



**CARACTERISATION HYDROGEOCHIMIQUE ET
MICROBIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE
SYSTEME D'AQUIFERES MULTI COUCHE DE LA REGION DE
POINTE-NOIRE EN REPUBLIQUE DU CONGO**

**HYDROGEOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION
OF GROUND WATER IN THE SYSTEM OF AQUIFERS MULTI LAYER OF
POINTE-NOIRE IN REPUBLIC OF CONGO**

MBILOU U.G.¹, TCHOUMOU M.², NGOUALA M.M.³, BALOUNGUIDI, J.¹

¹ Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi. BP : 69 Brazzaville – République du Congo.

² Département de Chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi. BP : 69 Brazzaville – République du Congo.

³ Département de Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Marien Ngouabi. BP : 69Brazzaville - République du Congo.

muga68@yahoo.fr

RESUME

Pour évaluer les eaux souterraines de Pointe-Noire pour des besoins alimentaires, il était nécessaire de déterminer les différents paramètres influençant la qualité des eaux du bassin sédimentaire côtier. Leurs éléments physico-chimiques ont été suivis durant tout le cycle hydrologique de l'année 2015 dans 16 piézomètres (forages et puits). Les résultats des analyses chimiques ont été traités par des méthodes hydrochimiques et statistiques. La distribution spatiale des éléments montre la même allure évolutive que celle observée pour le chlorure, le sodium, les sulfates, le magnésium et le calcium. Il en ressort que les eaux des forages et des puits de Pointe-Noire sont caractérisés par de faibles teneurs en sels dissous. Ceci s'expliquerait par l'importance de l'alimentation superficielle. L'Analyse en Composantes Principales et la Classification Hiérarchique Ascendante indiquent que la minéralisation de ces eaux est contrôlée par trois grands phénomènes : la minéralisation qui se traduit par l'hydrolyse des minéraux silicatés pour les eaux souterraines, le

pluiolessivage des sols pour les eaux de surface et, des activités humaines dans la production des déchets polluants. Cette étude montre également que les eaux de Pointe-Noire sont contaminées par des germes totaux, des coliformes fécaux et totaux qui sont la conséquence d'une pollution anthropique récente.

Mots clés : Analyse en Composantes Principales, Classification Hiérarchique Ascendante, eaux souterraines, République du Congo, Pointe –Noire.

ABSTRACT

To evaluate the groundwater of Pointe-Noire for human use, it was necessary to determinate the various parameters influencing the quality of water of the coastal sedimentary basin. Their physicochemical elements were followed during all the hydrological cycle of the year 2015 in 16 piezometers (drillings and well). The results of the chemical analyses were treated by hydrochimic and statistical methods. Spatial of the elements shows the same evolutionary pace as that observed for chloride, sodium, sulphates, magnesium and calcium. This reveals that water of drillings and the wells of Point-Black is characterized by low contents dissolved salts. This would be explained by the importance of the surface food. The Analysis in Principal Components and Ascending Hierarchical Classification indicate that the mineralisation of this water is controlled by three great phenomena: the mineralisation which results in the hydrolysis of minerals silicated for groundwaters, the pluiolessivage of the grounds for surface water and, of the human activities in the production of polluting waste. This study also shows that water of Point-Black is contaminated by total germs, fecal coliformes and totals which are the consequence of a recent anthropic pollution.

Keywords: Analysis in Principal Components, Ascending Hierarchical Classification, Groundwater, Pointe Noire, Republic of Congo.

INTRODUCTION

La vulnérabilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle, etc.), linéaire (pipeline, réseau d'eau usée, réseau de drainage agricole, etc) ou diffuse (engrais chimiques,

pesticides, herbicides, épandage des eaux usées domestiques, etc.) (Mohamed et al., 2003).

La République du Congo possède d'énormes potentialités en ressources en eau bien que non dotée d'un inventaire complet de son potentiel en eau de surface et en eau souterraine (Mott Mac Donald et al., 1991). De même la connaissance du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique de ses aquifères est moins diagnostiquée.

Dans la région de Pointe-Noire, les enquêtes et observations sur le terrain montrent que la baisse du débit des forages artésien, due à la multiplication des forages, indique une surexploitation de l'aquifère. La qualité des eaux pourrait également être détériorée. En effet, sous l'influence des pompages à haut débit, des eaux salées pourraient s'infiltrer. Une éventuelle pollution de l'aquifère sédimentaire côtier serait lente et insidieuse à cause de la grande inertie du système, entraînant ainsi une dégradation de la qualité des eaux à l'échelle de plusieurs générations.

L'objectif de cette étude est donc de caractériser le contexte hydrogéologique, hydrochimique et microbiologique dans lequel la région de Pointe-Noire est mise en place afin de regarder le problème de la contamination des eaux utilisées pour l'alimentation des populations par les eaux de boisson en provenance de cette décharge. Pour atteindre l'objectif de cette étude, des travaux de terrain et de laboratoire ont été réalisés tant en hydrogéologie, hydrochimie qu'en microbiologie. Plusieurs études ont déjà été réalisées sur la quantité et/ou sur la qualité des eaux de la nappe de la région de Pointe-Noire (Moukolo, 1992 ; Moukandi, 2012). Ces études concernent très souvent les problèmes de la réalimentation et de l'impact des activités socio-économiques situées sur le bassin sédimentaire sur la qualité des eaux de la nappe.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

La région de Pointe-Noire est située sur la côte atlantique de l'Afrique centrale, à l'extrémité Sud-ouest de la République du Congo, entre les méridiens 11°30 et 12° Est et les parallèles 4°30 et 5° Sud. Sa superficie d'environ 15.660 hectares est répartie sur un rayon de 15 kilomètres. Présentant une position géographique très prépondérante à qui elle doit ses traits les plus caractéristiques, la région étudiée est une zone idéale du contact océan-continent où les effets des courants

marins et de la masse d'air maritime atlantique présentent des effets qui ont été signalés par Samba-Kimbata, 1991 et Suchel, 1972.



Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

Du point de vue géologique, la région de Pointe – Noire appartient au bassin sédimentaire côtier d'âge crétacé et tertiaire. Elle est recouverte par des formations d'âge plio-pléistocènes (série des cirques), formées des sables très perméables comprenant des multiples horizons résistants (Moukolo, 1992).

Les sols de cette région sont rangés dans le groupe des *Ferralsic Arenosols*. L'appartenance au groupe des *arenosols* s'explique par la présence sur une profondeur de plus d'un mètre d'une texture sableuse, de moins de 35% en volume de fragments grossiers (0 % à Pointe-Noire) et l'absence d'horizons diagnostics autres que *ochric*, *yermic* ou *albic* ou un horizon de type *argicou spodic* au-delà de 50 cm de profondeur ou un horizon de type *argic* ou *spodic* au-delà de 2 m de profondeur (Laclau, 2001).

Son climat est du type tropical humide caractérisé par une alternance de saisons : une saison chaude et pluvieuse qui s'étend d'octobre à mai et une saison sèche

et fraîche de juin à septembre durant laquelle les arbres subissent un stress hydrique saisonnier (Samba-Kimbata, 2002).

Echantillonnage

Dans le but d'atteindre l'objectif visé, un total de 16 échantillons a été collecté, durant toute la période d'échantillonnage, et ceci dans plusieurs types d'ouvrages (15 forages et 1 puits). Le prélèvement des eaux a toujours été effectué après renouvellement total de la colonne d'eau afin de garantir la représentativité des échantillons. Les eaux destinées aux analyses chimiques ont été prélevées dans des flacons de 1500 ml. Les paramètres physiques (température, pH et conductivité électrique) ont été mesurés sur le terrain, les analyses chimiques des ions majeurs (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-), des substances indésirables (NO_3^- , NH_4^+ , Fer total et M.E.S) et des paramètres microbiologiques (Germe totaux, Coliformes totaux, Coliformes fécaux), ont été effectuées au laboratoire de la Société Nationale de Distribution d'Eau (S.N.D.E) de Pointe-Noire.

Pour l'étude de la potabilité des eaux de l'aquifère côtier de la région de Pointe-Noire, nous nous limiterons à l'étude comparative des teneurs en éléments chimiques des eaux souterraines aux normes de potabilité de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

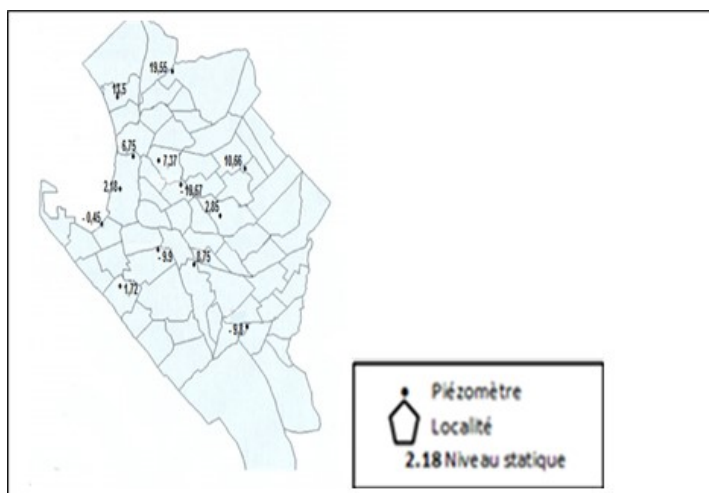


Figure 2 : sites d'études et de prélèvement des échantillons

TRAITEMENT HYDROCHIMIQUE DES DONNEES

Etude statistique

Pour toute étude géochimique, l'étude séparée de chacune des variables est une phase importante lors de l'analyse du comportement chimique, mais elle est souvent insuffisante. Il faut donc analyser les données en tenant compte de leur caractère multidimensionnel.

Pour étudier les sources de salinisation des eaux, une méthode statistique a été utilisée : l'analyse en composantes principales (ACP).

L'analyse en composantes principales

L'ACP est une méthode descriptive dont l'objectif est de présenter sous forme graphique le maximum d'informations contenues dans une base de données. Cette base est constituée, en lignes par des «individus (forages, puits)» sur lesquels sont mesurées des «variables quantitatives (les éléments majeurs et les éléments traces)» disposées en colonnes. Elle permet de réduire le nombre de variables afin de projeter le nuage de points dans un sous-espace bidimensionnel engendré par des couples d'axes factoriels ou facteurs (Cloutier et al., 2008 ; Yidana et al., 2008).

RESULTATS

Contexte hydrogéologique

La région de Pointe Noire possède deux types de nappes ; les nappes captives et les nappes libres. Les nappes libres ne bénéficient d'aucune protection naturelle. Elles sont de ce fait très vulnérables aux pollutions provenant de la surface alors que les nappes captives très peu vulnérables aux pollutions de surface, bénéficient d'une protection naturelle, représentée par les formations géologiques imperméables sus-jacentes. Le tableau 1, donne les différents paramètres hydrodynamiques auxquelles les différentes nappes ont été reconnues ainsi que les coefficients de Darcy respectifs.

Tableau 1 : Paramètres hydrodynamiques de la région de Pointe-Noire

Perméabilité	Vitesse d'écoulement	Débit d'écoulement	Débit unitaire	Profondeur
$K_s=10^{-5}m/s$	$2,5.10^{-5}m/s$	Aquifère lié aux formations argilo-sableuses = $3,5.10^{-4}$ à $0,35m^3/s$.	Nappe superficielle = $5.10^{-7}m^3/s$	15 m
$K_p=10^{-4}$ à $2,9.10^{-4}m/s$		Aquifère lié aux sables et grès du crétacé = 142.10^{-4} à $1473.10^{-3}m^3/s$.	Nappe profonde = $4,2.10^{-6}m^3/s$	

La région de Pointe-Noire fait partie du bassin sédimentaire côtier constitué d'un complexe hydrogéologique, incluant les aquifères multicouches et d'autres configurations telles que les systèmes de plusieurs nappes communiquant entre elles.

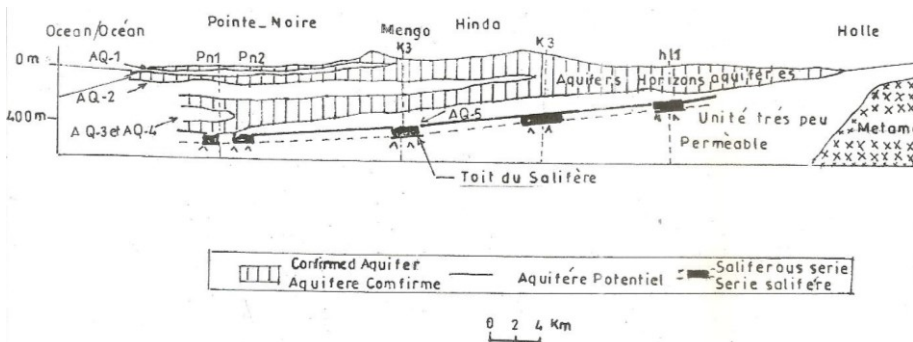


Figure 3 : Schéma général du système aquifère multicouche (coupe verticale) de la région de Pointe-Noire (Moukolo, 1992 modifié par Moukandi, 2012)

Elle consiste en une vaste dépression remplie par un complexe de dépôts plio-quaternaires, tertiaires et secondaires contenant plusieurs horizons aquifères ou nappes (fig.3).

La diversité des données géologiques (issues des forages pétroliers, d'eau et des sondages géotechniques) qui semblent être contradictoires et pauvres, montre une variation des faciès, de la lithologie et de la structure de l'aquifère du bassin. Les travaux antérieurs (Iwaco, 1982 et Safege, 1991) indiquent que l'aquifère de Pointe-Noire appartient à la série de cirques, formation d'âge pléistocène (1 à 5 millions d'années). En résumé, le bassin sédimentaire côtier

est un complexe hydrogéologique à aquifères multicouches. Les recherches d'eau entreprises jusqu'alors dans ce bassin n'ont concerné que l'alimentation en eau potable de la d e de Pointe-Noire. Cela explique le caractère très local des données hydrodynamiques et hydrochimiques qu'il serait hasardeux de généraliser.

Contexte hydrochimique

Le tableau 2 présente les résultats d'analyses des paramètres physiques de base et des ions majeurs dont nous proposons les valeurs obtenues pour l'ensemble des points étudiés lors de nos campagnes d'échantillonnage.

Tableau 2 : Statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de Pointe-Noire exprimés en mg.L⁻¹

Paramètres	Min	Max	Moy	Ecart-type	Variance
pH	4,11	7,7	6,51	0,65	1,04
CE (µS/cm)	17	358	219,71	111,79	13742,87
T°C	26	29	27,8	0,94	0,78
Ca ²⁺ (mg/L)	0,92	354	37,88	13,33	120,24
Mg ²⁺ (mg/L)	0,8	20,95	10,83	1,75	42,94
Na ⁺ (mg/L)	0,87	8,45	4,007	1,60	4,23
K ⁺ (mg/L)	0,06	0,81	0,39	0,25	0,051
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,02	0,3	0,098	0,05	0,004
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,85	15,88	6,38	3,46	20,09
Cl ⁻ (mg/L)	2,18	18,3	5,07	3,35	14,21
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	6,1	201,3	100,31	75,38	3863,71
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,17	17,7	3,007	5,96	17,28
Fe (mg/L)	0,05	0,8	0,14	0,03	0,029
MES (mg/L)	0	3	0,96	1,16	1,20
Dureté total	3	5	3,81	0,91	0,77
Turbidité	0	3	0,42	1,08	0,96
TAC	12,01	14,04	13,02	1,43	24,58
G. T. (10 U.F.C/ml)	0	120	13,43	28,76	775,62
C.T. (0 U.F.C/ml)	0	26	2,93	6,37	38,05
C.F. (0 U.F.C/ml)	0	0	0	0	0
Ch. /L. (10ch/100ml)	0	2	0,25	0,57	0,31

La température des eaux de la région varie entre 26 et 29 °C, avec une moyenne de 27,8 °C. En ce qui concerne le pH des eaux, il varie entre 4,11 et 7,7 unités pH, pour une moyenne de 6,51, ce qui indique que ces eaux sont acides.

Les eaux de cette région sont faiblement minéralisées. La conductivité électrique varie entre 17 et 358 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, avec une valeur moyenne de 111,79 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Les eaux à forte conductivité sont celles du forage F3 (358 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et du puits P (354 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). La dureté de ces eaux souterraines varie entre 3 et 5 $^\circ\text{F}$, avec une moyenne de 3,81 $^\circ\text{F}$. Cela révèle le caractère doux de ces eaux dans l'ensemble.

Les eaux de la région de Pointe Noire sont pauvres en fer, avec des teneurs qui varient entre 0,05 et 0,8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, pour une moyenne de 0,14 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. La plus forte valeur a été obtenue au niveau des eaux du forage F10 (3,60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Tableau 3 : Contribution des variables basées sur les corrélations.

Paramètres	C.C (r)
pH	0,031
CE	0,001
HCO_3^-	0,003
SO_4^{2-}	0,11
NO_3^-	0,21
Cl^-	0,18
Na^+	0,31
K^+	0,06
Ca^{2+}	0,001
Mg^{2+}	0,004
NH_4^+	0,004

Analyse en composantes principales (ACP)

L'étude statistique à partir de l'ACP donne de nombreux résultats qui sont présentés dans les tableaux II et III. Dans le tableau II sont consignés les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque variable. Le facteur F1, avec une variance exprimée de 41,78%, est le plus important de tous, ensuite vient le facteur F2, avec respectivement 13,41% de la variance exprimée. Ces deux facteurs traduisent l'essentiel des informations recherchées et permettent de représenter de manière significative le nuage de points car la somme de la variance exprimée par ces facteurs est supérieure à 50 %.

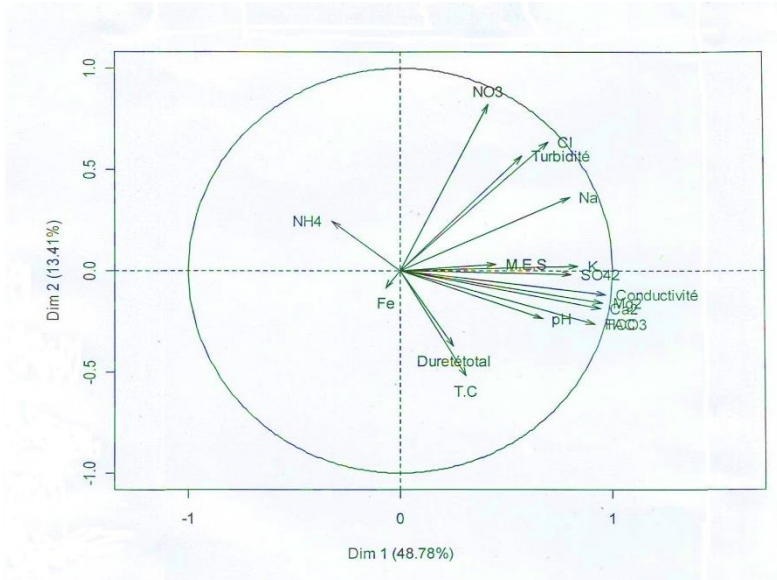


Figure 4 : Analyse en composantes principales des eaux souterraines de la région de Pointe-Noire dans le plan factoriel F1- F2.

La contribution des différentes variables dans la définition des principaux facteurs est donnée par le tableau III. Chaque facteur est défini par un certain nombre de variables essentielles dans la mise en évidence du mécanisme de minéralisation des eaux.

Ce tableau montre que le facteur F1, le plus important est défini par HCO_3^- ($r = 0,13$), Na^+ ($r = 0,31$), Ca^{2+} ($r = 0,001$), Mg^{2+} ($r = 0,004$) et SO_4^{2-} ($r = 0,11$). Les liens significatifs qui existent entre les différents paramètres sont donnés par la matrice de corrélation (tableau III). Ces liens sont traduits par les différentes corrélations qui existent entre les variables étudiées. Il existe une importante corrélation entre Na^+ ($r = 0,31$), NO_3^- ($r = 0,21$), Cl^- ($r = 0,18$) et SO_4^{2-} ($r = 0,11$). Cette bonne corrélation s'observe également entre CE et Ca^{2+} ($r = 0,001$). Le coefficient de corrélation entre Mg^{2+} et NH_4^+ est de 0,004.

L'espace des variables du plan factoriel F1-F2 (Figure 4) montre que ce plan exprime 61,19% de la variance exprimée. Le facteur F1 (48,78%) est déterminé par HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , CE et pH. Les éléments qui définissent ce facteur proviennent d'une durée considérable de mise en solution suite au contact eau-roche. Ces éléments proviennent de l'hydrolyse des minéraux silicatés présents dans les roches qui constituent le substratum rocheux des

aquifères qui abritent les eaux de ce système multicouches. En effet, l'hydrolyse étant un processus lent, le facteur F1 rend compte des conditions d'acquisition du chimisme de l'eau.

Le facteur 2 qui explique 13,41% de l'inertie du nuage des points représentatifs des ouvrages est déterminé par NH_4^+ et Fe. Ce plan met en évidence les échanges superficiels qui se déroulent entre les eaux de cet environnement et les eaux de ruissellement issues des précipitations et du drainage des sols. Ces échanges mettent en évidence le phénomène de pluvio lessivage des sols.

Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

Le traitement statistique des observations par cette méthode, fait ressortir trois classes de minéralisation (figure.5) :

- Une classe 1 de faible minéralisation ayant une conductivité inférieure à $300 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Il s'agit ici des eaux faiblement chargées par rapport à l'ensemble des échantillons analysés.
- Une classe 2 de minéralisation moyenne avec une conductivité de l'ordre de $300 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Cette classe est caractérisée par des concentrations assez élevées en bicarbonates et en calcium.
- Une classe 3 de minéralisation élevée avec une conductivité correspondante aux valeurs extrêmes mesurées ($> 350 \mu\text{S.cm}^{-1}$). Les eaux de cette classe sont très chargées.

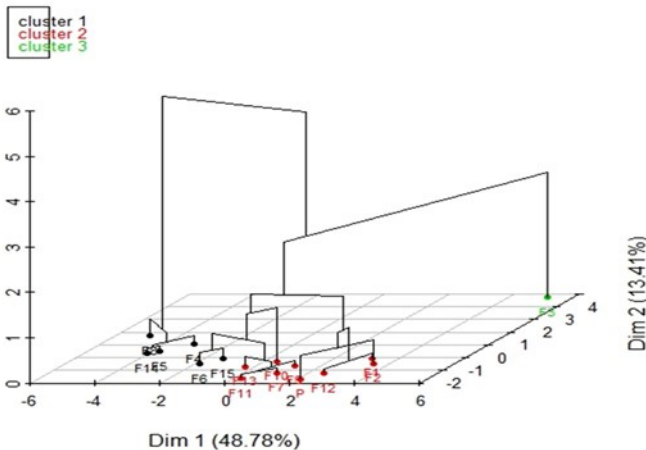


Figure 5 : Classification ascendante hiérarchique des variables(C.A.H)

L'observation du tableau II, montre que la classe 1 est proche à la fois de la classe 2 et de la classe 3. Alors que l'écart entre la classe 1 et 3 est important. Cet écart confirme la variabilité importante entre les valeurs maximales et minimales de la minéralisation des eaux de cette région.

Analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques sont contenus dans le tableau II. Les analyses montrent la présence des bactéries de types germes totaux et coliformes fécaux dans les eaux de cette région utilisées comme eau de boisson.

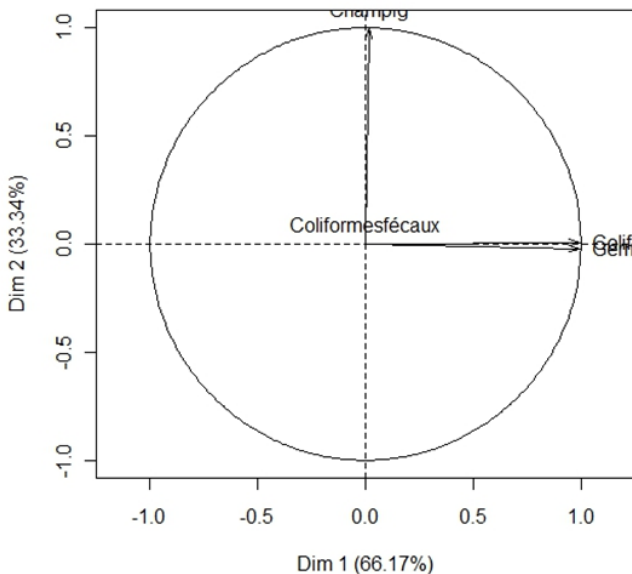


Figure 6 : Analyse en composantes principales (analyses microbiologiques) des eaux souterraines de la région de Pointe-Noire dans le plan factoriel F1- F2.

Quant aux coliformes fécaux et *champignons*, les taux dans l'eau de cette région sont en quasi-totalité nuls. Les *clostridium* sont également présents dans ces eaux. Cela prouve que les eaux de la zone d'étude sont soumises à une influence anthropique. En effet, les résultats d'analyses microbiologiques révèlent une souillure microbienne des eaux des forages avec une absence totale des germes fécaux et des *clostridium*s. Les résultats ne satisfaisant pas aux normes de l'OMS, rendent ces eaux impropres à la consommation humaine.

Interprétation de la classification des observations

La figure 7 montre la participation de tous les ouvrages sélectionnés à des degrés variables ou des paramètres microbiologiques. On remarque, par ailleurs, le regroupement des points de mesures en trois classes :

- la première (classe 1) est constituée des points F1, F2, F5, F6, F7, F8, F10, F11, F12, F13, F14, F15 et P avec des faibles valeurs pour certains paramètres qui caractérisent la minéralisation. Ce qui montre que les eaux de ces points sont faiblement chargées par rapport à l'ensemble des échantillons analysés ;
- la deuxième (classe 2) rassemble les points F4 et F9 avec des valeurs moyennes dont les échantillons d'eau sont légèrement plus minéralisés que ceux de la première classe ;
- la troisième (classe 3) est formée par un seul point F3 dont ces échantillons présentent les plus minéralisés avec la valeur de la conductivité la plus élevée de tous les points de la zone d'étude.

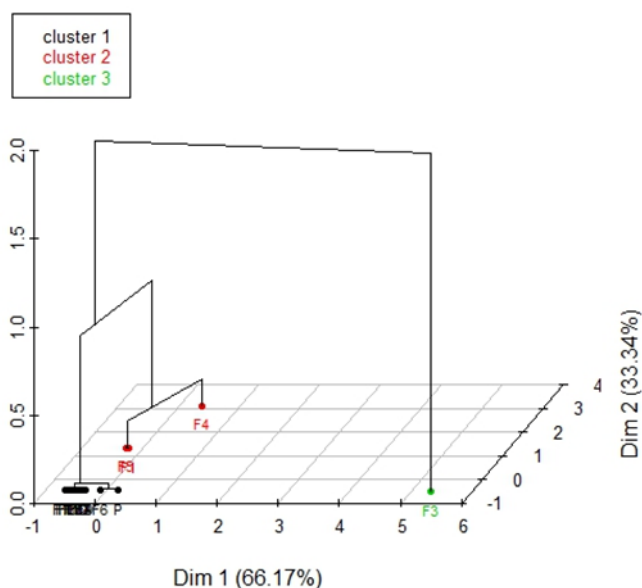


Figure 7 : Classification ascendante hiérarchique des observations (C.A.H)

La présence massive des composés azotés NH_4^+ , NO_3^- et des germes dans ce groupe indique une forte contribution des activités anthropiques dans la minéralisation des eaux souterraines de cette zone.

DISCUSSION

Les eaux de la région de Pointe-Noire ont une température basse qui varie entre 26 et 29°C. Cette température qui correspond aux variations saisonnières des températures atmosphériques ambiantes s'inscrit dans l'intervalle des valeurs définies par Vesolo Mouanda (2009) et Moukandi-N'kaya (2012) dans les eaux souterraines de la région de Pointe Noire. Cela indique l'ouverture du système aquifère, donc de sa vulnérabilité vis -à- vis de la pollution. Ces eaux sont agressives, avec un pH moyen de 6,51. Cette acidité des eaux souterraines a été observée dans plusieurs régions du bassin sédimentaire côtier. Il s'agit de la région du Mayombe (Moukolo, 1992 et Ngouala Mabonzo, 2008), de la région de Brazzaville (Moukolo, 1984 ; Opo, 2009 ; Matini et al., 2009).

Martini et al. (2009), la présence dans l'eau de CO₂ provenant des sols, facilite-t-elle l'hydrolyse des minéraux silicatés et la formation des ions HCO₃⁻. C'est ce phénomène qui explique l'abondance des bicarbonates dans les eaux de la région. En effet, l'hydrolyse des minéraux silicatés présents dans les roches constitue le principal mécanisme de production d'ions dans les eaux souterraines de la région d'étude. Ce phénomène a été mis en évidence dans cette étude par les résultats des différentes analyses statistiques multi variées. En République du Congo, la minéralisation des eaux souterraines par l'hydrolyse des différents minéraux contenus dans les roches aquifères a été mise en évidence dans les systèmes multi aquifères. Ainsi, l'Analyse en Composantes Principales a montré que deux autres phénomènes participent à la minéralisation des eaux de la zone d'étude. Il s'agit du pluvio lessivage des sols et de l'intervention des activités anthropiques dans la pollution des eaux de surface et des eaux des nappes superficielles. La présence des coliformes fécaux dans les eaux de la région de Pointe-Noire rend compte de l'effet d'une pollution bactériologique récente à laquelle les eaux sont soumises. Ce travail associe l'abondance des coliformes fécaux dans une eau à une pollution bactérienne anthropique qui se produit lors des puisages par les populations.

Les résultats obtenus au cours de nos analyses expliquent la présence des germes totaux, des coliformes fécaux et des champignons dans les eaux des forages et des puits par une contamination d'origine fécale et donc la possibilité que les germes pathogènes dangereux soient présents dans l'eau. Ces différents paramètres sont des indicateurs d'une pollution fécale et sont en grande partie d'origine humaine. La présence de coliformes fécaux confirme l'influence des activités anthropiques sur les eaux de cette région.

CONCLUSION

L'étude des caractéristiques hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau de la région de Pointe-Noire a été réalisée à partir de la combinaison des méthodes hydrochimiques, graphiques et de l'analyse statistique multi variée. Cette étude montre que les nappes phréatiques sont peu profondes, avec une profondeur moyenne de 15 m. Elle a conduit à la mise en évidence des différentes caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux souterraines et des eaux de surface de notre zone d'étude. Du point de vue physique, la température des eaux de cette région varie entre 26 et 29°C, avec une moyenne de 27,8 °C. Le pH des eaux varie entre 4,11 et 7,7 unités pH, avec une moyenne de 6,51, ce qui indique que ces eaux sont acides. La conductivité électrique des eaux de cette région est faible et varie entre 17 et 358 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, avec une valeur moyenne de 219,71 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cette étude relève que ces eaux souterraines sont agressives, avec une moyenne de 13,43°F. Les eaux de Pointe-Noire sont pauvres en fer, avec des teneurs qui varient entre 0,05 et 0,8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

La classification des résultats d'analyses chimiques obtenues à partir des analyses en composantes principales permet d'identifier trois groupes ou les classes d'éléments analysés dans les eaux de cette région. L'Analyse en Composantes Principales et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) indiquent que la minéralisation des eaux de la région est contrôlée par trois grands phénomènes. Il s'agit de la minéralisation temps de séjour ou l'hydrolyse pour les eaux souterraines (forages et puits), du pluvio lessivage des sols pour les eaux superficielles (eaux de surface et eaux de puits) et de l'influence des activités humaines dans la production des déchets polluants. Par ailleurs, les eaux de la zone d'étude contiennent de forts taux de germes totaux et de coliformes fécaux qui sont la conséquence d'une pollution d'origine humaine récente. Ainsi cette étude a montré que les ressources en eau de la région sont fortement influencées par les activités anthropiques de la zone qui pourraient contribuer à la dégradation de la qualité physico-chimique et bactériologique de ses ressources en eau.

La représentation des résultats de chaque point de mesures et la comparaison avec les normes de potabilité des eaux de l'OMS ont permis d'apprécier les principaux phénomènes d'acquisition de la minéralisation. Les statistiques descriptives de distribution des éléments et des paramètres chimiques de chaque point de mesures montrent un faible contraste entre la chimie des eaux des

différents points échantillonnés du bassin versant. Dans l'ensemble la nappe de la région de Pointe-Noire est encore faiblement minéralisée.

REMERCIEMENTS

Les Auteurs remercient sincèrement le Département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques et le Laboratoire de Géographie Physique de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de l'Université Marien NGOUABI de Brazzaville pour leur aide multiforme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bureau d'études Iwaco, (1982) : Approvisionnement en eau potable à Pointe- Noire. Volume 1 : Etudes hydrogéologiques. 16 p. + figures et Volume 2 : Dossier Technique. 54 p. + figures.
- CLOUTIER, V., LEFEBVRE, R., THERRIEN, R. & SAVARD, M. M., 2008: Multi variate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydro-geochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology*, 353: 294–313.
- LACLAU J.P., (2001) : Dynamique du fonctionnement minéral d'une plantation d'eucalyptus. Effets du reboisement sur un sol de savane du littoral congolais ; conséquence pour la gestion des plantations industrielles. Thèse de Doc. INA-PG, 146 p.
- MATINI L., MOUTOU J.M., KONGO-MANTONO M.S., (2009) : Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud- Ouest de Brazzaville, Congo. *AfriqueScience*, 05(1) : 82-98.
- MOTT MAC DONALD, BCEOM, SOGREA, ORSTOM, (1991) : Évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne, pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport du pays : Congo. Paris, pp. 30-31 ; 33-34 ; 60-62 ; 74-75.
- MOUKANDI - N'KAYA G.D., (2012) : Etude hydrogéologique, hydrochimique in situ et modélisation hydrodynamique du système aquifère du bassin sédimentaire de la région de Pointe - Noire. Thèse de doctorat. Université Marien Ngouabi, Congo-Brazzaville, 132 p + annexe.
- MOUKOLO N., (1984) : Ressources en eau souterraine et approvisionnement : Essais d'analyse socio-économique en région équatoriale humide. Thèse de doctorat 3ecycle. Univ Montpellier, 90p + Annexe.
- MOUKOLO N., (1992) : Hydrogéologie du Congo. Document du BRGM, No210.Ed. BRGM. Orléans, 128 p.

Caractérisation hydrogéochimique et microbiologique des eaux souterraines dans le système d'aquifères multi couche de la région de Pointe-Noire en République du Congo

- NGOUALA-MABONZO M.,(2008) :Etude hydrogéologique de la nappe du bassin supérieur de la Loémé (Mayombe). Mémoire de Maitrise en géographie physique. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo, 68p
- OPO U.F., (2009) : Qualité des eaux souterraines des quartiers périphériques de l'Arrondissement I de Brazzaville. Mémoire de DEA. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 130p + annexes.
- SAFEGE, (1991) : Ville de Pointe Noire, Alimentation en eau, réhabilitation des forages, étude de la nappe. Rapport de synthèses, 103p.
- SAMBA-KIMBATA M.J., (1991) : Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse de doctorat d'état, Univ. Bourgogne, Dijon, 241p+figures.
- SAMBA-KIMBATA M.J., (2002) : Rythme bioclimatique et comportement phénologique de la végétation en République du Congo. Ann.Univ.Marien Ngouabi. 3, pp. 81-92.
- SINAN M., MASLOUHI R., RAZACK M. (2003) : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc. TS11 Management of Water Resources.pp1-15.
- SUCHEL J.R., (1972) : Répartition des pluies et des régimes pluviométriques au Cameroun. GECET et CNRS, n°5, Yaoundé, 287 p.
- VESOLO MOUANDA T., (2009) : Etude hydrogéologique et hydrodynamique de la nappe profonde n°1 de l'aquifère de Pointe-Noire. Mémoire d'Ingénieur. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 88p.
- YIDANA SM, OPHORI D, BANOENG-YAKUBO B. (2008): A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data – The Ankobra Basin, Ghana. Journal of Environmental Management, 86: 80-87.