



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## **Etude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des eaux de consommation de la zone périurbaine de la ville de Man : cas du village de Kpangouin (Côte d'Ivoire)**

Ernest Kouassi AHOUSI<sup>1\*</sup>, Noël Keiba KEUMEAN<sup>1</sup>, Michel Amani KOUASSI<sup>2</sup> et Blaise Yao KOFFI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM) ; Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup>Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) ; Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) ; Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques ; BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

\*Auteur correspondant ; E-mail : [ahoussi@gmx.fr](mailto:ahoussi@gmx.fr)

### **RÉSUMÉ**

Cette étude a pour but de déterminer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux du village de Kpangouin en Côte d'Ivoire. Elle a fait appel aux analyses physico-chimiques, microbiologiques et aux diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff pour la classification des eaux. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que les eaux ont une température qui varie de 25,80 à 28 °C. Elles sont acides, avec un pH qui varie de 4,70 à 6,40. Les eaux sont faiblement minéralisées, avec une conductivité électrique moyenne de 62,56 µS/cm. Les matières en suspensions varient de 20 à 50 mg.L<sup>-1</sup>. Les eaux de Kpangouin sont chlorurées sodiques et potassiques; bicarbonatées sodiques et potassiques. Elles contiennent de fortes teneurs en fer qui varient de 0,15 à 0,91 mg.L<sup>-1</sup> qui sont quelquefois supérieures à la valeur guide OMS (0,3 mg.L<sup>-1</sup>). Dans ces eaux le Pb et le Cr présentent des valeurs supérieures à celle des l'OMS. Les métaux sont issus de la nature pétrographique des roches de la zone d'étude. Les eaux de contiennent des coliformes fécaux de type *Escherichia coli*, des Streptocoques fécaux et Clostridium Perfringens. Elles sont de mauvaise qualité et inaptes pour une consommation humaine sans traitement préalable.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots-clés** : Environnement, hydrogéochimie, ressources en eau, métaux lourds, microbiologie.

## **Study of the hydrogeochemistry and microbiology characteristics of drinking water in the peri-urban area of Man city : case of Kpangouin village (Côte d'Ivoire)**

### **ABSTRACT**

In the present study, the geochemical and microbiology characteristics of surface and groundwater for drinking water quality has been studied in the village of Kpangouin in Côte d'Ivoire. The methods used in the study, are physico-chemical and microbiology analysis. Hydrochemistry diagrams were used for water

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.37>

3026-IJBSC

classification. The results show that the water sampled has temperature values between 25.80 and 28 °C. The water is acid and the pH variation ranges from 4.70 to 6.40. In Kpangouin water is fresh, with a low electrical conductivity (EC). The mean value of EC is about 62.56  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The suspended solids values range from 20 to 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . The hydrochemical classification results show that water samples are Cl-Na-K and  $\text{HCO}_3\text{-Na-K}$ . High concentrations of iron are determined in water. These concentrations range from 0.15 to 0.91  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , with a mean 0.45  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . This value remains higher than WHO value (0.3  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). The heavy metals Pb and Cr values are above WHO norms. In water heavy metal origin is from geological rocks. Surface water content faecal coliforms, faecal Streptococci and Clostridium Perfringens. The samples water are not good quality and not recommended for human drinking without any treatment.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords :** Environment, Hydrogeochemistry, Heavy metals, Microbiology, Water resources.

## INTRODUCTION

Le développement socio-économique conjugué à la croissance démographique engendre l'augmentation des besoins en eau qui se traduit par l'utilisation excessive des ressources en eau, par la production et le rejet d'un important volume d'eaux usées dans les milieux récepteurs. Nécessaire à toute forme de vie, l'eau est un élément de promotion de la santé des individus et du développement socio-économique des collectivités humaines (Ouattara *et al.*, 2016). En Côte d'Ivoire, au cours des dernières décennies, le rythme de développement s'est accéléré et diverses activités anthropogéniques se sont installées dans plusieurs régions à proximité des grandes villes et aussi en milieu rural.

La cadence d'urbanisation a nettement augmenté avec l'apparition de plusieurs centres urbains et villages au détriment des espaces et paysages naturels. Il en résulte également une production excessive d'eaux et des rejets importants d'eaux usées qui déséquilibrent les écosystèmes aquatiques et notamment les principaux cours d'eau des grandes villes du pays.

Les études réalisées sur les ressources en eau de la Côte d'Ivoire par Ahoussi *et al.* (2011 et 2013), Eblin *et al.* (2014), Traoré *et al.* (2015), Orou *et al.* (2016a), Ouattara *et al.* (2016), ont signalé de nombreux foyers de pollution aussi bien au niveau des eaux de surface que des eaux souterraines.

Dans la zone périurbaine de la ville de Man, les ressources en eau sont utilisées pour la consommation des populations. Mais, depuis quelques années, les cours d'eau du

village de Kpangouin reçoivent les eaux usées de la ville de Man et de ses environs. Dans la localité, objet de la présente étude, la principale source d'alimentation en eau est assurée par l'usage des puits à usage domestique, des pompes villageoises et des rivières. Cette localité est en outre, caractérisée par l'inexistence d'un système d'assainissement adéquat ce qui entraîne la présence de tas d'immondices dans plusieurs endroits du village. Par ailleurs, les effluents sont généralement déversés dans la nature. Ce sont des facteurs qui pourraient contribuer à dégrader la qualité des eaux de puits et de rivières, occasionnant par conséquent la recrudescence de maladies liées à l'eau (Monjour, 1997). L'objectif de cette étude est de déterminer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de consommation de la zone périphérique de la ville de Man.

## Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la ville de Man, située à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, à la latitude 7° 24' Nord et à la longitude 7° 33' Ouest (Figure 1). Cette ville abrite plusieurs quartiers dont le village de Kpangouin qui est une zone périphérique située précisément à 5 km du centre de la ville de Man sur l'axe Man-Facobly.

## Cadre hydrologique de la zone d'étude

Le climat est considéré comme l'un des paramètres les plus importants dans l'alimentation des nappes d'eau souterraine et

des eaux de surface car il conditionne la pluviométrie. Le climat rencontré dans la zone d'étude est de type équatorial de transition toujours humide appelé climat de montagne (Saley, 2003). Les précipitations y sont abondantes, avec plus de 2000 mm de pluie par an. Elles atteignent un pic durant les mois d'août (302 mm) et de septembre (262 mm) avant de connaître une baisse considérable durant la saison sèche qui s'étend de novembre à mars. Dans cette zone, l'influence du relief sur le climat est prépondérante.

Aux fortes valeurs de précipitations en saison des pluies correspondent les faibles valeurs de températures moyennes obtenues grâce à un adoucissement de l'insolation. Cependant, durant les mois de décembre et de janvier, on observe des températures moyennes relativement basses (23,5 à 23,7 °C) malgré des valeurs pluviométriques peu élevées. Cela est dû à l'harmattan soufflant en saison sèche et entretenant une brume sèche, un ciel sans nuage et un air sec.

## Géologie de la région

Du point de vue géologique, la région de Man est située dans le domaine libérien de la dorsale de Man. Cette dorsale se poursuit vers l'Est par des formations archéennes du Libéria et de la Sierra Léone, et est limitée dans sa partie orientale par la faille du Sassandra, frontière entre les domaines libériens et éburnéens. Cette région peut être divisée en deux vastes ensembles séparés par la faille de Man-Danané, d'orientation N 70° Kouamélan (1996). Au Nord, on rencontre un compartiment Nord de nature granulite composé essentiellement de gneiss gris et de charnockites et au Sud un compartiment de nature anatectique composé de migmatites et de quartzites à magnétite.

Sur le plan lithologique, trois domaines dont le domaine granulite Nord; le domaine granulite et magmatique intermédiaire et le domaine Sud des gneiss migmatitiques à biotite ont été identifiés par Kouamélan (1996). Selon Camil et al. (1984), les principales unités géologiques de la région de Man et de ses environs sont dans l'ordre

chronologique suivant ; un ensemble de gneiss gris rubané d'origine magmatique; un ensemble de quartzites à magnétites d'origine sédimentaire qui comporte diverses formations associées (diopsidites, hypersthinites, etc.) et les charnockites intrusives : très développées dans le compartiment Nord.

Du point de vue structural, la faille du Sassandra, limite entre le domaine libérien et éburnéen est identifiée selon Djro (1998), comme étant une succession des phases tectoniques séparées par des périodes de "calme" relatif.

## Cadre hydrogéologique de la zone de Kpangouin

La zone de Man, comme la majeure partie de la Côte d'Ivoire, appartient au socle cristallin ou cristallophyllien. Les aquifères qui s'y trouvent se composent d'aquifères d'altérites et de fissures.

Dans la zone d'étude, l'aquifère d'altérites est à dominance argileuse. Cet aquifère est capté uniquement par des puits qui fournissent des débits d'exploitation et des débits spécifiques faibles. La qualité de l'eau est médiocre à cause des nombreux minéraux argileux et du risque de pollution des eaux depuis la surface. Les aquifères des altérites reçoivent directement les eaux des précipitations et leurs niveaux piézométriques baissent considérablement en saison sèche et remontent en saison de pluie (Biémi, 1992). La nappe phréatique est plus facilement accessible à travers les puits modernes, les puits traditionnels ou les puisards temporaires creusés dans les bas-fonds pendant la saison sèche.

L'aquifère de fractures est constitué par la roche fracturée. Il constitue le principal réservoir des aquifères du socle lorsqu'il contient de l'eau. Ce réservoir de socle est souvent le siège de circulation d'eau souterraine. Dans la zone d'étude, cet aquifère est capté par un forage équipé par une pompe à motricité humaine.



**Figure 1 :** Présentation de la zone d'étude.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Méthode de l'étude hydrogéologique

L'étude des eaux souterraines a nécessité un recensement de tous les points d'eau du village (puits, forages et sources). Une fois les différents sites repérés, les eaux souterraines ont fait l'objet d'une étude piézométrique. La campagne de relevés piézométriques a démarré par le repérage de tous les puits villageois de Kpangouin pris comme piézomètres à partir d'un GPS. Les coordonnées des différents points d'eau ont été inventoriées sur le site d'étude et dans les environs immédiats. Les travaux de terrain ont nécessité l'utilisation d'un GPS Garmin Map 60 CSX pour le repérage des différents piézomètres et d'un décimètre pour les mesures métriques. Les mesures des relevés piézométriques ont été réalisées à l'aide d'une sonde piézométrique lumineuse et sonore OTT muni d'un contacteur de fond pour la mesure de la profondeur des puits. Les cartes topographique et géologique aux échelles 1/200 000 ont été utilisées pour obtenir les informations essentielles sur les formations géologiques et sur la topographie de la zone.

### Méthodologie de l'étude hydrogéochimique

L'échantillonnage des eaux a été effectué du 08 juin au 09 juin 2014. Il a porté sur les paramètres tels que la température (T), le potentiel d'Hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE) et le potentiel d'oxydoréduction (Eh) qui ont été mesurés *in situ*. Le matériel utilisé pour la réalisation de la campagne hydrochimique est composé d'un pH-mètre WTW 3110 pour la mesure du pH et Eh ; d'un conductimètre WTW 3110 pour la mesure de CE et de T et d'un GPS 60 CSX Garmin pour la prise des coordonnées géographiques ou UTM des points d'échantillonnages. Les bouteilles d'échantillonnage de 500 ml et de 1 litre en polyéthylène ont également été utilisées pour l'échantillonnage sur le terrain.

Le prélèvement, le transport, la conservation des échantillons ont été faits selon Rodier (2009). Les échantillons d'eau pour les analyses physico-chimiques ont été prélevés dans des bouteilles en polyéthylène de 500 ml. Chaque bouteille est rincée trois fois avec l'eau à prélever, puis remplie à refus et fermée hermétiquement

avant d'être transporté à froid (4 °C) dans une glacière jusqu'au laboratoire.

Les points d'échantillonnages ont été choisis en fonction du niveau d'utilisation du point d'eau par les populations et en fonction de la densité des points d'eau de la zone d'étude. Ainsi, sur cette base, 05 points d'eau ont été sélectionnés. Il s'agit des deux (02) puits, d'un (01) forage, d'une (01) source d'eau source et d'une (01) rivière. Les éléments à doser sont :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ , pour les cations et  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  pour les anions, ainsi que l'indice d'iode, la DCO et la  $\text{DBO}_5$ . La turbidité et les matières en suspension ont fait également l'objet de mesure. Les analyses physico-chimiques des eaux, ont été réalisées selon les normes préconisées par AFNOR (1997) ou celles homologuées par Rodier (2009). La DCO a été dosée par spectrophotométrie à l'aide d'un spectrophotomètre HACH DR 2000. La  $\text{DBO}_5$  a été dosée par incubation à partir d'un incubateur de type HACH. La turbidité des eaux a été mesurée à partir d'un turbidimètre 2020. Les métaux ont été dosés à partir de la méthode de spectrométrie à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique VARIAN.

Les analyses réalisées sur les métaux ont porté sur le dosage du Mn, Ni, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, Hg, Fe, CN et As. La méthode d'analyse de ces métaux lourds est présentée dans le Tableau 1.

#### Méthode de l'étude microbiologique

Les échantillons d'eau destinés aux analyses microbiologiques ont été prélevés dans des bouteilles en verre de 250 ml et conservés à moins 4 °C dans une glacière pour être ensuite acheminées au laboratoire pour analyses. Il concernent 05 échantillons dont les eaux de puits, forage, rivière et de source. Les points de prélèvement concernent les sites d'approvisionnement en eau des populations du village. Les paramètres analysés sont représentés dans le Tableau 2. Ces analyses ont été réalisées selon les normes françaises en vigueur en Côte d'Ivoire.

#### Méthodes de traitement des données

Les données collectées ont été traitées en utilisant une méthode hydrochimique qui adopte les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff pour la classification hydrochimique des eaux et à partir de l'analyse statistique multivariée. Ces diagrammes sont très couramment utilisés dans le domaine de l'hydrochimie des eaux, avec de très bons résultats en Côte d'Ivoire, au Ghana, en Inde et au Pakistan par les auteurs tels que Oga et al. (2009), Ahoussi et al. (2012), Kouassi et al. (2012), Eblin et al. (2014), Salifu et al. (2017), Srinivas et al. (2017) et Bashir et al. (2017).

Afin de connaître l'origine de la minéralisation des eaux, l'analyse statistique multivariée a été réalisée à partir de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sur des variables centrées réduites. Cette analyse statistique a pour but de comprendre l'hydrochimie des eaux de la zone d'étude. Selon Lasm et al. (2011), Orou et al. (2016b) et Akatumbila et al. (2016).

L'ACP est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive, utilisable comme outil d'aide à l'interprétation d'une matrice de données. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances et la position graphique que présenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution.

L'analyse statistique multivariée a été réalisée sur 18 variables. Les paramètres utilisés pour cette analyse sont : T, CE, Ph, MES,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Fe, Pb et Cr.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1.

Les résultats des analyses microbiologiques ont été comparés aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de Santé (OMS, 2011) dans le cadre d'une eau de boisson, non influencée par les activités anthropiques.

**Tableau 1** : Méthodologie d'analyse des métaux lourds des eaux du site d'étude.

Paramètres	Unités	Normes	Méthodes
<b>Magnésium</b>	mgMg/Kg	NF EN ISO 7890	Dosage par spectromètre d'absorption atomique avec flamme (Varian AA240FS)
<b>Fer</b>	mgFe/Kg	FD T 90-112	Dosage par spectromètre d'absorption atomique avec flamme (Varian AA240FS)
<b>Cuivre</b>	mgCu/Kg		
<b>Zinc</b>	mgZn/Kg		
<b>Nickel</b>	mgNi/Kg		
<b>Plomb</b>	µgPb/Kg	NF EN ISO 15586	Dosage par spectromètre d'absorption atomique avec four graphite (Varian AA280Z)
<b>Chrome</b>	µgCr/Kg		
<b>Cadmium</b>	µgCd/Kg		
<b>Arsenic</b>	µgAs/Kg		

**Tableau 2** : Paramètres et méthodes d'analyse microbiologique des eaux.

Paramètres	Normes
Dénombrement des <i>coliformes</i> totaux	NF V08-50
dénombrement des <i>Escherichia coli</i>	NF EN ISO 9308-1
dénombrement des <i>streptocoques fécaux</i>	NF EN ISO 7899-1
dénombrement des <i>clostridium perfringens</i>	NF T 90-415

## RESULTATS

### Résultats de l'étude hydrogéologique

Les principaux résultats obtenus au niveau de l'étude piézométrique sont consignés dans le Tableau 3.

Les mesures piézométriques montrent que le niveau de la nappe phréatique est peu profond. Celui-ci varie de 2,99 m à 8,62 m, avec une moyenne de 5,82 m. La lame d'eau observée dans les différents puits est importante, elle varie de 0,19 m à 2,2 m, avec une moyenne de 1,26 m. Les volumes d'eau calculés dans les puits oscillent de 0,86 m<sup>3</sup> à 41,83 m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 11,11 m<sup>3</sup>. Ces résultats montrent qu'à Kpangouin, les nappes d'altérite sont productives et importantes pour les usages domestiques.

### Caractéristiques physico-chimiques des eaux étudiées

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de Kpangouin sont consignés dans le Tableau 4. La température des eaux varie de 25,80 à 28 °C, avec une moyenne de 27,06 °C. Le pH des eaux varie de 4,70 à 6,40, avec une moyenne de 5,17, ce qui montre que les eaux de la zone d'étude sont acides donc corrosifs. Le pH des eaux est inférieurs à la norme OMS, (2011) pour une eau de boisson (6,5 < pH < 8,5). Les valeurs du potentiel d'oxydoréduction (Eh) varie de 25,30 à 124,10 mv, pour une moyenne de 85,12 mv. Ces valeurs montrent que les eaux de la zone d'étude évoluent dans un milieu oxydant. Pour les eaux souterraines, ces

valeurs du potentiel d'oxydoréduction montrent que les aquifères sont ouverts à l'atmosphère. Les eaux de Kpangouin sont faiblement minéralisées, avec une conductivité électrique qui varie de 23,40 à 254  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , pour une moyenne de 62,56  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les matières en suspensions mesurées dans les eaux varient de 20 à 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , avec une moyenne de 31,2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Quant à la turbidité, elle varie de 18 à 34 NTU, avec une moyenne de 24,4 NTU. Les matières en suspensions (MES) varient de 20 à 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , avec une moyenne de 26,40  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

#### **Caractéristiques cationiques des eaux**

Les eaux de la zone d'étude ont de faibles teneurs en calcium (0,96 à 2,10  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) et en magnésium (0,02 à 1,25  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Au niveau du potassium et du sodium, les teneurs varient respectivement de 1,55 à 5,84  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  et 2,5 à 3,8  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Dans la zone d'étude, l'ordre de la variation de la minéralisation des eaux est la suivante, au niveau des cations :  $(\text{K}^+ + \text{Na}^+) > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ .

#### **Caractéristiques anioniques des eaux**

Dans les eaux de la zone, le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) présente des teneurs comprises entre 2,32 et 14,5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Au niveau des chlorures, les teneurs sont également faibles et varient de 2 à 4,6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Le sulfate est faiblement présent dans les eaux étudiées, avec des teneurs qui oscillent entre 1 et 2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Ces eaux présentent des teneurs en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) faibles (2,22 à 8,2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). La géochimie des eaux est caractérisée par la variation suivante des anions :  $\text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ .

#### **Caractéristiques hydrogéochimiques des eaux**

La classification hydrochimique des eaux à partir des diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff permet d'identifier deux classes (Figures 2 et 3). Il s'agit des eaux chlorurées sodiques et potassiques (eau de puits et de source) et des eaux bicarbonatées sodiques et potassiques (eau de forage et rivière).

#### **Métaux lourds dans les eaux de Kpangouin**

Pour les métaux lourds, les résultats des analyses des eaux de la zone d'étude

montrent que celles-ci contiennent de fortes teneurs en fer (Tableau 5).

Ces teneurs en fer oscillent entre 0,147 et 0,913  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , pour une moyenne de 0,453  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Cette moyenne reste supérieure à la valeur guide de l'OMS qui est de 0,3  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Les concentrations de plomb (Pb) et de Chrome (Cr) mesurées dans les eaux de Kpangouin restent dans la totalité des points d'eau étudiés supérieures aux valeurs guides de l'OMS qui sont respectivement de 0,01  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  et de 0,05  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Dans les eaux échantillonnées, l'indice d'iode est faible et varie de  $1,6\cdot 10^{-3}$  à  $3,4\cdot 10^{-2}$   $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , pour une moyenne de  $13,9\cdot 10^{-3}$   $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

#### **Caractéristiques microbiologiques des eaux**

Les résultats des analyses microbiologiques sont consignés dans le Tableau 6. L'analyse de ces résultats indique que les eaux du puits de l'école et du forage du village ne contiennent aucun microorganisme recherché. Ces eaux sont microbiologiquement potables. A l'exception de ces points d'eau, les autres points d'eau du village présentent des teneurs en streptocoques fécaux et clostridium perfringens supérieures à la norme OMS (2011). La présence de ces microorganismes dans ces eaux montrent que celles-ci sont de mauvaise qualité.

#### **Origine de la minéralisation des eaux**

Les résultats de l'ACP sont donnés par les Tableaux 7 et 8. Le Tableau 7 présente les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque facteur et leur cumul. Le facteur F1, avec une variance exprimée de 57,68%, est le plus important de tous, ensuite viennent les facteurs F2 et F3, avec respectivement 28,35% et 9,05% de la variance exprimée. Les corrélations significatives qui existent entre les différents paramètres sont données par la Tableau 8.

L'analyse des résultats de l'ACP de l'espace des variables du plan factoriel F1-F2 montre que les variables étudiées définissent trois regroupements (Figure 4). A ces trois regroupements sont associés trois classes d'eau qui sont les différents points d'eau étudiés

dans l'espace des individus. La classe 1 prend en compte les points d'eau riches en arsénic. Il s'agit des eaux de puits et l'eau de source. Ce sont des eaux souterraines superficielle dont la minéralisation est fonction de la nature du substratum.

La classe 2 regroupe les eaux de surface (rivière). Celles-ci sont riches en

orthophosphates suite à la collecte des effluents superficiels riches en matières organiques du village par l'intermédiaire des eaux de ruissellement.

Le troisième groupe contient les eaux de forages. Ces eaux sont issues de l'aquifère de fractures du substratum rocheux de la région. Elles sont riches en Fe et en Cr.

**Tableau 3 :** Relevés piézométriques de la zone d'étude.

N°	Ouvrages	Prof (m)	NP (m)	Lame d'eau (m)
1	Puits de l'école	6,73	5,94	0,19
5	Puits du chef	8,67	7,48	0,77
6	Puits Bintou	7,29	6,64	0,29
7	Puits Imam	10,84	8,62	1,15
8	Puits Cherif	9,95	7,82	1,43
9	Puits Boulaliman	7,46	4,82	1,92
10	Puits Siban	5,08	2,99	1,67
11	Puits Moussa	6,72	4,32	2,2
12	Puits Gueu	5,93	3,76	1,72

**Tableau 4 :** Résultats de l'analyse des analyses physico-chimiques des eaux de la zone d'étude en mg.L<sup>-1</sup>

Paramètres	Norme OMS 2011	Puits école	Rivière	Forage	Source	Puits chef
T °C	-	28	25,8	27,6	26,4	27,8
pH	6,5-8,5	4,87	6,19	6,40	4,70	4,75
Eh (mv)	-	115,8	39	25,3	124,1	121,4
Cond (µS)	-	24,3	35,1	254	46,9	86,1
MES	-	20	50	36	26	24
Turb (NTU)	5	18	34	28	22	20
DCO (mg/L)	-	20	74	60	34	28
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	-	10	34	30	16	13
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	2,32	13,42	14,5	3,5	3,8
Cl <sup>-</sup>	250	2	4,6	3,7	3,2	3,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250	2	1	2	1	2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,5	0,03	0,1	0,7	0,05	0,04
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	0,04	0,08	0,05	0,03	0,05
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	7,6	2,22	8,2	6,9	5,8
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	3	0,004	0,008	0,009	0,005	0,006
K <sup>+</sup>	-	1,55	5,84	5,37	3,7	4,2
Na <sup>+</sup>	200	2,8	3,5	3,8	2,9	2,5
Ca <sup>2+</sup>	-	0,96	1,8	2,1	1,08	1,3
Mg <sup>2+</sup>	-	0,024	1,12	1,25	0,45	0,36

\*CE en µS/cm ; T en °C ; Eh en mV

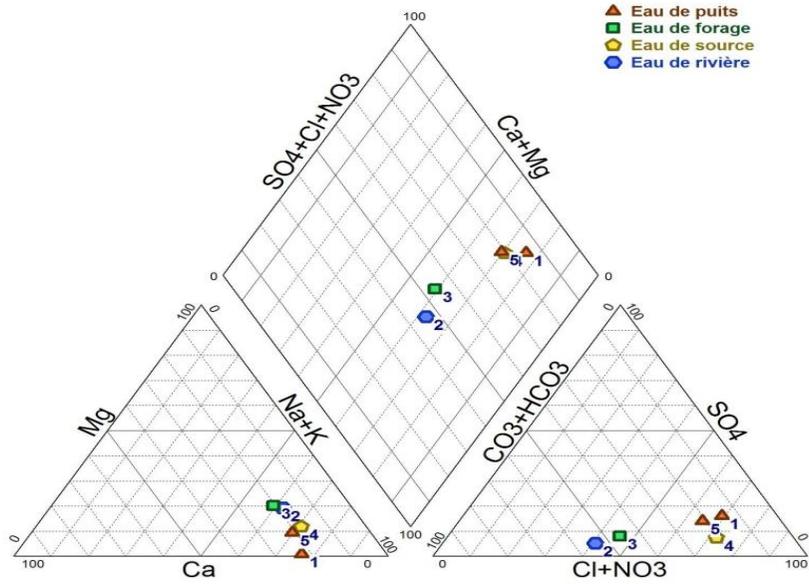


Figure 2 : Classification des eaux de Kpangouin dans le diagramme de Piper.

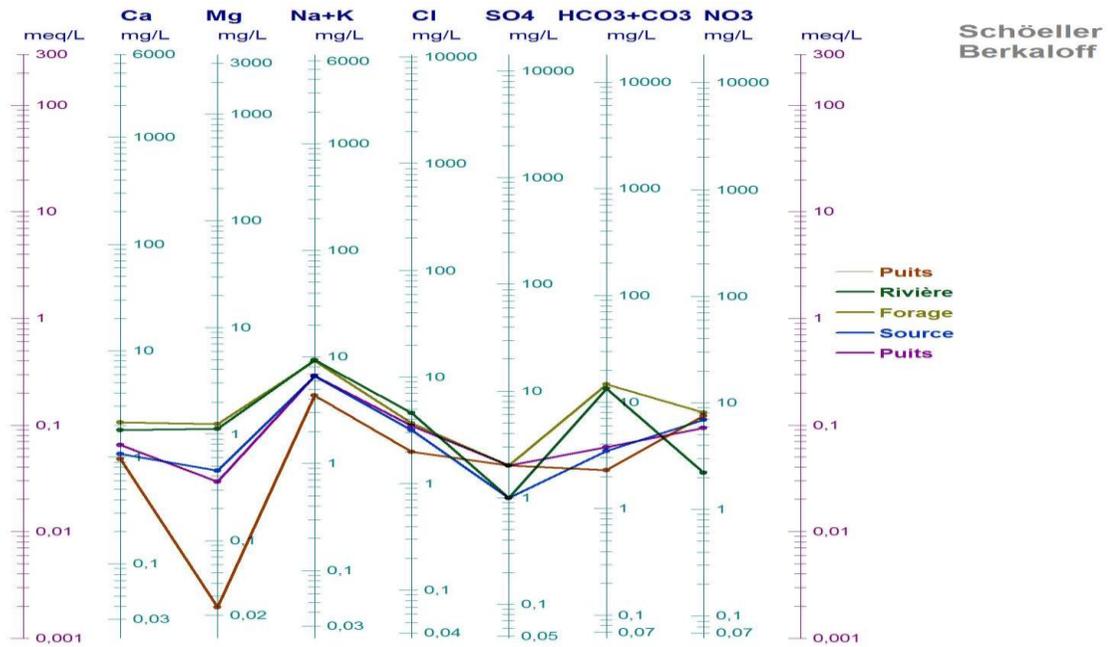
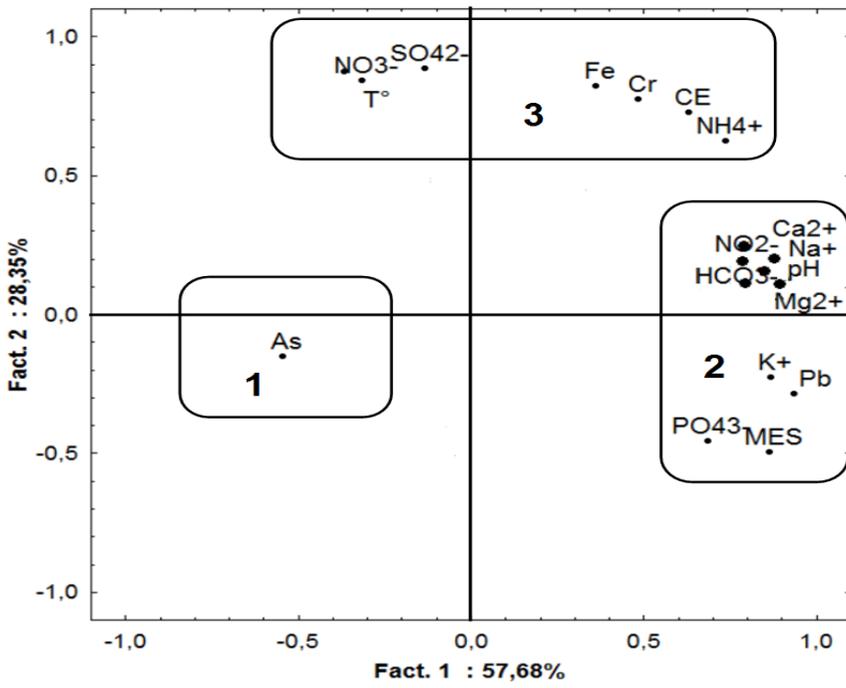
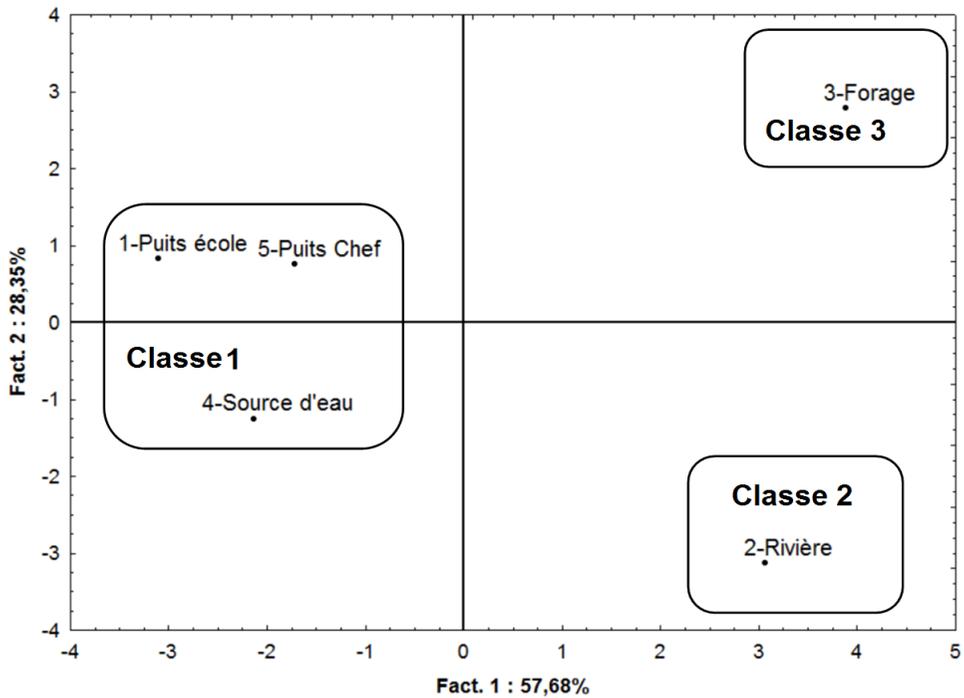


Figure 3 : Classification des eaux de Kpangouin dans le diagramme de Schoeller-Berkaloff.



a) Espace des variables



b) Espace des unités statistiques.

**Figure 4.** Analyse des résultats de l'ACP dans le plan factoriel F1xF2.

**Tableau 5 :** Résultats de l'analyse des métaux lourds des eaux de la zone d'étude en mg.L<sup>-1</sup>.

Paramètres	Norme OMS (2011)	Puits Ecole (PE)	Riviere (R)	Forage (F)	Source (S)	Puits Chef (PC)
<b>Indice d'Iode</b>						
<b>mol/L</b>	-	0,0016	0,021	0,034	0,0077	0,0053
<b>Fe</b>	0,3	0,246	0,147	0,913	0,375	0,586
<b>Mn</b>	0,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>Pb</b>	0,01	0,023	0,065	0,059	0,039	0,026
<b>Cd</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>As</b>	0,01	<0,001	<0,001	0,001	0,005	0,004
<b>Cr</b>	0,05	0,109	0,081	0,187	0,02	0,124
<b>Ni</b>	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>Zn</b>	3	<0,001	<0,001	0,03	<0,001	<0,001
<b>Hg</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>CN</b>	0,07	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

**Tableau 6 :** Résultats de l'analyse microbiologique des eaux de Kpangouin.

Paramètres	Unités	Critères	Puits Ecole	Forage	Source	Rivière	Puits Chef
Dénombrement des <i>coliformes</i> totaux	ufc/100 ml	>1 /100ml	0	0	0	08	0
dénombrement des <i>Escherichia coli</i>	ufc/100 ml	>1 /100ml	0	0	0		0
dénombrement des <i>streptocoques fécaux</i>	ufc/100 ml	>1 /100ml	0	0	14	73	10
dénombrement des <i>clostridium perfringens</i>	ufc/100 ml	>1 /100ml	0	0	0	1	0

**Tableau 7:** Valeurs propres des facteurs.

Facteurs	Val Propre	% Total variance	Cumul Val Propre	Cumul %
<b>1</b>	10,38	57,68	10,38	57,68
<b>2</b>	5,10	28,35	15,48	86,02
<b>3</b>	1,63	9,05	17,11	95,07
<b>4</b>	0,89	4,93	18,00	100,00

**Tableau 8:** Matrice de corrélation.

	T°	pH	CE	MES	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe	Pb	Cr
T°	1,00																
pH	- 0,30	1,00															
CE	0,33	0,59	1,00														
MES	- 0,72	0,84	0,16	1,00													
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	- 0,38	0,99	0,60	0,88	1,00												
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,96	- 0,07	0,46	- 0,52	- 0,15	1,00											
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,20	0,74	0,96	0,31	0,73	0,34	1,00										
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	- 0,47	0,68	- 0,02	0,87	0,70	- 0,24	0,08	1,00									
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,73	- 0,27	0,47	- 0,72	- 0,32	0,61	0,41	- 0,83	1,00								
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	- 0,28	0,92	0,71	0,80	<b>0,96</b>	- 0,04	0,76	0,64	- 0,27	1,00							
K <sup>+</sup>	- 0,55	0,75	0,47	0,85	<b>0,84</b>	- 0,35	0,48	0,68	- 0,52	0,91	1,00						
Na <sup>+</sup>	- 0,35	<b>0,95</b>	0,61	0,76	<b>0,94</b>	- 0,17	0,79	0,48	- 0,10	0,84	0,66	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	- 0,22	<b>0,95</b>	0,74	0,78	<b>0,97</b>	0,02	0,80	0,63	- 0,21	0,99	0,86	0,87	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	- 0,46	<b>0,93</b>	0,62	0,87	<b>0,97</b>	- 0,25	0,72	0,62	- 0,32	0,97	0,92	0,90	0,96	1,00			
Fe	0,50	0,29	<b>0,94</b>	- 0,12	0,32	0,58	0,81	- 0,24	0,60	0,50	0,30	0,30	0,51	0,37	1,00		
Pb	- 0,65	0,91	0,41	0,94	<b>0,94</b>	- 0,46	0,57	0,66	- 0,44	0,87	0,86	0,91	0,86	0,96	0,12	1,00	
Cr	0,63	0,53	0,78	0,07	0,47	0,80	0,74	0,21	0,34	0,55	0,21	0,40	0,60	0,37	0,72	0,15	1,00

## DISCUSSION

Dans la localité de Kpangouin, la température moyenne des eaux est de 27,06 °C. Cette température correspond aux variations saisonnières des températures atmosphériques ambiantes définies par les données météorologiques (30 °C). Le pH des eaux varie de 4,70 à 6,40, avec une moyenne de 5,17. Cela indique que les eaux sont acides donc corrosifs. En effet, l'acidité des eaux a été observée dans plusieurs régions du pays. Il s'agit notamment des régions de Tiassalé (Oga et al., 2009), de Katiola (Oga et al., 2010) et région de San-Pédro (Lasm et al., 2011). L'acidité des eaux en zone tropicale humide est selon Martini et al. (2009) principalement liée à la décomposition de la matière organique végétale, avec la production de CO<sub>2</sub> dans les premières couches du sol. Aussi, la présence dans l'eau de CO<sub>2</sub> provenant des sols facilite-t-elle l'hydrolyse des minéraux silicatés et la formation des ions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, qui constituent les ions les plus importants dans la zone d'étude. C'est ce phénomène qui explique l'abondance des bicarbonates dans les eaux. En effet, l'hydrolyse des minéraux silicatés présents dans les roches constitue le principal mécanisme de production d'ions dans les eaux souterraines. En Côte d'Ivoire, ce phénomène a été mise en évidence par les travaux d'Ahoussi et al. (2010 et 2011) et Orou et al. (2016a) dans la région d'Agboville.

Les teneurs en métaux observées dans les eaux de la zone sont faibles, à l'exception du fer (Fe= 0,913 mg.L<sup>-1</sup>), du plomb (Pb= 0,065 mg.L<sup>-1</sup>) et du chrome (Cd= 0,187 mg.L<sup>-1</sup>) qui présentent des teneurs supérieures à la valeur guide de l'OMS. L'origine de ces métaux dans les eaux étudiées pourrait être associée à la nature géologique des formations aquifères et du substratum rocheux qui les abrite. En effet, la région de Man constitue la zone où l'on rencontre les plus grands gisements métalliques de la Côte d'Ivoire. La géologie de la zone a mis en évidence la présence des roches mafiques et ultramafiques riches en minéraux ferromagnésiens dont certains sont riches en fer, en plomb et en chrome. De nombreux gisements abritant des

métaux précieux ont été mis en évidence et certains font actuellement l'objet d'une exploration : c'est le cas du gisement de fer du Mont Klahoyo.

Dans la zone d'étude, les analyses microbiologiques montrent la présence de coliformes fécaux du type *Escherichia coli* dans l'ensemble des eaux, à l'exception des eaux du forage équipé de pompe à motricité humaine et du puits de l'école. La présence d'organismes microbiologiques (*Escherichia coli*) dans les eaux rend compte d'une contamination bactériologique récente à laquelle les eaux sont soumises. Les eaux de surface et les eaux de puits sont des eaux superficielles qui sont plus vulnérable à la pollution liée aux activités anthropiques.

En effet, les travaux d'El Asslouij et al. (2007), Ouattara et al. (2017) expliquent la présence des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux dans les eaux de puits par une contamination d'origine fécale. Il y a ainsi une la possibilité que les germes pathogènes dangereux soient présents dans l'eau (Ahoussi et al., 2012). Les streptocoques et coliformes fécaux sont des indicateurs d'une pollution fécale et sont en grande partie d'origine humaine. La présence des coliformes fécaux confirme l'influence des activités anthropiques sur la qualité des eaux de Kpangouin. Aussi, l'origine fécale de la pollution des ressources en eau de la Côte d'Ivoire a-t-elle été mise en évidence par Claon (1997) dans les eaux souterraines de la commune de Koumassi et de Port-Bouët, Ahoussi et al. (2011) au niveau des eaux souterraines de la localité de Kossihouen dans la région d'Abidjan et Orou et al. (2016b) des eaux d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de Grand-Morié et d'Azaguié dans le département d'Agboville. Les eaux de la zone d'étude sont soumises à une influence anthropique qui dégrade leur qualité microbiologique.

## Conclusion

L'étude des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de la zone périurbaine de la ville de Man a permis

de connaître le fonctionnement des hydrosystèmes de cette localité. Les analyses physico-chimiques des eaux du site montrent que la température des eaux varie de 25,80 à 28 °C, avec une moyenne de 27,06 °C. Les eaux étudiées sont acides, oxygénées et faiblement minéralisées. Les faciès hydrochimiques rencontrés sont les eaux chlorurées sodi-potassiques et bicarbonatées sodi-potassiques. Les eaux prélevées contiennent de fortes teneurs en fer, plomb et chrome qui proviendraient des formations géologiques. Les analyses microbiologiques montrent que les eaux contiennent des coliformes fécaux de type *Escherichia coli*, les Streptocoques fécaux et Clostridium Perfringens. Ces eaux sont de mauvaise qualité et donc non recommandées à la consommation humaine sans traitement préalable.

#### CONFLIT D'INTERETS

Il n'y a aucun conflit d'intérêts entre les auteurs.

#### REFERENCES

Afnor 1997. *Qualité de l'Eau* (Tome 1) : Terminologie, Échantillonnage et Évaluation des Méthodes (3<sup>e</sup> éd.). Afnor: Paris, France; 34p.

Akatumbila L, Mabilia M, Lubini A, Pwema K, Musibono EA. 2016. Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau : cas de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa/République Démocratique du Congo. *Larhyss Journal*, **26**: 7-29.

Ahoussi KE, Koffi YB, Kouassi AM, Soro G, Biémi J. 2013. Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences*, **63**: 4703–4719

Ahoussi KE, Koffi YB, Kouassi AM, Soro G, Soro N, Biémi J. 2012. Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi : cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **6**(4): 1854-1873. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.40>

Ahoussi KE, Oga YMS, Koffi YB, Kouassi AM, Soro N, Biémi J. 2011. Caractérisation hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau du site d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Côte d'Ivoire : cas du CET de Kossihouen dans le District d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(5): 2114-2132. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.32>

Ahoussi KE, Soro N, Koffi YB, Soro G, Biémi J. 2010. Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de la zone Sud de la Côte d'Ivoire: cas de la région d'Abidjan-Agboville. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **4**(3): 782-797.

Bashir E, Huda SN, Naseem S, Hamza S, Kaleem M. 2017. Geochemistry and quality parameters of dug and tube well water of Khipro, District Sanghar, Sindh, Pakistan. *Applied Water Sciences*, **7**: 1645–1655. DOI 10.1007/s13201-016-0448-6

Biémi J. 1992. Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse d'Etat Univ. Nat. de Côte d'Ivoire, 480 pp.

- Claon JS. 1997. Consommation d'eau de puits dans quatre communes de la ville d'Abidjan desservies par le réseau de distribution d'eau potable. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université d'Abidjan, 197p.
- Camil. J. 1984. Pétrographie, chronologie des ensembles granulitiques archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire). Implication pour l'histoire géologique du craton Ouest africain. Thèse Doct. ès Sc. Nat. Univ. Abidjan. N° 79, 306 p.
- Djro SC. 1998. Evolution tectono-métamorphiques des gneiss granulitiques archéens du secteur de Biankouma. Thèse Doct. ès Sc. Nat. Univ. Cocody. 171 p.
- Eblin SG, Soro GM, Sombo AP, Aka N, Kambiré O, Soro N. 2014. Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'Adiaké (Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, **17**: 193-214
- El Asslouij J, Kholtei S, El Amira-Paaza N, Hilali A. 2007. Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau*, **20**(3): 309- 321.
- Kouamelan AN. 1996. Géochronologie et géochimie des formations Archéennes et Protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire. Implications pour la transition Archéenne-protérozoïque. Thèse. Doct. Es Sc Nat. Univ. Rennes 1, 277 p.
- Kouassi MA, Ahoussi KE, Koffi BY, Aké Y. A, Biemi J. 2012. Caractérisation hydrogéochimique des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **6**(2): 504-5018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.45>
- Lasm T, De Lasme O, Oga YM-S, Youan Ta M, Baka D, Kouamé F, Yao KT. 2011. Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région de SanPedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(2): 642-662.
- Matini L, Moutou JM, Kongo-Mantono MS. 2009. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. *Afrique Science*, **05**(1): 82-98.
- Monjour. 1997. Les pathologies d'origine hydrique et la potabilité de l'eau, Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière – Paris. Les Cahiers du MURS ; n°33 - 2ème trimestre, p. 30.
- Oga MS, Lasm T, Yao TK, Soro N, Saley MB, Kouassi D, Gnamba F. 2009. Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture: Cas de La Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, **31**(1): 72-87.
- Oga MS, Gnamba FM, Lasm T, Gngangne T, Baka D, Soro N, Biemi J. 2010. Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de Katiola (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire). *BIOTERRE, Revue Internationale des Sciences de la Terre*, **10**: 7-25.
- OMS. 2011. *Guidelines for Drinking-water Quality. Recommendations* (4<sup>th</sup> edn). OMS; 518.
- Orou KR, Soro G, Soro TD, Fossou NRM, Onetie ZO, Ahoussi EK, Soro N. 2016a. Variation saisonnière de la qualité physicochimique des eaux souterraines des aquifères d'altérites du département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *European Scientific*, **12**(17): 213 – 240.
- Orou KR, Coulibaly KJ, Tanoh AG, Ahoussi KE, Kissiedou KEP, Soro TD, Soro N. 2016b. Qualité et vulnérabilité des eaux

- d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de Grand-Morié et d'Azaguié dans le département d'Agboville au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirien des Sciences et Technologie*, **28**: 243 - 272.
- Ouattara A, Méité A, Dally T, Ouattara H, Kati-Coulibaly S. 2016. Étude de la qualité des eaux de consommation dans la localité de N'Zianouan s/p de Tiassalé et des quartiers précaires de trois communes du District d'Abidjan (Koumassi, Treichville, Attécoubé). *Journal of Applied Biosciences*, **102**: 9708–9715. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v102i1.5>
- Rodier J. 2009. *L'Analyse de l'Eau : Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires, Eau de Mer* (9<sup>e</sup> éd.). Dunod: Paris; 100-110.
- Saley MB. 2003. Cartographie thématique des aquifères de fissures pour l'évaluation des ressources en eau. Mise en place d'une nouvelle méthode d'extraction des discontinuités images et d'un SIHRS pour la région semi-montagneuse de Man (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Université de Cocody-Abidjan, 209 p.
- Salifu M, Yidana SM, Anim-Gyampo M, Appenteng M, Saka D, Aidoo F, Gampson E, Sarfo M. 2017. Hydrogeochemical and isotopic studies of groundwater in the middle voltaian aquifers of the Gushegu district of the Northern region. *Applied Water Sciences*, **7**: 1117–1129. DOI: 10.1007/s13201-015-0348-1
- Srinivas Y, Aghil TB, Hudson Oliver D, Nithya Nair C, Chandrasekar N. 2017. Hydrochemical characteristics and quality assessment of groundwater along the Manavalakurichi coast, Tamil Nadu, India. *Applied Water Sciences*, **7**: 1429–1438
- Traoré A, Ahoussi KE, AKA N, Traoré A, Soro N. 2015. Niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagunes Aghien et Potou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Internatiional Journal of Pure & Applied Bioscience*, **3**(4): 312-322.