

Contamination spatio-temporelle d'origine hydrique de l'oued Boufekrane dans la région de Meknès Tafilalet (MAROC)

Majdouline Larif^{1*}, Abdelmajid Soulaymani², Azzedine Elmidaoui¹

¹: Laboratoire des Procédés de Séparation, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc. elmidaouiazzedine@hotmail.com

²: Laboratoire de Génétique et Biométrie, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc. asoulaymani@yahoo.fr

GSM : (212) 0665415516
Email : *majdoulinelarif@yahoo.com

RESUME.

L'objectif de la présente étude est d'identifier mensuellement et pendant un an l'origine et le degré de la contamination bactérienne instantanée des eaux courantes de l'oued Boufekrane de la région de Meknès-Tafilalet (Maroc). Pour cela des analyses bactériologiques et chimiques ont été réalisées sur sept sites de prélèvement qui couvrent l'oued Boufekrane.

Les atteintes hygiéniques aux eaux se définissent par la contamination par des germes, avant tout par des agents pathogènes provenant de l'intestin humain et animal.

Le suivi spatio-temporel des paramètres étudiés en l'occurrence : coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SP), anaérobie clostridium sulfite-réducteurs (ACSR) et flore mésophile totale (FMAT) montre que ces facteurs dépassent largement les directives de l'organisation mondiale de la santé (OMS). Il a révélé au cours de la période 2009-2010, une variabilité spatio-temporelle des quatre saisons en temps sec et en temps de pluie par l'influence importante du type d'occupation des sols et des phénomènes de lessivage.

L'approche statistique en analyse en composantes principales (ACP) confirme une forte corrélation spatio-temporelle entre les stations-mois et la contamination microbienne. Le test de Duncun montre un effet significatif pour $p < 0,001$ entre la localisation des saisons.

Mots clés : Oued Boufekrane, Bactériologie, Nitrates, Contamination fécale, Effet sanitaire.

1. Introduction

La ville de Meknès, se trouve particulièrement touchée par le problème de pollution, en raison de sa démographie croissante et de son développement continu en secteur industriel. L'Oued Boufekrane est une rivière qui prend sa source à environ trente kilomètres sud de la ville de Meknès (Maroc central). L'eau de cette rivière est utilisée pour l'irrigation des terres agricoles et couvre également les besoins d'eau pour une partie de la population rurale. Le milieu aquatique reçoit des rejets d'origine animale ou anthropique et industrielle soit par les déchets d'abattoirs en viande rouge (panse, cornes, viandes saisies) (Denis et al., 2011) ou bien par les pesticides d'origine agricole, qui proviennent surtout par ruissellement des zones de grandes cultures, de polycultures ou des zones d'élevage en mutation vers la culture intensive. Ceux-ci affectent les eaux souterraines mais aussi superficielles par une dégradation résultant des apports provenant des nappes, des ruissellements et des réseaux de drainage (Shoufang et al., 2011). Dans le cadre de la contribution à un environnement durable nous avons valorisé les polyphénols extraits de margines d'olives en les utilisant comme biopesticides et comme agents anticorrosifs (Larif et al., 2012 a et b) afin de limiter les dégâts industriels.

Le groupe des coliformes joue le rôle d'indicateur de pollution et de contamination fécale car les bactéries qui en font partie sont toujours présentes dans les voies intestinales de l'homme et des autres animaux à sang chaud et qui sont excrétées en grand nombre dans les matières fécales. Bien qu'au point de vue hygiène la signification de certaines souches de coliformes soit incertaine, tous les membres du groupe peuvent être d'origine fécale (Servais et al., 2009).

En conséquence, il y a un risque sanitaire des eaux de surface par des agents pathogènes reconnus depuis longtemps pour leurs maladies d'origine hydrique responsables d'épidémies (Hebert et Legare, 2000) ; (Toilabiya et al., 2012). Les salmonelles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénèse varient énormément : fièvres typhoïdes, salmonelloses systémiques, gastro-entérites, toxi-infections alimentaires. Les hôtes naturels des salmonelles sont la population humaine, les animaux domestiques, les volailles et le bétail ainsi que

les animaux sauvages, y compris les oiseaux communs. Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des salmonelles non seulement en cas de maladie mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques. De nos jours, ces maladies sont la cause d'un taux élevé de mortalité des populations des pays en voie de développement. Selon l'OMS, 80% des maladies qui affectent la population de la planète sont liées en partie à l'insuffisance de l'évacuation des matières fécales. La transmission des maladies d'origine hydrique dépend de trois facteurs : l'agent, l'environnement et l'individu (Rodier, 2009). Notre étude porte sur l'oued Boufekrane qui traverse la ville de Meknès parallèlement à l'oued Ouislane qui la parcourt à l'Est. Notre objectif est donc de suivre l'évolution saisonnière du degré de pollution de l'oued Boufekrane et d'identifier les stations qui sont à l'origine de la contamination. Ceci permettrait de contribuer à la mise en place du contrôle (à court terme) et à l'élaboration (à long terme) d'un système d'épuration adéquat en vue d'améliorer la qualité de ces eaux.

2. Matériel et méthodes

2.1. Description des stations

***Station S1** : Source Ain Maarouf située à 750 m d'altitude, de coordonnées (X=490812, Y=342465) station témoin loin des activités anthropiques.

***Station S2** : Amont de Boufekrane situé à 725m d'altitude, de coordonnées (X=490640, Y=350105) à 10 km de la source, avant agglomération du village Boufekrane.

***Station S3** : Aval de Boufekrane situé à 600m d'altitude de coordonnées (X=490600, Y=355740) à 24 km de la source, après agglomération du village Boufekrane. C'est le point de rejets domestiques de la ville.

Station S4 : Située en crête de deux grands bassins versant oued Boufekrane et oued Bouishak à 540 m d'altitude de coordonnées (X=488107, Y=362384) à 35 km de la source à l'entrée de la ville de Meknès, et près de l'Office National d'Electricité installé à la cité Sidi Bouzekri constituant une zone industrielle.

***Station S5** : Située à 10 mètres de S4 et de la crête de deux grands bassins versant où se trouve une huilerie déversant des margines directement sur le 1^{er} raccordement du bassin versant de l'oued Boufekrane,

***Station S6** : Pont El Fakharine situé à 525 m d'altitude de coordonnées (X=484850, Y=366878) à 45 km de la source en aval de la ville de Meknès où il y a un grand déversement de la pollution domestique et industrielle de la ville.

***Station S7** : Pont Nazala situé à 330 m d'altitude de coordonnées (X=485100, Y=370450) à 48 km de la source en aval de la ville de Meknès et en amont de la station d'épuration Meknès.

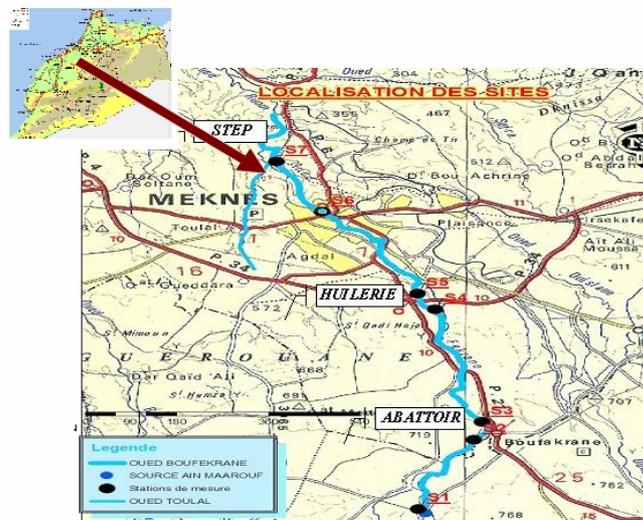


Figure 1. Localisation géographique des sites d'étude de l'oued Boufekrane

Figure 1. Geographical location of the study sites of the river Boufekrane

2.2. Analyses bactériologiques chimiques

L'analyse bactériologique et chimiques ont porté selon les méthodes standards de (Rodier 2009), les germes indicateurs de pollution qui regroupent les bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles, le pH a été déterminé par le pH-mètre (HANNA HI 120). La température a été mesurée sur place par un thermomètre graduée. Les concentrations des nitrates (NO_3^-) ont été mesurées au moyen d'un spectrophotomètre par la méthode de salysilate.

2.4. Analyse statistique

La variabilité a été observée entre stations et saisons dans les cas où l'analyse de la variance a révélé des différences significatives. L'analyse de la variance a été étudiée par le test d'ANOVA suivi par le test de (Duncun 1955).

L'approche statistique par l'analyse en composante principale (ACP) a été suivi pour étudier la corrélation entre les bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles et les nitrates en fonction des stations -mois.

3. Résultats et discussion

3.1. Analyse temporelle

La comparaison multiple des moyennes des CF, FMAT et ACSR dévoile respectivement des différences considérables sauf en automne et au printemps où elles sont similaires.

L'analyse descriptive, nous indique que les plus fortes concentrations sont obtenues respectivement plus en été, printemps, automne et puis en hiver. Les différentes valeurs sont mentionnées sur le **tableau 1**.

Tableau 1. Valeurs moyennes temporelles des abondances cellulaires exprimées en Log_{10} (UFC/100 mL) pour les coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF), anaérobies clostridium sulfite-réducteurs (ACSR), la flore mésophile aérobie totale à 37°C (FMAT), et des nitrates (NO_3^-) en mg/L. Les valeurs de F affectant le niveau de signification p au seuil de probabilité 5% (test de Duncun).

Saisons en $\text{Log}_{10}/100\text{mL}$ des bactéries		Moyenne	Erreurs standards	Minmum	Maximum	F	P
CT	Eté	4,659	0,22	2,5	6,014	6,91	0,001
	Automne	4,005	0,22	2,102	5,166		
	Hiver	3,417	0,14	2,161	4,091		
	Printemps	4,263	0,193	2,397	5,286		
CF	Eté	4,1	0,247	1,672	5,091	4,714	0,004
	Automne	3,099	0,228	0,801	3,92		
	Hiver	3,102	0,221	0,884	3,903		
	Printemps	3,743	0,214	1,602	4,954		
SF	Eté	4,439	0,274	1,602	5,301	7,426	0,001
	Automne	3,019	0,245	0,522	3,884		
	Hiver	3,044	0,268	0,221	3,903		
	Printemps	3,219	0,2	1,247	4,293		
ACSR	Eté	2,61	0,244	1,954	5,238	2,902	0,04
	Automne	1,906	0,187	0,903	3,801		
	Hiver	1,889	0,185	1,124	3,845		
	Printemps	2,163	0,163	1,491	3,903		
FMAT	Eté	3,621	0,232	1,38	5,014	4,125	0,009
	Automne	2,776	0,235	0,801	4,166		
	Hiver	2,622	0,219	0,937	4,091		
	Printemps	3,219	0,2	1,247	4,293		
NO_3^- (mg/L)	Eté	3,087	0,237	1,24	6,05	9,467	0,001
	Automne	3,612	0,32	1,46	7,29		
	Hiver	4,487	0,405	1,6	7,5		
	Printemps	2,162	0,277	0,28	4,7		

Pour $P > 0,05$: différence non significative ;
 $0,01 < p \leq 0,05$ différence significative (à 5%) ;
 $0,001 < p \leq 0,01$: différence très significative (à 1 %) ;
 $P \leq 0,001$: différence hautement significative

L'analyse de la variance montre que la charge bactérienne en CT et en SF varie de manière très importante entre les saisons (La valeur de p étant $< 0,001$). Les résultats relatifs à la relation temporelle (en confondant les stations) en période (2009-2010) des indicateurs de la contamination fécale, des nitrates et de la flore mésophile aérobie totale sont indiqués sur le tableau 1.

L'analyse de la variance montre que la charge bactérienne en CT et en SF varie de manière très importante entre les saisons (La valeur de p étant $< 0,001$).

La comparaison multiple des moyennes par le test d'ANOVA suivi du test de Duncun des CT dévoilent des différences considérables pour les quatre saisons. Alors que pour les SF en été et en hiver les moyennes sont différentes mais elles sont similaires en automne et au printemps (figure 2a). Tandis que pour les CF et FMAT l'analyse de la variance indique une différence très significative à (1%) entre les saisons (la valeur de p étant $0,001 < p \leq 0,01$). Pour les ACSR l'analyse de la variance indique une différence significative à (5%) entre les saisons (p étant compris entre $0,001 < p \leq 0,05$).

Pour les nitrates, les concentrations les plus élevées sont obtenues pendant la période hivernale (4,487 mg/L) et en automne (3,612 mg/L). Ces concentrations restent faibles au printemps (2,162 mg/L) et en été (3,087 mg/L). L'analyse de variance montre une différence hautement significative (la valeur de p étant $\leq 0,001$). La comparaison multiple des moyennes indique des différences considérables entre les quatre saisons.

3.2. Origine de la contamination

Depuis plusieurs décennies le rapport $R = CF/SF$ (coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux) était utilisé comme un élément de premier ordre pour déterminer l'origine de la pollution fécale (**Tableau 2**). Lorsque ce rapport CF/SF est supérieur à 4 la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées) (Borrego et Romero, 1982). Lorsqu'il est inférieur à 0,7, l'origine est animale. Dans ce cas, le bétail et en particulier les moutons, semble jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau.

Tableau 2. Origine de la pollution selon le rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux

R=CF/SF	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Eté	1,17	0,37	0,07	0,73	0,74	0,98	0,77
Automne	2,17	0,77	1,05	1,08	0,34	1,08	1,16
Hiver	2,55	1,37	1	1	0,33	1	1
Printemps	0,92	1,71	0,8	0,92	0,92	0,76	0,24

R < 0,7 Principalement ou entièrement d'origine animale ; R compris entre 0,7 et 1 mixte à prédominance animale ; R compris entre 1 et 2 origine incertaine ; R compris entre 2 et 4 mixte à prédominance humaine ; R > 4 source exclusivement humaine

En été pour la station (S1) le radical R étant $2 > R > 1$ la contamination est incertaine et que pour les stations (S2, S3) le radical R étant $R < 0,7$ est d'origine animale par l'impact de rejet des abattoirs en aval de la commune de Boufekrane qui sont concentrées par le sang des animaux abattus et par les débris de panse (Kacar, 2011).

Pour les stations (S4, S5, S6, S7) le radical R étant $1 > R > 0,7$ mixte à prédominance animale, on pourrait dire qu'en été les bergers font plus sortir leurs troupeaux en été pour brouter l'herbe dans les environs de l'oued Boufekrane.

En automne pour la source S1 le radical R étant $4 > R > 2$ principalement en septembre elle est exclusivement humaine dues aux rejets domestiques en amont de la source car présence d'habitation dans les environs et que pour S5 $R < 0,7$ d'origine animale et que pour les stations (S2, S3, S4, S6, S7) le radical R étant $2 > R > 1$ est incertaine.

En hiver pour la station S1 le radical R étant $4 > R > 2$ se trouve une ferme à proximité caractérisé par une activité agricole et rejets domestiques, mais de (S2, S3, S4, S6, S7) le radical R étant $2 > R > 1$ incertaine et pour S5 $R < 0,7$ d'origine animale, dans les pâturages à proximité de l'oued se trouvent les bovins mixte à prédominance animale, Il y a aussi le pH acide des margines rejetées par les égouts d'une huilerie pendant la période oléicole.

Au printemps pour les stations (S1,S3,S4,S5,S6) le radical R étant $1 > R > 0,7$ peut être expliqué par les engrais phytosanitaires d'origine animal qu'utilise les agriculteurs sans compter le phénomène de lessivage des sols apporté par les fortes précipitations pendant le mois de mars alors que pour S2 le radical R étant $4 > R > 2$ on a urbanisation de la commune par les rejets domestiques et pour S7 le radical R étant $R < 0,7$ la contamination est principalement d'origine animale.

Selon (Rodier, 2009) les origines de la contamination des eaux ne proviennent pas d'une part exclusivement de l'origine humaine ou animale mais il y a aussi par les paramètres physico-chimiques qui contribuent à l'activité bactérienne comme la température et le pH (Chigbu et al., 2004).

3.3. Diagramme cartésien

En période de crue l'analyse en composantes principales montre qu'il y a enrichissement de gauche vers la droite en contamination fécale et que les nitrates sont surtout présents dans les (stations-saisons) S1H1, S1A1, S2A2, S2H2, S3A3, S4H4, S5H5 et S5A5, les concentrations en nitrates sont plus importantes et décroissent de l'amont vers l'aval (Larif et al., 2012).

Au regard le diagramme cartésien nous confirme bien la corrélation qui existe entre la température, le pH et la population bactérienne des stations S1, S2, S3, S4, S6 et S7. Pendant la période oléicole la station S5 est plus polluée en nitrate car il y a rejet des margines d'une huilerie et moins contaminée par les bactéries qui ne résistent pas à la forte acidité de ces dernières (Ranalli et al., 1991) ; (Larif et al., 2012)

Les stations S5 sont situées à gauche du diagramme cartésien ce qui confirme l'absence de paramètres bactériologiques. En aval la pollution bactérienne des stations (S6A6, S7H7) est véhiculée par les fortes pentes des reliefs au niveau de l'oued Boufekrane, elle provient du lessivage des sols (Korfalis et Davies, 2003).

En période d'étiage les nitrates sont moins présents dans les (stations-saisons) S3E3, S5E5, S4E4, S6P6 et S7E7 mais sont plus contaminées par la présence de bactéries hétérotrophes.

Par conséquent la recherche et le dénombrement des coliformes fécaux est un examen proposé en raison d'une concordance statistique entre leurs présences et l'existence d'une contamination fécale quasi certaine (Rodier et al., 1996). Alors que la Flore Mésophile Aérobie Totale est seulement un indicateur microbiologique qui nous permet d'évaluer la charge bactérienne globale présente sur la surface de l'oued Boufekrane.

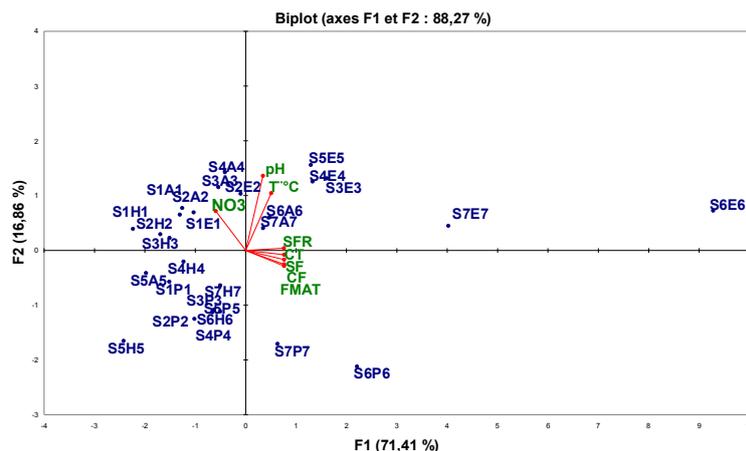


Figure 6. Diagramme cartésien indique la corrélation entre les variables (paramètres bactériologiques) et les individus (stations-mois) suivant la figure 6. Les observations **SiMi** représentent les (stations -saisons) avec (**Si** : Station et *i* varie de 1 à 7) et (**Mi** ; les saisons dont **H** : Hiver, **A** : Automne, **E** : Été et **P** : Printemps

4. Conclusion

Les résultats d'analyses bactériologiques obtenus ont montré que la pollution présente une différence significative entre les différentes stations de prélèvement qu'en milieu très pollués et entre les périodes de crues et les périodes d'étiages et la durée d'ensoleillement.

L'origine de la contamination transmise par les cours d'eaux, confirme l'impact de l'intensification de l'agriculture ainsi que par les rejets domestiques et industriels.

L'analyse en composante principale a confirmé qu'en amont les eaux de l'oued Boufekrane sont plus caractérisées par une forte pollution en nitrate pendant la période de crue et moins en contamination fécale, alors qu'en aval les eaux de l'oued sont caractérisées plus par une contamination fécale et faible en pollution nitrate.

Bien que les eaux usées transportent de nombreux micro-organismes, parmi lesquels certains sont peu ou pas pathogènes, très peu de stations d'épuration sont cependant aujourd'hui équipées de traitements spécifiquement conçus pour éliminer les microorganismes (traitement de désinfection).

Références

- Borrego A. F. et P. Romero (1982). *Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci*. VI^e journée étude pollutions, Cannes, France, 561-569.
- Chigbu P., Gordon S., Strange T., (2004). Influence of inter-annual variations in climatic factors on fecal coliform levels in Mississippi sound. *Water Res.* 38, 4341–4352.
- Denis M., Tanguy M., Chidaine B., Laisney M-J., Megraud F., Fravallo P. Description and sources of contamination by *Campylobacter* spp. of river water destined for human consumption in Brittany, France. *Pathologie Biologie* ; 59: 256–263.
- Duncun D. et B. Eldreich (1976). Fecal coliform and fecal streptococcus density relationships in waste discharges and receiving waters. *Crit. Rev. Environ. Control*, 6, 349-369.
- Hebert S. et S. Legare (2000). Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement, Québec, envirodoq, N° ENV-2001-0141, rapport N° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Kacar A. (2011). Analysis of spatial and temporal variation in the levels of microbial fecal indicators in the major rivers flowing into the Aegean Sea, Turkey. *Ecological Indicators*, 11 : 1360–1365.
- Larif M., Soulaymani A., Hnach M., EL Midaoui A. (2012)a. Olive Wastewaters' Impact on Oued Boufekrane in Meknes-Tafilalet. *American Journal of Environmental Sciences* 2012; 8 (3): 236-240.
- Korfalis S. et B. Davies (2003). A comparison of metals in sediment and water in the river Nahr-Ibrahim, Lebanon: 1996 and 1999. *Environ. Geochem. Health*, 25, 41-50.
- Larif M., Elmidaoui A., Zarrouk A., Zarrok H., Salghi r., Hammouti B., Oudda H., Bentiss F. (2012) b. An investigation of carbon steel corrosion inhibition in hydrochloric acid medium by an environmentally friendly green inhibitor. *Res. Chem. Intermed.* 2012; DOI 10.1007/s11164-012-0788-2.
- Ranalli, A., 1991. L'effluent des huileries d'olive proposition en vue de son épuration, Références aux normes italiennes en la matière, première partie olivia 37, 30-39.
- Rodier J., B., Legube, N. Merlet. (2009). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 9^{ème} éd. Paris. ISBN 987-2-10-054179-9.
- Rodier J., C. Bazin, J. P. Broutin, P. Chambon, H. Champsaur et L. Rodier (1996). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 8^{ème} éd. Paris, 1384.
- Servais P. (2009). La contamination microbienne de la seine. Janvier: 978-2-918251-08-8.
- Shoufang Xu., Jinhua L., Lingxin C. (2011). Molecularly imprinted polymers by reversible addition-fragmentation chain transfer precipitation polymerization for preconcentration of atrazine in food matrices *Talanta* 85: 282–289.
- Toilabiya L., Soulaymani A., Benali D., Hami H., Ouammi L., Mokhtari A., Rhalem N., Soulaymani R.. (2012). Profil épidémiologique des intoxications dans la région de Tanger-Tétouan au Maroc *Antropo*, 26, 49-57.