

Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algerien)

Underground water quality and contamination risk. The case of the basin of Chéria (NE Algeria)

F. Baali¹, A. Rouabhia¹, N. Kherici², L. Djabri², L. Bouchaou³, A. Hani²

RÉSUMÉ

La pénurie d'eau est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés, et particulier, celles des pays en voie de développement. En effet, l'accroissement des populations et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées ont eu pour corollaire une dégradation de la qualité des eaux souterraines et une baisse très significative des réserves qui représentent parfois les seules ressources d'eau pour l'alimentation des populations (Baali, 2001).

Le présent travail, tente après une analyse de la situation actuelle du terrain, de mieux cerner les caractéristiques du complexe aquifère et les risques de pollution des eaux souterraines du plateau de Chéria. Cette étude est basée sur l'élaboration de l'inventaire des sources de pollution en tenant compte de plusieurs facteurs, tels que la contamination par les eaux usées et l'élevage des animaux, ainsi que des conditions climatiques. L'exploitation des eaux souterraines à partir des aquifères carbonatés est à présent la seule ressource pour répondre aux besoins en eau pour la consommation humaine, industrielle et agricole dans la région.

Ces dernières années, une grande activité agricole et para agricole se sont développés dans la région entraînant un accroissement des besoins en eau et une dégradation de la qualité de la ressource.

Les résultats de cette étude montrent l'existence d'une dépression du niveau piézométrique et des concentrations élevées en nitrates dues aux activités anthropiques. Des valeurs de 80 à 120mg/l ont été obtenus dans de nombreux puits captant la nappe.

Mots clés : Algérie, Chéria, Calcaire éocène, Climat semi-aride, Nitrates, ACP (analyse en composantes principales), Bore.

ABSTRACT

Water shortage has become a key problem for all countries and particularly for those in development. In fact, the increase of the populations and the development of urbanism, industries and cultivated land lead to a degradation of the quality of the groundwater and a very significant reduction of the reserves that constitute at times the only source of water for human consumption. After the analysis of the situation of the land, the present work comes in an important moment to establish the characteristics of the complex aquifer of the plateau of Chéria in Algeria and the risks of contamination of the groundwater.

This study, which relies in the recent causes of contamination takes into account several factors. We can mention the contamination by blackwaters (waste), the impact of livestock and the climatic conditions. The exploitation of the groundwater from carbonated aquifers, is today the only source that responds to the needs of water for the industrial, human, and agricultural consumption in the region. In recent years there has been an increase in agricultural and agricultural-related activity.

The first results show the existence of a lowering of the piezometric level, as well as important concentrations in nitrates due to anthropic activity which are leading to a deterioration of the quality of drinking water in Chéria.

Key words: Algeria, Chéria, Eocene limestone, semi-arid climate, Nitrates, PCA (Principal component analysis), Boron.

¹ Université de Tébessa. Av. 04 mars 1956 Tébessa 12000 Algérie E-mail : Baali_fr2000@yahoo.fr , rouabhia22@yahoo.fr.

² Université BADJI Mokhtar Annaba. BP12 23000 Annaba. Algérie.

³ Université Ibn Zohr. Agadir, Maroc.

Introduction

Dans une région où l'activité principale tourne autour de l'agriculture et l'élevage, le risque de pollution par les nutriments en général et par les nitrates en particulier menace la ressource hydrique. Ce risque s'accroît davantage dans une zone caractérisée par l'absence de couvert protecteur entraînant, par conséquent, un contact direct entre les formations du réservoir et les polluants. Le transfert de polluant est accentué par la présence de fissures importantes. Les travaux réalisés depuis 1977, (Gaud, 1977 ; Chaffai, 1986 ; Zenati, 1993) ont montré des concentrations importantes en nitrates supérieures aux normes admises par l'OMS (50 mg/l). Le présent travail a pour objectif la détermination des origines de cette pollution.

Description du site étudié

Le bassin versant étudié s'étend sur une surface de 720 km² dont 300 km² situé à la périphérie de la ville de Chéria qui abrite plus de 66.000 habitants. La région est caractérisée par un climat semi-aride, un déficit hydrique élevé (tableau 1) ainsi qu'une exploitation intensive des eaux souterraines notamment celles des calcaires Eocènes (fig. 1). Ces derniers sont recouverts par les formations du Mio-Plio-Quaternaire d'une épaisseur atteignant une vingtaine de mètres (Gaud, 1977), et dont l'intérêt hydrogéologique est devenu pendant cette dernière décennie de sécheresse sans importance.

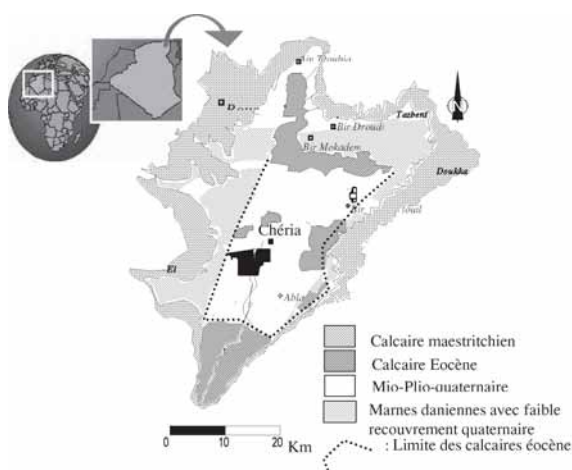


Fig. 1.—Situation géographique et schéma géologique de la région.

Le niveau piézométrique se situe à quelques mètres jusqu'à quelques dizaines de mètres de profondeur. La composition de la couverture des calcaires Eocènes est formée généralement des alluvions du Mio-Plio-Quaternaire (Chaffai *et al.*, 2003). Ceci offre une grande perméabilité permettant la recharge de l'horizon aquifère et le développement de la fissuration et par endroits la karstification (exemple du forage jk8 où s'est produit une chute de l'outil d'une dizaine de mètres)

La moyenne de la température de l'air est de l'ordre de quelques degrés Celsius et peut atteindre des valeurs négatives pendant l'hiver, ainsi la couverture de la neige persiste sur les monts de bordure et particulièrement les monts Doukkane (1.700 m) pour une période moyenne de cinq à dix jours par an. La station météorologique de Chéria a enregistré une moyenne interannuelle des précipitations pour la période de 1980 à 2000 de l'ordre de 305 mm.

Le maximum des précipitations mensuelles pour la moyenne de la même période est de l'ordre de 37,9 mm en mai ce qui affaiblit l'infiltration sachant que les précipitations sont généralement orageuses et la température de ce mois peut atteindre une vingtaine de degrés.

Matériels et méthodes

L'étude a concerné une cinquantaine de puits domestiques captant les aquifères Mio-Plio-Quaternaire et les calcaires Eocènes. Les mesures de la profondeur de la nappe ont été effectuées à l'aide d'une sonde piézométrique sonore. Les échantillons d'eau destinés aux analyses chimiques des éléments majeurs ont été recueillis dans des bouteilles en polyéthylène et les paramètres physico-chimiques ont été déterminés *in situ*. Les prélèvements destinés au dosage des nitrates ont été filtrés sur membrane millipore à l'aide d'une pompe à vide manuelle et ont été conservés à pH égale à 2 avec de l'acide sulfurique pour inhiber l'activité bactériologique. Les mesures de nitrate ainsi que les anions (Cl, HCO₃, SO₄) ont été effectuées par un spectrophotomètre (WTW) et elles ont été complétées par celles des autres éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K, B, Po₄) dosés par chromatographie en phase liquide.

Résultats et discussion

L'analyse des variations temporelles de la piézométrie de l'aquifère révèle une tendance à l'augmentation du niveau dans la plupart des puits entre août 2000 et septembre 2002 (1,86 m en moyenne), ce qui montre l'importance de l'alimentation par l'infiltration des pluies en 2002.

Tableau 1.—Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite (période 1980-2000)

Station : Cheria Latitude : 35,5												
Année : 1980-2000												
	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	21,0	8,8	1,03	95,6	33,6	-62,0	-0,6	0,0	0,0	33,6	62,0	0,0
O	16,0	5,8	0,97	58,5	30,8	-27,7	-0,5	0,0	0,0	30,8	27,7	0,0
N	11,0	3,3	0,86	28,7	27,7	-1,0	0,0	0,0	0,0	27,7	1,0	0,0
D	7,0	1,7	0,83	13,5	18,0	4,5	0,3	4,5	4,5	13,5	0,0	0,0
J	5,5	1,2	0,87	9,7	21,7	12,0	1,2	16,5	16,5	9,7	0,0	0,0
F	7,0	1,7	0,85	13,9	21,3	7,4	0,5	23,9	23,9	13,9	0,0	0,0
M	9,0	2,4	1,03	25,0	29,1	4,1	0,2	25,0	25,0	25,0	0,0	3,0
A	12,0	3,8	1,09	41,7	18,7	-23,0	-0,6	2,0	2,0	41,7	0,0	0,0
M	18,0	7,0	1,21	87,9	37,9	-50,0	-0,6	0,0	0,0	39,9	48,0	0,0
J	23,0	10,1	1,21	129,6	30,0	-99,6	-0,8	0,0	0,0	30,0	99,6	0,0
J	26,0	12,1	1,23	160,0	10,2	-149,8	-0,9	0,0	0,0	10,2	149,8	0,0
A	25,0	11,4	1,16	141,8	21,5	-120,3	-0,8	0,0	0,0	21,5	120,3	0,0

MOY (Tp) = 15,04; SOM (ETPC) = 805,89; SOM (Pr) = 300,5; BH = -505,39; SOM (ETPR) = 297,45; SOM (Def) = 508,43; SOM (Exc) = **3,05**

Tableau 2.—Estimation moyenne du volume total d'eau de pompage

N.° de forage	X	Y	Début d'exploitation	Débit en m ³ /s	Volume m ³ /an
523	958,32	226,60	1986	0,0132	416.276
103	958,33	226,60	1988	0,0230	725.329
Ch1bis	956,00	231,00	1993	0,0350	1.103.762
Ch2	959,90	242,00	1993	0,0240	756.865
Ch3	960,00	229,85	1996	0,0007	22.075
Ch4	958,20	231,20	2001	0,0300	946.082
D1	956,90	242,00	1981	0,0170	536.113
F2	956,92	241,65	1972	0,0400	1.261.442
F2bis	957,60	242,30	1980	0,0150	473.041
F9	964,05	232,22	1985	0,0120	378.433
J8-9bis	960,28	232,00	1985	0,0230	725.329
T1	951,45	231,12	1976	0,0200	630.721
Les forages d'eau privés (enquête de terrain) :					13.824.003
Les puits domestiques (enquête de terrain) :					259.200
Volume Total :					22.058.671
Volume Total (hm ³ /an) :					22.058

La distribution spatiale de la recharge n'est pas régulière car les précipitations ne sont pas distribuées de façon homogène au cours de l'année (le total mensuel varie de 20 à 70 mm). En fait, les précipitations apparaissent sous la forme d'orages durant les mois de l'été ce qui ne permet point une recharge de l'aquifère éocène.

Le nombre assez important de forages implantés dans la zone indique une forte exploitation de la nappe (Rouabhia *et al.*, 2004), ce qui a eu pour conséquence l'apparition d'une dépression du niveau piézométrique, particulièrement dans la région de *Abla*. Les informations fournies par la Direction

de l'Hydraulique de la wilaya de Tébessa (tableau 2) indiquent que le débit extrait avoisine 22 hm³.

Les mesures piézométrique effectuées en 1973, comparées à celles réalisées au mois de juillet 2000, ont montré des baisses de niveau, se traduisant par la présence d'une dépression piézométrique autour de la ville de Chéria (fig. 3).

Cette situation est probablement liée à :

- l'augmentation des débits extraits pour satisfaire la demande croissante en eau,
- la sécheresse prolongée qu'a connue la région (19 années de déficit) contribue à expliquer cette situation.

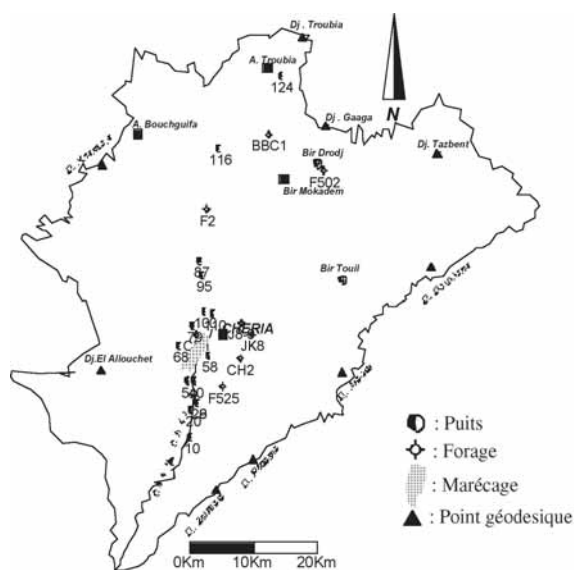


Fig. 2.—Carte d'inventaire des Points d'eaux plateau de Chéria.

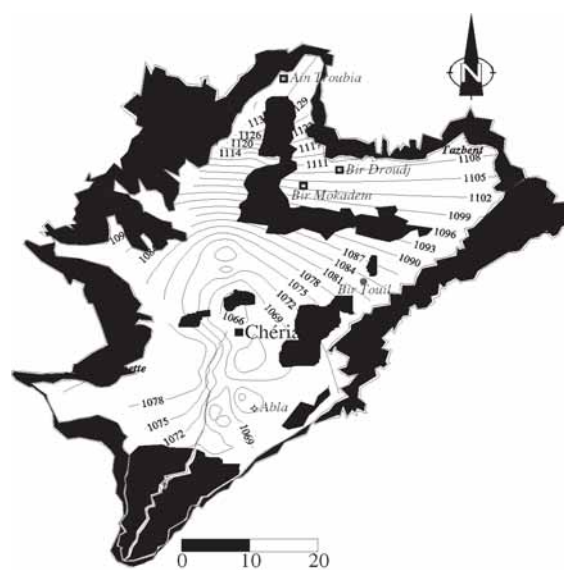


Fig. 3.—Carte piézométrique de la région de Chéria juillet 2000.

Pour comprendre les mécanismes régissant la qualité des eaux de la région, nous avons utilisé l'outil statistique particulièrement l'analyse en composantes principales. Cette dernière a mis en évidence les liens qui semblent exister entre les éléments chimiques (Travi & Mudry, 1997).

Deux analyses en composantes principales (ACP) ont été effectuées sur les observations réalisées sur les eaux de la région :

– ACP1 période de mars 1993 (fig. 4a) : Le cercle formé par les axes F1 et F2 (71% de l'information totale), montre une opposition entre les eaux fortement minéralisées (partie négative de l'axe) et les eaux faiblement minéralisées (partie positive de l'axe). Selon l'axe F2, on remarque que les eaux riches en nitrates et potassium, accompagnées par les bicarbonates et le magnésium, s'opposent aux eaux riches en Na et Cl. Cette distribution indique probablement une opposition entre les éléments indicateurs de deux types de pollution l'une endogène d'origine géologique (Na, Cl) et l'autre plutôt exogène engendrée par les engrais de type NPK (nitrates, phosphates et potassium).

– ACP2 période de octobre 2000 (fig. 4b) : Ce traitement prend en compte les nitrates, les nitrites et l'ammonium. L'axe F1(48,5% de l'inertie totale), indique une opposition entre les eaux fortement minéralisées caractérisée par les bicarbonates (HCO_3), le calcium (Ca), le sodium (Na), les chlorures (Cl) et le magnésium (Mg). Selon l'axe F2, il

existe une opposition entre les nitrates, le potassium et l'ammonium d'un côté (partie positive de l'axe) et les nitrites de l'autre (partie négative de l'axe).

D'une manière générale l'interprétation de l'analyse en composantes principales a mis en évidence le scénario de la pollution des eaux de la plaine de Chéria par les nutriments.

La figure 5 montre l'existence de deux zones à forte minéralisation une située au Nord-Est (2.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et l'autre au Sud de la ville Chéria (2.500 $\mu\text{s}/\text{cm}$). La zone sud montre également une domination des chlorures vis à vis des bicarbonates, ces fortes concentrations s'accompagnent de nitrates.

Du point de vue cationique l'ion calcium domine, sa présence serait liée aux calcaires Maestrichtiens présent sur les bordures où a l'éocène, ce dernier représente l'aquifère principal de la région.

Localement, à *Henchir Adjla* et *Bir touil*, la couverture quaternaire est peu épaisse de l'ordre du mètre, la présence du calcium est importante dans les eaux souterraines. Les sulfates par contre varient dans le temps. Les concentrations de Na^+ varient légèrement. Les concentrations en sodium restent faibles. Le PO_4 est détecté dans les échantillons d'eau étudiés, mais avec des concentrations comprises en général entre 0,1 et 0,5 mg/l, mais une exception a été observée dans l'échantillon de l'oued avec 1,64 mg/l.

Les nitrates sont importantes (100 mg/l) particulièrement dans les eaux de la partie Sud de la zone

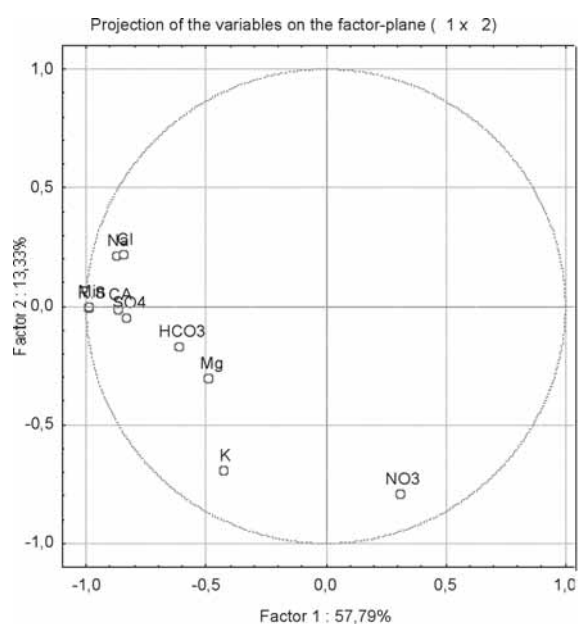


Fig. 4a.—Représentation graphique en ACP des données chimiques mars 1993.

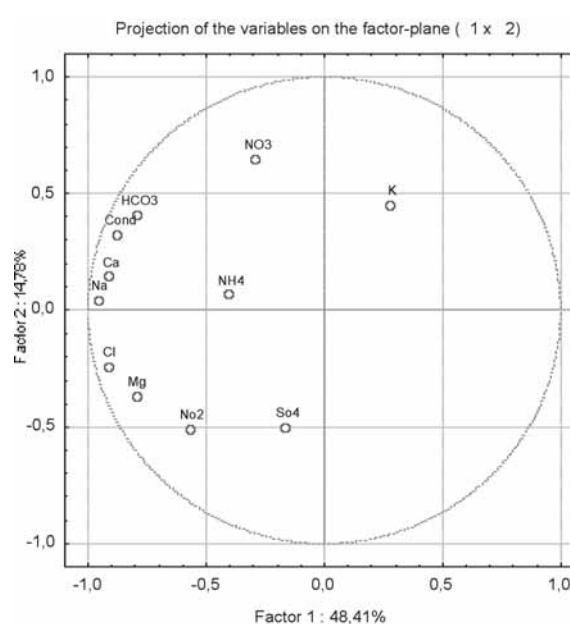


Fig. 4b.—Représentation graphique en ACP des données chimiques octobre 2000.

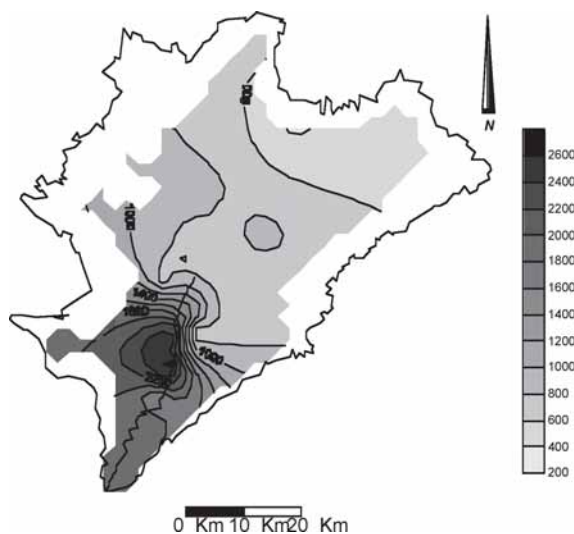


Fig. 5.—Carte d'égal conductivités en µs/cm, oct. 2000.

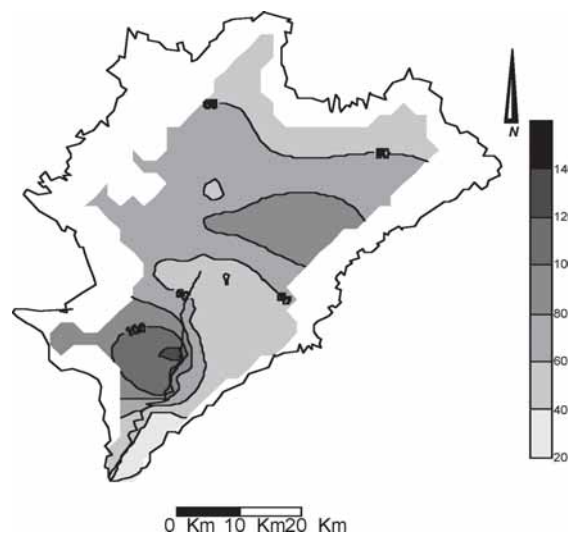


Fig. 6.—Carte d'égal concentrations en nitrates (mg/l), oct. 2000.

d'étude. Les concentrations ont été détectées dans des puits de faible profondeur et ne disposant d'aucune protection (fig. 6).

Malgré le pompage excessif en cours, la composition de l'eau est représentative de chaque point, par conséquent, une interprétation ne peut être prise qu'avec précaution. Néanmoins il peut être suggéré

que la partie peu profonde de la nappe carbonatée est moins contaminée que la partie sous jacente.

L'origine classique des nitrates, en l'occurrence les pollution industrielles et agricoles (grandes irrigation et fertilisation) sont quasi absent dans la région d'étude de plus le fond géochimique en azote dans la région est faible.

D'une manière générale, les variations de la concentration en nitrates serait due à l'existence dans la région d'un grand nombre d'élevages d'ovin et bovin, l'accumulation des déchets avec les eaux usées drainées par l'oued Chéria allant de la ville vers l'exutoire à *Ain babouche*. Sous l'effet du lessivage des pluies et leur écoulement ces déchets activent la contamination des eaux souterraines.

Les concentrations observées en NH_4^+ et NO_2^- sont révélatrices de pollution d'origine organique engendrée par une contamination possible de l'eau.

Deux sources ont été inventoriées ; l'élevage et les rejets des eaux urbaines.

Une troisième source de moindre envergure peut être citée et concernerait l'agriculture qui a pris plus d'ampleur au cours des dernières années.

L'élevage d'animaux

Le tableau 3 donne un aperçu sur l'élevage pratiqué dans la région, d'après les statistiques de la direction de l'agriculture de la wilaya de Tébessa. Les déchets liquides ou solides ne subissent aucun traitement préalable ce qui augmente le risque de pollution.

Comparé à l'élevage et aux fermes européennes, on remarque que le nombre de tête reste très faible et ne peut pas engendrer une pollution importante à titre indicatif, l'ensemble recensé peut correspondre à une seule ferme de la région de franche comté (France) caractérisée par l'élevage de vaches laitières (production de fromages). Cette situation nous incite à rechercher d'autres sources de pollution par les nutriments. A notre sens, les rejets des eaux usées contribuent grandement dans la dégradation de la qualité des

Tableau 3.—Estimation de la production moyenne de l'azote à partir d'élevage des Animaux

Cheptel	Effectif	Coef. Azote (kg/an)	Azote produit (kg/an)
Bovins			
Vaches laitières	953	85	81.005
Bovins viandes	1.000	72	72.000
Ovin			
Brebis mères	37.413	10	374.130
Agneau	26.000	5	130.000
Volailles (estimation moyenne par enquête sur terrain)			
Poulets	10.000	0,24	2.400
Lapines mères	500	3,24	1.620
Total d'azote en kg par an			661.155
Total d'azote en tonne par an			661.155

eaux. Le scénario suivant peut être envisagé, les eaux usées sont rejetées dans l'oued Chéria, ce dernier constitue le déversoir naturel de tous les rejets. Pour confirmer ou infirmer le lien qui peut exister entre les rejets urbains et la pollution observée, nous avons dosé le bore. Ce dernier reste un bon indicateur de la pollution par les rejets urbains (Pain, 1995). Les résultats obtenus montrent des concentrations assez importantes, mettant en évidence une pollution probable des eaux de l'oued et des nappes par les rejets urbains.

Dans la nature le bore se trouve en trace dans de nombreux minéraux particulièrement les phyllosilicates comme les illites ces dernières résultent de l'altération des roches métamorphiques. Les borates proviendraient de la sédimentation en milieu évaporitique.

Dans l'industrie seuls les complexes industriels utilisant les agents blanchissants à base de perborates sont susceptibles de rejeter du bore dans leurs effluents (Almahallawi, 2005).

Dans les effluents domestiques, le bore est retrouvé en solution dans les eaux usées.

Les rejets urbains

La zone urbaine de Chéria et la petite industrie (pompes à essence, stations de lavage, abattoir...) constituent la deuxième source de pollution car les rejets se font directement dans la nature. En effet les constructions se font de part et d'autre de l'Oued Chéria, qui constitue le principal collecteur des eaux de pluie et des eaux usées, de ce fait tous les rejets se déversent dans l'oued. Par ailleurs, les échanges permanents entre l'oued et la nappe, contribuent à la migration des polluants d'un système vers un autre.

En réalité la zone étudiée est caractérisée par l'absence du couvert végétal et par une fissuration bien développée. Ces deux facteurs facilitent l'infiltration des eaux et des polluants mise en évidence par la carte piézométrique.

L'analyse de la distribution du bore dans la région, dans les eaux souterraines, permet de déduire que cet élément a comme origine la dissolution des sédiments évaporitiques bien que ce facteur ne conditionne pas exclusivement les teneurs élevées présentes dans le secteur Sud du terrain (exutoire du bassin). Les concentrations élevées du bore sont associées aux activités humaines demeurent fortement liées aux rejets d'eau usées notamment domestiques, sachant que le bore sous forme de perborates de sodium est un composant majeur des lessives solides domestiques rejetés directement dans le milieu naturel à travers l'oued qui draine les eaux de la ville.

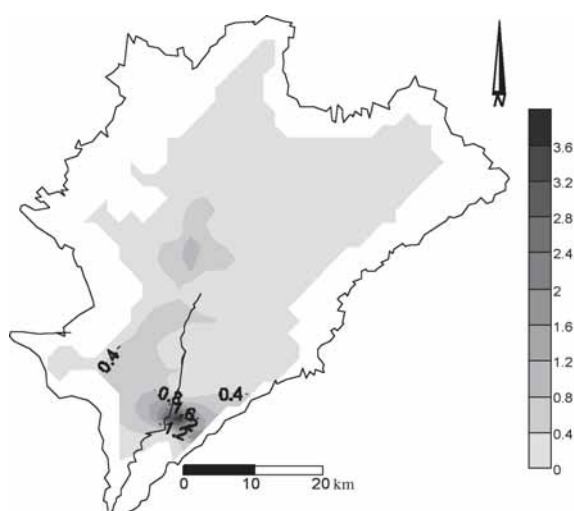


Fig. 7.—Carte d'égalités concentrations en bore (mg/l), sept. 2002.

La cartographie réalisée montre une répartition des concentrations en bore analogue à celles des nitrates, caractérisée par de fortes concentrations de l'ordre de 3 mg/l enregistrées dans la partie Sud au niveau des bordures de l'Oued (fig. 7).

La présence du bore en cet endroit ; contribue à la confirmation de la pollution des eaux par les rejets urbains. Ces derniers sont également riches en nutriments qui au niveau de l'oued et sous l'influence de l'oxygène dissous se transforment en nitrates, nitrites ou ammonium selon le cycle de l'azote.

Conclusions

L'analyse des données analytiques observées sur le réseau de surveillance de la qualité des eaux du système aquifère (les alluvions du Mio-Plio-Quaternaire) a permis d'identifier les nérolgiques ou les sources locales de la contamination des eaux souterraines par les nitrates le long de la ligne Chéria, Abla et Ain babouche l'exutoire.

La contamination du système aquifère par les nitrates résulte à la fois de l'élevage ovin, bovin et les eaux usées drainées par l'oued. Les décharges incontrôlées constituent également une autre source de contamination. En effet la proximité du niveau d'eau et le ruissellement des lixiviats issus des décharges favorisent la pollution des eaux.

La présence des teneurs en nitrates aggravée fait penser à un risque sanitaire sur les populations qui

s'alimentent directement avec l'eau des puits de faible profondeur et à la proximité de l'oued, ce qui impose une stérilisation des eaux avant toute consommation.

Cette situation alarmante incite les autorités régionale et locales de procéder à l'aménagement de l'oued pour empêcher l'infiltration des eaux usées et une application rigoureuse des périmètres de protection des captages d'eau.

REMERCIEMENT

L'équipe de travail remercie chaudement le Pr MESSAADI D. de l'université de Annaba. Les Professeurs MANIA J. et ZAOUÏ A. du Polytech'lille pour leurs aides.

Références

- Almahallawi, K. (2005). *Modélisation des interactions entre les paramètres de l'utilisation des sols, de l'urbanisation et les facteurs hydrologiques pour l'analyse de la qualité des eaux souterraine en zone méditerranéenne (ex de la bande de GAZA, Palestine)*, PhD Thesis, Laboratoire de Mécanique de Lille, Lille, 147-182.
- Baali, F. (2001). *Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E Algérien*. Magister Univ Annaba Algérie, 100 p.
- Chaffai, H. (1986). *Evaluation des ressources en eaux de la plaine de Chéria (NE Algérie). Synthèse et analyse des données*. Doctorat 3^{ème} cycle, USTL, Montpellier II, 245 p.
- Chaffai, H., Baali, F., Djabri, L. & Rouabhia, Aek. (2003). Facteurs influençant le chimisme des eaux dans une zone semi-aride : Cas des aquifères d'El Ma Labiod, Tébessa, Hammamet et Chéria. *ICOWaP-Sep 2003 colloque Oasis, Eau et population*, Biskra Algérie, 339-344.
- Gaud, J. (1977). *Etude géologique et hydrogéologique du plateau de Chéria Wilaya de Tébessa*. Rapport interne N.º 2. A.N.R.H de Tébessa (Agence Nationale des ressources hydriques), 96 p.
- Pain, A. (1995). *Traceurs chimiques naturels, marqueurs de la pollution urbaine : exemple du Bore*. DEA. École Univ. d'ing. de Lille, 40 p.
- Rouabhia, A., Baali, F., Kherici, N. & Djabri, L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El MA EL Abiod (Algérie). *Revue Sécheresse*, 15: 347-352.
- Travi, Y. & Mudry J. (1997). Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahéenne d'Afrique de l'Ouest. *Hydrogéologie*, 1: 13-21.
- Zenati, N. (1993). *Etude hydrogéologique de la région de Chéria*. Rapport interne Agence des ressources hydriques de Constantine, 60 p.

Recibido el 24 de octubre de 2005

Aceptado el 11 de mayo de 2007