

Pollution urbaine et processus d'acidification des eaux de puits de la ville d'Abidjan, Côte d'Ivoire.

**Yves A. Gnagne, Bernard O. Yapo, Véronique Mambo,
Ladji Meite , Pascal Houenou**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

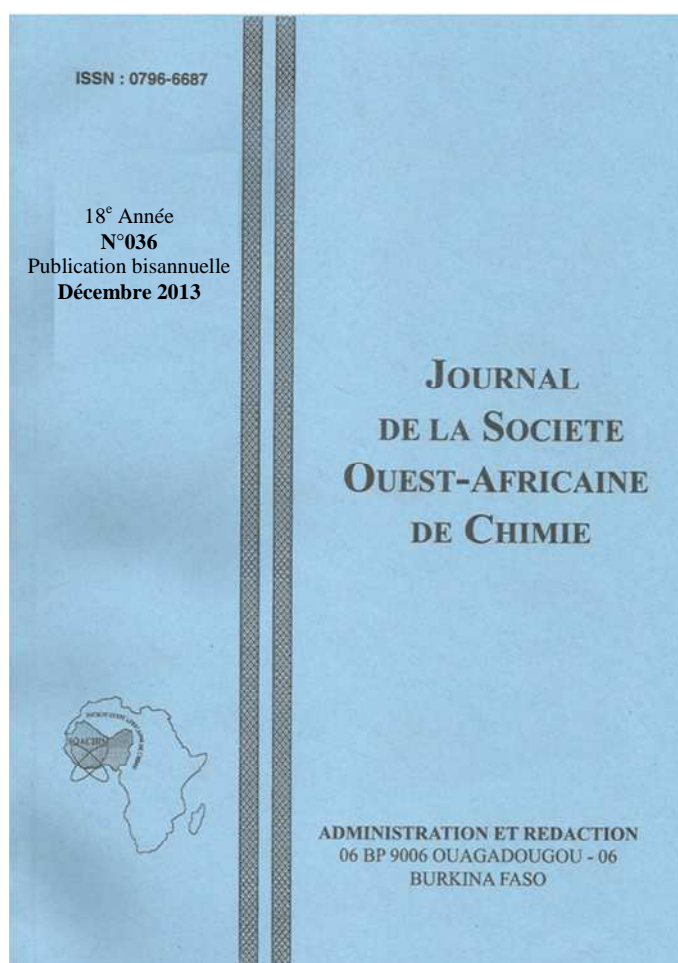
J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2013), 036 : 55 - 61
18^{ème} Année, Décembre 2013

ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

Site Web: <http://www.soachim.org>



Pollution urbaine et processus d'acidification des eaux de puits de la ville d'Abidjan, Côte d'Ivoire.

**Yves A. Gnagne^{a*}, Bernard O. Yapo^a, Véronique Mambo^a, Ladjji Meite^a,
Pascal Houenou^a**

¹*Laboratoire des Sciences de L'environnement (LSE), Unité de Formation et de Recherches en Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE), Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.*

(Reçu le 06/02/2013 – Accepté après corrections le 03 /03/2014)

Résumé : Les puits à usages domestiques constituent une source importante en eau pour une bonne partie de la population d'Abidjan. Ces puits, du fait de leur environnement urbain immédiat malsain, sont confrontés à la dégradation de la qualité de leurs eaux. Le pH des eaux est acide. Ainsi, s'agit-il pour nous, de voir la part de la pollution urbaine dans l'acidification des eaux de puits à usage domestique de la ville d'Abidjan. Pour mener à bien cette étude, nous avons identifié quatre vingt dix-sept (97) puits qui ont fait l'objet d'enquête et d'analyse de qualité. Des prélèvements d'échantillons d'eaux de puits ont été effectués en saison pluvieuse et en début de saison sèche et analysés conformément aux méthodes AFNOR et celles décrites par Rodier. Les résultats obtenus ont permis d'une part, de caractériser les eaux de puits et d'autre part, d'établir l'existence d'un processus d'acidification anthropique de ces eaux. Les eaux de puits étudiées dans leur ensemble sont polluées en ammonium et en nitrate avec des teneurs supérieures aux valeurs guide de l'OMS (1,5 mg/L et 50 mg/L). Quant au processus d'acidification, il repose sur la production de l'acidité (H^+) provenant du phénomène de la nitrification ainsi que de la dissociation de l'acide bicarbonique (H_2CO_3) résultant de la dégradation de la matière organique. Le nitrate produit lors du phénomène de la nitrification constitue un indicateur de pollution anthropique des eaux souterraines. Cet élément est faiblement et négativement corrélé au pH ($r = -0,357$), au HCO_3^- ($r = -0,337$) et au NH_4^+ ($r = -0,146$). Cette étude traduit ainsi l'existence d'un processus d'acidification d'origine anthropique, lequel se déroule lentement dans le milieu naturel. Les populations concernées par cette étude doivent éviter toute intoxication, en réduisant les teneurs en ions nitrate de leurs eaux de puits par la technique de la dilution qui est la mieux indiquée pour les ménages enquêtés.

Mots clés : Puits à usages domestiques ; eau ; acidification ; pollution urbaine ; processus.

Urban pollution and acidification process water wells in the city of Abidjan, Ivory Coast

Abstract: Domestic wells are an important source of water for a good portion of the population of Abidjan. These wells, because of their immediate environment which is not always healthy, they face increased urban pollution. So is it for us to see from this pollution in the acidification of well water for domestic use in the city of Abidjan. To carry out this study, we identified ninety-seven (97) wells that have been the subject of investigation and analysis of quality. Samples of well water samples were carried out in the rainy season and early season hot and analyzed according to the methods AFNOR and those described by Rodier. The results obtained allowed one hand to characterize the well water and secondly, to establish the existence of a process of anthropogenic acidification of these waters. The waters of wells studied as a whole are polluted by ammonium and nitrate with values higher than WHO guideline value (1.5 mg / L and 50 mg / L). As for the acidification process, it is based on the production of acidity (H^+) from the phenomenon of nitrification and the dissociation bicarbonic acid (H_2CO_3) which is a product of the degradation of organic matter. The nitrate produced during nitrification phenomenon is an indicator of anthropogenic pollution of groundwater. This element is weakly and negatively correlated with pH ($r = -0,257$), HCO_3^- ($r = -0,237$) and NH_4^+ ($r = -0,146$). This study therefore reflects a low correlation between pollution and the acidification of water wells. It thus shows the existence of a process of anthropogenic acidification on what takes place slowly in the environment. The population involved in this study should avoid intoxication by reducing the levels of nitrate ions of their well water by dilution technique that is best suited to the households surveyed.

Keywords: Well to domestic uses; water; acidification; urban pollution; process.

* Auteur de correspondance : gaejey_2006@yahoo.fr

1. Introduction

Les eaux souterraines constituent une des principales sources d'approvisionnement de la population d'Abidjan en eau potable, notamment dans les quartiers à faible niveau d'assainissement. Une partie de cette population soit 99,6% s'approvisionne en eau de consommation à travers les forages modernes de la société de distribution d'eau de Côte d'Ivoire (SODECI) qui intercepte la nappe du continental Terminal. L'autre partie soit 0,4% de la population, faute de moyen financier, ou face aux coupures incessantes de l'eau produite par la SODECI, est obligée de trouver une alternative avec les puits traditionnels ou puits à usage domestique [1]. Ces puits captent la nappe du quaternaire qui est très sensible à la pollution urbaine.

En général, ces eaux sont acides du fait du milieu silicaté qui constitue leurs aquifères [4, 20].

Toutefois, à notre connaissance, l'origine anthropique de l'acidification des eaux de la nappe phréatique d'Abidjan n'a pas encore fait l'objet d'étude. Certains quartiers de cette ville ne disposent pas tous de dispositifs adéquats d'évacuation des eaux usées. Par ailleurs, 45% des déchets sont non collectés et se retrouvent directement dans la nature entraînant un risque certain de pollution de la qualité des eaux souterraines de la ville [7].

En outre, des études antérieures ont montré une pollution importante des eaux de la nappe phréatique d'Abidjan par les nitrates, considérés comme un indicateur de pollution anthropique des eaux souterraines [10, 19]. Il nous semble donc opportun de connaître l'impact de la pollution urbaine sur les eaux de puits à usage domestiques et

la contribution de cette pollution dans l'acidification anthropique de ces eaux, surtout que ce phénomène s'accompagne de la mise en solution de métaux lourds (Pb, Al, Cu) qui dégradent la qualité des eaux de consommation à usage domestique [6] et sur la santé de la population cible.

2. Matériel et Méthodes

2.1 Présentation de la zone d'étude

Abidjan (**Figure 1**) est la capitale économique de la Côte d'Ivoire. Elle se situe au sud du pays entre les latitudes 5°00' et 5°30' Nord et les longitudes 3°50' et 4°10' Ouest [13]. Elle s'étend sur une superficie de 577,35 Km² dont 89,81 Km² de lagune soit 16% de la superficie. Avec une population d'environ 3,5 millions d'habitants en 2005 [17], elle comprend 10 communes dont les communes de Koumassi, Yopougon, Attecoubé et Abobo font l'objet de la présente étude [14].

2.2 Cadre géologique et hydrogéologique

Le cadre géologique de la région d'Abidjan se confond à celui du bassin sédimentaire côtier ivoirien. Il s'étend sur 400 Km de long et 40 Km de large. Au Nord, les terrains géologiques sont constitués des sédiments du tertiaire représentés par les sables, les argiles, les grès ferrugineux. Vers les bordures lagunaires l'on rencontre les vases et les sables lessivés. Au Sud, ce sont les sédiments du quaternaire constitués de sables des cordons marins, de sables. On dénombre trois principaux aquifères [3] : l'aquifère du quaternaire, du continental terminal et celui du Maestrichtien.

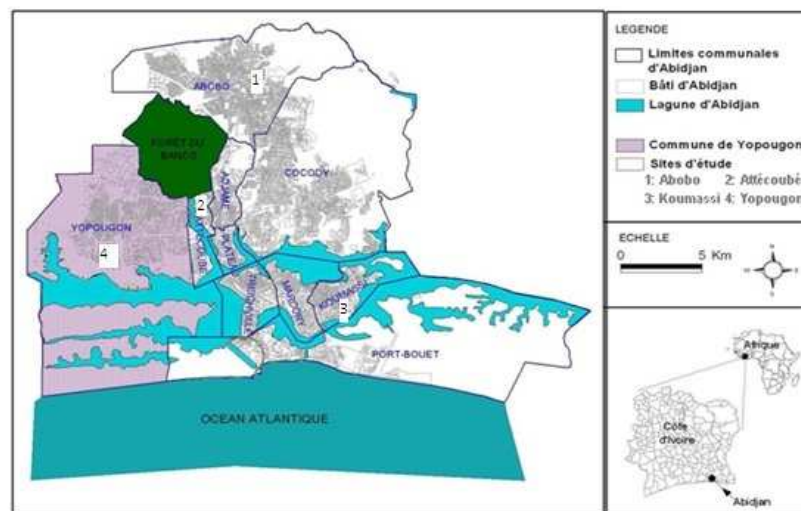


Figure 1 : Carte de la situation de la zone d'étude

2.3 Echantillonnage

Cette étude a été effectuée sur 97 puits à usage domestique captant la nappe phréatique au niveau de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) qui sont : Abobo, Attécoubé, Koumassi et Yopougon. Ces communes ont été choisies comme site d'échantillonnage en tenant compte des critères suivant : présence de puits ; densité de la population et le taux de raccordement des ménages au réseau d'assainissement. Ainsi dix puits (10) ont été retenus à Abobo (B) du fait de leurs profondeurs et vingt neuf (29) dans les communes d'Attécoubé (A), de Koumassi (K) et de Yopougon (Y). L'étude s'est faite sur deux périodes, à savoir les saisons sèche et humide, pour prendre en compte le rôle des phénomènes d'infiltration et de ruissellement.

La première période d'échantillonnage a eu lieu pendant la grande saison pluvieuse du 28 au 30 juillet 2008. La deuxième période a eu lieu du 04 au 06 Décembre, c'est-à-dire au début de la grande saison sèche. Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une puisette. L'eau ainsi recueillie est transvasée dans des bouteilles en polyéthylène de 1000 mL étiquetées. Ces bouteilles sont rapidement fermées de manière à ce que l'échantillon ne contienne pas de bulle d'air, afin d'éviter la variation de la teneur en CO₂, de la précipitation des carbonates et de l'oxydation des éléments minéraux comme le fer, et le manganèse. Les bouteilles en polyéthylène sont alors mises à l'abri de la lumière dans des glacières contenant de la glace pour maintenir les températures à 4°C jusqu'au laboratoire.

2.4 Analyse des échantillons d'eaux

Les mesures de la profondeur des puits ont été effectuées au cours du prélèvement à l'aide d'une sonde piézométrique sonore. Les paramètres physiques tels que, le pH et la conductivité de l'eau ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un pH-mètre de marque HACH Sension 1, d'un conductimètre de marque HACH Sension 5. Les ions sulfates, nitrites, nitrates et les ions ammonium ont été mesurés par absorption moléculaire à l'aide d'un spectromètre HACH/DR 2010. La matière organique a été dosée par la détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium. Quant à l'alcalinité, elle a été dosée par titrimétrie. Toutes ces analyses ont été réalisées selon les méthodes de l'Agence Française de normalisation AFNOR et de celles décrites par Rodier [2,18]. Les données collectées ont été traitées en utilisant des approches statistiques que sont la moyenne arithmétique,

l'écart type, l'analyse en composante principale (ACP) et le coefficient de corrélation. L'application de l'analyse en composante principale (ACP) sur l'ensemble des données a permis de mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles pour situer la forces de leurs association. Ces traitements statistiques ont été réalisés grâce au logiciel XLstat 5.0.

3. Résultats et discussion

3.1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits

Dans le **tableau I** sont consignées les teneurs moyennes des paramètres hydrochimiques des eaux de puits des quatre communes de la ville d'Abidjan. Ce tableau révèle que la conductivité des eaux de puits est variable d'une commune à une autre. Les eaux de puits de Koumassi et d'Attécoubé ont des conductivités moyennes presque identiques et varient de 954 µS/Cm à 1084,9 µS/Cm. Ces conductivités sont différentes de celles des eaux de Yopougon et d'Abobo dont les valeurs moyennes varient entre 485,1 µS/Cm et 166,1 µS/Cm. Les valeurs moyennes de la conductivité des eaux de Koumassi et Attécoubé indiquent que ces eaux sont fortement minéralisées [18]. Tandis que celles des eaux de Yopougon et d'Abobo indiquent le contraire. Cette différence pourrait s'expliquer par la proximité des puits avec la lagune Ebrié. Selon Durand *et al.* [9], la minéralisation augmente lorsque l'on se rapproche des bords lagunaires. La majorité des puits identifiés à Koumassi et à Attécoubé sont très proche de la lagune comparée à ceux identifiés à Abobo et à Yopougon. Les valeurs moyennes du pH varient de 5,1 à 6,2. Elles sont presque identiques d'une commune à une autre. Aussi les teneurs moyennes des ions chlorures (Cl⁻) et sulfates (SO₄²⁻) varient respectivement de 26,7 à 100,2 mg/L et de 5 à 47,5 mg/L. Les teneurs moyennes de la matière organique des eaux de puits des quatre communes varient de 2,2 à 4,65 mg/L. Il ressort que les teneurs en ions chlorures, sulfates, nitrites et en matière organique présents dans les eaux de puits des quatre communes est inférieures aux valeurs guide de l'organisation mondiale de la santé (OMS) pour l'eau potable [15]. Quant aux ions ammonium (NH₄⁺) et nitrate (NO₃⁻), leurs teneurs moyennes varient respectivement de 0,6 mg/L à 4,8 mg/L et de 27,8 mg/L à 53,7mg/L. Considérés par nombreux auteurs comme indicateur de pollution exogène des eaux souterraines, les concentrations moyennes de ces deux espèces azotées indiquent

nettement une contamination des eaux de puits en nutriments azotés [4, 8, 19]. La contamination de ces eaux trouverait leurs origines dans les apports extérieurs, liés aux activités anthropiques. En effet, le système d'assainissement des foyers investigués est de type individuel, assuré par des fosses septiques et des latrines familiales non étanches, creusées dans la nappe. Ce dispositif favorise une infiltration directe des eaux usées dans la nappe [5]. Aussi, la présence de dépôts d'ordures ménagères, des élevages à proximité des puits et l'insuffisance des systèmes de protection contribueraient à la contamination de la nappe en composés azotés [8, 12].

3.2 Processus d'acidification anthropique des eaux de puits

3.2.1 Relation entre les différents paramètres hydrochimiques de l'eau de puits

L'application de l'analyse en composante principale (ACP) sur l'ensemble des données met en relief les différentes familles corrélées entre elles et permet de montrer le regroupement des paramètres physico-chimiques fortement liés entre eux.

Dans le cadre de l'étude, nous observons que le plan factoriel F1-F2 (**Figure 2**) est le plus important. Il exprime quasiment 70% de la variance exprimée et dégage donc la majorité des informations qu'on attend de cet ACP. L'analyse du cercle de communauté (**Figure 2**) permet de dégager deux principaux regroupements de paramètres physico-chimiques. Le premier groupe (P1) est constitué de

Cond, pH, NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- et Cl^- . Selon le tableau de corrélation (**Tableau II**), des éléments de ce groupe entretiennent de fortes liaisons avec la conductivité (Cond et Cl^- (0,737), Cond et SO_4^{2-} (0,637), Cond et NH_4^+ (0,603)). En plus de cela il existe une bonne corrélation entre SO_4^{2-} et Cl^- (0,660). De ce fait, le facteur 1 (F1) indique le phénomène de la minéralisation des eaux de puits étudiées. Ainsi il oppose les eaux fortement minéralisées à celles faiblement minéralisées. Le deuxième groupe (P2) est constitué de NO_3^- , Prd (Profondeur), rH et indique une opposition entre les eaux polluées par les nitrates et celles polluées par la matière organique. Ainsi l'opposition entre les deux regroupements par rapport au facteur 2 (F2) montre la dégradation de la matière organique dont l'un des produits finaux est la formation de nitrate qui s'accompagne de la diminution de nitrite, de l'ammonium et de l'augmentation de l'acidité du milieu suite à la production de protons (H^+).

L'analyse dans l'espace des variables (**Figure 2**) met en évidence un gradient de minéralisation et d'acidité qui se fait en sens contraire, c'est-à-dire de la gauche vers la droite pour les eaux de plus en plus minéralisées et de la droite vers la gauche pour les eaux de plus en plus acide. Ainsi il se dégage de cette analyse, deux grandes classes d'eau de puits étudiés délimité par l'axe F2. Ce sont :

Classe 1 caractérisée par les eaux faiblement minéralisées et acides.

Classe 2 caractérisée par les eaux fortement minéralisées et faiblement acide.

Tableau I : Paramètres physiques et chimiques des eaux de puits par commune

Communes		paramètres								
		Cond μS/cm	pH	MO mg/L	NH_4^+ mg/L	NO_2^- mg/L	NO_3^- mg/L	Cl^- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	HCO_3^- mg/L
Koumassi	Min	194,7	3,63	11,2	0,5	0,01	3,9	30,2	5,8	8
	Moy	1084,9	5,25	4,65	4,8	0,2	44,3	100,2	36,9	43,5
	Max	4380	6,67	1,65	16,8	3,4	105	244,9	101,6	149,9
	σ	752,5	0,91	2,51	4,9	0,6	41,3	54,9	24,2	41,9
Yopougon	Min	92,1	4,3	1	0,2	0,01	2,2	20,4	3,8	10
	Moy	485,1	5,73	4,5	1,7	0,2	57,3	56,4	18,2	31,1
	Max	1565	7,4	18,2	11,7	1	252	131,4	56,7	290
	σ	402,4	0,9	2,9	3,1	0,25	51,6	31,1	11,9	54
Attecoube	Min	152,4	4,8	1,6	0,1	0,1	5,3	24,8	2,5	10
	Moy	954	6,2	4	2,7	0,4	32	93	47,5	63,8
	Max	1685	7,2	11,1	11,5	3,3	85,5	147,3	131,4	220
	σ	350	0,7	2,2	3,1	0,6	18,7	33,8	31,8	54,13
Abobo	Min	11,4	4,2	0,8	0,2	0,01	10,2	16	1,8	10
	Moy	166,1	5,1	2,2	0,6	0,3	27,8	26,7	5	16
	Max	493	6,5	7,6	1,1	1,4	59	45,3	13,7	30
	σ	159,3	0,7	2	0,3	0,5	16,7	10,4	4	7

Min : Minimum ; Moy : Moyenne ; Max : Maximale ; σ : Ecart-Type ; MO : Matière organique ; Cond : Conductivité

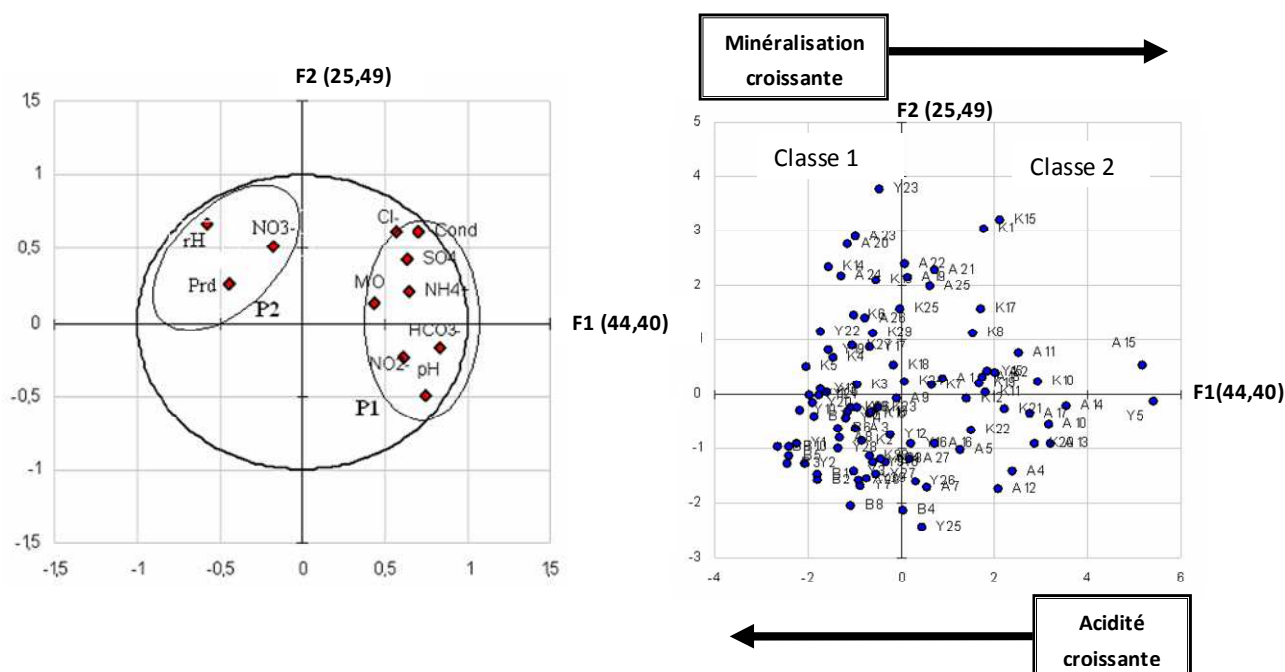


Figure 2 : Cercle de communauté du plan factoriel F1-F2 ; Unité statistiques du plan factoriel F1-F2, Y : Yopougon ; K : Koumassi ; A : Attecoubé ; B : Abobo

Tableau II : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques des eaux de puits

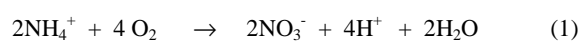
	Prd	Cond	rH	pH	MO	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Prd	1										
Cond	-0,147	1									
rh	0,277	0,010	1								
pH	-0,366	0,181	-0,775	1							
MO	-0,064	0,325	-0,150	0,359	1						
NO ₃ ⁻	0,409	0,164	0,392	-0,357	0,105	1					
NO ₂ ⁻	-0,188	0,303	-0,442	0,663	0,259	-0,077	1				
NH ₄ ⁺	-0,209	0,603	-0,325	0,220	0,213	-0,146	0,234	1			
Cl ⁻	-0,111	0,767	0,124	0,160	0,227	0,064	0,180	0,383	1		
SO ₄ ²⁻	-0,177	0,637	-0,070	0,286	0,225	0,016	0,208	0,322	0,660	1	
HCO ₃ ⁻	-0,385	0,477	-0,661	0,666	0,171	-0,337	0,440	0,468	0,360	0,457	1

Prd : Profondeur du puits ; rH : Potentiel redox, MO : Matière organique

3.2.2 Relation entre NO₃⁻ et le bloc formé par pH, HCO₃⁻, NH₄⁺

L'opposition entre NO₃⁻ et le bloc formé par le pH, HCO₃⁻ et NH₄⁺ dans le cercle de communauté du plan factoriel F1-F2 de la **Figure 2** indique que la teneur en NO₃⁻ évolue en sens contraire avec pH (r= -0,357), les teneurs en HCO₃⁻ (r= -0,337) et avec la teneur en NH₄⁺ (r= -0,146) du fait du lien négatif que le bloc partage avec la teneur en NO₃⁻. Ainsi au moment où la teneur en NO₃⁻ augmentent dans le milieu, il s'en suit une diminution du pH et des

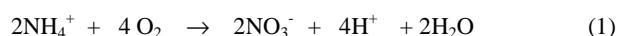
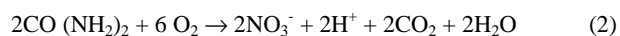
teneurs en NH₄⁺ et en HCO₃⁻. Cela signifierait que la production de nitrate, donc la nitrification s'accompagne d'une baisse de l'alcalinité et donc du pH. Car pendant la réaction de nitrification, il y a libération d'ions H⁺ dont le rôle est d'acidifier le milieu, réduisant ainsi la teneur en HCO₃⁻. Ce qui se traduit par la réaction suivante:



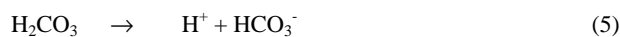
Ce résultat concorde avec celui de Portejoie *et al.* [16]. Selon ces auteurs, la production de nitrate dans le milieu, équivaut à la perte en ammonium et à la

perte en bicarbonate, entraînant une augmentation de la teneur en CO₂ de l'eau, affectant ainsi le pH.

Aussi dans le cas de l'étude, la nitrification pourrait aussi avoir lieu dans les parties superficielles du sol ou directement dans les eaux de puits dont la profondeur moyenne est de 3,6 m. D'après Ramade [17], la nitrification se produit autant dans les sols que dans les écosystèmes aquatiques. Dans la partie superficielle du sol, les ions H⁺, les nitrates, et le CO₂ sont produits selon les réactions suivantes :



Ces ions sont entraînés par lessivage du sol en profondeur et pourraient se retrouver dans la nappe du fait de sa faible profondeur [21]. Ainsi l'hydratation du CO₂ en H₂CO₃ et la dissociation de l'acide carbonique (H₂CO₃) conduisent à la production d'ions H⁺ et de HCO₃⁻ selon les réactions suivantes :



Les ions H⁺ obtenus vont conférer à l'eau une acidité. Cette acidité sera conservée du fait de la nature silicatée qui constitue cet aquifère [11]. La faible corrélation qui existe entre les ions nitrate et le bloc formé par le pH, les ions ammonium et bicarbonate (NO₃⁻ et pH (r= -0,357), NO₃⁻ et HCO₃⁻ (r= -0,337) et NO₃⁻ et NH₄⁺ (r= -0,146)) traduit un faible lien existant entre la pollution et l'acidification anthropique des eaux de puits. Ainsi elle montre l'existence d'un processus d'acidification d'origine anthropique, lequel se déroulant lentement dans le milieu.

4. Conclusion

En somme, l'étude hydrochimique a révélé que les eaux de puits à usage domestique étudiées sont majoritairement polluées en ions ammonium (NH₄⁺) et en ions nitrate (NO₃⁻). Cette pollution azotée serait en grande partie due aux apports extérieurs liés aux activités anthropiques se déroulant plus ou moins près de ces puits. Aussi l'on retient qu'en dehors de l'acidification naturelle des eaux de puits à usage domestique qui se déroule naturellement dans le milieu, il existe également un processus d'acidification anthropique sûrement dû aux activités anthropiques qui s'y déroule, mais

lentement. Ce processus repose sur la production de l'acidité (H⁺) provenant du phénomène de la nitrification ainsi que de la dissociation de l'acide bicarbonique (H₂CO₃) résultant de la dégradation de la matière organique. Le nitrate produit lors du phénomène de la nitrification constitue un indicateur de pollution anthropique des eaux souterraines. Cet élément est faiblement et négativement corrélé au pH (r= - 0,357), au HCO₃⁻ (r= - 0,337) et au NH₄⁺ (r= -0,146). Le phénomène d'acidification est très dangereux pour les ressources en eau car il a tendance à entraîner la mise en solution de métaux lourds qui sont très nocifs pour la santé humaine. Pour éviter toute intoxication en ions nitrate, les populations concernées doivent effectuer une dilution de leurs eaux riches en ion nitrate avec les eaux potables, pauvres en ces ions. Cette méthode pour l'heure est la mieux adaptée aux ménages enquêtés. Cependant d'autres moyens existent pour réduire les concentrations en ion nitrate lorsqu'elles sont supérieures à la valeur guide OMS. Ce sont les Procédés membranaires (l'osmose inverse, nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration tangentielle, électrodialyse) et la dénitrification biologique (réduction biologique des ions nitrate en azote gazeux en milieu anoxique) qui sont des méthodes complexes à mettre en œuvre au niveau des ménages investigués et trop coûteux pour nos pays.

5. Références Bibliographiques

- [1] Abbas S., Adje K., Essoh B., Kone I. et Yao K. E., (2007). Enquête par grappes à indicateurs multiples Côte d'Ivoire. Ministère du plan et du Développement de Côte d'Ivoire. Pagination multiple.
- [2] AFNOR, (1994). Qualité de l'eau (Environnement). Association Française de normalisation, 1^{ère} édition, Paris, 862 p.
- [3] Aghui N et Biémi, J., (1984). *Ann Univ Nat de Cote d'Ivoire*, série C (Sciences), tome 20, 313-348.
- [4] Ahoussi K.E., Soro N., Soro G., Lasme T., Oga M.S. et Zade S.P., (2008). *European Journal of scientific Research*, vol 20, N°2, 302-316.
- [5] Ahoussi. K.E., Soro N., Soro G., Kouadio F.J-C., Soro T.D. et Biémi J., (2007). *Journal Africain de communication Scientifique et Technologique. Série Sciences pures et Genie* N°2, 109-121.
- [6] Appleyard S., Wong S., Willis-Jones, Angeloni J. et Watkins R., (2004). *Australian journal soil Research*, 579-585.
- [7]. BNETD, (2002). Contrôle du service public de gestion et d'exploitation du balayage, de la précollecte, de la collecte et de la mise en

décharge des ordures ménagères de la ville d'Abidjan. Rapport d'activité de l'année 2002, 1-22.

[8] Chippaux J-P., Houssier S., Gross P., Bouvier C. et Brissaud F., (2002). *Bull Soc Pathol Exot*, 94, 2, pp 119-123.

[9]. Durand J.R., Dufour P., Guiral D. et Zabis S.G.F., (1994). Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire : les milieux lagunaires, tome II, édition de l'ORSTOM 543 p.

[10]. Fofana F., (2005). Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe d'Abidjan selon les méthodes Drastic et God. Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondie des Sciences et Gestion de l'Environnement option : Géoscience et Environnement. Université d'Abobo-Adjamé 72 p.

[11]. Gone D.L., Savane I. et Goble M. M., (2004). *Rev. Ivoir.Sci. Technol*, 05, 117-133.

[12]. Hanus J., (2005). Evaluation de la salubrité de l'eau des puits de Pointe-Noire. Caractérisation et études de santé. D.E.S en Science et gestion de l'environnement. Université Catholique de Louvain. 54 p.

[13]. Koffi N.D., (2005). Pollution des eaux de puits destinées à l'arrosage des cultures maraîchères dans la commune de Koumassi (Abidjan). Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondie des Sciences et Gestion de l'Environnement option : Géoscience et Environnement. Université d'Abobo-Adjamé 42 p.

[14]. Kouamé K. J., (2002). Apport d'un système d'information géographique à la réalisation de la carte de vulnérabilité de la nappe souterraine du continental

terminal au niveau de l'agglomération d'Abidjan. Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondie des Sciences de la terre option : Hydrogéologie. Université de Cocody, 64 p.

[15] OMS., (2006). Rapport sur l'évaluation de la situation mondiale de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement.

[16] Portejoie S., Martinez J. et Landmann G., (2002). *INRA Prod. Anim.* 15 (3), 151-160.

[17] United Nations, (2006). World Urbanization Prospects: The 2005 Revision. United Nations, New York. 210 p.

[18]. Ramade F., (2000). Dictionnaire Encyclopédique des pollutions. Professeur à l'Université de Paris sud (Orsay). Ediscience international 28 rue Beaumier - 75014 Paris. 690 p.

[19]. Rodier J., (1996). Analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 8^{ème} édition, DUNOD, Paris 1384 p.

[20]. Savane L., Goula-bi T.A., Aristide D.G et Kouame K.I., (2005). *Groundwater pollution in Africa taylor*. 115-124.

[21]. Tapsoba S. A., (1995). Contribution à l'étude géologique et Hydrogéologique de la région de Dabou (sud de la Côte d'Ivoire) : Hydrochimie, isotopie et indice de vieillissement des eaux souterraines .Thèse 3^e cycle Université National de Côte d'Ivoire 200 p.

[22]. Turin A., (1991). La pollution des eaux souterraines en lorraine, le cas des nitrates. Thèse Univ. Nancy II, France, 266 p.