

Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc).

Saâdia BRICHA*, Khadija OUNINE, Saïd Oulkheir, Nourredine EL HALOUI, et
Benaïssa ATTARASSI

*Laboratoire de biologie et santé, Équipe de microbiologie appliquée, Département de
biologie, Faculté des sciences, Université Ibn Tofail, BP 133, 14000 Kénitra, Maroc.*

(Reçu le 02 Avril 2007, accepté le 30 Août 2007)

* Correspondance, courriel : ouninekhadija@yahoo.fr

Résumé

Ce travail, a pour objectif d'évaluer l'impact de l'intensification de l'activité agricole et les rejets des eaux usées non traitées sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la nappe phréatique M'nasra, au Maroc.

Les résultats de cette étude montrent une concentration moyenne en nitrates de 119 mg/L, avec une valeur maximale (252 mg/L) qui a atteint un niveau 5 fois plus élevé que la norme fixée à 50 mg/L. Les concentrations de la dureté totale au niveau des puits P₂, P₄ et P₇ sont respectivement de l'ordre 6,76 ; 7,2 et 8,2 mèq/L, lesquelles dépassent les normes recommandées par l'OMS. Cependant, les eaux de la nappe M'nasra affichent des concentrations très faibles en sulfates (34,46 mg/L), en matières organiques (0,54 mg/L) et en azote nitreux (0,014 mg/L).

La nappe M'nasra présente une forte pollution bactériologique, avec une concentration en flore mésophile aérobie totale de l'ordre de 11,55 log₁₀ /100 mL. En outre, la contamination fécale est avérée par la présence d'un degré élevé en coliformes totaux, coliformes fécaux et en streptocoques fécaux respectivement de l'ordre de 5,10 log₁₀/100 mL, 2,43 log₁₀/100 mL, 5,31 log₁₀/100 mL. On observe une augmentation de la pollution fécale après la saison des pluies.

A terme, l'utilisation de la nappe pourrait constituer un risque sanitaire important pour les habitants de la zone M'nasra.

Mots-clés : *Nappe phréatique, physico-chimie, bactériologie, région M'nasra, Maroc.*

Abstract

Study of the physico-chemical and bacteriological quality in M'nasra's groundwater (Morocco).

The aim of this study was to evaluate the impact of the intensification of agricultural activity and discharges untreated wastewater on the physicochemical and bacteriological quality in M'nasra's groundwater.

The results show the concentrations means of nitrate was 119 mg/L with a maximal value (252 mg/L) which reached a level 5 times higher than the standard at 50 mg/L. The total hardness concentrations at wells P₂, P₄ and P₇ are respectively 6.76, 7.2 and 8.2 mg/L, which exceed the recommended norm. However, the M'nasra's groundwater show a very weak concentrations of sulphates (34.46 mg/L), organic matter substances (0.54 mg/L) and nitrous nitrogen (0.014 mg/L).

The M'nasra's groundwater presents a high bacteriological pollution, with a total flora concentration equal to 11.55 log₁₀/100 mL. Moreover, the fecal contamination is proven by the presence of a high degree of total coliform, fecal coliform and fecal streptococcus which represented respectively by 5.10 log₁₀/100 mL, 2.43 log₁₀/100 mL, 5.31 log₁₀/100 mL. We observed an increase fecal pollution after the rain season.

On the long term, the use of the groundwater could be an important sanitary risk for the inhabitants of the M'nasra's region.

Keywords : *Groundwater table, physicochimie, bacteriologie, M'nasra's region, Morocco.*

1. Introduction

Au Maroc les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du pays [1]. Les eaux souterraines, souvent protégées géologiquement, sont exposées à des pollutions agricole, industrielle ou urbaine. La nappe phréatique M'nasra représentant la ressource principale en eau de la région dont le volume est estimé à 80×10^6 m³ pour une superficie de 500 Km² est très vulnérable [2]. Cette vulnérabilité est due à la texture sableuse très filtrante, à l'alimentation de la nappe par les eaux superficielles (pluies, oued Sebou, retour d'eau d'irrigation), et à l'utilisation abusive des fertilisants azotés [3]. Le taux moyen d'azote potentiellement lixiviable au niveau de la zone M'nasra est de l'ordre de 189 Kg N/ha /an [4]. La pollution des eaux souterraines représente l'un des aspects les plus inquiétants et l'utilisation de ces eaux à des fins alimentaires représente un danger pour la santé [5].

La consommation d'une eau contaminée par les microorganismes est à l'origine des épidémies [6,7]. De plus, la pollution nitrique des eaux de consommation peut engendrer la méthémoglobinémie chez les nourrissons et des maladies cancérogènes chez les adultes [8].

Le présent travail s'intéresse à l'étude de la qualité de la nappe M'nasra. Un suivi de paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de 7 puits représentatifs de la zone M'nasra est réalisé afin de préciser l'importance de la pollution et d'en déterminer l'origine.

2. Matériel et méthodes

La zone d'étude M'nasra qui n'intéresse que la commune rurale des M'nasa proprement dite, correspond à la zone côtière de la plaine du Gharb (Maroc). C'est une bande parallèle à la côte atlantique, située sur la rive droite du Sebou [3]. Elle est délimitée au nord par la commune de Benmansour; à l'ouest par l'océan atlantique; au sud par l'embouchure du Sebou qui constitue sa frontière naturelle avec la ville de Kénitra (**Figure 1**). A l'Est, elle se sépare de la commune rurale de Moghrane par les méandres du Sebou. Elle est connue par une activité agricole et un élevage intensifs. Les eaux usées sont rejetées généralement dans les fosses perdues.

La pédologie de M'nasra est constituée par un système dunaire à relief mouvementé élevé de 10 à 20 mètres. C'est la zone la plus large du sahel et la plus intéressante pour l'agriculture.

L'aquifère de M'nasra est constitué par un niveau grésosableux qui affleure en surface sur l'ensemble des zones dunaires; épais de 20 à 30 m dans le cordon littoral et mince sur les dunes intérieures (5 à 10 m). Ce niveau superficiel contient une nappe phréatique, alimentée par l'infiltration des eaux de pluie.

Les températures maximales et minimales au niveau de la zone M'nasra sont de l'ordre de 22,5°C et 11,8°C [3].

La pluviométrie est inégalement répartie. Cette irrégularité annuelle se traduit par la concentration des précipitations pendant les mois d'hiver et du printemps (84 %) dont plus de 50 % entre Octobre et Décembre [3].

Dans le but de mieux apprécier les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la nappe M'nasra, notre travail a été réalisé au niveau de sept puits (P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, P₆ et P₇) représentatifs à savoir (**Figure 1**):

- ❖ P₁ : situé au douar Ouled Berjal, à proximité de l'oued Sebou ;
- ❖ P₂ : situé au douar Ouled El arbi, situé à proximité d'une étable ;
- ❖ P₃ : situé au douar Ouled El assal ;

- ❖ P₄ : situé au douar Laklalcha ;
- ❖ P₅ : situé au douar Laâfayfa ;
- ❖ P₆ : situé au douar Ouled Azzouz ;
- ❖ P₇ : situé au douar Laânabssa.

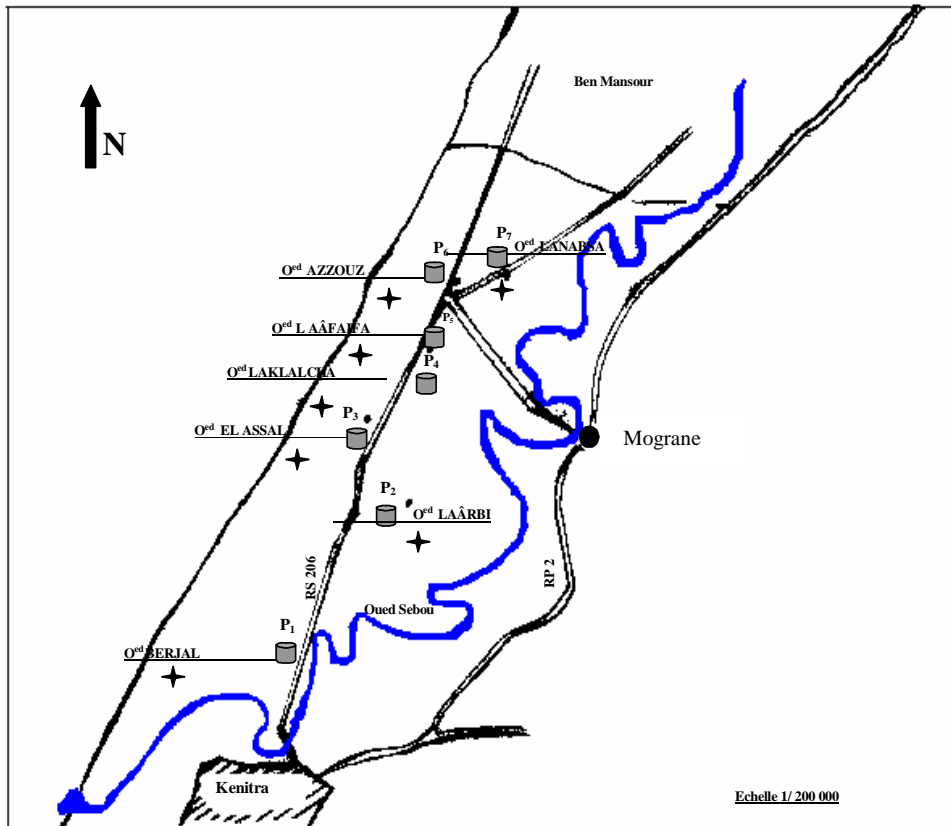






Figure 1 : Localisation des puits étudiés au niveau des différents Douars dans la zone M'nasra [3].  : Puits,  : Douars,  : Route et  : Oued

Les prélèvements au niveau des pompes sont effectués après un flambage du robinet et un pompage prolongé dans le but d'avoir une eau de qualité permanente. Les échantillons d'eau sont recueillis dans des flacons de 500 mL conservés en glacière réfrigérée (4°C) jusqu'au moment de l'analyse.

Le suivi des paramètres physico-chimiques est effectué selon les techniques de Rodier [9]. La température, le potentiel (pH) et la conductivité électrique (Cs) sont mesurés in situ à l'aide d'un multiparamètre portatif (Consort, type C 835). Les nitrates (NO₃⁻), les

nitrites (NO_2^-), l'azote ammoniacal (NH_4^+) et les sulfates (SO_4^-) sont déterminés par dosage colorimétrique à l'aide d'un spectrophotomètre (UV/visible Lambda 2).

La dureté (TH), le calcium (Ca^+) et le magnésium (Mg^+) sont dosés par la méthode volumétrique en EDTA. L'oxydabilité (les matières oxydables: MO) est déterminée par oxydation à chaud en milieu acide. Le titre alcalin (TA), titre alcalin complet (TAC) et les bicarbonates (HCO_3^-) sont analysés par dosage volumétrique avec du HCl 0,1 N. Le sodium (Na^+) et le potassium (K^+) sont déterminés par excitation des atomes par le photomètre à flamme variant.

Les paramètres microbiologiques des eaux de la nappe M'nasra sont déterminés par la méthode du Nombre le Plus Probable (NPP) [9]. Cette méthode, consiste à inoculer, à l'aide de dilutions décimales appropriées de l'échantillon à analyser, une série de tubes contenant le milieu bouillon nutritif pour la recherche de la flore totale. Après une incubation de 24 h à 37°C , les tubes présentant un trouble sont considérés positifs. L'appréciation de la contamination d'origine fécale est réalisée par le dénombrement des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux. Les coliformes totaux sont dénombrés après une incubation de 24 h à 48 h à 37°C , les tubes contenant le milieu bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol, munis d'une cloche de Durham (test présomptif).

Les tubes positifs (fermentation du lactose et production de gaz) sont repiqués pour un test confirmatif dans un milieu sélectif contenant des sels biliaires, le Bouillon bilié au vert brillant muni d'une cloche de Durham, et un autre tube contenant l'eau peptonnée exempte d'indole puis incubés pendant 24 h à 48 h à 44°C . La production de gaz dans le premier et l'indole dans le second, témoigne la présence de coliformes fécaux.

Quant aux streptocoques, leur recherche est effectuée sur le milieu Rothe à 37°C pendant 24 h (Test présomptif). A partir des tubes de Rothe positifs, on effectue une subculture sur milieu Litsky à 37°C pendant 24 h (test confirmatif).

Les résultats sont exprimés en nombre de germes par 100 mL suivant la table statistique de Mac-Crady. Les résultats obtenus sont analysés par une comparaison statistique des moyennes (test de Duncun) [10]. A partir d'un niveau $p < 0,05$, le test est retenu comme étant significatif.

3. Résultats

L'appréciation de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe M'nasra a été suivie par le biais de l'analyse de l'eau récoltées au niveau de 7 puits durant la période Août 2002/ Juillet 2003.

Le **Tableau 1** rapporte les valeurs moyennes annuelles relatives aux différents paramètres physico-chimiques étudiés.

Sur la base des résultats obtenus, la température, le pH, les nitrites, l'azote ammoniacal, les sulfates, le magnésium et les matières oxydables enregistrent des valeurs inférieures aux normes recommandées respectivement (25°C, 6,5 et 8,5, 0,1 mg/L, 0,05 mg/L, 200 mg/L, 100 mg/L, et 0,5 mg/L) [1]. La teneur moyenne en sodium et en potassium est respectivement de l'ordre de 67,78 et 4,57 mg/L.

La conductivité électrique, les chlorures et les bicarbonates (HCO_3^-) enregistrent des moyennes respectives de 971 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 95 mg/L et 182,59 mg/L. Nous constatons que ces paramètres affichent des valeurs élevées au niveau du puits P₁ (1493 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 236,07 mg/L; 298,9 g/L).

Les eaux de la nappe M'nasra sont en outre caractérisées par une dureté totale élevée notamment au niveau des puits P₂, P₄ et P₇, respectivement 6,76 ; 7,2 et 8,2 méq/L.

Cependant, la nappe M'nasra est marquée par une pollution nitrique très intense, dont la concentration moyenne est de l'ordre de 119,17 mg/L dépassant la norme fixée par l'organisation mondiale de la santé [11]. Les résultats relatifs à la variation temporelle des nitrates (**Tableau 2**) permettent de distinguer que les fortes concentrations sont enregistrées pendant la période hivernale. Alors que les faibles concentrations sont obtenues durant la période estivale.

Tableau 1 : Valeurs moyennes M des paramètres physicochimiques des eaux de puits étudiés au niveau de la zone M'nasra (Août 2002/Juillet 2003).

Puits	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	M
T°C	21,5	21,5	21,5	21,5	25,0	21,5	21,5	21,5
pH	7,5	7,5	7,4	7,3	7,4	7,2	7,3	7,3
NO ₂ (mg/L)	0,007	0,017	0,003	0,004	0,001	0,06	0,002	0,014
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0	0	0	0,028	0	0	0	0,004
SO ₄ ⁻ (mg/L)	63,87	81,3	18,62	6,73	34,58	12,13	51,99	38,46
Mg ⁺ (mg/L)	17,74	13,61	5,59	13,37	4,86	5,59	16,53	11,04
MO (mg/L)	0,85	1,1	0,35	0,4	0,25	0,45	0,4	0,54
Na ⁺ (mg/L)	166,25	34,74	34,75	79,25	20	30,25	81,25	63,78
K ⁺ (mg/L)	3,5	10,5	4	10	0,5	0,5	3	4,57
Cs ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1493	1114	688	1015	722	562	1204	971
Cl (mg/L)	236,07	11,82	44,37	101,17	86,97	46,15	138,45	95
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	298,9	161,65	176,9	192,15	146,6	140,3	161,65	182,59
TH (méq/L)	5,2	6,76	4,68	7,2	4,56	4,16	8,2	5,82
TAC (°F)	24	13	14	15,25	11,5	11	12,75	14,5
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca ⁺ (mg/L)	74,95	113,02	84,56	122,23	83,36	74,14	137,06	98,47
NO ₃ (mg/L)	26,16	217,11	107,76	114,47	85,83	84,42	198,46	119,17

Tableau 2 : *Variation temporelle des nitrates au niveau des eaux des 7 puits étudiés de la nappe M'nasra durant la période Août 2002/Juillet 2003).*

Temps du prélèvement	Août (été)/ 2002	Décembre (hiver) /2003
P ₁	9,55	42,77
P ₂	181,49	252,73
P ₃	69,73	145,80
P ₄	90,37	138,57
P ₅	71,35	120,19
P ₆	48,65	120,42
P ₇	197,50	199,42

Les résultats relatifs à la variation spatiale de la flore mésophile aérobie totale et des indicateurs de la contamination fécale sont consignés dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : *Moyennes annuelles de la flore mésophile aérobie totale et des indicateurs de la contamination fécale au niveau des eaux de puits de M'nasra durant la période Août 2002/Juillet 2003. Les données sont exprimées en log₁₀/100 mL.*

Puits	FT (M=11,55)			CT (M=5,10)			CF (M=2,43)			SF (M=5,31)		
	X _m	X _{min}	X _{max}	X _m	X _{min}	X _{max}	X _m	X _{min}	X _{max}	X _m	X _{min}	X _{max}
P1	11,46	5	12	5,86	0	7	2,58	0	4	6,10	0	7
P2	10,85	5	12	4,75	0	6	2,81	0	4	5,20	0	6
P3	11,37	4	12	4,00	0	5	1,76	0	3	3,90	0	5
P4	10,87	5	12	3,53	0	4	2,09	0	3	3,76	0	5
P5	11,91	4	13	4,00	0	5	1,65	0	2	3,43	0	4
P6	11,36	3	12	4,85	0	6	2,83	0	4	4,31	0	5
P7	11,88	5	12	3,92	0	5	0	0	0	3,41	0	4

X_{max} : Valeurs maximale, X_{min} : Valeur minimale, X_m : Valeur moyenne, M : Moyenne des puits confondus. FT : La flore totale, CT : Coliformes totaux, CF : Coliformes fécaux, SF : Streptocoques fécaux.

La concentration moyenne de la flore mésophile aérobie totale pour tous les sites confondus est de 11,55 log₁₀/100 mL. La valeur moyenne minimale de 10,85 log₁₀/100 mL est enregistrée au niveau de puits P₂. Alors que la valeur moyenne maximale de l'ordre de 11,91 log₁₀/100 mL est enregistrée au niveau du puits P₅.

L'analyse de la variance montre que le site du prélèvement n'influence pas significativement sur la flore totale de la nappe M'nasra (P > 0,05).

En ce qui concerne les coliformes totaux, la concentration moyenne est de l'ordre de 5,10 $\log_{10}/100$ mL. La concentration moyenne maximale est enregistrée au niveau du puits P₁ (5,86 $\log_{10}/100$ mL). Tandis que la concentration moyenne minimale est obtenue au niveau du puits P₄ (3,53 $\log_{10}/100$ mL). Cependant, l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre le puits P₁ et les autres puits ($P < 0,05$).

La numération des coliformes fécaux montre que les eaux de la nappe M'nasra renferment une concentration moyenne de l'ordre de 2,43 $\log_{10}/100$ mL. La moyenne maximale en coliformes fécaux est enregistrée au niveau du puits P₆ (2,83 $\log_{10}/100$ mL) tandis que aucun coliforme fécal n'est enregistré au niveau du puits P₇.

L'analyse de la variance, montre que le site du prélèvement n'a pas un effet statistiquement significatif ($P > 0,05$).

Quant aux streptocoques fécaux, on note que la concentration moyenne des eaux de la nappe M'nasra, est de l'ordre de 5,31 $\log_{10}/100$ mL, avec une valeur moyenne maximale enregistrée au niveau du puits P₁ (6,10 $\log_{10}/100$ mL) et une valeur moyenne minimale enregistrée au niveau du puits P₇ (3,41 $\log_{10}/100$ mL).

L'analyse de la variance montre que le site du prélèvement a un effet significatif entre le puits P₁ et les différents puits ($P < 0,05$).

Le suivi de la variation temporelle de la flore totale et des indicateurs de la contamination fécale est regroupé dans le **Tableau 4**.

Nous constatons que la flore totale subit de légères fluctuations au cours de la période d'étude. La concentration moyenne minimale est obtenue au mois d'Août (4,63 $\log_{10}/100$ mL). Par contre, la concentration moyenne maximale est marquée au mois de Juillet (12,22 $\log_{10}/100$ mL).

L'analyse de la variance, montre une différence significative entre le mois de Juillet et les autres mois de l'année $P < 0,05$.

Concernant les coliformes totaux, la concentration moyenne minimale est enregistrée au mois d'Août (2,57 $\log_{10}/100$ mL). Par contre, la moyenne maximale est obtenue au mois de Novembre (5,98 $\log_{10}/100$ mL). L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre le mois de Novembre et les autres mois de l'année avec $P < 0,05$.

Quant aux coliformes fécaux, la concentration moyenne maximale est enregistrée au mois de Décembre (3,07 $\log_{10}/100$ mL). Par contre, au cours des mois d'Avril, Juin et Juillet la concentration en coliformes fécaux atteint un niveau indétectable.

Par ailleurs, les résultats montrent que la concentration moyenne des eaux de puits étudiés en streptocoques fécaux subit des fluctuations au cours de la période d'étude. La concentration moyenne minimale est enregistrée au mois d'Août (0,78 $\log_{10}/100$ mL). Tandis que la concentration moyenne maximale est enregistrée au mois de Novembre (6,91 $\log_{10}/100$ mL).

Tableau 4 : *Variation temporelle de la flore mésophile aérobique totale et des indicateurs de la contamination fécale au niveau des eaux de puits étudiés de la nappe M'nasra durant la période Août 2002/Juillet 2003. Les données sont exprimées en log₁₀/100 mL.*

Mois	FT (M=11,55)			CT (M=5,10)			CF (2,43)			SF (M=5,31)		
	X _m	X _{min}	X _{max}	X _m	X _{min}	X _{max}	X _m	X _{min}	X _{max}	x _m	x _{min}	x _{max}
Août	4,63	3	5	2,57	0	3	1,95	0	2	0,78	0	2
Septembre	7,18	6	8	3,45	1	3	1,11	0	2	1,76	1	2
Novembre	8,62	8	9	5,98	3	7	2,65	0	3	6,91	2	7
Décembre	11,06	4	12	4,32	2	5	3,07	0	4	3,06	0	3
Janvier	11,37	7	12	4,09	0	5	2,83	0	4	3,23	2	4
Mars	11,09	5	12	5,33	0	6	2,37	0	3	6,01	0	7
Avril	11,79	9	12	3,72	0	4	0	0	0	4,35	0	5
Mai	11,50	6	12	3,60	0	4	2,11	0	3	2,42	0	3
Juin	11,71	6	12	4,07	0	5	0	0	0	2,55	0	3
Juillet	12,22	8	13	4,51	0	5	0	0	0	5,33	0	6

X_{max} : Valeurs maximale, X_{min} : Valeur minimale, X_m : Valeur moyenne, M : Moyenne des puits confondus. FT : La flore totale, CT : Coliformes totaux, CF : Coliformes fécaux, SF : Streptocoques fécaux.

La quantification de la flore de contamination fécale (**Tableau 5**), nous a permis de suivre l'évolution du rapport coliformes fécaux/ streptocoques fécaux au niveau des eaux des sept puits étudiés. Les rapports trouvés restent toujours inférieurs à 0,7; ceci indique une origine animale de cette pollution.

Tableau 5 : *Détermination de la source de pollution à partir du rapport Coliformes totaux/Streptocoques fécaux.*

Puits	X=CF/SF	Nature de la contamination
P ₁	0,0003	X est toujours inférieur à 0,7
P ₂	0,004	
P ₃	0,006	
P ₄	0,021	
P ₅	0,016	
P ₆	0,032	
P ₇	0	

4. Discussion

Les résultats de l'analyse physico-chimique présentés dans ce travail, ont montré que le pH, la température, la matière organique et les sulfates peuvent être considérés admissibles et ne présentent aucune incidence sur la qualité de la nappe. Ainsi, les valeurs moyennes du pH (7,3), la température (22 °C), la matière organique (0,54 mg/L) et les sulfates (38 mg/L) sont compatibles avec les normes des eaux d'alimentation [1]. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par *Chippaux et al* [12], lors de leurs études sur les eaux de la nappe phréatique de la plaine alluvionnaire de Niamey au Niger.

Les résultats des essais physico-chimiques ont révélé également l'existence d'une dureté élevée au niveau des puits P₂, P₄ et P₇ avec respectivement 6,76 ; 7,2 et 8,2 méq/L. Alors qu'une salinité élevée a été enregistrée au niveau du puits P₁ (1493 µS/cm). La proximité du puits P₁ avec l'oued Sebou explique la forte teneur en chlorures. Les résultats de l'analyse physico-chimique montrent que les eaux de sept puits étudiés affichent une concentration élevée en nitrates 119 mg/L avec une valeur maximale de l'ordre de 252 mg/L. Les valeurs élevées en nitrates sont rapportées par d'autres auteurs qui ont travaillé sur la nappe M'nasra. En effet, *Krira et al.* [2] ont trouvé la valeur 223,20 mg/L comme valeur maximale en nitrates. La pollution nitrique des eaux souterraines étudiées est due à l'utilisation massive des fertilisants azotés, à l'élevage et au mode d'irrigation gravitaire [13]. En effet, pour l'ensemble de la zone M'nasra, *Krira et al.* [2] ont signalé un taux moyen d'azote potentiellement lixiviable de l'ordre de 161,10 kg N/ha/an. De même, la nature sablonneuse du sol de la zone M'nasra contribue à l'aggravation de la pollution nitrique [2-4]. Ces auteurs ont montré que plus les formations géologiques sont perméables et peu épaisses, plus les concentrations en nitrates dans la nappe sous-jacente sont élevées.

La variation de la concentration en nitrates constatée entre les différents puits peut être liée entre autre à l'hétérogénéité du milieu physique. Pour *Saadi et al.* [14], la grande variabilité spatiale des nitrates au niveau de la zone d'étude M'nasra serait due à la texture de la surface et à la lithologie. Les précipitations lourdes et l'absence de la couverture végétale contribuent à la lixiviation rapide des nitrates vers la nappe M'nasra selon *Saadi et al* [14]. De même, *Zilliox et al* [15] ont constaté que la période hivernale constitue la phase critique de lessivage de l'azote excédentaire dans les eaux souterraines en France dans la vallée du Rhin, du fait de l'absence du couvert végétal et de l'incidence de fortes précipitations. Par ailleurs, la nappe phréatique M'nasra héberge de fortes densités en flore totale et en indicateurs de la contamination fécale, en accord avec ceux trouvées par *Boutin et Dias* [16] pour la nappe de Marrakech (Maroc). Les valeurs élevées en coliformes fécaux et streptocoques fécaux au niveau de la nappe

phréatique M'nasra sont similaires à ceux trouvées au niveau de la nappe phréatique de Yaoundé (Cameroun) où les concentrations maximales annuelles fluctuent de 2 à 3,5 $\log_{10}/100\text{mL}$ pour les coliformes fécaux et de 1,9 à 3,7 $\log_{10} /100 \text{ mL}$ pour les streptocoques fécaux [17]. De même des fortes concentrations en coliformes fécaux sont enregistrées au niveau des eaux de puits de la nappe phréatique de Yembeul au Sénégal avec des fluctuations entre 0 et 6,8 $\log_{10} /100 \text{ mL}$ [18]. Les densités de ces bactéries subissent d'amples fluctuations spatio-temporelles au niveau des eaux de la nappe M'nasra. En effet, la forte concentration en coliformes totaux et en streptocoques fécaux enregistrée au niveau de puits P₁ (5,86 et 6,10 $\log_{10}/100\text{mL}$) respectivement, peut être attribuée à l'influence de l'oued Sebou qui reçoit des déchets divers. L'intensité de la pollution des eaux souterraines dépend du type du sol et de la dose en polluants [19].

En effet, les eaux superficielles chargées en microorganismes s'infiltrant dans le sol sablonneux, parviennent à la nappe sans avoir bénéficié d'une filtration efficace, et occasionnent une multitude de pollutions ponctuelles. *Boutin* [20] a mentionné également que l'eau d'une nappe phréatique est d'autant plus vulnérable que le sommet de la nappe est proche de la surface du sol, que les terrains qui surmontent l'aquifère sont perméables et que les sources superficielles de pollution sont importantes. En outre, les rejets d'élevage du bétail ainsi que l'utilisation du fumier comme fertilisants, contribuent à leur tour à la pollution des eaux souterraines [21]. L'augmentation de la concentration en coliformes totaux, en coliformes fécaux et en streptocoques fécaux au mois de Décembre et Novembre est due au fait que pendant la période hivernale, l'augmentation du niveau piézométrique accélère la propagation des polluants microbiologiques qui se trouvent sur le sol ou piégés dans la zone insaturée.

En effet, La zone M'nasra reçoit 84 % des précipitations entre Octobre et Décembre [3]. Une fois que le polluant franchit la barrière de la zone insaturée, la propagation du polluant ne rencontre plus d'obstacles [19]. Les bactéries ainsi recueillies peuvent être entraînées par l'écoulement de la nappe vers les puits à usage domestiques. L'application des doses élevées en fumiers supérieures aux besoins des plantes, avant une pluie importante, sera transportée vers la nappe phréatique en entraînant avec eux les microorganismes pathogènes. *Coyne et Howelm* [22] ont observé que plus le temps entre l'épandage des fumiers et la pluie est long, plus le taux de contamination fécale est faible. Le rapport coliformes totaux/ streptocoques fécaux est inférieur à 0,7. Ceci explique bien que l'origine de la contamination de la nappe M'nasra est strictement animale. Ces résultats confirment les observations de *Jagals et al.* [23] qui ont noté qu'un rapport CF/SF élevé (>4) peut être considéré comme un bon indice d'une d'origine humaine et un rapport faible montre une origine animale de la pollution.

4. Conclusion

Les résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau de la nappe phréatique de M'nasra, ont montré que le pH, la température, la matière organique et les sulfates peuvent être considérés admissibles et ne présentent aucun danger pour la consommation.

Les eaux de puits étudiés affichent des concentrations moyennes en nitrates supérieures aux normes de 50 mg/L selon l'organisation mondiale de la santé (O.M.S). Ces résultats confirment l'impact de l'intensification de l'agriculture, les rejets des eaux usées domestiques et industriels.

Il est à signaler que la nappe phréatique de M'nasra affiche des concentrations élevées en dureté et en salinité.

La présence très élevée des germes indicateurs de la contamination fécale, ainsi que la présence certaine d'autres germes responsables d'infections transmises par l'eau, constituent sans doute une menace pour les habitants qui tirent l'eau nécessaire à la majeure partie de leurs besoins à partir de l'eau de ces puits.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme PROTARS P/4/, financé par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique Marocain.

Références

- [1] - Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, « Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc (REEM) », Département de l'Environnement, Observatoire National de l'Environnement du Maroc (ONEM), Octobre, Ed, 2 (2001) 296 p
- [2] - A. Krira, B. Chakour et H. Fouta, « Intensification de l'agriculture et son impact sur l'environnement. Cas des nitrates dans la nappe phréatique de M'nasra du Ghab », Actes 1^{er} Colloq. Sur le Développement agric. Rech. Agron. au niveau de la région du Ghab, (2001)
- [3] - Office Régional de mise en valeur agricole Gharb Maroc, « Etude pédologique au 1/20 000 de la Troisième Tranche d'Irrigation (TTI) sur une superficie de 100.000 ha. Zone M'nasra, Z₁-Z₂. Kénitra, Maroc », Rapport inédit, (1994) 180 p
- [4] - M. Zeraouli, « Pollution par les nitrates. Premiers résultats de la situation actuelle dans la nappe des Mnasra (décembre 1992-janvier 1993) », Office régional de mise en valeur agricole du Gharb, Département de développement

- agricole, Service des études de développement agricole, Bureau Agro-Pédologique, Publication interne ORMVAG, septembre, (1993)
- [5] - M. Laferriere, J. J. Minville, J. Lavoie et P. Payment, « L'industrie porcine et les risques reliés à la santé humaine », *Bull. Information Santé Environnem*, Québec, 7 (2) (1996) 1-4.
- [6] - F. J. Angulo, S. Tippen, D. J. Sharp, B. J. Payne, C. Collier, J. E. Hill, T. J. Barret, R. M. Clark, E. E. Geldreich, H. D. Donnel et D. L. Swerdlow, « A community waterborne outbreak of salmonellosis and effectiveness of a boil water order », *American Journal of Public Health*, 87 (4) (1997) 580-584.
- [7] - J. M. Balbus et M. A. Embrey, « Risk Factors for Waterborne Enteric Infections », *Current Opinion in Gastroenterology*, 18(1) (2002) 46-50
- [8] - Landreau, « La pollution des eaux par les nitrates », *Eau et développement*, 2 (1990) 49-48
- [9] - J. Rodier, « L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : physico-chimie, bactériologie et biologie », Ed. Dunod, Paris, France, 8 (1996) 1383p
- [10] - D. B Duncun, « Multiple rang and multiple F tests », *Biometrics*, 11 (1955) 1-42.
- [11] - Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), « Charte d'Ottawa pour la promotion de la santé », Copenhagen : Bureau régional de l'Europe, (1986)
- [12] - J. P Chippaux, S. Houssier, P. Gross, C. Bouvier et F. Brissaud, « Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger », *Bull. Soc. Pathol. Exot*, 95 (2) (2002) 119-223.
- [13] - Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement, « Etude pour programme d'action visant à minimiser et à contrôler l'impact des engrais et des pesticides sur l'environnement du bassin de Sebou », PPES (Projet de l'environnement du Sebou), Secrétariat d'état chargé de l'environnement, (Maroc), (1999) 43p
- [14] - Z. Saadi, A. Maaslouhi, M. Zeraouli et J. P Gaudet, « Analyse et modélisation des variations saisonnières des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines de la nappe Mnasra, Maroc », *C. R. Acad. Sci., Sér. 2, Sci. Terre Planètes*, 329 (8) (1999) 579-586
- [15] - L. Zilliox, C. Schenc, H. Kobus et B. Huwe, « Pollution par les nitrates: Quels remèdes ? Supplément », *La Recherche Suppl. les enjeux de l'agriculture en Europe*, 227 (1990) 18-21
- [16] - C. Boutin; N. Dias, « Impact de l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech sur la nappe phréatique », *Bull. Fac. Sci. Marrakech* (Sect. Sci. Vie), 3 (1987) 5-25
- [17] - M. Nola, T. Njine, A. Monkiedje, V. Sikati Foko et E. Djuikom, « Qualité bactériologique des eaux des sources et des puits de Yaoundé (Cameroun) », *Cahiers santé*, 8 (5) (1998) 330-336

- [18] - A. A. Tandia, C. B. Gaye et A. Faye, « Origine des teneurs élevées en nitrates dans la nappe phréatique des sables quaternaires (région de Dakar, Sénégal) », *Sécheresse*, 8 (4) (1997)
- [19] - R. E. White, J. S. Dayson, R. A. Haigh, W. A. Jury and G. Sposito, « A Transfer Function Model of Solute Transport Through Soil », 2 Illustrative Applications. *Water Resources Research*, 22 (2) (1986) 248-254
- [20] - C. Boutin, « L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L'exemple des Zones rurales du Maroc », *Sci. Eau*, 6 (3) (1987) 357-65
- [21] - S. A. Bridgman, R. M. P. Robertson, Q. Syed, N. Speed, N. Andrews N and P. R. Hunter, « Outbreak of Cryptosporidiosis Associated With a Disinfected Groundwater Supply. *Epidemiology and Infection* », 115 (3) (1995) 555-566
- [22] - M. S. Coyne and J. M. Howell, « Agricultural Impacts on Fecal Contamination of Shallow Groundwaters in the Bluegrass Region of Kentucky », *Soil Science News and Views*, 15 (6) (1994) 1-3
- [23] - P. Jagals, W. O. K. Grabow and J. C. De Villiers, « Evaluation of indicators for assessment of human and animal faecal pollution of surface runoff », *Wat. Sci. Tech.*, 31(1995) 235-241