



Evaluation spatio-temporelle du degré de la pollution industrielle oléicole sur les cours d'eaux de l'oued Boufekrane dans la région de Meknès-Tafilalt (Maroc) [Spatio-temporal assessment of the degree of industrial pollution on Olive waterways of the Boufekrane river in the region of Meknès-Tafilalt (Morocco)]

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

¹: *Laboratoire des Procédés de Séparation, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kenitra, (Maroc).*

²: *Laboratoire de Génétique et Biométrie, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kenitra, (Maroc).*

Received 04 Nov 2012, Revised 17 Dec 2012, Accepted 17 Dec 2012

* Corresponding author. majdoulinelarif@yahoo.com; Mobile: 0665415516

Abstract

This work is intended to evaluate the impact of the activity of Olive mill wastewater (OMW) waste from a three-phase system on the receiving environment of the river Boufekrane for the period olive and throughout the 2009-2010 and releases of untreated sewage on physico-chemical and bacteriological water of the river of Boufekrane in Morocco. For this analysis physico-chemical and bacteriological were performed on seven stations Boufekrane bed of the river. A multivariate analysis was performed to detect the correlation between physico-chemical and bacteriological. The results of this study have shown that the spatio-temporal monitoring of the pollution of the river Boufekrane in terms of quality and follows an increasing gradient source witness in endorsement and is characterized by high levels of COD (chemical oxygen demand), BOD₅ (biological oxygen demand), SS (suspended solids)... Furthermore fecal contamination has proved by increasing the upstream to downstream in fecal coliform contamination (TC), fecal coliforms (FC) and fecal streptococci (FS), anaerobic sulphite-reducing clostridia (ASCR) and total mesophilic flora anaerobic (TMFA). There have also an overrun standards of quality Moroccan and WHO recommendations. The statistical approach to principal component analysis (PCA) has confirmed the spatio-temporal variation of test results obtained results of analyzes obtained during flood periods and summer. In terms of water use the river Boufekrane, it could be a significant health risk for the inhabitants of the region of Meknes-Tafilalt.

Keywords: Olive mill wastewater (OMW), Polyphenols, assessment tools rivers (SEQ), Multivariate Analysis.

Résumé

Le but de la présente étude est d'essayer de trouver une corrélation entre les variations spatio-temporelles des effluents de margines issues d'un système à trois phases sur le milieu récepteur de l'oued Boufekrane pendant la période oléicole et durant toute l'année 2009-2010. Pour évaluer le taux de pollution des eaux usées sur sept stations de l'oued Boufekrane, des analyses physico-chimique, bactériologique et une étude statistique multivariée ont été effectuées. Il découle de cette étude que le suivi spatio-temporel de la pollution de l'oued Boufekrane en terme de qualité suit un gradient croissant de la source témoin à l'aval et se caractérise par de fortes teneurs en DCO (demande chimique en oxygène), DBO₅ (demande biologique en oxygène), MES (matières en suspensions)... Pour les paramètres bactériologiques, il y a accroissement de l'amont vers l'aval en contamination fécale en coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF) et les streptocoques fécaux (SF), anaérobie clostridium sulfite-réducteurs (ACSR) et flore mésophile anaérobie total (FMAT). L'approche statistique en analyse en composante principale (ACP) a bien confirmé la variation spatio-temporelle des résultats d'analyses obtenus. L'évaluation et l'interprétation d'un grand nombre de données complexes sont en vu d'obtenir une meilleure information sur la qualité de l'eau et la conception de la surveillance du réseau pour une gestion efficace des ressources en eau.

Mots clés : Eaux usées, Margine, Polyphénols, Outils d'évaluation des cours d'eaux (SEQ), Analyses multivariées.

1. Introduction

A la suite de l'expansion démographique importante et l'essor économique qu'a connu le pays (Maroc) ces dernières années, la qualité des eaux est soumise à une forte pression exercée par l'activité industrielle, notamment par les margines issues de l'industrie oléicole dont la présence des polyphénols, à effet toxique et à caractère dominant, sont susceptibles de générer une pollution organique plus importante. Malgré leur profil polluant et toxique, les polyphénols extraits des margines d'olives constituent une source inépuisable en molécules actives biopesticides [1] et comme moyen inhibiteur pratique pour la protection contre la corrosion, en particulier dans les milieux acides [2].

Les nappes phréatiques sont couramment utilisées en milieu rural par forage de puits en l'occurrence les cours d'eau du bassin hydrographique Saïs, qui se manifestent par différentes activités liées aux agglomérations installées le long de l'oued Boufekrane (Ville de Meknès, commune Boufekrane, Commune rurale Mejjate...). Les activités agricoles sont pratiquées sur l'ensemble de bassin versant ou directement dans les petites parcelles au bord de l'oued par l'utilisation intense des engrais, des insecticides et des herbicides de synthèse appartenant essentiellement aux organophosphorés qui ont un impact sur la qualité des eaux superficielles [3]. La toxicité est liée à une prolifération de bactéries sulfato-réductrices produisant des sulfures très nocifs pour les organismes aquatiques. La matière organique s'accumule à la surface des sédiments et provoque l'apparition de conditions anaérobies dues à la consommation active de l'oxygène dissous par les organismes hétérotrophes [4].

En outre, l'aval de la commune Boufekrane est envahi par les déchets de viande rouge des abattoirs, sans compter les rejets domestiques par le réseau d'assainissement qui sont rejetés directement dans les eaux réceptrices sans traitement préalable. Les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants-*Escherichia coli* et les streptocoques sont des indicateurs de contamination fécale [5]. Ils sont éliminés par les excréments des animaux dans les pâturages à la surface du sol, puis transportés à travers le sol dans les eaux des rivières, des lacs et des eaux souterraines [6]. Ils sont, par conséquent, responsables des problèmes de pollution et de contamination fécale de l'environnement d'origine hydrique et d'épidémiologies [7,8].

Notre objectif est de suivre l'évolution saisonnière du degré de pollution de l'oued Boufekrane et d'en identifier les stations de pollution. Pour ce faire, sept stations ont été choisies pour l'étude physico-chimique et bactériologique de l'oued (amont-aval) des déversements industriels des huileries qui se trouvent à l'amont de la commune Boufekrane et à la zone industrielle de Sidi Bouzekri, pendant la période oléicole qui débute le mois d'octobre et finit son activité le mois de janvier et puis toute l'année (2009-2010).

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude de l'oued boufekrane

La longueur de l'Oued Boufakrane est environ de 60 km, il prend sa source à partir de Aïn Maâruf (causes moyenne atlasique, contacte entre moyenne atlas et bassin Saïs).

La lithologie du bassin versant est constituée de Tirs (sol riche en matière organique), le calcaire (roche mère), dolomitique et les argiles bariolées du trais ou les schistes du primaires. Dans la zone d'étude, on distingue deux réservoirs aquifères importants : La nappe profonde du Lias ; La nappe phréatique qui circule dans les formations lacustres du Plio-Villafranchienne.

Dans la région de Méknès Tafilalt, nous avons porté notre choix sur sept stations sur le lit de l'oued Boufekrane car ces eaux sont utilisées par pompage pour l'irrigation de surfaces importantes et pour le lavage des légumes au bord de l'oued. Les prélèvements des échantillons de l'amont (source témoin Ain Maarouf S1) vers l'aval (S7) ont été effectués d'une façon instantanée et mensuelle à 9 heures du matin **au milieu de la** rivière avec de la verrerie stérilisée, conservée à 4C° et immédiatement transportée au laboratoire pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques selon les normes d'AFNOR [9].

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 Meknès.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire de la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Meknès (RADEEM). Les coordonnées Lambert des gîtes ont été prises par un appareil GPS de marque (Eltrese, Garmin).

- 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 1er 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.

Les stations choisies pour cette étude sont indiqués sur la **figure 1**.

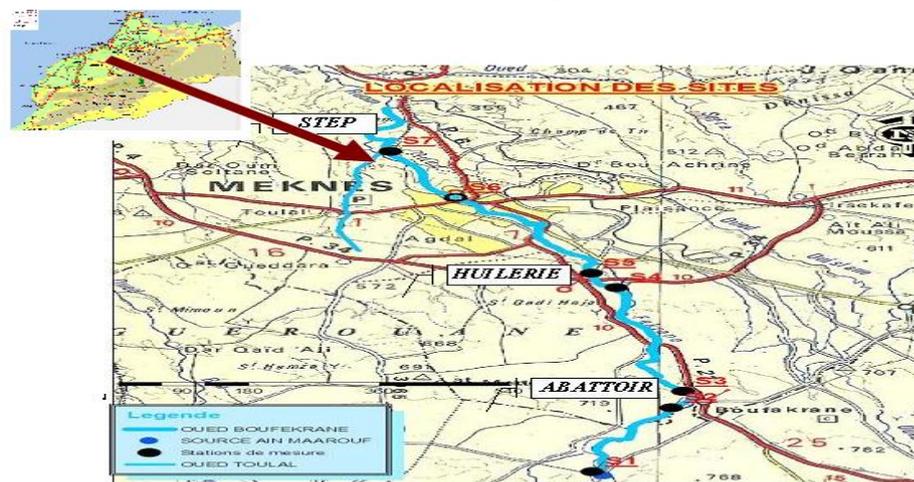


Figure 1. Localisation géographique des sites d'étude de l'oued Boufekrane
Figure 1. Geographical location of the studies res of the river Boufekrane

2.2. Analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique a porté sur les germes indicateurs de pollution qui regroupent les bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles selon la méthode de [10].

Chaque série de dilution de 100 mL a été filtrées à travers une membrane filtrante ($d=0,45\mu$) et puis placée dans un milieu de culture spécifique aux Coliformes Totaux (CT) et aux Coliformes Fécaux (CF). Ces bactéries sont reconnaissables par un aspect jaune bombé en (milieu tergitol Agar). Ces germes sont mis en incubation à 37°C pendant 24h pour les CT et à 44°C pendant 48h pour les CF. Les Streptocoques Fécaux (SF) ont un aspect rouge brique après incubation à 37°C dans un milieu de culture (Slanetz jaune). Pour confirmer leur présence on transfère la membrane support de bactéries vers un (milieu labile BEA après incubation de 1h. Pour les bactéries Anaérobies clostridium sulfite-réducteurs (ACSR) le dénombrement a été réalisé après incorporation de 1 mL d'échantillon et dilué dans un milieu sulfite polymixine sulfadiazine (SPS), il on un aspect noir. Après incubation à 37°C pendant 24h. Pour déterminer la présence éventuelle de la flore mésophile aérobie totale (FMAT), 1mL de la dilution la plus poussée est placé dans le milieu de culture PCA (Plate Count Agar) L'incubation est effectuée à 37°C durant 24 heures. Nous avons réalisé trois répétitions pour tous les groupes de bactéries et l'identification a été déterminée par comptage.

2.3. Analyses physico-chimiques

Sur le plan physico-chimique, le dosage de certains paramètres est mesuré selon différents appareils tel ; le pH-mètre, Conductimètre, Oxymétrie, Turbidimètre et ont été quantifiés selon [11]. La teneur en matière en

suspension (MES) a été obtenue par différence de poids de la membrane du filtre ($d=0,45\mu$) avant et après filtration). Les chlorures et la matière organique ont été déterminés respectivement par la méthode de Mohr et par oxydation par le permanganate de potassium. La dureté TH, les titres alcalinités TA, TAC et les cations Ca^{++} et Mg^{++} ont été évalués par titrimétrique de dosage. La DBO_5 manométrique et respirométrique a été mesurée à l'aide d'un DBO-mètre. La mesure de la DCO a été effectuée par la méthode de bichromate de potassium. Les orthophosphates (PO_4^{2-}) ont été mesurés par colorimétrie, les sulfates (SO_4^{2-}) par la méthode néphélométrique, le dosage de l'azote ammoniacal et l'azote Kjeldahl (NTK) par une unité de distillation ; les nitrates (NO_3) et les nitrites (NO_2) ont été mesurés au moyen d'un spectrophotomètre respectivement par la méthode de salysilate et par la méthode de Zamballi.

2.4. Analyses statistiques

Nous avons réalisé une ACP (analyse en composante principale) pour étudier les variations spatiotemporelles des paramètres physico-chimiques. L'analyse en composantes principales a été l'une des méthodes les plus utilisées par d'autres auteurs [12,13]. Nous avons utilisé le logiciel XSLAT 2009. L'analyse en composantes multiples (ACM) a été développée pour étudier la relation entre les paramètres bactériologiques et les paramètres environnementaux des sites d'études, en utilisant le même logiciel.

3. Résultats et discussion

Analyses descriptives des paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau de l'oued Boufekrane (Tableau 1)

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques des eaux de l'oued Boufekrane

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
T(°C)	13,000	29,000	18,540	3,130
Cond($m\delta/cm$)	115,000	1867,000	852,917	322,592
pH	4,500	8,900	7,582	0,816
OXY ($mg\ d'O_2/L$),	0,500	8,500	6,083	1,655
Turb(NTU),	1,600	172,000	43,480	30,412
MO ($mg\ d'O_2/L$),	0,284	32,000	3,501	5,312
TA (°F)	0,000	18,000	1,232	3,311
TAC (°F)	18,000	83,000	33,427	9,201
TH(°F)	27,200	105,200	41,150	14,649
Ca ⁺⁺ (mg/L),	17,320	160,320	52,492	26,186
Mg ⁺⁺ (mg/L),	19,456	318,400	76,056	46,731
MES (mg/L),	18,000	5095,000	797,619	1021,255
Cl (mg/L),	122,250	745,000	341,453	131,233
DCO ($mg\ d'O_2/L$),	3,000	420,000	93,048	82,869
DBO_5 ($mg\ d'O_2/L$),	1,000	330,000	70,504	64,173
NO_2^- (mg/L),	0,000	4,214	0,829	1,011
NO_3^- (mg/L),	0,281	7,500	3,338	1,657
PO_4^- (mg/L),	0,430	18,854	4,978	4,122
SO_4^- (mg/L),	0,164	38,040	14,677	9,174
CT(UFC)/100mL	0,000	150000,000	78901,369	205589,071
CF(UFC)/100mL	0,000	140000,000	18546,464	33421,828
SF(UFC)/100mL	0,000	300000,000	34796,024	64211,210
SFR(UFC)/100mL	0,000	600,000	74,810	84,282
FMAT(UFC)/100mL	0,000	150000,000	9073,571	23373,311

pH,(cond.) conductivité ($\mu\delta/cm$) , (MO) matières organiques ($mg\ d'O_2/L$), (MES) matières en suspensions (mg/L), (TH) dureté , TA, TAC Alcanéité en (°F) , (Cl) chlorures (mg/L), (PO_4^{2-}) orthophosphates (mg/L), (SO_4^{2-}) sulfates (mg/L) , (NO_2^-) nitrites(mg/L) , (NO_3^-) nitrates(mg/L) , (DCO) demande chimique en oxygène($mg\ d'O_2/L$) , (DBO_5) demande biologique en oxygène ($mg\ d'O_2/L$), (Mg⁺⁺) magnésium et (Ca⁺⁺) calcium (mg/L), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF) et les streptocoques fécaux (SF), anaérobies clostridium sulfite-réducteurs (ACSR) et FMAT (flore mésophile anaérobique totale) exptimées en (UFC)/100mL.

3.1. Données pluviométrique et Hydrologique de l'oued Boufekrane

Les données pluviométriques de la région de Meknès Tafilalt ont été acquises au près de la direction régional d'agriculture, elles sont exprimées en (mm). Les caractéristiques hydrologiques (débits en L/j) de l'oued Boufekrane ont été obtenues auprès de l'agence des bassins de Sebou.

La pluviométrie mensuelle durant la période (2009-2010) est très variable de 1mm le mois de juillet à 178,7 mm au mois de février où il ya de fortes précipitations et est également répartie tout au long de l'oued. Cette irrégularité se traduit par de fortes précipitations qui débute en automne se poursuit en hiver et se termine à la fin du printemps : ce qui explique la concordance des forts débits pendant les saisons (automne-hiver) et moyen au printemps et faible en été suivant la (figure 2).Cependant la quantité de pluie varie considérablement d'une année à l'autre.

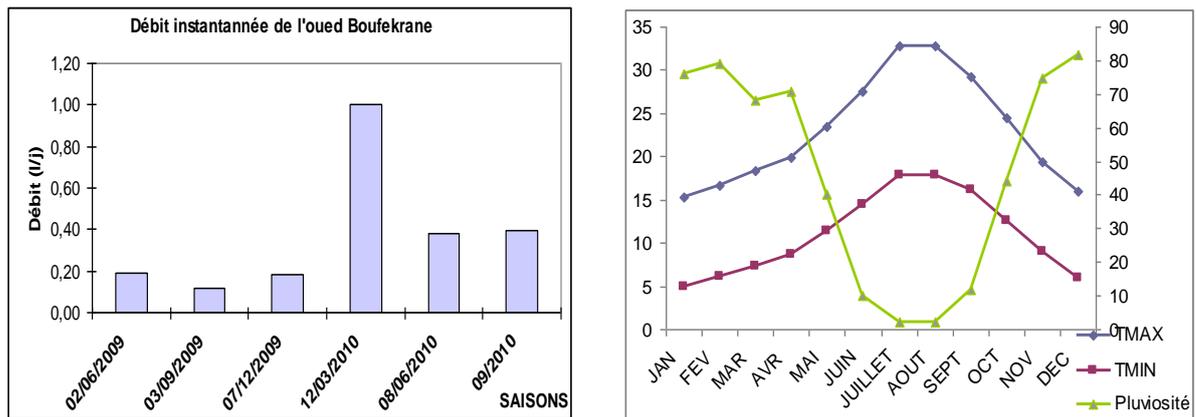


Figure 2 : Données pluviométriques et hydrologiques de l'oued Boufekrane

3.2. Variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau de l'oued Boufekrane

La comparaison spatiale des moyennes des différents paramètres (en confondant les mois) à partir du mois de juin 2009 au mois de mai 2010 suivant la (figure 3). La variation spatiale des moyennes des différents paramètres physico-chimiques des sept stations étudiées de l'oued Boufekrane (figure 3) nous a permis de déceler un gradient croissant de l'amont vers l'aval de la température de l'eau, conductivité, turbidité, dureté, alcalinité, matière organique, matière en suspension, chlorures, nitrites, sulfates, demande chimique en oxygène (DCO) et demande biochimique en oxygène (DBO₅) sauf pour S4 où ils y a une baisse, car il y a dilution et le phénomène d'auto-épuration qui existe entre S3 et S4 et réaugmente en (S5, S6) et rediminue légèrement en S7 car on a le même phénomène qui se passe pour le tronçon S3 et S4. Par contre il y a gradient décroissant de l'amont vers l'aval pour l'oxygène dissous et les nitrates.

3.3. Variation spatio-temporelle des paramètres bactériologique de l'oued Boufekrane

La variation spatiale des moyennes de l'amont Ain Maarouf (station témoin) pour les CT, CF, SF, ACSR et FMAT, dévoile respectivement de faibles concentrations de 2,139 ; 1,038 ; 0,985, 0,742 et 1,048 avec une augmentation respective de manière significative vers l'aval de 4,757 ; 4,203 ; 4,438 1,935 et 4,032 exprimée en Log₁₀/100 mL (figure 4).

3.4. Discussions

La moyenne de la température de l'eau présente une variation spatiale significative de l'amont vers l'aval, elle dépend des variations climatiques et non des stations étudiées des cours d'eaux [14] elle varie de 17,63 à 19,57°C (figure 3) ces valeurs sont considérées comme valeurs limites qui sont de 20 à 30 °C. C'est une température favorable pour le développement des bactéries, des parasites, des larves de moustique et autres germes microbiens, arrivant à un maximum 19,57°C au mois d'aout.

Les moyennes du pH varient entre 7,63 et 7,02 ne présentent pas de variation significative. Elles restent légèrement basiques à neutre et elles expriment l'alcalinité des différentes stations (amont-aval). La valeur la plus basse est enregistrée en station S5 où le pH = 4,5 est acide (figure 3) car rejet des margines pendant la période oléicole. Les valeurs obtenues de pH sont en accord avec [15], constituent une valeur du critère de la protection de la vie aquatique. Les valeurs minimales sont enregistrées au printemps où les conditions climatiques ne sont pas favorables pour la photosynthèse par contre les valeurs maximales sont enregistrées en été.

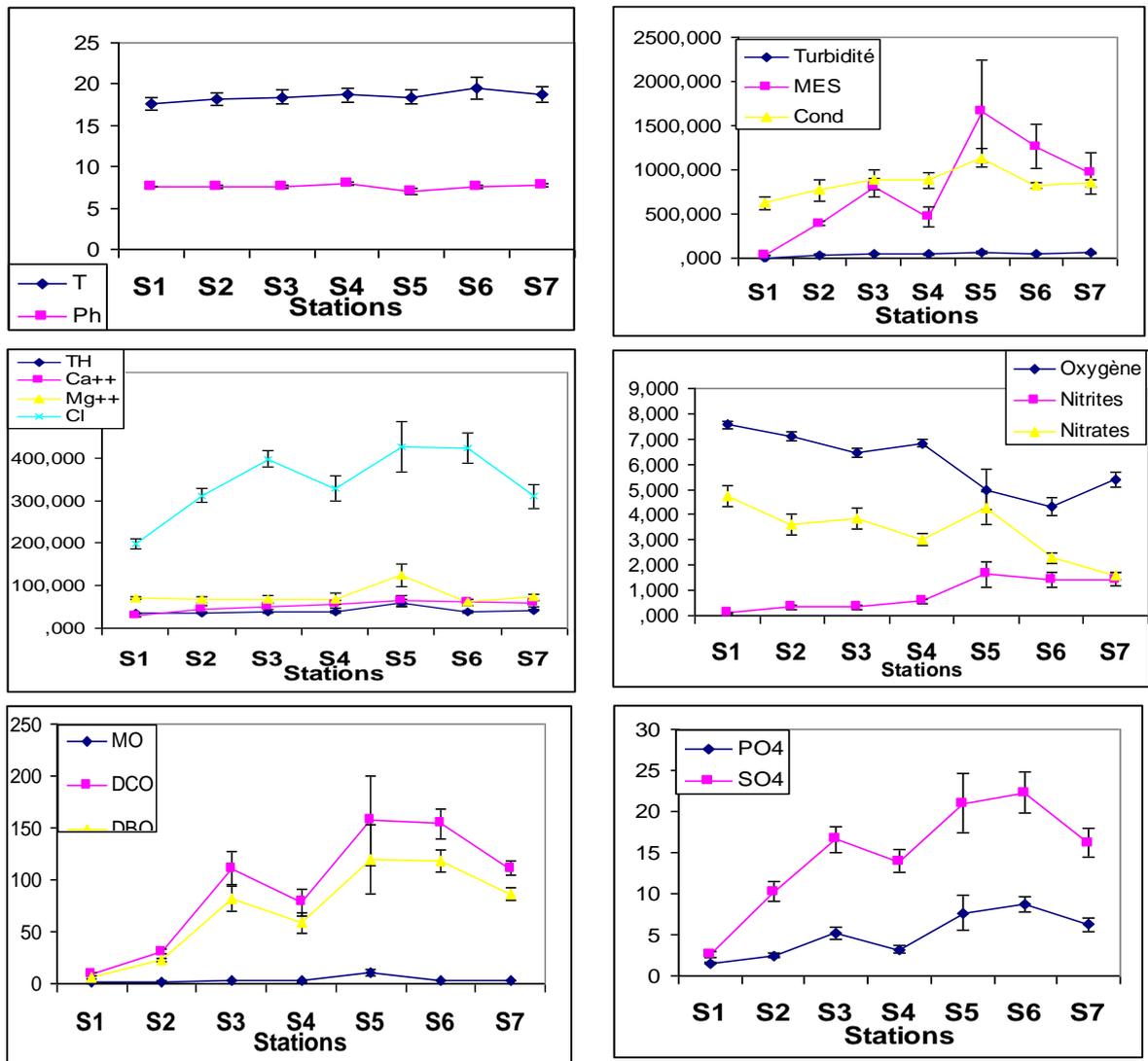


Figure 3 : Variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques des différentes stations de l'oued Boufekranes

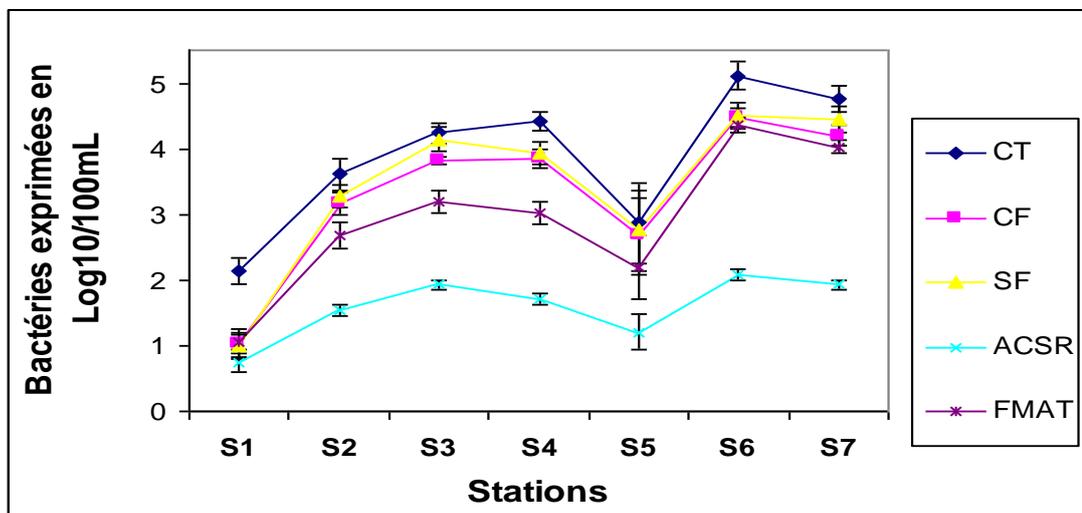


Figure 4 : Variation spatio-temporelle des paramètres bactériologiques des différentes stations de l'oued Boufekranes

La conductivité renseigne sur la minéralisation globale et sur la salinité, elle varie de 622,42 à 1136,75 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Les valeurs obtenus expriment une minéralisation moyenne accentuée de l'amont vers l'aval dont l'origine est soit par les rejets industriels des huileries ou par les rejets de l'abattoir situé en aval de la commune de Boufekrane station S3 et qui sont rejetés suivant le réseau d'assainissement dans l'oued sans traitement préalable, cette constatation concorde avec [16].

La turbidité mesure la teneur de l'eau des particules en suspensions, associées au transport de l'eau qui est de nature minérale et par la présence de microorganisme (OMS, 2007). Cette dernière augmente de l'amont vers l'aval de 4,9 à 55,25 NTU, dépassant ainsi les normes de rejets qui sont fixées à 5 NTU.

Les consommations spatiales de l'amont vers l'aval des teneurs en oxygène dissous se traduisent par une consommation excessive de la matière organique et des micro-organismes présents dans le milieu [15] dont les moyennes respectives en oxygène dissous et en matière organique varient de 7,55 à 4,32 mg/L et de 0,88 à 10,39 mg/L. La plus haute valeur en matière organique s'explique par le déversement des égouts des effluents en marge dans la station S5. Les teneurs en nitrate diminuent de l'amont vers l'aval de 4,74 à 1,59 mg/L, inférieurs aux normes de l'OMS qui sont de 50 mg/L ; les valeurs maximales sont obtenues pendant la période hivernale-automne car les eaux sont entraînées par les fortes pluies et faibles pendant la période estivale ses valeurs sont comparables à ceux de [17]. Les teneurs en nitrates évoluent de façon inversement proportionnelle au débit de l'oued Boufekrane, mais proportionnelle en nitrites dont les valeurs varient de 0,009 à 1,44 mg/L : ce qui pourrait s'expliquer par le processus de dénitrification des nitrites en nitrates par les bactéries autotrophes nitrosomonas et nitrobacters réalisant respectivement l'oxydation de l'ammonium en nitrite et l'oxydation des nitrites en nitrates et qui justifie la consommation de l'oxygène dissous de l'amont vers l'aval [18].

L'évolution des orthophosphates est semblable à celle des nitrates, ce qui laisse penser que leurs origine est anthropique, dont les valeurs fluctuent entre 0,35 et 4,57 mg/L, elles sont supérieures à la norme de rejet qui est de 0,5 à 1 mg/L. Ce qui confirme que les eaux de l'oued Boufekrane en aval sont plus soumises aux activités agricole par les pesticides, fertilisants phosphatés et par les rejets des lessives par l'entourage aux bords de l'oued que celles de l'amont.

Parallèlement à la dégradation des nitrates, on constate une augmentation des teneurs en sulfates qui sont libérés lors de la réaction de dénitrification autotrophe [19] :

Dont les valeurs moyennes des sulfates atteignent de 2,51 à 16,18 mg/L, elles sont dues à la morphologie des sols traversés de l'amont à l'aval par les cours d'eau domestiques, pesticides et industriels. Ces valeurs se rapportent à celles de [14] et respectent la valeur limite de rejets qui est de 250 mg/L en sulfates.

La dureté et les chlorures évoluent respectivement de l'amont vers l'aval de (35,83 à 59,47 F°) et de (197,47 à 432,58 mg/L). Les plus hautes valeurs sont enregistrées en S5 car il y a rejet direct des margines par les égouts de l'huilerie dont la forte salinité est due à l'ajout du sel pendant la conservation. Ces valeurs dépassent les normes qui sont fixées de 50 F° pour la dureté et de 250 mg/L pour les chlorures.

La teneur en Mg^{2+} varie de 69,99 mg/L à 124,38 mg/L et de Ca^{2+} varie de 30,51 mg/L à 65,10 mg/L, ils dépendent de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen) [11].

Les moyennes respectives de la DCO et DBO_5 (amont-aval) sont de 9 à 156,87 mg/L et de 6,04 à 120,03 mg/L suivant la (figure 3), les valeurs maximales de la DBO_5 et de la DCO sont enregistrées pendant la campagne oléicole surtout en S5 car rejet direct des margines. Ces deux paramètres de pollution présentent une variation analogue de l'amont vers l'aval du trajet des eaux résiduaires de l'oued Boufekrane dépassant la norme fixée pour les eaux de surface qui est de 40 mg/L pour la DCO et de 10 mg/L pour la DBO_5 , ceci pourrait s'expliquer par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité et la multiplication, nécessitant l'oxygène, et sont augmentées par la diminution de la vitesse d'écoulement. La moyenne spatiale des matières en suspensions (MES) augmentent parallèlement avec la turbidité de l'amont vers l'aval du rejet de la ville de Meknès qui sont entraînées par les pluies abondantes elles varient de 28,23 à 1536 mg/L. Les valeurs de l'aval dépassent la norme des eaux de surface qui est de 50 mg/L. Les teneurs en matières en suspensions sont proportionnelles aux débits et atteignent leurs plus grandes valeurs au cours des périodes de crues, ce qui aboutit à une contamination bactériologique en été par une chute accrue du débit [20].

La variation spatiale des moyennes de l'amont source Ain Maarouf pour les CT, CF, SF, ACSR et FMAT, augmentent respectivement vers l'aval (figure 4). Cette pollution pourrait s'expliquer par les rejets domestiques

qui sont véhiculées à partir de la commune Boufekrane entre les stations S2 et S3 par un réseau d'assainissement dont la caractérisation est par les germes fécaux, animales par les beaux vins et les volailles qui se trouvent dans les pâturages, [21, 22, 23]. Pour le tronçon S3 et S4, il y a une diminution des concentrations, alors que normalement la pollution augmente de l'amont vers l'aval : ceci pourrait s'expliquer par le phénomène d'auto-épuration. On remarque que pour la station S5 pendant le dénombrement des bactéries en période oléicole il y a absence de ces dernières car il y a déversement des margines qui ont un caractère acide dont le pH est compris entre 4,5 et 5 [24] et par la présence d'acides phénoliques et d'acides gras qui sont défavorables au développement des microorganismes [25]. Mais aussi par l'augmentation de la température et la durée d'ensoleillement au niveau des stations aval S5 et S6 pendant la période d'étiage qui favorisent leurs multiplications et leurs enrichissements par les phénomènes physique adsorption, activation biologique, dilution, dispersion et sédimentation [12]. Ils sont peu ou pas pathogènes, sont révélateurs de contamination fécale et entraînent par leur abondance la présomption de contamination plus dangereuse [22, 26].

3.5. Analyse statistique des paramètres physico-chimiques de l'oued Boufekrane

Dans un travail antérieur [1], nous avons confirmé la corrélation entre les paramètres physico-chimiques et stations-mois par une analyse en composantes principales (ACP) de l'oued Boufekrane. Dans la présente étude, les ACP ont été effectués pour déceler la corrélation entre variables-individus (paramètres physico-chimique et bactériologique, stations-mois) (figure 5).

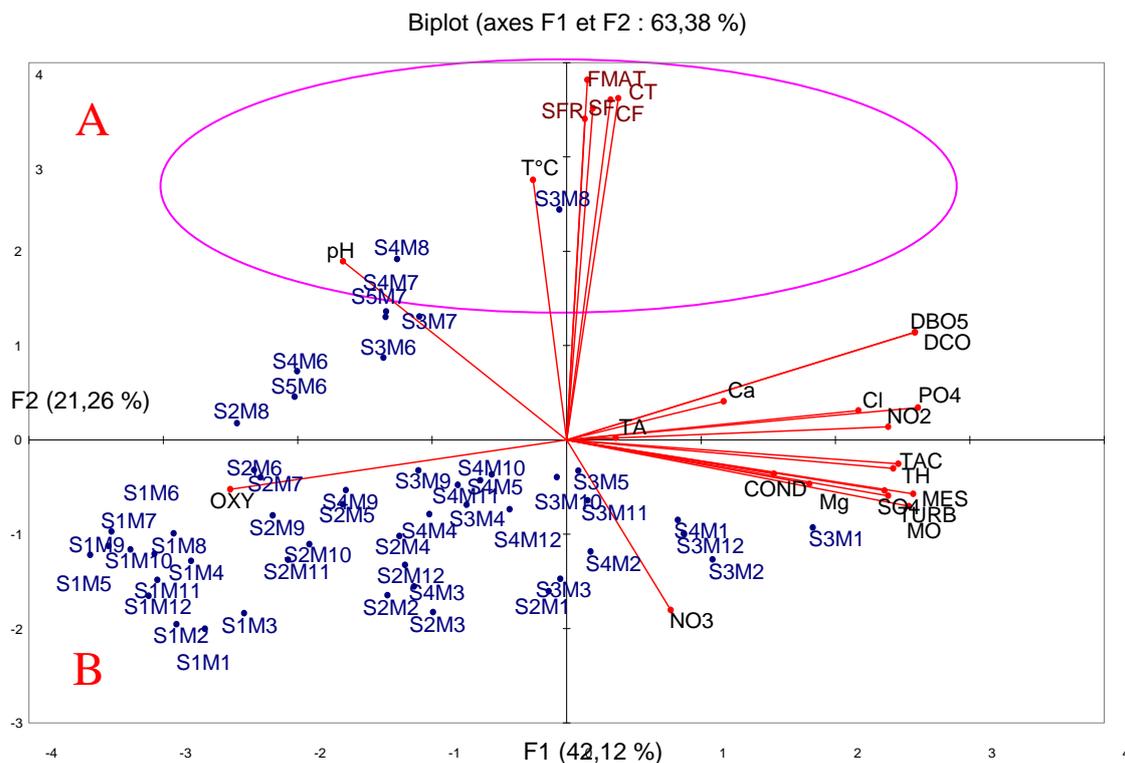


Figure 5: Diagramme cartésien indiquant la corrélation entre les paramètres physico-chimiques, bactériologiques et stations-mois de l'oued Boufekrane

Les observations SiMj représentent les (station –mois) dont i varie de 1 à 7 et j varie de 1 à 12.

Le diagramme cartésien est formé par les axes F1 et F2 donnant 63,38 % de l'information totale selon l'axe F1 donnant 42,12% et F2 donnant 21,26%.

L'alcalinité des eaux est exprimée par la forte corrélation entre le pH, la Température et les bactéries indications de contaminations fécales. Selon l'axe F1 on note une opposition entre les eaux polluées par les nitrates et les eaux polluées par la matière organique. Il définit ainsi un gradient croissant en pollution de gauche à droite, qui se traduit par une diminution de l'oxygène et une augmentation en DCO, DBO₅ des Ca²⁺, Mg²⁺, et des nitrites, dureté, turbidité, chlorures, sulfates, phosphates dont ces derniers aboutissent à une forte minéralisation d'après

[11] ce qui explique l'augmentation de la conductivité de gauche à droite selon l'axe F2. Sur la base des données récoltées mensuellement, l'analyse en composante principale figure 5 confirme que les résultats sont très cohérents avec les résultats annuels obtenus d'après la (figure 3). On remarque que le plan (A) plan supérieur du diagramme (figure 5) représente en général la période d'étiage et (B) le plan inférieur du diagramme la période de crue.

La variation spatio-temporelle pendant la période d'étiage plan (A), le débit des cours d'eaux devient plus faible car le phénomène d'auto-épuration est limité. Par conséquent il est lié par un accroissement de pollution de gauche à droite plus dans les stations aval, S3 de la commune Boufekrane et en S6 et S7 les stations aval de Meknès [27], par un enrichissement des paramètres indicateurs de la qualité de pollution DCO, DBO₅, MES, MO, turbidité, conductivité, sulfates, orthophosphates, dureté, nitrites, calcium et magnésium [1].

En période de crue partie (B) les débits sont accentués de l'amont vers l'aval par les fortes pluies, dans les stations S1 à S4 le taux des nitrates est supérieur en hiver par les engrais et pesticides provenant du lessivage des sols qu'utilisent les agriculteurs à la fin d'été et en automne.

Il existe une corrélation entre les variables (paramètres physico-chimiques, bactériologiques et stations-mois de l'oued Boufekrane et nous confirme la forte contamination fécal dans la commune de Boufekrane en S3M8 en période d'étiage surtout le mois d'août où la multiplication bactérienne est plus favorisée par la température, le pH basique et du milieu alcalin.

Selon Rodier [11], les origines de la contamination des eaux ne sont pas seulement exclusivement humaines ou animales mais il y a aussi les paramètres physico-chimiques qui contribuent à l'activité bactérienne. En plus de ces facteurs abiotiques dans les surfaces des eaux, les bactéries fécales se pointent après une pluie [28, 29].

Conclusion

Le suivi de la qualité des eaux spatio-temporelle a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) du gradient croissant de l'amont vers l'aval de la pollution des eaux de l'oued Boufekrane. La présence très élevée en polyphénols issues par le système à 3 phases et par presse sont responsables de la forte toxicité dans l'oued Boufekrane dont les normes de rejets ne sont pas respectées, et constituent un risque sanitaire pour les habitants qui pompent l'eau pour l'irrigation et le lavage des légumes au bord de la rivière. L'analyse multivariée statistique a servi comme un excellent outil d'exploration dans l'analyse et l'interprétation des données complexes sur la qualité de l'eau et confirme bien les résultats de la variation spatio-temporelle de la pollution répartis dans les sept stations de l'amont vers l'aval.

Sur le plan de la lutte contre cette pollution, les efforts déployés en matière de dispositifs d'épuration sont encore absents en amont de la commune de Boufekrane. Afin d'éliminer les risques écologiques et sanitaires engendrés par le rejet des eaux usées à l'état brut aux milieux récepteurs (Sebou et lac Fouarat), Concevoir des procédés de traitements adéquats des eaux usées et mettre en vigueur la loi environnementale « Pollueurs-Payeurs ».

Remerciements

Cette étude a été effectuée avec le soutien de la Régie Autonome des distributions d'eau et d'électricité, à la Délégation du Ministère de la santé à la préfecture de Meknès et à l'agence des bassins Fes.

Nous tenons à remercier le Directeur générale Mrs Youssef Laklalech de la RADEM et le Chef de département et d'assainissement Rachid My El Mehdi et toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Références

1. Larif, M., Soulaymani, A., Hnach, M., Elmidaoui, A. *Am. J. Envir. Sci.*; 8 (2012) 236-240.
2. Larif, M., Elmidaoui, A., Zarrouk, A., Zarrok, H., Salghi, R., Hammouti, B., Oudda, H., Bentiss, F. *Res. Chem. Intermed.* (2012) DOI 10.1007/s11164-012-0788-2.
3. Bruzzoniti, M.C., Sarzanini, C., Costantino, G., Fungi, M. *Anal. Chim. Acta* 578 (2006) 241-249.
4. Dandelot S., Matheron R., Le Petit J., Verlaque R., Cazaubon A., *C. R. Biologies* 328 (2005) 991.
5. Hamaidi, F., Hamaidi, M.S. *Rev. Microbiol. Ind. San and Environn.* Vol 3 (2009) N°1: 76-95.
6. McGechan, M.B. et Vinten, A.J.A. *Use and Management* 20 (2) (2004) 195-202.
7. Rodgers, P., Soulsby, C., Hunter, C., Petry, J. *The Science of the Total Environment* 314-316 (2003) 289-302
8. Sun, X.Y., Zhou, Q. X., Ren, W. J., Li X. H., Ren, L. P.. *Journal of Environmental Sciences* 23(10) (2011) 1684-1690

9. AFNOR, Recueil de normes française : eau, méthode d'essai, 2^{ème} édition, Paris, France (1983) 621p.
10. Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champsaur, H. et Rodi, L. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 8^{ème} éd. Paris (1996) 1384 p.
11. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 9^{ème} éd. Paris (2009) ISBN 987-2-10-054179-9.
12. Orloci, L. *Vegetatio* (1974) 29:11–16.
13. Giraudel, J., Lek, L.S., *Ecol. Model.* 146(13) (2000) 329–339.
14. Aboukacem, A., Chahlaoui, A., Soulaymani, A., Rhazi-filali, F. et Benali, D. *Rev. Microbiol. Ind. San. et Environ.* N°1 (2007) 10-22.
15. Abba, E., Nassali, H., Benabid, M., EL Ayadi, R. et EL Ibaoui, H.. *Afrique Science* 04(2) (2008) 306–317
16. Belghiti, D., Elghamri, Y., Ztit, G., Ouahidi, My L., Jdid, Harchrass, My B., Amghar, A., Bouchouata, O., EL Kharrim, K. et Bounoura, H.. *Afrique Science* 05(2) (2009) 199-216.
17. Bricha, S., Ounine, K., Oulkheir, S., EL Haloui, N. et Attarassi, B. *Afrique Science* 03(3) (2007) 391–404.
18. Pauwels, H. *Mineralogical Magazine* 58 A (1996) 696- 697.
19. Martelat, A., Foucher, J., Lachassagne, P., Pauwells, H. *Hydrosystems* (Proceedings of Rabat Symposium S2, May 1997).
20. Gourari, L., Alaoui-Mhidi, M., Boushaba, A. et Fedan, B. *Journal of African Earth Sciences*, 30 (2000) pp. 283-293.
21. Genin, B., Chauvin, C., Menard, F. Cours d'eau et indices biologiques, pollutions méthodes (2003) IGBN, 2^{ème} édition éducatrice.
22. Kacar, A., *Ecological Indicators* 11 (2011) 1360–1365.
23. Denis, M., Tanguy, M., Chidaine, B., Laisney, M-J., Megraud, F., Fravallo, P. *Pathologie Biologie* 59 (2011) 256–263
24. Morillo, J.A., Antizar-Ladislao, B., Monteoliva-Sánchez, M., Ramos-Cormenzana, A., Russell N.J. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 82 (2009) 25–39
25. Achak, M., Mandi, L., Ouazzani, N. *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 2771-2779.
26. Figarella, J., Leyral, G., Terret, M. Microbiologie générale et appliqué Edit. Jacques Lanore (2001) 285p.
27. Ouali, A., Azri, C., Medhioub, K., Ghrabi, A. *Desalination* 246 (2009) 496–505.
28. Xu, P., Brissaud F., Fazio A., *Water Res.* 36 (2002) 3074–3082.
29. Chigbu, P., Gordon, S., Strange, T. *Water Res.* 38 (2004) 4341–4352.

(2013) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>