

Influence de rejets d'eaux usées sur les qualités physicochimique et bactériologique d'eaux utilisées en irrigation

Jamal El Addouli¹, Abdelkader Chahlaoui¹, Ali Berrahou², Abdelhafid Chafi²,
Abdeslam Ennabili³, Lahcen Karrouch¹

1* : Laboratoire de biochimie et environnement, Faculté des sciences, Université Moulay Ismail, BP 11201 Zitoune, Meknès, Maroc

2 : Laboratoire hydrobiologie et écologie générale, Faculté des sciences, Université Mohammed 1er, BP 717, 60000 Oujda, Maroc

3 : Laboratoire PAMSN, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, BP 8691-30100, Maroc

Pour toute correspondance : eladdoulijamal@yahoo.fr

Résumé

Les ressources en eau au Maroc sont limitées en raison du climat semi-aride qui caractérise la majeure partie du territoire. A ceci s'ajoute les sécheresses épisodiques. Cette problématique ne se limite pas à la quantité des ressources en eau, mais porte également sur la qualité de ces ressources qu'il faut aujourd'hui plus que jamais bien gérer. Les activités (industrielles, agricoles ou urbaines) peuvent affecter la qualité des eaux et les rendre impropres à l'utilisation. C'est le cas de la région de Meknès où la diversification et l'augmentation de la quantité d'effluents rejetés sans traitement détériorent grandement le milieu aquatique.

L'évaluation de l'impact de ces rejets sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'oued Bouishak, durant la période allant de juillet 2005 jusqu'à juin 2006, a montré que les eaux usées brutes domestiques et industrielles, le plus souvent rejetées dans le cours d'eau sans aucun traitement préalable, nuisent fortement à la qualité de ces eaux de surfaces. Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques mesurés au niveau de ce cours d'eau évoluent de manière graduelle de l'amont vers l'aval : faibles à l'amont et élevés à l'aval, à proximité des zones de réutilisation des eaux usées en agriculture. L'étude bactériologique a révélé une forte contamination fécale des eaux de l'oued Bouishak dépassant les normes édictées par l'OMS pour une irrigation des cultures vivrières.

Mots clés : oued Bouishak, eaux usées, physicochimie, bactériologie, pollution.

I. Introduction

L'utilisation des eaux usées pour l'agriculture est une pratique très ancienne dans le monde (Arnold et Stevan, 1977). Cette pratique existe notamment au Maroc, en Tunisie, en Jordanie, etc. (Al Rehaïli, 1997 ; Shetty et al., 2004). La pénurie d'eau provoque l'utilisation des eaux usées en maraîchage, pratique qui s'intensifie avec l'accroissement de la population (Koné, 2002). Les eaux usées constituent une alternative intéressante en raison de leur disponibilité et de leur valeur agronomique.

A titre d'exemple, selon Gaye et Niang, (2002), plus de 180 000 m³ d'eaux usées sont rejetées par jour à Dakar (Sénégal) ; à Riyadh (Arabie Saoudite), environ 100 millions de m³ sont évacuées chaque année (Hussain, 1999). Cependant, l'utilisation de ces effluents sans traitement préalable est à l'origine d'impacts négatifs à la fois sur l'environnement et la santé des populations. De nombreuses études ont démontré que l'utilisation des eaux usées ou des boues d'épuration constitue une source potentielle de contaminations chimique et microbiologique des eaux de nappes superficielles (Personné et al. 1997 ; Howard et al., 2003 ; Taylor, 2004 ; Oren et al., 2004). Ces eaux usées constituent un danger potentiel pour la santé de la population (Cauchi et al., 1996).

Au Maroc, l'utilisation des eaux usées brutes ou mélangées avec les eaux des oueds pour l'irrigation des cultures est une pratique courante depuis des années. Plusieurs facteurs favorisent cette pratique :

- La rareté des ressources en eau pour l'irrigation résultant d'épisodes de sécheresses et l'augmentation de la demande en eau potable principalement à destination des agglomérations urbaines.
- Le coût élevé des engrais artificiels, et la présence d'éléments nutritifs dans les eaux usées qui peuvent accroître la production agricole.

La réutilisation des eaux usées est pratiquée en particulier à la périphérie de certaines grandes villes où les terrains agricoles se situent en aval des lieux de déversements des effluents, et également dans de petites parcelles aux alentours des rejets des réseaux d'assainissement. On totalise une superficie de plus de 7 000 ha irriguée directement avec les eaux usées brutes rejetées par les villes, soit environ 70 millions de m³ d'eaux usées réutilisées chaque année en agriculture (Jemali et Kefati, 2002). Une grande diversité de types de cultures est concernée par cette réutilisation (cultures fourragères, cultures maraîchères, grandes cultures, arboriculture...).

Le présent travail s'insère dans le cadre de l'étude de l'impact des rejets industriels et domestiques de la ville de Meknès sur la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux superficielles. Les eaux de l'oued Bouishak jouent un rôle majeur dans l'irrigation des jardins maraîchers de la région.

2. Matériels et méthodes

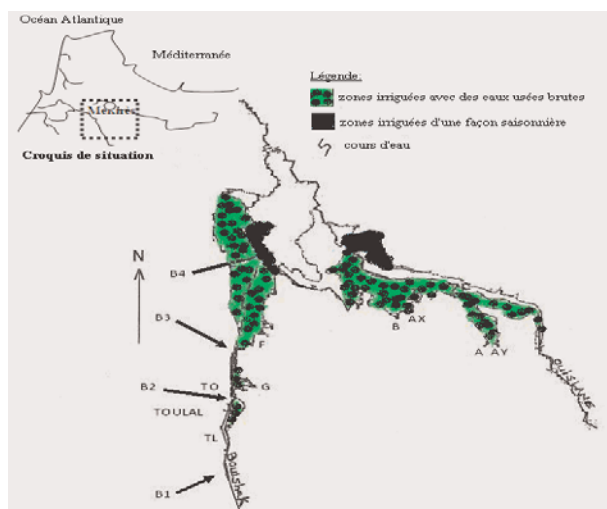
2.1. Echantillonnage

Les zones de réutilisation des eaux usées de la ville de Meknès s'étalent principalement le long des bassins des oueds de Ouislane et Bouishak. L'agriculture est essentiellement consacrée au maraîchage et à l'arboriculture. La superficie agricole est estimée à 1 100 ha (Radem, 1995). Quatre points ont été choisis au niveau du lit de l'oued Bouishak (Figure 1) afin de suivre l'évolution de la qualité de ses eaux. Ces points d'échantillonnage se situent de l'amont vers l'aval :

- B₁ : station de référence en amont sur l'oued Bouishak.
- B₂ : prélèvement direct de l'égout urbain-industriel.
- B₃ : situé en aval de la confluence eaux usées de la ville de Meknès/eaux de l'oued Bouishak.
- B₄ : situé sur l'oued Bouishak en aval du rejet de la ville de Meknès.

L'échantillonnage a été mené à raison d'un prélèvement par mois durant la période de prospection (juillet 2005-juin 2006).

Figure 1 : Zone de réutilisation des eaux usées brutes et des eaux mixtes de la région de Meknès (anonyme, 1996)



2.2. Analyses

L'étude physico-chimique des eaux a porté sur la détermination du pH, de la matière en suspension, de la température et de la conductivité, des chlorures, des nitrates, des orthophosphates et de l'oxygène dissous. Les méthodes utilisées sont celles homologuées par Rodier (1978).

Dans le présent travail, nous avons procédé au dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale ; la méthode d'analyse utilisée est l'ensemencement en milieu liquide (NPP). Pour les coliformes totaux (CT) et les coliformes fécaux (CF), le milieu utilisé est le bouillant lactosé bilié au vert brillant, la température d'incubation est à 37 °C.

Pour les streptocoques fécaux (SF), le milieu de culture est le milieu de letsky, l'incubation à 37 °C.

Pour la recherche des germes pathogènes, genre salmonelles, l'enrichissement se fait dans un tube de bouillant au sélénite. L'incubation est réalisée à 37 °C.

L'analyse des résultats obtenus se base sur la comparaison des moyennes des différents paramètres mesurés (336 essais pour les paramètres physico-chimiques et 108 essais pour les paramètres bactériologiques). Nous avons utilisé les valeurs maximales et minimales (Tableau I) pour évaluer les variations des paramètres physico-chimiques, et pour le suivi microbien, nous avons axé l'étude sur les variations mensuelles de la charge bactérienne au niveau des sites de prélèvements.

3. Résultats et discussions

3.1. Paramètres physicochimiques

Les valeurs moyennes de la température enregistrées au niveau des eaux usées industrielles (Station B₂) sont de l'ordre de 20,2 °C. De même, les valeurs moyennes observées au niveau de l'oued Bouishak varient sensiblement et elles sont de l'ordre de 21 °C à l'amont et de 21,5 °C à l'aval.

En général, les valeurs des températures enregistrées au niveau des eaux usées (Station B₂) et des eaux mixtes (Stations B₃ et B₄) (eaux usées mélangées avec les eaux de l'oued) sont inférieures à 35 °C, considérée comme valeur limite indicative pour les eaux usées destinées à l'irrigation des cultures maraîchères (Cns, 1994).

Les eaux usées industriels du collecteur à la Station B₂ sont caractérisées par un pH alcalin, avoisinant 8,4 avec des valeurs saisonnières extrêmes qui avoisinent les 12,3 (Tableau I), coïncidant avec une activité de l'industrie des margines au début du printemps. Par contre, on note que les valeurs enregistrées au niveau des stations B₃ et B₄ de l'oued Bouishak sont légèrement neutres en comparaison avec l'amont de l'oued dont la valeur du pH avoisine 6,7. Ces valeurs moyennes sont généralement comprises entre 6,7 et 8,5, considérées comme valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur (Cns, 1994), alors qu'une eau de bonne qualité, destinée au maraîchage, doit avoir un pH compris entre 5,5 et 7,5 selon les légumes cultivés.

Tableau I : Résultats des paramètres physico-chimiques des eaux usées et des eaux de l'oued Bouishak

Stations		T (°C)	pH	O2 dissous (mg/l)	CL (mg/l)	NO ²⁻³ (mg/l)	CE (µs/cm)	PO ³⁻⁴ (mg/l)
B ₁	Min	15	7.25	4.51	106.5	1.36	906	0.05
	Moy	21.01	6.71	6.65	269.2	6.20	989	1.23
	Max	24.9	6	9.5	355	9.17	1076	2.65
B ₂	Min	14	6.45	0.59	248.5	1.69	1800	6.82
	Moy	20.25	8.45	2.71	1283.5	3.78	4120	23.89
	Max	25.9	12.28	4.5	4260	7.35	9100	46
B ₃	Min	17	6.72	0.6	177.5	1.36	1159	4.73
	Moy	21.31	7.68	2.31	428.9	2.05	1420	21.29
	Max	27.1	9.50	4.7	1065	2.85	2023	47.1
B ₄	Min	15.8	6.60	0.32	214	1.89	1335	6.33
	Moy	21.45	7.53	1.54	415.8	3.17	1447.7	25
	Max	25.9	8.27	4.3	532.5	5.70	2190	46.8

L'analyse des résultats du tableau I montre que les concentrations moyennes en chlorures les plus élevées sont enregistrées au niveau du collecteur industriel des margines (Station B₂), de l'ordre de 1 280 mg/l. Notons qu'au niveau du bassin d'oued Bouishak, la teneur des eaux en chlorures enregistrée à l'amont est de 269 mg/l. Les niveaux de chlorures atteignent des valeurs plus importantes à l'aval de ce cours d'eau (Station B₃ et B₄), après la traversée de la ville de Meknès, et pourraient être dus au déversement des eaux usées industrielles.

Ces résultats concordent avec des observations selon lesquelles la concentration en chlorures augmente sous l'effet de l'urbanisation (Edwards et Thornes, 1973 ; Cun et Vilagine, 1997).

Les valeurs moyennes de la conductivité les plus élevées sont enregistrées au niveau des eaux usées industrielles de la Station B₂ (4 120 µs/cm) et sont comparables avec celles des eaux usées de Valencia (Espagne) (Bes-Pia A. et al., 2002) et Jacksonville (USA) (Sonnenberg et Holmes, 1998). Par contre, elles sont supérieures à celles trouvées à Yaoundé (Cameroun) par Endamana et al. (2003).

Les valeurs rencontrées le long des stations de l'oued Bouishak sont variables : un minimum de 990 µs/cm à l'amont (Station B₁), des valeurs maximales à l'aval avoisinant les 1 450 µs/cm (Station B₄), ce qui montre que la qualité des

eaux de l'oued Bouishak se dégrade lors de leur passage dans la ville de Meknès, suite au rejet des eaux usées dans le milieu récepteur sans traitement suffisant. Comparées avec la grille de la qualité des eaux de surface (Cns, 1994) les eaux de l'oued Bouishak correspondent à des eaux de surface de moyenne qualité.

Les teneurs en nitrates enregistrées dans les échantillons d'eaux usées industrielles sont relativement supérieures à celles des eaux prélevées dans l'oued, à l'exception de l'amont (Station B₁). Ces teneurs sont de l'ordre de 6,2 mg/l et seraient dues à l'importance des activités anthropiques dans la zone d'étude. Les teneurs moyennes en nitrates dans les eaux usées industrielles, de l'ordre de 3,8 mg/l, sont légèrement supérieures à celles rapportées par El Guamri et al. (2003b) et Endamana et al. (2003), et inférieures aux 50 mg/l (valeur limite acceptable pour un rejet direct dans le milieu récepteur).

Au niveau des stations de l'oued Bouishak, les concentrations en nitrates sont décroissantes de l'amont vers l'aval.

La concentration moyenne en orthophosphates enregistrée au niveau du collecteur industriel (Station B₂) est de 23,8 mg/l avec des valeurs extrêmes maximale et minimale respectivement de 46 mg/l et 6,8 mg/l.

Les différentes concentrations enregistrées sont supérieures à 10 mg/l, valeur considérée comme limite acceptable pour des rejets directs dans le milieu récepteur (Cns, 1994). Ces valeurs sont supérieures à celles des eaux prélevées à partir des eaux de l'oued Bouishak, à l'exception de la station aval (Station B₄) qui présente des concentrations plus élevées.

L'évolution globale des teneurs en orthophosphates reste faible à l'amont (Station B₁) et suivent un gradient croissant vers les stations avales (Station B₃ et B₄) où nous notons un apport important en eaux usées industrielles et domestiques (chargées en détergents).

L'évolution de l'oxygène dissous dans les eaux de l'oued Bouishak traduit une nette dégradation de la qualité des eaux à l'aval, à proximité des rejets d'eaux usées. Les valeurs moyennes passent de 6,65 mg/l (Station B₁) à 1,54 mg/l (Station B₄). Ce déficit en oxygène dissous est important en été et serait la conséquence de fortes charges organiques générées par les effluents liquides de la ville de Meknès. Les eaux de l'oued Bouishak peuvent être classées dans la catégorie des eaux de mauvaise à très mauvaise qualité (Cns, 1994).

3.2. Paramètres bactériologiques

L'évolution temporelle de la charge en coliformes totaux (CT) le long des stations de l'oued Bouishak montre des fluctuations pendant la période d'étude (Figure 2) : charge élevée en été et en automne et faible durant le reste de l'année. La période d'hiver est caractérisée par une diminution du nombre des germes, suivie d'une élévation sensible pendant le printemps.

La variation spatiale des charges en CT a montré un gradient croissant de l'amont (Station B₁) vers l'aval, due au déversement des eaux usées brutes domestiques.

Les cinq premiers mois d'étude microbiologique de la station industrielle B₂ (Huileries) ont révélé l'absence d'indicateurs de pollution fécale (CF, CT et SF). Ces résultats concordent avec ceux obtenus par d'autres auteurs (Fadil, 2002 ; Hamdi, 1993b). L'absence de ces microbes serait probablement liée à la présence des substances antimicrobiennes (polyphénols, tanins et acides gras) dans l'effluent (les margines).

D'une manière générale, la variation spatiale des coliformes fécaux (CF) rappelle celle des coliformes totaux (CT) et confirme la contamination fécale des eaux de l'oued Bouishak. La concentration en CF augmente de l'amont ($10^3/100\text{ml}$) vers l'aval ($5.10^5/100\text{ml}$). En se référant aux normes marocaines (Cns, 1994), nous pouvons classer la qualité bactériologique des eaux de l'oued Bouishak dans la catégorie mauvaise à très mauvaise.

Pour l'évolution temporelle, les concentrations en CF les plus élevées sont enregistrées pendant l'été et l'automne en comparaison avec le printemps et l'hiver, pour toutes

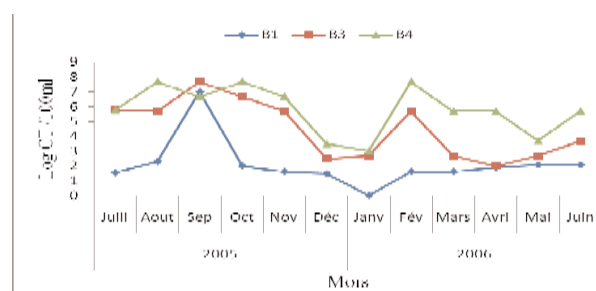
les stations étudiées, à l'exception de la station B₄ où des valeurs en CF sont très importantes également en printemps (Figure 2). Les CF atteignent des concentrations maximales à partir du mois de juillet au niveau des stations B₃ et B₄, liées à la charge organique accrue en été et favorisant ainsi l'enrichissement du milieu en germes.

L'évolution spatiale des concentrations des streptocoques fécaux (SF) montre aussi un gradient croissant de l'amont ($10^4/100\text{ml}$) vers l'aval ($5.10^7/100\text{ml}$). Les concentrations les plus faibles sont enregistrées à la station amont B₁ (Figure 2) alors que les stations B₃ et B₄ à l'aval de l'oued montrent des concentrations très élevées.

Pour la variation saisonnière des SF, le nombre maximal est noté en été et en automne. En revanche, la diminution du nombre des SF est observée au printemps et en hiver (Figure 4).

Durant la période d'étude, la concentration des SF est la plus faible en comparaison avec celle des CF et des CT au niveau des stations étudiées. Ces résultats concordent avec les études antérieures d'autres auteurs, par exemple Hunter et al. (1999), selon qui la moyenne du taux de mortalité est plus rapide chez les SF et probablement plus influencée par les facteurs abiotiques du milieu naturel.

Figure 2 : Variations mensuelles de la concentration des coliformes fécaux, des coliformes totaux et des streptocoques fécaux au niveau des stations de l'oued Bouishak



Les germes pathogènes du genre salmonelles n'ont pas été détectés dans les eaux de l'oued Bouishak, malgré la forte charge des bactéries indicatrices de contamination fécale. L'existence probable de ces germes à l'état viable non cultivable remettrait en question les techniques de culture classique utilisées.

Cette absence a été mentionnée dans d'autres études similaires en dépit de la présence d'une forte charge bactérienne d'origine fécale (Aboukacemi et al., 2007 ; Galès et Baleux, 1992 ; Chahlaoui, 1996 ; Schaffter et Parriaux, 2002). Différentes études ont, par ailleurs, suggéré que les bactéries pathogènes pouvaient conserver leur pathogénicité dans l'état viable non cultivable (Colwell et al., 1985 ; Pompey et al., 1996 ; Pruzzo et al., 2002 ; Maalej et al., 2004). En revanche, la présence de salmonelles en absence de germes indicateurs de contamination fécale a été mentionnée dans certains travaux (Galès et Baleux, 1992). Par conséquent, l'absence de corrélation entre les

salmonelles et les indicateurs de contamination fécale dans des eaux de rivière remettrait en question la fiabilité des normes basées sur les indicateurs permettant de prédire la présence des salmonelles (Polo et al., 1998 ; Lemarchand et Lebaron, 2002).

4. Conclusion

Au terme de cette étude, il apparaît clairement que les résultats obtenus sur l'état de la qualité des eaux de l'oued Bouishak mettent en relief l'impact direct de la pollution générée par les rejets des eaux usées brutes, domestiques et industrielles.

L'analyse des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques montre que la température des échantillons d'eau varie entre 20 et 21,5 °C. Les valeurs de pH varient entre 6,7 et 8,5 présentant une variation inférieure à l'unité; ces valeurs indiquent que les effluents ont un caractère légèrement alcalin. Les valeurs moyennes obtenues pour les matières azotées et phosphatées sont moyennes. La variation de la conductivité indique une importante minéralisation avec un apport variable d'anions et de cations, vraisemblablement lié à des rejets d'eaux urbaines et industrielles non traitées.

Les valeurs moyennes obtenues pour l'oxygène dissous sont toutes inférieures à 5 mg O₂/l, à l'exception de l'amont de l'oued qui présente des teneurs en oxygène dissous de l'ordre de 6,5 mg/l. Ces résultats pourraient être dus à la présence massive de matières organiques dans les eaux, qui s'amplifie en période d'activité des unités industrielles, engendrant un déficit en oxygène dissous. Les concentrations des paramètres indicateurs de la pollution organique (orthophosphates, nitrates, oxygène dissous, etc.) ainsi que les indicateurs de minéralisation (conductivité électrique, ions chlorures...) subissent une augmentation très importante, ce qui montre que les eaux usées contribuent particulièrement à l'augmentation de la charge polluante de ce cours d'eau.

L'étude qualitative et quantitative de la population microbienne au sein des eaux de l'oued Bouishak confirme la forte dégradation de l'écosystème aquatique. Au niveau des stations très polluées, nous notons une charge microbienne très importante. Ce suivi microbiologique montre que ces eaux sont impropres à leur utilisation en agriculture (principalement pour l'irrigation des cultures de crudités) car la charge polluante dépasse largement les normes édictées par l'OMS.

L'oued Bouishak constitue un exemple très évident d'un écosystème aquatique très dégradé suite à la pression exercée par les activités industrielles, urbaines et agricoles, et qui nécessiterait une épuration des eaux usées avant leur déversement dans le milieu récepteur.

Bibliographie

1. Aboulkacem A, Chahlaoui A., Soulaymani A., Rhazi-filali F. et Benali D. (2007). Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc), REMISE, vol. 1, n° 1, pp. 10-22.
2. Anonyme (1996). Etude de plan directeur d'assainissement liquide de l'agglomération de Meknès. Mission D : Rapport. Ministère d'Etat à l'Intérieur.
3. Al-Rehaili A.M. (1997). Municipal Wastewater Treatment and Reuse in Saudi Arabia. Arabian J. Sci. Eng. 22 (1C), 143-152.
4. Arnold J.D., Stevan J. (1977). Manuel de microbiologie de l'environnement. Organisation mondiale de la santé, Genève, p. 1996, 1997.
5. Bes-Pia A., Mendoza-Roca J.A., Alcaina- Miranda M.I., Iborra-Clar A. Et Iborra-Clar M.I., (2002) .Reuse of Wastewater of the Textile Industry After its Treatment With a Combination of Physico-Chemical Treatment and Membrane Technologies. Desalination 149 169-174.
6. Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernat, Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret (1996). Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 1996, 2 : 81-118.
7. Chahlaoui A., (1996). Etude hydro biologique de l'oued Boufekrane (Meknès), Impact sur l'environnement et la santé. Thèse d'état. Fac. Meknès. 234pp
8. Comité Normes et Standards. (Cns). 1994. Ministère de l'environnement du Maroc. Rabat
9. Cun C. et Vilagines R. (1997). Time Series Analysis on Chlorides, Nitrates, Ammonium and Dissolved Oxygen Concentrations in The Seine River Near Paris. Sci. Total. Environ. 208 : 59-69.
10. Edwards A.M.C et Thornes J.B. (1973). Annual Cycle in the River Water Quality: a Time Series Approach. Water Res. 9: 1286-1295.
11. El Guamri Y., Belghyti D. et El Kharrim Kh. (2003b). Pollution physico-chimique par les eaux usées brutes du lac Fouarat (Kenitra, Maroc). The First International Symposium on the Management of Liquid and Solid Residues (MALISORE), Mohammedia, Morocco. 249-250 (26-27 April 2004).
12. Endamana D., Kengne I.M., Gockowski J., Nya J., Wandji D., Nyemeck J., Soua N. N. and Bakwowi J. N. (2003). Wastewater Reuse for Urban and Periurban Agriculture in Yaounde Cameroon: Opportunities and Constraints.

International Symposium on Water, Poverty and Productive uses of Water at the Household Level, Muldersdrift, South Africa (21-23 January).

13. Fadil K (2002) . Etude des margines de l'industrie oleicole de la ville de Meknès : Impact sur le milieu récepteur et essais de traitement. Thèse de 3e cycle, Faculté des sciences de Meknès (Maroc), 163 pp.

14. Galès P. et Baleux B. (1992). Influence of the drainage basin input on a pathogenic bacteria (salmonelle) contamination of a Mediterranean lagoon (the Thau lagoon-France) and the survival of this bacteria in brackish water Sci. Technol. 25: 105-114.

15. Gaye M., Niang, S. (2002). Épuration extensive des eaux usées pour leur réutilisation dans l'agriculture urbaine : des technologies Bien appropriées en zone sahélienne pour la lutte contre la pauvreté. Etudes et recherches 225-226-227, ENDA. Dakar, pp. 17-19-20-213-214-216-223.

16. Hamdi. M. (1993b). Valorisation et épuration des effluents des huileries d'olives, l'utilité de la microbiologie industrielle. Olivea. 46, 20-24.

17. Howard G., Stephen, P. et al. (2003). Risk Factors Contributing to Microbiological Contamination of Shallow Groundwater in Kampala, Uganda. Water Research. 37: 3421-3429.

18. Hunter C., Perkins J., Tranter J. et Gunn J. (1999). Agricultural Land-Use Effects on the Indicator Bacterial Quality of an Upland Stream in the Derbyshire Peak District in the U.K., Water Res. 33 (17): 3577-3586.

19. Hussain, G., Al-Saati, A.J. (1999). Wastewater Quality and its Reuse in Agriculture in Saudi Arabia. Desalination. 123: 241-251.

20. Jemali, A. et Kefati, A. (2002). Réutilisation des eaux usées au Maroc. Forum sur la gestion de la demande en eau.

21. Koné, D. (2002). Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes (*Pistia Stratoites*) en Afrique de l'Ouest et du centre : État des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse n° 2653. Lausanne, EPFL, pp. 17-30-31.

22. Lemarchand K. et Lebaron P. (2002). Occurrence of Salmonelle and *Cryptosporidium* spp. in a French Coastal Watershed: Relationship with Fecal Indicators. FEMS Microbiol. Letters. 10755: 1-7.

23. Maalej, S., Gdoura, R., Dukan, S., Hammami, A., and Bouain, A. (2004). Maintenance of Pathogenicity During Entry into and Resuscitation from Viable but Nonculturable State in *Aeromonas hydrophila* exposed to natural seawater at low temperature. Journal of Applied Microbiology 97 (3), 557-565.

24. Oren O., Yechieli Y. et al. (2004). Contamination of Groundwater under Cultivated Fields in an Arid Environment, Central Arava Valley, Israel. Journal of Hydrology 290: 312-328.

25. Personné J.C., Poty, F. et al. (1998). Survival, Transport and Dissemination of *Escherichia Coli* and Enterococci in a Fissured Environment. Study of a Flood in a Karstic Aquifer: Journal of Applied Microbiology 84: 431-438.

26. Polo F., Figueras M.J., Inza I., Sala J., Fleisher J.M. et Guarro J. (1998). Relationship Between Presence of Salmonelle and Indicators of Faecal Pollution in Aquatic Habitats. FEMS Microbiol. Letters. 160: 253-256.

27. Pommepuy M., Butin M., Derrien A., Gourmelon M., Colwell R.R. and Cormier M. (1996). Retention of Enteropathogenicity by Viable but Nonculturable *Escherichia Coli* Exposed to Seawater and Sunlight. Ap. Environmental Microbiology 62 (12), 4621-4626.

28. Pruzzo C., Tarsi R., Lleo M.D., Signoretto C., Zampini M., Colwell R.R. and Canepari (2002). In Vitro Adhesion to Human Cells by Viable but Nonculturable Enterococcus Faecalis. Current Microbiology 45 (2), 105.

29. Radem (1995). Régie autonome de distribution d'eau et d'électricité de Meknès. Etude du plan directeur d'assainissement liquide de l'agglomération de Meknès, Synthèse.

30. Rodier J. (1978). L'analyse de l'Eau. Dunod, Paris (6e édition).

31. Schaffter N. et Parriaux A. (2002). Pathogenic-Bacterial Water Contamination in Mountainous Catchments. Water Res. 36 (1): 131-139.

32. S. Shetty, Wastewater Use in Tunisia: Lessons Learned and the Road Ahead. In: Scott, C., Faruqui, N.I., Raschid, L. (Eds) (2004). Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities. Commonwealth Agricultural Bureau International, Orient, Longman and International Development Research Centre, Ottawa, Canada, pp. 163-171.

33. Sonnenberg L. B. and Holmes J. C. (1998). Physicochemical Characteristics of Dissolved Organic Matter in Untreated and Treated Pulp and Paper Mill Wastewaters. Proceedings 1998 TAPPI International Environmental Conference, Vancouver, BC, (april 1998).

34. Taylor, R., Aidan, C. et al. (2004). The Implications of Groundwater Velocity Variations on Microbial Transport and Wellhead Protection Review of Field Evidence. FEMS Microbiology Ecology 49: 17-26.