

# Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat (Maroc)

El Mostafa HASSOUNE<sup>1</sup>, Abdelhamid BOUZIDI<sup>1</sup>, Yahia KOULALI<sup>1</sup> & Driss HADARBACH<sup>2</sup>

1. Université Hassan I<sup>er</sup>, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire des Sciences de l'environnement aquatique, B.P. 577, Settat, Maroc. e-mail : mhanis00@yahoo.fr

2. Institut National de la Recherche Agronomique, km 5, R.T. 1406, Settat, Maroc.

**Résumé.** L'étude menée sur trois stations d'eaux résiduaires localisées au nord de Settat sur le parcours de l'oued Boumoussa et les eaux de la nappe souterraine (dix puits proches) utilisées par la population riveraine comme eau de consommation, a permis d'évaluer l'impact des eaux usées sur la qualité des eaux de la nappe. Les analyses effectuées depuis avril 2003 jusqu'à août 2004, ont révélé une pollution chimique des eaux de la nappe par les écoulements superficiels de l'oued Boumoussa, dont les eaux usées subissent une percolation lente à travers les couches triasiques. Ceci est confirmé par les teneurs élevées en chlorures, qui dépassent 1000 mg/l, ce qui explique les valeurs de la conductivité qui atteignent 5000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Toutefois, une influence lithologique ne peut être exclue. Les teneurs en nitrates, atteignant 76,68 mg/l, prouvent une pollution nitrique des eaux souterraines étudiées. Une forte charge organique se traduit par des DBO<sub>5</sub> et DCO élevées pouvant atteindre respectivement 32 et 661 mg d'O<sub>2</sub>/l. Par ailleurs, le degré de contamination diffère d'un site à l'autre selon la distance d'éloignement de la source de pollution, la profondeur de la nappe et aussi selon l'entretien du puits et son entourage.

**Mots clés :** Maroc, Settat, eaux souterraines, eaux usées, pollution, charge organique, chlorures, nitrates.

**Effects of domestic and industrial liquid wastes upon the quality of underground water north of Settat city, Morocco.**

**Abstract.** The study carried out on three stations of waste water located north of Settat along the Boumoussa river and the underground waters of the water table (ten nearby wells) used by the riverside residents as domestic water, allowed the evaluation of the impact of waste water on the quality of the water table. The results of the analyses, which took place between April 2003 and August 2004, show chemical pollution of the underground water by the superficial flow of the Boumoussa river, whose waste waters percolate very slowly through Triassic layers. This is confirmed by the high content of chloride that exceed 1000 mg/l, which explains the conductivity values that reach 5000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . However, a lithological influence on this aspect may not be excluded. The content in nitrates reaching 76,68 mg/l prove a nitric pollution of the studied underground water. A high organic richness is reflected by the high degree of BDO and CDO, that may reach 32 and 661 mg of O<sub>2</sub>/l respectively. The degree of contamination differs from one site to another according to the distance to the pollution source, the water table depth and according to the upkeep of wells and their surrounding environment.

**Key words :** Morocco, Settat city, underground water, waste water, pollution, organic richness, chloride, nitrate.

## INTRODUCTION

La région de Settat (Meseta marocaine) est une zone essentiellement rurale où les ressources hydriques sont fortement sollicitées pour les activités d'agriculture et d'élevage. La dégradation de la qualité des eaux de la nappe y est provoquée, d'une part, par la nature du sol à dominance calcaire qui permet une infiltration facile, et d'autre part par les rejets liquides domestiques et industriels. La charge de ces rejets est de plus en plus croissante avec le développement démographique de la ville de Settat. Le déversement de ces rejets constitue une source de pollution pour les terrains agricoles et les puits riverains. L'éloignement d'un point d'eau par rapport à la source de pollution et la profondeur de la nappe constituent deux critères prépondérants dans la détermination de la qualité de l'eau souterraine.

Un diagnostic organoleptique a permis de relever certaines observations relatives à la qualité des eaux des puits proches de l'écoulement des eaux usées de la ville de Settat, révélant une forte salinité et parfois une mauvaise odeur. Une étude physico-chimique préliminaire de la majorité des puits sur les deux rives de l'oued Boumoussa a montré la possibilité d'une contamination des eaux de la nappe de Mzamza par les infiltrations des eaux usées.

La présente étude vise à déterminer l'état de dégradation des eaux souterraines au nord de la ville de Settat par

l'écoulement permanent des eaux résiduaires charriées par l'oued Boumoussa.

## MATERIEL ET METHODES

### Cadre général et démographique

La ville de Settat, située sur l'axe routier Casablanca – Marrakech à 72 km au sud de Casablanca, constitue le noyau urbain de la province. Cette dernière, avec 9888,4 km<sup>2</sup> de superficie, est caractérisée par sa vocation agricole et un développement industriel très important. La zone industrielle de la ville renferme 44 unités couvrant différents domaines.

La population de la ville est passée de 96217 habitants en 1994, soit 18555 ménages, à 116570 en 2004, soit 24303 ménages, dont 95 % sont approvisionnés en eau potable par la régie locale (RADEEC) à partir du barrage Daourat, d'Aïn N'zagh et occasionnellement de la nappe de Sidi Al Aïdi, et sont raccordés au réseau d'assainissement (Direction des Statistiques 2004)

La commune de Mzamza (zone d'étude) est située au nord de la ville de Settat et au sud du village de Sidi Al Aïdi (Fig. 1). L'activité principale de la population est l'agriculture et l'élevage. Pour cela, elle utilise les rejets liquides provenant de la ville et qui sont évacués superficiellement dans un canal à ciel ouvert de direction sud – nord.

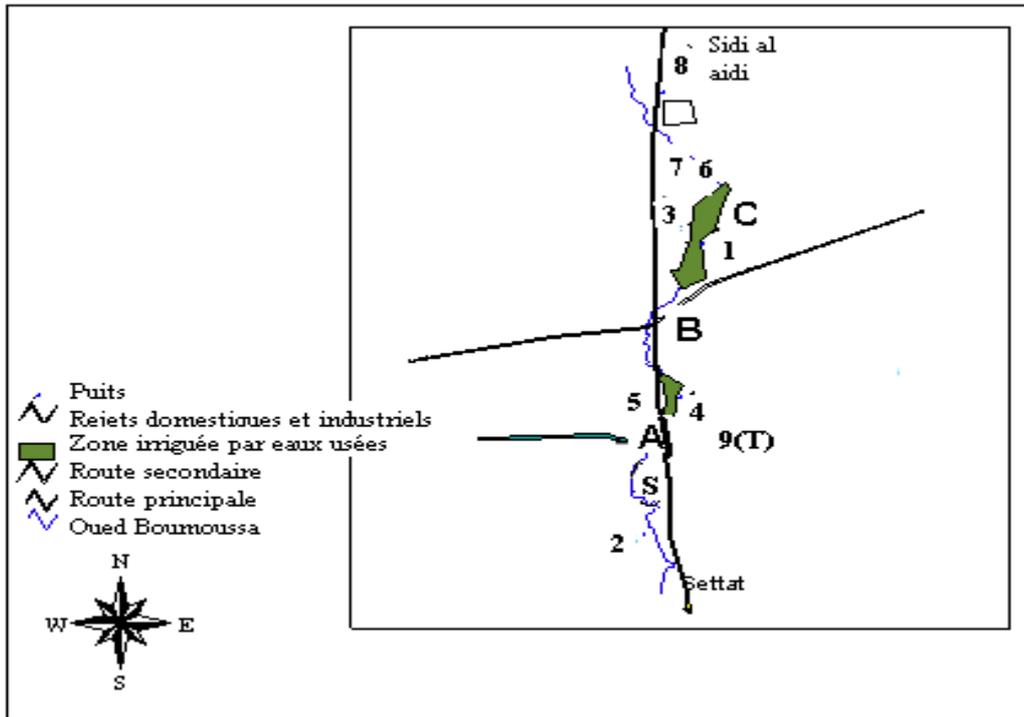


Figure 1. Localisation de la zone d'étude et des sites prospectés de la commune de Mzanza (source : Laboratoire d'agrométéorologie, INRA, Settat). A, B et C sont des stations d'eaux usées.

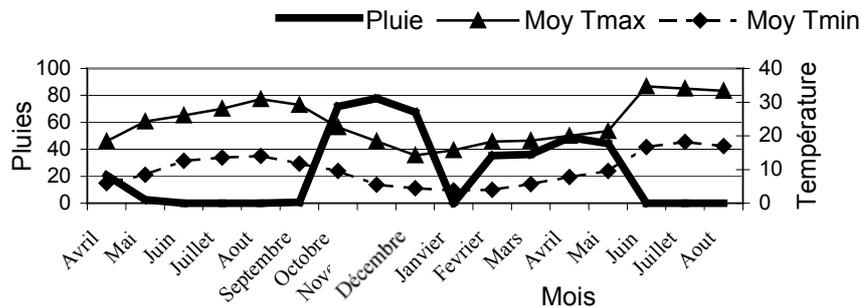


Figure 2. Variations des pluies et des températures dans la région d'étude pendant la période avril 2003–août 2004 (source de données: Laboratoire d'agrométéorologie, INRA, Settat).

La population riveraine est estimée à environ 740 individus, soit 106 foyers, dont l'effectif moyen est de 7 individus par foyer (Laamari *et al.* 2004). Parmi eux, 460 sont en contact quotidien avec les eaux usées lors des activités agricoles et d'approvisionnement en eau de la nappe.

### Hydrogéologie

Sur le plan bioclimatique, le plateau de Settat se situe dans l'étage semi-aride à hiver froid. La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 300 et 450 mm avec des extrêmes de 158 et 742 mm (Ittas 2001). La saison pluvieuse s'étend d'octobre à avril, avec un maximum en novembre (Fig. 2). Les températures minimales varient de 3,8 à 14,06 °C et les températures maximales de 18,4 à 30,9 °C (Fig. 2).

La ville de Settat est implantée sur le plateau éponyme, entité géologique, morphologique et hydrogéologique du

Plateau des phosphates. La ville s'est développée autour de la source Ain Settat. L'oued Boumoussa, qui constitue le récepteur de ses eaux usées, finit son cours en s'infiltrant dans la plaine de Mzanza.

Le bassin versant de l'oued Boumoussa à l'amont de la ville se caractérise par une superficie de 135 km<sup>2</sup>, une longueur du thalweg principal de 25,3 km, une pente pondérée de 10,34 %, et une dénivelée totale de 230 m (Ittas 2001).

La nappe du plateau de Settat se situe dans les niveaux du Cénomaniens, constitués de calcaires marneux jaunes alternant avec des marnes. Cette nappe est exploitée à travers des puits, et principalement par les ouvrages de captage d'Ain Settat et d'Ain N'zagh (Ittas 2001).

Les sols dominants dans la région sont les sols calcaires blancs, argileux noirs (*Tirs*) et silico-argileux rouges (El Bouqdaoui 1995). Le couvert végétal naturel a subi un défrichement important étant donnée la vocation agricole de la région. Le nord-est de la ville de Settat a été reboisé par

Tableau I. Localisation et caractéristiques des puits étudiés et des stations des eaux résiduaires de l'oued Boumoussa. A, B et C sont des stations d'eaux usées ; S est la source d'eau ; 1-9 représentent les numéros des puits étudiés.

Code du site	Niveau d'eau par rapport au sol (m)	Distance à la source de pollution (m)	Altitude (m)	Coordonnées	
A	0	0	308	33° 02' 31 N	7° 37' 30 W
B	0	0	296	33° 03' 14 N	7° 37' 34 W
C	0	0	266	33° 04' 31 N	7° 37' 02 W
1	32-35,8	30	266	33° 04' 31 N	7° 37' 03 W
S	0	25	325	33° 01' 92 N	7° 37' 80 W
2	14-4,9	150	340	33° 01' 15 N	7° 37' 35 W
3	4,4-6,6	200	273	33° 04' 39 N	7° 37' 51 W
4	22,4-24,1	287	305	33° 02' 40 N	7° 37' 16 W
5	21,82-25,6	334	280	33° 03' 38 N	7° 37' 51 W
6	16-26,2	260	282	33° 05' 22 N	7° 37' 27 W
7	2,3-3,7	475	277	33° 04' 58 N	7° 37' 23 W
8	22,8-31,2	605	254	33° 06' 14 N	7° 37' 31 W
9	36,1-40,4	800	330	33° 02' 37 N	7° 36' 52 W

Tableau II. Caractérisation physico-chimique des eaux résiduaires de l'oued Boumoussa.

Stations	MES g/l	Cond. µs/cm	O <sub>2</sub>	DCO	DBO	NO <sub>2</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l
			mg d'O <sub>2</sub> /l				
A	1,18	3482,3	1,31	280,9	155,9	1,746	70,06
B	0,96	3314,7	1,26	245,7	189,4	1,436	64,58
C	0,84	2694,1	1,25	237,7	230,3	1,009	63,09

des arbres gymnospermes et angiospermes. Les champs cultivés sont caractérisés par la fréquence des adventices ; vivaces (le chiendent et l'oxalide) et annuelles (graminées et dicotylédones). Certaines sont fréquemment représentées dans les champs irrigués par les eaux usées, telles que l'avoine stérile (*Avena sterilis*), l'amaranthe (*Amaranthus retroflexus*) et le pourpier (*Portulaca oleracea*).

### Campagnes de prélèvements

Entre avril 2003 et août 2004, des prélèvements mensuels d'échantillons d'eaux souterraines, de la source et d'eaux usées ont été réalisés (Fig. 1 et Tab. I), selon les recommandations de l'OMS (1999). Le choix des sites a été fixé à la lumière d'une étude préliminaire des paramètres physico-chimiques, de la fréquence d'utilisation par les riverains, et de l'éloignement de la source de pollution (oued Boumoussa) pour les eaux souterraines, et selon le sens d'écoulement amont-aval pour les eaux résiduaires (Tab. II).

On prélève, chaque mois, dans des flacons de polyéthylène un volume de 1,5 l destiné aux analyses physico-chimiques à partir d'une source (Oum Kraïma) et des 9 puits les plus utilisés pour la consommation, ainsi que de trois stations d'eaux usées. Le transport au laboratoire des flacons de prélèvement a été effectué dans une glacière à basse température (4°C).

Les puits ont été numérotés en chiffres croissants selon leur éloignement de la source de pollution. Le puits 1 est le plus proche d'oued Boumoussa (30 m) et le puits 9 est le plus éloigné (800 m).

Les paramètres physico-chimiques (température, pH et salinité) ont été mesurés *in situ* au moyen d'un thermomètre à mercure (1/10°C) pour l'air et un thermomètre à mercure au 1/10°C muni d'une cuve de récolte d'eau, un pH-mètre portatif type lutron (pH-206) Taiwan et un conductimètre HANNA (HI-8733), Singapour avec une marge d'erreur de 2% (Tab. Annexe).

Au laboratoire, les eaux ont été analysées pour les ions majeurs (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et les sels nutritifs. Les chlorures et l'alcalinité ont été dosés par titration (Tab. Annexe ; Rodier 1996).

L'analyse statistique des résultats obtenus se base sur la comparaison des moyennes des différents paramètres mesurés. Nous avons utilisé les maxima et les minima pour évaluer les variations de ces paramètres pour certains sites et pendant des périodes bien définies.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de cette étude sont exposés en discutant les paramètres mesurés, notamment les mesures effectuées *in situ* et celles effectuées au laboratoire. Nous citerons les résultats moyens relatifs aux eaux usées et ceux des eaux souterraines.

### Température

Les températures des rejets liquides varient entre 24,47 °C en amont et 22,36 °C en aval (Fig. 3 a) ; cette variation peut être expliquée par le refroidissement progressif au contact de l'air, étant donné que les eaux usées

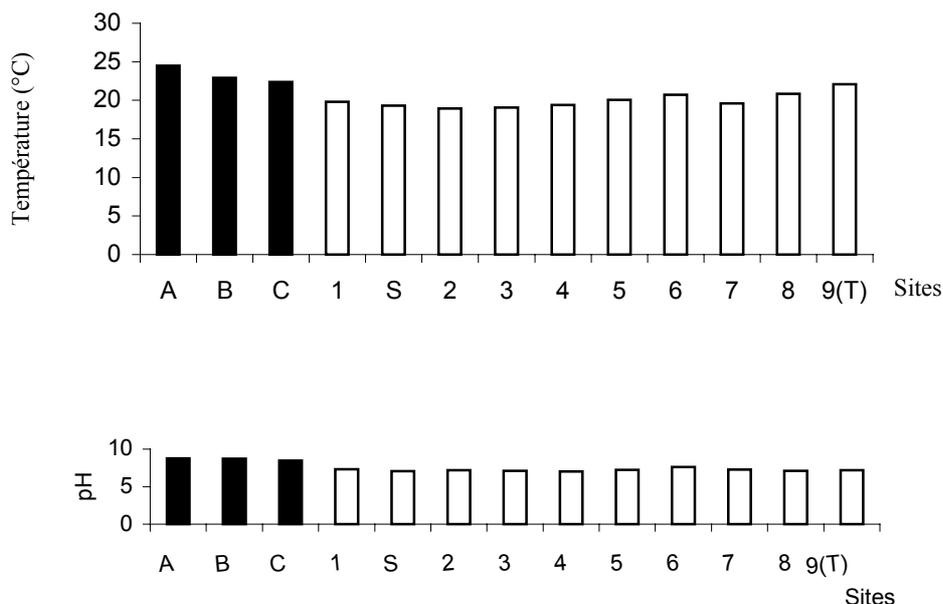


Figure 3. Moyennes des températures (a) et pH (b) des eaux usées et des eaux souterraines pendant la période d'étude. A, B et C, stations d'eaux usées.

sont drainées dans un canal à ciel ouvert à l'entrée de la commune de Mzamza.

Les températures des eaux de la nappe varient entre 19,32 °C pour la source *Oum Kraïma* et 22,10 °C pour les puits 4 (Fig. 3 a).

### pH

Les eaux résiduaires de l'oued Boumoussa sont caractérisées par un pH alcalin, entre 8,47 en aval et 8,74 en amont (Fig. 3 b); cela est probablement lié à la neutralisation par les industries de leurs rejets avant leur déversement.

Les eaux de la nappe de Mzamza sont caractérisées par un pH relativement neutre dont la valeur est comprise entre 7,01 (puits 4) et 7,64 (puits 6); le puits témoin (9) montre un pH moyen de 7,18 (Fig. 3 b).

### Conductivité électrique et chlorures

Cette étude montre que ces deux paramètres évoluent parallèlement. En effet, la conductivité électrique des eaux résiduaires d'oued Boumoussa diminue de l'amont (3482,35  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) vers l'aval (2694,11  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) (Fig. 4 a), dénotant une diminution des sels dissous charriés par ces eaux. La même évolution s'observe pour les chlorures qui varient entre 781,5 en aval et 1170,2 mg/l en amont (Fig. 4 b). Des résultats équivalents ont été obtenus par Kholtei (2002) dans cette zone.

Pour la majorité des mois de l'année, cette teneur répond à un gradient décroissant de l'amont vers l'aval, lié soit à une complexation des chlorures et leur décantation le long du trajet de l'écoulement des eaux résiduaires avec une infiltration possible, soit à une transformation chimique qui empêche leur mise en évidence (Bontoux 1993).

Selon ces deux paramètres, les normes marocaines (Bulletin officiel 2002) permet de classer les eaux souterraines de la commune de Mzamza dans les classes moyennes à mauvaises (1300-3000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  pour la conductivité et 300-1000 mg/l pour les chlorures). Les eaux des puits étudiés présentent des conductivités électriques variables : un minimum de 1918,47  $\mu\text{s}/\text{cm}$  a été mesuré au puits témoin (9) avec une concentration en chlorures de 483,5 mg/l, ce puits est le plus éloigné du trajet des eaux résiduaires. Les valeurs maximales ont été enregistrées au puits 6 (4867,05  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et 1353,2 mg/l en chlorures), qui malgré sa profondeur moyenne (18,5 m) et son éloignement relatif des rejets liquides (260 m), connaît l'écoulement d'une nappe superficielle fortement contaminée par les infiltrations des sels dissous des eaux de l'oued Boumoussa (Fig. 4 a).

Cependant, les eaux des puits au voisinage de l'écoulement des eaux résiduaires ne sont pas les plus concentrées en chlorures, ce qui laisse supposer que la charge en chlorures est liée plus à la nature de la roche qu'à l'écoulement superficiel des eaux résiduaires.

La répartition temporelle de la conductivité électrique des eaux étudiées montre une légère diminution pendant la période pluvieuse (Fig. 4 c). L'explication de cette diminution réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales.

### Orthophosphates

Les teneurs en orthophosphates dans les eaux étudiées sont faibles. Elles indiquent une assez faible variation pendant la période d'échantillonnage.

Celles des eaux résiduaires de l'oued Boumoussa varient entre 8 et 12 mg/l. Ces teneurs répondent, pour la majorité des mois de l'année, à un gradient décroissant de l'amont vers l'aval (Fig. 5). Ceci laisse supposer soit

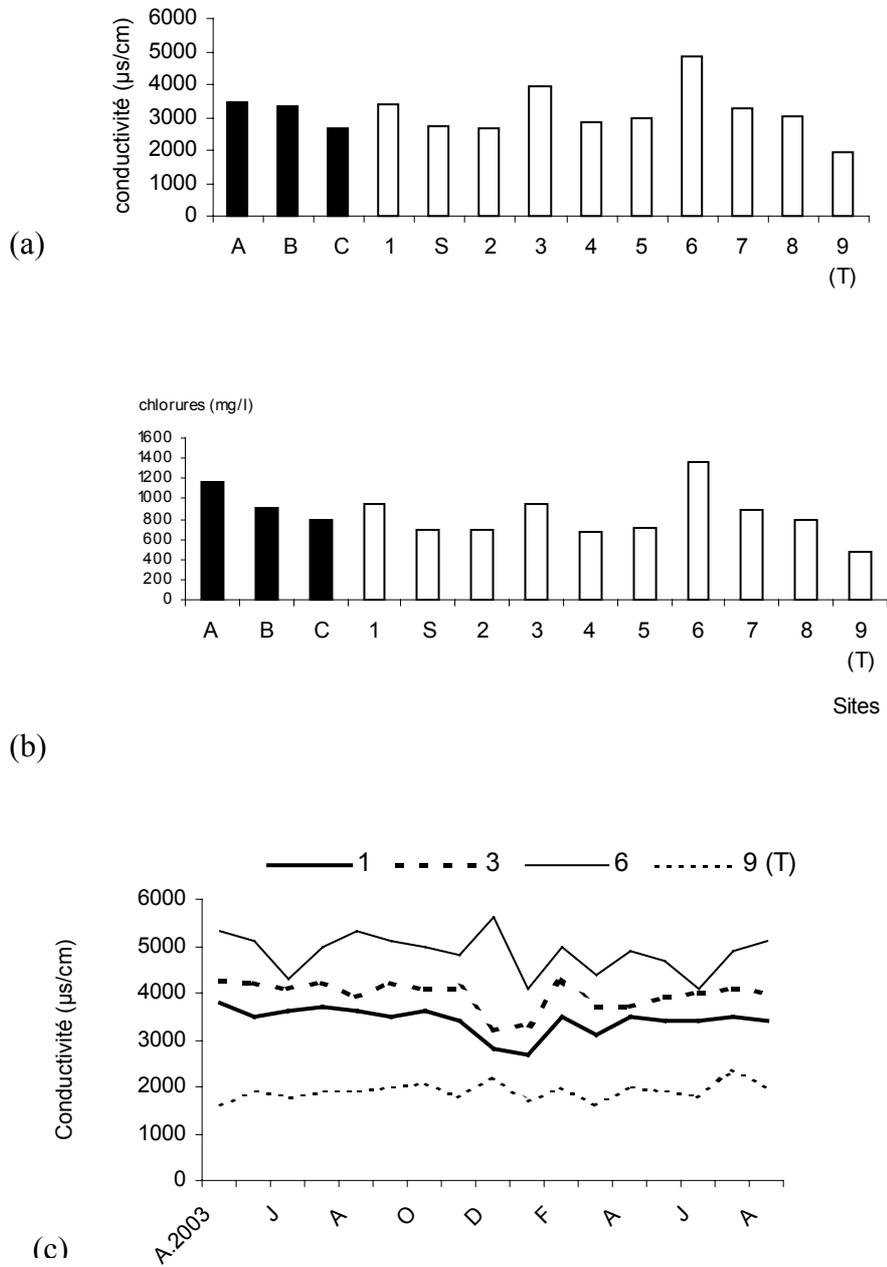


Figure 4. Salinité des eaux usées et souterraines. a, Valeurs moyennes de la conductivité des eaux étudiées ; b, teneurs moyennes en chlorures des eaux étudiées ; c, évolution mensuelle de la conductivité électrique des eaux étudiées ; A, B et C, stations d'eaux usées ; S, source, 1-9, puits.

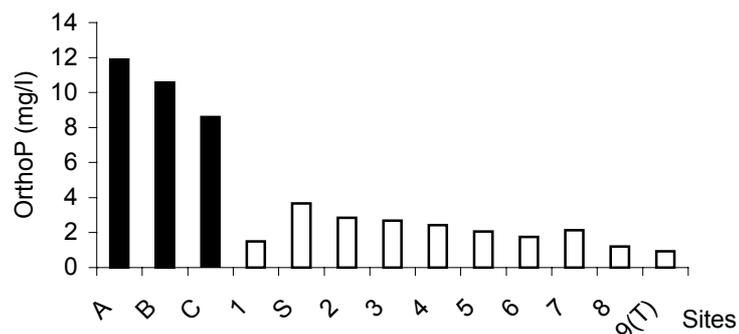


Figure 5. Teneurs moyennes en orthophosphates des eaux usées et des eaux souterraines de la commune de Mzamza.

une décantation ou une complexation des orthophosphates le long du trajet de l'écoulement des eaux résiduaires.

En ce qui concerne la nappe, les teneurs en orthophosphates varient entre 1,22 mg/l (puits 8) et 3,76 mg/l (source). Ces valeurs, similaires à celles des études antérieures dans la région (Kholtei 2002), permettent de classer ces eaux dans la classe mauvaise selon les directives marocaines (1-5 mg/l). Toutefois, nous observons un gradient décroissant en s'éloignant de la source de pollution (Fig. 5).

Les phénomènes intervenant dans la contamination des eaux de puits par les orthophosphates peuvent être l'apport d'engrais en quantités excessives, la nature des terrains traversés et les rejets d'eaux résiduaires dans le milieu naturel. Cependant, aucune corrélation n'a pu être observée entre les teneurs en orthophosphates des eaux résiduaires et celles des eaux de puits.

### Nitrates

Les résultats des analyses des nitrates montrent que leurs teneurs oscillent entre 25,7 mg/l au puits 9 et 76,68 mg/l au puits 1. La courbe de tendance montre que les teneurs en nitrates diminuent de l'amont vers l'aval de la plaine de Mzamza, parallèlement au sens d'écoulement des eaux résiduaires et à celui des eaux souterraines, sans doute à cause des phénomènes de transformation et consommation par les microorganismes (Rodier 1996).

Les teneurs en nitrates dans les eaux prélevées appartenant à quatre des puits étudiés (Fig. 6 a, puits 1, 3, 7 et 8) dépassent les 50 mg/l suggérés par les normes marocaines et internationales (françaises, européennes et OMS), ce qui indique une contamination de la nappe.

Cette altération de la qualité de certains puits de la nappe par les nitrates pourrait être attribuée aux rejets ponctuels et dispersés des produits d'élevage et aux eaux usées qui n'ont fait l'objet d'aucun traitement préalable. Certains facteurs semblent favoriser cette contamination : la faible profondeur (puits 3 et 7), la proximité au cours d'eaux résiduaires de l'oued Boumoussa (puits 1), et le manque d'entretien (puits 8).

Les aquifères profonds indirectement liés à la surface du sol sont donc mieux protégés contre le lessivage des nitrates, contrairement aux aquifères superficiels, plus vulnérables à cause de leur faible profondeur qui facilite le contact entre les nitrates lessivés et les eaux de la nappe (Turin 1991).

La figure 6 b permet d'observer une pollution maximale pendant l'hiver. Le puits 7 est le plus contaminé, puisqu'il présente les eaux les plus proches de la surface du sol et donc les plus vulnérables à toute infiltration. Ces résultats contredisent l'hypothèse d'une dilution par les eaux en hiver dans la même zone (Kholtei 2002). La diminution des teneurs en nitrates peut avoir d'autres causes que la dilution puisque les eaux usées qui s'infiltrent dans l'eau souterraine contenant suffisamment de matière organique et des microorganismes peuvent être convertis en azote gazeux, libéré par la suite dans l'atmosphère. Cette dénitrification a pour effet de réduire la concentration des nitrates dans les eaux souterraines, mais d'ajouter divers oxydes d'azote dans l'atmosphère (Turin 1991).

### Nitrites

Les résultats obtenus révèlent que la majorité des puits ont des teneurs en nitrites qui dépassent le seuil de potabilité de 0,1 mg/l fixé par les normes françaises (Afnor 1996). Ce seuil n'a pas été franchi dans les études précédentes des eaux souterraines de la commune de Mzamza (Kholtei 2002).

Les teneurs en nitrites des eaux souterraines étudiées enregistrent de faibles variations temporelles (Fig. 6 d), sauf en période pluvieuse où elles montrent une légère hausse, sans doute à cause du lessivage des nitrites ou d'autres produits azotés pouvant subir une nitrification par les microorganismes du sol ou ceux des eaux, ou une oxydation par l'oxygène présent dans le sol ou dissous dans l'eau.

La variation spatiale n'a pas révélé d'évolution nette, qui puisse être due à l'interférence avec d'autres paramètres qui interviennent aussi dans la présence des nitrites dans les puits, comme le niveau piézométrique des eaux, l'entretien, le mode de puisage etc... Ces teneurs varient entre 0,048 mg/l (puits 9) et 0,67 mg/l (puits 5 ; Fig. 6 c).

### Oxygène dissous

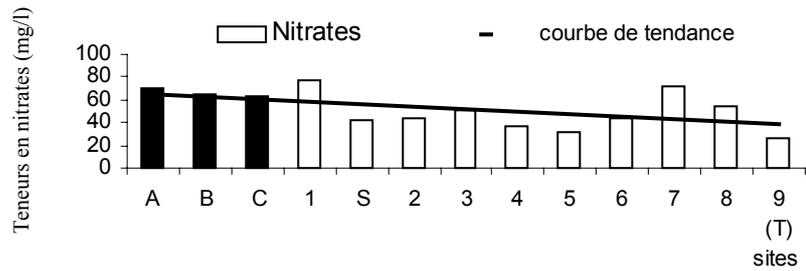
La teneur en oxygène dissous dans les eaux résiduaires, très faible, est voisine de 1 mg d'O<sub>2</sub>/l, ce qui est normal pour ces eaux chargées en matière organique dont la dégradation par les micro-organismes consomme de l'oxygène.

Les eaux souterraines présentent des teneurs en oxygène dissous allant de 3,08 à 5,45 mg/l (Fig. 7 a), et peuvent donc être rangées dans la classe de qualité moyenne selon les normes marocaines (3-5 mg/l). La plus faible teneur a été mesurée au puits 2 qui est relativement proche de l'écoulement des rejets liquides et dont les eaux coulent à 14 m de la surface du sol. En plus de sa proximité à une unité de traitement d'huile d'olive qui utilise ce puits, surtout pendant la période de la cueillette, l'apport en matière organique favorise le développement des microorganismes, ce qui se répercute sur la teneur en oxygène dissous. Les valeurs de DCO et DBO<sub>5</sub> relatives à ce puits révèlent sa forte charge organique surtout dans la période précitée. Le puits 1 présente la teneur maximale en oxygène dissous malgré qu'il soit le plus proche de l'oued Boumoussa. Cependant, l'écoulement d'une nappe superficielle dans ce puits et qui rejoint la nappe profonde, peut expliquer sa richesse en oxygène dissous. Les turbulences causées par un tel déversement d'une altitude d'environ 15 m apportent une quantité importante en oxygène.

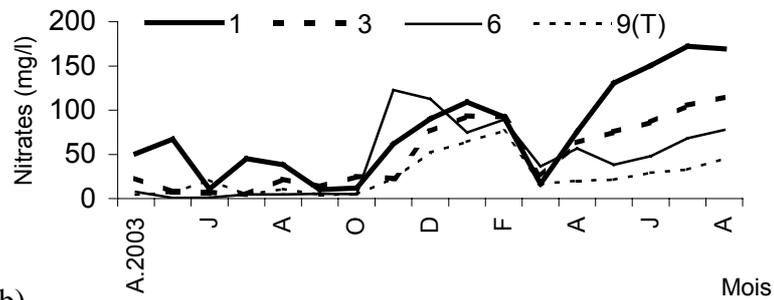
L'hiver semble améliorer la teneur en oxygène des eaux souterraines par l'apport d'eau bien oxygénée à la nappe et par le froid qui inhibe la prolifération bactérienne et donc minimise leur consommation en oxygène (Fig. 7 b).

### DBO<sub>5</sub>

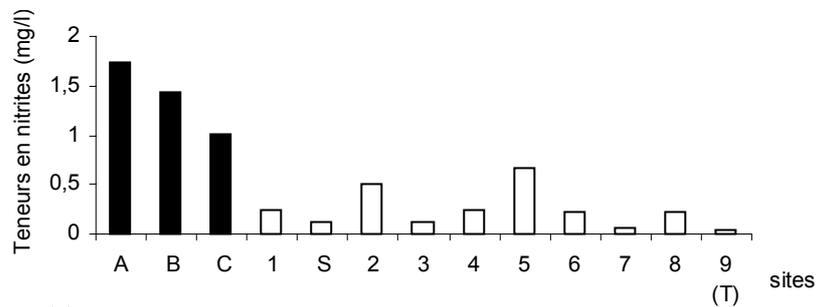
La DBO<sub>5</sub> (demande biochimique en oxygène) permet l'évaluation des matières organiques biodégradables présentes dans les eaux. La figure 8 a montre une augmentation de la DBO<sub>5</sub> des eaux résiduaires de l'amont vers l'aval, qui peut être expliquée par l'instauration de conditions de dégradation de la matière organique par les



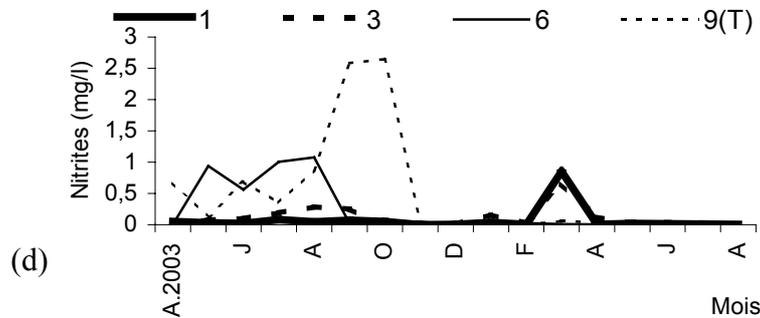
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 6. Teneurs moyennes en nitrates et en nitrites des eaux étudiées de la commune de Mzamza : a, teneurs moyennes en nitrates des eaux usées et des eaux souterraines ; b, évolution mensuelle des teneurs moyennes en nitrates de quatre puits de Mzamza ; c, teneurs moyennes en nitrites des eaux usées et des eaux souterraines ; d, évolution mensuelle des teneurs moyennes en nitrites de quatre puits de Mzamza.

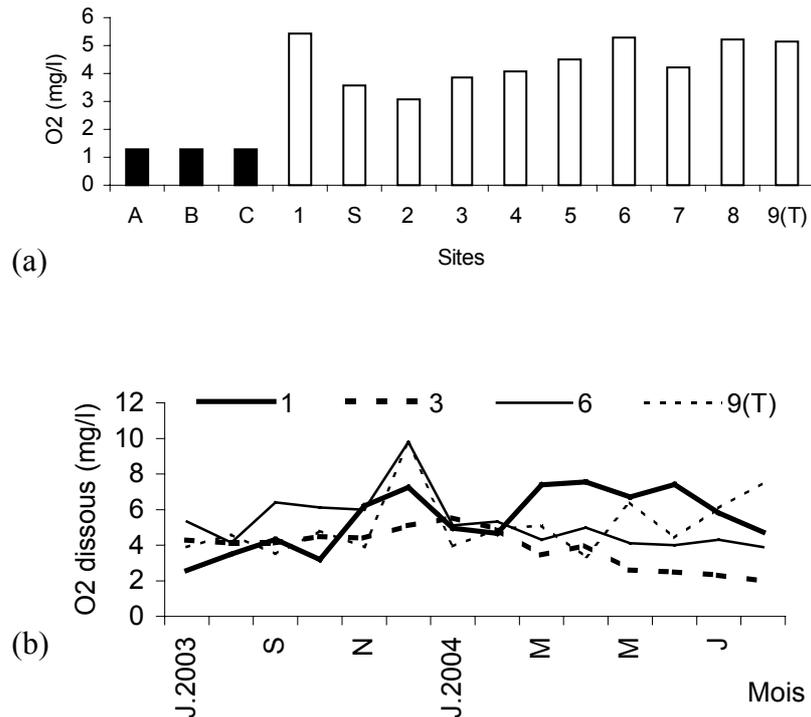


Figure 7. Teneurs en oxygène dissous des eaux usées et des eaux souterraines de la commune de Mzamza : a, effet de la distance à la source de pollution ; b, variabilité saisonnière.

microorganismes dont l'activité et la multiplication est favorisée par la diminution de la vitesse d'écoulement (Tab. II). De même, une diminution des valeurs de DBO<sub>5</sub> des eaux souterraines est observée en s'éloignant du cours de l'oued Boumoussa (Fig. 8 a). Ceci traduit sans doute une diminution de la charge organique dans les puits selon leur éloignement de la source susceptible d'être à l'origine de la matière organique et des microorganismes responsables de sa dégradation.

## DCO

La Demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité d'oxygène consommée, en mg/l, par les matières oxydables chimiquement contenues dans un effluent. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également de sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures,...). Les eaux résiduaires de l'oued Boumoussa présentent des valeurs voisines de 250 mg/l en demande chimique en oxygène (Fig. 8 a et Tab. II).

Les valeurs moyennes de DCO pour toutes les eaux des puits étudiés dépassent la valeur de 80 mg d'O<sub>2</sub>/l fixée par l'OMS (Fig. 8 a). De même, la grille des normes marocaines permet de classer ces eaux comme de très mauvaise qualité.

D'autre part, en raison des mêmes causes exposées précédemment, les températures élevées des mois les plus chauds et aussi des périodes sèches de l'année, semblent augmenter significativement la DBO<sub>5</sub> et la DCO des eaux souterraines (Figs. 8 b et 8 c).

## Calcium et magnésium

La teneur en calcium des eaux résiduaires atteint un maximum de 160 mg/l de Ca<sup>2+</sup> et 227,15 mg/l de Mg<sup>2+</sup> en amont d'oued Boumoussa. Une légère diminution de cette concentration est observée vers l'aval, atteignant 105 mg/l de Ca<sup>2+</sup> et 160,27 mg/l de Mg<sup>2+</sup>. Une complexation de ces ions avec d'autres peut expliquer cette évolution amont – aval (Bontoux 1993).

Cette légère diminution ne semble pas suffisante pour mettre en cause l'infiltration des eaux résiduaires, ce qui nous amène à évoquer d'autres paramètres pour expliquer la charge calcique des eaux souterraines, notamment la profondeur et la lithologie des réservoirs semble déterminante. Certes, l'infiltration des eaux résiduaires apporte un supplément de calcium et de magnésium à la nappe phréatique ; cependant, le sous-sol marno-calcaire en amont de l'écoulement de la nappe, et grès-calcaire en aval, semble jouer un rôle déterminant dans la charge calcique et magnésienne des eaux de la nappe phréatique (Pearson & Mara 1987). En effet, les eaux s'infiltrant à travers des couches constituées par des roches carbonatées peuvent contenir jusqu'à 100 mg/l de Ca<sup>++</sup> (Rodier 1996).

Les eaux des pluies successives peuvent solubiliser les ions Ca<sup>++</sup> à partir des roches carbonatées et Mg<sup>++</sup> à partir des roches dolomitiques (Rodier 1996) et les faire parvenir jusqu'aux eaux de la nappe. La solubilité de CaCO<sub>3</sub> est augmentée en présence de protéines et d'acides faibles, résultant des oxydations des matières organiques (Hagedorn *et al.* 1999). Les ions Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> peuvent aussi provenir de la contamination des eaux par les rejets industriels (Tazi *et al.* 2001).

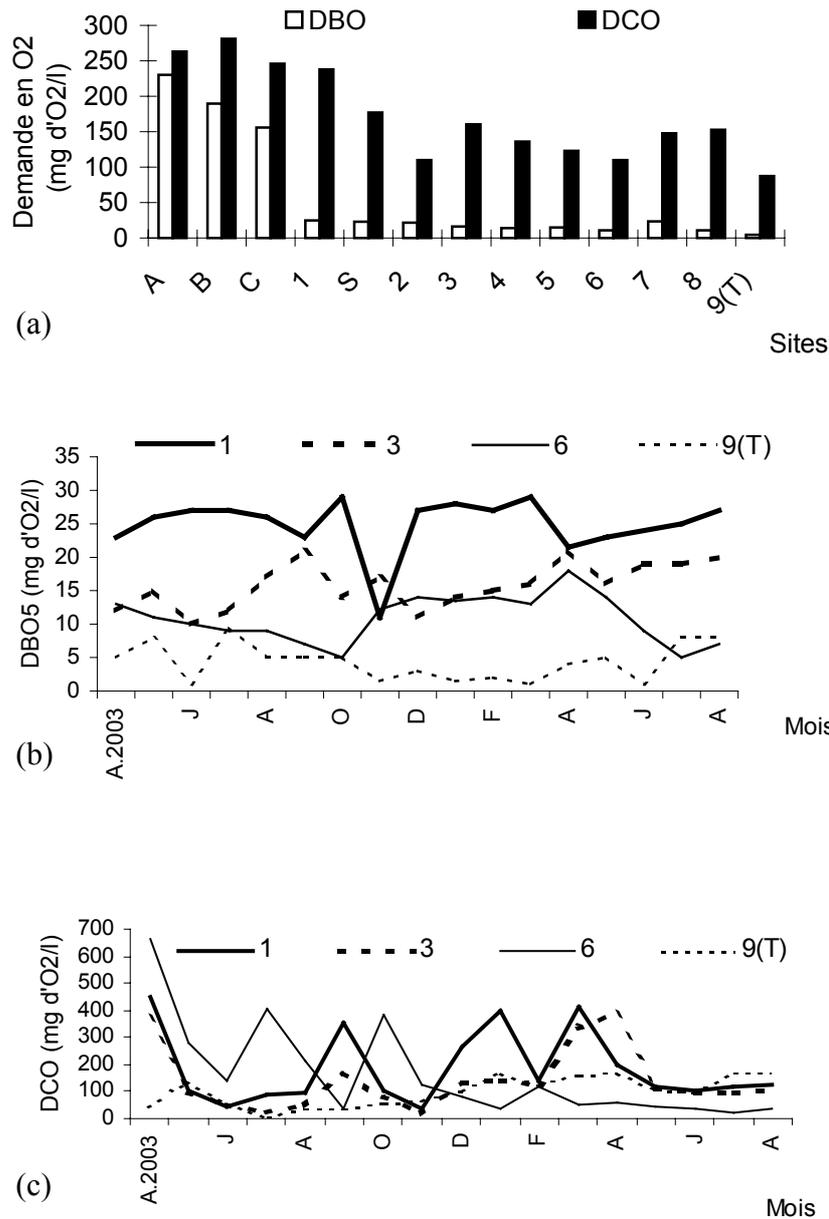


Figure 8. Demande en oxygène des eaux usées et des eaux souterraines de la commune de Mzamza. a, DBO<sub>5</sub> et DCO des eaux étudiées de Mzamza ; b , évolution mensuelle de la DBO<sub>5</sub> des eaux étudiées ; c, évolution mensuelle de la DCO des eaux étudiées.

### Bicarbonates

Les résultats obtenus montrent une nette diminution des bicarbonates en s'éloignant des rejets liquides charriés par l'oued Boumoussa. Les teneurs des eaux usées en bicarbonates sont plus élevées que celles des eaux souterraines et varient de 638,25 mg/l en amont à 427 mg/l en aval, cette diminution amont – aval pourrait être expliquée par la complexation ou la transformation des bicarbonates en gaz carbonique. Pour les eaux de la nappe phréatique, les teneurs en bicarbonates varient entre 148,5 et 388,3 mg/l respectivement pour le témoin (puits 9) et le puits 1 qui avoisine les écoulements des eaux résiduaires.

Les bicarbonates constituent un système tampon important (Bontoux 1993). Les ions  $\text{HCO}_3^-$  peuvent provenir des rejets liquides apportés par l'oued Boumoussa, ou du sol lui-même par dissolution à partir des couches argileuses ou celles de grès, et puisqu'ils sont souvent solubles dans l'eau, leur migration vers la nappe est facile.

Les couches des aquifères au nord de la ville de Settat sont d'âge crétacé, d'où leur richesse en carbonate de calcium. Cette minéralogie suggère la dissolution des couches sous-jacentes qui enrichit les eaux de la nappe en ions bicarbonates ; cependant, la contamination par les eaux résiduaires ne peut être exclue surtout qu'on a remarqué une

augmentation en  $\text{HCO}_3^-$  à l'approche de l'écoulement de Oued Boumoussa.

## CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude témoignent dans leur majorité d'une contamination relative des eaux souterraines de la région de Settat par les eaux usées de l'oued Boumoussa selon un processus d'infiltration qui dépend de plusieurs facteurs environnementaux, pédologiques et climatiques.

Avec des teneurs maximales de 481,18 mg/l en nitrates, 1178,2 mg/l en chlorures, de 12 mg/l en orthophosphates, 160 mg/l de  $\text{Ca}^{2+}$  et 227,15 mg/l de  $\text{Mg}^{2+}$ , 250 mg/l en DCO et 638,25 mg/l en bicarbonates et des teneurs faibles en oxygène dissous (1 mg d' $\text{O}_2$ /l), les eaux usées de l'oued Boumoussa s'avèrent globalement assez chargées en polluants et constituent une vraie menace pour l'environnement de la région et notamment pour les eaux souterraines.

D'après les résultats obtenus, les eaux de la nappe ne semblent pas polluées par les orthophosphates (1,22 à 3,76 mg/l), ni par les nitrites (0,048 à 0,67 mg/l) issues des eaux usées ; au contraire, on observe une nette contamination par les nitrates (22,2 à 58,2 mg/l), la matière organique à l'origine de la diminution de la teneur en oxygène des eaux (3,08-5,45 mg/l) et les bicarbonates (148,5 et 388,3 mg/l), ainsi que les chlorures (781,5-1170,2 mg/l), les ions calciques et magnésiens (respectivement

76,9-126,34 mg/l et 97,7-285,9 mg/l) même si la nature de la roche contribue à l'enrichissement des eaux de la nappe par ces derniers.

Certains facteurs influencent le degré de contamination des eaux souterraines par les eaux résiduaires de l'oued Boumoussa, comme la profondeur de la nappe, la distance au lit d'écoulement des eaux usées, les pluies qui accélèrent le processus de l'infiltration à travers le sol et d'autres activités anthropiques locales.

L'ensemble des résultats montre que la nappe phréatique étudiée présente des signes de dégradation puisque la majorité des analyses ont révélé des teneurs qui dépassent les normes préconisées par l'OMS, les normes marocaines et les normes françaises, ce qui confirme l'hypothèse de contamination de la nappe de Mzamza par l'oued Boumoussa

## Remerciements

Nous adressons nos remerciements au CRDI canadien et la fondation Ford pour avoir financé le projet de qui ce travail fait partie, ainsi que tous ceux qui ont aidé au bon déroulement des prélèvements en assurant le coté relationnel avec les riverains, nous citons l'INRA de Settat et la délégation de santé.

Nous tenons aussi à remercier les deux évaluateurs anonymes dont les remarques ont permis d'améliorer la version initiale du manuscrit.

## Références

- AFNOR 1996. *Recueil des normes françaises « Qualité des eaux »*. 3<sup>ème</sup> édition.
- Bontoux J. 1993. *Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles eaux usées, eaux de boisson*. Cebedoc ed., Liège, 169 p.
- Bulletin officiel 2002. Grilles de qualité des eaux potables, 10 Chaabane 1423 (17 octobre 2002). Ministère de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement, Rabat
- Direction des statistiques 2004. *Annuaire national des statistiques*. Rapport de recensement de la population, 500 p.
- El Bouqdaoui K. 1995. *Etude géologique de la ville de Settat. Cartographie géotechnique et substances utiles de la province de Settat*. Thèse Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat. 183 p.
- Hagedorn C., Robinson S.L., Filtz J.R., Grubbs S.M., Angier T.A. & Renaud R.B. 1999. Determining sources of fecal pollution in rural virginia watershed with antibiotic resistance patterns in fecal streptococci. *Appl. Environ Microbiol.* 65.
- Ittas A. 2001. *Urbanisation et assainissement : cas de la ville de Settat*. Mém. diplôme des études supérieures en aménagement et urbanisme. Rabat. 201 p.
- Kholtei S. 2002. *Plaine de Berrechid : caractérisation des eaux usées de Settat ; évaluation de leur impact sur la qualité des eaux souterraines et risque toxicologique*. Thèse Univ. Casablanca, 162 p.
- Laamari A., El Kettani S., Bouzidi A. & Tanji A. 2004. Evaluation de l'impact de l'utilisation des eaux usées en agriculture sur l'écosystème et sur la santé humaine de la communauté Mzamza. Rapport d'activité, septembre 2002-avril 2004, 118 p.
- O.M.S. (Organisation Mondiale de la Santé) 1999. Aide mémoire N° 210.
- Pearson H.W. & Mara D.D. 1987. Physico-chemical parameters influencing fecal bacterial survival in waste stabilization ponds. *Wat. Sci. Tech.*, 19, 145-152.
- Rodier J. 1996. *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 7<sup>o</sup> édition, Dunod, Paris, 1350 p.
- Tazi O., Fahde A. & El Younoussi S. 2001. Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca - Maroc. *Sécheresse*, 12, 129-134.
- Turin A. 1991. *La pollution des eaux souterraines en Lorraine, le cas des nitrates*. Thèse Univ. Nancy II, France, 266 p.

Manuscrit reçu le 20 octobre 2005  
Version modifiée acceptée le 26 juin 2006

Tableau Annexe - les méthodes utilisées dans les analyses des eaux (Rodier 1996).

<b>Paramètres</b>	<b>Méthodes d'analyse</b>
PH	Electrométrie, Norme NF T 90- 008
T°	Thermométrie, Norme NF T 90-100
Conductivité (20°C)	Electrométrie, Norme NF T 90- 031
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Spectrométrie, Norme NF T 90 – 012
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Spectrométrie, Norme NF T 90 – 013
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Spectrométrie, Norme NF T 90 – 015
DBO	Norme NF T 90 – 103
DCO	Norme NF T 90 – 101
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Néphélométrie, Norme NF T 90 – 009
Orthophosphates	Norme NF T 90 – 023
Chlorures	Méthode de Mohr, NF T 900 – 014
Dureté (Ca <sup>2+</sup> et Mg <sup>2+</sup> )	Volumétrie, Norme NF T 90 – 003
Oxygène dissous	Méthode de Winkler
TA, TAC, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Méthode Volumétrique au méthyle orange