

Etude préliminaire de l'évaluation des paramètres physico-chimiques, détection et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans quelques lacs de la ville de Franceville (Gabon)

[Preliminary study of the evaluation of physicochemical parameters, detection and enumeration of total and faecal coliforms in some lakes of the town of Franceville (Gabon)]

Jean-Fabrice YALA¹, Alain SOUZA¹, Judicaël LEBAMBA², Alexis Nicaise LEPENGUE², Franck Patrick MOUSSAVOU DOUCKAGAS¹, Elvis SAME MINKO¹, and Bertrand M'BATCHI¹⁻²

¹Laboratoire de Biologie Moléculaire et Cellulaire; équipe de Microbiologie, Unité de recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), BP 067 Franceville, Gabon

²Laboratoire de Physiologie végétale, Phytopathologie et Amélioration des plantes, Unité de recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), BP 067 Franceville, Gabon

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the physicochemical and microbiological quality of the waters of Franceville lakes, which are real receptacles for several pollutants.

The physico-chemical parameters *in situ* were measured by means of a multiparameter and other chemical elements as phosphate, sulfate and ammonium were highlighted and measured by a colorimetric and spectrophotometric method. The microbiological parameters were determined by the colony-forming unit (CFU) method on selective agar media. Finally, strains of *Escherichia coli* were identified by biochemical tests.

The results of the physico-chemical parameters show that the waters of Lake Lacaisse have the highest temperature, conductivity, salinity and dissolved oxygen values respectively, 26.71 °C, 398.67 µs/cm, 190 mg/l and 376.4 mg/l. On the other hand, these waters have neutral pH. The results of the bacteriological parameters show that the lake Makana contains the strongest rates of coliformes totaux ($4.84 \cdot 10^5$ UFC/100 ml) and of presumptive *Escherichia coli* in 37°C ($3.54 \cdot 10^5$ UFC/100 ml). Eosin methylene blue medium is the best for counting total coliforms. In addition, (6.45%) colonies of *Escherichia coli* were identified. So, other coliformes thermotolérants (*Entérobacter Sakazakii*, *Entérobacter cloacae*, *klebsiella ozaenae*, *klebsiella Pneumoniae. pneumoniae*).

In sum, this study shows that the water in Lake Makana appears to be more polluted than Lac Lacaisse.

KEYWORDS: Lakes, pollution, total coliform, *Escherichia coli*, eutrophication.

RESUME: Le but de cette étude était d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de lacs de Franceville qui constituent de véritables réceptacles de plusieurs polluants.

Les paramètres physico-chimiques *in situ* ont été mesurés à l'aide d'un multiparamètre et les autres éléments chimiques (phosphate, sulfate et ammonium) ont été mis en évidence et dosés par une méthode colorimétrique et spectrophotométrique. Les paramètres microbiologiques ont été déterminés par la méthode unité formant colonies (UFC) sur milieux gélosés sélectifs. Enfin, les souches d'*Escherichia coli* ont été identifiées par des tests biochimiques.

Les résultats des paramètres physico-chimiques montrent que les eaux du lac Lacaisse ont les valeurs de température, de conductivité, de salinité et du taux d'oxygène dissous les plus élevés respectivement 26,71°C, 398,67 µs/cm, 190 mg/l et

376,4 mg/l. Par contre, ces eaux ont des pH neutres. Les résultats des paramètres bactériologiques montrent que le lac Makana contient les plus forts taux de coliformes totaux ($4,84.10^4$ UFC/100 ml) et d'*Escherichia coli* présomptifs à 37°C ($3,54.10^5$ UFC/100 ml). Le milieu Eosine bleu de méthylène est le meilleur pour le dénombrement des coliformes totaux. Par ailleurs, (6,45 %) des colonies d'*Escherichia coli* ont été identifiées. Aussi, d'autres coliformes thermotolérants (*Entérobacter Sakazakii*, *Entérobacter cloacae*, *klebsiella ozaenae*, *klebsiella Pneumoniae. pneumoniae*).

En somme, il ressort de cette étude que l'eau du lac Makana semble plus polluée que celle du lac Lacaisse.

MOTS-CLEFS: lacs, pollution, coliforme totaux, *Escherichia coli*, eutrophisation.

1 INTRODUCTION

Dans de nombreuses régions du monde, les eaux de lacs et des rivières sont une source importante d'eaux douces pour les besoins domestiques, agricoles et industriels. Malheureusement, ces activités peuvent dégrader la qualité de l'eau sous l'effet croissant de la densité démographique, d'une agriculture intensive et de l'industrialisation [1-4]. Avec les rejets d'ordures, des eaux usées, des déchets ménagers, et industriels directement dans les cours d'eau, de tels actes s'observent surtout dans les pays en voie de développement [5]. Ils constituent à cet effet des sources de contamination des eaux par la matière fécale humaine [6, 7]. Franceville, chef-lieu de la province du Haut-Ogooué, est une ville du Gabon qui se trouve à 512 km au Sud-Est de Libreville. Arrosée par le fleuve Ogooué et par la rivière Mpassa, elle s'étend sur un plateau d'une altitude moyenne de 400 m, vallonné de collines et creusé de ravines. Cette ville fait face à d'énormes problèmes récurrents tels que : (1) l'occupation anarchique de l'espace urbain et parfois sur le lit des rivières ; (2) la construction des routes interrompant ou réduisant l'écoulement des cours d'eaux ; (3) la prolifération des plantes aquatiques au détriment d'espèces animales et végétales plus sensibles ; (4) le nombre croissant des tas d'immondices, des activités agricoles et industrielles avec leur cheptel de nuisances. Ces problèmes sont autant de sources de pollution, susceptibles de dégrader la qualité des eaux des lacs de la ville.

Aussi, vu le nombre croissant des activités menées autour des lacs Makana et Lacaisse dans la ville de Franceville et les usages que les populations riveraines font de ces eaux. Il nous a paru opportun de mener une étude préliminaire sur la qualité physico-chimique et microbiologique dans ces deux lacs. Effectivement, des travaux ont souligné que la présence des bactériens, des virus et protozoaires qui sont de bons indicateurs d'une contamination des eaux par la matière fécale peuvent occasionner de sérieux problèmes de santé publique comme les diarrhées, les gastro-entérites, des vomissements, des fièvres [8, 9]. En revanche, l'accumulation des éléments chimiques dans les eaux peut modifier la biodiversité aquatique.

Le but de cette étude consiste à évaluer l'état de la pollution des eaux de deux lacs de la ville de Franceville par la mesure des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, détection et dénombrement simultanément les coliformes totaux et *Escherichia coli*.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 CHOIX DES SITES DE PRELEVEMENTS

Pour ce travail, l'étude a été réalisée sur deux lacs de la ville de Franceville. Ce choix se justifie par la très forte activité pratiquée à proximité, notamment l'agriculture, l'élevage, la pisciculture pratiqués par la Ferme d'Agriculture et d'Elevage Ngourama (FAEN) ; l'évacuation des eaux usées et les décharges anarchiques improvisées par les populations riveraines susceptibles d'entraîner une dégradation de la qualité de ces eaux au quartier Makana (Lac Yal 2). Ce lac présente également un couvert végétal assez important.

Le lac Lacaisse (Lac Yal 1) est quant à lui, en plus de la pression des rejets des eaux usées et des décharges anarchiques des populations riveraines, soumis à la pression des bovins. Effectivement, ce site constitue un pâturage et un lieu d'abreuvement pour ces derniers. Aussi, les eaux usées de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (CNSS), qui est une structure hospitalière, sont en communication avec ce lac. Le couvert végétal y est très faible.

Les eaux de ces lacs peuvent provoquer des problèmes de santé publique car elles servent également pour la baignade, la lessive, le pâturage et pour l'arrosage des cultures. Ces lacs ne sont pas exhaustifs de la ville de Franceville, mais permettent de rendre compte de la qualité des eaux superficielles stagnantes de cette dernière. Les coordonnées géographiques des sites sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Sites de prélèvements

Sites	Lacs	Codes	Coordonnées géographiques
Lacaisse	Lac	Lac-yal 1	E034°46'937'' N00°30'0490''
Makana	Lac	Lac-yal 2	E034°42'154'' N00°29'9582''

2.2 MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Les paramètres physico-chimiques *in situ* ont été mesurés à l'aide d'un multiparamètre Hanna HI 9828, permettant la mesure simultanée de 13 paramètres. Parmi ces paramètres, seuls la température, le potentiel hydrogène (pH), le taux d'oxygène dissous, la salinité et la conductivité ont été retenus pour cette étude car ce sont de bons indicateurs de l'état de pollution du milieu aquatique.

2.3 PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Les différents échantillons d'eaux ont été recueillis à l'aide de bocaux stériles de 100 ml, puis transportés au laboratoire dans une glacière réfrigérée et conservés à 4°C au réfrigérateur pour analyses ultérieures.

2.4 ANALYSES CHIMIQUES

Les analyses chimiques des échantillons ont consisté à la recherche par la méthode colorimétrique de la présence ou absence des ions sulfates, ammoniums et des phosphates. Pui, l'approche quantitative de ces analyses ont été menées par la méthode spectrophotométrique.

2.5 MISE EN EVIDENCE ET QUANTIFICATION DES IONS AMMONIUMS

Pour la mise en évidence de la présence de l'ammonium, 7,5 ml d'échantillon d'eau ont été transférés dans un tube à essai dans lequel 2,5 ml de NaOH à 10% et 100 µl du réactif de Nessler ont été ajoutés. Lorsque le test est positif, une coloration orangée apparaît. La quantification a été effectuée à la longueur d'onde de 420 nm au spectrophotomètre (Unico 1100).

2.6 MISE EN EVIDENCE ET QUANTIFICATION DES IONS SULFATES

Pour la mise en évidence de la présence du sulfate, 5 ml de l'échantillon d'eau ont été transférés dans un tube à essai, dans lequel ont été ajoutés respectivement 1ml de solution d'acide chlorydrique au 1/10 à partir d'une solution concentrée 12N et 5 ml Chlorure de baryum stabilisé au tween 80 à 25%. Après une agitation et un repos de 15 min, il se développe un précipité blanc laiteux en présence de sulfate. La concentration du sulfate a été déterminée à la longueur d'onde de 650 nm au spectrophotomètre (Unico 1100).

2.7 MISE EN EVIDENCE DES IONS PHOSPHATES

Pour la mise en évidence de la présence du phosphate, 7,5 ml de l'échantillon ont été introduits dans un tube à essai, dans lequel ont été ajoutés successivement 1 ml d'acide sulfurique à 20%, 5 ml de molybdate d'ammonium à 10% et 2,5 ml d'acide ascorbique à 2%. En présence du molybdate d'ammonium, les phosphates forment un complexe phospho-molybdique qui est réduit par l'acide ascorbique et donne une coloration bleue après homogénéisation. La concentration des phosphates a été obtenue à la longueur d'onde de 720 nm au spectrophotomètre (Unico 1100).

Les taux des ions mis en évidences ont été déterminés à l'aide de courbes étalons propres à chaque ion, et en fin évalué selon les normes nationales et internationales.

Tableau 2. Normes internationales de quelques paramètres physicochimiques (sources: journal officiel de la république française de 6/02/2007)

Paramètres analysés	Valeurs limites admises
Température (°C)	25
pH	$6 \leq \text{pH} \leq 9$
Dioxygène dissous (mg/l)	>300
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	$200 \leq C \leq 1100$
Phosphate (mg/l)	50
Ammonium (mg/l)	4
Sulfate (mg/l)	250

2.8 ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

2.8.1 MILIEUX DE CULTURE

Les analyses bactériologiques ont été réalisées par ensemencement des échantillons d'eau sur trois géloses sélectives, choisies pour leur usage courant en milieu médical, dans les analyses des échantillons d'eaux et dans le contrôle des contaminations microbiennes. Il s'agit de :

- La gélose MacConkey (GMac ; Bio Mérieux, France), milieu sélectif utilisé pour l'isolement de *Salmonella* et *Shigella*, ainsi que des bactéries coliformes.
- La gélose Eosine bleu de méthylène (GEBM ; Bio Mérieux, France) servant à l'isolement des bacilles Gram-.
- La gélose M-Endo-Agar (GMEA ; Merck KGaA, Allemagne) est un milieu sélectif utilisé pour le dénombrement des coliformes dans l'eau.

2.8.2 CULTURE BACTERIENNE

10 ml d'échantillon ont été centrifugé à 6000 tr/min pendant 30 minutes. Le culot obtenu a été remis en suspension avec 2 ml d'eau distillée stérile. Chaque milieu a été ensemencé par étalement avec 100 μl d'échantillon non dilué. Enfin, les milieux repartis en deux lots ont été incubées pendant 24h. Un lot à 37°C pour détecter et dénombrer tous les coliformes totaux (CT) susceptibles de croître, l'autre à 44°C afin de rechercher les *Escherichia coli*.

2.9 ANALYSES BIOCHIMIQUES

L'identification biochimique a été faite à l'aide des galeries Api 20E (Bio Merieux, France) selon les recommandations du fournisseur. Ainsi, seules les colonies obtenues à 44°C ont été repiquées dans 5 ml de Bouillon cœur cervelle (BHI Bio Merieux, France), puis incubées pendant 24h à 37°C. L'identification a été faite à l'aide du catalogue analytique Api 20E.

2.10 ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les données ont été statistiquement analysées à l'aide du logiciel GraphPad InStat version 3.01, 32 bit pour Windows 95/NT. Nous avons effectué l'analyse de la variance à l'aide du test de Student (t test non apparié), afin de déterminer, s'il existe des différences significatives entre les deux milieux étudiés. La différence était significative lorsque la valeur de p value était inférieure à 0,05.

3 RESULTATS

3.1 PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Pour la plupart, il s'agit de paramètres indicateurs de pollution. Ils ont été mesurés sur le terrain et analysés au Laboratoire de Biologie Moléculaire et Cellulaire du Département de Biologie. Les figures et tableaux présentés ci-dessous permettent d'apprécier ces paramètres que sont : la température, le potentiel hydrogène, la conductivité, la teneur en dioxygène dissous, la teneur en phosphate, la teneur en sulfate et enfin la teneur en ammonium.

3.2 TEMPERATURE

Sur les deux sites, les températures varient entre 24,63°C et 26,71°C respectivement pour les eaux du lac Makana et du lac Lacaisse (figure 1). La température la plus élevée a été enregistrée au lac Lacaisse, qui est au-dessus des normes internationales fixées à 25°C. Les résultats obtenus sont très significatifs ($p=0,0001$).

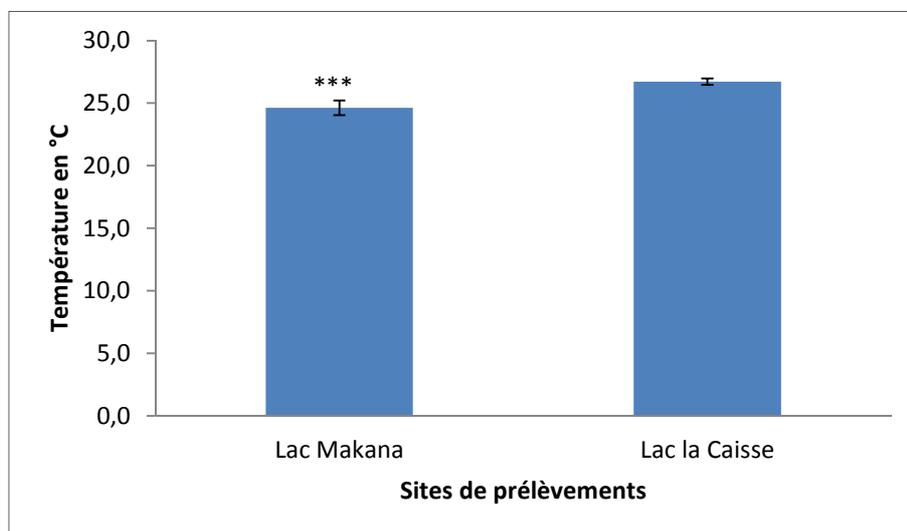


Figure 1. Variation moyenne de Température

3.3 POTENTIEL D'HYDROGENE (PH)

Les valeurs moyennes de pH obtenues ne présentent aucune différence ($p=0,5032$). Elles oscillent entre 6,78 au Lac Makana et 6,83 au lac Lacaisse (figure 2) et montrent que ce sont des eaux à pH neutre, ce qui est conforme aux normes internationales ($6 \leq \text{pH} \leq 9$).

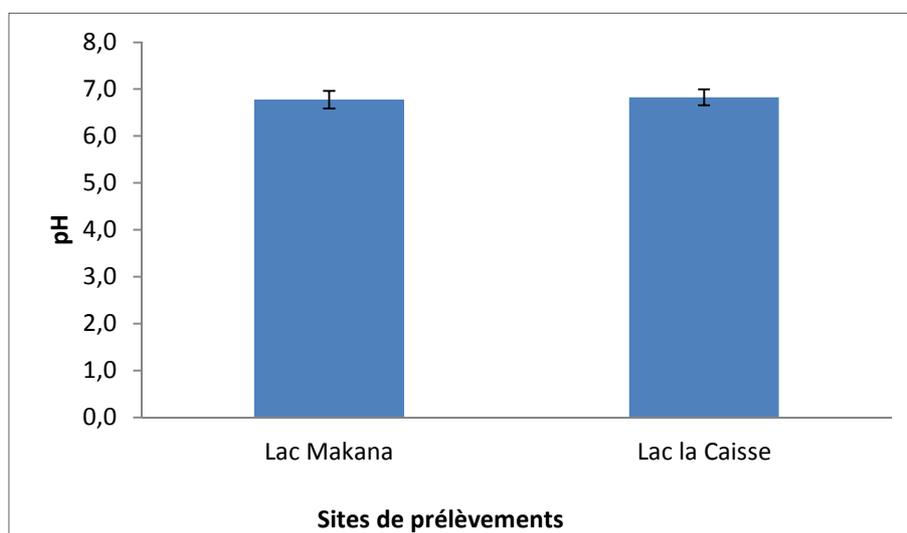


Figure 2. Variation moyenne du Potentiel hydrogène

3.4 SALINITE

Les résultats obtenus ne révèlent pas de différences significatives ($p=0,2020$) entre les deux sites 180 mg/l pour les eaux du lac Makana et 190 mg/l pour celles du lac Lacaisse (figure 3).

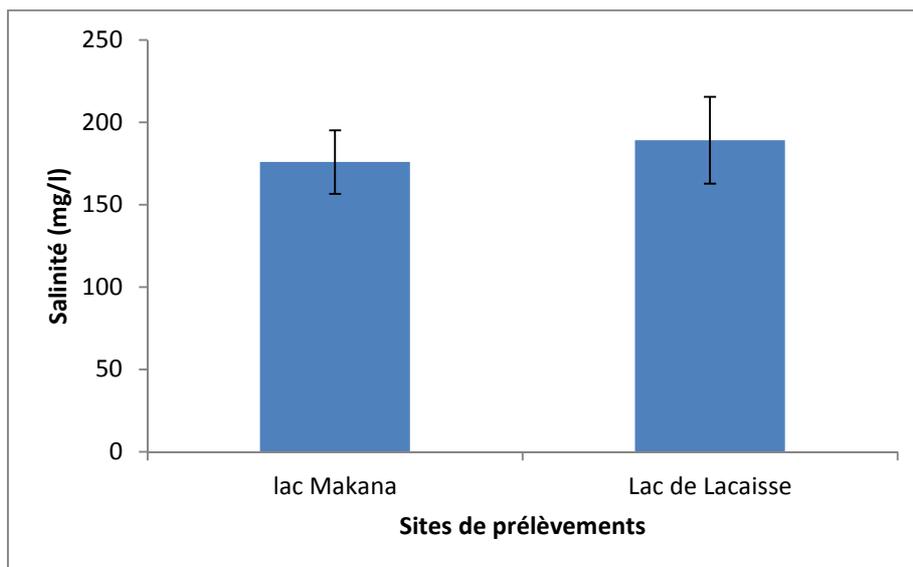


Figure 3. Variations de la salinité

3.5 DIOXYGENE DISSOUS

Les valeurs moyennes de dioxygène dissous recueillies sur les sites sont de 27,3 mg/l pour les eaux du lac Makana et de 376,4 mg/l pour celles du lac Lacaisse (figure 4). Ces résultats montrent que les eaux du lac Lacaisse sont 10 fois plus oxygénées que celles de Makana. Ces résultats sont statistiquement très significatif ($p=0,0001$).

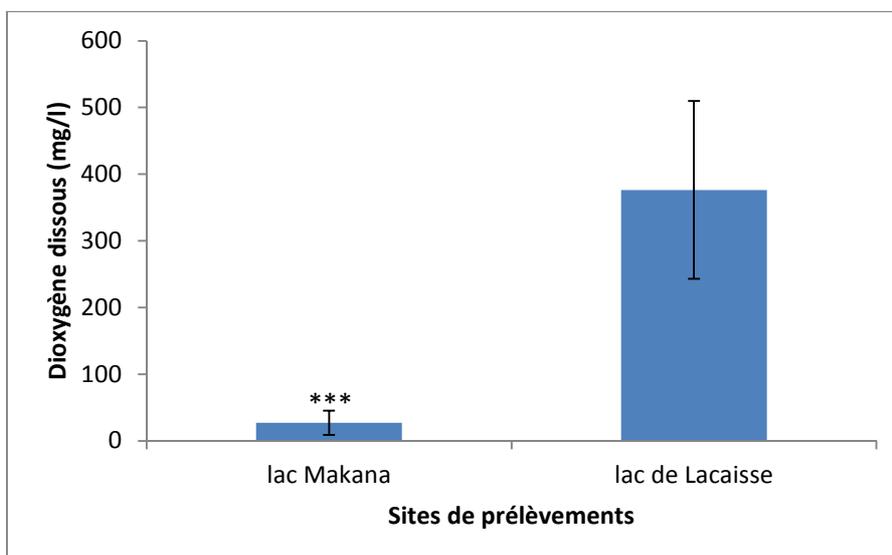


Figure 4. Variation moyenne de la quantité de dioxygène dissous

3.6 CONDUCTIVITE

La conductivité renseigne sur l'état global de minéralisation des eaux superficielles. Les résultats obtenus soulignent que les différences observées entre le lac Lacaisse ($398,67 \mu\text{S}/\text{cm}$) et celui de Makana ($369,67 \mu\text{S}/\text{cm}$) ne sont pas significatives ($p=0,3072$) (figure 5).

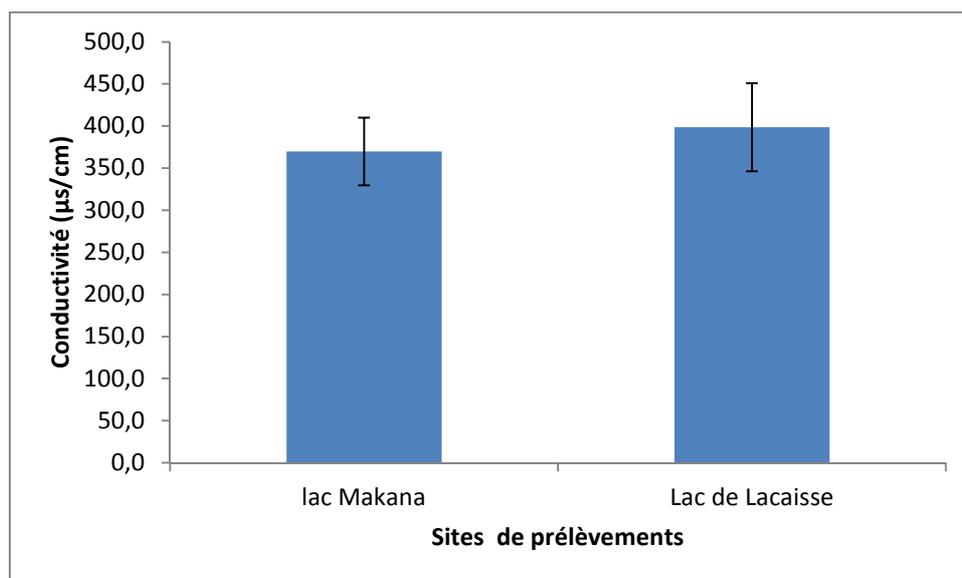


Figure 5. Variation moyennes de conductivité

3.7 ETUDE QUANTITATIVE DES PARAMETRES EX SITU

Tableau 3. Teneurs des ions ammonium, phosphates et sulfates dans les eaux des lacs.

Ions	Concentration (mg/l)		
	Lac Makana	Lac de Lacaisse	P value
Phosphate	1,17±0,89	0,57±0,43	P = 0,2201
Sulfate	0,40±0,45	0,34±0,31	P = 0,8034
Ammonium	3,31±2,47	2,10±3,07	P = 0,5109

Les concentrations de phosphates obtenues varient entre 1,17 mg/l et 0,57 mg/l respectivement pour les eaux du lac Makana et celui Lacaisse (Tableau 3). Les résultats indiquent la présence de phosphate dans ces eaux à des concentrations très faibles dans les deux lacs, mais elles sont plus élevées au lac Makana. Les différences obtenues ne sont pas significatives entre les deux sites (Tableau 3). Les concentrations moyennes de l'ion sulfate oscillent entre 0,34 mg/l (lac Lacaisse) et 0,40 mg/l (lac Makana) ce qui est en accord avec la réglementation internationale admettant des taux de sulfate inférieurs à 250 mg/l pour des eaux résiduelles.

Les valeurs moyennes de l'ion ammonium mesurées sont de 3,31 mg/l pour les eaux du lac Makana et 2,10 mg/l pour celles du lac Lacaisse. Ces résultats sont conformes aux normes internationales (Tableau 2).

3.8 ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les milieux sélectifs ont la particularité de ne laisser pousser que certaines bactéries et avec une efficacité prononcée pour d'autres. Les trois milieux de cette étude permettent tous la croissance des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* avec des caractéristiques morphologiques spécifiques.

Tableau 4. Taux de coliformes totaux dans des eaux des lacs.

	EMB	Mac Conkey	m.Endo
Lac Makana	2,02.10 ⁵	6,12.10 ⁴	8,28.10 ⁴
Lac Lacaisse	5,56.10 ⁴	1,06.10 ⁴	1,58.10 ⁴

Tableau 5. Taux d'*E. coli* dans des eaux des lacs.

	EMB	Mac Conkey	m.Endo
Lac Makana	1,05.10 ⁵	2,58.10 ⁴	3.10 ⁴
Lac Lacaisse	2,04.10 ⁴	1,4.10 ³	1,14.10 ⁴

Les tableaux 4 et 5 présentent les taux des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* présomptives dans les eaux des lacs. Ils ont été simultanément détectés et dénombrés sur trois milieux gélosés sélectifs que sont : gélose M-Endo, la gélose Eosine Bleu de Méthylène (EMB) et la gélose MacConkey. Par ailleurs, ils soulignent que les taux de coliformes totaux ainsi que ceux d'*E. coli* sont plus abondants dans les eaux du lac Makana quel que soit le milieu de culture utilisé. Aussi, les mêmes résultats révèlent que la gélose EMB présente la plus grande charge des coliformes totaux (2,02.10⁵ et 5,56.10⁴ UFC/100 ml respectivement pour le lac Makana et Lacaisse), suivi de la gélose M-endo (3.10⁴ et 1,14.10⁴ UFC/100 ml respectivement pour le lac Makana et Lacaisse) puis la gélose MacConkey (2,58.10⁴ et 1,4.10³ UFC/100 ml).

3.9 RESULTATS DE L'ANALYSE BIOCHIMIQUES

Cette analyse ne concerne que les bactéries qui ont poussées à 44°C (*Escherichia coli* présomptives).

Tableau 6. Tableau d'identification bactérienne

Codes	Sites	Milieus de culture	Identifications
F41	Lac yal1	GMEA	-
F42	Lac yal1	GMEA	<i>K.Pneum. pneumoniae</i>
F43	Lac yal1	GEMB	<i>Escherichia coli</i>
F44	Lac yal1	GEMB	-
F45	Lac yal1	GMac	<i>K. pneum. ozaenae</i>
F46	Lac yal1	GEMB	<i>Escherichia coli</i> 1
F1	Lac yal1	GMEA	-
F2	Lac yal1	GMEA	-
F3	Lac yal1	GMEA	-
F5	Lac yal1	GEMB	-
F6	Lac yal1	GE B	-
F7	Lac yal1	GMac	-
F8	Lac yal1	GMac	-
F9	Lac yal1	GMac	-
F10	Lac yal1	GEMB	-
F11	Lac yal1	GEMB	-
F12	Lac yal1	GEMB	-
F52	Lac yal2	GEMB	-
F53	Lac yal2	E M B	-
F4	Lac yal2	GMac	<i>Ent. sakazakii</i>
F13	Lac yal2	GEMB	-
F14	Lac yal2	GEMB	-
F15	Lac yal2	GMEA	<i>Ent. sakazakii</i>
F16	Lac yal2	GEMB	<i>Ent. cloacae</i>
F17	Lac yal2	GMEA	<i>Ent. sakazakii</i>
F18	Lac yal2	GMEA	

Lac yal1 : La Caisse ; Lac yal2 : Makana ; GEMB : gélose éosine bleu de méthylène ; GMEA : gélose m-endo-agar ; GMac : gélose Macconkey.

Le tableau 6 montre les bactéries identifiées à l'aide de la galerie Api 20E. Il en ressort que sur les 31 colonies testées, 8 (25,8%) ont été identifiées. Nous avons 3 souches d'*Enterobacter sakazakii* (9,67%), 2 souches d'*Escherichia coli* (6,45%), 1 souche d'*Enterobacter cloacae*, 1 souche de *klebsiella pneumoniae. ozaenae* et 1 souche de *klebsiella Pneumoniae. pneumoniae*. Donc un faible taux d'identification des *Escherichia coli*. Ces souches appartiennent bien au groupe des coliformes thermotolérants.

4 DISCUSSION

L'analyse des résultats des paramètres physico-chimiques montre que le lac Lacaisse à la température la plus élevée (26,71°C). Cette forte température pourrait se justifier par l'exposition relative dudit lac aux rayons solaires. En effet, la faible couverture végétale et la faible turbidité observée au niveau de ce lac permettent aux rayons solaires d'entrer directement en contact avec la surface de l'eau et de la réchauffer. Alors que, le lac Makana (24,67°C) est fortement recouvert de végétation qui a pour effet de retenir les rayons lumineux. De plus, la turbidité des eaux de ce lac est plus importante et conforterait cette idée. Effectivement, les travaux de Pommepeuy et *al.* en 1991 ont montré que la matière en suspension concourt à stopper les rayons solaires [10].

Les valeurs moyennes de salinité indiquent des faibles taux, 180 mg/l au lac Makana et 190 mg/l au lac Lacaisse. Cette faible teneur en sel dissous est normale pour des lacs et s'argumenterait par de faibles apports en matériaux. Evidemment, cette étude a été faite en début de saison sèche avec une pluviométrie quasi absente, car les apports des éléments minéraux par les eaux de ruissellement ont été très limités voire nuls. Aussi, les faibles taux de salinité et les pH neutres s'expliqueraient par un débit quasi nul de ces eaux stagnantes, ne permettant pas de charrier le sol et de mettre en suspension assez de matériaux tels que le chlore et des minéraux pour la salinité ou la matière organique en décomposition qui se dépose dans la vase. Comme l'expliquent Pommepeuy et *al.* [11] dans leurs travaux, que les eaux mortes, donc de faible turbulence ne permettent pas une remise en suspension des sédiments. Ce faible écoulement contribue également au déclin de l'aération de l'eau et à la prolifération des plantes aquatiques qui consomment le dioxygène de l'eau au détriment de certaines espèces animales et végétales [12], justifiant ainsi, les faibles taux de dioxygène enregistré au lac Makana (27,3 mg/l) où la végétation très importante consommerait le dioxygène dissous pour la réalisation de leur besoin métabolique tel que la respiration. Alors qu'au lac Lacaisse (375,8 mg/l), le fait que le lac soit découvert, avec une faible présence de plantes aquatique permet une certaine aération de ce dernier dont les taux en dioxygène dissous respectent les normes (>300 mg/l).

Les taux de conductivité recueillis ne révèlent aucune différence majeure entre les deux lacs (369,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au lac Makana et 398,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au lac Lacaisse). Ces taux sont inférieurs à ceux du lac Dayet Aoua au Maroc 416 à 669 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [13] et supérieurs à celui du lac plaskie (222 $\mu\text{S}/\text{cm}$) [14]. Mais ces résultats sont largement au-dessus de ce que prévoit la réglementation gabonaise en matière de taux de conductivité admissible pour les eaux résiduelles (200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ce qui indique que ces deux lacs seraient probablement pollués. Ces forts taux de conductivité découleraient d'une minéralisation importante des deux lacs, due à l'action conjuguée de la nature du sol de Franceville; de l'apport en minéraux des cours d'eaux qui alimentent ces lacs; la matière organique en décomposition.

Concernant les taux de phosphate (Tableau 3), les résultats montrent des faibles taux de phosphate dans ces lacs et ils sont deux fois plus importants au lac Makana (1,17 mg/l) qu'au lac Lacaisse (0,57 mg/l). Ce qui suppose que le lac Makana subirait une pression anthropique plus importante, venant des décharges; le lessivage des terres agricoles de la FAEN; des eaux de ruissellement qui alimentent le lac en phosphate et en matières fécales animales et humaines. Manifestement, le phosphate et l'azote sont les nutriments souvent impliqués dans le phénomène d'accélération de l'eutrophisation des lacs [15]. Aussi, selon Sadani *et al.*, les Lac Makana et Lacaisse auraient un caractère hyper-eutrophie [16].

L'analyse des résultats du tableau 3 montre aussi que les taux de sulfates enregistrés au lac Makana (0,40 mg/l) et au lac Lacaisse (0,34 mg/l) ne révèlent aucune différence. Ces taux très inférieurs aux normes (250 mg/ml) pourraient s'expliquer d'une part, par la nature du sol et d'autre part par la faible pluviométrie qui permet un faible drainage des éléments minéraux et des eaux usées issues des activités domestiques par les populations riveraines des deux lacs et des cours d'eaux qui les alimentent. En effet, les travaux de Youcef et Achour [12] ont montré que les taux de sulfate relevés dans l'eau pouvaient provenir des détergents utilisés dans les ménages. Aussi, bien que les concentrations d'ammonium soient faibles dans les eaux des lacs (3,31 et 2,10 mg/l) respectivement Makana et Lacaisse. Les taux en ammonium plus élevés au lac Makana seraient dus au nombre plus important des activités pratiquées aux abords de ce dernier et la densité plus élevée de la population riveraine, mais également de la proximité de la FAEN et le lessivage de ses terres agricoles. Effectivement, Portejoie et *al.*, 2002 décrivent dans leurs travaux que l'ammoniac est pour l'essentiel d'origine agricole (déjections des animaux d'élevage) et que même si les phénomènes d'enrichissement en azote des eaux sont peu marqués, des teneurs parfois relativement significatives de NH_4^+ ont été notées dans les Ardennes et en Bretagne, en dehors de toute influence humaine directe, donc sous la seule influence des dépôts atmosphériques relayés par des sols saturés en azote [17].

En définitive, ces résultats semblent montrer que les phosphates, sulfates et ammoniums ne sont pas impliqués dans la pollution observée au lac Makana. Manifestement, ces paramètres respectent les normes nationales et internationales. De plus, les tests statistiques révèlent que les différences observées ne sont pas significatives, en dépit de la forte activité humaine observée sur le terrain, car les phosphates et les sulfates sont des ions qui sont associés aux activités humaines. Cependant, ces taux relativement faibles pourraient s'expliquer par un changement de forme (précipitation des phosphates en phosphates de calcium ou passage d'ammonium en nitrite par des conditions d'oxydations) ou par l'adsorption par des particules dans le sol [5, 13].

L'analyse de la qualité bactériologique des lacs Makana et Lacaisse montre que la qualité microbiologique est détériorée. Tous les échantillons des eaux de ces lacs contenaient des fortes quantités de coliformes totaux et d'*E. coli*. Des concentrations relativement élevées des coliformes totaux et fécaux ont été trouvées dans d'autres lacs [18, 19]. Aussi, ces résultats (Tableau 4 et 5) semblent souligner que parmi les trois milieux utilisés dans cette étude, la gélose eosine bleu de méthylène (GEMB) serait le milieu le plus indiqué pour la détection et le dénombrement simultané des coliformes totaux et d'*E. coli*, avec des taux de $2,02 \cdot 10^5$ et $5,56 \cdot 10^4$ CFU/100 ml de coliformes totaux et de $5,42 \cdot 10^4$ et $3,06 \cdot 10^4$ CFU/100 ml d'*E. coli* détectés respectivement au lac Makana et Lacaisse. De plus, seul sur ce milieu des souches d'*E. coli* ont été identifiées biochimiquement, et tous les échantillons proviennent du lac Makana. La présence d'*E. coli* dans les eaux des lacs indique une contamination des eaux par la matière fécale humaine et des animaux à sang chaud [2, 20]. Cette présence d'*E. coli* peut être corrélée à l'existence des microorganismes pathogènes, car de nombreux travaux ont souligné le lien entre la présence d'*E. coli* et la présence des microorganismes pathogènes comme *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhinarium* [21-23]. Par contre, aucune souche d'*E. coli* n'a été identifiée sur le milieu M-Endo-Agar (GMEA) qui semble être peu (ou pas) efficace pour la détection de ce coliforme. Des résultats similaires ont été obtenus et ont montré qu'*Aeromonas* pouvait induire des interférences dans les échantillons d'eaux créant ainsi des faux positifs sur le milieu M-Endo-Agar [9]. Sur le milieu MacConkey (GMac), également aucune colonie d'*E. coli* n'a été identifiée. Cela s'expliquerait par le fait que le milieu MacConkey soit adapté pour des analyses médicales et pour la détection de *Salmonella* et *Shigella*.

Cependant, la détection d'*Entérobacter cloacae* provenant des échantillons du lac de Lacaisse sur la gélose EMB montre la nécessité d'effectuer des tests complémentaires. En effet, les travaux de Wang et Fiessel [9] ont montré que bien que le milieu testé présente une haute spécificité pour la détection d'*E. coli* et de manière reproductible, la présence occasionnelle de colonies bleues foncées requière des tests de confirmation.

Les tableaux 4 et 5 montrent de manière globale que quel que soit le milieu de culture utilisé, le lac Makana contiendrait plus de coliformes totaux que celui de Lacaisse. Ces taux sont largement au-dessus des normes internationales pour des eaux de baignades (500 CFU/100 ml de coliforme totaux et d'*Escherichia coli*). Ces forts taux pourraient s'expliquer par les nombreuses décharges orchestrées par les populations au niveau de ce lac et des cours d'eau l'alimentant, les toilettes traditionnels et les points de lessives le long des cours d'eaux alimentant le lac Makana.

Le faible taux d'identification des *E. coli* obtenu (tableau 7) pourrait s'expliquer par des réactions d'interférence des bactéries non coliformes [24] mais également de la grande variabilité de stress des microorganismes indicateurs de pollution fécale dans les milieux aquatiques [25-27]. Aussi, ces résultats seraient dus à une compétition nutritive entre bactéries entériques pathogène comme les souches d'*E. coli* et les bactéries autochtones des milieux aquatiques qui sont capables de proliférer aux faibles concentrations de substrats [28-30].

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Il apparaît au terme de ce travail que les lacs Makana et Lacaisse sont pollués, et que le lac Makana est soumis à une pollution assez avancée avec des signes déjà évidents d'eutrophisation. Les décharges anarchiques, les toilettes situés long des cours d'eaux, la prolifération de plantes aquatiques telles *Nymphaea lotus*, les forts taux des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* constituent les sources de pollution les plus visibles du lac Makana. Ce qui est un désastre pour la ville de Franceville, quand nous savons les conséquences écologiques, sanitaires et économiques occasionnées.

La gélose Eosine Bleu de Méthylène a été le milieu le plus efficace de trois milieux pour la détection et énumération des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* dans les échantillons d'eaux des lacs. Cependant, la présence de faux positif nécessite la réalisation de tests complémentaires pour la confirmation de la présence d'*Escherichia coli*.

Des études supplémentaires devraient s'étendre à d'autres lacs de Franceville sur une période plus longue, pour prendre en compte les variations saisonnières susceptibles d'influencer les niveaux de pollution. Enfin, sensibiliser les populations, les entreprises et les mairies sur l'intérêt de la préservation des écosystèmes aquatiques.

REFERENCES

- [1] Da Silva AMM, Sacomani LB: Using chemical and physical parameters to define the quality of pardo river water (Botucatu-SP-Brazil). *Water Research* 2001, 35:1609-1616.
- [2] Aw S, Koffi David A, N'goran EBZ, Bernard P, Jacques F: Evaluation of Bacteriological Pollution of Yamoussoukro Lakes (Côte D'ivoire). *Current Research Journal of Biological Sciences* 2011, 3:318-321.
- [3] Kacar A: 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* 2011, 11:1360–1365.
- [4] Pongpetch N, Suwanwaree P: Spatial Water Quality Assessment and Mapping of Lahan Swamp, Chaiyaphum, Thailand. *Procedia Environmental Sciences* 2012, 13:655-659.
- [5] Bougherira N, Aoun-Sebaiti B: Impact des rejets urbains et industriels sur l'eau superficielle et souterraine dans la plaine d' Annaba (Algérie) *Courrier du Savoir* 2012, 13.
- [6] Korajkic A, Brownell MJ, Harwood VJ: Investigation of human sewage pollution and pathogen analysis at Florida Gulf coast beaches. *J Appl Microbiol* 2011, 110:174-183.
- [7] McQuaig S, Griffith JF, Harwood VJ: The association of fecal indicator bacteria with human viruses and microbial source tracking markers at coastal beaches impacted by nonpoint source pollution. *Appl Environ Microbiol* 2012.
- [8] Grant M: A new membrane filtration medium for simultaneous detection and enumeration of *Escherichia coli* and total coliforms. *Applied and environmental microbiology* 1997, 63(9):3526-3530.
- [9] Wang Dunling FW: Evaluation of media for simultaneous enumeration of total coliform and *Escherichia coli* in drinking water supplies by membrane filtration techniques. *Journal of Environmental Sciences* 2008, 20:273–277.
- [10] Pommepuy M, Dupray E, Guillaud J-F, Derrien A, L' Yavanc I, Cormier M: Rejets urbains et contamination fécale. *Oceanologica Acta* 1991, sp:21-327.
- [11] Pommepuy M, Cormier M, Brunel L, Breton M: Étude de la flore bactérienne d'un estuaire breton (Élorn, rade de Brest, France). *Oceanologica Acta* 1987, 10:187-196.
- [12] Youcef L, Achour S: Elimination des phosphates par des procédés physico-chimiques *Larhyss Journal* 2005, 04:129-140.
- [13] Fazul A, Rachiq S, Mikou K: Structure physicochimique et phytoplanctonique du lac dayet oua (moyen atlas - Maroc). *Afrique SCIENCE* 2015, 11:197-197.
- [14] Pietryczuk A, Cudowski A, Hauschild T: Effect of trophic status in lakes on fungal species diversity and abundance. *Ecotoxicology and environmental safety* 2014, 109:32-37.
- [15] Levine SN, Schindler DW: Phosphorus, nitrogen and carbon dynamics of experimental Lake 303 during recovery from eutrophication. *Can J Fish Aquat Sci* 1989, 46:2–10.
- [16] Sadani M, Ouazzani N, Mandi L: Impact de la secherse sur l'évolution de la qualité des eaux du lac Mansour Eddahbi (Ouarzazate, Maroc). *Rev Sci Eau* 2004, 17:69-90.
- [17] S. Portejoie, J. Martinez, Landmann. G: L'ammoniac d'origine agricole : impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. *INRA Prod Anim*, 2002, 15(3):151-160.
- [18] Davis K, Anderson MA, Yates MV: Distribution of indicator bacteria in Canyon Lake, California. *Water Research* 2005, 39:1277-1288.
- [19] Sadat A, Akaki KD, N'goran EBZ, Parinet B, Frère J: Evaluation of Bacteriological Pollution of Yamoussoukro Lakes (Côte D'ivoire). *Current Research Journal of Biological Sciences* 2011, 4:318-321.
- [20] An YJ, Kampbell DH, Breidenbach GP: *Escherichia coli* and total coliforms in water and sediments at lake marinas. *Environmental Pollution* 2002, 63:771–778.
- [21] Catalao Dionisio LP, Rheinheimer G, Borrego JJ: Microbiological Pollution of Ria Formosa (South of Portugal). *Mar Pollut Bull* 2000, 40:186-193.
- [22] Hörman A, Hänninen M-L: Evaluation of the lactose Tergitol-7, m-Endo LES, Colilert 18, ReadyCult Coliforms 100, Water-Check-100, 3M Petrifilm EC and DryCult Coliform test methods for detection of total coliforms and *Escherichia coli* in water samples. *Water Research* 2006, 40(17):3249-3256.
- [23] Yassin MM, Amr SS, Al-Najar HM: Assessment of microbiological water quality and its relation to human health in Gaza Governorate, Gaza Strip. *Public Health* 2006, 120:1177-1187.
- [24] Pisciotta JM, Rath DF, Stanek PA, Flanery DM, Harwood VJ: Marine Bacteria Cause False-Positive Results in the Colilert-18 Rapid Identification Test for *Escherichia coli* in Florida Waters. *Applied and Environmental Microbiology* 2002, 8:539–544.
- [25] Ozkanca R, Flint KP: The effect of starvation stress on the porin protein expression of *Escherichia coli* in lake water. *Letters in applied microbiology* 2002, 35(6):533-537.
- [26] Anderson KL, Whitlock JE, Harwood VJ: Persistence and differential survival of fecal indicator bacteria in subtropical waters and sediments. *Appl Environ Microbiol* 2005, 71(6):3041-3048.

- [27] Ozkanca R, Saribiyik F, Isik K, Sahin N, Kariptas E, Flint KP: Resuscitation and quantification of stressed *Escherichia coli* K12 NCTC8797 in water samples. *Microbiological research* 2009, 164(2):212-220.
- [28] van Elsas JD, Hill P, Chronakova A, Grekova M, Topalova Y, Elhottova D, Kristufek V: Survival of genetically marked *Escherichia coli* O157:H7 in soil as affected by soil microbial community shifts. *The ISME Journal* 2007, 1:204-214.
- [29] Vital M, Hammes F, Egli T: *Escherichia coli* O157 can grow in natural freshwater at low carbon concentrations. *Environmental Microbiology* 2008, 10:2387-2396.
- [30] van Elsas JD, Alexander VS, Rodrigo C, Jack TT: Survival of *Escherichia coli* in the environment: fundamental and public health aspects. *The ISME Journal* 2011, 5:173-183.