

REMONTÉE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE DU SOUF. CONSÉQUENCES ET SOLUTIONS ENVISAGÉES

**ISHAK MESSEKHER*, NABIL CHABOUR,
MOHAMED REDHA MENANI**

Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique, dans les régions du Sud algérien et en particulier dans la région d'Oued Souf, a pris des proportions alarmantes, concernant la pollution et la dégradation de l'environnement. La remontée de la nappe phréatique a fait que le niveau de la surface des eaux souterraines dépasse, parfois, le niveau du sol, notamment, au niveau des ghouts. Ces derniers sont des dépressions creusées par les paysans, pour permettre aux racines des palmiers d'atteindre, facilement, la zone saturée de la nappe. Cette remontée a provoqué la formation de marres d'eau stagnante, ce qui a pour effet la dégradation des habitations, l'eutrophisation des eaux et de là les mauvaises odeurs, la pollution de la nappe superficielle et l'apparition de maladies. Il s'agit, en grande partie, d'un problème d'assainissement rendu difficile du fait de la nature géographique de la région, présentant un système hydrographique endoréique. Le surplus de l'eau emmagasiné dans la nappe phréatique provient des eaux des nappes profondes (Continental Intercalaire et Complexe Terminal). Le problème réside dans la mauvaise gestion des eaux et de l'absence d'un réseau d'assainissement. Des projets de lutttes contre cette remontée ont été programmés et ce depuis les années 90 et qui consistent justement en l'assainissement, le drainage et l'épuration des eaux.

Mots clés : sud algérien ; Oued Souf, remontée des eaux ; zone aride ; assainissement .

1. Introduction

Cette contribution s'inscrit à la suite de travaux entrepris aussi bien dans un cadre de recherche scientifique (Cote, 1993-2001), dans un cadre de suivi régulier du système aquifère par l'Agence Nationale des ressources hydrauliques (ANRH, 1993-1999), l'Agence des Bassins Versants du Sahara (ABHS, 2004), de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya (DHW, 2004-2006) et de la Direction de l'Environnement (DE, 2003) que d'étude d'engineering afin de résorber le problème de remontée des eaux dans la région du Souf, plus particulièrement dans la zone de la ville d'El Oued (Bonnard et Gardel, 1998-2006) (Hydroprojet Ouest, 2000-2004). En effet, depuis plus de trois décennies, la

* Faculté des Sciences de la Terre, Université de Tebessa, imessekher@yahoo.com

vallée du Souf est confrontée à un épineux problème aux dimensions multiples et aux conséquences dévastatrices sur l'écosystème. Le recours aux eaux souterraines plus profondes par l'exploitation de forages captant les aquifères du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT) du grand système aquifère du Sahara septentrional (SASS), pour la satisfaction des besoins d'irrigation et d'AEP et l'extension de l'urbanisation dans certaines agglomérations suralimentées en eau (plus de 450 l/j/ habitant) mais insuffisamment couvertes par des réseaux d'assainissement, a accéléré la hausse des niveaux hydrostatiques des nappes phréatiques et la formation de lagunes, accentuant ainsi le phénomène de la remontée des eaux. Cette situation d'excès d'eau a perturbé l'écosystème oasien et a engendré une situation de crise aux conséquences catastrophiques multiples : contamination et pollution de la nappe phréatique par des rejets d'eaux usées massifs ; asphyxie et dépérissement de palmeraies, transformées en marais où les roseaux prennent la place des palmiers ; détérioration du tissu urbain traditionnel et menace d'effondrement de certaines constructions en matériaux locaux ; inondation de certaines parties basses de la ville d'El Oued ; apparition d'épidémies et de maladies parasitaires à transmission hydrique.

Ainsi, une attention particulière a été accordée à la nappe phréatique, qui sera étayée et largement étoffée dans le cadre du mégaprojet initié par le ministère des ressources en eau, et notamment à travers les 58 forages situés au niveau de la ville d'El Oued. Ces forages s'inscrivent dans le lot portant référence : « Lot N°3 : Drainage vertical des eaux résiduaires et mesure de luttés contre la remontée » (ONA, 2007 ; Messekher, 2010).

Dans le cadre de ce projet des mesures destinées à stopper ou à inverser le phénomène de la remontée de la nappe phréatique ont été appliquées dans la région. Les résultats du suivi des fluctuations de la nappe effectué durant la période 2007/2008, confortent la perduration du phénomène, notamment en zone urbaine, alors qu'à la périphérie, des rabattements de la nappe pour un usage agricole se font sentir.

2. Situation géographique

La Wilaya d'El-Oued est située au Nord-Est du Sahara Septentrional (*Fig.1*). Elle est occupée dans sa quasi-totalité par une chaîne de dunes (grand erg oriental), étant limitée au Nord par la zone des chotts (Mérrouane et Melghir) et au Sud par l'extension de l'Erg oriental.

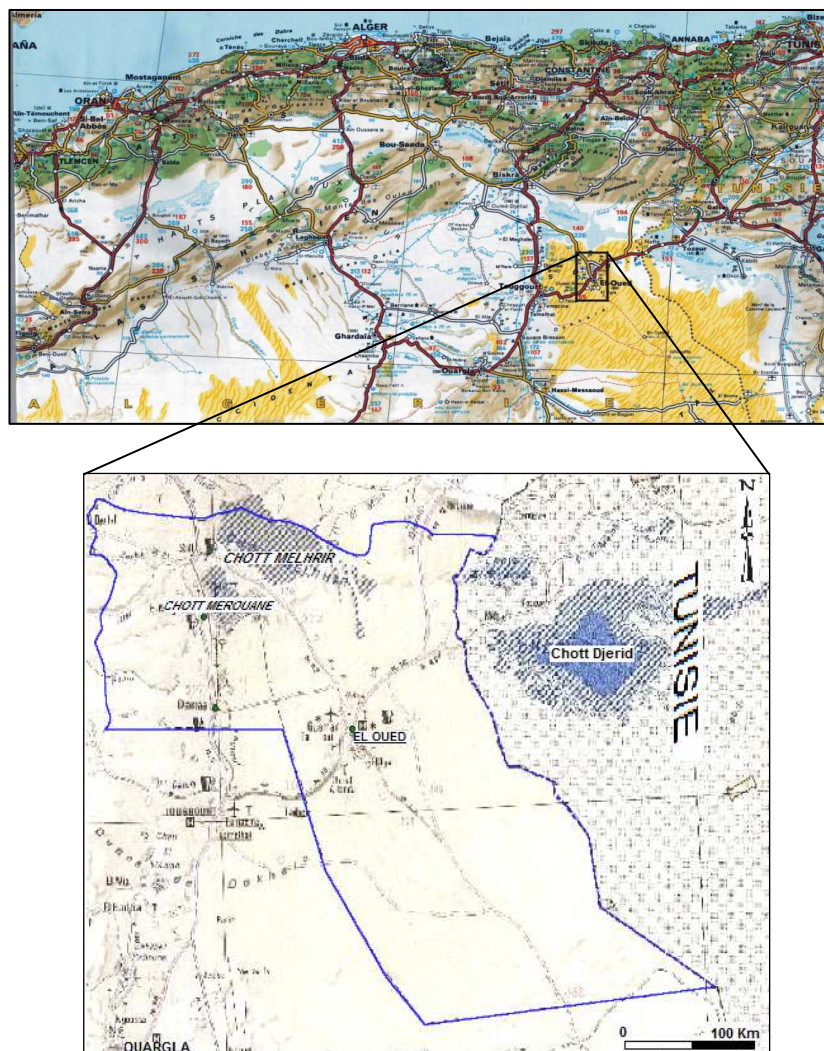


Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude

L'économie de la région est essentiellement basée sur la phœniciculture dont une grande partie est localisée dans les ghouts. Avec un nombre avoisinant les 10 000 ghouts, cette culture occupait une aire de 9500 ha entre 1990 et 2000 notamment dans le sud de la zone d'étude. La spécificité du système de culture utilisé était fondée sur la plantation des palmiers au fond de vastes cratères (ghouts), réalisés par l'homme (Fig. 2), et permettant aux arbres de puiser directement par leurs racines l'eau de la nappe phréatique proche. Le système d'irrigation traditionnel qui reposait sur les ressources de la nappe phréatique,

assurait un équilibre entre les besoins et les ressources en eau. Ce système de culture est bien adapté au milieu (erg), mais fragile parce qu'il est étroitement lié au niveau de la nappe, dès que le niveau de celle-ci s'abaisse (cas au milieu du XX^e siècle), ou s'élève (cas actuellement), l'arbre risque de mourir d'insuffisance ou de trop d'eau. La vallée du Souf (*Fig.1*) qui est concernée par cette étude s'étend sur 3000 km² et présente une configuration géographique caractérisée par une topographie plane et sans exutoire. Les altitudes varient de 75 m à El Oued à – 6 m à Meghaier qui est située à environ 150 Km au NNW d'El Oued.



Fig. 2. Vues de Ghouts (in Remini, 2008)

3. Hydroclimatologie

Sur le plan orographique, le Sahara septentrional, auquel est rattachée la zone d'étude, est limitée sur les bordures, par des reliefs qui sont principalement des chaînes montagneuses (l'Atlas saharien) et des plateaux (Dahar, Tademaït, Tnirhert, etc.). Avec un réseau hydrographique relativement peu dense et à moitié fossilisé, ce bassin s'individualise en trois sous-entités qui sont les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental et le plateau de la Hamada El Hamra.

Le réseau hydrographique est marqué par la présence de chotts situés dans la partie Nord de la vallée, dont les plus importants sont chott Mérouane et chott Melghir (point le plus bas d'Algérie : – 34 m) et qui constitue le réceptacle endoréique des oueds qui descendent du flanc méridional de l'Atlas saharien.

La vallée du Souf est caractérisée par un climat aride avec un été chaud et sec (moyenne de Juillet 34°C), un hiver plutôt doux (janvier : 11°C). La température moyenne annuelle avoisine les 22°C, et les écarts diurnes de température sont importants en toute saison (ONM, 1990-2000).

La vallée est caractérisée également par une faible pluviosité. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 70 mm ; la région du Souf est située entre les isohyètes 60 et 80 mm (*Fig.3*). Le mois de janvier est le mois

le plus pluvieux (env. 15 mm) et juillet le plus sec (moins d'un mm en moyenne). Une très forte évaporation caractérise également le climat de la région (classé comme climat hyper aride dans le climogramme d'Emberger).

La région d'El Oued à l'instar de tout le Sahara présente une année hydrologique caractérisée uniquement par une période sèche, même pour le mois de Janvier qui est marqué par la température la plus basse (10,67°C) et la précipitation la plus élevée (14,65 mm).

Le bilan hydrique pour une période de 30 ans (1976-2006) de la vallée de Oued Souf enregistre un déficit moyen annuel estimé à 1057,79 mm (ONA/HPO/BG, 2004).

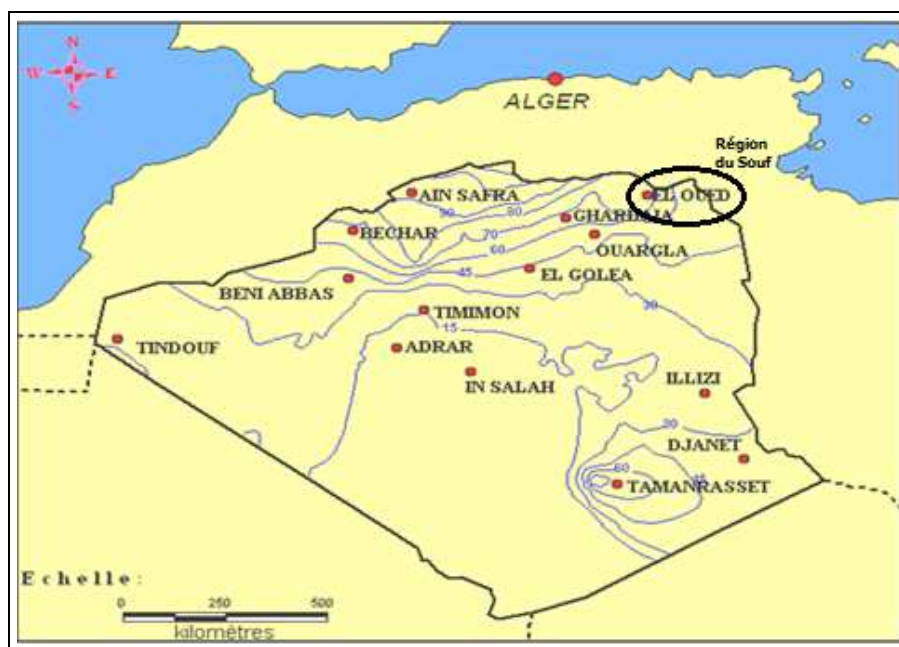


Fig. 3. Carte en isohyètes moyennes annuelles (mm) au Sahara algérien (ONM, 1998)

4. Définitions sommaires du cadre géologique et hydrogéologique

4.1. Le Système aquifère du Sahara Septentrional (SASS)

Le cadre géologique de la vallée du Souf est indissociable du cadre régional qui est celui du bassin du Sahara Septentrional. Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes (Fig. 4) : la formation du Continental Intercalaire (CI) la plus profonde, et celle du complexe terminal (CT) (Bel et Demargne, 1966)

(Bel et Cuche, 1970) (Guendouz, 1985). Ce système transfrontalier recouvre une étendue de plus de 1 million de km² dont 700 000 se trouvent en Algérie, près de 80 000 en Tunisie et 250 000 en Libye (OSS, 2003).

4.2. L'aquifère quaternaire

L'aquifère quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres, de géométrie variable (dépressions, dômes et sillons) . Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-Est de la région d'étude.

Les formations récentes du Quaternaire forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement dans la partie Nord-Est où il se termine par une croûte gypseuse. Son substratum est argileux (imperméable). Le sommet de ce substratum est sableux par endroits et gypsifère en d'autres.

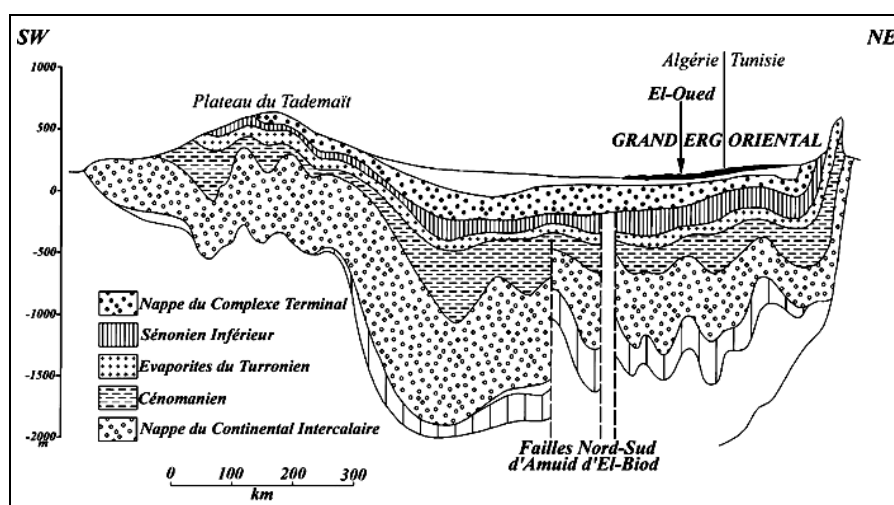


Fig. 4. Coupe hydrogéologique du SASS (in Moula, A. S. et al., 2005)

Etant le siège de nombreux mécanismes hydrogéologiques et hydrochimiques, la nappe phréatique du Souf a été étudiée et examinée depuis bien plus d'une décennie. Une campagne de prospection géophysique réalisée par l'Entreprise Nationale de Géophysique (Senoussi et Aquat, 1992), ainsi que de nombreux rapports de suivi et de surveillance établis par la DHW d'El Oued, l'ANRH, et l'ONA, ont constitué une précieuse base de données pour la connaissance de la géométrie de cet aquifère et l'étude de l'évolution de la surface piézométrique et des mécanismes régissant son hydrodynamisme.

Concernant la vallée du Souf dans son ensemble, les mesures piézométriques effectuées par BG – HPO entre 2001 et 2006 ont constitué une base de données appréciable que nous avons complété par des mesures effectuées par COSIDER TP en 2006 (dans le cadre du projet de lutte contre la remontée du niveau de la nappe phréatique- lot « drainage vertical »), sur 58 forages situés dans leur majorité au niveau de la ville d'El Oued. Le traitement de l'ensemble de ces relevés piézométriques a permis la réalisation d'une carte piézométrique actualisée basée sur un relevé des niveaux d'eau effectué sur 177 puits.

5. Aperçu sur la qualité des eaux de la nappe phréatique

Les eaux de la nappe phréatique du Souf, de qualité chimique très dégradée, sont caractérisées par une minéralisation très élevée (Moulla *et al*, 2005). Les faciès chimiques prédominants sont sulfatés à chlorurés sodiques, typiques des régions évaporitiques et sont répartis d'une manière diffuse à travers toute la vallée.

La présence des nitrates dans les eaux souterraines est généralement considérée comme un indicateur de pollution d'origine agricole. Ils proviennent également de l'azote organique du sol ainsi que des eaux usées domestiques non traitées. La teneur admissible fixée par l'OMS est de 45 mg/l. Selon cette norme, la plus grande partie de la zone est au-dessus du taux acceptable pour l'eau de boisson. Les rares endroits où le taux de nitrates est inférieur à 45 mg/l sont :

- les plantations irriguées par des forages du CT au domaine Daouia, à Foulia et à Hobba par dilution des nitrates par l'eau des nappes profondes,
- dans les ghouts ennoyés recouverts de roseaux et au niveau du rejet d'El-Oued par utilisation des nitrates par les roseaux,
- quelques points localisés où la dénitrification a pu s'effectuer correctement.

6. Chronologie et suivi du phénomène de la remontée de la nappe phréatique

Les premiers signes d'une remontée de la nappe phréatique sont visibles dans les ghouts, car la profondeur de l'eau y est, en temps normal, de l'ordre de 1 à 2 mètres. Une remontée de 1,5 mètres aura comme conséquence l'apparition de traces d'humidité. Au-dessus, on observera l'apparition de roseaux puis d'eau stagnante.

Cote (1998) a observé en 1993 le développement de plusieurs zones présentant des signes de remontée tels que ghouts humides, ghouts envahis de roseaux ou ghouts ennoyés (*Fig. 5*). Ce sont, de la plus petite à la plus grande, les zones de : Mihouensa – Oued Alenda – Reguiba – Hassani Abdelkrim/Z'Goum – Ourmes/Douera – El Oued/Ogla à Guemmar.



Fig. 5. Etendue d'une remontée

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région du Souf est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle. D'après les données contenues dans les rapports de Marc Côte (1993-2001), complétées par BNEDER (1992-1993 et 1994) ; ANRH (1993) ; ANRH (1994), l'inventaire des Forages et l'enquête sur les débits (ANRH 1999), on peut établir l'historique suivant :

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 eu comme conséquence une surexploitation avec en corollaire un abaissement lent et progressif de la nappe. Dans les années 1940, la baisse était déjà de l'ordre de 0,5 m au sud d'El-Oued, 1 m à El-Oued, 1,5 m à Kouinine et 2 m au nord de Kouinine.

• De 1956 à 1993

- En 1956, un premier forage moyennement profond captant le Complexe Terminal (CT) a été creusé pour l'AEP d'El Oued et entre 1957 et 1969, environ un nouveau forage par année a été exécuté dans le CT .
- En 1969, suite à de fortes pluies, une remontée générale de la nappe a été constatée avec l'inondation de 150 ha dans la région de Magrane et Hassi-Khalifa. La nappe est progressivement redescendue par la suite.
- De 1970 à 1980, environ 2 forages par année ont été réalisés dans le CT et dès 1980, on observe les premiers ghouts envoyés 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 locales.

- Entre 1980 et 1997 une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le CT. En 1986 et 1987, trois forages profonds, au Continental Intercalaire (C.I.), ont été exécutés, deux d'entre eux sont exploités pour l'alimentation en eau potable (AEP) d'El Oued, le troisième à Khalifa, pour l'agriculture, est fermé. Ils sont fortement artésiens, et les débits, de l'ordre de 200 litres/seconde, sont de 5 à 10 fois plus importantes que ceux des forages dans le CT.
- En 1993, la nappe avait ennoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine – Robbah. Un réseau de surveillance de la nappe phréatique est mis en place et une série de recommandations émises (recommandations, reprises de l'Etude hydrogéologique de la région d'El Oued – Contributions au problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique ; ANRH 1993).

- **Entre 1993 et 2000**

- Une série d'investigations ont été entreprises pour connaître les caractéristiques géométriques, géologiques, physico-chimiques et bactériologiques de l'aquifère et un important travail de recensement et de supervision des forages existants a été entrepris.

- **2002 – 2003**

- L'évolution du niveau de la nappe phréatique a été modélisée pour les 18 chefs-lieux des Communes de la vallée du Souf. Les projections à l'horizon 2030 indiquent qu'en l'absence de réseau d'assainissement, la nappe pourrait monter plus de 6 mètres à El Oued et que dans cette ville la nappe monterait encore de 2,5 m même avec un réseau d'assainissement. Dans les autres chefs-lieux, la montée est moins importante mais un réseau d'assainissement serait nécessaire pour stabiliser la nappe.

- **Post 2006**

- Consécutivement aux études précédentes et afin de résorber la remontée de la nappe phréatique, des travaux de fonçage de puits et de drainage horizontal sont réalisés (une cinquantaine de forages dans la ville d'El Oued). D'autres mesures, liées beaucoup plus aux comportements des populations vis à vis de ce problème et à même de contribuer à limiter la remontée de la nappe phréatique peuvent être envisagées. Ces mesures sont exposées en dernière partie de cette note.

7. Profils de la nappe phréatique

Les profils de la nappe phréatique montrent les fluctuations du niveau piézométrique, indiqué en bleu, par rapport au terrain naturel en vert sur la figure 6, et font ressortir les zones où la remontée est la plus significative.

Le profil 1 : Il passe par les principales agglomérations. La nappe ennoie les ghouts près de celles-ci. Au Nord, elle s'approche de la surface du sol.

Le profil 2 : La nappe est profonde à l'ouest et au centre, très proche de la surface du sol près de Magrane. Elle est déprimée sous les zones de cultures.

Le profil 3 : À l'ouest et à l'est la nappe reste relativement proche de la surface notamment au voisinage des agglomérations de Taghzout et Hassani Abdelkrim, au centre elle s'en éloigne significativement.

Le profil 4 : Il met en évidence la remontée sous les zones d'alimentation que sont la plantation Daouia (irriguée à partir du CT) et l'agglomération d'El Oued.

Le profil 5 : Situé le plus au sud, il représente la nappe dans son état quasi naturel sauf à Oued Alenda où une dotation en AEP et des rejets massifs font monter la nappe localement.

Entre mars 1993 et avril 2006, une montée du niveau de la nappe phréatique a été constatée :

- Au niveau des plantations irriguées par les forages du CT de Foulia (1.4 m) et du domaine Daouia (3 m).
- Près du rejet de la ville d'El Oued au H090 (4.5 m).

Sous les agglomérations connectées au réseau d'alimentation en eau potable (AEP) et aux environs de celles-ci, le niveau monte parfois fortement (40 cm à 80 cm/an à El Oued) par infiltration des eaux (arrosage, eaux usées, pertes des réseaux).

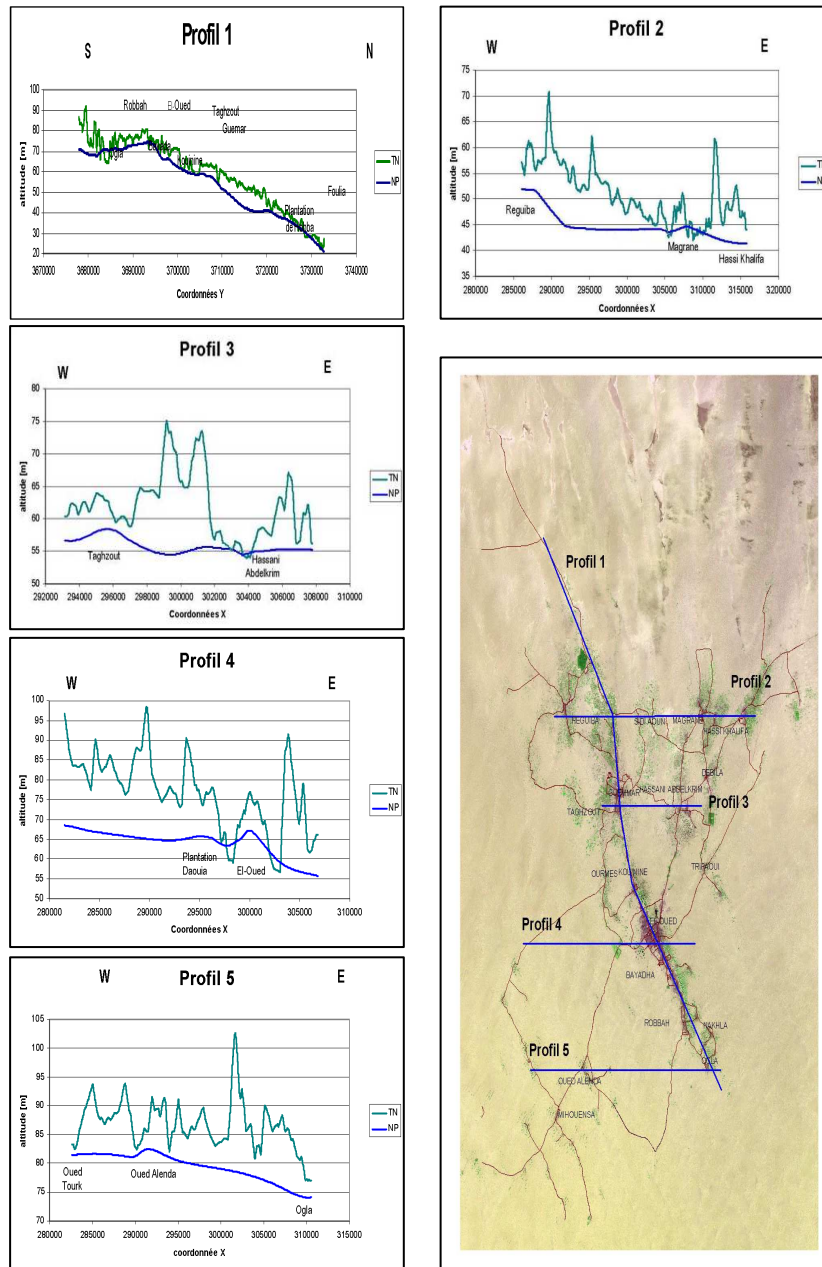


Fig. 6. Carte de situation (à gauche) et profils dans la nappe phréatique (TN : Terrain naturel ; NP : Niveau piézométrique)

Dans la quasi-totalité du reste de la zone d'étude, un rabattement a par contre été observé, atteignant 5,8 mètres au NE de Guemmar, 2,1 mètres dans la région de Reguiba, 1,9 mètres dans la région de Hassi Khalifa, 1,7 mètres au sud de Nakhla et 1,7 mètres dans la région de Oued Turk. La baisse du niveau de la nappe phréatique est bien réelle dans les zones agricoles.

8. Cas particulier de la ville d'El Oued

Les mesures piézométriques effectuées en avril 2002 dans la ville d'El Oued mettent en évidence une montée de la nappe phréatique qui peut dépasser 0,5 m en un an (entre avril 2001 et avril 2002) dans les parties hautes de la ville.

Le bilan d'eau établi pour l'année 2001 présente un solde positif de 22000 m³/jour (260 l/s) entre les entrées provenant des forages au C.I et au C.T et les sorties constituées de l'évapotranspiration, du drainage et de l'assainissement (BG, 2001).

De l'eau s'infiltré sous la ville à raison de 260 litres/seconde. La plus grande part s'écoule dans le sous-sol en direction des points bas et du Chott où elle s'évapore. Le solde, environ 10% qui n'a pas pu s'écouler (à cause de la faible pente et malgré une perméabilité relativement élevée) fait monter le niveau de la nappe de 0,5 m/an en moyenne.

Les relevés des niveaux d'eau des 58 forages de la ville d'El Oued, nous ont permis de dresser des cartes piézométriques relatives aux campagnes de mesures de février/mars 2007 et mai 2008 (relevés de l'ABHS Ouargla).

L'allure globale de la surface piézométrique reste sensiblement la même, avec un sens général d'écoulement s'orientant vers le nord-est dans les zones basses de la ville au lieu dit Sidi-Mestour. Nous avons noté que la remontée est toujours présente notamment dans la partie sud et sud-ouest de la ville où elle atteint en certains endroits plus d'un mètre, par contre en certains endroits la tendance est au rabattement avec une valeur maximale de - 0.60 m enregistrée dans la partie nord-ouest de la ville.

De crainte de voir l'équilibre déjà rompu devenir irréversible, plusieurs projets ont été envisagés pour contrecarrer le phénomène de la remontée de la nappe phréatique. C'est à cet effet qu'un programme qualifié de « méga-projet » visant l'étude, la réalisation et la gestion de mesures correctives en vue de pallier à ce phénomène a été adopté.

9. Mesures destinées à stopper ou à inverser le phénomène de remontée de la nappe phréatique. Mesures de correction

La pente de la nappe phréatique est faible et bien que la transmissivité soit élevée, les quantités d'eau qui s'écoulent vers l'aval sont peu importantes. Les apports d'eau extérieurs (C.I, C.T. ou rejets) restent pratiquement sur le site et font monter le niveau de la nappe en remplissant les pores du terrain, créant un dôme.

Pour arrêter ou inverser le phénomène de remontée de la nappe phréatique il faut surtout limiter les apports d'eau et/ou augmenter les sorties d'eau dans les zones affectées.

9.1. Actions pour limiter les apports d'eau

L'étude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation ainsi que les mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique ont été réalisés par l'ONA (Office national de l'assainissement) en collaboration avec les bureaux d'études et de conseils HPO/BG (Hydro-projet ouest et Bonard et Gardel) en 2004.

9.1.1. Réduction des fuites AEP

Le taux de fuites varie fortement d'une localité à l'autre. En 2001, le taux de fuites dans une ville comme El-Oued est de l'ordre de 30 % ce qui peut être considéré comme normal, l'action principale pour réduire le taux de fuites a été la limitation des heures de distribution d'eau, ce qui n'est pas forcément évident.

D'autres actions devront être prises, notamment :

- Pose de compteurs à la production et à la distribution.
- Diagnostic d'AEP et programme de recherche et réparation des fuites.

9.1.2. Réduction de la consommation

La consommation est relativement importante. L'arrosage des jardins se fait régulièrement avec l'eau de l'AEP. Dans les zones où la nappe est déficitaire, l'arrosage des jardins avec l'eau de l'AEP ne pose pas de problèmes, par contre dans les zones touchées par la remontée de la nappe phréatique, le rôle des zones vertes et jardins dans les zones urbanisées est négatif lorsque ces derniers sont irrigués à partir du réseau d'AEP (Khellef, 2006).

Action à entreprendre :

- Sensibilisation de la population.
- Interdiction de l'irrigation depuis le réseau d'AEP.
- Instauration d'une tarification progressive.

9.1.3. Limitation des plantations agricoles irriguées depuis le CT

L'eau de lessivage des sols des grands périmètres agricoles est responsable de la remontée de la nappe phréatique au niveau des domaines de Mehri, Hobba et Akfadou. L'eau du CT étant relativement salée (entre 4 et 5 g/l dans la région du Souf) (OSS, 2003), environ 5000 m³/ha/an sont nécessaires pour le lessivage des sols. En l'absence de drainage, pour une plantation de 100 ha, 500 000 m³ par année rechargent la nappe (ONA/HPO/BG, 2004).

Actions à entreprendre :

- Sensibilisation des irrigants.
- Création d'un organisme de gestion des espaces irrigués.

9.2. Actions pour augmenter les évacuations d'eau

9.2.1. Réseaux d'eaux usées

De la totalité de l'eau entrant dans une habitation, seule une vingtaine de litres par habitant et par jour est évaporée par les habitants et le ménage. Le reste est restitué comme eau usée ou utilisée pour le jardinage. Les systèmes de fosses septiques et puits perdus permettent une réinfiltration de l'eau usée localement et participent à la remontée de la nappe phréatique. La connexion au réseau d'assainissement de l'ensemble des habitations est une des conditions de réduction des réinfiltrations et par là même d'évacuation des eaux usées.

9.2.2. Réseau de drainage

Un réseau de drainage permet de contrôler la hauteur de la nappe phréatique. Il existe deux sortes de drainage : le drainage vertical et le drainage horizontal. Un réseau de drainage vertical, consiste en un réseau de puits dans la nappe phréatique équipés de pompes. En fonction du niveau souhaité, l'on pompe plus ou moins. Il est possible de varier la quantité d'eau pompée en fonction des besoins agricoles. Un réseau de drainage horizontal consiste en une série de drains qui ne seront effectifs que quand la nappe atteindra leur niveau.

9.2.3. Développement d'espaces verts irrigués à partir de la nappe

La plantation d'arbres dans des zones où la nappe phréatique se trouve à moins de 5 mètres de profondeur ne demandera, à terme, pas d'irrigation, les racines puisant directement dans la nappe. Le développement d'espaces verts irrigués depuis la nappe phréatique doit être bien étudié. L'irrigation d'une ou deux rangées d'arbres sur plusieurs kilomètres coûte cher en termes d'irrigation et d'entretien pour un effet faible sur la nappe phréatique si l'irrigation est réalisée à partir de puits captant la nappe phréatique et contre-productif si l'irrigation est réalisée à partir de camions citernes remplis à partir de forages captant les aquifères du CI ou du CT.

9.2.4. Développement de zones agricoles irriguées depuis la nappe phréatique

Le développement d'exploitations agricoles irriguées depuis la nappe phréatique à l'intérieur ou aux alentours des zones touchées par le phénomène de remontée de la nappe joue un rôle important pour stabiliser ou inverser la tendance à la remontée. Sous l'effet de l'évapotranspiration, ces exploitations rejettent dans l'atmosphère 10000 à 15000 m³ d'eau/ha par an (ONA/HPO/BG, 2004).

9.2.5. Remblayage des ghouts

Le remblayage des ghouts ennoyés n'est pas une mesure pour inverser le phénomène, mais permet de limiter la prolifération de moustiques et de décharges en milieu urbain. Il évite que l'eau de la nappe se charge en sels par évaporation.

10. Conclusion

La vallée de Souf possède une réserve d'eau souterraine très importante qui est emmagasinée dans la nappe phréatique, la nappe du complexe terminal (CT) et du continental intercalaire (CI). Le système d'irrigation traditionnel qui reposait sur les ressources de la nappe phréatique, assurait un équilibre entre les besoins et les ressources en eau. Le développement économique dans les régions du Souf et l'accroissement démographique ont induit une forte demande en eau. Le recours aux eaux souterraines plus profondes par l'exploitation de forages captant les aquifères du CI et du CT, destinées aux besoins d'irrigation et d'AEP et l'extension de l'urbanisation dans certaines agglomérations suralimentées en eau (plus de 450 l/j/ habitant) mais insuffisamment couvertes par des réseaux d'assainissement, a accéléré la hausse des niveaux hydrostatiques des nappes

phréatiques et la formation de lagunes, accentuant ainsi le phénomène de la remontée des eaux. Cette remontée aux conséquences dramatiques et désastreuses tant sur le plan environnemental que socio-économique se poursuit à un rythme inquiétant de 50 à 60 cm par an (voir plus par endroits), surtout au niveau de certains quartiers de l'agglomération d'El Oued. D'une manière générale, les anomalies hautes correspondent aux villes et aux zones de cultures irriguées à partir des nappes profondes tandis que les anomalies basses correspondent aux zones agricoles éloignées des agglomérations et irriguées à partir de la nappe phréatique. Les variations de niveau piézométrique indiquent que le phénomène n'est pas stabilisé et que la tendance est à la hausse notamment en zones urbaines.

La dimension du problème est telle que sa résolution doit nécessairement s'appuyer sur une gestion intégrée, à travers les mesures correctrices énumérées et où le volet participatif des populations locales doit prendre une place importante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence Nationale de la recherche Hydrique (1993), « Etude hydrogéologique de la région d'El-Oued: contribution au problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique », *Rap. Tech ANRH*, Ouargla, 47 p.
- Agence Nationale de la recherche Hydrique (1999), *Rapport interne. Inventaire des Forages et Enquête sur les débits, vallée du Souf*.
- Agence des Bassins Hydrographiques du Sahara (2004), « Rapports et bilans sur les missions et les campagnes réalisées par l'ABHS. (Agence du Bassin Hydrographique du Sahara », Wilaya de Ouargla.
- BEL, F., DEMARGNE, F. (1966), « Etude géologique du Continental Terminal », *ANRH*, Alger, Algérie, 22 p.
- BEL, F., CUCHE, D. (1970), « Etude des nappes du Complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la reconstruction du modèle mathématique », *Rapp. Tech.*, Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'Ouargla, Algérie.
- BG / BONNARD, D., GARDEL, A. (1998), « Etude de la remontée de la nappe phréatique de la région de Oued Souf, Wilaya d'El-Oued », *Rapp. Tech. Final Ministère des ressources en eau*, Alger, Algérie.
- BG (2001), *Rapport Analyse multicritères du système de drainage*, Mission II-2001.
- BG – HPO (2006), *Mesures piézométriques effectuées entre 2001 et 2006 dans le Souf*.
- BNEDER (1993), « Schéma directeur de mise en valeur de la wilaya. Projet type d'exécution (zone du Souf) », *Rapport DE/302/93/08*, Wilaya d'El Oued, Direction des services agricoles. Bureau national d'études pour le développement rural, 191 p.
- COSIDER, T. P. (2007), *Fiches techniques et Rapports de fins de sondages. Projet : Réalisation du réseau d'assainissement et drainage vertical des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation et mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique de la vallée du Souf*.
- COTE, M. (1998), « Des oasis malades de trop d'eau », *Sécheresse*, John Libbey Eurotext, Paris, 9(2) :123-130.
- Direction de l'Hydraulique de la Wilaya (2006), « Enquête sur les exploitations et les besoins en AEP dans la wilaya d'El-Oued », *Extraits de Rapports Hydrogéologiques*.

- Direction de l'Hydraulique de la Wilaya (2004), *Enquête sur les exploitations et les besoins en AEP dans la wilaya d'El-Oued*.
- Direction de l'Environnement (2003), *Rapport sur les dégâts de la remontée des eaux dans la wilaya de Oued Souf*, 13 p.
- GUENDOOUZ, A. (1985), « Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est Septentrional (Algérie) », *Thèse 3^e cycle*, Univ. Paris-Sud, 243 p.
- Hydro Projet Ouest (2000), « Vallée du Souf. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique », *Tranche d'urgence. Diagnostic et travaux complémentaires pour l'exploitation du réseau existant de Tiksbet el Gara (centre d'El Oued)*. RADP, Ministère des ressources en eau, Agence nationale de l'eau potable et industrielle et de l'assainissement.
- HPO-BG (2001), « Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires contre la remontée de la nappe phréatique. Mission 1A, Diagnostic Réseaux eaux usées », *Rapport de synthèse*. RADP, AGEF. 6002.01/RNO16.
- KHELEF, K. (2006), « Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique de Oued-Souf (Sud-Est algérien) », *Thèse de Master*, École de Management EURO-MED, Univ. de Marseille, 108 p.
- MESSEKHER, I. (2010), « Etude hydrogéologique de la vallée de Oued Souf soumise à la remontée des eaux et perspectives de solutions palliatives », *Thèse de Magister*, Institut des Sciences de la Terre, Univ. de Batna, 130 p.
- MESSEKHER, I., MENANI, M. R. (2009), « 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, 05 p.
- MOULLA, A. S., *et al* (2005), « Hydrochemical and isotopic behaviour of a Saharan phreatic aquifer suffering severe natural and anthropic constraints (case of Oued-Souf region, Algeria) », *Hydrogeology Journal* (2006) 14: 955-968.
- Office National de l'Assainissement/ Hydroprojet Ouest / BG ingénieurs conseils (2004), *Vallée du Souf : Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation – Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Rapport final / Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau*.
- Office National de la Météo (2000), « Bulletins mensuels de relevés des paramètres climatologiques en Algérie de 1990 à 2000 », Centre Climatologique National (CCN), Dar El Beïda, Alger.
- Observatoire du Sahel et du Sahara (2003), « Système Aquifère du Sahara Septentrional », *Rapport interne*, Tunis, Tunisie, 229 p.
- REMINE, B. (2008), *Eau et irrigation traditionnelle en Algérie, problématique et stratégie*, Université Saad Dahlab Blida, Algérie
- SENOUSSI, M., AOUAT, M. A. (1992), « Etude géophysique par sondages électriques de la région de Souf », *Rapport ENAGEO* (1992).