



POLLUTION DES EAUX DE SURFACE DE LA VILLE DE FES AU MAROC : TYPOLOGIE, ORIGINE ET CONSEQUENCES

**EL OUALI LALAMI A.^{1,4}, MERZOUKI M.², EL HILLALI O.⁴, MANIAR S.³,
IBNSOUDA KORAICHI S.⁴**

¹Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu,
Direction Régionale de la Santé, Hôpital EL GHASSANI, Fès, Maroc. E-mail:
eloualilalami@yahoo.fr

²Laboratoire de Biotechnologie, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès,

³Observatoire Régional de Santé, Direction Régionale de la Santé de Fès, Maroc.

⁴Laboratoire de Biotechnologie Microbienne, Faculté des Sciences et Techniques Saiss,
Fès, Maroc.

RESUME

La pollution des eaux de surface pourrait engendrer diverses maladies telles que : choléra, typhoïde, hépatites, bilharziose et intoxications chimiques. Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'une étude hydrobiologique et écologique globale des eaux de surface de la ville de Fès.

Cet article comporte deux volets visant à :

- Déterminer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau de surface en vue de dégager le degré des divers polluants qui les affectent ainsi que leurs origines,
- Prévoir et envisager les risques sanitaires qu'ils peuvent engendrer pour l'homme, et pour la faune et la flore.

La recherche des paramètres physico-chimiques et bactériologiques a été réalisée sur des échantillons d'eau, à raison de deux prélèvements par mois durant la saison printanière et estivale de l'année 2007, pour une dizaine de collection d'eau. Les résultats nous ont permis de mettre en évidence diverses contaminations exprimées principalement par deux types de pollution :

- Une pollution microbienne importante dans 100% des eaux, provenant des eaux de ruissellement et des eaux usées domestiques et industrielles,
- Une pollution chimique de faible à importante dans l'ensemble des eaux des lacs étudiés, d'origine agricole et les rejets industriels et domestiques.

Selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les concentrations trouvées élevées en phosphore (0,85 mg/l), en orthophosphate (0,41 mg/l) et en conductivité (1547,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$) enregistrées à Oued Sidi Hrazem classent cette eau de mauvaise qualité sur le plan physicochimique. Les concentrations trouvées élevées de $3,8.10^5$ et $4,2.10^4$ UFC/100 ml respectivement en CT et CF enregistrées à Barrage Boufekrane ; et celles de $2,5.10^5$ et 5.10^4 UFC/100 ml respectivement en CT et CF enregistrées au pont Diamant vert ; et celles de 3.10^5 , $3,2.10^4$ et 9.10^3 UFC/100 ml respectivement en CT, CF et SF enregistrées à Fontaine Allal El Fassi ; et celles de 6.10^5 , $2,6.10^4$ et $1,2.10^4$ UFC/100 ml respectivement en CT, CF et SF enregistrées au Camping Sidi Hrazem., classent ces eaux de mauvaise qualité bactériologique. En conséquence, les eaux de surfaces de la ville de Fès s'avèrent entièrement chargées en germes microbiens et partiellement chargées en polluants chimiques et constituent une vraie menace pour l'environnement, en particulier pour la vie et la santé de la faune et de la flore.

Mots clés : Pollution, eau de surface, maladies hydriques, analyses physico-chimiques et bactériologiques.

ABSTRACT

The water pollution of surface can produce various diseases: cholera, typhoide, hepatitises, bilharziose and chemicals intoxications. This work is part of a hydrologic and ecologic general study of surface water of the Fes city.

This study comprises two part aiming to:

- Determine the physicochemical and microbiological characteristics of water in order to release the degree and the origins of the various pollutants which affect them,
- Envisage sanitary risks which they can generate on fauna and flora.

The research of physicochemical and bacteriological parameters was carried out on water samples were realized at a rate of two taking away per month for ten water collection. The results enabled us to highlight various contaminations expressed mainly by two types of pollution:

- Microbiological pollution in 100% of water, coming from surface water and domestic and industrial wastewater,
- Chemical pollution of weak to significant of agricultural origin and industrial and domestic wastewater.

Indeed, and according to the Moroccan classification of surface water, the concentrations found high out of phosphorus (0.85mg/l), orthophosphate (0.41mg/l) and conductivity (1547.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$) recorded in Oued Sidi Hrazem classify this water of bad quality on the physico-chemical level; and

concentrations found high of 3.8×10^5 and 4.2×10^4 UFC/100ml respectively in CT and CF recorded in Barrage Boufekrane; and those of 2.5×10^5 and 5×10^4 UFC/100ml respectively in CT and CF recorded with the bridge green Diamond; and those of 3×10^5 , 3.2×10^4 and 9×10^3 UFC/100ml respectively in CT, CF and recorded SF with Fontaine Allal El Fassi; and those of 6×10^5 , 2.6×10^4 and 1.2×10^4 UFC/100ml respectively in CT, CF and SF recorded with the Camping Sidi Hrazem, classify this water of bad bacteriological quality. Consequently, the surface water of Fès proves entirely charged in microbial germs and partially charged in chemical pollutants and constitutes a true threat for the environment, in particular for the life and the health of fauna and the flora.

According to the lawful framework of human feed waters, the found values classify this water of not-in conformity for human consumption without preliminary processing. Moroccan classification of surface water classifies this water of average to bad quality.

With the demographic growth that the town of Fes knows, the climatic changes and the industrial and agricultural development, the quality control and the monitoring of water surface and subsoil waters should arouse a particular interest. They must have like major objectives, have safe guarding of public health and the tracking of all the types of pollution which can harm human health.

Key words: Pollution, ground water, hydric diseases, physicochemical and bacteriological analysis.

INTRODUCTION

Riche en milieux aquatiques, le Maroc est parmi les pays d'Afrique les plus menacés par le fléau de la pollution de ses eaux (Mutin, 2000; Khamar et al., 2000; Azzaoui et al., 2002). Bien peu de cas de maladies à transport hydrique sont enregistrés au Maroc durant les cinq dernières années (Ministère de la Santé, 2002-2006), la pollution des eaux de surface continue de poser un problème sérieux pour l'homme et son environnement (René, 1968).

Avec la croissance démographique que connaît la ville de Fès, les changements climatiques et le développement industriel et agricole, le contrôle et la surveillance de la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines devraient susciter un intérêt particulier (El Haiti, 1991). Elles doivent avoir comme objectifs majeurs la préservation de la santé de la population et le dépistage de tous les types de pollution pouvant nuire à la santé humaine.

L'objectif de cette étude est d'évaluer le degré, la nature et l'origine de la pollution qui touche les eaux de surface de la ville de Fès, ainsi que les effets de cette pollution sur la vie et la santé de la faune et de la flore.

II. MATERIEL ET METHODES

Situation géographique de l'aire d'étude

La ville de Fès d'une population de 1.047.000 habitants, appartient à la région de Fès-Boulmène qui est située au centre-nord du Royaume. Elle s'étend sur une superficie de 20.318 km², limitée par les provinces de Sefrou, de Taounate et de Moulay Yacoub (Figure 4).

Situation des maladies à transport hydrique au niveau de la ville de Fès

L'évolution épidémiologique des principales maladies transmissibles par l'eau, durant les cinq dernières années au niveau de la ville de Fès est représentée sur la figure 1.

Aucun cas de choléra n'a été déclaré entre 2002 et 2006. En effet, le dernier cas notifié remonte à 1995. Néanmoins, et au cours des cinq dernières années, 373 cas de typhoïde, 250 cas d'hépatite virale, 01 cas de bilharziose et 24 cas de paludisme importé de l'étranger ont été dépistés (Ministère de la Santé, 2002-2006).

Il ressort aussi de cette figure que les cas des principales maladies transmissibles par l'eau (typhoïdes et hépatite virale) au niveau de la ville de Fès sont restés élevés durant les cinq dernières années avec respectivement une moyenne annuelle de 75 et 50 cas. Ceci est probablement en relation avec le manque d'hygiène, la pollution microbienne et chimique et le manque de traitement des effluents domestiques et industriels.

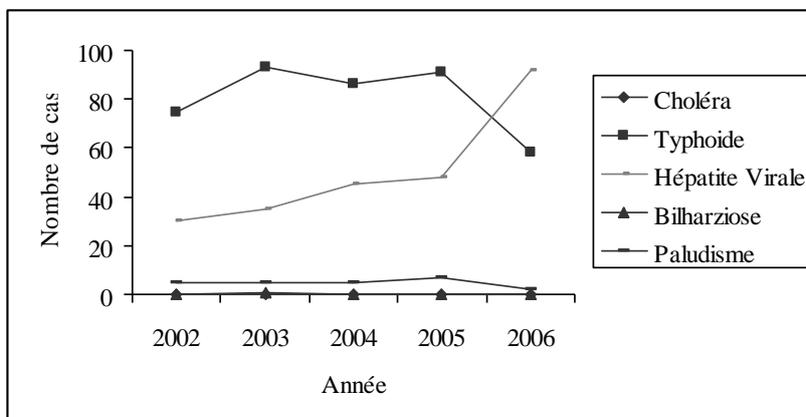


Figure 1 : Evolution des maladies à transport hydrique de la ville de Fès entre 2002 et 2006

(Source : Ministère de la santé : Santé en chiffre : www.santé.gov.ma)

Géographie et géologie

La ville de Fès est située dans la plaine de Saïs, dominée vers le nord par les rides pré-rifaines où coule le Moyen Sebou. Vers le sud, elle est dominée par la cause Moyenne Atlasique, dont la limite nord est marquée par une ligne d'escarpement d'environ 100 mètres de hauteur (*EL Bouhali, 2001*).

Hydrographie

L'hydrologie de la région de Fès est caractérisée par un système hydrographique axé sur l'Oued Fès qui s'écoule d'Ouest en Est, depuis ses sources de Ras El Ma jusqu'au Sebou en traversant l'ancienne médina de Fès. L'Oued Fès reçoit plusieurs affluents tout au long de son parcours vers l'oued Sebou, et qui sont alimentés par des résurgences de la nappe phréatique qui est à des niveaux peu profonds (0,5 à 5 mètres de profondeur) au Sud-Ouest. Cette nappe est particulièrement enrichie par les réseaux denses des oueds notamment dans la partie amont de l'oued Fès.

La nappe phréatique affleure en plusieurs points de la plaine : à proximité du lit de l'oued Fès, en bordure des autres oueds de la vallée et de la médina, formant des sources qui contribuent jusqu'à présent à l'alimentation en eau potable (*EL Bouhali, 2001*).

Climat

Les perturbations hivernales provenant de l'Ouest, du Nord Ouest ou du Ouest-Sud-Ouest sont d'abord interceptées par les hauts reliefs où elles se déchargent en grande partie. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 500 mm dans le bassin de Saïs, ce qui classe cette région dans le climat semi-aride. Le régime annuel de précipitation montre la présence de deux périodes distinctes; une pluvieuse du mois d'octobre au mois d'avril et une autre sèche du mois de juin au mois de septembre (*EL Bouhali, 2001*).

Dans la ville de Fès, les précipitations annuelles pendant les dix dernières années varient entre 202,5 mm (1998-1999) et 528 mm (2002-2003) (Figure 2). Les précipitations mensuelles durant l'année 2006-2007, période de la réalisation de cette étude, varient entre 0,19 mm (mois d'août) et 74,84 (mois de décembre) (Figure 3).

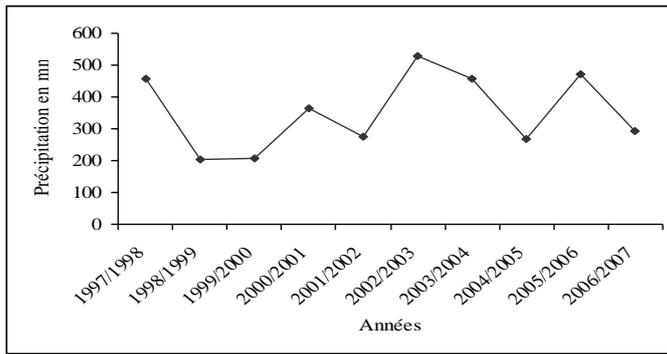


Figure 2 : Moyenne de la pluviométrie annuelle de la ville de Fès durant les dix dernières années.

(Source : Agence de Bassin Hydraulique de Sebou, année 2007).

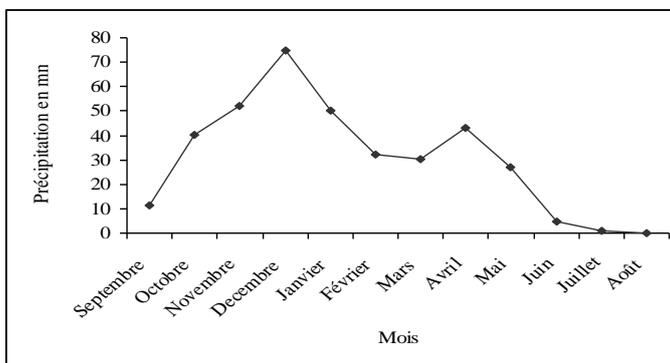


Figure 3 : Moyenne de la pluviométrie mensuelle de la ville de Fès durant 2006-2007. (Source : Agence de Bassin Hydraulique de Sebou, année 2007)

La moyenne annuelle des températures est de l'ordre de 17°C avec un écart thermique élevé entre les moyennes minimales du mois le plus froid (janvier : 4°C) et maximales du mois le plus chaud (juillet : 34°C).

Le couvert végétal naturel de la ville de Fès est composé de plantes adaptées au climat semi- aride. Les champs cultivés sont caractérisés par la fréquence des cultures céréales et maraîchères.

Eaux de surfaces de la ville de Fès

La ville de Fès comporte 20 lacs (gîtes) (recensement de l'année 2007), dont une dizaine sont situés dans des localités à proximité de la population et sont utilisés par celle-ci comme une eau de consommation et d'irrigation. Ci-dessous la carte des lacs de la préfecture de Fès réalisée en 2005 par la cellule préfectorale d'épidémiologie de la Direction Régionale de la Santé de Fès (Figure 4).

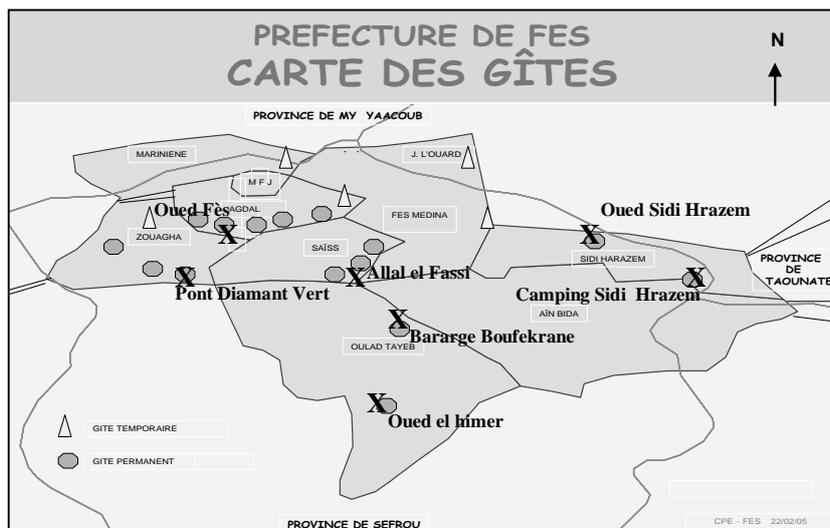


Figure 4 : Localisation des lacs (gîtes) de la préfecture de Fès

Lacs étudiés

Le choix des lacs étudiés a été basé sur un diagnostic organoleptique (forte salinité et parfois une odeur nauséabonde) et sur certaines observations relatives à leur nature, à leur utilisation par la population et leur voisinage des sources de pollution (rejets liquides et solides, activités industrielles, d'agriculture et d'élevage) (Tableau 1).

Tableau 1 : Localisation et caractéristiques des lacs d'eau étudiés de la préfecture de Fès. * Permanent : Permanent, T : Temporaire.

Nom du lac	Nature du lac*	Niveau d'eau (m)	Activités à proximité du lac		Cordonnées		
			Type	Distance au lac (m)	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Barrage Boufekrane	P	3m	Décharge publique, agricole	1000	370	34°02.979	004°593.580
Pont Diamant vert	P	1	Piscine	500	410	33°59.483	005°02.412'
Oued Fès	P	1	Lavage de laine	20	348	30°02.412	005°03.671'
Fontaine Allal El Fassi	P	1,5	Humaine	0	229	34°02.979	004°59.580'
Oued Elhimer	P	0,5	Golf Royal	500	554	33°00.946	004°59.163'
Oued Sidi Hrazem	T	0,5	Activités agricoles	20	186	34°02.763	004°53.738'
Camping Sidi Hrazem	P	1	Piscine + Camping	20	219	34°01.702	004°53.096'

Recherche des paramètres physico-chimiques

La température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité électrique, la salinité, l'alcalinité, les nitrates, le phosphore total, l'ortho phosphate et l'ammonium ont été déterminés selon les méthodes décrites dans *Rodier* 1996 (Tableau 2).

Tableau 2 : Méthodes d'analyses des différents paramètres physicochimiques

Paramètres	Méthodes d'analyse	Unités	Sources
Température	Thermomètre à mercure gradué de 0 à 100°C	°C	
pH	pH mètre de marque pH-Electrode Senti X 22		
Conductivité	Conductimètre modèle WTW CF 92	µs/cm	
Oxygène dissous	Oxymètre modèle OXI 315i WTW	mg /l O ₂	
Nitrates (NO ₃ ⁻)	Transformation des nitrates sont réduits en nitrites en présence de l'acide sulfo-salicylique, puis dosage colorimétrique.	mg/l	Rodier (1996)
Azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	Les ions NH ₄ ⁺ traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique.	mg/l	Rodier (1996)
Phosphore total (P _i)	Après minéralisation de l'échantillon à chaud en présence d'acide sulfurique et de persulfate de potassium (K ₂ S ₂ O ₈) en orthophosphates, le composé ainsi formé donne une coloration bleue susceptible d'être dosé par colorimétrie.	mg/l	Rodier (1996)
Les orthophosphates	Les orthophosphates sont déterminés par la méthode colorimétrique reposant sur la formation, en milieu acide, d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et de tartrate double d'antimoine et de potassium	mg/l	Rodier (1996)

Paramètres microbiologiques

Les coliformes totaux (CT), fécaux (CF) et les entérocoques intestinaux (EI) ont été dénombrés par la méthode de filtration sur membrane filtrante de porosité 0,45 µm. La flore mésophile aérobie totale (FMAT) a été recherchée par la méthode d'ensemencement en profondeur. Le volume d'eau filtré est de 100 ml. Pour les eaux trop chargées, nous avons effectué une série de dilutions (de 10⁻⁴ à 10⁻⁹). La culture des FMAT a été réalisée sur Gélose nutritive et incubée à 37°C pendant 24 heures. La culture des coliformes totaux (CT) a été réalisée sur milieu Tergitol 7 agar au TTC et l'incubation à 37°C pendant 24 heures. La culture des coliformes fécaux (CF) a été réalisée aussi sur milieu Tergitol 7 agar au TTC, mais l'incubation a été faite à 44°C pendant 24 heures. L'énumération des entérocoques intestinaux a été réalisée sur milieu Slanetz et Bartley après incubation à 37°C pendant 24 heures (Norme Marocaine 03.7.001).

Paramètres topographiques

Les coordonnées Lambert des gîtes ont été prises par un appareil GPS de marque (Eltrese, Garmin).

Campagnes de prélèvements

Les prélèvements d'eaux ont été réalisés dans des flacons stériles deux fois par mois durant la saison printanière (du mois d'Avril au mois de Mai) et estivale (du mois de Juin au mois de Juillet) de l'année 2007. Les flacons d'eau ont été conservés dans une glacière à température 4°C, puis transportés au laboratoire pour analyses.

Les analyses microbiologiques ont été réalisées au Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu de la Direction Régionale de la Santé de Fès.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire de Biotechnologie à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès.

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats d'analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques des eaux de surface étudiées montrent de grandes variations d'un lac à l'autre. Les résultats de cette étude seront traités en discutant les paramètres mesurés. Nous avons utilisé les maxima et les minima pour évaluer les variations de ces paramètres pour chaque lac (Figure 5).

Température

La température des eaux des lacs étudiés est généralement supérieure à 20,4°C (Figure 5a), température favorable pour le développement des bactéries, des parasites, des larves de moustique et autres germes microbiens, arrivant à un maximum de 31,4°C au mois de juillet au lac Camping Sidi Harazem. Les écarts entre le maximum et le minimum sont variables, on note une différence de 3,6 à 4,6 °C aux lacs Diamant vert, Oued Sidi Harazem et au Camping Sidi Harazem, de 7 °C à oued Elhimer et oued Fès et un écart de 9,2 °C au barrage Boufekrane. Le lac Allal El Fassi est caractérisé par des faibles variations de température (écart de 1,2°C). Ces écarts thermiques peuvent être expliqués par la durée de stagnation de l'eau et au couvert végétal. Selon la norme marocaine de classification des eaux de surfaces décrite dans l'arrêté ministériel n° 1275-01 2002 (Bulletin Officiel n° 5062, 2002), les eaux des lacs étudiés appartiennent à une classe de qualité de bonne à mauvaise.

pH

Le pH de l'eau des lacs est alcalin à cause de la nature calcaire des terrains traversés (Figure 5b). Le maximum de pH est enregistré au barrage Boufekrane (9,29) et oued Elhimer (9,3). Les autres collections d'eau sont moins alcalines, cela est probablement lié à la dégradation de la matière organique (végétaux, selles des animaux...). Les eaux de surfaces étudiées appartiennent à la classe de qualité moyenne (6,5-9,2).

Alcalinité

Les lacs étudiés sont caractérisés par une alcalinité importante allant de 10 à 26°F, cela est en relation avec la nature des terrains traversés. L'alcalinité des eaux de surfaces étudiées varie entre un minimum de 10°F au Barrage Boufekrane et un maximum de 26°F au Lac Allal El Fassi. Les autres retenues d'eau présentent une alcalinité variant entre 14 et 20°F.

Oxygène dissous

Pour l'oxygène dissous, les lacs sont bien oxygénés quand la température est basse, et sont pauvres en oxygène avec l'augmentation de celle-ci (Figure 5c), à l'exception du lac Allal El Fassi où la teneur en oxygène est très basse (min =1,36 mg/l), à cause des eaux des égouts qui s'y déverse de temps à autre. Le développement des algues de genre *Lemna* a contribué à l'augmentation de la teneur en oxygène de l'eau. Les eaux de surfaces étudiées appartiennent à la classe de qualité bonne à mauvaise.

Phosphore total et orthophosphates

Le phosphore total et les orthophosphates proviennent en grande partie des activités domestiques, puis des activités agricoles et industrielles. L'oued de Sidi Harazem enregistre des valeurs maximales du phosphore total (0,85 mg/l) et des orthophosphates (0,41 mg/l). L'oued Fès contient des teneurs importantes en ces deux éléments (phosphore total à 0,32 mg/l et orthophosphates à 0,27 mg/l). Ces valeurs permettent de classer ces eaux dans la classe mauvaise. Les autres lacs enregistrent de faibles valeurs (Figure 5d et Figure 5e) et répondent aux directives Marocaines concernant la classification des eaux de surfaces (<0,2mg/l).

Nitrates

Les nitrates ont des origines agricoles (épandage d'engrais ou élevage du bétail) après lessivage des terres agricoles. Ils proviennent aussi de la minéralisation de l'azote organique et l'oxydation de l'ammonium. Les concentrations des nitrates les plus élevées sont enregistrées au Camping Sidi Harazem (11,45 mg/l) et oued Fès (11,37 mg/l), suivis par Diamant vert (9,13 mg/l) et oued Elhimer (7,94 mg/l) (Figure 5f). Les concentrations enregistrées varient de 2,95 à 11,45 mg/l et sont inférieures à 25 mg/l permettant de classer ces eaux dans la classe bonne.

Ammonium

L'ammonium provient des activités humaines, rejets agricoles (notamment le lisier) ou bien des rejets et déchets industriels. Les valeurs maximales d'ammonium sont enregistrées à oued Fès (0,15 mg/l) qui connaît une activité quotidienne de lavage de la laine, suivi par le barrage Boufekrane qui est à proximité de la décharge publique et des terres agricoles (Activités d'agricultures et d'élevage). Tandis que les autres retenues d'eau n'en contiennent que de faibles concentrations (Figure 5g). Ces valeurs (<0,5mg/l) souscrivent ces eaux dans la classe bonne. L'ammoniaque est toxique à la vie aquatique (particulièrement les poissons) même à la concentration très basse (McNeely et al., 1979 ; Bowie et al., 1985)

Conductivité électrique

La conductivité électrique des eaux est importante dans les lacs du barrage Boufekrane, oued Fès, Allal El Fassi, Oued Sidi Harazem et le Camping Sidi Harazem. Elle est plus faible à Diamant vert et oued Elhimer (Figure 5h). Nous avons enregistré également une augmentation de la conductivité électrique avec la température, cela est lié à la concentration des sels dans l'eau (Bontoux, 1993). Nous avons mesuré également la salinité, facteur limitant pour certaines espèces larvaires (Louah, 1995), et nous avons remarqué qu'elle varie proportionnellement à la conductivité électrique. Selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les valeurs trouvées de la conductivité électrique (<2700 $\mu\text{s}/\text{cm}$) classent ces eaux de bonne à moyenne qualité.

*Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc :
Typologie, Origine et Conséquences*

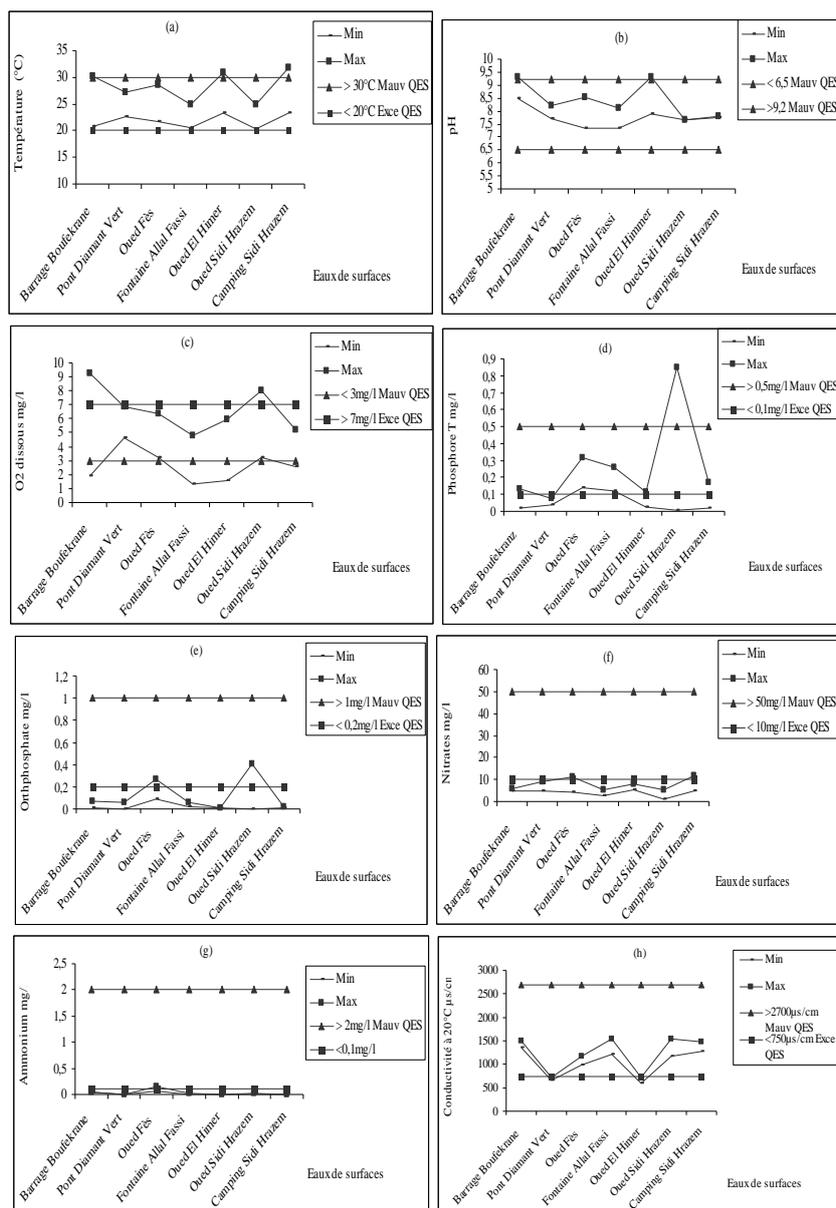


Figure 5 : Concentrations minimales et maximales des paramètres physico-chimiques enregistrées entre les mois d’avril et juillet 2007 dans les lacs étudiés : (a) température ; (b) potentiel d’hydrogène ; (c) l’oxygène dissous ; (d) phosphore total ; (e) orthophosphate ; (f) nitrate ; (g) ammonium ; (h) conductivité électrique.
(Exce QES : Excellente Qualité Eau de Surfaces, Mauv QES : Mauvaise Qualité Eau de Surfaces)

Cette pollution chimique plus au moins importante, d'origine agricole et les rejets industriels et domestiques, peut influencer directement le régime des eaux souterraines, puisque la majeure partie de la pollution des eaux souterraines vient de l'eau de surface polluée (Sendide, 1994; EL Amrani et Chattou, 2002). D'ailleurs, l'usage excessif et non-raisonnable des pesticides dans l'agriculture est un facteur de pollution principal des eaux de surfaces comme il a été également rapportée par plusieurs auteurs (Fathi, 1995; Sage et al., 1997; Azzaoui, 1999).

Résultats d'analyses bactériologiques

L'étude microbiologique des lacs a mis en évidence une contamination bactérienne de moyenne à importante d'origine humaine et/ou animale (Figure 6). Les résultats obtenus montrent que les lacs du barrage Boufekrane, Diamant vert à proximité des rejets domestiques du camping Diamant vert et le Camping Sidi Harazem qui reçoit les eaux de la piscine publique de la station de Sidi Harazem ont enregistré des concentrations élevées en coliformes totaux variant entre $2,5.10^4$ et 6.10^5 UFC/100ml (Figure 6a). Selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les valeurs trouvées (>50000 UFC/100ml) classent ces eaux de mauvaise qualité bactériologique. Le lac Diamant vert qui reçoit les rejets d'eaux usées du Camping Diamant vert a marqué un maximum de coliformes fécaux de 5.10^4 UFC/100ml. Les lacs oued Fès et route Sidi Harazem ont enregistré un minimum de CF, alors que les autres lacs contiennent des valeurs plus ou moins importantes (Figure 6b). Le cadre réglementaire des eaux de surfaces en CF classent l'eau du lac Diamant vert de mauvaise qualité (> 20000 UFC/100ml).

La teneur en SF des lacs Allal El Fassi (9000 UFC/100ml) et Camping Sidi Hrazem (12000 UFC/100ml) (Figure 6c) sont très importantes par rapport aux autres gîtes, ceci pourrait être expliqué par une activité humaine avoisinante très importante (eaux de baignades). Le rapport CF/SF est supérieur à 1 permettant de supposer que la pollution fécale est de nature humaine. Selon la classification Marocaine des eaux de surfaces en SF, les eaux des lacs Allal El Fassi et Camping Sidi Harazem sont de moyenne à mauvaise qualité. Le lac Diamant vert a enregistré un taux élevé des FMAT 14000 UFC/100ml. Par contre, les autres lacs présentent des valeurs qui varient entre 800 et 5900 UFC/100ml (Figure 6d). La contamination bactérienne, de moyenne à importante et d'origine humaine et animale, de l'ensemble des eaux de surfaces de la ville de Fès pourrait engendrer des effets néfastes sur la vie et la santé de la faune et de la flore (Koukal et al., 2004) et provoquer la transmission de nombreuses maladies infectieuses et parasitaires à transports hydriques notamment : le choléra, la typhoïde, l'hépatite, la bilharziose, le paludisme (OMS, 1990) et des intoxications alimentaires (TIAC) par la consommation des cultures maraîchères (Talouizte et al., 2008).

Les rejets des eaux usées et des déchets solides sans traitement préalable constituent l'origine la plus importante de la pollution microbienne. Cette pollution à proximité des lacs étudiés (tableau1), est presque intensifiée au cours des dernières années en raison de l'extension de la ville de Fès. En effet, ces retenues d'eaux sont devenues actuellement les principaux milieux récepteurs en particulier des eaux pluviales qui entraînent en plus des substances minérales et organiques en suspension et en solution, des microorganismes (bactéries, virus, champignons, insectes, parasites...) qui constituent un danger souvent porteur de maladies à transmission hydrique (Zamo, 2003).

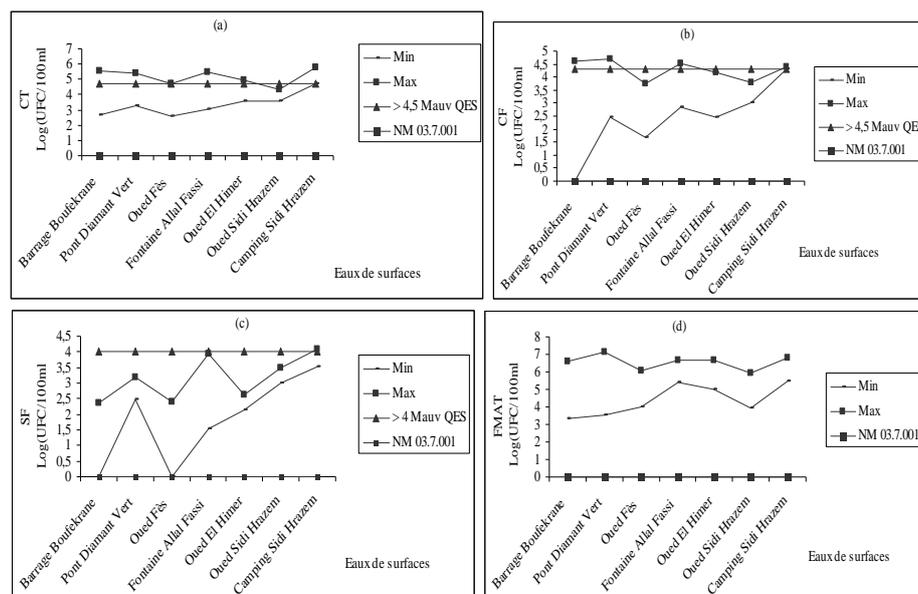


Figure 6 : Concentrations minimales et maximales des germes microbiens enregistrées dans les lacs étudiés : (a) coliformes totaux ; (b) coliformes fécaux ; (c) streptocoques fécaux ; (d) flore mésophile aérobie totale. (Exce QES : Excellente Qualité Eau de Surfaces, Mauv QES : Mauvaise Qualité Eau de Surfaces, NM : Norme Marocaine)

CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude témoignent d'une pollution de deux types:

- Une pollution microbienne, de moyenne à importante dans 100% des eaux d'origine domestique et industrielle,
- Une pollution chimique (organique et/ou minérale) de faible à importante d'origine agricole, industrielle et domestique.

En effet, et selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les concentrations trouvées élevées en phosphore (0,85mg/l), en orthophosphate (0,41mg/l) et en conductivité (1547,8 μ s/cm) enregistrées à Oued Sidi Hrazem classent cette eau de mauvaise qualité sur le plan physicochimique, les concentrations trouvées élevées de $3,8 \cdot 10^5$ et $4,2 \cdot 10^4$ UFC/100ml respectivement en CT et CF enregistrées à Barrage Boufekrane, celles de $2,5 \cdot 10^5$ et $5 \cdot 10^4$ UFC/100ml respectivement en CT et CF enregistrées au pont Diamant vert, celles de $3 \cdot 10^5$, $3,2 \cdot 10^4$ et $9 \cdot 10^3$ UFC/100ml respectivement en CT, CF et SF enregistrées à Fontaine Allal El Fassi, celles de $6 \cdot 10^5$, $2,6 \cdot 10^4$ et $1,2 \cdot 10^4$ UFC/100ml respectivement en CT, CF et SF enregistrées au Camping Sidi Hrazem, classent ces eaux de mauvaise qualité bactériologique. En conséquence, les eaux de surfaces de la ville de Fès s'avèrent entièrement chargées en germes microbiens et partiellement chargées en polluants chimiques et constituent une vraie menace pour l'environnement, en particulier pour la vie et la santé de la faune et de la flore.

Selon le cadre réglementaire des eaux d'alimentation, les valeurs trouvées classent ces eaux non-conformes pour la consommation humaine sans traitement préalable. La classification Marocaine des eaux de surfaces classe ces eaux de moyenne à mauvaise qualité. L'ensemble des résultats montre également que ces eaux présentent des signes de dégradation importante, puisque la majorité des paramètres étudiés dépassent les normes préconisées par l'OMS et les normes Marocaines. Ces données sur la pollution des eaux de surfaces de la ville de Fès seraient d'un grand intérêt dans l'élaboration d'un programme de contrôle et de surveillance, ainsi que dans la prévention des maladies liées aux eaux de surfaces.

REMERCIEMENTS

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail en particulier : le Service Préfectoral d'Hygiène du Milieu de la Direction Régionale de la Santé de Fès et la Division d'Hygiène du Milieu de la Direction d'Epidémiologie et de Lutte contre les Maladies à Rabat.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AZZAOUI S. (1999). Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou: Géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface. Thèse de Doctorat es sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc.
- Azzaoui S., EL HANBALI M., LEBLANC M. (2002). Copper, lead, iron and manganese in the Sebou drainage basin; sources and impact on surface water quality. *Water Quality Research Journal Canada* 37(4), 773-784.
- BULLETIN OFFICIEL n° 5062, (2002). Arrêté ministériel du Royaume du Maroc définissant la grille de qualité des eaux de surface.
- BONTOUX J. (1993). Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles eaux usées, eaux de boisson. Cebedoc ed., Liège, p169.
- BOWIE G.L., MILLS W.B., PORCELLA D.B., CAMPBELL C.L., PAGENKOPF J.R., RUPP G.L., JOHNSON K.M., CHAN P.W.H., GHERINI S.A., CHAMBERLIN C.E. (1985). Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. EPA/600/3-85/040. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA.
- EL AMRANI M., CHATTOU Z. (2002). Attitudes et comportements des agricultures en matière de gestion des eaux d'irrigation: cas des réserves hydriques souterraines dans la région de Sais. Conférence internationale sur les politiques d'irrigation. AMECO et ANAFID d'Agadir 15 et 17 Juin 2002.
- EL BOUHALI I. (2001). Etude physico-chimique, bactériologique et faunistique à l'interface superficiel/interstitiel de deux cours d'eau dans la vallée sud de l'oued Fès, Thèse de doctorat d'état, Fac. Sc. Fès p50.
- EL HAITE H. (1991). Eléments de réponse pour une meilleure maîtrise des pollutions et gestion des eaux usées à Fés. Thèse de Doctorat es sciences. Université Moulay Ismaïl, Meknés, Maroc.
- FATHI H. (1995). Résidus de pesticides organochlorés chez des organismes aquatiques en provenance de quatre oueds marocains: Sebou, Bouregreg et Oum-Erabia. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Institut Agro-Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- LOUAH M.A. (1995). Ecologie des Culicidae (Diptères) et état du paludisme dans la péninsule de Tanger, Thèse d'état Es-sciences Fac. Sc. Tétouan, p 266.
- KHAMAR M., BOUYA D., RONNEAU C. (2000). Pollution métallique et organique des eaux et des sédiments d'un cours d'eau marocain par les rejets liquides urbains. *Water Quality Research Journal, Canada* 35 (1), 147-161.
- KOUKAL B., DOMINIK J., VIGNATI D., ARPAGAUS P. (2004). *Environnement pollution*, 131, 163-172.

- MCNEELY R.N., NEIMANIS V.P., DWYER L. (1979). Water quality source-book A guide to water quality parameters. Environment Canada, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada.
- MINISTERE DE LA SANTE : Santé en chiffre, 2002-2006, Site web : www.santé.gov.ma
- MUTIN G. (2000). L'eau dans le monde arabe, Edition Ellipse.
- OMS (1990). Comité Directeur Inter-Institution de Coopération pour la décennie. Impact de la DIEPA de l'eau et de l'assainissement sur les maladies diarrhéiques –Genève, p178.
- RENE C. (1968). La pollution des eaux, Edition que sais-je ? N° 983.
- RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., RODI L. (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition. Dunod, Paris. France.
- SAGE L., BENNASSER L., STEIMAN R., SEIGLE-MURANDI F. (1997). Fungal microflora biodiversity as a function of pollution in Oued Sebou (Morocco). *Chemosphere* 35 (4), 751-759.
- SENDIDE O. (1994). Relation "urbanisation-eaux souterraines" de la ville de Fès: évolution, caractérisation et moyen de protection. Diplôme d'Etudes Approfondies, Université El Manar, Tunis, Tunisie.
- TALOUIZTE H., MERZOUKI M., EL OUALI LALAMI A. (2008). Evolution de la charge microbienne de la laitue irriguée avec les eaux usées urbaines de la ville de Fès au Maroc. *Tribune de l'eau*, 624, p. 51-61.
- ZAMO A.C., BELGHITI D., LYAGOUBI M. (2003). *Journal Européen d'hydrologie*, Tome 34, fasc 2, 77-90.