

LA SUREXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES PLAINES LITTORALES : la nappe de Tézéza dans la plaine de Collo (Nord-Est algérien)

Reçu le 19/07/2004 – Accepté le 04/12/2004

Résumé

Située dans une des régions les plus arrosées de l'Algérie, la nappe alluviale de Tezezza (Collo- NE algérien) a fait l'objet de plusieurs études, C.G.G. (1965), UKRGUIPROVODKHOZ (1966), Descamps (1974), confirmant ses grandes potentialités hydrauliques. Cette nappe est drainée par deux oueds : oued Guebli et oued Chergui. La réalisation de deux barrages (Barrages de Guenitra et Benizid) et la surexploitation de la nappe a complètement reconfiguré la répartition piézométrique, provoquant l'abaissement du niveau de la nappe et l'apparition de plusieurs cônes de dépression. A cela s'ajoute la forte activité agricole utilisant des fertilisants et qui a pour conséquence l'augmentation des teneurs de certains éléments, notamment les nitrates. Les pompages excessifs ont provoqué l'avancée du biseau salé dans certaines zones où l'augmentation de salinité est à l'origine de l'abandon de certains forages destinés à l'A.E.P.

Mots-clés: Aquifère, contamination, nitrate, surexploitation, intrusion des eaux salées, plaines littorales.

Abstract

The alluvial aquifer of Tezezza (Collo-NE Algeria), situated in the most rainy district of Algeria, was subject of several studies confirming its high hydraulic features and important reserves. This aquifer is drained by two wadi (O. Guebli and O. Cherka). The building of dams and the overexploitation of the aquifer have completely changed the shape of potentiometric level of water, causing a lowering of water table and the appearance of many draw-down cones, in addition to massive agricultural activity which consequently increased nitrate concentration. Excessive water pumping also caused salt water intrusion in some areas where the salt rate is responsible of letting down some boreholes which used to supply drinkable water.

Keywords: Aquifer, contamination, nitrate, overexploitation, salt water intrusion.

N. CHABOUR

Laboratoire de Géologie & Environnement
Département des Sciences de la Terre
Faculté des Sciences de la Terre,
de l'Aménagement et de la Géographie
Université Mentouri
Constantine (Algérie)

ملخص

يقع السمامط النهري الترسيبي لتلزة (القل - الشمال الشرقي الجزائري) في منطقة من أكثر المناطق تساقطاً للامطار في الجزائر، وشكل محور عدة دراسات نظراً لخصائصه الهيدروليكية الهامة ومخزونه الكبير.

إنجاز السدين والاستغلال المكثف للسمامط غير كليا التوزيع البيزومتري وأدى إلى انخفاض المستوى وظهور عدة انخفاضات مخروطية، ضف إلى هذا وجود نشاط فلاحي معتبر، من نتائجه ارتفاع كمية بعض العناصر وخاصة النترات.

كما أدى الضخ الاستثنائي إلى تقدم الجيب الملحي في بعض المناطق، وبفعل الملوحة العالية توقفت بعض التنقيبات التي كانت مستغلة للتزويد بالماء الصالح للشرب.

الكلمات المفتاحية: السمامط، الاستغلال، المكثف، جيب الملحي، نترات.

Le développement économique d'une région exige une forte demande en eau. La surexploitation des ressources en eau crée des problèmes de disponibilité et de qualité. Les principales conséquences sont la baisse des niveaux d'eau dans les aquifères, la salinisation de ces eaux (intrusion des eaux marines ou actions anthropiques), la contamination par les pesticides et les substances azotées (conséquences des pratiques agricoles). Ces régions sont soumises à d'intenses activités agricoles et à une démographie accrue. Le développement des méthodes d'irrigation, et les pratiques culturales sous serres font que les terres sont pratiquement cultivées toute l'année. Une grande partie de ces terres sont urbanisées et souvent sans réseau d'assainissement. Tous les déchets et les eaux usées sont déversés directement sur le sol couvrant les aquifères. Cette pollution est préoccupante, car jusqu'à présent l'alimentation de la ville de Collo et de ses environs dépend de cette nappe. A part le volet microbiologique, l'indice le plus révélateur d'origine domestique et agricole est le composé azoté. Ces dernières années, l'eau, pompée et stockée dans les bâches, est rapidement envahie par les algues, ce qui est devenu une véritable préoccupation pour les autorités locales.

Cette recherche développe dans une première partie, un aperçu sur l'hydrogéologie de la zone illustrant les caractéristiques de la nappe (paramètres hydrodynamiques), le bilan hydrique ainsi que l'évolution de la piézométrie. Il en ressort, dans ce cas, malgré l'importante alimentation à partir des précipitations et des apports latéraux, que certaines zones, sont sujettes à de fortes baisses du niveau piézométrique dues à une

surexploitation. Cette baisse du niveau piézométrique, quand elle survient près de la mer, provoque l'intrusion des eaux salées marines vers l'aquifère. Dans la partie consacrée à la contamination par les nitrates, nous traiterons la distribution spatiale et temporelle de ces éléments ainsi que leurs origines possibles. Les valeurs limites de 50 mg/l fixées par l'OMS [1] sont largement dépassées, notamment au niveau de l'agglomération d'Ouled Mazzouz, zone très urbanisée et dépourvue de réseau d'assainissement.

1- LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA PLAINE DE COLLO

1.1- Le cadre géographique

La plaine de Collo fait partie du sous bassin versant de l'oued Guebli et a une forme quadrilatère allongé d'une longueur de 8 km et d'une largeur de 5 km le long de la mer. Le réseau hydrographique est représenté par essentiellement l'oued Guebli et l'oued Cherka.

L'oued Guebli, qui prend naissance sur les pentes septentrionales de kef Sidi Dris [2], a fait l'objet de plusieurs campagnes de mesures qui définissent un débit moyen de 2 l/s en août et de 620 l/s en janvier lors des grandes crues. L'oued Cherka, situé dans la partie ouest, prend naissance dans les zones marécageuses de Ghdir Mohkene. Le bassin versant de l'oued Guebli se trouve dans une zone à climat méditerranéen tempéré, avec un hiver très humide où les précipitations oscillent entre 800 et 1000 mm/an et peuvent atteindre les 2000 mm/an sur les massifs (Zitouna). Le calcul du bilan hydrique concernant le bassin versant de l'Oued Guebli nous donne : des précipitations moyennes de l'ordre de 1000 mm/an ; une lame d'eau écoulée de l'ordre de 810.90 mm [3] et de 1100 mm. [4]; le ruissellement et l'infiltration représentent ensemble l'excédent qui est estimé à 237.33 mm ou 32.67 % des précipitations ; le déficit des précipitations pour satisfaire l'évaporation réelle serait de 381.79 mm. L'évapotranspiration (E.T.R.) représente 67.32 %.

1.2- Un fossé d'effondrement dans le socle

La plaine de Collo se présente comme un fossé d'effondrement présentant une vallée taillée dans les massifs de roches rigides (granite, gneiss et schistes) [2]. Sur ce socle (Fig.1), se sont déposés des sédiments marins presque entièrement argileux formant le substratum imperméable de la nappe. Ces formations appartiennent au Miocène, constitué d'une alternance de marne et de grès tandis que le Pliocène renferme des marnes bleues. Ce substratum est percé de quelques pointements de roches métamorphiques (koudiat Telezza). Le Quaternaire est constitué de sables et graviers d'épaisseur variant entre 15 et 25 mètres. La partie sud est surmontée par une couche semi-perméable constituée de limons argileux et sableux, conférant à la nappe un caractère captif dans cette zone.

2- L'IMPACT DES BARRAGES ET DU POMPAGE SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA NAPPE

2.1- Les paramètres hydrodynamiques

Les meilleures transmissivités estimées à partir des essais de pompage, se trouvent dans une zone située à la

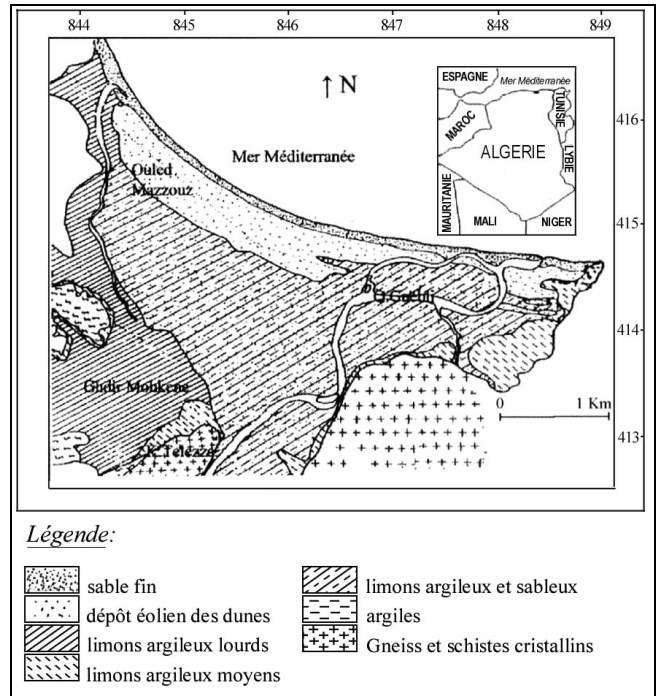


Figure 1: Carte géologique de la plaine de Collo.

rive gauche de l'oued Guebli au Nord-Est de Koudiat Telezza, au débouché de cet Oued sur la plaine. Elles varient entre $5.3 \cdot 10^{-2}$ et 10^{-2} m²/s. Il s'agit de la zone reconnue par la géophysique C.G.G. (1965) comme ayant une très bonne résistance transversale (épaisseur importante des formations graveleuses et sableuses). Ce qui a justifié l'implantation de la majorité des forages d'exploitation. La transmissivité décroît dans d'autres zones pour atteindre 10^{-5} m²/s. Les coefficients d'emmagasinement varient entre 4 % et 26 %.

2.2- la baisse du niveau d'eau et l'apparition de cônes de dépression

La recharge se fait, en partie, directement sur la nappe par les précipitations. Les massifs entourant la plaine participent pleinement à l'alimentation de l'aquifère avec les eaux de ruissellement. Ainsi, une très importante alimentation provient des massifs situés à l'ouest (Fig.2) et au sud-ouest. Il s'agit ici d'une zone tampon qui restitue toutes les eaux qui ruissellent à partir de tous les massifs situés à l'ouest de la nappe après leur infiltration sur les bordures de la plaine. Ces bordures ouest et sud-ouest sont formées de terrasses fluviales et de dépôts de cônes de déjection surplombant la plaine. La nappe reçoit, en outre, une alimentation latérale à partir de la nappe en gouttière de l'inféro-flux de l'oued Guebli et son affluent l'oued Aflassen. En période de crue, ces deux oueds participent, en outre, pleinement, à l'alimentation de l'aquifère de la plaine de Telezza. Depuis la réalisation des barrages de Guenitra (1984) et de Beni Zid (1993), le manque d'apport dans l'oued Guebli a provoqué l'abaissement du niveau des eaux souterraines de la nappe de Telezza, notamment dans la zone située à l'Est, au pied de koudiat Telezza. En revanche, la zone située à l'ouest ne semble pas être influencée et confirme l'importance de l'alimentation par

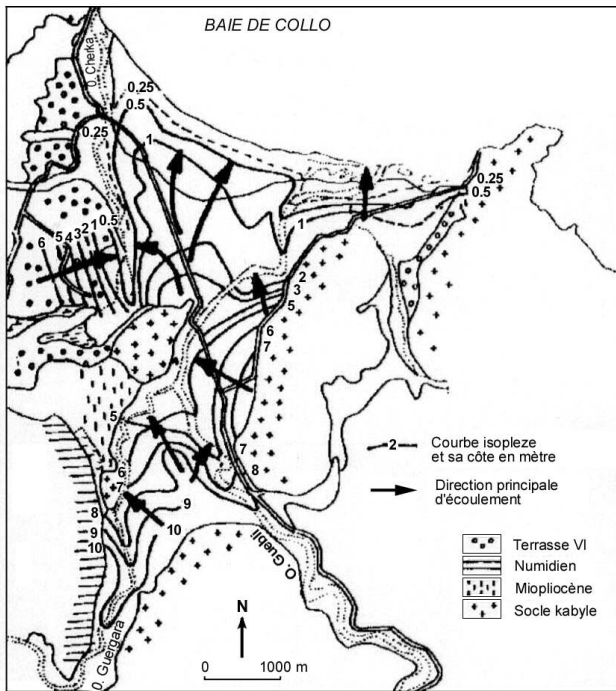


Figure 2: Carte piézométrique (Période hautes eaux ; 1965 C.G.G.).

les massifs ouest. La baisse du niveau d'eau dans les autres zones laisse apparaître un dôme piézométrique quasi permanent [5] dans différentes cartes établies à différentes périodes. A part les grandes périodes de crue, l'oued Guebli est en équilibre avec la nappe. L'écoulement est très lent en aval et forme une sorte de lac à l'embouchure vers la mer. L'oued Cherka prend naissance dans la zone marécageuse de Ghdir Mohkene et se termine par un marigot, ne débouchant sur la mer qu'en période de crue. Dans cette partie, c'est l'oued qui draine la nappe.

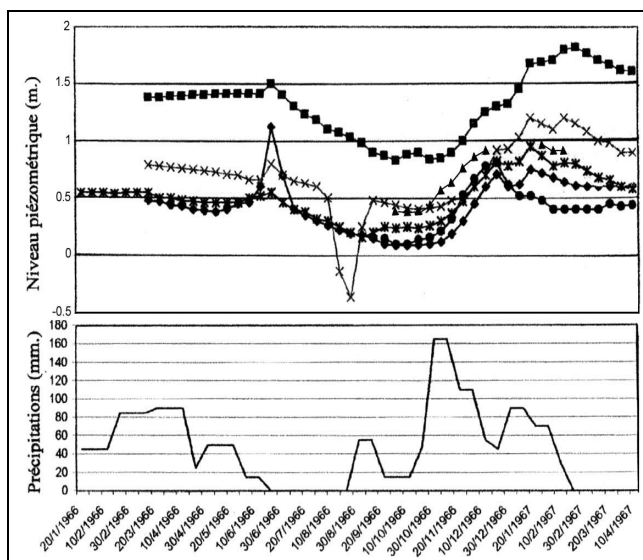


Figure 3: Relation précipitation-niveau piézométrique.

Les bonnes caractéristiques hydrodynamiques confèrent à la nappe une certaine nervosité. Les réponses de la nappe aux entrées sont relativement rapides et régulières. Le suivi du niveau piézométrique en fonction de la pluviométrie (Fig.3),

sur un cycle hydrologique et avec un pas de temps de 10 jours, montre une évolution régulière avec les précipitations. Il faut noter cependant que le niveau d'eau dans certains puits peut baisser sous le niveau zéro après la période d'étiage. Ces puits sont généralement situés près des forages d'exploitation et du rivage. Les cônes de dépression piézométriques qui se forment près du rivage provoquent souvent l'inversion du sens d'écoulement des eaux souterraines et sont, pour beaucoup, à l'origine de l'invasion de la nappe par les eaux salées marines.

Avant les années 70, la nappe était peu exploitée et donc non influencée. Les cartes piézométriques établies dans les années 60 (Fig.2), (cartes établies par la C.G.G. et la mission UKRGUIPROVODKHOZ) [6-7] montrent un sens d'écoulement orienté vers la mer. Les équipotentielles paraissent, à cette époque, parallèles au rivage avec, cependant, un infléchissement des courbes au niveau de l'oued Cherka.

Les équipotentielles, à cette époque, apparaissent, d'une manière générale, confirmant le drainage de la nappe par cet oued. Les niveaux piézométriques varient de 0.5 m près de la mer à 5 m au niveau de koudiat Telleza. Avec la multiplication des forages et l'intensification de l'exploitation (cartes récentes 2003), les cartes piézométriques (Fig.4) montrent une perturbation dans la répartition piézométrique avec apparition de cônes de dépression et de dômes piézométriques. La dépression située au Sud (nord-est de Koudiat Telezza) se trouve dans une zone très exploitée (presque la plupart des forages destinés à l'A.E.P. se trouvent dans cette zone). En revanche, au Sud d'Ouled Mazzouz, dans la partie occidentale de la nappe, on observe un dôme piézométrique (niveau atteignant jusqu'à 2 m), avec un écoulement vers le Nord (ouled Mazzouz) et un autre vers l'oued Cherka. Sur toutes les cartes piézométriques établies dans cette région, que ce soit en période d'étiage ou de crue [8-9], il y a une quasi-persistance d'un dôme piézométrique situé au centre de la plaine, sur la rive droite d'oued Cherka. Ceci confirme bien l'importante alimentation de la nappe à partir des massifs occidentaux.

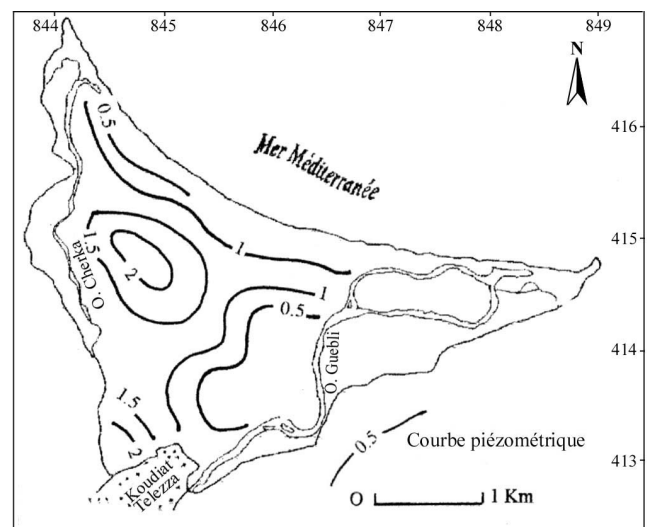


Figure 4: Carte piézométrique (période hautes eaux ; 2003).

3- LA DEGRADATION DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

3.1- L'évolution de la minéralisation des eaux

Initialement, les eaux souterraines de la nappe de Telezza étaient de bonne qualité. La carte des conductivités électriques établie par l'A.N.R.H. en 1974 [3] montre des valeurs variant entre 300 et 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'agglomération d'Ouled Mazzouz, ainsi que la partie sud d'Oued Cherka présente des plages de valeurs comprises entre 800 et 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces mêmes valeurs sont rencontrées dans la zone de captage située au Nord-Est de Koudiat Télézza, au niveau de l'oued Guebli. Dans ce secteur, la minéralisation, relativement élevée, provient des eaux souterraines de la nappe de l'inféro-flux de l'oued Guebli amont. En revanche, dans le secteur d'Ouled Mazzouz, la plage montrant des valeurs élevées semble être confinée au niveau de l'agglomération urbaine. Cette plage est limitée, aussi bien au nord qu'au sud, par des plages de valeurs de conductivité relativement basses. Et rien dans ce secteur ne prouvait, à cette époque, une quelconque intrusion des eaux salées par la mer. Par contre, la carte établie en 2003, montre une nette évolution des valeurs de conductivités dans la zone des captages. On observe au niveau des forages qui présentaient des valeurs inférieures à 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 1974, des valeurs de conductivité électrique dépassant les 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui a provoqué l'arrêt de pompage dans certains forages destinés à l'A.E.P. Il est évident que cette évolution de la minéralisation est due à l'invasion de l'eau salée à partir de la mer et du mouvement ascendant de l'interface eau douce – eau salée à la verticale du cône de dépression déterminé par le pompage (upconing). L'intrusion des eaux salées marines est un phénomène qui apparaît quand la salinité de l'eau de mer est plus forte que les teneurs en sel des eaux souterraines de la nappe. Dans les conditions naturelles, l'écoulement des eaux se fait en direction de la mer, alors que l'eau salée aura tendance à avancer, en profondeur, en dessinant une courbe dont la concavité est dirigée vers le continent. L'intrusion est stoppée à un certain point par l'écoulement des eaux douces. Une zone de transition se forme entre les eaux salines et les eaux douces. Cette zone de transition est souvent assimilée à un interface abrupt. Le développement des pompages (à proximité du rivage) se traduisant par l'abaissement du niveau piézométrique provoque l'avancée du biseau salé vers l'intérieur des terres. Une couche d'eau salée marine, probablement fossile, provenant d'intrusions dans l'aquifère durant les transgressions marines de la fin du Quaternaire, repose au fond des paléochenaux. Ces intrusions sont mises en évidence par l'étude géophysique réalisée par la C.G.G. [6] De ce fait, des pompages excessifs effectués dans des forages situés loin du rivage, à l'intérieur des terres, provoquent une remontée d'un cône d'eau salée qui peut atteindre le fond du forage [10].

3.2- la contamination par les nitrates

Les premiers signes d'alerte ont été donnés avec l'apparition et la prolifération des algues dans les eaux pompées et stockée dans des réservoirs. Il est prouvé que la principale action des nitrates est de favoriser une croissance

des populations d'algues dans les zones à faibles circulations ou au niveau des lieux de stockage et, par là, une eutrophisation des eaux. Les nitrates et les nitrites sont des ions naturels présents dans tout l'environnement. Ils sont tous les deux produits de l'oxydation de l'azote (présent dans l'atmosphère) par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau. Les nitrates sont la forme oxydée de l'azote qui est la plus stable mais ils peuvent être réduits en nitrites.

Les sources de nitrates dans les eaux souterraines comprennent les matières animales et végétales en décomposition, les engrais agricoles, les fumiers, les eaux usées domestiques [11] Les nitrates étant très solubles dans l'eau, l'excédent non absorbé par les plantes rejoint la nappe phréatique.

Les prélèvements des échantillons et le suivi des nitrates ont été effectués en premier lieu en mai 2002 puis en mai 2003. Les seules données antérieures datent de 1993 [9]. Durant l'année hydrologique 2003-2004, des prélèvements ont été effectués en septembre 2003 et janvier 2004. Ceci dans le but de connaître l'évolution des teneurs en nitrates en période d'étiage (période de fortes irrigations) et après les importantes précipitations automnales (l'année 2003-2004 s'est distinguée par une pluviométrie exceptionnelle). Il est à noter que durant la décennie des années 90, l'utilisation de certains fertilisants azotés a été interdite. Les résultats des analyses indiquent que les teneurs des éléments azotés ne représentaient, à cette époque, que le bruit de fond de la nappe.

Le nombre d'échantillon analysé en 1993 [9] s'élève à 37. A cette époque, les eaux de la nappe de l'inféro-flux située au sud de la plaine de Telezza étaient complètement dépourvues de nitrates. L'activité agricole dans cette région n'était pas très développée, et n'engendrait pas de contamination de la nappe de Telezza par les nitrates, à partir de ce secteur amont sud. Cinq échantillons seulement ont des concentrations comprises entre 50 et 100 mg/l et sont localisés (Fig. 5) dans la partie nord. Deux échantillons à 100 mg/l se trouvent dans l'agglomération d'Ouled Mazzouz et le reste au centre de la plaine.

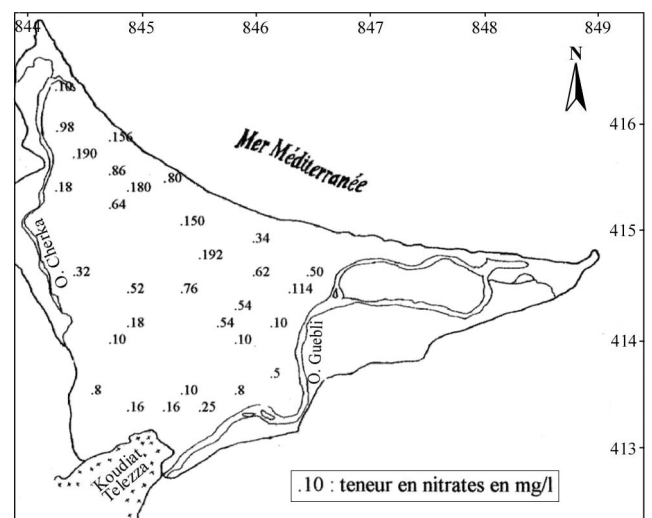


Figure 5: Distribution des nitrates (mai 2002).

En mai 2002, l'étude a porté sur 37 échantillons. Parmi ces échantillons (Tab.1), 22 ont des concentrations inférieures à 50 mg/l ; 9 sont compris entre 50 et 100 mg/l et 6 supérieurs à 100 mg/l dont un atteignant 156 mg/l et est situé dans l'agglomération d'Ouled Mazzouz (Fig.5).

Tableau 1: Variation des teneurs en nitrates (en mg/l) des eaux souterraines.

	Max.	Min.	Moy.
Jun 93	100	0	50
Mai 2002	192	5	52.47
Mai 2003	570	0.6	138.22
Jan. 2004	130	0.2	13.2

Le nombre d'échantillons analysés en mai 2003 est de 25 dont 13 ont des concentrations inférieures à 50 mg/l alors que les 12 autres échantillons dépassent les 100 mg/l avec un pic de 570 mg/l. La distribution des fortes concentrations localisées en partie dans le secteur d'Ouled Mazzouz (Fig. 6) se prolonge plus vers l'Est et le Sud.

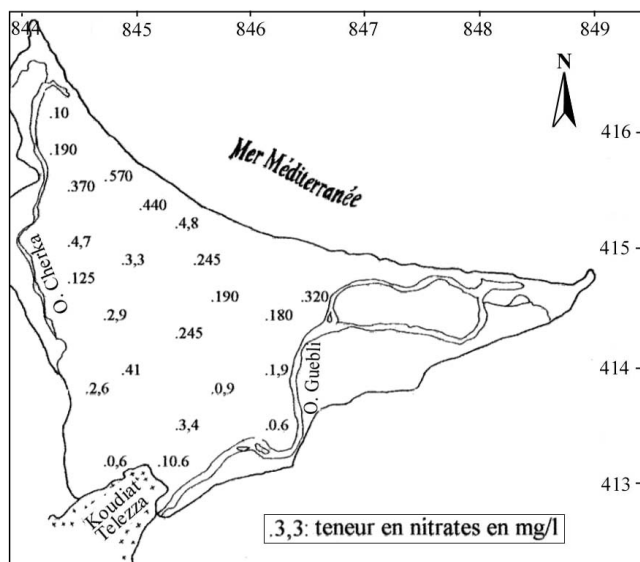


Figure 6: Distribution spatiale des nitrates (mai 2003).

L'analyse de la distribution des nitrates montre, en général, deux zones distinctes : la zone Nord axée principalement autour de la zone urbaine d'Ouled Mazzouz et une zone sud limitée à l'Est par l'Oued Guebli. Dans la première zone, où persistent de fortes concentrations en nitrates (maximum 570 mg/l), les pics des concentrations coïncident avec la zone à forte urbanisation et les surfaces agricoles à activité intense. La persistance des fortes concentrations sur tout un cycle hydrologique, et en dépit de l'interdiction de l'utilisation des fertilisants, prouve que ces nitrates ont plusieurs origines. L'absence de réseau assainissement et l'utilisation de fosses septiques militent en faveur d'une contamination provenant, en grande partie, des eaux usées. S'agissant, aussi, d'une zone où la nappe est très exploitée, ces anomalies peuvent s'expliquer par la migration des nitrates vers les cônes de rabattement.

Ce schéma s'applique aussi aux autres zones où coïncident des pics de concentrations et des zones de dépressions piézométriques, notamment le secteur sud aux environs de l'Oued Guebli. En revanche, la zone sud présente de faibles concentrations en nitrates (maximum 10 mg/l). Cette zone sud se trouve dans la partie captive de la nappe. Les limons qui couvrent cette partie protègent la nappe et retardent l'infiltration directe des eaux chargées en éléments azotés. Cette protection vis-à-vis de la surface peut provoquer une diminution d'oxygène dans les eaux souterraines. Dans ce cas, les nitrates peuvent être réduites sous forme de nitrites et d'ammonium [12]. Les analyses effectuées en janvier 2004 ont porté également sur les teneurs en nitrites. Il s'est avéré que les concentrations en nitrites sont faibles avec un maximum de 0.07 mg/l. Les battements de la nappe dans ce secteur (passage de la forme captive à la forme libre et la désaturation des limons) peuvent provoquer d'importants phénomènes biochimiques. Toujours dans cette zone, certains forages ont été abandonnés suite à la présence de fortes teneurs en fer et de l'odeur dégagée, ce qui peut s'expliquer par la présence de sulfures (H_2S) existant généralement dans des conditions réductrices dépourvues d'oxygène. Les échantillons prélevés au niveau des forages profonds ont donné des concentrations variant entre 8 et 25 mg/l, démontrant ainsi l'évolution inverse des concentrations en nitrates avec la profondeur. Les conditions réductrices, évoluant avec la profondeur, favorisent la dénitrification [13]. En outre, les nitrates, lessivés lors de la recharge, sont acheminés dans la frange superficielle de la nappe. L'existence de couches plus ou moins argileuses empêche le passage des nitrates vers les niveaux plus profonds.

Des prélèvements ont été effectués dans la partie amont de l'oued Guebli (à la limite sud de la nappe, au pied de koudiat Tellezza) et à son embouchure près de la côte. De même, des prélèvements ont été effectués dans l'oued Cherkha. Ce dernier se termine par un marigot, dont l'écoulement est très lent, qui présente de faibles concentrations en nitrates (0.6 mg/l). En revanche, les plus fortes concentrations en nitrites (entre 0.11 et 0.13 mg/l) apparaissent dans cet oued et dans les puits situés tout près de la rive. Pour l'oued Guebli, les concentrations en nitrates des échantillons prélevés à l'embouchure sont supérieures à celles effectuées en amont. Ces concentrations restent, cependant, relativement faibles (0.4 et 0.5 mg/l). Les concentrations en nitrites sont aussi très faibles (0.02 et 0.03 mg/l).

Dans le but de connaître l'effet de la recharge sur l'évolution des nitrates, une dizaine d'échantillons ont été prélevés au mois de janvier 2004, juste après l'exceptionnelle épisode pluviométrique. Sous l'effet de la dilution, les teneurs en nitrates se sont avérées très faibles. A part l'agglomération d'Ouled Mazzouz qui présente des valeurs dépassant les 100mg/l, le reste de la plaine se situe sous la barre des 10 mg/l. Le pic de 570 mg/l (puits 14), observé en mai 2003, n'est plus qu'à 130 mg/l en janvier 2004. Ces teneurs élevées proviennent probablement des rejets domestiques.

CONCLUSION

La surexploitation de l'aquifère a complètement perturbé la configuration de la surface piézométrique. Le rabattement du niveau de la surface de l'eau est représenté par d'importants cônes de dépressions accentuant les gradients hydrauliques et inversant les sens d'écoulement. Cet inversement du sens d'écoulement quand il se situe en bordure de la mer favorise l'intrusion des eaux salées marines. A cela, s'ajoute le manque d'apport par alimentation latérale après la réalisation des deux barrages. L'azote dans l'eau sous forme de nitrates et de nitrites est un risque potentiel pour la santé humaine [14]. L'estimation de la quantité de fertilisants azotés utilisés par les agriculteurs est très difficile. Il n'y a pratiquement pas d'information détaillée sur cette quantité. De plus, l'agriculture étant une source diffuse de la pollution de fertilisants azotés, les émissions sont difficiles à mesurer. Les plus fortes concentrations en nitrates sont localisées dans l'agglomération d'Ouled Mazzouz, une zone urbanisée, dépourvue de réseau d'assainissement et utilisant le plus souvent des fosses sceptiques. Ainsi, la contamination a pour origine aussi bien de l'activité agricole que des rejets des eaux usées. L'historique des teneurs laisse penser que ces contaminations sont relativement récentes et que les grands pics ont été atteints durant l'année 2003. Les données acquises après les premières pluies et en période des hautes eaux montrent, du fait du régime nerveux de la nappe, que celle-ci constitue une voie de transfert rapide. Les battements de la nappe contribuent, après la remontée et la dilution des concentrations situées dans la zone non saturée, à les transférer par lessivage et flux horizontaux. L'évolution de la qualité des eaux souterraines est tributaire des variations des entrées de polluants, du changement climatique et des conditions hydrologiques, des fluctuations du niveau de la nappe, de l'exploitation de la nappe et des activités agricoles.

REFERENCES

- [1]- World Health Organisation., "Guidelines for drinking-water quality", Vol. 2 – Health criteria and other supporting information: Geneva, WHO publishers, (1984), 335 p.
- [2]- Marre A., "Le Tell oriental algérien, de Collo à la frontière tunisienne, étude Géomorphologique", Vol. 1 et 2, Office des Publications Universitaires, (1992).
- [3]- A.N.R.H., "Etude hydrogéologique de la plaine de Collo", Rapport, Agence Nationale de la Recherche hydrique, Constantine, (1974).
- [4]- Chaumont C. et Paquin C., "Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000", Soc. Histoire Naturelle, Université d'Alger, (1971).
- [5]- Chabour N., "Etude du bilan de la nappe de Collo à partir d'un modèle numérique", Séminaire sur la Géologie du Grand Constantinois, Univ. Constantine, (2001).
- [6]- C.C.G., "Etude géophysique de la plaine de Collo", Rapport pour la D.M.R.H. de Constantine, (1996).
- [7]- UKRGUIPROVODKHOZ., "Projet d'irrigation de la plaine de Collo", Rapport UKRGUIPROVODKHOZ., (1965-1972).
- [8]- Descamps P., "Etude hydrogéologique de la plaine de Collo", Rapport D.E.M.R.H. Constantine, (1974).
- [9]- Hamani H., "Etude hydrogéologique de la plaine de Collo par modèle mathématique", Magister, Univ. de Constantine, (1998).
- [10]- Motz L.H., "Salt-water upconing in an aquifer overlain by a leaky confining bed", *Groundwater*, Vol. 30, N°2, (1992), pp.192-198.
- [11]- Jordan T.E. and Weller D.E., "Human contribution to terrestrial nitrogen flux: assessing the sources and fates of anthropogenic fixed nitrogen", *BioScience*, n° 46, (1996).
- [12]- Debieche TH, "Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien", Thèse, Univ. Franche Compté, (2002), p.199.
- [13]- Bohlke J.K., "Groundwater recharge and agricultural contamination", *Hydrogeology Journal*, n°10, (2002), pp. 153-179.
- [14]- Dijk-Looyard AM. et Montizaan GK, "Nitrate and nitrite", WHO Advisory Report, World Health Organisation, Geneva, (1990). □