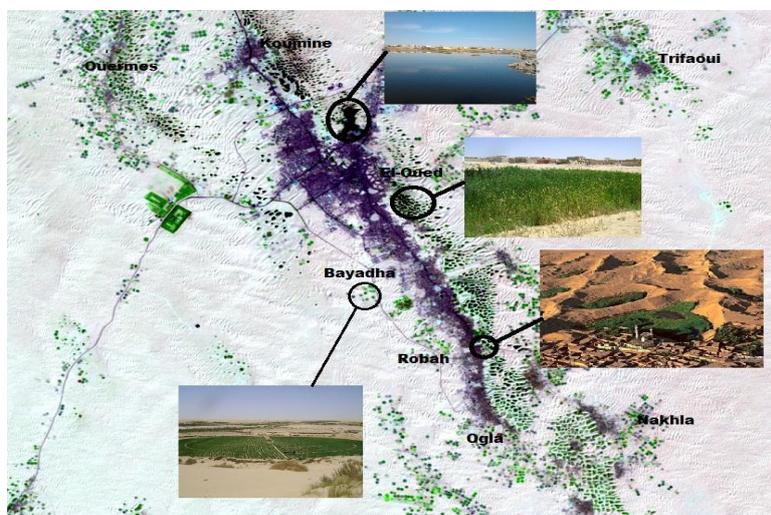


Figure 10 : photos satellite de la zone d'étude en 2005

Photo 4 de 2009: devant les risques des ghouts inondés sur l'homme et l'environnement (crient un milieu idéale pour la croissance des moustiques, source probable des maladies à transmissions hydrique), le service de l'hydraulique a décidé de rempilai les ghouts avec de sable dunaire. Les zones agricoles deviennent de plus en plus abondantes (*Figure 11*), elles ont données à la région une autres identité économique comme une région agriculture des légumes et de pomme de terre.

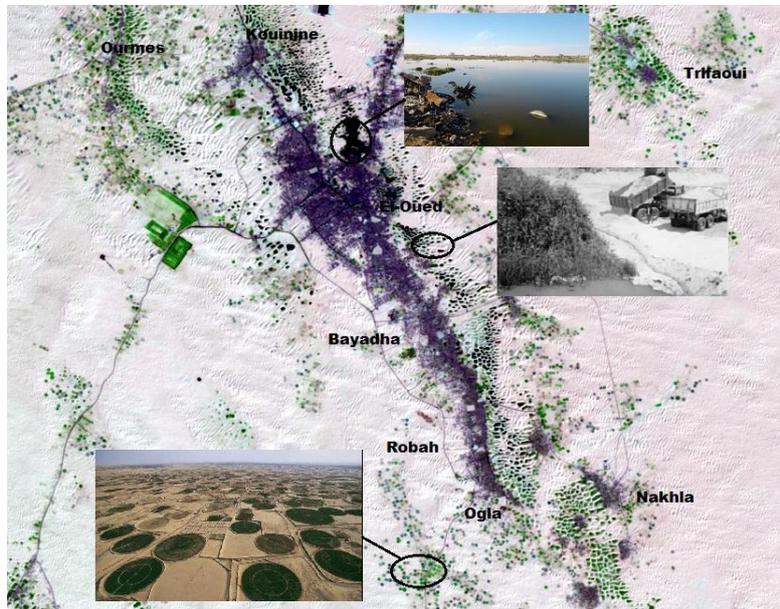


Figure 11 : *photos satellite de la zone d'étude en 2009*

4. Conclusion

La mauvaise gestion des ressources hydriques est la cause principale de la remontée des eaux, la surexploitation des nappes profondes et l'évacuation des eaux résiduelles vers la nappe phréatique avec des quantités énormes dépassent la capacité de transfert hydraulique souterrain de la nappe, vers l'exutoire naturel (chotts). Les conséquences de cette remontées est le noyage des ghouts et la perte des palmeraies dattiers, la propagation de la pollution bactériologique dans la nappe, la contamination des eaux par les nitrates d'origines domestiques et agricoles, la forte minéralisation d'eau à cause de l'évaporation à partir des surfaces d'eau libres ou de faible profondeur et la modification des paysages dans la zone d'étude.

Références

- [1] - S.Khechana, F.Derradji, A. Derouiche, « 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*, vol. 2, n° 2, 2010, p. 22-36.
- [2] - Oss. « Système Aquifère du Sahara Septentrional, gestion commune d'un bassin transfrontière », Edition Observatoire du Sahara et du Sahel. (2003)
- [3] - M. COTE, (1998), « Des oasis malades de trop d'eau », *Sécheresse*, John Libbey Eurotext, Paris, 9(2) :123-130.
- [4] - BG (Bureau d'étude Bonard et Gardel). « Vallée du Souf : Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique ». Mission II. (2002). 111p.

- [5] - H. M. N. Boubir et F. Abdallah. « Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El Oued au bas Sahara algérien ». *Environnement Urbain / Urban Environment*, vol. 3, (2009), p. c-1-c-18.
- [6] - B. Remini. « La disparition des ghouts dans la région d'el oued (Algérie) ». *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°5, Juin 2006, pp.49-62
- [7] - CORNET A. « Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique » Vol.VI. (1964). fasci, pp.5-72.
- [8] - UNESCO. Projet ERESS. « Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet », Paris (1972). 100 p.
- [9] - M.SENOUSSE et M.A.AOUAT, « Etude géophysique par sondages électriques de la région de Souf », Rapport ENAGEO (1992). 40P.
- [10] - I. MESSEKHER et M.R. MENANI, « Evolution de la piézométrie de la ville d'Oued Souf (entre 1993, 2002 et 2007) », Colloque International GIRE, Département des Sciences de la Terre, Univ. Batna(2009), 05 p.
- [11] - A.Meziani, H. Dridi et M. Kalla, « La remontée des eaux profondes dans le Souf-Sahara Algérien », Actes du colloque international : énergie, changement climatiques et développement durable, Djerba, (15-17 Juin 2009), Tunisie, P. 5.
- [12] - S.Khechana et al, « La remontée des eaux de la nappe phréatique dans la vallée de Oued-Souf : Problématique et vision historique », Actes des premières journées d'étude sur la remontée des eaux dans la région d'El-Oued, 20-21 avril 2008, El-Oued, Algérie,
- [13] - S.Khechana et al, Caractéristiques Hydrochimiques Des Eaux De La Nappe Phréatique Du Vallée d'Oued-Souf (SE Algérie), *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.62 No.2, (2011). pp. 207-215.
- [14] - M.Chebbah, « Minéralisation des eaux de la nappe phréatique dans la vallée du Souf -caractérisation, origine et distribution », Actes des premières journées d'étude sur la remontée des eaux de la région d'El-Oued, 20-21 avril 2008, El-Oued, Algérie.
- [15] - A. Meziani et al, « The Aquifer System of the Souf Valley Algerian Northern Sahara », *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.65 No.3,(2011), pp. 416-423.
- [16] - M.DJIDEL, « Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie) ». Th. Doctorat, (2008), Univ. de Annaba, 208 p.
- [17] - M .Daddi Bouhoun et al, « Effets de la remontée des eaux phréatiques sur la salinisation des sols dans les Ghouts à Oued Souf (Sud Est Algérien) », *les annales des sciences et technologie*, vol. 3, n°1, (2011), Ouargla, Algérie, p. 25-27.
- [18] - M.Daddi Bouhoun et L. Brinis , « Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué gypso-salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla », *J. Algérie. Rég. Arides*, N° spécial, (2006), p. 17-20.
- [19] - A.Meziani et al, « la reutilisation des eaux usées dans la région du souf-sahara algerien », *Revue Canadian Journal of Technology and Scientific Management*, Vol.1(2012), Issue1, P.1-06.
- [20] - DE (Direction de l'Environnement d'El-Oued), « Rapport de dégâts de la remontée des eaux et pollution de la nappe superficielle d'El-Oued », (2009), 19p.