



**Original Paper**

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

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

## Caractérisation saisonnière des eaux de puits à usage maraîchère et domestique de Korhogo (Côte d'Ivoire)

Rachelle Ida YAPO<sup>1,2,3\*</sup>, Véronique MAMBO<sup>1</sup>, Alfredo Carlos ALDER<sup>3</sup>,  
Marie Jeanne OHOU-YAO<sup>4</sup>, Raymond LIGBAN<sup>1</sup>, Daouda DAO<sup>2</sup>, Christian STAMM<sup>3</sup> et  
Bassirou BONFOH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire. 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup> Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire. 01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

<sup>3</sup> Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Suisse.

<sup>4</sup> Université Jean Lorougnon Guédé. BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

\*Auteur correspondant, E-mail : [rachelle.yapo@csrs.ci](mailto:rachelle.yapo@csrs.ci), Tel : (+225) 02 48 60 21.

### RESUME

Cette étude a été conduite afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de puits à usages domestiques et agricoles du département de Korhogo. Les paramètres physico-chimiques et microbiologiques ont été analysés suivants les techniques décrites par AFNOR. 18 puits ont été échantillonnés durant les saisons pluvieuse et sèche. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que les eaux sont légèrement acides et faiblement minéralisées avec des valeurs de conductivités comprises entre 59,5 et 225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les concentrations en oxygène dissous sont comprises entre 0,78 mg/l et 4,93 mg/l. Par ailleurs, les teneurs en nitrate et ammonium de ces eaux prouvent qu'elles ne sont pas assujetties à une pollution azotée. En outre, la présence de pesticides tels que le chlorpyrifos-éthyle, le parathion-éthyle, le thiaméthoxame, le spiroadiclofen, le deltaméthrine, le zoxamide et le carbaryl a été souligné dans 16 puits prospectés. La teneur résiduelle des pesticides atteint 3,61  $\mu\text{g}/\text{l}$  dans certains puits. La concentration totale des pesticides décelés dans les puits varie entre 0,01  $\mu\text{g}/\text{l}$  et 6,36  $\mu\text{g}/\text{l}$ . L'analyse microbiologique a mis en évidence la présence de coliformes totaux à des teneurs significativement élevées ( $2,3 \cdot 10^3$  UFC/ml). Aussi, la consommation de ces eaux présente-t-elle des risques sanitaires pour les populations.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Eaux souterraines, pollution, microorganismes, pesticides, Côte d'Ivoire.

## Seasonal characterization of well water use for vegetable gardening and domestic usage in Korhogo (Côte d'Ivoire)

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

2235-IJBCS

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.41>

## ABSTRACT

This study was conducted to determine physicochemical and microbiological characteristics of well water for agricultural and domestic uses in Korhogo's department. The physicochemical and microbiological parameters were analyzed following techniques described by AFNOR. 18 wells were sampled during the rainy and dry seasons. Physicochemical results indicated that the water is slightly acidic and weakly mineralized with conductivity values between 59.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and 225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dissolved oxygen concentrations are between 0.78 mg/l and 4.93 mg/l. Furthermore, the levels of nitrate and ammonium in this water show that they are not affected by nitrogen pollution. Pesticides such as chlorpyrifos-ethyl, ethyl parathion, thiamethoxam, spiroticlofen, deltamethrin, carbaryl and zoxamide were discovered in 16 wells. The concentration of individual pesticides reached 3.61  $\mu\text{g}/\text{l}$  in some wells. The total pesticide concentration detected in the wells ranged from 0.01  $\mu\text{g}/\text{l}$  and 6.36  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Microbiological analysis showed the presence of total coliforms at high levels ( $2,3 \cdot 10^3$  CFU/ml). Consumption of this water can cause a real health risks for the population.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords :** Groundwater, pollution, microorganisms, pesticides, Côte d'Ivoire.

---

## INTRODUCTION

Les eaux souterraines représentent la principale source d'eau douce pour la planète. Dans de nombreux pays Africains, notamment en Côte d'Ivoire, elles constituent la principale source d'approvisionnement pour les usages domestiques, agricoles et industriels (Lamribah et al., 2013). Des études ont mis en exergue la fragilité et la vulnérabilité des ressources en eaux souterraines dues aux facteurs naturels tels que la géologie, le degré de météorisation chimique de divers types de roche, la variation topographique, la variabilité hydro-climatique, combinés à divers facteurs humains (pression démographique, pratiques agricoles, exploitation des décharges incontrôlées et des systèmes d'assainissement) (Yao et al., 2012).

En Côte d'Ivoire, de nombreux foyers de pollution des eaux souterraines par les métaux lourds, les nutriments, les pesticides et les microorganismes ont été signalés dans les localités d'Abidjan, de Biankouman, de Buyo, de Daloa et de N'ziamouan (Soro et al., 2010 ; Ahoussi et al., 2013). Cependant, peu d'études ont été réalisées sur les ressources en eaux souterraines de la région du Poro, située au Nord de la Côte d'Ivoire. Les études hydrologiques effectuées dans ladite région, ont surtout concouru à l'identification des réseaux de fractures susceptibles de contenir

de l'eau, à la caractérisation de leur potentiel hydrologique et à l'implantation des forages (Jourda et al., 2006). En revanche, les travaux sur la qualité des eaux souterraines, en général, et les eaux de puits en particulier sont quasi-inexistants.

La région du Poro est une zone rurale, à vocation agricole, caractérisée par une irrégularité pluviométrique, une sécheresse récurrente et une utilisation massive des produits phytosanitaires (Onetie et al., 2010 ; Soro et al., 2013). Le déficit pluvieux étant faiblement compensé par le réseau moderne d'adduction en eau potable et les barrages, les populations de cette zone ont toujours recours aux eaux de puits comme principale source pour les besoins domestiques et agricoles. Or en zone rurale agricole, la pollution diffuse, d'origine agricole est considérée comme une des causes majeures de dégradation de la qualité des eaux (Sener et Davraz, 2012). La présente étude vise donc à établir l'état de pollution physico-chimique et microbiologique des eaux des puits du département de Korhogo en rapport avec les activités agricoles.

## MATERIEL ET METHODES

### Description du site d'étude

L'étude s'est déroulée dans le département de Korhogo, situé dans la région

du Poro au Nord de la Côte d'Ivoire. Cette région couvre une superficie de 12 500 km<sup>2</sup>. Elle est localisée entre 5°16 et 6°16 de longitude ouest et 8°32 et 10°20 de latitude nord (Figure 1). La population du département de Korhogo s'estime à 536 851 habitants (RGPH, 2014). Le département de Korhogo est caractérisé par un climat tropical sec de type soudanais avec deux (02) saisons. La saison sèche qui s'étend de novembre à avril et la saison des pluies, de mai à octobre. Le maximum des précipitations se situe en août et septembre et oscille entre 255 et 267 mm, avec une moyenne annuelle de 1200 mm environ (SODEXAM, 2014). Les températures moyennes journalières s'élèvent à 29 °C environ en saison sèche et à 25 °C en saison des pluies.

Reposant sur un substratum granitique, les sols du département de Korhogo sont essentiellement ferrallitiques avec un pH qui varie de 4,6 à 5,1 (Nangah et al., 2013). La géologie de la zone n'est pas favorable à la présence de grands aquifères et les seules réserves importantes d'eaux souterraines se situent dans les fissurations du granite, ou dans les colluvions de marigot de moindre importance. Le relief de la zone est monotone avec des altitudes variant en moyenne entre 300 et 400 m. La végétation est marquée par deux zones distinctes : la zone de savane herbeuse et arborée qui constitue l'essentiel de la végétation et la zone de forêts galeries le long des cours d'eau. La période sèche initialement préjudiciable au succès des cultures est mise à profit par les maraîchers de la région pour la pratique des cultures de contre saison. L'absence de pluies est palliée par l'arrosage manuel des champs. L'agriculture de Korhogo est essentiellement paysanne. Les principales spéculations sont le coton, l'anacarde, l'igname, le maïs, l'arachide et les cultures maraîchères. La production de ces cultures entraîne une utilisation intense de pesticides et d'engrais.

### Echantillonnage

Sur la base de l'intensité de la production maraîchère, cinq localités

(Nangasseregué (NAN), Kassoumbarga (KAS), Kafiokaha (KAF), Kounigekaha (KOU) et Lavonnonka (LOV)) ont été ciblées pour cette étude. Tous les puits présents sur les sites ont été retenus pour les prélèvements d'échantillons. Au total, 18 puits ont été échantillonnés (Figure 2) durant la saison pluvieuse et la saison sèche. La profondeur des puits était comprise entre 01 et 10 m. Un échantillonnage a été réalisé par saison. Le matériel utilisé était composé de flacons en polyéthylène d'une capacité de 350 ml pour la microbiologie et de 1000 ml pour la physico-chimie. Préalablement stérilisés, les flacons ont été remplis à ras bord puis le bouchon immédiatement fixé afin d'éviter toute contamination. Les échantillons destinés à l'analyse des pesticides ont été collectés dans des bouteilles en verre de 1000 ml ; les bouteilles ont été fermés hermétiquement et enveloppés dans du papier aluminium afin de limiter les réactions d'oxydation. L'ensemble des échantillons d'eaux a été aussitôt stocké à 4 °C dans une glacière et transporté au laboratoire du Centre Suisse de Recherches Scientifique pour analyse. L'échantillonnage, la conservation et le transport des échantillons ont été réalisés selon les indications de l'Association Française de Normalisation (AFNOR, 2001).

### Analyses

#### Analyses physico-chimiques

Les paramètres physiques des eaux tels que la température (T), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (cond), la salinité (sal), le potentiel d'oxydoréduction (Eh) et l'oxygène dissous (OD) ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multimètre de marque WTW / Multi 350i.

Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ont été mesurés par colorimétrie à la réduction au cadmium. Les ions ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ont été déterminés par la méthode au salicylate. Les ions ammonium et les nitrates ont été analysés par l'utilisation d'un spectrophotomètre (Hach DR 2400).

Les résidus de pesticide ont été extraits des échantillons d'eau par la méthode d'extraction liquide-liquide avec du

dichlorométhane. Le protocole d'extraction liquide-liquide choisi est celui de la méthode EPA 3510C de l'agence américaine de protection de l'environnement (USEPA). La concentration des extraits s'est faite par évaporation à sec au moyen d'un évaporateur rotatif. Les extraits secs ont été récupérés dans 1 ml de toluène et conservés dans de petits flacons en verre. L'analyse a été effectuée sur un chromatographe en phase gazeuse (GC) de type Agilent 7890A couplé à un spectromètre de masse (MS) de type Agilent 5975C équipé d'un détecteur sélectif quadripolaire. Soixante huit (68) pesticides dont dix (10) organophosphorés (Diazinon, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos méthyle, Etoprophos, Malathion, Parathion, Diméthoate, Cadusafos, fenitrothion et Cyperméthrine), dix-sept (17) organochlorés ( $\alpha$ -Hexachlorocyclohexane (HCH),  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Deldrin, Aldrine, Lindane, Heptachlore,  $\alpha$ -endosulfan,  $\beta$ -endosulfan, Endrine, Methoxychlore, 4,4'-Dichlorodiphényldichloroéthane (DDD), 4,4'-Dichlorodiphényldichloroéthylène (DDE), 4,4'-Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT)), huit (8) pyréthrinoïdes de synthèse (Deltaméthrine, Tau Fluvalinate, Etofenprox, Tefluthrine, Bifenthrine, Fenpropathrine, Cyhalothrine et perméthrine), trois (3) Carbamates (Carbaryl, Pirimicarb et Chinométhionate), et d'autres pesticides dont O-phenylphenol, Thiaméthoxam, zoxamide et spirodiclofen ont été recherchés dans les échantillons d'eaux.

Le GC-MS utilisé pour l'analyse des extraits était équipé d'une colonne capillaire 19091S430UI d'une longueur de 30 m, d'un diamètre intérieur de 0,25 mm et d'une épaisseur de film de 0,25  $\mu$ m. L'injection s'est réalisée en mode splitless avec un volume d'injection de 1  $\mu$ l et une température d'injecteur de 280 °C. Le gaz vecteur était l'hélium de haute pureté (Air Liquide Alpha2) avec un débit constant de 0,8 ml.min<sup>-1</sup>.

L'identification des pesticides s'est faite par comparaison des temps de rétention obtenus en analysant une solution standard mixte de travail à 500 ppb et en interrogeant la bibliothèque de spectres de masse du logiciel.

La limite de détection des pesticides a été fixée à 0,01  $\mu$ g/l.

Les résultats obtenus dans cette étude ont été comparés aux normes fixées par les directives de l'OMS (2011) (tableau 1).

### Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont concerné la recherche d'*Escherichia coli* (*E. coli*) O157H, de Coliformes totaux, des œufs d'Helminthes et de kystes de Protozoaires, principales causes d'infection humaines. Les procédures de dosage des paramètres ont été déduites des méthodes d'analyse standard des directives de l'Association Française de Normalisation (AFNOR, 2001).

L'isolement des germes d'*E. coli* O157H et coliformes totaux s'est fait par incorporation sur le milieu Rapid *E. coli*. La novobiocine fut additionnée au milieu Rapid *E. coli* en vue de conserver les *E. coli* O157H (Seow et al, 2012). Les agents bactériologiques ont été obtenus en Unité Formant Colonie (UFC).

La recherche de kystes de protozoaires et des œufs d'helminthes a été réalisée suivant la méthode de Sodium Acétate Formaline (SAF). Les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes ont été identifiés et quantifiés au grossissement 50X à l'aide du microscope optique de type Olympus (CX21LEDFS1).

## RESULTATS

### Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits

Les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain au moment des prélèvements sont représentés dans les Figures 3, 4, 5, 6 et 7. Il ressort de l'analyse de ceux-ci, que la conductivité électrique des eaux varie de 62,2  $\mu$ S/cm à 225  $\mu$ S/cm durant la saison pluvieuse et de 59,5  $\mu$ S/cm à 184  $\mu$ S/cm pendant la saison sèche (Figure 3). Les eaux de puits sont acides, avec un pH compris entre 5,41 et 6,49 durant la saison des pluies et entre 5,53 et 7,02 durant la saison sèche (Figure 4). Les puits KOU2 et KOU3 situés dans la localité de KOU ont les plus fortes valeurs de pH en saison sèche qui

sont respectivement de 7,02 et 6,6. La température des eaux est comprise entre 23,7 °C et 28,6 °C en saison sèche, tandis qu'elle fluctue entre 26,9 °C et 29,1 °C en saison pluvieuse (Figure 5). Les eaux ont un potentiel d'oxydoréduction positif qui varie de 1,7 mV à 63,2 mV pendant la saison sèche et de 6,4 mV à 70,8 mV durant la saison pluvieuse (Figure 6). L'oxygène dissous évolue entre 0,78 mg/l et 4,73 mg/l durant la saison des pluies, elle indique une concentration minimale de 1,29 mg/l et un maximum de 4,93 mg/l pendant la saison sèche (Figure 7).

Les teneurs en ammonium et en nitrate des eaux sont représentées par les Figures 8 et 9. L'ammonium varie de 0,02 à 0,4 mg/l au cours de la saison pluvieuse et de 0,09 à 0,29 mg/l pendant la saison sèche (Figure 8). Les teneurs en ammonium sont très hétérogènes d'un puits à l'autre pendant la période pluvieuse. Il existe une grande variété de teneurs en ammonium au niveau des puits d'une même localité durant la saison des pluies. Les puits très riches en ammonium sont KAF1 (0,33 mg/l) et KAS2 (0,4 mg/l). La saison sèche est marquée par une stabilité des teneurs en ammonium dans tous les villages excepté celui de Nangasseregué où elles vont de 0,09 à 0,29 mg/l.

Cernant la teneur en nitrate, elle fluctue entre 0,1 et 5,2 mg/l pendant la saison des pluies et varie de 0,01 à 2,2 mg/l durant la saison sèche (Figure 9). Les teneurs les plus élevées en nitrate se retrouvent au niveau des eaux de puits de KOU et le puits LOV2. Celles-ci varient entre 1,1 mg/l et 5,2 mg/l. Les eaux souterraines des autres localités présentent de faibles teneurs en nitrate (0,01 mg/l et 1,9 mg/l).

#### **Composition des eaux en pesticides**

Les analyses effectuées ont permis de détecter la présence de pesticides dans 16 puits sur un total de 18 puits analysés (Tableau 2). Les puits LOV2 et NAN2 n'ont pas été contaminés par les pesticides durant la période d'étude. Un total de 7 pesticides sur

68 a été identifié dans les échantillons d'eaux, notamment : le chlorpyrifos éthyle, le parathion éthyle, le thiaméthoxame, le spiroadiclofen, le deltaméthrine, le zoxamide et le carbaryl.

Les concentrations de chlorpyrifos éthyle se situent entre 0,24 et 2,18 µg/l durant la saison pluvieuse, et fluctuent entre 0,92 et 3,61 µg/l au cours de la saison sèche. Aucune teneur en chlorpyrifos éthyle n'a été enregistrée aux points de prélèvements LOV1, LOV2, KAS3, NAN2 et KAF1. Le maximum des valeurs se situe autour de 3,6 µg/l et s'obtient à la saison sèche dans les localités de KAS et de KAF. Le site de NAN se singularise par une absence de chlorpyrifos éthyle pendant la saison sèche.

La teneur en parathion éthyle est évolutive et varie de 0,29 à 1,66 µg/l durant la saison des pluies contre 0,98 à 2,77 µg/l pendant la saison sèche. La localité de Nangasseregué se distingue par une absence totale de parathion éthyle. Le thiaméthoxame est détecté dans les échantillons d'eaux issus des sites LOV3, NAN3 et NAN4 durant la saison des pluies avec des valeurs respectives de 0,22 µg/l, 0,19 µg/l et 0,11 µg/l. Il est décelé uniquement à NAN1 avec une concentration de 0,71 µg/l pendant la saison sèche. Le spiroadiclofen est quasi inexistant dans les différents sites de prélèvements. Toutefois, des teneurs de 0,82 µg/l et de 0,69 µg/l sont obtenues respectivement dans les eaux de NAN3 et NAN4.

Le deltaméthrine a été identifié dans les eaux du site KOU1. La concentration de 0,22 µg/l obtenue en période pluvieuse est restée constante durant la saison sèche. En revanche, aucune trace de deltaméthrine n'a été découverte dans les localités NAN, KAS, KAF et LOV.

Une teneur de 0,25 µg/l de zoxamide a été mesurée pendant la saison sèche dans l'échantillon d'eau de puits de KAS3. Aucun des 17 autres puits échantillonnés ne montre la présence de zoxamide. Inexistant durant la saison des pluies, le carbaryl se retrouve dans presque toutes les localités sauf dans le village

de KAS au cours de la saison sèche. Les quantités varient de 0,047 à 2,12 µg/l. La Figure 10 présente les concentrations totales des pesticides par site de prélèvement. Le niveau total de résidus de pesticides par site de prélèvement varie de 0,01 µg/l à 3,93 µg/l pendant la saison des pluies et de 0,01 µg/l à 6,36 µg/l au cours de la saison sèche. Exceptés les sites LOV1 et KAS3, les concentrations totales en résidus de pesticides décelés dans les puits des autres localités de prélèvement excèdent la norme OMS (0,5 µg/l). Les teneurs les plus élevées de pesticides ont été retrouvées dans les localités de Kafiokaha, Kassoumbakaha et de Kounigekaha.

### Composition microbiologique des eaux

Les coliformes totaux varient de 0 UFC/ml à  $2,3 \cdot 10^3$  UFC/ml pendant la saison des pluies et évoluent de  $2,5 \cdot 10^1$  à  $4,6 \cdot 10^2$  UFC/ml pendant la saison sèche (Figure 11). La plus forte teneur ( $2,3 \cdot 10^3$  UFC/ml) de coliformes totaux s'observe dans la localité de Lavonnonka. Dans l'ensemble, la teneur en coliformes totaux est supérieure à la norme OMS (0 UFC/ 100 ml).

Par ailleurs, il est à noter que la recherche de germes pathogènes tels que les helminthes, les protozoaires et *Escherichia coli* O 157 dans les échantillons d'eaux s'est révélée nulle.

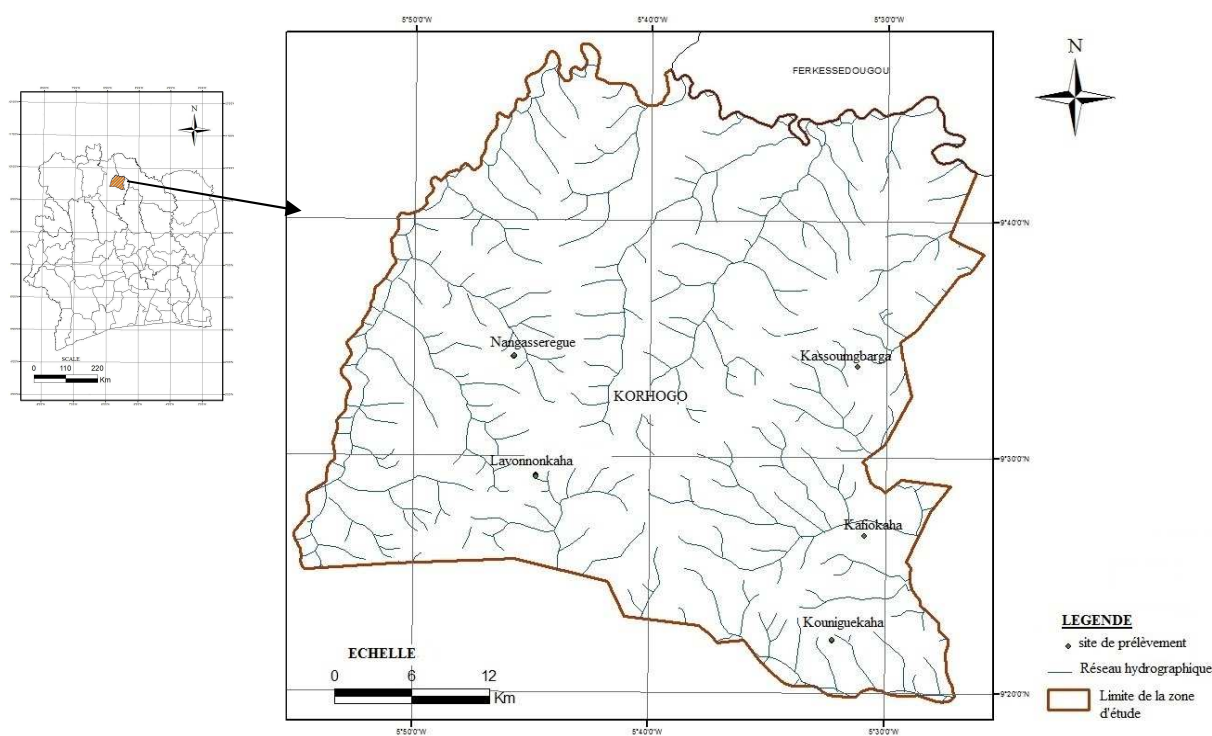
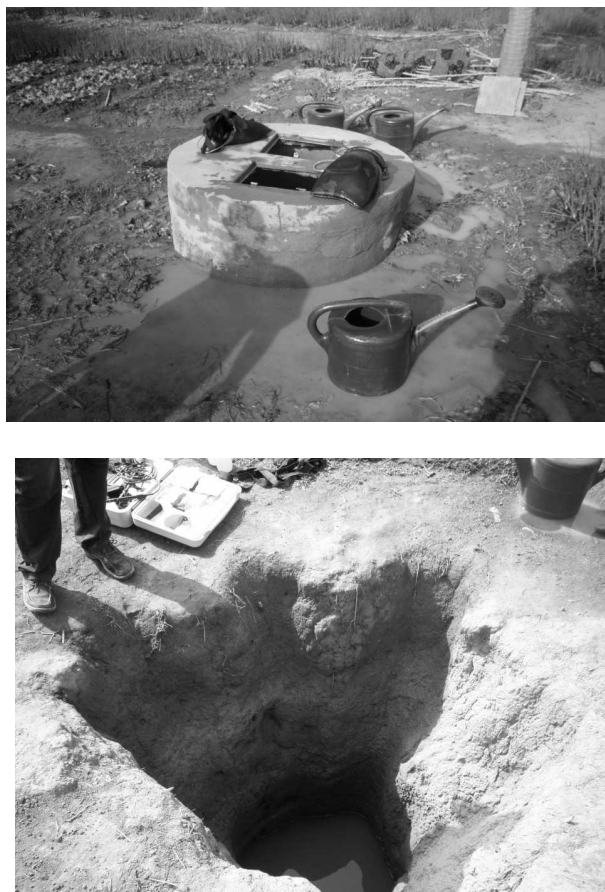
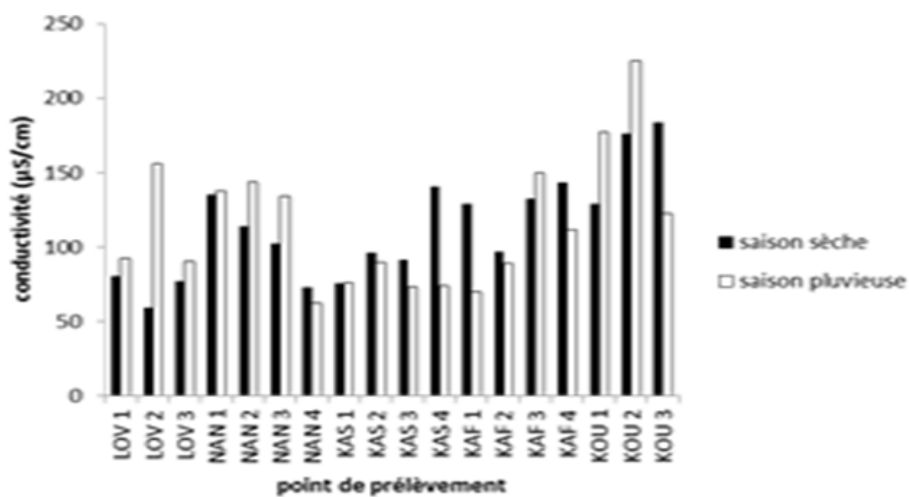


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.



**Figure 2 :** Puits de la localité de Kassoumbarga, les eaux servent à arroser les cultures et à la consommation des producteurs.



**Figure 3 :** Variation spatio-temporelle de la conductivité.

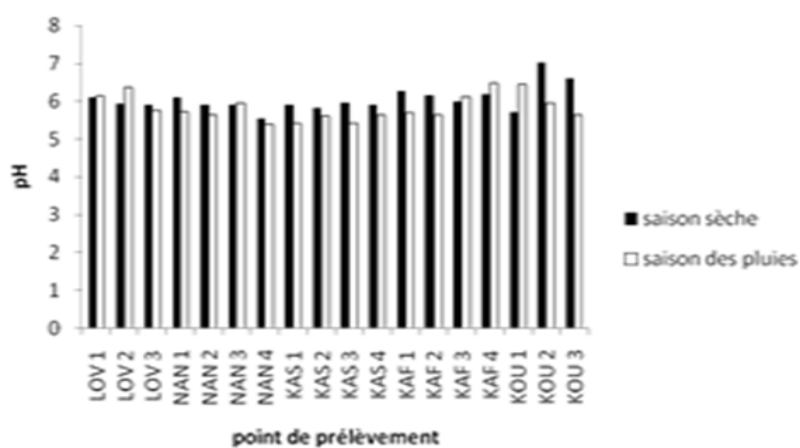


Figure 4 : Variation spatio-temporelle du potentiel d'hydrogène (pH).

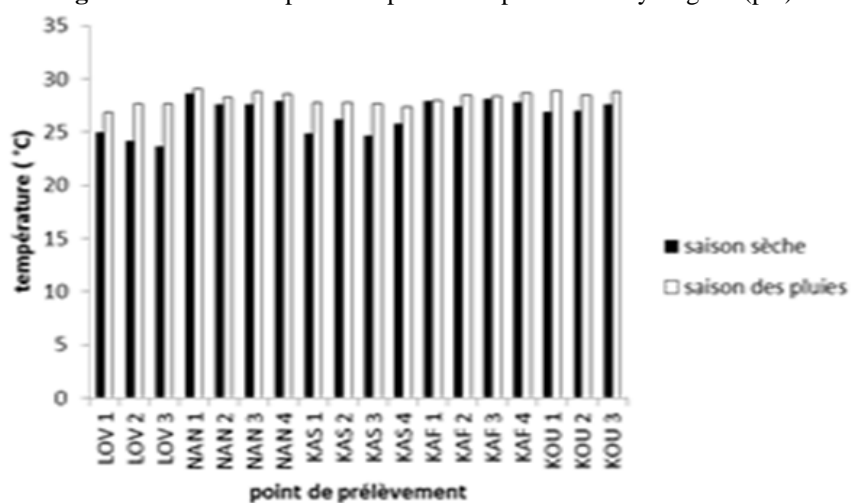


Figure 5 : Variation spatio-temporelle de la température.

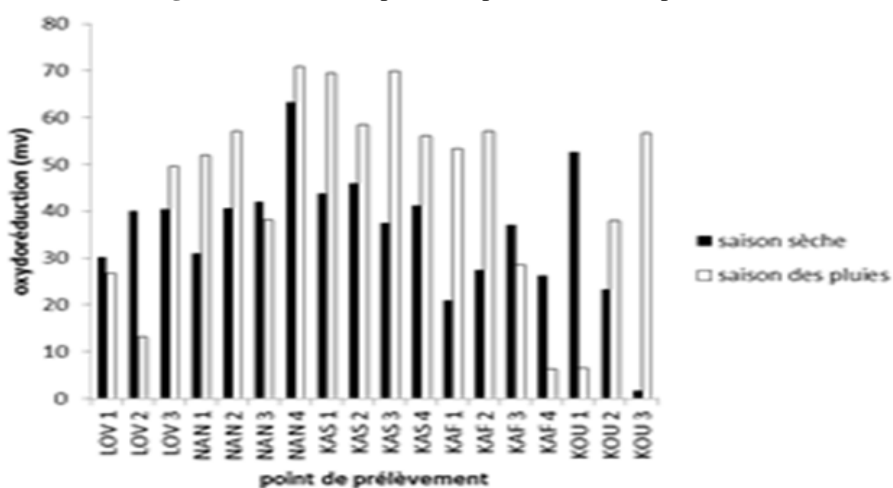


Figure 6 : Variation spatio-temporelle de l'oxydoréduction.



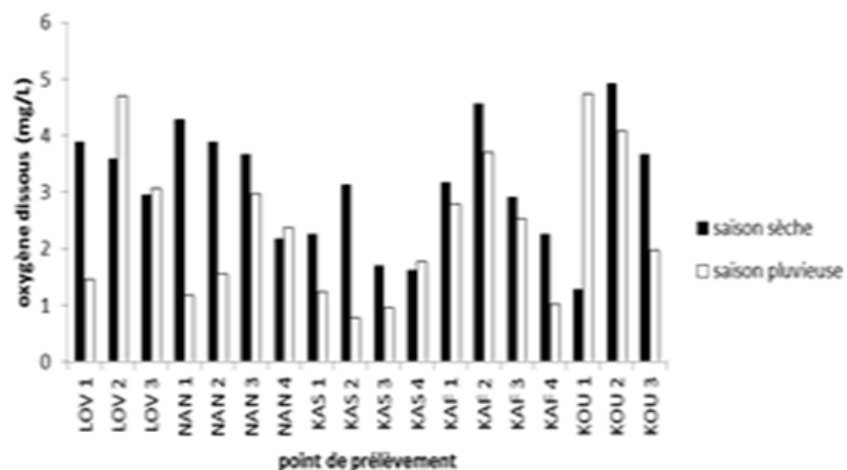


Figure 7 : Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous.

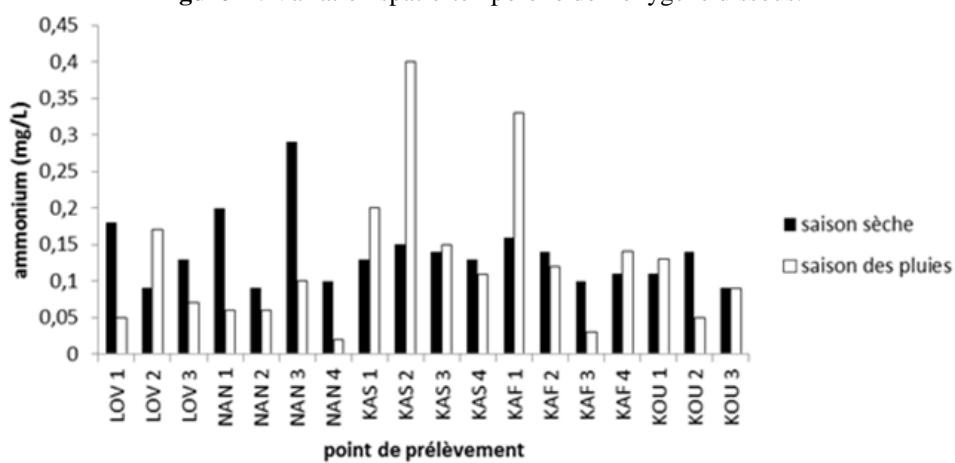


Figure 8 : Variation spatio-temporelle de l'ammonium.

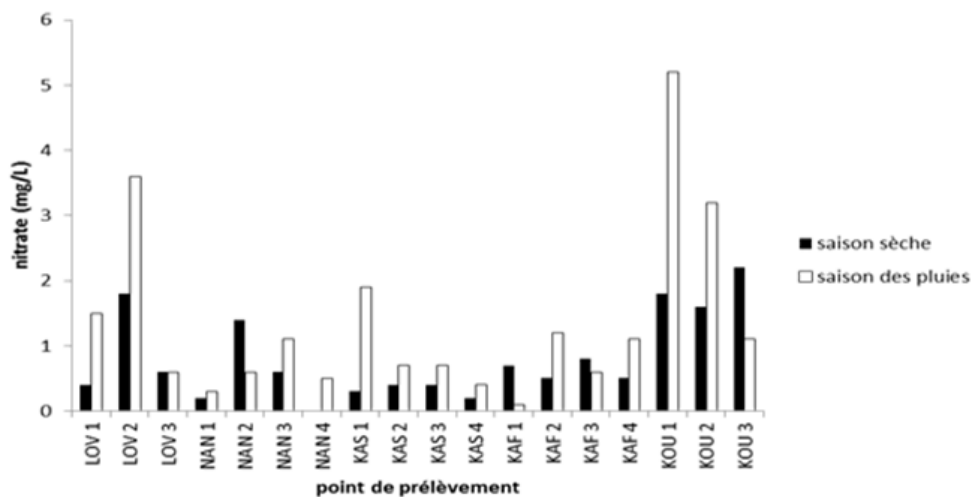


Figure 9 : Variation spatio-temporelle du nitrate.

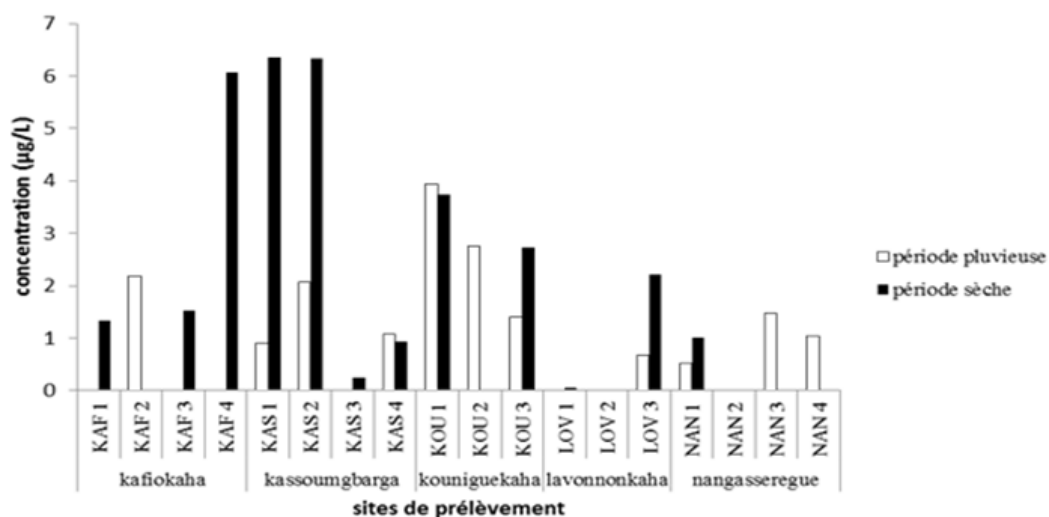


Figure 10 : Représentation de la quantité totale de pesticides par site de prélèvement.

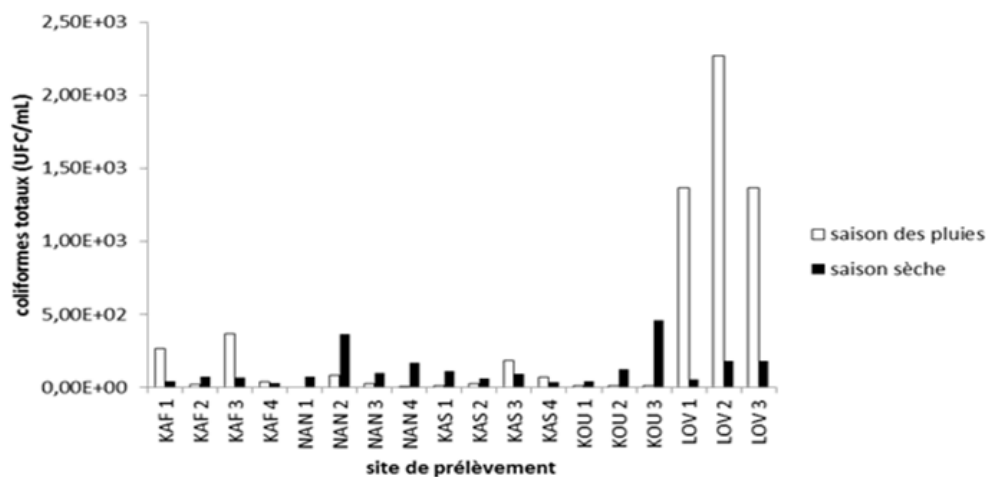


Figure 11 : Variation spatio-temporelle des coliformes totaux dans les eaux de puits.

Tableau 1 : Valeurs guides pour l'eau de boisson.

Paramètre	Valeurs guides OMS
pH	6,5 – 8,5
Conductivité	400 – 2000 µs/cm
Nitrate	50 mg/l
Ammonium	-
Coliformes totaux	0 UFC/100ml
pesticide	0,1 µg/l
Total pesticide	0,5µg/l

Source : OMS (2011).

**Tableau 2** : variation spatio-temporelle des teneurs en pesticides.

Localités	Chlorpyriphos éthyle		Parathion éthyle		Thiaméthoxam		Spirodiclofen		Deltaméthrine		Zoxamide		Carbaryl	
	pluies	sèche	pluies	sèche	pluies	sèche	pluies	sèche	pluies	sèche	pluies	sèche	pluies	sèche
LOV 1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
LOV 2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
LOV 3	0,45	0,90	<0,01	0,99	0,22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,33
NAN 1	0,53	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,71	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,30
NAN 2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
NAN 3	0,47	<0,01	<0,01	<0,01	0,19	<0,01	0,82	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
NAN 4	0,24	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	0,69	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
KAS 1	0,62	3,59	0,29	2,77	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
KAS 2	1,04	3,61	1,02	2,73	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
KAS 3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	<0,01	<0,01
KAS 4	1,07	0,92	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
KAF 1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,34
KAF 2	2,18	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
KAF 3	<0,01	1,52	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
KAF 4	<0,01	3,37	<0,01	2,35	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,35
KOU 1	2,05	<0,01	1,66	1,39	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,22	0,22	<0,01	<0,01	<0,01	2,12
KOU 2	1,48	<0,01	1,27	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
KOU 3	0,68	1,45	0,72	1,28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

LOV : Lavonnokaha ; NAN : Nangasseregué ; KAS : Kassoumbarga ; KAF : Kafiokaha ; KOU : Kounigekaha

## DISCUSSION

L'étude physico-chimique et microbiologique effectuée a permis de mettre en évidence la variabilité de la qualité des eaux de puits à usage agricole et domestique du département de Korhogo en fonction des saisons. Les valeurs de la conductivité enregistrées (de 59,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sont en deçà de la norme OMS (1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Soro et al. (2010) dans les eaux souterraines du district d'Abidjan en Côte d'Ivoire qui vont de 7 à 315  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Par ailleurs, ils traduisent une faible minéralisation des eaux de puits, ce qui expliquerait les valeurs nulles enregistrées pour la salinité des eaux. La faible minéralisation des eaux souterraines de socle en Côte d'Ivoire a déjà été signalée par Ligban et al. (2009) travaillant sur l'hydrogéochimie des réservoirs souterrains dans le degré carré de Daloa (centre ouest de la Côte d'Ivoire). La majorité des eaux ont des pH qui ne sont pas conformes aux normes OMS (6,5 - 8,5) et témoignent de l'acidité des eaux. Toutefois, ces pH sont semblables aux pH des sols ferrallitiques en zone tropicale et justifient le fait selon lequel les propriétés chimiques d'une eau souterraine ne sont pas significativement différentes de celles du sol qui l'encaisse et la protège (Mbawala et al., 2010). En outre, l'acidité constitue un des caractères essentiels des eaux en Côte d'Ivoire (Ahoussi et al., 2013). Selon Matini et al. (2009), l'acidité des eaux est liée à la décomposition de la matière organique végétale, avec la production de  $\text{CO}_2$  dans les premières couches du sol et à la géologie du milieu. Ainsi, la baisse du pH jusqu'à 5 observée dans la zone d'étude, indiquerait l'influence de la décomposition des végétaux dans le sol puisque celle-ci s'accompagne d'une acidification de l'eau interstitielle du sol. Comprises entre 23,7 °C et 29,1 °C, les valeurs de la température enregistrées sont

similaires à celles des eaux de socle en Côte d'Ivoire (Oga et al., 2009). L'oxygène dissous présente un minimum de 0,78 mg/l et un maximum de 4,93 mg/l. Il y a une similitude entre nos résultats et ceux de Nikiema et al. (2013) au Burkina Faso. Ils ont obtenu une moyenne de 3,47 mg/l d'oxygène dissous avec un minimum de 2,24 mg/l et un maximum de 5,65 mg/l durant la saison des pluies et des valeurs extrêmes de 0,13 mg/l et 7,97 mg/l durant la saison sèche. Ces résultats d'oxygène dissous suggèrent un état aérobie des ressources en eau. L'oxygène dissous dans les eaux proviendrait des aquifères peu profonds compris entre 0 et 10 m de profondeur comme suggéré par Olias et al. (2008). La répartition spatiale des teneurs en nitrate montre que les taux (0,01 mg/l à 5,2 mg/l) sont en deçà de la norme OMS qui le fixe à 50 mg/l. Toutefois, à l'état naturel, la teneur en nitrate d'une nappe souterraine dépasse rarement 1 mg/l (Laghzal et Salmoun, 2014). Ainsi, ces teneurs en nitrate excédant 1 mg/l semblent suggérer des apports ponctuels d'origine naturelle ou anthropique. En effet, la présence de nitrate dans les eaux de puits pourrait être expliquée par l'acquisition naturelle à partir des interactions eaux-roches encaissantes pendant le séjour de l'eau dans l'aquifère et de l'application des engrais ou fumiers sur les cultures voisines (Kouassi et al., 2010). Ces résultats corroborent ceux de Deh et al. (2012) qui ont démontré que la teneur en nitrate dans les eaux souterraines des zones à caractère pastoral est inférieure à 13,5 mg/l.

Les concentrations en ion ammonium des eaux de puits n'excèdent pas 0,4 mg/l et sont en deçà des 0,5 mg/l, norme OMS pour une eau de boisson. Les travaux de Soro (2013) sur les eaux souterraines de Tortiya (nord de la Côte d'Ivoire) ont également abouti à des teneurs en ammonium (0,00-0,06 mg/l) inférieures à la norme OMS. En revanche, les eaux de puits de la ville

d'Abidjan analysées par Yapou et al. (2010) présentent des concentrations en ammonium supérieures à la directive OMS. Pour ces dernières, cette hausse d'ammonium résulte d'une contamination d'origine superficielle liée essentiellement aux rejets d'effluents domestiques, à la réduction naturelle des nitrates et à la dégradation incomplète de la matière organique. Ainsi, Koné et al. (2009) avaient relevé que l'ion ammonium présent dans les eaux pourrait être lié aux rejets agricoles ou de la décomposition de la matière végétale. Néanmoins, bien que ne présentant pas des effets nocifs pour la santé humaine, l'ammonium est toxique pour les organismes aquatiques surtout pour le poisson et témoigne de l'existence d'une source de pollution.

Les cultures maraîchères occupent des superficies où divers types de légumes sont cultivés sur les mêmes espaces. Doumbia et Kwadjo (2009) ont noté que plusieurs variétés de pesticides étaient utilisées par les maraîchers à des doses plus ou moins non recommandées pour le traitement des cultures. C'est ce qui expliquerait la diversité de pesticides (chlorpyrifos éthyle, parathion éthyle, thiaméthoxame, spiroticlofen, deltaméthrine, zoxamide et carbaryl) retrouvés dans les eaux des sites d'études. Dans l'ensemble, les pesticides détectés ont des concentrations supérieures aux normes OMS. En effet, selon les normes OMS la teneur des pesticides dans une eau ne doit pas excéder 0,1 µg/l. En outre, la somme des pesticides dans une solution ne doit pas dépasser 0,5 µg/l. Les études réalisées par Traoré et al. (2006) et Giroux et al. (2013) ont également décelé la présence de pesticides dans les eaux de puits respectivement à Buyo en Côte d'Ivoire et dans le bassin versant de la rivière Châteauguay au Canada. Le chlorpyrifos éthyle est la molécule la plus représentée dans les puits échantillonnés. Cette molécule fut détectée en grande quantité (4,73 µg/l) par Traoré et al. (2006) dans 53% des eaux de

puits des régions agricoles du sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Les niveaux de pesticides décelés pourraient trouver leurs explications dans l'utilisation abusive et fréquente de ces molécules actives pour le traitement des cultures. Par ailleurs, la présence à ce jour de molécules comme le chlorpyrifos éthyle et le parathion éthyle malgré les interdictions dont elles font l'objet, pourrait être due à leurs persistances dans l'environnement ou à une utilisation frauduleuse.

Si l'on excepte les cas de pollutions ponctuelles liées à des déversements intempestifs, la contamination des eaux se produit suite à l'épandage des pesticides. Aussi, selon Whitmore et Chen (2013), plusieurs facteurs sont associés à la présence de pesticides dans les eaux souterraines. Il s'agit des caractéristiques du milieu (type de sol, hydrogéologiques, profondeur de l'aquifère), des caractéristiques intrinsèques des substances (solubilité, demi-vie, coefficient d'adsorption au sol,...) et les pratiques culturales (quantités appliquées, les types de cultures). Dans le cas de la zone d'étude, les pratiques culturales et les ruissellements peuvent être les principales sources de contamination des eaux souterraines. En effet, la nature et la rotation des cultures au sein d'une même parcelle ont une influence souvent significative sur le transfert des substances phytosanitaires. En outre, nous avons constaté sur le terrain des arrosages trop abondants des cultures qui se traduisent par l'écoulement des eaux.

Les coliformes totaux sont des microorganismes de l'environnement qui sont généralement non nocifs, la plupart des espèces de ce groupe se retrouvent naturellement dans le sol ou la végétation (Edberg et al., 2000). Toutefois, la présence de ces bactéries pourrait traduire une contamination d'origine fécale (OMS, 2011). Les concentrations de coliformes totaux rencontrées dans les eaux de puits du

département de Korhogo varient de 0 UFC/ml à  $1,36 \cdot 10^3$  UFC/ml. Ces quantités de coliformes totaux obtenues dépassent largement les 0/100 ml fixés par l'OMS pour une eau potable. La présence des coliformes totaux dans les eaux de puits pourrait résulter de l'infiltration directe des eaux de surface. Des résultats comparables aux nôtres ont été trouvés dans les puits des régions urbaines de Kampala où une moyenne de 815 UFC/100 ml de coliformes a été détectée durant la saison des pluies contre 10 UFC/100 ml pendant la saison sèche (Kulabako et al., 2007). De même, une différence de concentration de coliformes totaux en fonction de la saison a été obtenue par Owamah et al. (2013). Ils ont obtenu des coliformes totaux variant entre 1 et 15 UFC/100 ml pendant la saison des pluies et entre 1 et 7 UFC/100 ml durant la saison sèche. Aussi, cette fluctuation de bactéries confirme-t-elle l'existence d'une pollution bactérienne dans les eaux de puits de la zone d'étude. Les valeurs de coliformes totaux obtenues dans cette étude sont semblables à ceux de Douagui et al. (2012). Ces auteurs ont trouvé dans les eaux de puits de la partie sud du District d'Abidjan une forte présence de coliformes totaux qui atteignent 1000 UFC/100 ml contre des *E. coli* quasi inexistantes dans les eaux. Mouloko et Gaye (2001) ont également signalé une présence supérieure aux normes OMS de coliformes totaux dans les eaux souterraines de Brazzaville au Congo. La croissance et l'abondance des coliformes totaux montrent les bonnes conditions d'aération et les eaux riches en oxygène dissous. Par ailleurs, l'acidité des eaux de la région pourrait favoriser la prolifération des coliformes totaux. Cette hypothèse est soutenue par les travaux de Douagui et al. (2012) qui ont révélé une corrélation positive entre l'abondance de coliformes totaux et l'acidité du pH (moyenne de 5,8).

## Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont permis de dresser un portrait de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits du département de Korhogo. Sur le plan physico-chimique, les eaux sont faiblement minéralisées (conductivité entre  $59,5 \mu\text{s/cm}$  et  $225 \mu\text{s/cm}$ ) et acides ( $5,53 \leq \text{pH} \leq 7,02$ ). La salinité de l'eau est nulle. Les eaux ne sont pas soumises à une pollution azotée mais renferment une diversité de pesticides dont la concentration est supérieure aux recommandations de l'OMS. Bien qu'ayant révélé l'absence d'agents pathogènes tels que les protozoaires et *E. coli* O157, les analyses microbiologiques effectuées ont montré une forte concentration de coliformes totaux. L'étude a ainsi mis en évidence la vulnérabilité des eaux de puits du département de Korhogo au Nord de la Côte d'Ivoire face à la pollution d'origine anthropique et environnementale.

## REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements au Programme d'Appui Stratégique à la Recherche Scientifique (PASRES) pour le financement de ce projet. Nous remercions le Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire, l'Université Nangui Abrogoua, la confédération Suisse à travers son programme de bourse d'excellence et l'Eawag pour l'aide multiforme apportée à la réalisation de cette étude.

## COMPETING INTERESTS

The authors declare that they have no competing interests.

## CONTRIBUTION DES AUTEURS

RIY est l'investigateur principal ; VM a contribué à la collecte et l'analyse des données, et à la rédaction du manuscrit ; CAA a contribué à l'analyse des données,

interprétation des résultats et rédaction de l'article ; MJO, RL, DD et CS ont participé à l'interprétation des résultats, la lecture et la correction du manuscrit ; BB a assuré la supervision générale des travaux effectués.

## REFERENCES

- Ahoussi KE, Koffi YB, Kouassi AM, Soro G, Biemi J. 2013. Etude 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.
- AFNOR (Association Française de Normalisation). 2001. *Qualité de L'Eau (Environnement)* (6<sup>e</sup> edn). Association Française de Normalisation, Paris.
- Deh KS, Kouame KJ, Saley MB, Tanoh KJJ, Anani KA, Signo KH, Jourda JP, Biémi J. 2012. Evaluation de la vulnérabilité spécifique aux nitrates (NO<sub>3</sub>) des eaux souterraines du District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(3): 1390-1408.
- Douagui AG, Kouame IK, Koffi K, Goula ATB, Dibi B, Goné DL, Coulibaly K, Seka AM, Kouassi AK, Mangoua JMO, Savané I. 2012. Assessment of the bacteriological quality and nitrate pollution risk of quaternary groundwater in the southern part of Abidjan District (Côte d'Ivoire). *Journal of Hydro-Environment Research*, **6**: 227-238.
- Doumbia M, Kwadjo KE. 2009. Pratiques d'utilisation et de gestion des pesticides par les maraîchers en Côte d'Ivoire: cas de la ville d'Abidjan et deux de ses banlieues (Dabou et Anyama). *Journal of Applied Biosciences*, **18**: 992-1002.
- Edberg SC, Rice EW, Karlin RJ, Allen MJ. 2000. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, **88**: 106-116.
- Giroux I, Roy N, Lamontagne C. 2013. Présence de pesticides dans l'eau souterraine en milieu agricole : étude du bassin versant de la rivière châteauguay. *Canadian Water Resources Journal*, **35**(4): 527-542.
- Jourda JP, Djagoua EV, Kouamé K, Saley MB, Gronayes C, Achy JJ, Biémi J, Razack M. 2006. Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire): apport de l'imagerie ETM+ de Landsat. *Revue Télédétection*, **6**: 123-142.
- Koné M, Bonou L, Bouvet Y, Joly P, Koulidiaty J. 2009. Etude de la pollution des eaux par les intrants agricoles : cas de cinq zones d'agriculture intensive du Burkina Faso. *Sud Sciences et Technologies*, **17**: 6-15.
- Kouassi MA, Yao AK, Ahoussi EK, Seki CL, Yao A, Kouassi IK, Biemi J. 2010. Apports des méthodes statistiques et hydrochimiques à la caractérisation des eaux des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**: 1816-1838.
- Kulabako NR, Nalubega M, Thunvik R. 2007. Study of the impact of land use and hydrogeological settings on the shallow groundwater quality in peri-urban area of Kampala, Uganda. *Science of the Total Environment*, **381**: 180-199.
- Laghzal A., Salmoun F. 2014. Contribution to the characterisation of the physico-chemical quality of water of some springs in the region of Tangier-tetouan (Morocco). *Larhyss Journal*, **20**: 7-24.
- Lamribah A, Benajibam H, Saoud Y, Ahrikat M, Benzakour M. 2013. Impact de la pollution urbaine sur la contamination

- par les nitrates et les nitrites de la nappe phréatique de Martil (Maroc). *Larhyss Journal.*, **14**: 79-91.
- Lighan R, Gone LD, Kamagate B, Saley MB, Biemi J. 2009. Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**: 38-47.
- Matini L, Moutou JM, Kongo-Mantono MS. 2009. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au sud-ouest de Brazzaville, Congo. *Afrique Science*, **5**(1): 82-98.
- Mbawala A, Abdou, Ngassoum MB. 2010. Evaluation de la pollution physico-chimique et microbienne des eaux de puits de Dang-Ngaoundéré (Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(6): 1962-1975.
- Moukolo N, Gaye B. 2001. Problème de contamination des nappes phréatiques par les rejets domestiques d'Afrique Noire. Cas de la nappe de Brazzaville au Congo. *Sécheresse*, **1** : 175-182.
- Nangah KY, Angui KTP, Kouakou YKN, Rusu E, Yao-Kouame A, Savane I. 2013. Teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans quelques sols manganésifères dérivés de matériaux volcano-sédimentaires de côte d'ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **2**: 372-383.
- Nikiema J, Gläber W, Krieg R, Schirmer M. 2013. Trace elements and their correlation in hand-dug wells in a laterite environment in a semi-arid region: case study of Tikaré, Northern Burkina Faso. *Environ Earth Sci.*, **69**: 2393-2414.
- Oga M-S., Lasm T, Yao KT, 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*, **3**: 72-87.
- Oliàs M, González F, Cerón JC, Bolívar JP, González-Labajo J, García-Lopez S. 2008. Water quality and distribution of trace elements in the Donaña aquifer (SW Spain). *Environ Geol.*, **55**: 1555-1568.
- Onetie OS, Lasm T, Baka D, Fossou MR, Kouakou SO, Youan TM, Lasme OD, Oga M-S, Soro N. 2010. Influence des pertes de charges quadratiques sur la transmissivité et le débit spécifique déterminés sur des forages isolés : cas de la région de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **16**: 261-283.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 2011. *Guidelines for Drinking-water quality. Recommendations* (4<sup>th</sup> edn). Organisation Mondiale de la Santé : Geneva.
- Owamah HI, Asiagwu AK, Egboh SHO, Phil-Usiayo S. 2013. Drinking water quality at isoko north communities of the Niger Delta Region. *Toxicological et Environmental Chemistry*, **95**: 1116-1128.
- RGPH (Recensement Général de la Population et de l'Habitat), 2014. Données socio-démographique. Secrétariat Technique Permanent du Comité Technique du RGPH, p 26.
- Sener E, Davraz A. 2012. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified drastic model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal*, **21**: 701-714.
- Seow J, Ágoston R, Phua L, Yuk H-G. 2012. Microbiological quality of fresh vegetables and fruits sold in Singapore. *Food Control*, **25**: 39-44.
- SODEXAM, 2014. Données climatiques: zone de Korhogo. Base de données SODEXAM (Côte d'Ivoire), p 2.



- Soro N, Ouattara L, Dongo K, Kouadio KE, Ahoussi KE, Soro G, Oga YM-S, Savané I, Biémi J. 2010. Déchets municipaux dans le District d'Abidjan en Côte d'Ivoire : sources potentielles de pollution des eaux souterraines. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **4**(6): 2203 – 2219.
- Soro TD, Ahoussi KE, Oga YMS, Soro G, Soro N. 2013. A Multivariate Statistical Analysis of groundwater Chemistry Data in the Highest Bandama Basin at Tortiya (Northern Côte D'Ivoire). *Earth Resources*, **1**: 72- 77.
- Traore SK, Mamadou K, Dembele A, Lafrance P, Mazellier P, Houenou P. 2006. Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire (centre, sud et sud ouest). *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, **1**: 1-9.
- Whitmore RW, Chen W. 2013. A survey sampling approach for pesticide monitoring of community water systems using groundwater as a drinking water source. *J. Agric. Food. Chem.*, **61**: 11771-117781.
- Yao Tk, Oga M-S, Fouche O, Baka D, Pernelle C, Biemi J. 2012. Evaluation de la potabilité chimique des eaux souterraines dans un bassin versant tropical : cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(6): 7069-7089.
- Yapo OB, Mambo V, Seka A, OHOU MJA., Konan F, Gouzile V, Tidou AS, Kouame KV, Houenou P. 2010. Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**: 289-307.