

## **CONTAMINATION BACTERIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES EAUX USEES DE LA VILLE DE SETTAT, MAROC**

**El mostafa Hassoune<sup>1</sup>, Said El kettani<sup>2</sup>, yahia Koulali<sup>1</sup> et Abdelhamid Bouzidi<sup>1</sup>**

1. Laboratoire des Sciences de l'Environnement Aquatique  
Université Hassan 1<sup>er</sup>, Faculté des Sciences et Techniques de Settat  
BP. 577 Settat – Maroc Tel. 061714713 Fax. 023400969  
E-mail : mohanis00@yahoo.fr
2. Unité de Médecine Interne, Hôpital Hassan II, Settat – Maroc

### **Remerciements**

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Projet Ecosystème et Santé Humaine CRDI/INRA N° 100771 – 0004. Il est subventionné par le Centre de Recherches pour le Développement International, Ottawa, Canada et la Fondation Ford, USA. Nos remerciements à l'INRA de Settat et la Délégation du Ministère de la Santé qui ont assuré le côté relationnel avec les riverains.

### **RESUME**

L'eau peut jouer le rôle de vecteur d'agents potentiellement dangereux, notamment des micro-organismes pathogènes. La pénurie des ressources hydriques en régions semi-arides accentue ce risque. La présente étude a été entreprise pour évaluer l'impact des eaux usées brutes, sur la qualité microbiologique des eaux de dix puits de la commune des Mzamza au nord de la ville de Settat et les paramètres physico-chimiques pouvant favoriser le développement bactérien.

Les résultats obtenus confirment une contamination microbiologique des eaux souterraines étudiées. En effet, Le nombre des microorganismes dénombrés (coliformes, streptocoques et staphylocoques) dépasse les valeurs indiquées par les normes marocaines et les directives de l'OMS. Le dénombrement des staphylocoques montre que les puits 2 et 7 sont les plus chargés en germes (respectivement 8406 et 12920 germes/300 ml). Les eaux du puits 7 sont les plus contaminées par les différents

indicateurs étudiés, on y trouve  $5029 \pm 1749$  coliforme fécal/100ml,  $6025 \pm 2225$  streptocoque fécal /100ml,  $1866 \pm 991$  staphylocoque /100ml. Ces résultats s'expliquent par son faible niveau piézométrique. La provenance des contaminants des eaux usées est fort probable. La présence excessive de matière organique (jusqu'à 350 mg/l pour la DCO et 45 mg/l pour la DBO) accentue l'état de contamination.

**Mots clés:** Eau usée ; Eau souterraine ; contamination ; Indicateurs microbiologiques ; matière organique ; densité bactérienne.

## **ABSTRACT**

### **Bacteriological contamination of ground water from wastewater of Settatt-city, Morocco**

Water can play the role of vector of potentially dangerous agents, in particular pathogenic micro-organisms. The shortage of the hydrous resources in semi-arid regions stresses this risk. The present study was carried out to estimate the impact of raw waste water on the microbiological quality of water of ten wells of the Commune of Mzamza in the North of the city of Settatt and the physicochemical parameters which can facilitate the bacterial development.

The obtained results confirm a microbiological contamination of studied subterranean water. Indeed, the number of the counted micro bodies (coliforms, streptococci and staphylococci) exceeds the values indicated by the Moroccan standards and the directives of the OMS. The enumeration of staphylococci shows that wells 2 and 7 are the most loaded with germs (respectively 8406 and 12920 germ / 300 ml). Water of the well 7 is the most contaminated by the various studied indicators. We find  $5029 \pm 1749$  on coliforms fecal / 100ml,  $6025 \pm 2225$  fecal streptococcus there / 100ml,  $1866 \pm 991$  staphylococcus / 100ml. These results are justified by the low piezometric level of. The provenance of the contaminants of waste water is very likely. The excessive presence of organic matter (until 350 mg / l for the DCO and 45 mg / l for the

DBO) stresses the state of contamination.

**Keywords** : waste water; ground water; contamination; microbiological indicators; organic matter; bacterial density

## **INTRODUCTION**

Les eaux usées constituent un réel danger pour les ressources naturelles et environnementales des écosystèmes terrestres. Leur infiltration à travers le sol peut engendrer des problèmes pour les consommateurs non avertis des eaux de puits.

Plusieurs études d'impact des effluents liquides sur la qualité des eaux souterraines ont accusé le rejet sans traitement des eaux usées. En effet, cette pratique risque à long terme de détruire les eaux superficielles, le sol qui constitue le support des végétaux et protecteur des eaux souterraines par filtration des eaux de surfaces [Boulanouar (1986) ; Boulal (1988) ; Lyakhloufi et al. (1999) ; Chalbaoui (2000) ; Tazi et al. (2001) ; Kholtei et al. (2003) ; Aboukacem et al. (2007)].

La dégradation de ces ressources naturelles fortement sollicitées dans la production de la nutrition humaine met en péril la santé des consommateurs, notamment les enfants dont l'immunité est encore faible [Ait melloul et al. (2002) ; Nimri. et al. (2004); El Kettani et al. (2006)].

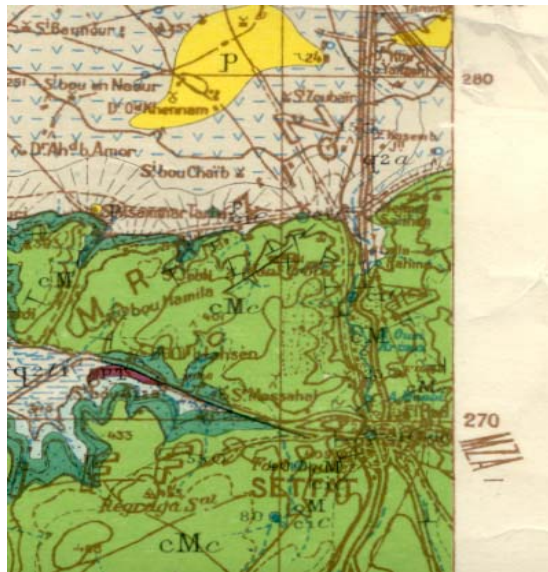
Les eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Settat sont évacuées sans traitement dans l'oued Bou moussa (OBM). Ce dernier étant à ciel ouvert à sa sortie de la ville et traverse les localités Dladla et Boukallou de la commune des Mzamza (zone d'étude). Le long de son passage, les riverains l'utilisent pour l'irrigation de cultures céréalières et fourragères. L'infiltration des eaux usées aux voisinages immédiats du canal ou lors de leur utilisation pour des fins agricoles a un effet nocif sur la qualité physico-chimique des eaux de la nappe phréatique [Kholtei et al. (2003) ; Hassoune et al.(2006)].

Cette étude a comme objectif l'évaluation de l'impact des eaux usées par la quantification de la contamination bactériologique en dénombrant les coliformes, les streptocoques fécaux et les staphylocoques dans les eaux des puits proches de l'écoulement des eaux résiduaires

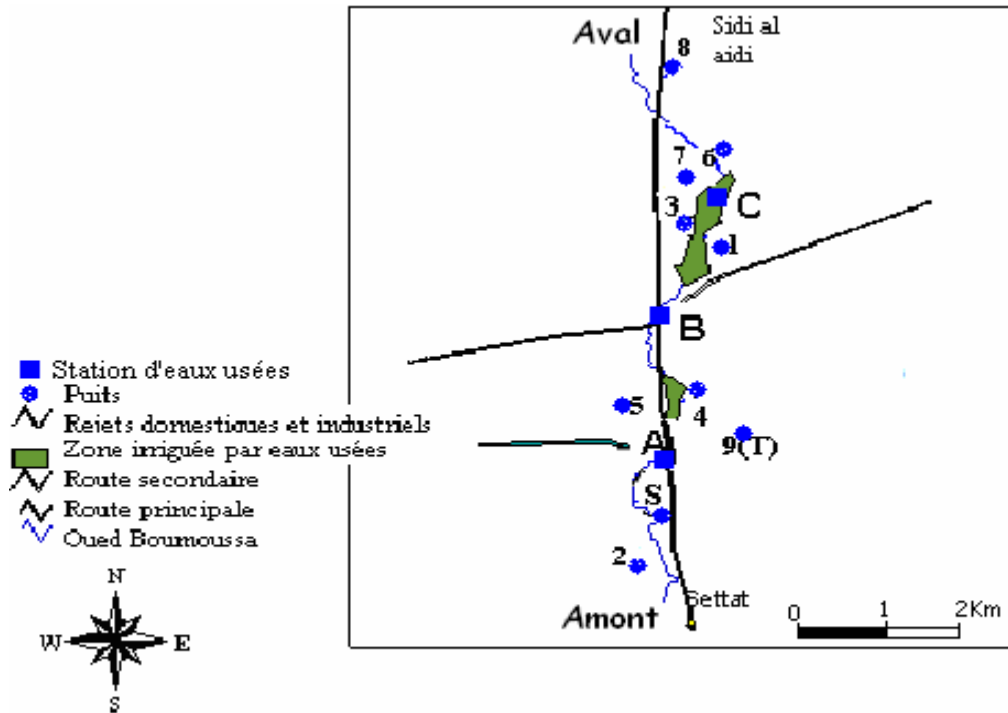
## MATERIEL ET METHODE

### 1. Zone d'étude

La province de Settat est située au centre du Maroc, Son climat est aride à semi-aride. La pluviométrie moyenne annuelle est autour de 284 mm avec une forte variabilité intra et inter annuelle. La ville de Settat produit environ 9000 m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour. Ces eaux usées non traitées sont réutilisées pour irriguer plus de 400 hectares de terres agricoles. La zone d'étude (*Fig.1 et Fig.2*), située entre la ville de Settat et le village de sidi al aidi, est la région la plus touchée par ces rejets.



**Figure 1- Carte Géologique de Settat (1/200000) (El Bouqdaoui, 1995)**



**Figure 2- Localisation géographique de la zone d'étude et des sites prospectés de la commune de Mzamza (A,B et C sont des stations d'eaux usées)**

## 2. Prélèvements et techniques d'analyse :

Des prélèvements mensuels des échantillons des eaux de puits ont été effectués sur une période d'une année (Septembre 2003 - Août 2004). Le choix des dix sites prospectés s'est basé sur la fréquence d'utilisation par les riverains et la distance les séparant de OBM (*Tab.I*). Le puits 9 est pris comme témoin étant donné son éloignement de la source de pollution (800m).

**Tableau I- Caractéristiques morphométriques des trois stations des eaux usées de l'oued Bou moussa et des puits prospectés A, B et C sont des stations d'eaux usées. S est une source d'eau .1 à 9 représentent les numéros des puits étudiés**

| SITES | Coordonnées Lambert              | Niveau d'eau par rapport au sol (m) | Distance à la source de pollution (m) | Altitude (m) | Hauteur de la margelle | Aire assainie |
|-------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------|------------------------|---------------|
| A     | X 33° 02' 31 N<br>Y 7° 37' 30 W  | -                                   | 0                                     | 308          | -                      | -             |
| B     | X 33° 03' 14 N<br>Y 7° 37' 34 W  | -                                   | 0                                     | 296          | -                      | -             |
| C     | X 33° 04' 31 N<br>Y 7° 37' 02 W  | -                                   | 0                                     | 266          | -                      | -             |
| S     | X 33° 04' 31 N<br>Y 07° 37' 03 W | -                                   | 25                                    | 325          | -                      | grande        |
| 1     | X 33°01'92N<br>Y 07°37' 80 W     | 32 - 35,8                           | 30                                    | 266          | 5 cm                   | Absente       |
| 2     | X 33°01'15 N<br>Y 07°37'35 W     | 14 - 14,9                           | 150                                   | 340          | 70 cm                  | Petite        |
| 3     | X 33° 04' 39 N<br>Y 07° 37' 51 W | 4,4 - 6,6                           | 200                                   | 273          | 50 cm                  | Absente       |
| 4     | X 33° 05' 22 N<br>Y 07° 37' 27 W | 22,4 - 24,1                         | 287                                   | 305          | 40 cm                  | Absente       |
| 5     | X 33° 02'40 N<br>Y 07° 37' 16 W  | 21,82 - 25,6                        | 334                                   | 280          | 40 cm                  | Absente       |
| 6     | X 33° 03' 38 N<br>Y 07° 37' 51 W | 16 - 26,2                           | 360                                   | 282          | 20 cm                  | Absente       |
| 7     | X 33° 04' 58 N<br>Y 07° 37' 23 W | 2,3 - 3,7                           | 475                                   | 277          | 60 cm                  | Petite        |
| 8     | X 33° 06' 14 N<br>Y 07° 37' 31 W | 22,8 - 31,2                         | 605                                   | 254          | 20 cm                  | Absente       |
| 9(T)  | X 33°02'37 N<br>Y 0 7° 36'52 W   | 36,1 - 40,4                         | 800                                   | 330          | 60 cm                  | Absente       |

Trois stations d'eaux usées (A, B et C) ont été choisies parmi plusieurs à la lumière d'une étude préliminaire. Ces stations se localisent successivement sur OBM de son amont (ville de Settat qui constitue la source des rejets) vers son aval (commune des Mzamza qui constitue la zone d'épandage des rejets) (Fig.2).

L'échantillonnage des eaux des puits se fait dans des flacons stériles de 450 ml.

Leur transport au laboratoire s'effectue dans une glacière (4°C). La température (NF T 90- 100), le pH (NF T 90- 008) et la conductivité électrique (NF T 90- 031) sont mesurés in situ respectivement au moyen de thermomètre, de pH-mètre et de conductimètre [Rodier et al. (1996)].

Les analyses microbiologiques et certaines analyses physico-chimiques DBO (NF T 90- 103), DCO (NF T90-101), O<sub>2</sub> dissous (NF T 90- 106)) sont effectuées dès l'arrivée au laboratoire. Les méthodes utilisées sont respectivement celles préconisées par Afnor (*Tab.II*) et Rodier et al. (1996). La culture sur milieu gélosé permet le dénombrement des colonies spécifiques. Après filtration d'un volume de 100 ml sur une membrane en ester de cellulose de 0,45 µm de porosité, cette dernière est déposée sur la gélose nutritive dans des boîtes de pétri. La culture des coliformes se fait sur une gélose lactosée au TTC et tergitol, celle des streptocoques fécaux sur milieu de Slanetz et Bartley et celle des staphylocoques pathogènes sur Chapman mannité [Collin (1986)]. Ensuite les Boîtes de pétri sont introduites pour incubation dans des étuves réglées à température constante (37 ± 1°C) pendant 48 heures, sauf pour les coliformes fécaux (thermotolérants) qui sont incubés à 44 ± 0,5°C pendant 24 heures.

**Tableau II- Méthodes d'analyses microbiologiques utilisées pour la détermination de la qualité des eaux de la nappe phréatique de Mzamza (source: Barbalat et al., 1997)**

| Germes recherchés                              | Méthode  | Code |
|--|--|------|
| Coliformes<br>Afnor NF T 90-413(414)           | Recherche et décombrement des coliformes totaux et thermotolérants | B    |
| Streptocoques<br>Afnor NF T 90-416             | Recherche et décombrement des streptocoques du groupe D            | B    |
| Staphylocoques pathogènes<br>Afnor NF T 90-421 | Recherche et décombrement des staphylocoques pathogènes            | B    |

*B: méthode par filtration sur membrane*

### **3. Analyse statistique**

Les résultats des analyses des eaux ont été traités par le système d'analyses statistiques "SAS 99". Nous avons réalisé une comparaison des moyennes des différents paramètres analysés, avec l'intervalle de confiance à 95 %. Les régressions linéaires sont des droites dont la pente et l'ordonné à l'origine nous permettront d'évaluer le degré d'influence des différents paramètres étudiés sur l'évolution des populations bactériennes.

## **RESULTATS**

### **1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées de Settat**

Les températures des eaux usées de la ville de Settat ne dépassent pas 30°C ; valeur limite de rejet préconisée par l'ONEP (2003). Elles varient entre  $24,4 \pm 2,15$  °C en amont et  $21,56 \pm 2,6$  °C. Ces eaux sont neutres à alcalines, les valeurs moyennes de pH varient entre 7,5 et 8,8 ; cela est probablement lié à la neutralisation des rejets industriels avant leur déversement par les industries. Leur conductivité électrique diminue de l'amont ( $3462,5 \pm 461,8 \mu\text{s/cm}$ ) vers l'aval de l'écoulement ( $2725 \pm 411,5 \mu\text{s/cm}$ ). La teneur en oxygène des eaux résiduaires est très faible (environ 1,5 mg d'O<sub>2</sub>/l). La DBO<sub>5</sub> et DCO augmentent de l'amont vers l'aval du trajet des eaux résiduaires de OBM (*Tab. III*), ceci s'explique par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité et la multiplication, nécessitant l'oxygène, sont augmentées par la diminution de la vitesse d'écoulement. Les MES diminuent de l'amont ( $1219,2 \pm 191,3$  mg/l) vers l'aval du rejet ( $912,1 \pm 157$  mg/l).



**Tableau III - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits et des eaux résiduaires de OBM -- élément en traces**

A, B et C sont des stations d'eaux usées. S est une source d'eau .1-9 représentent les numéros des puits étudiés

| Sites                | Conductivité<br>µs/cm | O <sub>2</sub><br>mg d'O <sub>2</sub> /l |        | DCO           | DBO <sub>5</sub> | NO <sub>2</sub><br>mg/l | NO <sub>3</sub><br>mg/l |
|----------------------|-----------------------|--|--------|---------------|------------------|-------------------------|-------------------------|
|                      |                       |  |        |               |                  |                         |                         |
| <b>A</b>             | 3462,5<br>461,77      | ± 1,47                                   | ± 0,86 | 216,1 ± 134,4 | 174,2 ± 65       | 3 ± 0,9                 | 87± 50,2                |
| <b>B</b>             | 3112,5 ± 594,7        | 1,46 ± 1                                 |        | 221,2 ± 146,5 | 215,9 ± 66       | 4,5 ± 0,85              | 85± 51,7                |
| <b>C</b>             | 2725 ± 441,5          | 1,4<br>0,96                              | ±      | 273,5 ± 202,4 | 265,3 ± 87       | 1,8 ± 0,77              | 77± 56,6                |
| <b>Normes<br/>*</b>  | -                     | -  |        | 300           | 100              | -                       | -                       |
| <b>S</b>             | 2750± 423,7           | 4,5± 2,8                                 |        | 150± 92,5     | 30± 8            | 0,5± 0,8                | 60± 21,5                |
| <b>1</b>             | 3300± 561,8           | 6± 3,36                                  |        | 200± 98,2     | 26± 7,5          | 0,3± 0,2                | 80± 44,8                |
| <b>2</b>             | 2500± 343,2           | 3± 2                                     |        | 350± 128      | 45± 17,2         | 0,6± 0,76               | 111± 87                 |
| <b>3</b>             | 3700± 750,9           | 4± 2,81                                  |        | 167± 76,6     | 18± 7            | 0,2± 0,1                | 70± 18                  |
| <b>4</b>             | 2807± 354             | 4± 3,06                                  |        | 140± 59,9     | 22± 6,8          | 0,2± 0,09               | 50± 23,2                |
| <b>5</b>             | 4800± 788,1           | 5,5± 3,46                                |        | 100± 54,7     | 18± 8,1          | 0,1± 0,03               | 67± 26,5                |
| <b>6</b>             | 3000± 477             | 5± 2,75                                  |        | 134± 49,4     | 16± 11,4         | 0,76± 0,9               | 55± 63,1                |
| <b>7</b>             | 3100± 482,6           | 4,4± 2,69                                |        | 150,5± 61     | 20± 6,2          | --                      | 112± 92,3               |
| <b>8</b>             | 3000± 433,9           | 5± 3,77                                  |        | 104± 44,4     | 11± 4            | 0,1± 0,3                | 80± 58,2                |
| <b>9(T)</b>          | 1300± 121,5           | 6,50± 3,5                                |        | 32± 15        | 3,9± 2,5         | --                      | 25± 15                  |
| <b>Normes<br/>**</b> | 2700                  | 4  |        | 37            | 7                | 0,5                     | 50                      |

\* Normes de rejet    \*\* Normes de potabilité

## 2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits étudiés de la commune des Mzamza

Les aquifères de la région étudiée sont constitués de roches calcaires, marno-calcaire ou marneuses [El Bouqdaoui (1995)]. Le niveau d'eau par rapport au sol qui a

été mesuré mensuellement à l'aide d'une sonde varie moyennement entre 3 m et 39 m. Leur éloignement du lit de OBM varie de 30 à 800 m. Le degré d'entretien varie d'un puits à l'autre par l'absence ou la présence de la margelle et l'aire assainie (*Tab.I*).

### **2.1. Conductivité électrique (CE)**

Les valeurs de la conductivité des eaux de tous les puits étudiés, à l'exception du témoin, dépassent 2500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (*Tab.III*); valeur fixée par les normes européennes et l'OMS (OMS, 2000). Elles appartiennent aux classes 3 et 4 de moyenne et mauvaise qualité (CE >1300  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) [Ministère de l'environnement (2002)]. Le puits 5 présente une conductivité dépassant même celle des eaux usées; ceci s'explique par le substratum riche en chlorures et qui augmente après dissolution le taux de sels dissous dans les eaux de l'aquifère [Kholtei et al. (2003); Hassoune et al. (2006)].

### **2.2. Oxygène dissous**

les eaux souterraines étudiées présentent des teneurs oscillant entre  $3 \pm 2$  mg/l pour le puits 2 et  $6,5 \pm 3,5$  mg/l pour le puits témoin (*Tab.III*). La proximité du puits 2 de OBM est à l'origine de sa faible teneur en oxygène dissous.

### **2.3. DBO (Demande biochimique en oxygène)**

Les valeurs de la DBO<sub>5</sub> des eaux des puits étudiés diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne du cours de l'OBM, ceci traduit la diminution de la charge organique dans les puits selon leur éloignement de la source susceptible d'être l'origine de la matière organique et des microorganismes responsables de sa dégradation. Les puits 1; 2 et la source présentent des valeurs élevées (respectivement  $26 \pm 7,5$ ;  $45 \pm 17,2$  et  $30 \pm 8$  mg/l) à cause de leur proximité de OBM (*Tab.III*).

Les normes marocaines des eaux de consommation [Ministère de l'environnement (2002)] placent les eaux souterraines étudiées dans la classe 4 de

mauvaise qualité, étant donné que les valeurs de la DBO<sub>5</sub> dépassent 10 mg/l.

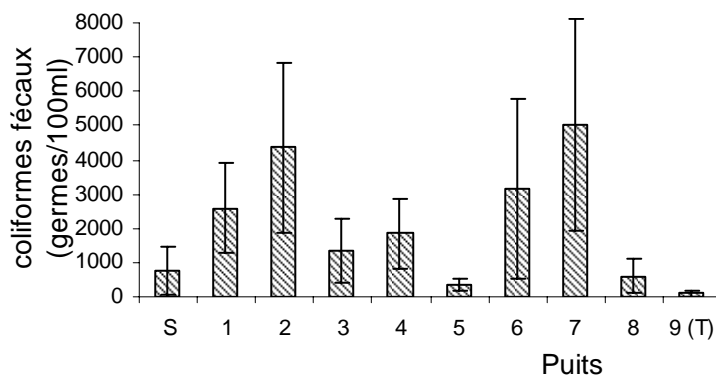
## 2.4. DCO (Demande chimique en oxygène)

Les valeurs enregistrées pour les eaux souterraines étudiées dépassant 37 mgO<sub>2</sub>/l permettent de les placer dans la dernière classe dont la qualité des eaux est très mauvaise, selon les normes marocaines [Ministère de l'environnement (2002)]. La DCO varie entre  $32 \pm 15$  mg/l pour le puits témoin et  $350 \pm 128$  mg/l pour le puits 2 (Tab.III).

## 3. Contamination bactériologique des eaux de puits

### 3.1. les coliformes fécaux (CF)

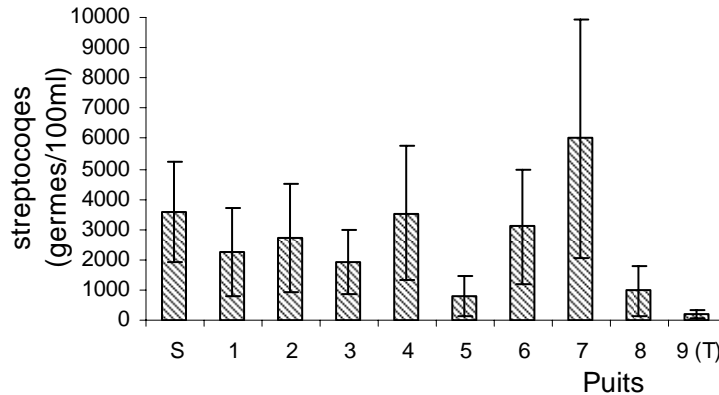
La figure 3 montre une forte concentration ( $> 2000$  UFC/100 ml) des coliformes dans les puits 1; 2; 6 et 7. Le puits témoin (9) affiche les valeurs les plus faibles. En effet, Le dénombrement de ces bactéries passe de  $108 \pm 84$  germes/100ml pour le puits témoin à  $5050 \pm 3094$  germes/100ml pour le puits 7. Ces valeurs dépassent les normes internationales ; OMS, européennes, et françaises [OMS (2000)] et même les normes marocaines qui fixent des valeurs guides de 20 UFC/100 ml pour que l'eau soit excellente [Ministère de l'environnement (2002)].



**Figure 3- Dénombrement des coliformes fécaux dans les eaux des puits de la commune des Mzamza**

### 3.2. Streptocoques fécaux (SF)

Le dénombrement des streptocoques fécaux sur milieu Slanetz-bartley a révélé que les eaux des puits 4 et 7 sont les plus chargées en streptocoques; respectivement  $3525 \pm 2208$  et  $6008 \pm 3944$  germes/100 ml (Fig.4). Le puits témoin (9) présente le plus faible degré de contamination.



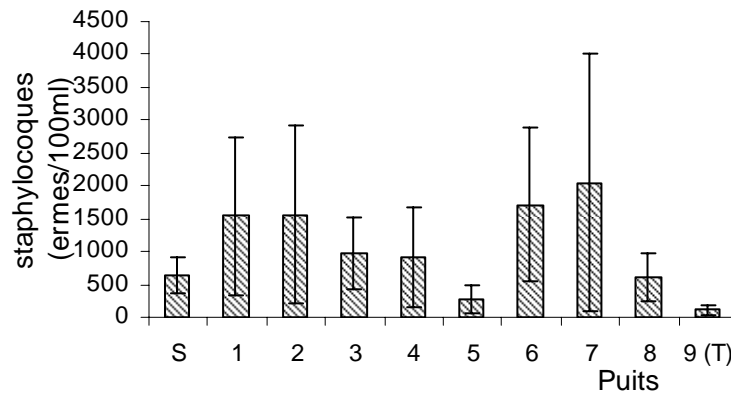
**Figure 4 - Dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux des puits de la commune des Mzamza**

Les valeurs obtenues pour ce dénombrement dépassent les normes internationales et nationales, ces dernières fixent une valeur guide de 20 UFC/100 ml pour que l'eau soit excellente. et même les normes marocaines qui fixent des valeurs guides de 20 UFC/100 ml pour que l'eau soit excellente [OMS (2000) ; Ministère de l'environnement (2002)].

### 3.3 Staphylocoques

Le nombre de germes enregistré dans les eaux des puits des Mzamza ne dépasse pas 2000 UFC/100 ml (Fig. 5). Cependant, les normes de l'OMS (2000) fixent une valeur «zéro» pour la présence de staphylocoques dans une eau destinée à la consommation humaine étant donné la pathogénicité de ces microorganismes. Les normes françaises et canadiennes[OMS (2000)] exigent elles aussi l'absence totale de

ces bactéries dans toute eau destinée à la consommation humaine directe ou même indirecte car certaines formes peuvent résister à des températures élevées [Rodier et al. (1996)]. Les puits les plus touchés sont 1 ; 2 ; 6 et 7 (respectivement  $1542 \pm 1196$ ;  $1558 \pm 1355$  ;  $1717 \pm 1164$  et  $2050 \pm 1953$  germes/100 ml). Ces valeurs dépassent les normes internationales (OMS, 2000) et marocaines [Ministère de l'environnement (2002)].



**Figure 5 - Dénombrement des staphylocoques dans les eaux des puits de la commune des Mzamza**

## DISCUSSION

Les dénombrements moyens des coliformes fécaux, des staphylocoques et des streptocoques fécaux observés dans cette étude dépassent largement les normes de potabilité. Des résultats similaires ont été enregistrés par d'autres études d'impact des eaux résiduaires que ce soit sur les eaux souterraines à Marrakech [Lyakhloufi et al. (1999)] ou sur les eaux superficielles à Meknès [Aboukacem et al. (2007)] ou par Tazi et al (2001) dans le réseau hydrographique de Casablanca ou encore par Baba moussa (1995) dans les eaux souterraines à Ouagadougou- Burkina Faso (Afrique subtropicale). Ces auteurs accusent, comme nous d'ailleurs, l'intervention humaine dans la détérioration des ressources naturelles généralement par des rejets urbains domestiques

et industriels. Les résultats confirment la présence d'une source importante de pollution et qui est à l'origine de l'instauration de milieux favorables au développement bactérien. L'effet nocif des eaux usées sur la qualité des eaux souterraines et la santé humaine a été démontré par certaines études [Kholtei et al. (2003) ; Montiel (2004) ; EL Kettani et Azzouzi (2006)]. En effet, les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de nutriments (macronutriments N, P, K, Ca, Mg et micronutriments Fe, Zn, Cu, Mn...) qui sont fortement sollicités par les populations bactériennes [Thomas (1995)].

### **1- Aspect physico-chimique**

Les eaux souterraines étudiées sont chargées en sels dissous issus en grande partie des infiltrations des eaux résiduaires comme l'ont montrées, dans la même zone, des études physico-chimiques antécédentes [Kholtei et al. (2003) ; Hassoune et al. (2006)].

Les eaux des puits proches du trajet des eaux usées présentent de faibles teneurs en oxygène dissous. Une telle diminution de ce paramètre dans les nappes phréatiques a été mise en évidence dans la même région [Kholtei et al. (2003) ; Hassoune et al. (2006)] et ailleurs [Boulanouar (1986) ; Boulal (1988) ; Lyakhloufi et al. (1999)]. La diminution des valeurs de la DBO<sub>5</sub> et la DCO des eaux des puits étudiés au fur et à mesure qu'on s'éloigne du cours de OBM explique l'appel croissant de l'oxygène par l'abondance des microorganismes et par les processus d'oxydation qui ont lieu dans ces eaux chargées de divers produits chimiques à l'état réduit. La présence d'une charge organique s'accroissant de l'amont vers l'aval provoque une diminution très importante de la concentration en oxygène dissous [Tazi et al. (2001), Kholtei et al. (2003) ; Hassoune et al. (2006)].

Les courbes de régression relatives à la DBO<sub>5</sub> sont :

$$DBO_5 = 22,6 - 0,3 d$$

$$\text{Et } DBO_5 = 23 - 0,02 h$$

Où  $d = D/SP$  et  $h = NE/S$

Les valeurs des coefficients de corrélation de la  $DBO_5$  avec  $D/SP$  et  $NE/S$  (respectivement 0,7 et 0,6) confirment le raisonnement précédent qui se base sur l'importance de ces deux facteurs dans la variabilité de la charge organique dans les sites étudiés, bien que les pentes des équations de régression ne reflètent pas de fortes variations.

## **2- Aspect bactériologique**

### **2.1- Coliformes fécaux**

Les résultats obtenus dans la présente étude sont similaires à ceux de Lyakhloufi et al. (1999) dans la nappe d'El Azouzia fortement contaminée par les eaux résiduaires de la ville de Marrakech ( $\geq 1,09 \cdot 10^4$  UFC/100ml), de Tazi et al (2001) dans le réseau hydrographique de Casablanca très influencé par les activités industrielles et domestiques urbaines ( $\geq 1,47 \cdot 10^3$  UFC) et de Aboukacem et al. (2007) dans les eaux de oued Boufekrane et Ouislane contaminées par les eaux usées de la ville de Meknès ( $\geq 8,6 \cdot 10^3$  UFC).

La forte contamination enregistrée pour le puits 7 peut être expliquée par le fait qu'il est non couvert, peu profond (2,5m), et se situe dans une zone à sol perméable [DPA (1996)] et constamment remué car il s'agit de terrains agricoles par excellence.

Ces caractéristiques expliquent la contamination prononcée d'un puits (puits 7) relativement éloigné de la source de pollution par rapport à d'autres comme le puits 1 qui est le plus proche de OBM (30m). Ce dernier présente pourtant une contamination fécale moins prononcée. Ce qui s'explique par son  $NE/S$  (niveau d'eau par rapport au sol) élevé pouvant atteindre 35,8 m et un substratum argileux à texture fine qui s'oppose aux infiltrations superficielles. Comme il est doté d'un abreuvoir et d'une aire assainie empêchant l'intrusion des animaux. C'est pour ces raisons que les coefficients de corrélation entre le nombre de coliformes fécaux et  $D/SC$  (distance à la source de

contamination), ainsi qu'au NE/S sont faibles (respectivement -0,44 et -0,37) et reflètent une corrélation en sens inverse ( $\rho < 0$ ) peu significative.

Les courbes linaires de régression incluant la distance par rapport à la source de pollution sont respectivement ;

$$Y_d = 2517,4 - 2,97 x_d$$

$$Y_h = 2956,4 - 50,42 x_h$$

Ces courbes montrent que plus la distance séparant les puits et le lit d'écoulement de OBM est grande, plus le degré de contamination est faible. Il en est de même pour NE/S mais avec une allure plus rapide comme le reflète la pente relativement plus importante de la droite  $Y_h$ .

## **2.2- Streptocoques fécaux**

Le dénombrement de cet indicateur révèle une forte contamination, D'autres études ont enregistré un diagnostic similaire révélant une charge en streptocoque supérieure à  $1,5 \cdot 10^3$  UFC/100ml [Lyakhloufi et al. (1999)] ; supérieure à  $2,88 \cdot 10^3$  UFC [Tazi et al (2001)] et supérieure à  $1,6 \cdot 10^3$  UFC/100ml [Aboukacem et al. (2007)].

la faible profondeur des eaux du puits 7 et la perméabilité des terrains avoisinants comme cité précédemment peuvent expliquer ce résultat, alors que pour le puits 4, la pente et l'usage domestique fréquent expliquent clairement sa contamination prononcée. Ces raisons expliquent pourquoi le nombre des streptocoques fécaux est faiblement corrélé avec la D/SC.

Les courbes linaires de régression relatives à D/SC et NE/S sont respectivement :

$$Y_d = 3190,5 - 4 x_d$$

$$Y_h = 4180,6 - 90 x_h$$

La droite  $Y_d$  montre que plus la distance séparant les puits et le lit d'écoulement de OBM est grande, plus le degré de contamination est faible. Il en est de même pour la



droite  $Y_h$  qui traduit la diminution du nombre des streptocoques fécaux avec l'augmentation de NE/S. Ce raisonnement est confirmé par l'importance des coefficients de corrélations relatifs aux deux variables (d et h) respectivement de l'ordre de -0,6 et -0,7. La pente de  $Y_h$  est plus importante et donc, NE/S est plus déterminant que D/SC dans la variation du nombre des streptocoques dans les eaux des puits des Mzamza.

### **2.3- Staphylocoques**

Les eaux du puits 6 fortement contaminées par ce genre de bactéries sont souvent turbides à cause de son dessèchement périodique, surtout l'été. Ce puits souffre de conditions de manque d'entretien par l'absence de couverture, d'aire assainie, ce qui augmente sa vulnérabilité vis-à-vis de la contamination par les eaux usées qui passent à son voisinage. Le puits témoin (9) demeure le moins contaminé, son éloignement relatif par rapport à la source de contamination et son entretien périodique semblent le protéger contre les contaminations provenant de son environnement immédiat.

Les droites linaires de régression relatives à D/SC et NE/S sont respectivement :

$$Y_d = 1311,3 - 1,7 x_d$$

$$Y_h = 1390 - 19 x_h$$

La droite  $Y_d$  montre que plus la distance séparant les puits et le lit d'écoulement de OBM est grande, plus le degré de contamination est faible. L'importance du coefficient de corrélation certifie ce raisonnement. Avec sa pente relativement élevée, la droite  $Y_h$  montre une diminution plus rapide du nombre de germes avec l'augmentation du niveau par rapport à la surface. Cependant la corrélation semble faible.

Le sol constitue un filtre contre les infiltrations microbiennes vers les eaux

souterraines grâce à son pouvoir adsorbant sur les bactéries et contribue donc à la diminution du nombre de ces dernières dans les eaux des nappes (Lyakhloufi et al., 1999). La structure et la texture de ses couches sont des paramètres importants dans la protection des eaux des nappes. D'autre part, l'enrichissement en matière organique d'un milieu le rend favorable au développement bactérien. Les souches issues de ce genre de prolifération dépendent de la nature du substrat présent (Rodier et al., 1996). L'évolution spatiale des différents dénombrements corrobore les travaux de Boulanoir (1986) et Lyakhloufi et al. (1999) sur la nappe de Marrakech. La distance à la source de pollution et le niveau d'eau par rapport au sol influencent significativement leur degré de contamination microbiologique.

La flore fécale humaine contient plus de coliformes fécaux que de streptocoques [Geldreich et Kenner (1987)]. L'étude du rapport CF/SF pour les eaux souterraines des Mzamza montre qu'il dépasse 1 pour la majorité des sites étudiés et en moyenne égal à 1,06. Ce qui confirme que leur contamination d'ordre fécale est essentiellement d'origine humaine.

D'autres germes éventuellement pathogènes peuvent cohabiter avec les indicateurs de contamination fécale dénombrés, ce qui aura un impact direct sur la santé des utilisateurs et surtout les plus jeunes d'entre eux. La consommation d'eau contenant des germes d'origine fécale augmente chez l'homme le nombre de la flore intestinale déjà riche et variée. Ce qui peut engendrer un déséquilibre métabolique (Collignon et al. 2004).

## **CONCLUSION**

Les résultats des analyses bactériologiques révèlent bien une contamination d'une grande partie de la nappe qui pourrait être due à l'écoulement et à l'utilisation des eaux usées brutes, ce qui risque d'avoir des effets directs et indirects sur la santé

humaine. Seulement, cette contamination bactérienne des eaux des puits peut être augmentée par des pollutions ponctuelles suite à un mauvais entretien ou le non respect des règles d'hygiène.

La distance à la source de contamination, la nature de la roche sous-jacente et le niveau des eaux dans les puits influencent significativement leur degré de contamination.

Pour limiter la contamination de la nappe qui constitue l'unique source d'approvisionnement en eau de consommation pour les habitants de Mzamza, on doit :

- Entretien des puits en protégeant par des couvercles et des aires assainies,
- Surveiller régulièrement la qualité des eaux par des analyses périodiques rapprochées,
- Eviter le déversement des eaux usées sans traitement préalable par l'installation de stations d'épuration.
- Mettre en vigueur la loi environnementale « Pollueurs-Payeurs »

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**Aboukacem et al. (2007).** Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc). *Rev. Microbiol. Ind.San.et Environn.* N°1, p : 10-22.

**Ait melloul A., Amahmid O, Hassani L. et Bouhoum K. (2002).** Health effect of human wastes use in agriculture in El Azzouzia (the wastewater spreading area of Marrakech city, Morocco) *International Journal of Environmental Health Research* 12: 17– 23.

**Baba moussa A. (1995).** Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrine en Afrique subtropicale, Ouagadougou- Burkina Faso –EIER. 20p.

**Boulanoir M. (1986).** Etude écologique comparée de quelques puits de la région de marrakech. Impact des pollutions sur la zoocénose des puits. Thèse Univ. Marrakech. 159p.

- Boulal M. (1988).** Recherches écologiques sur la faune aquatique des puits de la région de Tiznit (Anti-Atlas occidental – Maroc). Thèse univ. Quadi ayad. Marrakech. 228p.
- Chalbaoui M. (2000).** Vulnérabilité des nappes superficielles et subaffleurantes du sud-ouest tunisien. . Sécheresse n°2, vol. 11: 85-91.
- Collignon A. et Butel MJ. (2004).** Etablissement et composition de la flore microbienne intestinale. In « Flore microbienne intestinale », Rambaud JC., Buts JP. Et Corthier G., Flowie [Ed.], pp. 151-170.
- Collin JF. (1986).** Effet de la qualité bactériologique des eaux potables sur la santé. Résultats de trois études épidémiologiques menées dans la Moselle, de l'Isère, et de la Savoie. Th. Doct. Univ. Nancy. 212p.
- DPA (1996).** Etude pédologique de reconnaissance en vue de la mise en valeur agricole dans la province de Settat, Rapport réalisé par le bureau d'études J.M Coquant.
- El Bouqdaoui K. (1995).** Etude géologique et géotechnique de la ville de Settat. Cartographie géotechnique et substances utiles de la province de Settat. Thèse univ. Rabat- Maroc.
- EL Kettani S. et Azzouzi EM. (2006).** Prévalence des helminthes au sein d'une population rurale utilisant les eaux usées à des fins agricoles à Settat (Maroc). Environnement, Risques et santé, (2) pp. 99-106.
- Geldreich EE. et Kenner B.A. (1987).** Bacterial population and indicator concepts in feces swage, storm water and solid wastes. In : Indicators of virus in water and food. Ed. Berg, pp. 51-97.
- Hassoune E.M., Bouzidi A., Koulali Y. et Hadarbach D. (2006)** .Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat (Maroc) Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n°28, 61-71.
- Kholtei S, Bouzidi A, Bonini M, Fekhaoui M, Sbai K., Anane R. et Creppy E. (2003).** Contamination des eaux souterraines de la plaine de Berrechid dans la région de la Chaouia, au Maroc, par des métaux lourds présents dans les eaux usées : Effet de la pluviométrie. Vecteur Environnement, (5) pp. 68-81.

- Lyakhloufi S., ER-Rouane S., Ouazzani N. et EL Hebil A. (1999).** Vulnérabilité et risque de pollution de la nappe du Haouz de Marrakech (Maroc). *Hydrogéologie* (3) pp.43-52.
- Ministère de l'environnement (2002).** Normes marocaines relatives aux eaux destinées à la production des eaux de boisson. *Bulletin officiel* n° 5062. 4p.
- Montiel A. (2004).** Contrôle et préservation de la qualité microbiologique des eaux : traitements de désinfection. *Revue française des laboratoires*, N° 364. 3p.
- Nimri L.F., El Nasser Z. et Batchoun R. (2004).** Polymicrobial infections in children with diarrhoea in a rural area of Jordan. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*. 42, 255–259.
- OMS (1999).** Organisation Mondiale de la Santé, Aide mémoire N° 210.
- OMS (2000).** Directives de qualité pour l'eau de boisson ; Volume 2- critères d'hygiène et documentation à l'appui OMS, Genève, 2<sup>e</sup> édition, 1050 p.
- ONEP (2003).** Normes standard de rejets liquides directs. Direction d'assainissement et d'environnement.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J.-P., Chambon P., Champsaur H., et Rodi L. (1996).** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris, Dunod, 8<sup>e</sup> édition; 1384 p.
- Tazi O. Fahde A. et El Younoussi S. (2001).** Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca- Maroc. *Sécheresse*; 12(2), pp. 129-34.
- Thomas O. (1995),** Analyse microbiologique dans «Métrologie des eaux résiduaires». Ed. cebedoc. pp. 125-39.