

Evolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines du bassin versant de la Baya (Est Côte d'Ivoire)

[Spatio-temporal evolution of nitrate levels in the groundwater of the Baya watershed (Eastern Côte d'Ivoire)]

Germain Kobenan N'GUETTIA¹, Jules Mangoua Oi Mangoua², Aristide Gountôh DOUAGUI¹, Kouassi Narcisse ABOUA¹, and Lanciné Droh GONE¹

¹Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE), UFR Sciences et Gestion de L'environnement (SGE), Université Nangui Abrogoua (UNA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guedé, Daloa (UJLoG), BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study proposes to follow the temporal evolution of nitrate contents of groundwater and to map their spatial distribution. For this purpose, physicochemical analyzes and statistical treatments were carried out on 10 boreholes and 12 wells. The nitrate distribution map is obtained using the IDW (Inverse Distance Weighting) interpolation method. Nitrate levels in the Baya watershed range from 0.5 mg.L⁻¹ to 196.2 mg.L⁻¹. Well water is richer in nitrate than drilling water with an average grade of 28.77 and 13.51 mg.L⁻¹, respectively. Only 12% of nitrate levels are above the WHO guideline (50 mg.L⁻¹) for drinking water. These are the waters of P3 (79.5 mg.L⁻¹), P5 (110.8 mg.L⁻¹) and P8 (56 mg.L⁻¹) and F1 wells (47.1 mg.L⁻¹) F10 (109.6 mg.L⁻¹). In terms of time, unlike the drilling water, the nitrate concentrations of the wells of the rainy season are generally higher (33.96 mg.L⁻¹) than that of the dry period (23.59 mg.L⁻¹). Excessive nitrate levels are observed in the localities of Agnibilekro, Koun-fao, Tanda and the outlet of the main stream of Baya. This increase in nitrate levels is related to the geological nature of the soil and the anthropogenic pressure in the region.

KEYWORDS: Anthropogenic activities, groundwater, environment, nitrates, pollution.

RÉSUMÉ: Cette étude se propose de suivre l'évolution temporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines et de cartographier leur distribution spatiale. A cet effet, des analyses physico-chimiques et traitements statistiques ont été effectuées sur 10 forages et 12 puits. La carte de distribution des nitrates est obtenue à l'aide de la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighting). Les teneurs en nitrates observées dans les eaux du bassin versant de la Baya varient de 0,5 mg.L⁻¹ à 196,2 mg.L⁻¹. Les eaux de puits sont plus riches en nitrates que les eaux de forage avec une teneur moyenne respective de 28,77 et 13,51 mg.L⁻¹. Seulement, 12% des teneurs en nitrate sont supérieures à la directive OMS (50 mg.L⁻¹) pour une eau de consommation. Ce sont les eaux de P3 (79,5 mg.L⁻¹), de P5 (110,8 mg.L⁻¹) et de P8 (56 mg.L⁻¹) et les forages F1 (47,1 mg.L⁻¹) F10 (109,6 mg.L⁻¹). Au plan temporel, à l'opposé des eaux de forage, les concentrations en nitrate des puits de la saison pluvieuse sont en générale plus élevées (33,96 mg.L⁻¹) que celle de la période sèche (23,59 mg.L⁻¹). Les teneurs excessives en nitrates sont observées dans les localités d'Agnibilekro, de Koun-fao, de Tanda et à l'exutoire du cours d'eau principal de la Baya. Cette augmentation des teneurs en nitrates est en rapport avec la nature géologique du sol et la pression anthropique qui s'exercent dans la région.

MOTS-CLEFS: Activités anthropiques, eaux souterraines, environnement, nitrates, pollution.

1 INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable constitue l'une des préoccupations de toute l'humanité [1]. Pour cette raison, depuis des décennies, les États et les gouvernements d'Afrique en général et de la Côte d'Ivoire en particulier, s'attellent à doter leur population d'infrastructures hydrauliques adéquates. Dans la région de Gontougo, la croissance démographique et l'urbanisation ont contribué à rendre inefficaces les énormes efforts fournis par l'État ivoirien [2]. En plus, l'avènement de l'arboriculture ces dernières décennies avec son corolaire utilisatrice d'engrais et de certains produits chimiques, ne font l'objet d'aucune attention particulière, or plusieurs présentent des effets très nocifs pour la santé [3]. A cela, s'ajoute aujourd'hui, des problèmes de surexploitation et de pollution qui altèrent plus fréquemment la qualité de cette ressource. Plusieurs travaux réalisés en Afrique [4] et [5] relatent que la pollution des nappes fréquemment ressentie au niveau des centres urbains touche aussi les zones rurales de grande ou petite taille. Pour ces auteurs, la détérioration de la qualité de ces eaux est intimement liée aux activités agricoles et à la décomposition de la litière.

Dans le bassin versant de la Baya, la gestion des eaux souterraines alimentant les populations constituent un problème majeur auquel ces localités doivent faire face. En effet, les travaux de [6] ont clairement montré que 63% des localités de la région de Bondoukou éprouvent d'énormes difficultés d'approvisionnement en eau potable. Pendant la saison sèche, bon nombre de ces ouvrages hydrauliques tarissent ou sont abandonnés à cause de leur apparence rougeâtre et goût désagréable [7]. Par ailleurs, la qualité de cette ressource est sans cesse mise à rude épreuve, à cause de la croissance des sources de pollution tant ponctuelles que diffuses [2]. Selon [8] la mauvaise qualité de l'eau est source de maladies telles que la dysenterie, le choléra etc... Face à cette situation, il est donc important de connaître au mieux l'évolution spatio-temporelle des teneurs en nitrate pour une consommation sans risques sanitaires. Plusieurs études ont déjà été réalisées dans la région sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines notamment [9].

Cette étude se propose d'identifier les différentes localités touchées par la pollution et de faire une cartographie spatiale de la pollution nitratée des eaux souterraines du bassin de la Baya.

2 ZONE D'ÉTUDE, DONNÉES ET MÉTHODES

2.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant de la Baya est localisé à l'Est de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 2°38' et 3°33' W et les latitudes 6°35' et 8°26' N. Il couvre une superficie d'environ 6 324 km² (figure1). La population du bassin est estimée à 267 263 habitants avec un accroissement de 2,8% de la population [10].

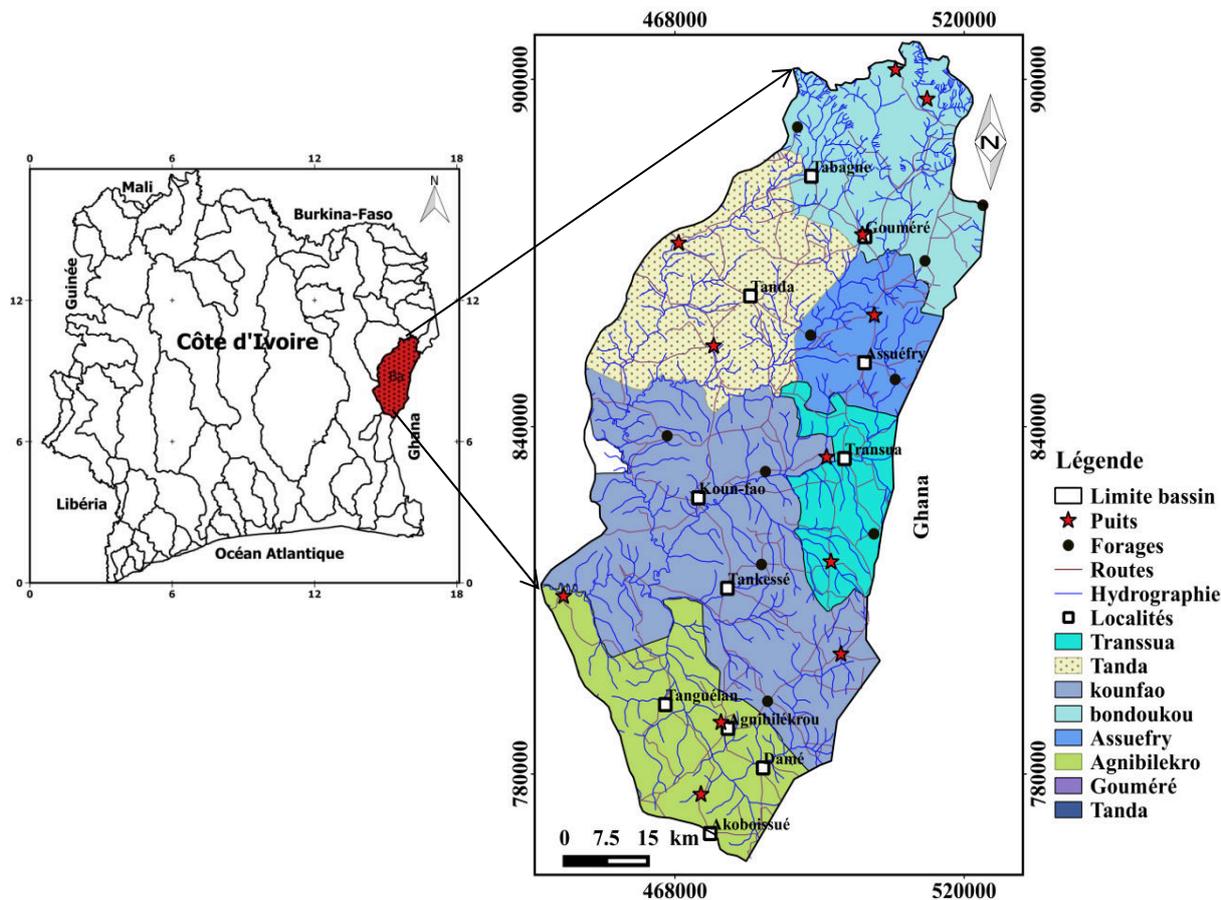


Fig. 1. Situation géographique du bassin de la Baya et présentation du réseau des points d'échantillonnage

Les principales formations géologiques rencontrées peuvent être regroupées en trois grands ensembles lithologiques [6]. Un ensemble tarkwaien et volcano-sédimentaire constitué principalement de Schiste, d'Amphibolite et de Métadolérite.

Du point de vue pédologique, ce bassin est couvert de sols ferrallitiques occupés par des cultures de rente et d'exportation (café, cacao, anacarde) et les cultures vivrières [11].

Au plan hydrogéologique, l'on distingue deux types d'aquifères dans la zone d'étude. Ce sont les aquifères d'altérites, les aquifères de fissures et de fractures. Les premiers sont des réservoirs résultant des processus d'altération physicochimique et d'érosion du socle. Ils sont composés de sables argileux et d'arènes grenues et constituent le premier niveau de réservoirs en milieu de socle. Ces aquifères sont directement alimentés par les eaux des précipitations. Les seconds se développent dans les zones broyées et/ou fissurées du socle. Ainsi, leur potentialité en eau est liée à la densité de la fracturation du socle [12];[13].

2.2 ECHANTILLONNAGE ET MÉTHODES ANALYTIQUES

Un total, 22 échantillons ont été prélevés, dont 12 puits et 10 forages. Les paramètres physiques ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre de marque WWT 82 362. Pour les analyses au laboratoire, les échantillons ont été conservés à 4°C pendant le transport dans une glacière. Sur le terrain, les coordonnées des différents points d'eau ont été prises à l'aide d'un Global Positioning System (GPS) de type Garmin. L'ion nitrate (NO_3^-) a été dosé selon la méthode HACH à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis DR 6000. Pour observer l'évolution de la composition nitratée des eaux, nous avons également utilisé des données antérieures de forages de 2008, provenant des fiches techniques de l'Antenne d'Hydraulique Villageoise de Bondoukou, financés par la Banque Arabe de Développement pour l'Afrique (BADEA).

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données collectées dans les eaux souterraines de la zone d'étude a fait l'objet d'un traitement statistique et cartographique. La combinaison de toutes ces méthodes a permis de caractériser les teneurs en nitrates et de suivre leurs évolutions dans les eaux souterraines du bassin versant de la Baya. Le traitement statistique des données a nécessité l'utilisation du logiciel Statistica 7.1. Les cartes de distribution spatialisées sont obtenues par la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighting) du logiciel QGIS 2.12.3-Lyon.

3 RÉSULTATS

3.1 VARIATION TEMPORELLE DU NITRATE ENTRE 2016 ET 2017

La figure 2 indique une augmentation des teneurs en nitrate dans les réservoirs superficiels (puits) pendant la saison pluvieuse et une diminution pendant ladite saison dans les réservoirs profonds (forages). La moyenne observée en 2017 pendant la saison pluvieuse est de 33,96 mg.L⁻¹ et celle de 2016 pendant la saison sèche est de 23,6 mg.L⁻¹. Cependant, dans les ouvrages profonds, on assiste à une accumulation des teneurs en nitrate avec une moyenne de 18,96 mg.L⁻¹ en saison sèche et 8,06 mg.L⁻¹ en saison de pluie.

Tableau 1. Variation annuelle saisonnière du nitrate dans les eaux du bassin

Année/saison	Type d'eau	Moy mg.L ⁻¹	Max mg.L ⁻¹	Min mg.L ⁻¹	ecatype	Variance %	OMS (2011)
saison sèche 2016	Puits	23,59	110,8	0,6	37,54	1,59	50 mg.L ⁻¹
	Forage	18,96	109,6	0,9	34,78	1,83	
Saison humide 2017	Puits	33,96	193,7	3,5	65,18	1,92	
	Forage	8,06	28,4	0,4	10,53	1,30	

En 2016, les concentrations exprimées en mg.L⁻¹ de nitrates dans les eaux de puits représente 25% des échantillons dont la concentration est supérieure à la directive [8] qui est de 50m.L⁻¹, précisément dans les localités d'Agnibilékro (79,5; P3), de Tiédo (110,8 P5) et de Transua (56 P8) respectivement. En 2017, ce pourcentage ne présente que 12,5% avec une concentration maximale de 193,7 mg.L⁻¹ de nitrate (NO₃⁻) à Tiédo (P8). Par ailleurs une légère augmentation de ce paramètre est observée sur les sites P4, P7 et P11 en saison humide.

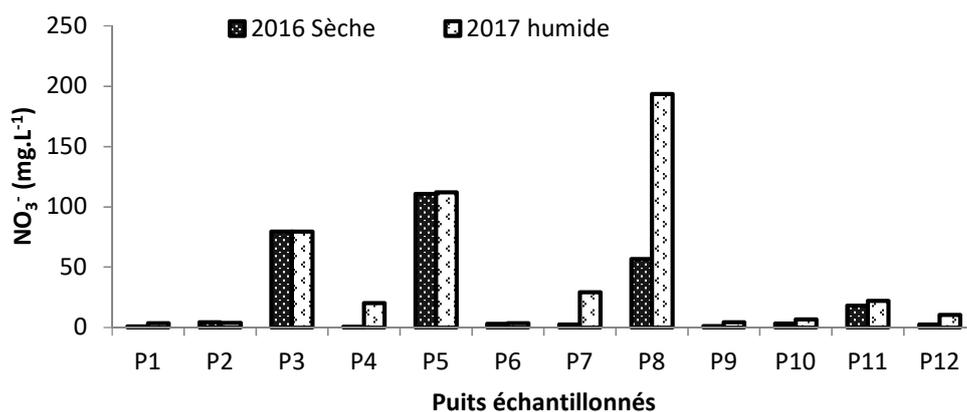


Fig. 2. Evolution temporelle du nitrate dans les eaux de puits du bassin de la Baya

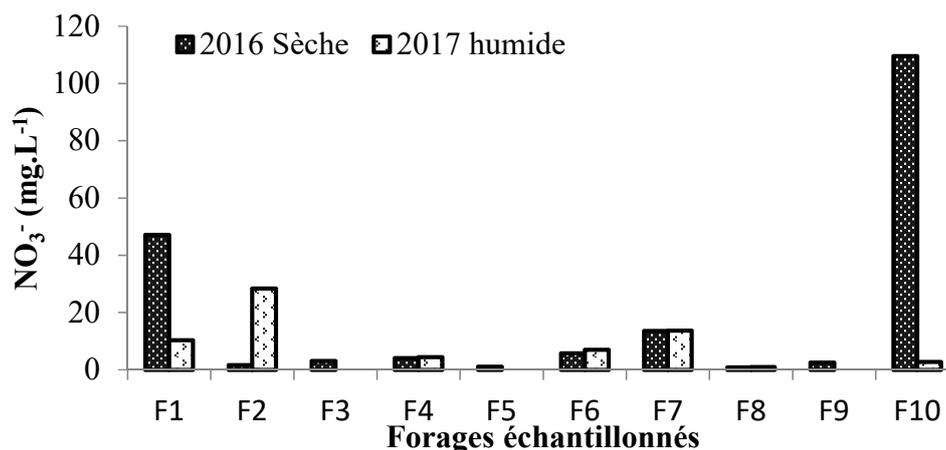


Fig. 3. Evolution temporelle du nitrate dans les eaux de forage du bassin de la Baya

3.2 EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES PAR CLASSE DE CONCENTRATION SUR LA ZONE D'ÉTUDE

L'analyse de la figure 4 expose les classes de teneurs en nitrate rencontrées dans les eaux souterraines du bassin. On constate que près de 50% des eaux échantillonnées ont des concentrations variables supérieures à 5 mg.L⁻¹. Parmi lesquelles, 12% des échantillons dépassent la directive OMS qui est de (50 mg.L⁻¹).

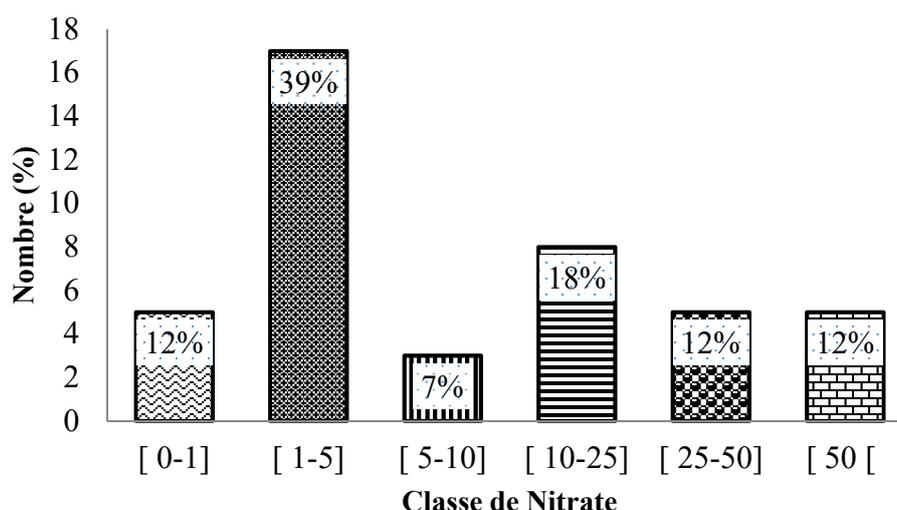


Fig. 4. Teneur en nitrate par classe de concentration

3.3 ÉVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES EN FONCTION DES PROFONDEURS DES FORAGES

Les teneurs en nitrates observées (figure 5) dans les eaux souterraines ne présentent pas une répartition liée à la profondeur des forages. En effet, plusieurs forages situés à différentes profondeurs présentent des teneurs variables en nitrates. Par exemple la localité de Siédja de 94,99m de profondeur de forage à une teneur en nitrate (109,6 mg.L⁻¹) supérieures à 50 mg/L (directive OMS), alors que des forages de même profondeur 80 m ont des teneurs largement inférieures à 50 mg.L⁻¹. Toutefois, la présence de forte concentration de nitrate dans les forages peu et très profonds par endroit, ne peut être expliquée que par le phénomène de pression anthropique. Ce constat soulève le problème de l'origine de cet ion, en particulier pour les eaux de forages qui sont censées être à l'abri d'une pollution directe, contiennent parfois des concentrations énormes en nitrate.

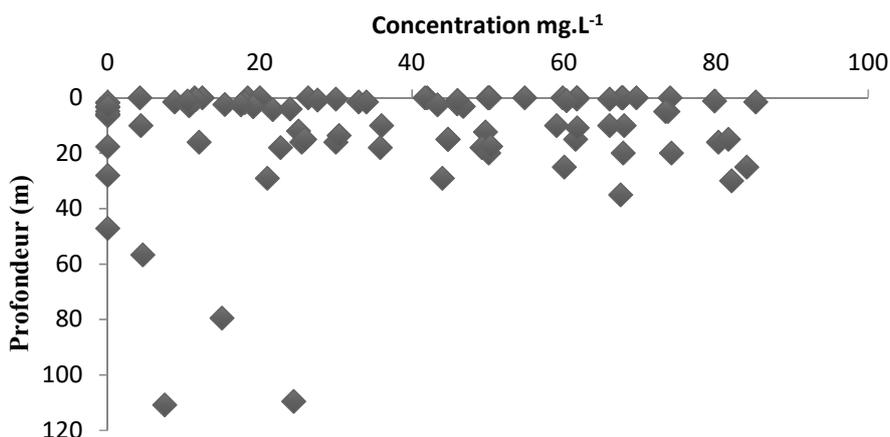


Fig. 5. Répartition des teneurs en nitrate (NO_3^-) en fonction de la profondeur des forages

3.4 RÉPARTITION SPATIALE MOYENNE DES CONCENTRATIONS DES NITRATES PAR LOCALITÉ

La figure 6 présente les concentrations moyennes des nitrates par localité. Cette observation permet d'appréhender l'évolution moyenne des nitrates afin de mettre en exergue les tendances locales des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines du bassin. Les localités les plus touchées sont celles d'Assuéfry et de Koun-fao.

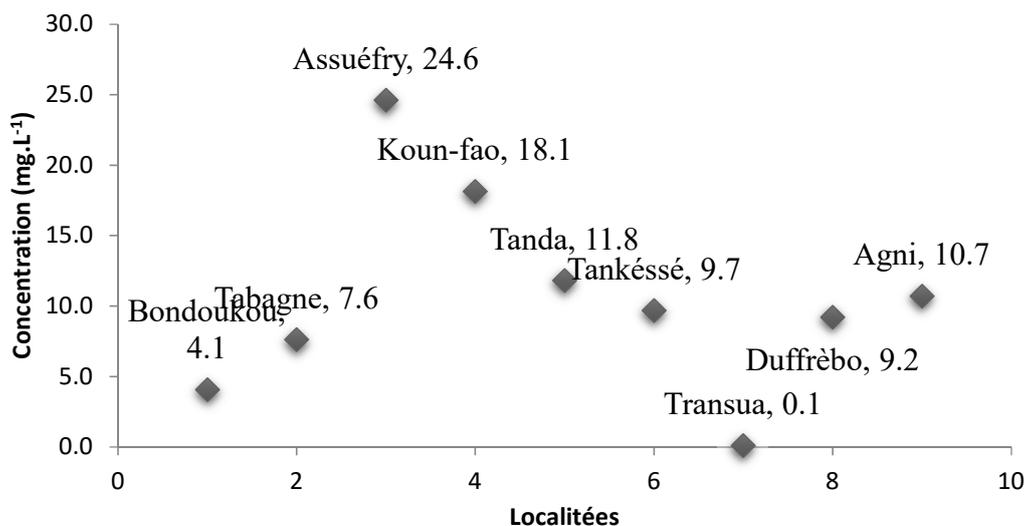


Fig. 6. Concentration moyenne de nitrate par localité

3.5 RÉPARTITION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN NITRATE DANS LES EAUX DU BASSIN DE LA BAYA

On remarque sur la figure 7 que les teneurs en nitrate sont nettement plus faibles en 2008 que celles retrouvées dans les eaux souterraines en 2016 et 2017. La teneur maximale observée en 2008 dans les eaux souterraines est de 35 mg.L⁻¹. Tandis que celles observées en 2016 et 2017 sont respectivement de 110,8 mg.L⁻¹ et 193,7 mg.L⁻¹.

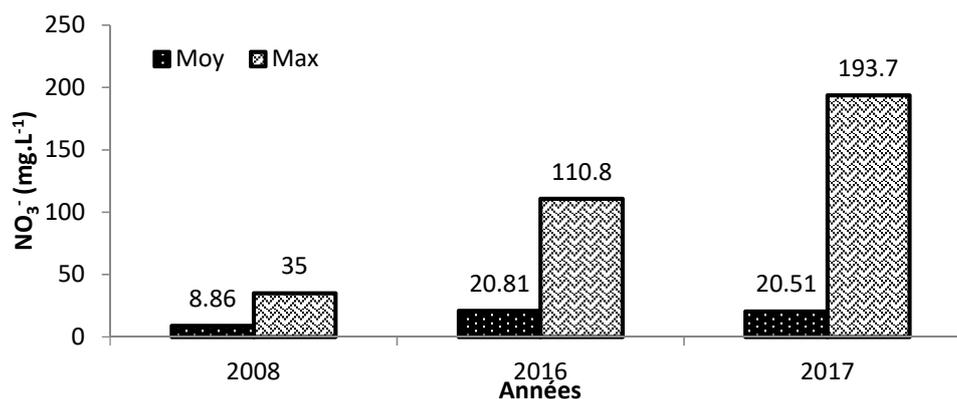


Fig. 7. Evolution des nitrates dans les eaux souterraines du bassin versant de la Baya

La figure 8 présente les résultats d'interpolation des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines de la zone d'étude. Le calcul du coefficient de variation des nitrates donne des valeurs très contrastées par saison (Tableau II). Ceci témoigne d'une distribution spatiale très hétérogène et reflète un très grand écart entre les teneurs en nitrate, comme en montre les cartes de distribution spatialisées (Figure 8).

Tableau 2. Coefficient de variation de la répartition spatiale des nitrates en saison sèche 2016 et en saison humide 2017 dans le bassin de la Baya.

Paramètres	Puits		Forages	
	SS	SH	SS	SH
NO ₃ ⁻ (%)	159	192	183	130

Cette cartographie (figure 8) met en évidence une progression de ce paramètre dans les eaux de la région. Les localités de Tanda et d'Agnibilékro et de Transua sont les plus touchées par la pollution nitratée sur la chronique d'étude (2016-2017).

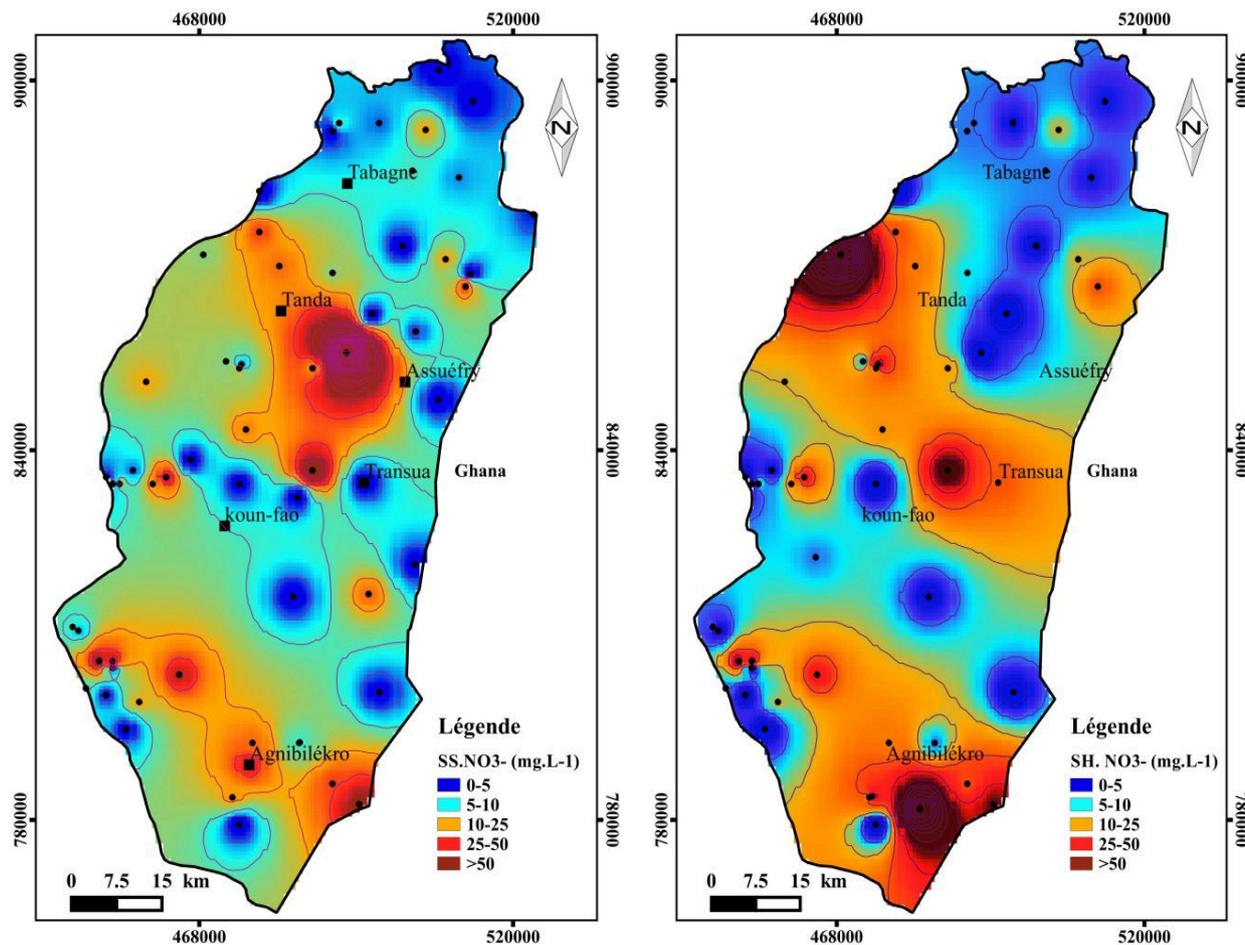


Fig. 8. Variations spatiales des concentrations du nitrate dans les eaux souterraines du bassin versant de la Baya (SS: saison sèche 2016; SH: humide 2017).

4 DISCUSSION

Les nitrates constituent l'un des composés azotés dominants dans les eaux souterraines du bassin versant de la Baya. Les teneurs observées, diffèrent d'un aquifère à l'autre. Cette variabilité spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux traduit également une diversité dans leur origine. Dans une eau naturelle, la minéralisation nitratée peut avoir plusieurs origines. En effet, en Afrique de l'Ouest, les travaux qui signalent des excès en nitrates dans les eaux souterraines sont de plus en plus fréquents [4], [14]. Pour ces auteurs, le nitrate peut avoir une origine issue de l'azote apporté par les eaux météoriques, une origine urbaine liée à une infiltration des eaux usées domestiques dans le sol, des eaux des égouts, des fosses septiques, des latrines et de la décomposition de la matière organique (déforestation). Selon [9] les teneurs élevées en nitrates observées dans les agglomérations telles que, Agnibilédro, Tanda et Bondoukou seraient liées au degré d'urbanisation et pressions anthropiques exercer sur le milieu. Les nitrates sont très souvent issus des activités agricoles [3], aux effluents domestiques, liées aux activités humaines [2].

La différence des teneurs observées pourrait traduire l'effet saison dû au lessivage des sols agricoles. Par ailleurs, les fortes concentrations du nitrate n'est pas à relier à la profondeur des ouvrages. Ces teneurs pourraient s'expliquer par une pollution ponctuelle ou diffuses liée à la densité de la fracturation du socle [13]. Les nitrates sont des sels très solubles, qui sont difficilement retenus lors de leur transfert dans l'aquifère [14]. Ils proviendraient d'une infiltration accélérée des eaux de ruissellement et usées dans la zone non saturée [9]

Les variations importantes du NO_3^- d'une saison à une autre avec des teneurs parfois importantes dans les eaux du bassin de la Baya montre qu'elles sont influencées par les activités anthropiques. En effet, selon [5], l'essentiel des nitrates peut provenir de la nitrification du sol, de la décomposition de la matière organique par oxydation. Cependant, les concentrations

en nitrates supérieures à 10 mg.L^{-1} , sont déjà très proches du seuil de la potabilité [15]. Ces observations se comparent favorablement à des études antérieures [16] et [17] travaillant sur les eaux souterraines en Côte d'Ivoire et au Bénin. Par ailleurs, la source de contamination des eaux souterraines par les nitrates peut-être les fosses septiques et les eaux usées domestiques [18].

Aussi, la lixiviation des nutriments des cultures et des engrais azotés provenant des terres agricoles peuvent être aussi une cause [19]. Ces résultats confirment ceux obtenus par [20] dans certaines localités du Brésil qui souffrent de la contamination nitratée et phosphatée par les effluents domestiques. Ainsi, l'eau potable contaminée par les nitrates peut s'avérer fatale pour la santé, en particulier pour les nourrissons, car elle restreint la quantité d'oxygène qui atteint le cerveau et provoque le syndrome du «bébé bleu».

Le phénomène de pollution des eaux souterraines n'est pas observé uniquement au niveau du bassin versant de la Baya. Elle constitue un réel danger en Afrique en général et dans toutes les grandes et petites agglomérations d'Afrique en particulier. Ainsi, d'importantes teneurs en nitrates, supérieures à la directive OMS ont été mises en évidence dans les eaux souterraines du Nigéria par [21] et du Maroc par [22]. Au Bénin, les travaux de [23] ont donné des teneurs en nitrates qui atteignent les valeurs de $96,60 \text{ mg.L}^{-1}$ dans les eaux de puits de la ville de Cotonou et 442 à 888 mg.L^{-1} dans certains forages des localités de Ramostswa et Selebi-Phikwe par [24].

5 CONCLUSION

Les teneurs en nitrates observées dans les eaux souterraines du bassin versant de la Baya diffèrent d'un aquifère à l'autre et d'une localité à une autre. Les eaux de puits sont les plus vulnérables, car riches en nitrates, compte tenu de leur faible profondeur. Très peu d'ouvrages (12%) ont des teneurs supérieures à la directive OMS (50 mg.L^{-1}) pour une eau de boisson. Contrairement aux eaux de puits, les eaux de forages présentent des teneurs en nitrates relativement faibles. La distribution spatiale des nitrates dans les eaux du bassin montre que la majorité des points qui captent cette nappe est soumise à une pollution nitratée. La distribution temporelle des teneurs en nitrates des deux types d'eaux a montré que depuis des décennies, les concentrations ont subi une hausse. Cette hausse des teneurs en nitrates met en évidence, la forte pression anthropique qui participe à la dégradation de l'environnement et des ressources en eau de cette localité.

REFERENCES

- [1] UNICEF "Progrès en matière d'approvisionnement en eau potable, d'assainissement et d'hygiène et estimations des ODD" www.washdata.org . 108p, 2017.
- [2] O. Ble, G.E. Ake, T.Soro, G. Soro et E.Y. Kouadio, "Evaluation de la Qualité Hydrochimique des Eaux Souterraines de la Région de Bonoua. (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol 14, pp 896-907, 2016.
- [3] T.K. Yao, "Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire: cas du département de Soubre: apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie. Océan, Atmosphère. Conservatoire national des arts et métiers CNAM;" Université de Cocody Côte d'Ivoire, pp 247-265, 2009.
- [4] S. Diop, F. Diome, M. Samb et R. Sarr, "Hydrogeochemical Relationships between Spring and Subsurface. Waters in the Dindéfello Area of South Eastern Senegal". *Journal. Water Resource. Protection.*, vol 6, pp 1743–1754 2014.
- [5] M Abbou ben et F. Fadil, "Impact anthropique sur la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Taza (Maroc)," *European Scientific Journal*, vol.10, no 5, pp 37-69, 2014.
- [6] M. Youan ta, O. D. Lasme, D. Baka, T. Lasm, P. J. Jourda et J. Biemi, "Analyse des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère fissuré du socle paléoprotérozoïque: Aide à l'approvisionnement en eau potable des populations de la région de Bondoukou (Nord-est de la Côte d'Ivoire)", *Larhyss Journal*, vol.13, no3 pp 563-564, 2015.
- [7] K. J. Kouamé, J. P. Jourda M. B. Saley, S. K. Deh, A. T. Anani et J. Biémi, " Mapping of ground water vulnerability zones to pollution in various hydrogeological environments of Côte d'Ivoire by DRASTIC method", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol.4, pp 918-923, 2013.
- [8] OMS, "Guidelines for drinking-water quality". 4th ed., 564p, 2011.
- [9] M J. Mangoua, D. L. Gone, K. A. Kouassi, K. G. N'guettia, G. A. Douagui, I. Savane et J. Biemi, "Hydrogeochemical assessment of groundwater quality in the Baya watershed (Eastern of Côte 'Ivoire)". *African Journal of Agricultural Research*, vol. 10, no 49, pp 4477-4489, 2015.
- [10] INS, "Institut National de la Statistique, Recensement général de la Population et de l'Habitat" www.ins.ci, pp 25-47, 2014.

- [11] S. Yves. C. Delor, Z. Zeade, Y. Kone B. D Yao, M. Vidal, I. Diaby, G. Konan D. B. Irié, D. N'da, A. Dommanget, J. P. Cautru, C. Guerrot et J. C. Chiron, "Carte Géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000; Feuille Agnibilekrou. Mémoire de la Direction des Mines et de la Géologie, n°8, Abidjan, Côte d'Ivoire". 19 p, 1995.
- [12] A. N. Savadogo, "Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du Bassin versant de la Sissil," *Thèse de Doctorat* ès Sciences Naturelles, Université Grenoble 1, 350 p, 1984.
- [13] J. Biémi, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 480 p, 1992.
- [14] K. E. Ahoussi, S. Loko, Y. B. Koffi, G. Soro, Y. M. S. Oga et N. Soro, "Evolution spatio-Temporelle Des Teneurs en Nitrates Des Eaux Souterraines De La Ville d'Abidjan (CÔTE D'IVOIRE)," *Journal of Pure & Applied Bioscienc*, vol.1, no 3, pp 45-60, 2013.
- [15] B. M. Wanga, D. E. Musibono, P. T. Mpiana, L. Mafuanakiza et N. J Diana, "Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Kalamu de Boma, R.D. Congo Congo" *Sciences Journal* vol.3, no 1, pp 56-63, 2015.
- [16] R. Alassane, L. Trabelsi, F. Dovonon et D. J. Odeloui, "Chemical Evolution of the Continental Terminal Shallow Aquifer in the South of Coastal Sedimentary Basin of Benin (West-Africa) Using Multivariate Factor Analysis". *Journal Water Resource. Protection*. Vol.7, pp 496-515, 2015.
- [17] I. Ouattara, B. Kamagaté, A. Dao, D. Noufé et I. Savané, "Processus de minéralisation des eaux souterraines et transfert de flux en milieu de socle fissuré: cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Ghana, Mali)" *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol.17, no 1, 57-69, 2016.
- [18] V. Simeonov, J.A. Stratis, C. Samara, G. Zachariadis, D. Voutsas, A. Anthemidis, "Assessment of the surface water quality in Northern Greece". *Water Resources*, vol. 37, pp 4119-4124, 2003.
- [19] C. M Oliveira, Sustainable access to safe drinking water: fundamental human right in the international and national scene. *Rev Ambiente. Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Ambient. Água* vol.12, no 6, pp 986- 998, 2017.
- [20] E.S. Braga, C.H. Bonetti, L. Burone et F.J. Bonetti, "Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System, Brazil". *Marine Pollution Bulletin*, vol.40, no 2, pp 165-173, 2000.
- [21] S. M. A Adalam, "Nitrates pollution of groundwater in Nigeria". *Groundwater pollution in Africa*, Editors Yongxin Xu and Brent Usher, Taylor & Francis/Balkema, Great-Britain, pp 37-45, 2006.
- [22] S. Bricha, K. Ounine, S. Oulkheir, N. El haloui et B. Attarassi, "Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc)," *Afrique Science*, vol.3, no 3, pp 391-404, 2007.
- [23] M. Boukari, A. Alassane, F. Azonsi, F. A. L. Dovonou, A. Tossa et D. Zogo, "Groundwater pollution from urban development in Cotonou City, Benin. Groundwater pollution in Africa," Editors Yongxin Xu and Brent Usher, Taylor & Francis/Balkema, Great-Britain, pp 125-138, 2006.
- [24] H. Vogel, K. Keipeile, J. Kgomanyane, T. Zwikula, M. Pontsho, B. Mafa, L. Matthes, M. Staudt, K. Berger et T. Güth, "Groundwater quality case studies in Bostswana. Groundwater pollution in Africa, Redactors Yongxin Xu and Brent Usher," Editors Taylor & Francis/Balkema, GreatBritain, pp 253-263, 2006.