



Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré, au Cameroun

Emmanuel AGUIZA ABAI^{1*}, Auguste OMBOLO², Martin Benoît NGASSOUM¹
et Augustin MRAWALA³

¹Laboratoire de Chimie des Eaux, des Sols et Environnements, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, Université de Ngaoundéré, BP 455, Cameroun

²Département d'Hydraulique et Maitrise des Eaux, Institut Supérieur du Sahel, Université de Maroua

³Laboratoire de microbiologie, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, Université de Ngaoundéré, BP 455, Cameroun

* Correspondance, courriel : aguiza_abai@yahoo.fr

Résumé

Dans le souci d'évaluer l'influence possible des activités anthropiques sur les eaux de surface à Ngaoundéré, des analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques indicateurs de pollution ont été effectuées sur dix sept (17) points d'échantillonnage retenus en fonction de leur sollicitation par les populations et leur exposition aux sources probables de pollution. Les paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, turbidité, matière organique en suspension, oxydabilité au permanganate de potassium, fer, bicarbonates, nitrates, phosphates et ammonium) et bactériologiques (streptocoques fécaux et vibrions) ont été analysés et comparés aux normes internationales. Les résultats montrent des fortes concentrations en matière organique (9,30 à 10,56 mgO₂/L), Fer (1,69 à 5,57 mg/L), Phosphates (1,73 à 3,09 mg/L), ammonium (1,78 à 2,19 mg/L) et une de turbidité 63,32 à 64,05 NTU dans ces eaux. En plus ces eaux hébergent d'importantes communautés microbiennes parmi lesquelles les streptocoques fécaux et les vibrions. Les teneurs de ces polluants diffèrent d'un point à un autre et selon la période de prélèvement. Une approche statistique multi-variée des résultats montre que l'activité anthropique reste la source majeure des rejets polluants dans les eaux.

Mots-clés : *pollution, physico-chimie, bactériologie, eaux de surface, Ngaoundéré, Cameroun.*

Abstract

Survey of physico-chemical and bacteriological quality of water along the Ngaoundere stream (Cameroon)

To evaluate the possible influence of human activities and nature on Ngaoundere stream, some physicochemical and bacteriological pollution indicators were analysed carried out on 17 sites selected on the basis of their probable exposure to pollution. Physicochemical parameters (temperature, pH, conductivity, turbidity, suspended matter, organic matter, iron, bicarbonates, nitrogen, phosphates and ammonium) and bacteriological parameters (fecal streptococcus and vibrio) were determined and compared to international standards.

Results obtained showed a high concentration in organic matter (9.30 to 10.56 mgO₂/l), iron (1.69 to 5.57 mg/L), phosphates (1.73 to 3.09 mg/L), ammonium (1.78 to 2.19 mg/L) and turbidity of 63.32 to 64.05 NTU. The presence of high quantities of test micro-organisms was noted in these water samples, that is fecal streptococcus and *vibrio*. The levels of these pollutants in the different water samples varied from one site to another and with sampling period. A multivariate statistical approach demonstrated that human activities remained the major sources of pollutants in surface water.

Keywords : *pollution, physicochemical, bacteriological, surface water, Ngaoundere, Cameroon.*

1. Introduction

Ngaoundéré, capitale Régionale de l'Adamaoua, communément appelée « château d'eau » du Cameroun n'est pas épargnée par le problème de l'accès à l'eau de qualité pour les utilisations diverses par les populations. Lorsque le milieu aquatique reçoit des rejets d'origine animale ou anthropique, le nombre et le type de bactéries présentes sont capables de rendre l'eau impropre à l'utilisation humaine [1]. Même dans les pays où les précipitations élevées garantissent un approvisionnement constant, la pollution peut perturber la production d'eau potable et en augmenter le prix de revient. La qualité de l'eau évolue avec les saisons et d'une région à l'autre, même en absence de pollution. La chimie fondamentale et la bactériologie des eaux des cours d'eau et des lacs sont déterminées par le sol, les formations géologiques, la topographie et la végétation présente dans le bassin versant. À ces conditions fondamentales s'ajoutent les substances introduites à la suite d'une activité humaine. De manière générale le développement des communautés microbiennes dans les eaux de surface comme dans les eaux souterraines est lié aux facteurs météorologiques et à l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du biotope [2-4].

Dans la ville de Ngaoundéré et ses environs, les populations qui ne sont pas connectées au réseau de distribution des eaux de la CDE (Camerounaise des Eaux) ont recours aux eaux des cours d'eau et des nappes phréatiques. L'exposition des cours d'eau qui drainent les grandes et petites villes et leurs environs au Cameroun étant très grande surtout à la pollution liée à l'activité humaine, cette étude concerne uniquement les eaux des cours d'eau à accès plus facile pour les populations démunies. Les objectifs principaux de cette étude sont : l'échantillonnage, l'analyse et la caractérisation des paramètres physiques, chimiques et microbiologiques ; la détermination des indicateurs de pollution des eaux des cours d'eau de la ville de Ngaoundéré et ses environs (Dang), utilisées par les populations pour les usages divers. La démarche méthodologique utilisée pour atteindre les objectifs précités est une enquête auprès des ménages qui nous a permis de déterminer les points d'échantillonnage suivi de la détermination des paramètres très variables tels que le pH, la température et la conductivité in situ et l'analyse au laboratoire des paramètres chimiques et bactériologiques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadre d'étude

La ville de Ngaoundéré se trouve entre le 7° et le 8° de latitude Nord et entre le 13° et le 14° de longitude Est (*Figure 1*). Elle est située à environ 900 à 1500 m d'altitude sur le plateau de l'Adamaoua au centre du Cameroun et reçoit une précipitation annuelle supérieure à 1300 mm. La répartition des pluies au cours de l'année est caractérisée par l'alternance de la saison sèche (novembre-mars) et de la saison des pluies (avril-octobre).

La population de cette ville connaît un taux d'accroissement supérieur à 3,5%, qui s'explique par la présence de la gare ferroviaire et l'extension de l'université. Les eaux de surface ici sont tributaires du bassin du Lac Tchad en général, et plus particulièrement d'une des branches du Logone : la Vina-Nord qui prend sa source dans le massif de l'Adamaoua au Ngaou-Djam à 1435 m d'altitude [5]. Son bassin supérieur est composée de Bini et son cours traverse plusieurs zones de marécages dont le lac Bini, gonflé de Mabanga avec pour branche principale Soumsoum qui prend sa source au cœur de la ville de Ngaoundéré.

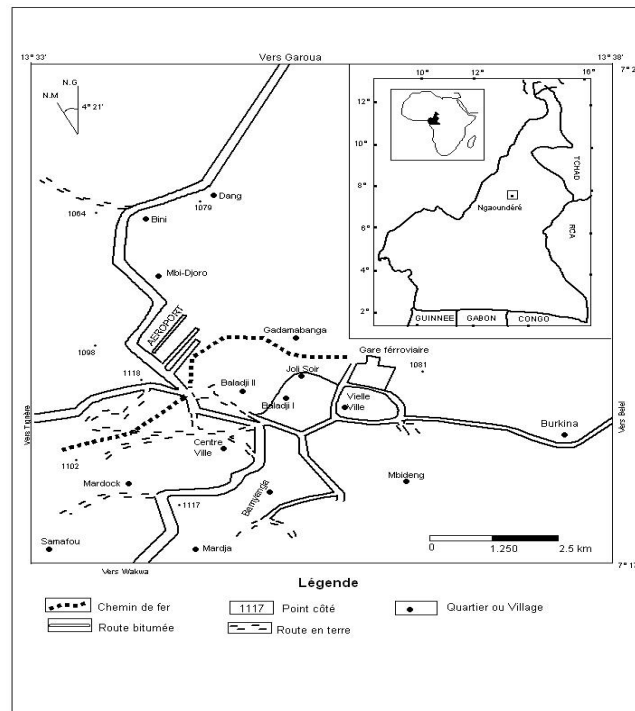


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

2-2. Méthodes d'analyses

Une enquête de terrain a été menée auprès des ménages locaux, les sources d'approvisionnement et l'usage des eaux dans la région [6]. 58 ménages ont été enquêtés. Les fiches ont été rassemblées et traitées par la méthode du tri à plat à l'aide du logiciel EXCEL. A la suite des enquêtes de terrain, dix-sept (17) points d'échantillonnage ont été retenus dans la zone urbaine et péri urbaine de Ngaoundéré (**Figure 2**). Le choix des points d'échantillonnage a pris en compte les fortes sollicitations des eaux par la population mais surtout leur proximité par rapport à une source potentielle de contamination. C'est ainsi que les points d'échantillonnage étaient situés aux abords des jardins des cases, des hôpitaux, de la gare marchandise et voyageur, des abattoirs municipaux, du lac Bini et du lac de Dang. Deux (02) campagnes de prélèvement ont été effectuées entre décembre 2007 et septembre 2008 avec trois (03) prélèvements en saison sèche et trois (03) prélèvements en saison de pluie. L'eau prélevée était conservée dans des flacons en polyéthylène préalablement lavés à l'eau distillée puis rincés avec l'eau à analyser. L'échantillonnage pour l'analyse bactériologique a été fait dans des bouteilles en verre étuvées à 220 °C. Les échantillons ont été transportés à basse température dans une glacière contenant des blocs de glace. Les mesures ayant permis de caractériser la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau ont porté sur 13 variables.

Tableau 1 : Représentation des divers usages domestiques des eaux

<i>Types d'activité</i>	<i>Rivière (%)</i>	<i>Autres sources (puits, forage, CAMWATER) (%)</i>	<i>Total</i>
Elevage	64	36	100
Baignade	21	79	100
Lessive	32	68	100
Cuisine	4	96	100
Boisson	9	81	100
arrosage des jardins	97	3	100
Autre	20	80	100

3-2. Etude de quelques paramètres physico-chimiques

3-2-1. Température, pH, Conductivité électrique

La température de l'eau varie selon les sites et la période de prélèvement. Les moyennes des températures obtenues (**Figure 3a**) sont conformes aux normes internationales pour les eaux de surface qui prévoient une valeur maximale de 25 °C [7]. Les valeurs du pH comprises entre 6,03 (E4) et 7,06 (E10) en saison sèche (SS), puis entre 4,6 (E11) et 7,06 (E1) en saison de pluie (SP) indiquent que les eaux sont acides avec des moyennes de l'ordre de 6,58 et 5,76 sur l'ensemble des deux périodes de prélèvement. Cependant le pH varie suivant les points d'échantillonnage et suivant la saison traduisant l'influence des différentes sources de pollution sur les différents points. A cause du fort écoulement des eaux et de l'apport des matières polluantes, le pH des échantillons obtenus en saison de pluie sont en majorité tous inférieurs à ceux recommandés par l'OMM ($6,5 < \text{pH} < 8,5$) et de ce fait peuvent influencer la vie aquatique dans ces eaux ainsi que leur usage. Les eaux analysées ont en générale une forte conductivité avec des pics en SS traduisant une forte minéralisation du point situé en aval du cours d'eau Baladji (E10) et des points recevant directement les ordures ménagères (E13 et E14). Ces pics observés justifient l'influence que peuvent avoir les activités anthropiques et la démographie sur la variation de la conductivité. Le point E10 reçoit malgré le faible débit d'eau en SS la collecte des eaux du quartier Baladji avec sa forte démographie et les rejets domestiques alors qu'aux points E13 et E14 situés aux abords de l'hôpital régional et du marché, les déchets ménagers sont directement déversés dans les eaux. Cette forte conductivité traduit une forte minéralisation des eaux de surface à Ngaoundéré.

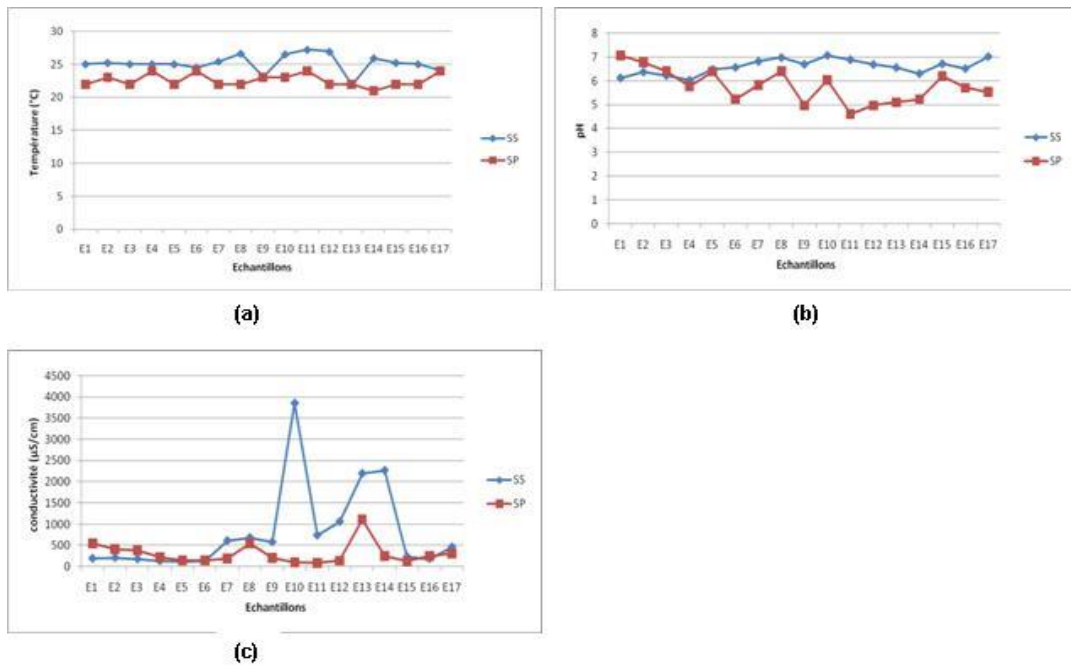


Figure 3 : Evolution de la température, du pH et de la conductivité électrique en fonction des points d'échantillonnage sur l'ensemble des deux saisons

3-2-2. Turbidité et Matières en suspension (MES)

Les valeurs de turbidité situées entre 6,37 (E10) et 456 NTU (E11) en SS et 11,7 (E6) et 111,1 NTU (E11) en SP montrent une forte turbidité des eaux analysées qui ne correspond pas aux normes internationales (< 5 NTU). Les plus fortes turbidités obtenues au point E11 (**Figure 4a**) peuvent s'expliquer par le manque de mouvement des eaux du lac TRANSCAM alors qu'elles sont fortement sollicitées par la population pour la lessive et la baignade. Et, celles du point E17 résulteraient de la vitesse du courant à l'exutoire des cours d'eau portant sur son passage de grandes quantités de débris. Les pics de concentration des MES sont observés en majorité en zone urbaine (E8, E10, E13, E15) traduisant l'influence des activités anthropiques. Les valeurs moyennes obtenues qui varient entre 18,51 et 18,45 mg/L sur l'ensemble des deux périodes de prélèvement restent toutefois inférieures aux normes de rejet en cours d'eau qui est de l'ordre de 20 à 30 mg/L en 24 heures [8].

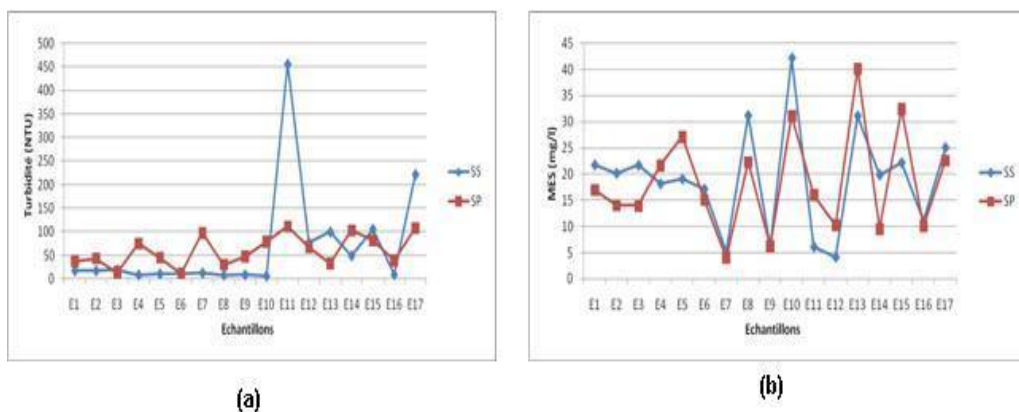


Figure 4 : Evolution de la turbidité et des MES en fonction des points d'échantillonnage sur l'ensemble des deux saisons

3-2.3. Matières organiques (MO), Fer (Fe^{2+}), Bicarbonates (HCO_3^-), Phosphates (PO_4^{3-}), Nitrates (NO_3^-), Azote ammoniacal (NH_4^+)

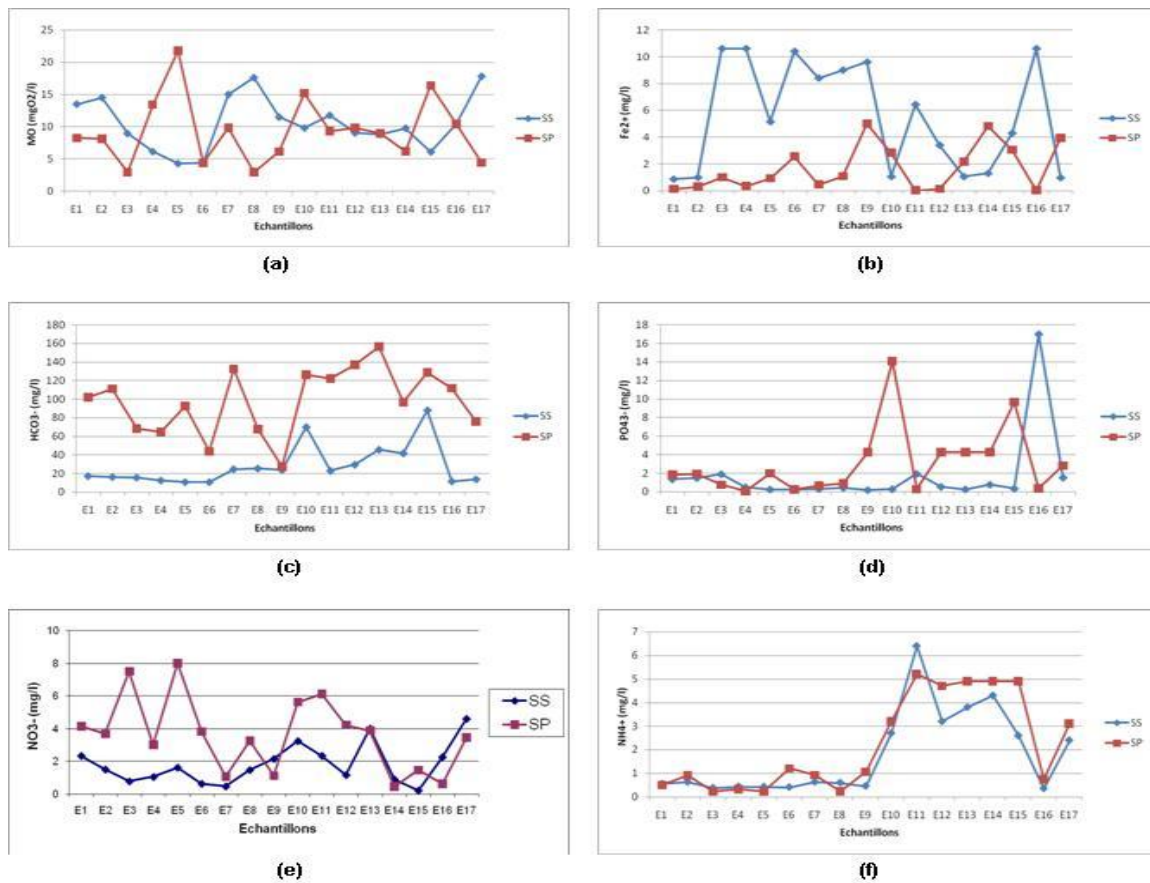


Figure 5 : Evolution de la teneur en MO, Fer (Fe^{2+}), Bicarbonates (HCO_3^-), Phosphates (PO_4^{3-}), Nitrates (NO_3^-) et Azote ammoniacal (NH_4^+) en fonction des points d'échantillonnage sur l'ensemble des deux saisons

La présence de la matière organique dans l'eau indique un véritable facteur de pollution. Les eaux ici sont très polluées car la concentration moyenne en matières organiques des ces eaux est largement supérieure (**Figure 5a**) à la norme (5mg d'O₂ /L) recommandée par AFNOR [9]. L'importante teneur en fer dans les eaux analysées serait liée à la forte érosion des sols de la zone d'étude tel que suggéré par TCHOTSOUA et *al.* d'une part [10] et d'autre part à la pollution d'origine anthropique notamment les déchets domestiques. La deuxième hypothèse s'explique par les fortes concentrations en fer observées aux points E1, E3, E4 et E13 alors que la première s'explique par les valeurs observées aux points E5 et E14. La teneur en bicarbonates serait quant à elle influencée par les sources de pollution des eaux. Elles vont de $10,49 \pm 0,43$ (E6) à $87,84 \pm 2,44$ mg/L (E15) avec une moyenne de 27,98 mg/L en SS contre $27,4 \pm 5,28$ (E9) à $156,8 \pm 5,41$ mg/L (E13) avec une moyenne de 98,07 mg/L en SP. Les teneurs évolueraient donc avec le ruissellement des eaux. La teneur en phosphates est très élevée de $0,20 \pm 0,02$ (E9) à $17 \pm 0,11$ mg/L (E16) soit une moyenne de 1,73 en SS puis de $0,054 \pm 2,01$ (E4) à $14,1 \pm 0,33$ mg/L (E10) soit une moyenne de 3,09 mg/L en SP. Ces valeurs sont très élevées par rapport aux teneurs recommandées par la norme AFNOR [9] qui sont inférieures à 0,2 mg/L. Notons que la présence des phosphates dans les eaux peut être d'origine organique ou minérale. Le plus souvent, leur teneur dans les eaux naturelles résulte de leur utilisation en agriculture, de leur emploi comme additifs dans les détergents [11].

Ces sources de phosphates justifient leur forte concentration dans nos échantillons (pics E10, E15, E16) car provenant des points recevant les engrais utilisés pour l'agriculture pratiquée le long des cours d'eau et de l'utilisation des eaux pour la lessive. Les plus fortes concentrations en nitrates sont observées en SP avec des pics aux points E5, E3, E10 et E11 soit respectivement $8,0 \pm 0,05$ mg/L, $7,5 \pm 0,01$ mg/L, $5,61 \pm 0,52$ mg/L et $6,12 \pm 0,22$ mg/L traduisant l'apport par l'agriculture et les rejets domestiques. Toutefois elles restent inférieures aux concentrations maximales des nitrates recommandées par AFNOR [9] dans les eaux de surfaces qui sont inférieures à 10,0 mg/L. Par contre les résultats montrent que les eaux usées constituent une source importante de pollution par l'azote ammoniacal. Les teneurs vont de $0,36 \pm 0,02$ (E16) à $6,4 \pm 0,09$ mg/L (E11) avec une moyenne de 1,78 mg/L en SS et de $0,24 \pm 0,02$ (E3) à $5,2 \pm 0,03$ mg/L (E11) soit une moyenne de 2,19 mg/L en SP. On observe une forte concentration d'azote ammoniacal au centre urbain. Cette dernière serait liée à la pollution d'origine anthropique (déchets domestiques, eaux usées) qui s'ajouterait à la dégradation partielle des matières organiques contenues dans l'eau.

3-3. Bactériologie

Le dénombrement des indicateurs de pollution fécale montre que les eaux analysées sont colonisées par les streptocoques fécaux et les vibrions. La concentration des streptocoques varie de 80 UFC/100 mL (E12) à 9430 UFC/100 mL (E8) contre 0 UFC/100 mL (E7) à 287 UFC/100 mL (E10) pour les vibrions (**Figure 6**). La présence des streptocoques fécaux dans l'eau révèle de la contamination fécale car les streptocoques sont typiques de déjections animales et humaines [12]. Les fortes concentrations des streptocoques fécaux observées aux points E3, E8, E13 et E15 sont probablement les conséquences respectives des rejets des eaux des égouts de l'université de Ngaoundéré située aux abords du lac de Dang (E3), des déjections des porcs élevés aux abords du cours d'eau Mardock et les rejets de l'abattoir municipal de la ville (E9), des rejets des égouts de la prison centrale (E12) et de l'hôpital régional (E13) et enfin de la collecte des eaux provenant du centre ville (E15). Pour ce qui du dernier échantillon, il a été démontré que les rejets domestiques peuvent être une source importante de streptocoques dans l'eau [13]. En outre, la densité des vibrions est positivement corrélée avec la concentration en matière en suspension ($r = 0,72$) au seuil de 5% (**Tableau 2**). Ainsi le taux élevé de vibrions obtenu aux points E8, E10, E15, E13 et E17 serait généré par la concentration élevée en matière en suspension observée en ces points.

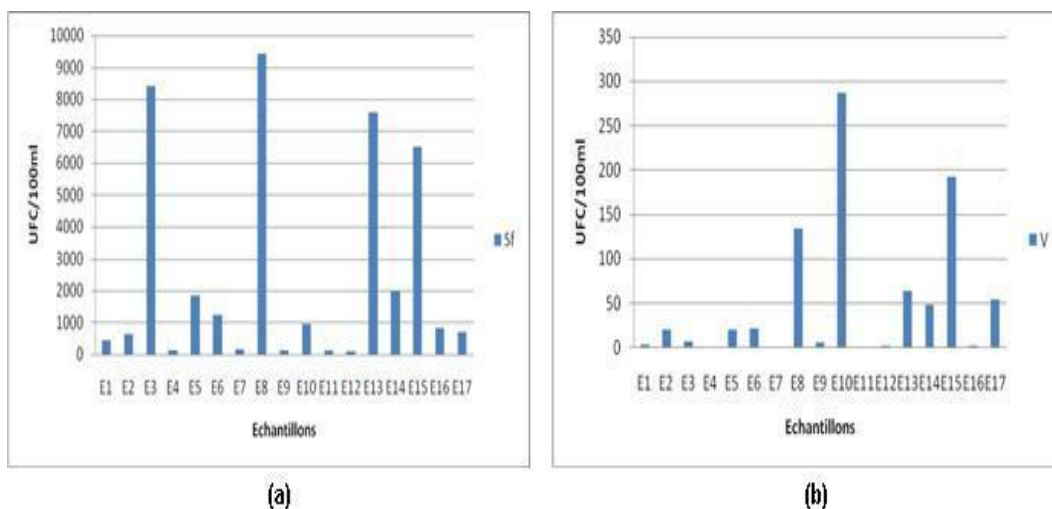


Figure 6 : Variation des concentrations des streptocoques fécaux (Sf) et des vibrions (V)

3-4. Etude de corrélation et Analyse en composantes principales

Une étude statistique par l'analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur un tableau de 12 variables (pH, conductivité, Turbidité, MES, MO, Fe²⁺, HCO₃⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, streptocoques fécaux et vibrions) et la moyenne de 17 observations. Les résultats de l'étude de corrélation entre les variables dépendantes sont rassemblés dans le **Tableau 2**. Cette analyse a été poussée à trois facteurs et 53 % de la variance ont pu être exprimés. La projection des variables sur le plan I-II (**Figure 7**) montre deux pôles :

- le premier axe, représente 33 % de la variance et il est déterminé positivement par les bicarbonates, la matière en suspension, les vibrions et la conductivité électrique par opposition aux fers qui y contribuent négativement. Cet axe est représentatif des échantillons E6, E9, E10 et E13 qui sont des points de collecte des eaux provenant du centre urbain à l'instar de l'hôpital régional et de la gare ferroviaire qui est matérialisé par les fortes contributions des MES et des vibrions.
- le deuxième axe, représente 20 % de la variance et il est déterminé positivement par la turbidité et l'ammonium et négativement par le pH. Cet axe représente les points d'échantillonnage (E8, E11, E12) fortement sollicités par la population mais avec des eaux beaucoup plus stagnantes tel le lac TRANSCAM, d'où sa forte turbidité.

Tableau 2 : Corrélation des éléments au seuil de 5 %

	pH	Cond	Turb	MES	MO	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	V	Sf
pH	1											
Cond	-0,08	1										
Turb	-0,35	0,02	1									
MES	0,41	0,54	-0,08	1								
MO	0,51	0,08	0,19	0,18	1							
Fe ²⁺	-0,29	-0,39	-0,23	-0,36	-0,49	1						
HCO ₃ ⁻	0,10	0,55	0,26	0,37	0,44	-0,60	1					
PO ₄ ³⁻	0,12	0,34	-0,06	0,21	0,27	-0,10	0,46	1				
NO ₃ ⁻	0,17	0,22	0,24	0,46	0,14	-0,37	-0,01	-0,09	1			
NH ₄ ⁺	-0,47	0,50	0,74	0,15	0,03	-0,41	0,64	0,17	0,09	1		
V	0,45	0,58	-0,04	0,73	0,30	-0,19	0,52	0,50	0,10	0,25	1	
Sf	0,28	0,17	-0,20	0,52	-0,25	0,13	0,16	-0,05	0,09	0,00	0,34	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

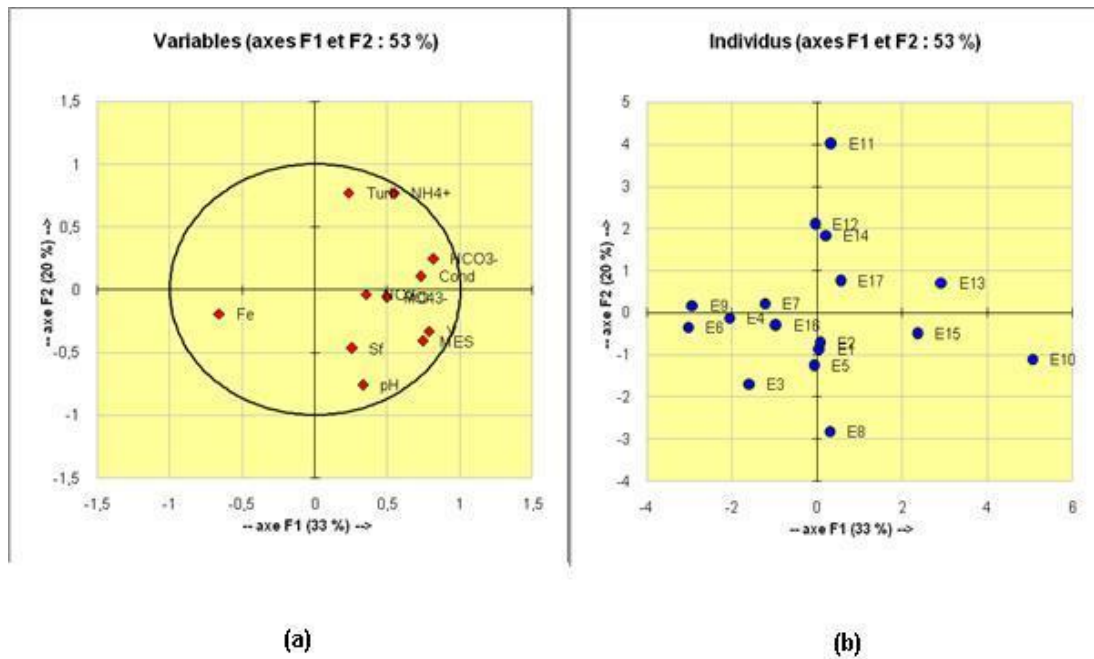


Figure 7 : Carte factorielle des variables et des échantillons (individus) dans le plan F1/F2 de l'analyse en composantes principales

4. Conclusion

L'analyse des échantillons d'eau prélevés dans la zone urbaine et péri-urbaine de Ngaoundéré, nous conduit à dire que ces eaux sont acides ($\text{pH} < 7$) ce qui peut favoriser la formation des composés toxiques et altérer ainsi leur qualité. La teneur en matière organique reste élevée et peut ainsi perturber le développement de la vie aquatique. Le fer, le phosphate et l'ammonium sont les principaux facteurs indicateurs de pollution chimique. Les eaux hébergent également des fortes densités de bactéries fécales et des germes parasites. Les sources de pollution sont pour la plupart d'origine anthropique et les concentrations obtenues supérieures aux normes internationales impliquent la forte sollicitation des eaux de Ngaoundéré tant pour la petite agriculture que pour la lessive des vêtements.

Références

- [1] - S. HÉBERT et S. LÉGARÉ. *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, (2000), 24 p. et 3 annexes.
- [2] - I. BARCINA, I. ARANA, A. FERNANDEZ-ASTROGA, J. IRIBERRI, L. EGEA Survival strategies of plasmids-carrier and plasmidless *Escherichia coli* strain under illuminated and non-illuminated condition, in a fresh water ecosystem. *J. Appl. Bact.*, (1992), 73: 229-236.
- [3] - A. M. GOUNOT, Microbial ecology of groundwater. *Academic Press Inc.* (1994), pp 189-219.
- [4] - T. STUKEL, E. GREENERG, B. DAIN, F. REED, N. JACOBS A longitudinal study of rainfall and coliform contamination in small community drinking water supplies. *Environ. Sci. Technol.*, (1990), 24: 571-575.
- [5] - J.C. OLIVRY *Fleuves et rivières du Cameroun*, Monographies Hydrologiques, Paris, (1986), 214 p.

- [6] - A E. AGUIZA *Recherche des indicateurs de pollution physico-chimique et biologique des eaux de surface à Ngaoundéré-Cameroun*. Mémoire de DEA, Université de Ngaoundéré, Cameroun. (2008), 82p.
- [7] - J. RODIER *L'analyse de l'eau: Chimie, physico-chimie, Bactériologie, Biologie*, 8^{ème} édition. Dunod, Paris, (1996), 1383 p.
- [8] - DEGREMONT. *Mémento technique de l'eau, technique et documentation*, Lavoisier, Paris, (1972), 592p.
- [9] - AFNOR (Association Française des Normes). *La qualité de l'eau*. Tome 1. Terminologie, échantillonnage, contrôle qualité, (1999), 393 p.
- [10] - M. TCHOTSOUA, E. ESOH, G. MOHAMADOU et J.-P. NGANA Diagnostic de l'état de l'environnement de Ngaoundéré et contribution pour une approche de gestion. In : *Annales de la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Ngaoundéré*. (1998), pp 99-144.
- [11] - M. TARDAT-HENRY *Chimie des eaux*, Ed. Le Griffon d'argile, Sainte - Foy (Québec), Canada, (1992), 537 p.
- [12] - J.A.E. FARROW Taxonomic studies of *S. bovis* and *S. equines*. *Systematic and Applied Microbiology*, (1984), 5 : 467-482.
- [13] - B. S.HAMID, N.NADINE, ANTIONE G. EI SAMRANI, D. ROSETTE, M. SAMIR et O. NAIM Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Revue des Sciences de l'Eau*, (2007), 20(4), 341-352.