

ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ À LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES DU DISTRICT D'ABIDJAN

Louan Odile BLE^{1*}, Gnamba Serge DEGNY² et Akossi DOUAMPO³

¹ Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières. Laboratoire des Sciences du Sol de l'Eau et de Géomatériaux (SSEG), BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

² Laboratoire des Eaux de l'Institut National d'Hygiène Publique (INHP), Ministère de la Santé Publique BP V14 Abidjan, Côte d'Ivoire

³ Bureau National d'Etude Technique et de Développement (BNETD), Département de l'Hydraulique 04 BP 945 Abidjan, Côte d'Ivoire

(reçu le 05 Octobre 2020 ; accepté le 19 Novembre 2020)

* Correspondance, e-mail : bleodile2@gmail.com

RÉSUMÉ

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe d'Abidjan a été réalisée à partir de 30 forages de la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI), situés dans les quartiers d'Adjamé, Abobo, Yopougon, Koumassi et Cocody où se trouve le village d'Akouédo, ancien site de la décharge d'Abidjan. Les méthodes d'analyse multicritère appliquées au Système d'Information à Référence Spatiale d'Abidjan (SIRSA) ont permis de cartographier des sites potentiels de stockage de déchets du District d'Abidjan. Analyses physico-chimiques des lixiviats a été faite. Les résultats de cette analyse ont montré des teneurs élevées en DCO (956,8mg/L), DBO5 (382,7 mg/L), MES (187 mg/L), NO₃⁻ (40 mg/L), SO₄²⁻ (35 mg/L), NTK (153 mg/L) et Na⁺ (34 mg/L). Quant à la conductivité, les valeurs sont comprises entre 375 µS/cm et 7770 µS/cm. La cartographie des centres d'enfouissement technique a révélé des sites douteux, localisés à la Riviera dans le quartier d'Akouédo, et des sites classés bons, localisés entre la commune d'Anyama et le village d'Anyama-Akoupé.

Mots-clés : *eau souterraine, vulnérabilité, pollution, Lixiviat d'Abidjan.*

ABSTRACT

Assessment of the vulnerability to groundwater pollution of the District of Abidjan

The study of the vulnerability of the pollution of the water in the Abidjan aquifer was carried out using 30 boreholes of the Ivorian Water Distribution

Company. (SODECI), located in the Adjamé districts, Abobo, Yopougon, Koumassi and Cocody where the village of Akouédo is located, former site of the Abidjan landfill. The multicriteria analysis methods applied to the Abidjan Spatial Reference Information System (SIRSA) made it possible. It helps to map potential waste storage sites in the District of Abidjan. Physico-chemical analyzes of the leachate was made. The results of this analysis showed high levels of COD (956.8 mg / L), BOD₅ (382.7 mg / L), MES (187 mg / L), NO₃⁻ (40 mg / L), SO₄²⁻ (35 mg / L), NTK (153 mg / L) and Na⁺ (34 mg / L). As for the conductivity, the values are between 375 μS / cm and 7770 μS / cm. The mapping of technical landfills revealed questionable sites, located on the Riviera in the Akouédo district, and sites classified as good, located between the commune of Anyama and the village of Anyama-Akoupé

Keywords : *groundwater, vulnerability, pollution, Leachate of Abidjan.*

I - INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'environnement sanitaire du District d'Abidjan et des communes annexes s'est fortement dégradé suite à une forte pression démographique et à une mauvaise gestion des déchets solides. La gestion des déchets solides pose un énorme problème dans la mesure où le système mis en place n'est totalement pas adapté. De plus, certains contaminants peuvent persister durant des dizaines ou des centaines d'années. En outre, la décontamination des milieux aquifères, lorsqu'elle est possible, exige des techniques à des coûts onéreux. En Côte d'Ivoire et particulièrement à Abidjan, les eaux souterraines constituent l'une des principales sources d'alimentation en eau potable des populations. Les eaux du Continental Terminal (CT) sont les plus sollicitées dans le domaine d'approvisionnement en eau des populations de la ville d'Abidjan. A l'instar des grandes villes africaines, les études antérieures réalisées [1 - 3] ont montré que les eaux souterraines sont menacées par des problèmes de pollution liés aux activités anthropiques. Etant donné les coûts importants engendrés par la restauration des aquifères contaminés, il est important, dans le contexte environnemental actuel, que des mesures soient prises, afin de protéger les aquifères contre la pollution. Une des approches d'aide à la protection et à la prévention contre la pollution des eaux souterraines est la cartographie des zones vulnérables à la pollution et la détermination des sites d'enfouissement des déchets ménagers.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Présentation du site d'étude

La zone d'étude est située entre les longitudes 3°40' et 4°40'W et les latitudes 5°20' et 6°00'N (**Figure 1**). Dans cette zone se trouve la localité d'Akouédo située à la périphérie de la ville d'Abidjan, Cette localité s'étend sur une superficie de 70 km² et regroupe essentiellement une partie des quartiers de Riviera et de M'pouto, le village d'Akouédo et les deux camps militaires. Près du village d'Akouédo, se trouve l'ancienne décharge municipale de la ville d'Abidjan. La zone est limitée au Sud par la lagune ébrié qui constitue la principale limite naturelle. Cette décharge construite depuis 1965 était classée au rang des décharges sauvages. Elle recevait environ 550.000 tonnes par an d'ordures ménagères [4].

II-1-1. Contextes géologique et hydrogéologique

Le District d'Abidjan appartient au bassin sédimentaire côtier d'âge crétacé à quaternaire. Il présente d'énormes potentialités en eaux souterraines. Ces ressources en eaux souterraines sont constituées par trois niveaux aquifères d'inégale importance et seul l'aquifère du Continental Terminal est exploité pour l'alimentation en eau potable du District d'Abidjan. Les champs captant Zone Est, Riviera Centre, et Nord Riviera constituent d'importantes usines de production d'eau par la SODECI, (Société de Distribution d'eau potable de Côte d'Ivoire). Le champ captant Nord Riviera qui comporte 10 forages d'exploitation avec des profondeurs moyennes de 80 m et un débit d'environ 6000 m³/jour/forage, non loin de la décharge, suscite des inquiétudes permanentes au sein des populations d'Abidjan.

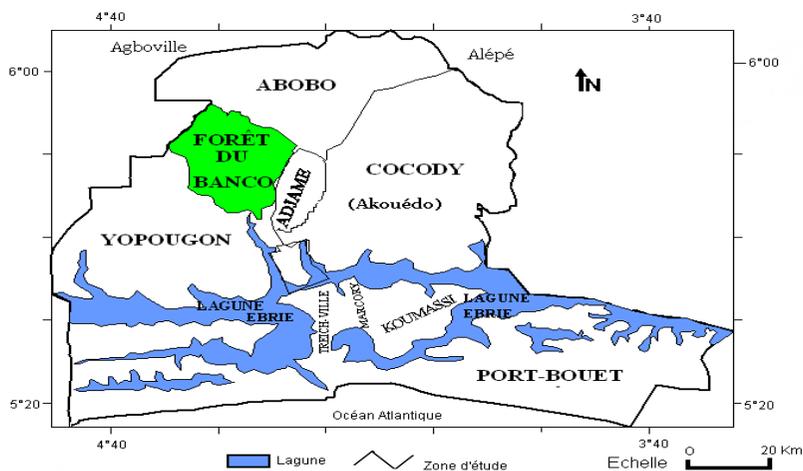


Figure 1 : Carte de situation géographique de la décharge d'Akouédo

II-1-2. Sites de Stockage des Déchets Ménagers

A Abidjan, la seule décharge d'Akouédo (**Figure 2**), ne suffit plus du fait que sa population produit des quantités importantes de déchets. En effet, la décharge d'Akouédo construite depuis 1965, recevait entre 2000 et 2500 tonnes de déchets municipaux par jour [5]. Ainsi, environ 55 592 tonnes d'ordures par an [6]. Sur cette énorme quantité d'ordures produites, le Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (BNETD) a estimé en 2002, les ordures non ramassées dans la ville d'Abidjan à environ 535 655 tonnes. En effet, une gestion optimale des déchets ne doit pas inclure que des considérations relatives à l'aspect économique, comme on le faisait autrefois ; elle doit également intégrer d'autres aspects environnementaux, hydro-climatologiques, hydrogéologiques et sociaux.

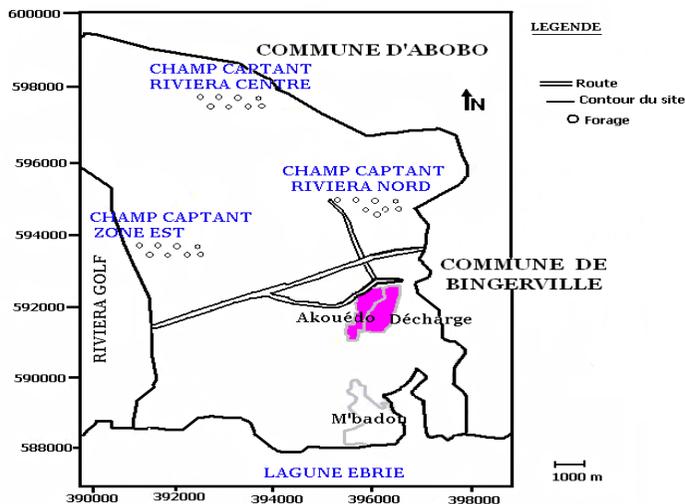


Figure 2 : Carte de la décharge d'Akouédo

II-2. Matériel

II-2-1. Matériel de prélèvement

Le matériel est composé d'un équipement de protection individuelle (gants à usage multiple, de gants à usage unique, de cache nez, de blouse et des chaussures de sécurité). Au total 30 forages ont été inspectés de Janvier 2013 à Décembre 2017. Les échantillons d'eau ont été recueillis dans des bouteilles en polyéthylène et transportés dans des glacières à 4°C au laboratoire de l'Institut National d'Hygiène Publique (l'INHP) pour l'analyse des ions NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- . Les cartes topographiques utilisées sont à l'échelle de 1/50 000 et établies par le Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) avec une équidistance de 20 m. Ces différentes cartes utilisées ont permis la délimitation exacte de la zone d'étude.

II-3. Méthodologie

II-3-1. Méthodes d'analyse des échantillons

Les paramètres physiques tels que la conductivité, le pH, la température de l'eau ont été mesurés in situ à l'aide d'un pH-mètre Knick portatest et d'un conductimètre WTW 330. Les ions NO_3^- ; Cl^- et le NH_4^+ ont été analysés par la méthode de spectrophotométrie appelée aussi colorimètre au Laboratoire de Chimie des Eaux (L.C.E) de l'INHP. La demande chimique en oxygène (DCO) a été déterminée à l'aide d'un voltmètre (AFROR, 1987), la demande biologique en oxygène (DBO5) a été mesurée par un DBO mètre (WTW.D82362 Weilhein) et le NTK, a été déterminé par la méthode de Kjeldhal.

II-3-2. Méthode d'établissement de la carte de vulnérabilité

L'établissement de la carte de vulnérabilité a été réalisé à partir des données extraites des fiches techniques de forages la SODECI (Société de Distribution d'Eau en Côte-d'Ivoire). Le niveau piézométrique a été mesuré à l'aide d'une sonde piézométrique OTT (100 m) sonore et lumineuse. Les profondeurs d'eau dans chaque forage et les altitudes à l'aide de GPS et de cartes topographiques au 1/50 000. Les données collectées ont permis de déterminer la cote des eaux souterraines selon la formule suivante (**Équation 1**) :

$$C = Z - H \quad (1)$$

avec, Z : altitude du piézomètre (m) ;

$$H = (NP + M) : \text{piézomètre (m)} ; \quad (2)$$

NP : niveau piézométrique (m) ; M : margelle du forage ; C : cote de l'eau (m).

Pendant la campagne de relevés piézométriques, la profondeur des forages a également été mesurée. La lame d'eau dans le puits a été déterminée par la **Formule** suivante :

$$L = P(t) - NP \quad (3)$$

L : lame d'eau en (m) ; $P(t)$: profondeur du forage en (m).

Les relevés pluviométriques concernent les stations de Port-Bouët, de Bingerville et de Songon. Pour la détermination des paramètres hydrochimiques, des données de la campagne de mesure, réalisée par l'Institut National d'Hygiène Publique (INHP) de 2016 à 2017, ont été utilisées. Cette étude a été réalisée à partir de données collectées sur 30 forages captant la nappe souterraine de Continental Terminal de la ville d'Abidjan.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Capacité d'infiltration du sol

Le profil géologique [7] de la zone d'étude est constitué d'argiles sableuses, de sables moyens, de sables grossiers, d'un socle granito-gneissique. La zone d'Akouédo caractérisée par des sols composés d'argiles et de sables moyens a une grande capacité de rétention d'eau et cela augmente le temps de transfert du contaminant à travers la zone saturée [8].

III-2. Vulnérabilité et profondeur de la nappe

Dans la zone d'Abidjan, les profondeurs de nappe varient de 10 m à 60 m dans le Sud à 200 m dans le Nord. Elles sont fonctions de la nature géologique des terrains présents dans la zone d'étude. Les profondeurs les plus fréquentes se situent dans l'intervalle de 100 m à 200 m, au Nord de la lagune ébrié. Selon la perméabilité du réservoir (granulométrie, fissuration), le temps de transfert est faible à presque nul dans les terrains à perméabilité d'interstices (sables, grès), élevé dans les roches à perméabilité de fissures (calcaire) [8]. La méthode de cartographie utilisée pour déterminer la vulnérabilité est la méthode dite Evaluation par Codification des Paramètres Spécifiques et Intrinsèques (ECPSI). Elle a été développée à Abidjan (Côte d'Ivoire) [9] et utilisée pour la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe du Continental Terminal au niveau de l'agglomération d'Abidjan. A chaque paramètre, on attribué une "Cote" variant de faible à très forte, selon la particularité du milieu. Les conditions de moindre vulnérabilité procurent des cotes faibles, tandis que celles qui l'augmentent, procurent des cotes fortes.

Tableau 1 : Classification du paramètre profondeur de la nappe (ECPSI)

profondeurs de la nappe (m)	Zone d'exposition (ZE)
> 60	Faible
60 – 50	Moyenne
50 – 40	Forte
< 40	Très forte

La carte issue de cette classification est illustrée à la (**Figure 3**). La plage de la profondeur de la nappe (< 40 m) classée "très forte" est la classe qui définit la zone Sud de la lagune ébrié donc exposées à une contamination rapide s'il y avait une pollution à la surface. Par contre les plages de l'aquifère ayant une profondeur "importante" (> 60 m), située au Nord du District d'Abidjan sont à l'abri d'une contamination rapide.

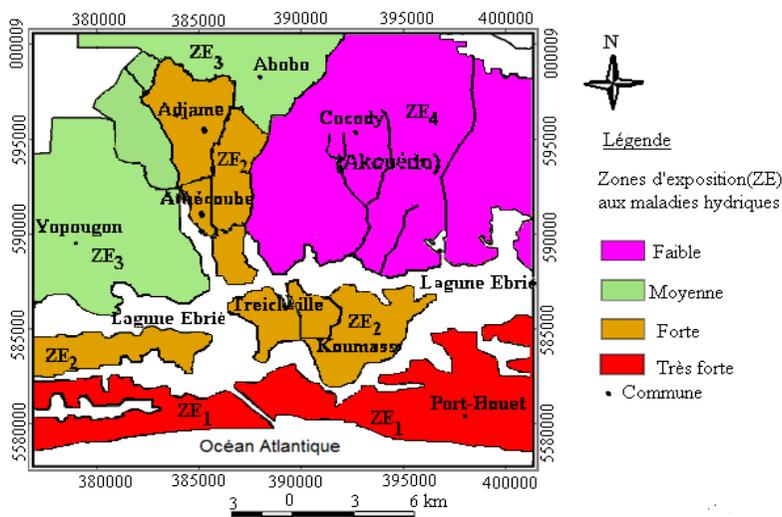


Figure 3 : Carte de vulnérabilité de la nappe

III-3. Caractérisation physico-chimique des lixiviats

Le lixiviat des décharges est produit par une percolation excessive d'eau de pluie dans les couches de déchet, combinée à des processus physiques, chimiques et microbiologiques favorisant le transfert des polluants des déchets dans l'eau de percolation [10, 11]. Les émissions de lixiviats provenant des décharges et leur impact environnemental associé, sont liés à la nature des déchets. Le lixiviat des décharges peut être caractérisé comme une solution de base constituée de trois groupes de polluants [12] : la matière organique dissoute, les composés inorganiques et les hydrocarbures et produits dérivés. En général, les concentrations de ces composés sont 1000 à 5000 fois supérieures à celles retrouvées dans les eaux souterraines [13]. Les dépôts, même temporaires, d'ordures ménagères, d'immondices, de résidus agricoles ou industriels, de produits radioactifs et de toute matière susceptible d'altérer la qualité des eaux, est à proscrire.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des lixiviats à Akouédo

Paramètres	Mini	Maxi	Valeur limite maxi (mg/l)
pH	7,81	9	5,5- 8,5
T°C	30,70	33,50	≤ 30
Cond μS/cm	375,00	7770,00	250
MES (mg/L)	187,33	1800	600
NO ₃ ⁻ (mg/L)	40	242,40	50
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	35	320	400
NTK (mg/L)	153,52	505,00	150
DCO (mg/L)	956,87	2189,30	1000
DBO ₅ (mg/L)	382,76	1150,00	500

III-4. Menaces des eaux souterraines et types de polluants

La contamination humaine par le plomb peut provenir d'une source naturelle (poussière) comme d'une source anthropique (pollution automobile, fumée d'incinération d'ordures ménagères, vieilles peintures à base de plomb, eaux de consommation en contact avec des canalisations en plomb) [14]. On peut d'emblée affirmer que le plomb provient essentiellement des activités anthropiques [15]. Ces activités anthropiques sont susceptibles de provoquer des pollutions diffuses ou ponctuelles des eaux souterraines.

III-5. Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines

L'analyse de la qualité des eaux souterraines du District a montré que la concentration limite d'ammonium (NH_4^+) de l'eau de boisson recommandée par les normes internationales est de 1,5 mg/L. Les échantillons d'eau analysés du fait de leur teneur supérieure à cette valeur (38,28 mg/L) dans le réseau Adjamé en 2017 nécessitent une attention particulière (*Tableau 3*).

Tableau 3 : Variation du NH_4^+ (mg/L) dans les eaux d'adduction du District d'Abidjan

Réseaux	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance (IC)	
Adjamé	1,17	38,28	10,887	0,5657	26,21	11,27
Zone-Est	0	17	2,5743	0,3394	15,21	2,8
Zone-Nord	0	0,02	0,08	0,1414	0,17	0,018
Zone-Ouest	0,05	0,79	0,27	0,297	0,47	0,06
Yopougon	0,01	12	2,0386	0,7283	10,53	2,53
Anonkoua-K	0	0,18	0,2229	0,2828	0,41	0,024
Riviera- C	0	0,19	0,0786	0,0495	0,21	0,044
Riviera- N	0	1	0,24	0,4243	0,57	0,05

L'examen de l'évolution des teneurs moyennes annuelles des nitrates (NO_3^-) dans les réseaux du District d'Abidjan indique une baisse des teneurs en nitrates de (2013 à 2017). Ainsi : pour le réseau Adjamé, les valeurs moyennes obtenues sont passées de 84mg/L à 0,2 mg/L soit une diminution de 83,8 mg/L ; pour le réseau Zone Est, les teneurs sont relativement faibles (28 mg/L) à 0,08 mg/L; pour la station Yopougon la tendance est également à la baisse (24 mg/L) à 0,5 mg/L. Dans les quartiers fortement urbanisés d'Abidjan (Adjamé, Yopougon), le nitrate proviendrait des rejets des eaux usées et de matières organiques (*Tableau 4*).

Tableau 4 : Variation du (NO_3^-) dans les eaux d'adduction du District d'Abidjan

Réseaux	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance (IC)	
Adjamé	0,2	84	25,686	41,719	39,02	28,909
Zone-Est	0,08	28	8,1971	4,5255	11,33	5,06
Zone-Nord	0,2	26	8,7857	15,839	19,76	2,19
Zone-Ouest	0,08	28	8,74	14,142	18,53	1,05
Yopougon	0,5	24	8,5571	15,344	19,19	2,07
Anonkoua	0,4	22	8,8	12,374	17,37	8,5748
Riviera-C	0,16	16	5,18	10,112	12,18	1,82
Riviera-N	1,2	10	4,2829	5,3033	7,95	0,6

Les teneurs en chlorures varient de 3,5 mg/L dans le réseau Nord Riviera à 50 mg/L dans le réseau Zone Nord, avec une concentration maximale en ions chlorures de 50 mg/L. Nous envisageons comme origine des ions chlorures, une pollution domestique et une corrosion des canalisations desservant les réseaux situés sur le bassin sédimentaire côtier. La dissolution des amas de sels ou une intrusion d'eau saumâtre dans le forage au Sud de la lagune. Les réseaux matérialisés par les quartiers d'Adjamé et environs, dont les installations hydrauliques sont vieillissantes présentent des teneurs en chlorures les plus élevés tandis que les réseaux de la Riviera présentent des valeurs plus faibles en ions chlorures (3,5 mg/L) (*Tableau 5*).

Tableau 5 : Variation des ions Cl^- dans les eaux d'adduction du District d'Abidjan

Réseaux	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance (IC)	
Adjamé	14,2	36	21,68	19,262	35,03	8,33
Zone-Est	5,8	20	14,694	3,6345	17,21	12,17
Zone-Nord	8,8	50	21,5	26,87	30,72	2,88
Zone-Ouest	4,43	25	16,876	13,485	19,22	7,53
Yopougon	7,6	33	17,514	0,1414	32,61	17,16
Anonkoua	9	28	18,357	6,7175	18,23	13,70
Riviera Centre	5,3	34	12,957	1,2021	20,78	12,24
Riviera Nord	3,5	23	11,714	2,9698	20,72	9,65

Les eaux des forages dans la zone d'Akouédo sont acides avec des valeurs de pH qui varient de 4,02 à 4,9 (**Tableau 6**). Le caractère acide des eaux s'observe sur l'ensemble des forages et pendant toutes les saisons. Les températures oscillent entre 21 et 29°C pour ces cinq dernières années. Les eaux sont faiblement minéralisées avec des valeurs de conductivité comprises entre 27 et 47,30 $\mu\text{S/cm}$

Tableau 6 : Caractéristiques physiques des eaux des forages de la zone d'Akouédo

Années	2013			2014			2015			2016			2017		
	RC	RN	ZE	RC	RN	ZE	RC	RN	ZE	RC	RN	ZE	RC	RN	ZE
Champ Cap															
Ph	4,50	4,6 5	4,6 2	4,6	4,5	4,7	4,3 3	4,4 7	4,51	4,19	4,3 5	4,4 1	4,3 2	4,3 2	4,02
T°C	26,0 9	26, 25	26, 40	26	25	26	21, 10	23, 58	21,6 4	25,0 6	25, 53	26, 45	26, 3	26, 3	27
Cond ($\mu\text{S/cm}$)	41,2 5	41, 25	43, 4	36, 2	36, 2	33, 2	34, 19	44, 30	35,7 4	336, 8	47, 30	46, 88	33, 5	33, 5	27

RC : Riviera Centre ;

RN : Riviera Nord ;

ZE : Zone Est

IV - DISCUSSION

IV-1. Paramètres physicochimiques des eaux de la SODECI

La qualité des eaux de 8 réseaux d'adduction d'eau a été analysée pendant la période de 2013 à 2017. D'importantes valeurs de nitrates ont été révélées dans les eaux d'adduction publique de la SODECI, Les activités anthropiques sur les eaux souterraines ont donné naissance à des foyers de pollution au niveau de la nappe d'Abidjan. Cette pollution se traduit par la présence des teneurs élevées de nitrates (84 mg/L) dans le réseau d'Adjamé en 2013. Les problèmes de pollution de la nappe d'Abidjan sont récurrents. Elle a atteint également la station Zone Ouest où des teneurs en nitrates ont été observées (28 mg/L). Les ions Cl^- et NH_4^+ , sont caractérisés par une variation importante. Les eaux du réseau public de la SODECI sont les plus riches en ces ions, (50 mg/L de Cl^-) dans le réseau zone Nord en 2013 et (38,28 mg/L de NH_4^+), dans le réseau d'Adjamé dans la même année. Les champs captant de Zone nord, Adjamé, Zone ouest ont une situation sanitaire alarmante, Il faut dans ce cas, préserver la qualité des eaux souterraines, en délocalisant les activités dangereuses situées dans le périmètre de protection. Les eaux de la zone d'Akouédo et en particulier celles du champ captant Nord Riviéra plus proches de la décharge, sont sous la surveillance rigoureuse de la SODECI. Elles sont donc de bonne qualité, les différents paramètres physico-chimiques respectent les normes

OMS pour l'eau eaux de boisson. La conservation de la qualité des eaux est liée à l'importance de la couche superficielle argilo-sableuse qui se comporte comme une véritable couche filtrante de ces eaux. Cette couche pourrait aussi être à l'origine d'une progression assez lente du panache de pollution dans les couches au sein desquelles des réactions chimiques et biologiques complexes se dérouleraient et retarderaient la progression des polluants par une réduction des concentrations [16].

IV-2. Qualité physico-chimique des lixiviats de la décharge

Le rapport DBO_5 / DCO , des lixiviats de la décharge d'Akoudo est égal à 0,4 (2013-2017). L'étude de la variation en cinq ans de la DBO_5 , de la DCO et du rapport DBO_5 / DCO , témoigne d'une nette augmentation de ces paramètres au cours du temps. En effet la DBO_5 est passé de 382,76 mg/L à 1150 mg/L. La DCO quant à elle passe de 956,87 mg/L à 2189,30 mg/L. Par ailleurs, les résultats obtenus au niveau de la zone d'Akouédo [17] concordent avec ces résultats. En effet, pour cet auteur, les faibles conductivités s'expliquent par le fait que les mois de juillet à septembre caractérisent la saison des pluies. Pendant cette période le ruissellement et la dilution des eaux usées est très important dans le District d'Abidjan. Les périodes humides favorables à la pollution ont été rapportées dans les travaux effectués [18] sur le choléra à Abidjan, ils ont montré un pic épidémique au mois d'août. Ces facteurs environnementaux pourraient conditionner et favoriser la survie des germes responsables des maladies hydriques [19]. De ce fait, la dégradation de l'environnement souvent induits par les activités et le comportement humains augmentent la vulnérabilité des populations qui sont ainsi exposées aux maladies hydriques telles que le choléra et la fièvre typhoïde. La période 2013 début 2014, marquée par une instabilité institutionnelle et sociopolitique a été caractérisée par la baisse du taux d'exécution des programmes de surveillance de la qualité des eaux dans le District d'Abidjan. Il est certain que cette étude apparait à nos yeux comme un travail préliminaire. D'autres explorations comme la modélisation mathématique pour quantifier les transferts de polluants et la détermination de périmètre de protection des forages s'imposent.

V - CONCLUSION

Certains réseaux d'Abidjan sont sujets de pollution avec des teneurs de nitrates (84 mg/L), dans le réseau d'Adjamé, (50 mg/L) pour les ions chlorures dans le réseau Zone Nord et (38,28 mg/L) pour les ions ammonium dans le réseau d'Adjamé. L'étude des paramètres physiques, montre que les eaux aux environs du secteur d'Akouédo ont une température comprise entre 21 et 29°C avec une moyenne de 25°C. Celle-ci est voisine de la température ambiante

(26°C). Elles sont acides, avec un pH qui varie de 4,02 à 4,9. Ces eaux sont faiblement minéralisées. Le rapport DBO₅ / DCO, des lixiviats de la décharge d'Akoudo est égal à 0,4 (2013-2017). La variation en cinq ans de la DBO₅, de la DCO et du rapport DBO₅/DCO, témoigne d'une nette augmentation de ces paramètres au cours du temps. L'augmentation de la population et les coupures intempestives d'eau auxquelles le District est confronté, le développement d'une étude de recherche de plusieurs sites probables d'enfouissement technique d'ordure ménagères est donc nécessaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient L'Institut National d'Hygiène Publique (INHP) à travers le Laboratoire des Sciences du Sol de l'Eau et de Géomatériaux pour leur aide multiforme. Les auteurs remercient également les différents lecteurs du manuscrit pour leur contribution qui ont permis de rehausser la qualité de l'article.

RÉFÉRENCES

- [1] - A. E. KOUASSI, « Evaluation de la qualité des eaux souterraines et de surface et des plantes potagères cultivées dans l'environnement de la décharge non contrôlée d'Akouédo (Abidjan- Côte d'Ivoire) », Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, (2015) 175 p.
- [2] - N. SORO, T. LASM, B. H. KOUADIO, G. SORO, « Variabilité du régime pluviométrique du Sud de la Côte d'Ivoire et son impact sur l'alimentation de la nappe d'Abidjan Sud », *Sciences Technologie*, N°14 (2006) 30 - 40 p.
- [3] - A. E. AHOUSSE, « Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le sud de la côte d'ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville », (2008)
- [4] - N. SORO, L. OUATTARA, K. DONGO, A. E AHOUSSE, « 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) (2010) 2203 - 2219
- [5] - E. K. KOUADIO, « Stratégie de prospection des nappes de fissure par analyse spatiale du potentiel de production et optimisation de la profondeur des forages. Cas du Denguélé (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire) », Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, (2000) 181 p.
- [6] - BNETD, « 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, (2002) 1 - 22 p.

- [7] - L. Y. MAYSTRE, Y. LUCIEN., J. PICTET et J. SIMOS, « Méthodes multicritères électre Description, conseils, pratique et cas d'application à la gestion environnementale », Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, (1994) 319 p.
- [8] - Z. EL. MORJANI, « Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale ; application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc) », Thèse de doctorat, Université de Genève, Terre et Environnement, Vol. 42, (2002) 300 p.
- [9] - H. BASAGAOGLU, E. CELENK, M. MARINO, « Selection of waste disposal sites using GIS », *Journal of American water resources Association*, Vol. 33, N°2 (1997) 455 - 464 p.
- [10] - E. F. LOROUX B, « Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire », Thèse de Troisième Cycle, Université de Bordeau I, (1978) 93 p.
- [11] - AGHUI et J. BIÉMI, « Géologie et Hydrogéologie des nappes de la région d'Abidjan et risques de contaminations », *Annales de l'Université de Côte d'Ivoire, série C (Sciences)*, tome 20, (1984) 313 - 347 p.
- [12] - H. RASMUSSEN et A. ROULEAU, « Guide de détermination d'aires d'alimentation et de protection de captage d'eaux souterraines », Centre d'étude sur les ressources minérales Université de Québec à Chicoutimi ; contrat du ministère de l'environnement du Québec, (2003) 182 p.
- [13] - C. GUILLEMIN et J. C. ROUX, « Pollution des eaux souterraines en France », Bilan des connaissances, impacts et moyens de prévention. *Manuels et méthodes*, éd. par BRGM, N°23 (1991) 262 p.
- [14] - J. B. CHRISTENSEN, D. KJENSEN, « Characterization of the dissolve organic carbon in landfill polluted groundwater », *Water res.*, Vol. 32, (2000) 3346 - 3355 p.
- [15] - T. H. CHRISTENSEN, P. KJELDSSEN, H. J. ALBRECHTEN, « Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers », *Crit. Rev. in Environ. Sci. Technol.*, Vol. 24, (1984) 119 - 202 p.
- [16] - J. B. CHRISTENSEN, A. BAUN, H. J. ALBRECHTEN, « Biogeochemistry of landfill leachate plumes *Applied Geochemistry* », Vol. 16, issues 7-8, (2001) 659 - 718 p.
- [17] - J. D. VILOMET, « Evaluation du risque lié à une décharge d'ordures ménagères : suivi de la qualité d'un aquifère au moyen des isotopes stables du plomb et du strontium. Corrélation avec des polluants spécifiques des lixiviats », Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, (2000) 137 p.
- [18] - A. MONTIEL et B. WELTE, « Les progrès dans la mise en évidence d'éléments traces dans les eaux », avenir des techniques. *Rev. Sci. Eau*, N° spécial, (1998) 119 - 128 p.
- [19] - F. RAMADE, « Précis d'écotoxicologie », collection d'écologie, Paris, Masson, (1992) 304 p.