



## **Evaluation de la Vulnérabilité des Nappes Phréatiques à la Pollution engendrée par la Mauvaise Gestion des boues de Vidange dans la Ville d'Aného au Togo**

***Hèzouwè Poromna***

Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de qualité des denrées alimentaires (LAMICODA), Université de Lomé, Togo  
Laboratoire de Gestion Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD),  
Université de Lomé, Togo

***Asibi Rosalie Gado***

***Messanh Kangni-Dossou***

Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de qualité des denrées alimentaires (LAMICODA), Université de Lomé, Togo

***Kissao Gnandi***

Laboratoire de Gestion Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD),  
Université de Lomé, Togo

***Yaovi Ameyapoh***

Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de qualité des denrées alimentaires (LAMICODA), Université de Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n21p208](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n21p208)

Submitted: 10 January 2022

Accepted: 02 June 2022

Published: 30 June 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Poromna H., Gado A.R., Kangni-Dossou M., Gnandi K. & Ameyapoh Y. (2022). *Evaluation de la Vulnérabilité des Nappes Phréatiques à la Pollution engendrée par la Mauvaise Gestion des boues de Vidange dans la Ville d'Aného au Togo*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (21), 208. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n21p208>

### **Resume**

L'étude menée présente l'état actuel de la vulnérabilité des nappes libres (la nappe du sable du cordon littoral et la nappe du continental terminal) de la ville d'Aného au Togo. Elle s'est basée sur la méthode dite « DRASTIC ». Les résultats ont permis de distinguer deux classes de vulnérabilité pour l'aquifère du continental terminal et de deux classes pour celui du sable du cordon littoral. Les degrés de vulnérabilité obtenue vont de « moyen » à « très élevés » et de « élevés » à « très élevés » pour l'aquifère du continental terminal d'après les classifications d'ALLER et de ENGEL. Ces degrés vont

de « élevés » à « très élevés » pour l'aquifère du sable du cordon littoral d'après les classifications d'ALLER et de ENGEL. Afin de confronter les résultats d'évaluation de vulnérabilité, plusieurs sondages et mesures de terrains ont été réalisés. Ainsi, il apparaît que les cartes de vulnérabilité obtenues sont valides dans la mesure où, sur le terrain, il existe des facteurs anthropiques qui rendent d'avantage les aquifères plus vulnérables. L'observation de l'environnement immédiat des puits a permis de constater que les puits présents à Aného sont traditionnels, non protégés et vétustes pour la plupart. Les ouvrages d'assainissement (fosses septiques, toilettes à chasse manuelles et puisards à fond perdu) sont à proximité des puits ce qui augmente le risque de pollution. L'eau des nappes et celle de la lagune ont été analysées et les germes indicateurs de contaminations fécales et les principaux polluants physico-chimiques ont été déterminés. Du point de vue bactériologique, les résultats ont montré que tous les échantillons ne sont pas satisfaisants par rapport aux germes recherchés. Un indice de contamination fécale a été calculé, il a permis de constater que les eaux étudiées sont fortement polluées. Les résultats d'analyse physico-chimiques ont indiqué une pollution en nitrates, sulfates et en chlorures dans les eaux.

---

**Mots clés :** Vulnérabilité, Pollution, Nappe phréatique, Méthode DRASTIC

## **Assessment of the Vulnerability of Groundwater to Pollution Caused by the Mismanagement of Sewage Sludge in the City of Aného in Togo**

***Hèzouwè Poromna***

Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de qualité des denrées  
alimentaires (LAMICODA), Université de Lomé, Togo  
Laboratoire de Gestion Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD),  
Université de Lomé, Togo

***Asibi Rosalie Gado***

***Messanh Kangni-Dossou***

Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de qualité des denrées  
alimentaires (LAMICODA), Université de Lomé, Togo

***Kissao Gnandi***

Laboratoire de Gestion Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD),  
Université de Lomé, Togo

***Yaovi Ameyapoh***

Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de qualité des denrées  
alimentaires (LAMICODA), Université de Lomé, Togo

---

### **Abstract**

This paper focuses on the current status of the vulnerability of the unconfined aquifers (the coastal sand aquifer and the terminal continental aquifer) of the city of Aného in Togo. It was carried out based on the "drastic" method. The results helped to distinguish between the two classes of vulnerability for the terminal continental aquifer and the two classes for the coastal sand aquifer. The degrees of vulnerability obtained range from "medium" to "very high" and from "high" to "very high" for the terminal continental aquifer according to the classification of Aller and Engel. These degrees also ranged from "high" to "very high" for the barrier sand aquifer according to the Aller and Engel classifications. In order to compare the results of the vulnerability assessment, several boreholes and field measurements were carried out. Thus, it appears that the vulnerability maps obtained are valid insofar as, in the field, there are anthropic factors that make the aquifers more vulnerable. Observation of the immediate environment of the wells revealed that the wells in Aného are traditional, unprotected, and mostly obsolete. Sanitation facilities (septic tanks, manual flush toilets and cesspools) are located near the wells, which increases the risk of pollution. Groundwater and lagoon water were analyzed and the indicator germs of fecal contamination and the main physico-chemical pollutants were determined. From a

bacteriological point of view, the results show that all the samples were not satisfactory with respect to the germs sought. An index of fecal contamination was calculated, indicating that the studied waters are strongly polluted. The results of physico-chemical analysis also show pollution in nitrate, sulphates, and chloride in the waters.

---

**Keywords:** Vulnerability, Pollution, Water table, DRASTIC Method

## 1. Introduction

Ces dernières décennies, les villes du Togo connaissent une croissance rapide de la population, à l'instar des villes des pays de l'Afrique Sub-saharienne. L'installation des populations dans les espaces urbains n'a généralement pas été accompagné par des aménagements adaptés de systèmes d'assainissement des eaux usées et de gestion des sous-produits, si bien que les activités anthropiques menacent l'environnement, notamment la qualité des ressources en eau (Singh et al., 2017 ; Traoré et al., 2021). Or, l'eau constitue une ressource naturelle indispensable dans la vie de tout être vivant. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé et de la vie (Hounsounou et al., 2017 ; Diawara et al., 2021). Près de 90 % des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau de boisson et à un assainissement insuffisant des eaux usées. Ce fléau affecte plus les populations vulnérables et défavorisées.

Le Togo compte parmi ces nombreux pays d'Afrique Sub-saharienne où les taux de couverture en matière d'eau potable et d'assainissement restent les plus bas au monde (Soncy et al., 2015). En effet, seul 41% de la population togolaise ont un accès à l'assainissement et 57,22% à l'accès à l'eau (Passco, 2012). A part la capitale Lomé, toutes les autres villes ne disposent pas de Plan Directeur d'Assainissement (PDA) (Passco, 2012). La dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines résulte soit du manque d'infrastructures d'assainissement soit de leur dysfonctionnement (Ahoussi et al., 2013). Avec l'insuffisance du réseau conventionnel d'eau dans les villes du Togo, la plupart des populations, surtout en zones rurales ont recours à des sources d'eau alternatives de qualité douteuse (marigots, puits, citernes, rivières, étangs, etc.) pour les besoins domestiques (Soncy et al., 2015).

Aného, l'une des villes les plus touristiques du Togo n'est malheureusement pas épargnée des problèmes que connaissent les autres villes du Togo en matière d'accès à l'assainissement et à l'eau potable. En effet, la ville est couverte par un assainissement non collectif dont les ouvrages d'assainissement autonome en place sont insuffisants et ne respectent pas les plans standards de construction. Le traitement des boues de vidange fait également défaut ; ces dernières étant évacuées directement dans la nature en raison de l'absence d'une station de traitement (Akpaki et al., 2016). La qualité

des ressources en eaux (surfaces et souterraines) est alors mise à rude épreuve, à cause de la croissance des sources de pollution tant ponctuelles que diffuses. Pour prévenir les risques de pollution de l'eau souterraine, une des approches adaptées est la connaissance des zones vulnérables à la pollution (Hamza et al., 2008).

Depuis les années 1970 à nos jours, la détection croissante de contamination des eaux souterraines a suscité le développement du concept de vulnérabilité des aquifères à la pollution (Albinet, 1970). La vulnérabilité à la pollution d'un aquifère caractérise donc la faiblesse des défenses d'un aquifère contre l'invasion, par un polluant, de la nappe d'eau qu'il contient (Boualem et al., 2015). Cette vulnérabilité résulte d'une combinaison de plusieurs facteurs, à savoir : l'hydrogéologie, la réaction aquifère-contaminant et les sources de pollution (Murat et al., 2003). Les cartes de vulnérabilité sont élaborées pour illustrer les différents degrés de sensibilité de l'aquifère à la pollution ; ceci permet de fournir des informations utiles et nécessaires permettant d'orienter les choix des politiques de prévention et de gestion des risques de pollution des ressources en eau souterraine de la région dans la perspective d'une gestion durable (Ake et al., 2011). Ainsi, pour évaluer la vulnérabilité à la pollution des nappes phréatiques dans la ville d'Aného, nous nous sommes basés sur la méthode DRASTIC afin d'étudier la piézométrie et les facteurs de pollution des ressources en eaux puis de proposer des moyens et méthodes permettant de préserver les nappes et la santé des populations en tenant compte du contexte local.

## **2. Matériel et Methodes**

### **2.1. Présentation de la zone d'étude**

Notre étude a été réalisée dans la ville d'Aného au Togo, l'actuel chef-lieu de la commune des Lacs 1 situé au Sud-Est du Togo dans la région maritime à environ 45 km de Lomé (Figure 1). D'une superficie de 32 km<sup>2</sup>, la ville est côtière et frontalière du Bénin avec une population estimée à 27364 habitants en 2018 (Mairie d'Aného, 2020). La ville d'Aného, choisie comme notre cadre d'étude, présente des enjeux environnementaux majeurs liés à la densité de sa population, au manque d'infrastructures sanitaires adéquats, au contexte socio-économique précaire, à la vulnérabilité de ses ressources en eaux et surtout à l'insuffisance de son savoir-faire en matière de la gestion durable des déchets, dont les boues de vidange. Elle jouit d'un climat tropical de type guinéen avec des précipitations moyenne allant à 941 mm en moyenne par an selon les données de la Direction Générale de Météorologie Nationale (DGMN). Elle est bâtie entièrement sur les roches du bassin sédimentaire côtier du Togo où affleurent principalement les sables meubles détritiques du Quaternaire. La ville regorge d'importantes ressources en eau avec une lagune qui se jette directement dans la mer. La présence de l'aquifère de sable du

cordons littoraux à faible profondeur (10 à 15 m) favorise le creusement de nombreux puits qui captent la nappe phréatique.

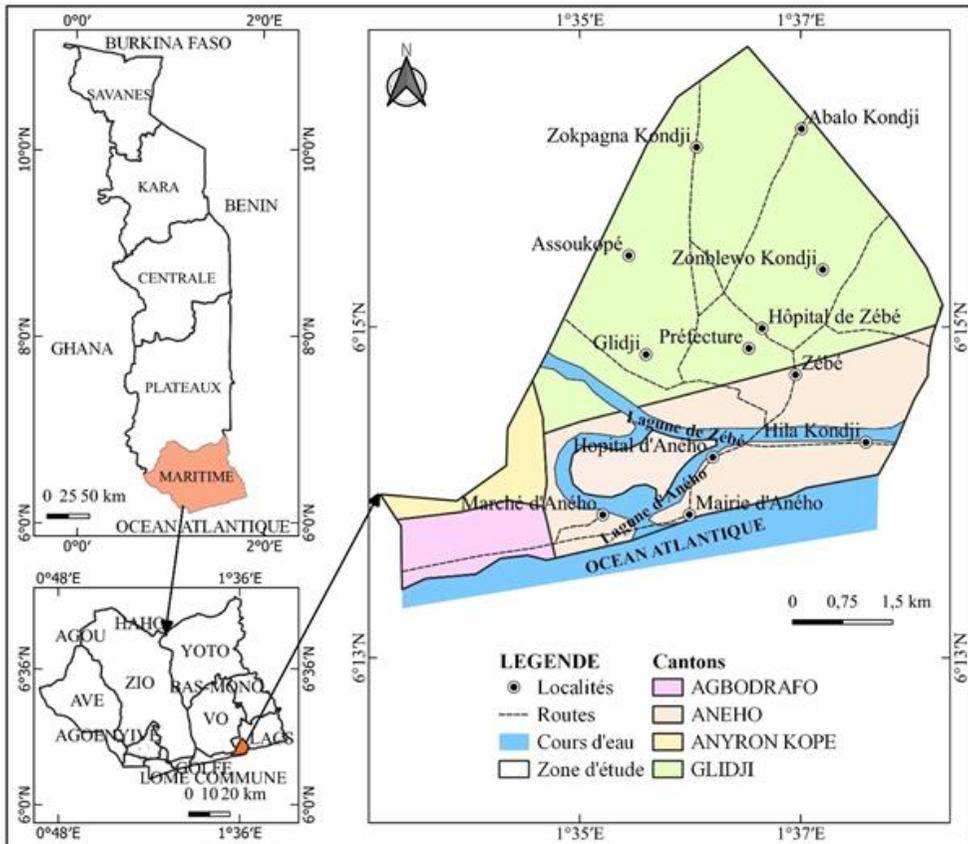


Figure 1. Carte de présentation de la ville d'Aného

## 2.2. Etude de la vulnérabilité à la pollution des nappes phréatiques dans la ville d'Aného par la méthode DRASTIC

Cette étude consiste à évaluer la sensibilité des deux nappes phréatiques dans la ville d'Aného à toutes formes de polluants introduits à partir de la surface du sol en se basant sur les propriétés physiques du milieu.

### 2.2.1. Principe de la méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC est valide si et seulement si : le territoire d'application couvre plus de 0,4 km<sup>2</sup>, le contaminant se propage dans le milieu à partir de la surface du sol par infiltration des précipitations et le type du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité. Cette méthode est basée sur l'évaluation de sept (07) paramètres représentant l'acronyme DRASTIC (Latifi & Chaab, 2017) : la profondeur de la nappe (**D**) ; la recharge efficace (**R**) ; les matériaux de l'aquifère (**A**) ; le type de sol (**S**) ; la topographie ou la pente (**T**) ; l'impact de la zone vadose ou zone aérée (**I**) et la perméabilité

ou la conductivité hydraulique de l'aquifère (C). Pour chaque paramètre, la plage de valeurs possibles est subdivisée en différents intervalles et une cote est attribuée à chacun d'eux (Tableau 1).

**Tableau 1.** Notations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (Kouassi, 2015)

<b>D : Distance à la nappe, épaisseur de la zone non saturée</b>		<b>R : Recharge (pluie efficace)</b>	
Valeurs en mètres	Cotes	Valeurs en mm	Cotes
0 - 1,5	10	> 25,5	9
1,5 - 4,5	9	17,5 - 25,5	8
4,5 - 9	7	10 - 17,5	6
9 - 15	5	5 - 10	3
15 - 22	3	0 - 5	1
22 - 30	2	<b>S : Nature du sol</b>	
> 30	1		
<b>A : Nature de la zone saturée</b>		Peu épais ou absent	10
		Gravier	10
Calcaire karstique	10	Sable	9
Basalte	9	Argile, agrégats	7
Sable et Gravier	8	Limon sableux	6
Calcaire massif	6	Limon	5
Grès massif	6	Limon silteux	4
Shale en séquence	6	Limon argileux	3
Métamorphique altéré, gré lités, calcaires	4	Argile non agrégée et non fissurée	1
Métamorphiques	3	<b>I : Nature de la zone non saturée</b>	
Shale massif	2		
<b>T : Topographie, pentes</b>		Calcaire karstique	10
		Basalte	9
Valeurs en % de pente		Sable et gravier	8
0 - 2	10	Sable et gravier avec silt et argile	6
2 - 6	9	Calcaire lité, grés, shale	6
6 - 12	5	Grès	6
12 - 18	3	Calcaire	6
> 18	1	Shale	3
<b>C : Perméabilité en m/s</b>		Silt/Argile	1
		> $9,4 \cdot 10^{-4}$	10
		$4,7 \cdot 10^{-4}$ - $9,4 \cdot 10^{-4}$	8
		$32,9 \cdot 10^{-5}$ - $4,7 \cdot 10^{-4}$	6
		$14,7 \cdot 10^{-5}$ - $32,9 \cdot 10^{-5}$	4
		$4,7 \cdot 10^{-5}$ - $14,7 \cdot 10^{-5}$	2
$4,7 \cdot 10^{-7}$ - $4,7 \cdot 10^{-5}$	1		

Suivant les conditions d'occupation du sol, la méthode DRASTIC propose deux systèmes de pondération : un système de pondération dit

standard (occupation naturelle du sol) et un système dit Produits Phyto (occupation du sol par une activité agricole intensive utilisant par exemple des produits phytosanitaires) (Tableau 2).

**Tableau 2.** Facteurs de pondération des différents paramètres (Thioune et al., 2019a)

Critères	Facteurs de Pondération	
	"Standard" Poids	"Produits Phyto" Poids
D : Profondeur	5	5
R : Recharge	4	4
A : Milieu aquifère	3	3
S : Milieu sol au-dessus de la zone non saturée	2	5
T : Topographie	1	3
I : nature de la zone non saturée	5	4
C : perméabilité de l'aquifère	3	2

Un indice de vulnérabilité ( $I_{DRASIC}$ ) est alors calculé en additionnant la contribution des sept paramètres, pondérés selon l'importance de chacun de ces paramètres dans l'évaluation de la vulnérabilité, à l'aide de l'équation (Brou et al., 2013) :

$$I_{DRASIC} = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp$$

(équation 1)

Où "c" et "p" désignent respectivement la valeur de l'intervalle (Côte) et le Poids attribué à chaque paramètre. Les valeurs de l'indice DRASTIC obtenues représentent la mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère, elles varient de 23 à 226 dans le cas de la version standard. D'une part, les valeurs obtenues sont regroupées, selon la classification d'Aller (Aller et al., 1987), en cinq classes dont chacune correspond à un degré de vulnérabilité. D'autre part, Engel propose la classification des valeurs en quatre autres classes (Engel et al., 1996) (Tableau 3).

**Tableau 3.** Classification des indices et leurs degrés de vulnérabilité selon Aller et Engel

Méthodes	Indice de vulnérabilité	Degré de vulnérabilité
DRASTIC (ALLER)	< 80	Très faible
	80 - 120	Faible
	121 - 160	Moyenne
	161 - 200	Elevé
	>200	Très élevé
DRASTIC (ENGEL)	< 101	Faible
	101 - 140	Moyen
	141 - 200	Elevé
	> 200	Très élevé

## 2.2.2. Etude des paramètres de la méthode DRASTIC

### 2.2.2.1. Profondeur du plan d'eau de la nappe souterraine (D)

La profondeur de l'eau dans l'aquifère est un facteur important dans l'étude de la vulnérabilité, car toute atténuation du polluant s'opère en relation avec la profondeur. Dans le cadre de cette étude, les mesures de la profondeur du plan d'eau dans les aquifères libres se sont déroulées en Décembre 2019 et ont concerné au total 79 puits pour l'aquifère du Sable du cordon littoral et 174 puits pour l'aquifère du Continental Terminal. Ces mesures ont été faites à l'aide d'une sonde électronique lumineuse et les coordonnées géographiques des points de mesure ont été relevées à l'aide du GPS Garmin. Les données obtenues ont permis de réaliser les cartes piézométriques selon la méthode de Krigeage. Le niveau piézométrique est calculé par différence entre la Côte (z) du sol (repère sur l'ouvrage), et la profondeur Hp de l'eau dans l'ouvrage selon la relation :

$$H = z - H_p \quad (\text{équation 2})$$

Avec : H = le niveau piézométrique (m) ; z = l'altitude du sol au niveau de l'ouvrage (m) et Hp = profondeur de la nappe d'eau (m).

Les cartes piézométriques ont été réalisées à l'aide du logiciel Surfer de Golden Software et ont permis de déterminer le sens de l'écoulement de l'eau souterraine.

### 2.2.2.2. Recharge nette de la nappe (R)

La quantité d'eau qui arrive au niveau de l'aquifère constitue la recharge nette de la nappe. Elle constitue le véhicule principal de transfert des polluants vers les eaux souterraines (Latifi & Chaab, 2017). L'estimation de la recharge annuelle (en mm/an) a été faite en utilisant les équations de Williams et de Kissel citée par Mba et al. (2019).

$$PI = (P - 15,05)^2 / (P + 22,57) \quad (\text{Equation 3})$$

Avec : PI = l'index de percolation et P = la précipitation totale annuelle  
La formule concerne les sols argileux secs, limono - sableux et sablo-limoneux (Mba et al., 2019). Cette formule a été utilisée étant donné que toute la ville d'Aného est couverte par des sols sableux, sablo-argileux et argilo - sableux (Figure 4). La recharge nette des aquifères est estimée par la formule du bilan hydrique.

$$\text{Equation : } P = ETP + R + I \quad (\text{Equation 4})$$

Avec :

P : précipitation annuelle en mm

R : ruissellement en mm

$$I = 1/3R \quad (\text{Equation 5})$$

L'évapotranspiration annuelle est déterminée par la formule annuelle de Turc (1961). Dans le cadre de cette étude, les données nécessaires à l'estimation de la recharge R ont été fournies par la Direction Nationale de la Météorologie et ont concernées les données pluviométriques des années 1986 à 2019.

#### **2.2.2.3. Nature lithologique de l'aquifère (A)**

La nature des matériaux de l'aquifère détermine le comportement d'un éventuel contaminant dans cet aquifère. Les coupes lithologiques de forages ont permis de déterminer ce facteur (BRGM, 1986).

#### **2.2.2.4. Le type de sol (S)**

Les caractéristiques des sols revêtent une importance considérable pour le temps de transfert des polluants depuis la surface du sol vers les eaux souterraines (Brou et al., 2013). Ce paramètre est déduit de l'extrait de la carte pédologique de la région Maritime (1/50 000ème).

#### **2.2.2.5. Pente de terrain (T)**

La pente du terrain influe directement sur le temps de concentration des polluants. Elle contrôle la probabilité qu'un polluant a, à s'écouler ou à s'infiltrer dans le sol. La carte topographique au 1/50 000<sup>ème</sup>, la plus grande échelle existante pour la zone d'étude a permis d'estimer leurs altitudes pour le calcul des pentes et d'établir la carte des pentes de la ville d'Aného. La carte de pente a été réalisée dans le logiciel QGIS.

#### **2.2.2.6. Impact de la zone vadose (I)**

La zone non saturée correspond à la portion du terrain comprise entre le sol et le niveau supérieur de la nappe souterraine. La texture de cette zone détermine le temps de transfert du contaminant dans l'aquifère. Les coupes lithologiques de forages ont permis de déterminer ce facteur (BRGM, 1986).

#### **2.2.2.7. Conductivité hydraulique (C)**

La conductivité hydraulique est une caractéristique physique qui représente la facilité qu'a un matériau à permettre le transfert de fluide au travers d'un réseau connecté (Thioune et al., 2019a). Le coefficient de perméabilité traduit la vitesse à laquelle l'eau, transportant le polluant par dispersion, circule dans le sous-sol (Thioune et al., 2019a). Dans le cadre de cette étude, les valeurs de la conductivité hydraulique sont tirées directement de la littérature (Bleza et al., 2020).

### 2.2.3. Validation de la carte de vulnérabilité

En général, l'élaboration d'une carte de vulnérabilité est testée et validée par des mesures sur le terrain, l'analyse des données chimiques et microbiologiques des eaux souterraines. Plusieurs auteurs dont (Amharref et al., 2007; Ake et al., 2011; Brou et al., 2013; Mboudou et al., s. d.) ont vérifié la validité des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution en se basant sur des données chimiques des eaux souterraines. Dans le cadre de cette étude, la validation de la carte de vulnérabilité a été testée et validée par :

- Les mesures de la distance qui sépare les ouvrages d'assainissement et les puits ;
- La détermination de quelques paramètres physico-chimiques tels que : le pH, la conductivité électrique, le taux d'alcalinité (TAC), le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le Potassium ( $\text{K}^+$ ), le Sodium ( $\text{Na}^+$ ), le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), la Manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ;
- La détermination des germes indicateurs de contaminations d'origines fécales (Coliformes fécaux (CF), *Escherichia coli* (EC ou *E. coli*), les Streptocoques Fécaux (SF) et les germes Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR)). Un Indice de Contamination Fécale (ICF) (Orou et al., 2016) a été déterminé selon l'équation :  $\text{ICF} = \text{EC} + \text{SF} + \text{CF}$ . Le Tableau 4 montre les concentrations des éléments bactériologiques par classe.

**Tableau 4.** Classification des concentrations des variables des eaux par classes (Orou et al., 2016)

Classes Variables	1	2	3	4
<b>EC</b>	0	> 0 et ≤ 20	> 20 et ≤ 20000	> 20000
<b>SF</b>	0	> 0 et ≤ 20	> 20 et ≤ 10000	> 10000
<b>CF</b>	0	> 0 et ≤ 20	> 20 et ≤ 50000	> 50000

N.B : IFC est la somme des numéros de classe des trois (03) variables

La grille de degré de contamination fécale des eaux se présente comme suit (Tableau 5).

**Tableau 5.** Grille de degré d'indice de contamination fécale des eaux (Orou et al., 2016).

Classes	Valeur calculée	Indice de pollution
1	$0 < \text{ICF} \leq 3$	Pas de contamination
2	$3 < \text{ICF} \leq 6$	Contamination fécale modérée
3	$6 < \text{ICF} \leq 9$	Contamination fécale forte
4	$9 < \text{ICF} \leq 12$	Contamination fécale excessive ou forte

Pour les analyses au laboratoire, 50 échantillons d'eau issus de la zone d'étude ont été prélevés. Les analyses des paramètres physico-chimiques ont été réalisées selon les méthodes d'analyse d'eau potable (Rodier et al., 1996). L'analyse microbiologique a concerné les germes indicateurs de contamination fécale : les Coliformes fécaux (CF), *Escherichia coli* (*E. coli*),

les Streptocoques Fécaux (SF) et les germes Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR). Le dénombrement des bactéries s'est fait par ensemencement sur milieu de culture sélectif selon la méthode décrite par (Rodier et al., 1996). Ainsi les CF y compris *E. coli*, SF et ASR sont déterminés par ensemencement dans la masse, respectivement sur les milieux de culture Violet Red Bile Agar, Brillance *E. coli*, Slanetz et Bartley Agar et Tryptone Sel Néomycine Agar.

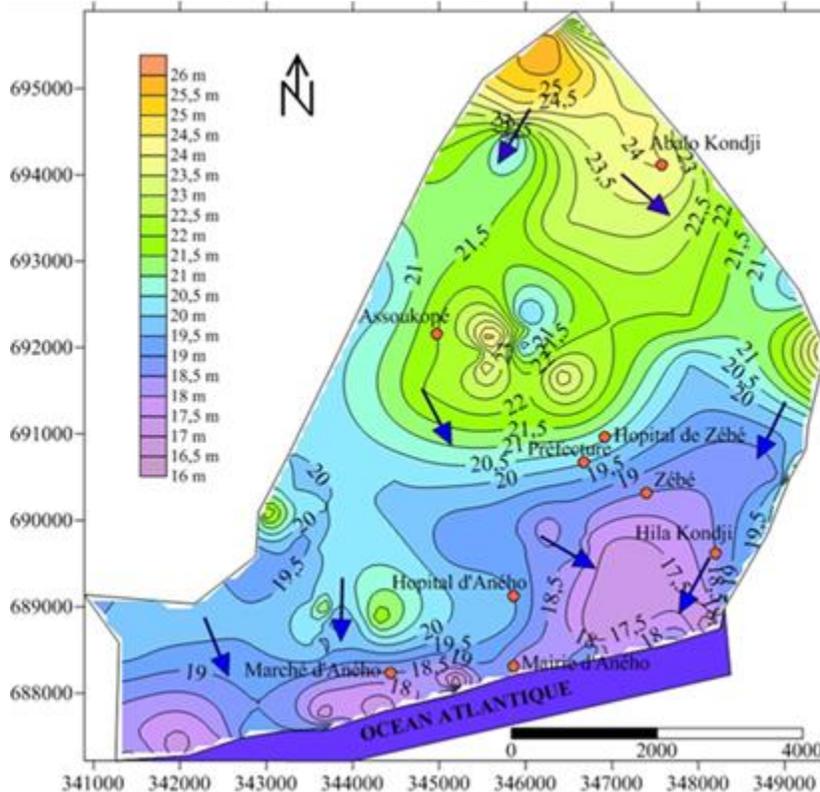
### 3. Resultats

#### 3.1. Etude de la vulnérabilité des aquifères libres par la méthode DRASTIC

##### 3.1.1. Etude de la profondeur du plan d'eau (D) et attribution des côtes

Les résultats du sondage de la profondeur (D) des nappes libres montrent que 77,21% des puits sondés ont une profondeur comprise entre 1,5m et 4,5m et 22,78% ont une profondeur comprise entre 4,5m et 9m pour ce qui concerne l'aquifère du sable du cordon littoral (Figure 2). L'aquifère du continental terminal présente 8,7% de profondeurs comprises entre 0m et 1,5m, 86,6% entre 1,5m et 4,5m et 4,8% entre 4,5m et 9m (Figure 3). Ces résultats ont permis d'établir les cartes piézométriques de la nappe du sable du cordon littoral et de la nappe du continental terminal (Figure 2 et 3).

Figure 2. Carte piézométrique de la nappe du sable du cordon littoral



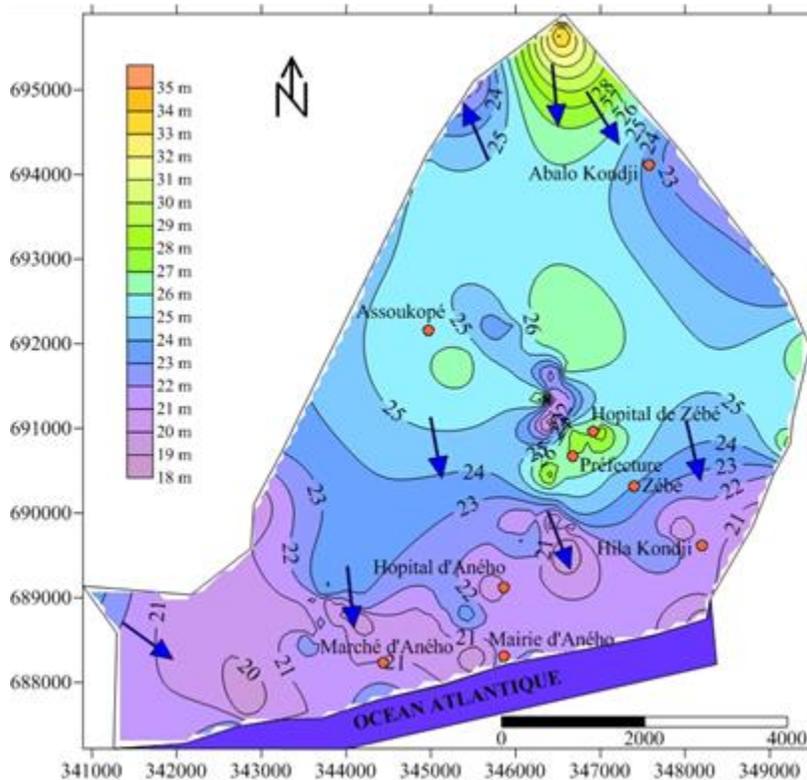


Figure 3. Carte piézométrique de la nappe du Continental Terminal

### 3.1.2. Recharge nette de la nappe (R)

La recharge nette (R) des deux nappes est faite par l'estimation de l'index de percolation. D'après les résultats, la précipitation annuelle moyenne de 1986 à 2019 est de 924,51 mm d'où l'index de percolation (PI) est égale à 879,03 mm/an. L'index de percolation (PI) est égal à 879,03 mm/an soit 73,25 mm/mois. Etant donné que le PI mensuel est supérieur > 25,5 mm, une côte 9 a été attribuée à la recharge nette (R) des nappes du sable du cordon littoral et du Continental Terminal

### 3.1.3. Nature lithologique de l'aquifère (A)

Les coupes lithologiques des forages ont permis de déduire les matériaux (A) des aquifères étudiés. D'après les résultats, ils sont constitués essentiellement du sable. Une côte 8 a été attribuée aux deux aquifères.

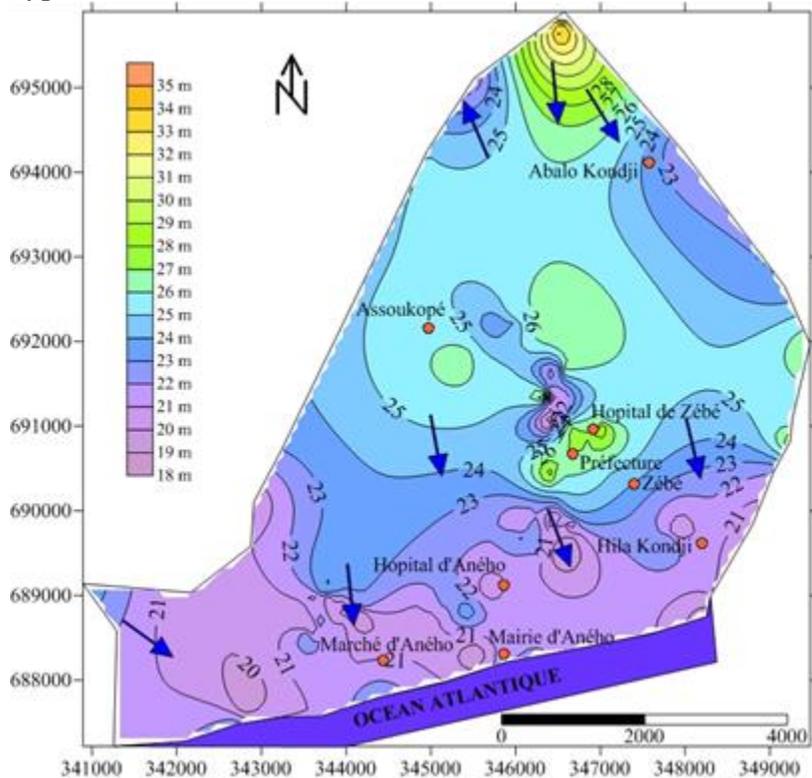
### 3.1.4. Le type de sol (S)

Les types de sol rencontrés à Aného sont : le sol sableux, le sol sablo-argileux, le sol argilo-sableux et le sol argileux (Figure 4)

- Le sol sableux : ce type de sol est rencontré en bordure de l'océan et peut couvrir jusqu'à 1km à l'intérieur du continent. Il présente une

texture sableuse avec absence total de la matière organique ; ainsi la côte 10 a été attribuée à ce type de sol.

- Le sol sablo-argileux : il s'agit d'un mélange de sable avec de l'argile. Le sable prédomine l'argile. Une côte de 8 a été attribuée à ce type de sol.
- Le sol argileux : ce type de sol se rencontre dans les marécages, en bordure des lagunes et marais. La cote 7 a été attribuée à ce type de sol.
- Le sol argilo-sableux : un mélange d'argile et de sable avec la prédominance d'argile dans le sol. Une côte de 7 a été attribuée à ce type de sol.



### 3.1.5. Pente de terrain (T)

La ville d'Aného présente des pentes faibles en majorité (Figure 5).

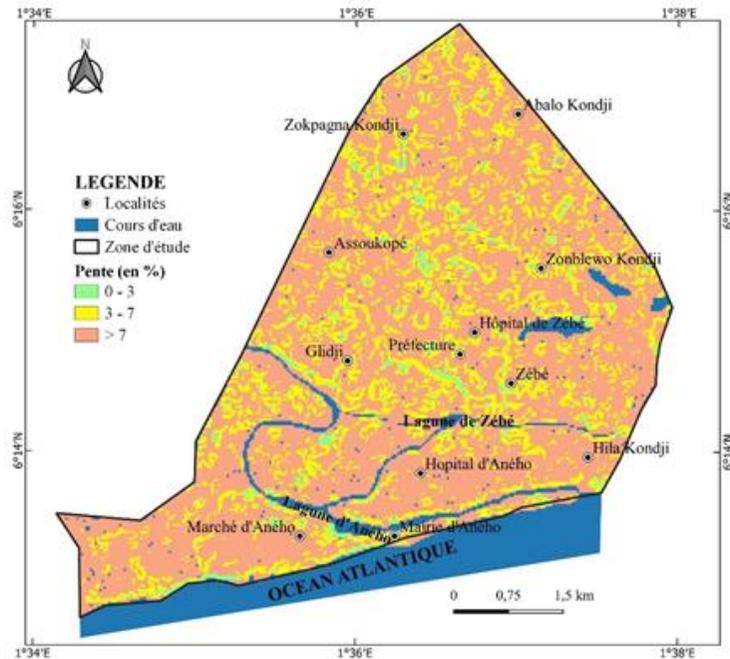


Figure 5. Carte de la répartition des pentes à Aného

### 3.1.6. Impact de la zone vadose (I)

D'après les coupes lithologiques de forage, la zone vadose est composée essentiellement de sable, du sable argileux et d'argile sableuse d'où les côtes de 8 et 6 ont été attribuées.

### 3.1.7. Conductivité hydraulique (C)

La Conductivité hydraulique est de  $9,6 \cdot 10^{-4}$  pour le sable du cordon littoral et de  $6,28 \cdot 10^{-4}$  pour le Continental Terminal d'où les côtes 10 et 8 sont attribuées respectivement à l'aquifère du sable du cordon littoral et au Continental Terminal.

### 3.2. Indice de vulnérabilité (IDRASTIC)

Les résultats de l'estimation de l'indice de vulnérabilité font distinguer deux classes de vulnérabilité pour l'aquifère du continental terminal et de deux classes pour celui du sable du cordon littoral (Figure 6 et 7). Les degrés obtenus vont de « moyens » à « très élevés » et de « élevés » à « très élevés » pour l'aquifère du continental terminal d'après les classifications d'ALLER et de ENGEL. Ces degrés vont de « élevés » à « très élevés » pour l'aquifère du sable du cordon littoral d'après les classifications d'ALLER et de ENGEL.

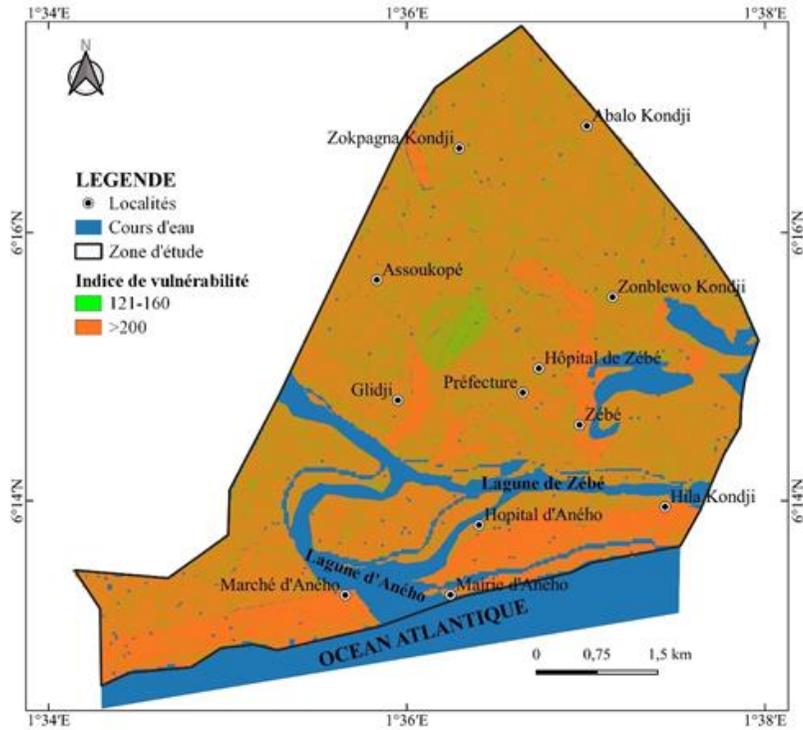


Figure 6. Carte de vulnérabilité de l'aquifère du continental terminal à Aného

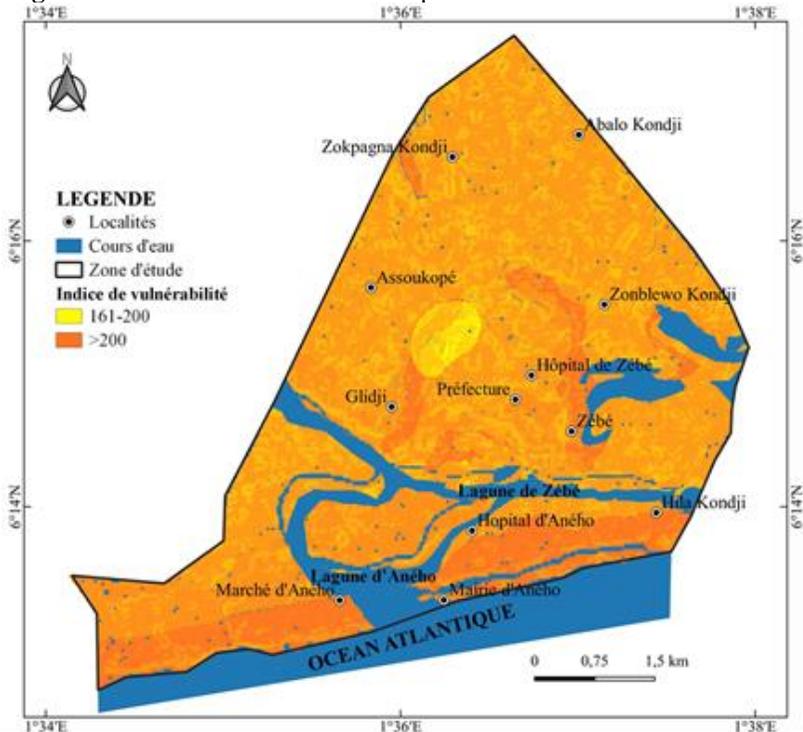


Figure 7. Carte de vulnérabilité de l'aquifère du sable du cordon littoral à Aného

### 3.3. Validation de la carte de vulnérabilité

#### 3.3.1. Mesure de la distance qui sépare les ouvrages d'assainissement et les puits

Les résultats de mesure des distances qui séparent les fosses des puits sont présentés respectivement sur les Figures 8 et 9 pour les nappes du sable du cordon littoral et du Continental Terminal. D'après ces résultats, la distance qui sépare les fosses des puits est de 3,5m minimale et de 25m maximale avec une moyenne de 13,44 m pour la nappe du sable du cordon littoral. Pour la nappe du continental terminal, la distance est de 0,5m minimale et de 39m maximale avec une moyenne de 11,73m.

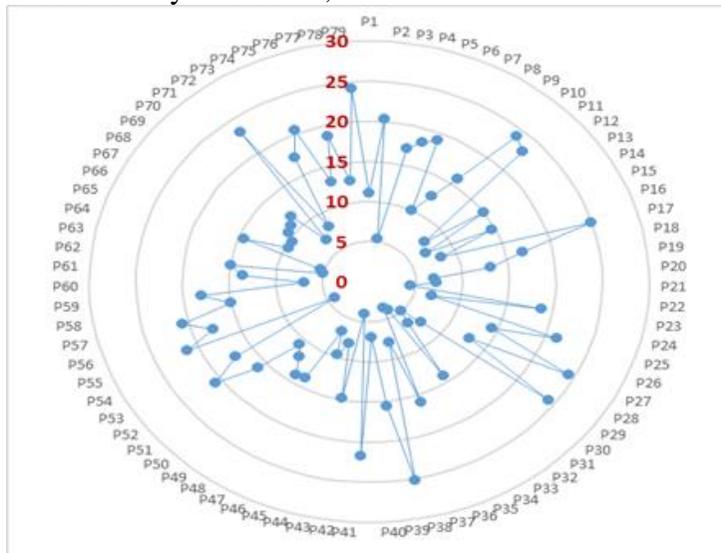


Figure 8. Distances Fosses – Puits pour la nappe du « sable du cordon littoral »

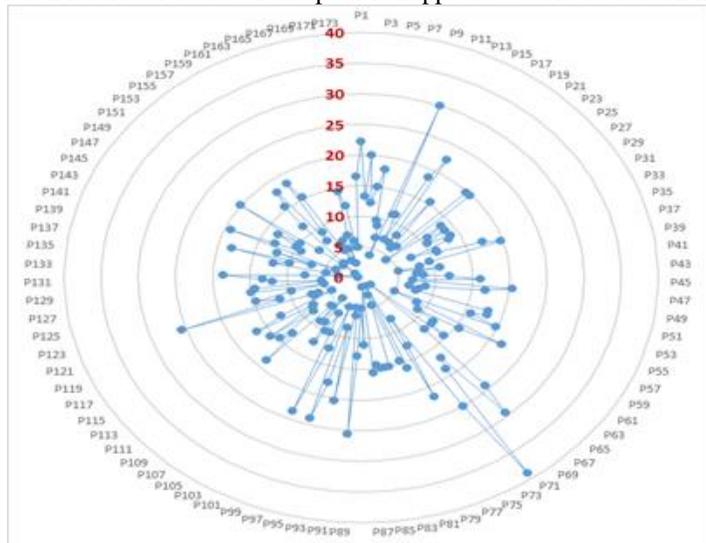


Figure 9. Distances Fosses – Puits pour « la nappe du Continental Terminal »

### 3.3.2. Détermination des germes indicateurs de contaminations d'origine fécale

Les résultats de détermination des germes indicateurs de contamination d'origine fécale sont présentés par types de nappes dans le Tableau 6.

**Tableau 6.** Statistique élémentaire des paramètres bactériologiques des eaux étudiées

Types de nappes			Nappe du sable du cordon littoral			Nappe du continental terminal			Lagune		
Germes recherchés	Unités	Critères UE 2007	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
<i>E. Coli</i>	UFC/ml	<1/ml	0	22	1,9	0	7	1,4	0	2	0,7
Coliforme Fécaux	UFC/ml	100/ml	10	5160	651	8	2764	742,4	6	764	243,2
Anaérobie Sulfuro-réducteurs	UFC/ml	2/20ml	0	15	2,2	0	7	1,3	0	4	0,8
Streptocoques Fécaux	UFC/ml	<1/ml	0	167	38	0	21	6,5	7	78	35

Les valeurs de l'Indice de Contamination Fécale (ICF) obtenues, vont de 5 à 9 avec une moyenne de 6,73 pour la nappe du sable du cordon littoral, de 5 à 7 avec une moyenne de 6,1 pour la nappe du continental terminal et de 6 à 8 avec une moyenne de 7 pour l'eau de la lagune (Tableau 7).

**Tableau 7.** Statistiques élémentaires et répartition d'ICF en fonction des classes

Valeurs d'ICF Classes d'ICF	Type de classes	Nappe du sable du cordon littoral	Nappe du continental terminal	Lagune
$0 < ICF \leq 3$	Pas de contamination fécale	0%	0%	0%
$3 < ICF \leq 6$	Contamination fécale modérée	43,33%	60%	30%
$6 < ICF \leq 9$	Forte contamination fécale	56,66%	40%	70%

### 3.3.3. Caractérisation physico-chimique des eaux de puits, de forages et de la lagune

Les résultats de caractérisation physico-chimiques des eaux étudiées sont présentés par types de nappes (Tableau 8).

**Tableau 8.** Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux étudiées

Types de nappes			Nappe du sable du cordon littoral			Nappe du continental terminal			Lagune		
Paramètres recherchés	Unités	Normes OMS	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
Conductivité Electrique	( $\mu$ S/Cm)	500	134	1230	723,22	1041	1460	1310,48	134	1230	723,22
Température	°C	-	29,1	31,2	29,99	29,30	30,7	30,01	29,1	31,2	29,99
pH	-	6,5 – 8,5	6,5	8	7,39	6,20	7,65	7,12	6,5	8	7,39
TAC	°f	-	4,5	16,5	10,95	1,50	15	7,45	4,5	16,5	10,95
Chlorure	(mg/L)	250	25,65	325,2	183,95	65,10	657,12	259,23	25,65	325,2	183,95
Sulfates	(mg/L)	400	48,3	343	161,95	22,13	307,90	87,98	48,3	343	161,95
Nitrates NO <sub>3</sub>	(mg/L)	50	22,6	109,4	65,29	25,84	165,35	79	22,6	109,4	65,29
Calcium Ca	(mg/L)	75	8,83	352,2	135,06	0,75	320,24	159,08	8,84	352,30	135,06
Potassium K	(mg/L)	12	1,28	46,63	27,54	1,15	47,15	22,53	1,28	46,63	27,54
Sodium Na	(mg/L)	200	56,96	86,37	74,64	15,18	114,34	71,28	56,96	86,37	74,64
Magnésium Mg	(mg/L)	150	7,0	27,56	21,94	8,91	29,51	21,85	7,00	27,57	21,95
Manganèse Mn	(mg/L)	0,4 – 0,05	0,001	0,040	0,006	0,001	0,086	0,009	0,001	0,040	0,006

### Caractérisation de l'eau de la nappe du continental terminal

Les résultats de la caractérisation physico-chimiques de l'eau de la nappe du continental terminal sont présentés sur les figures 10 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j et k).

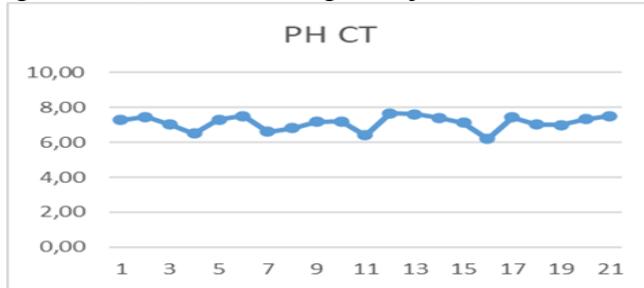


Figure 10a. Valeur du PH dans le CT

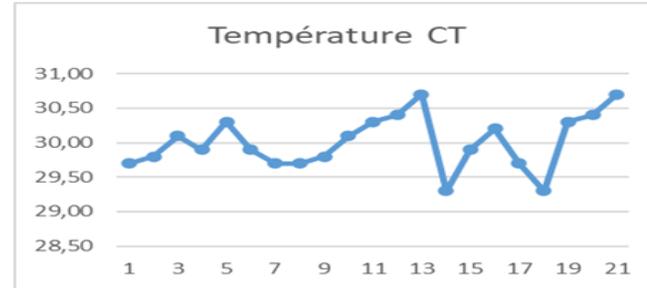


Figure 10b. Valeur de la Température dans le CT

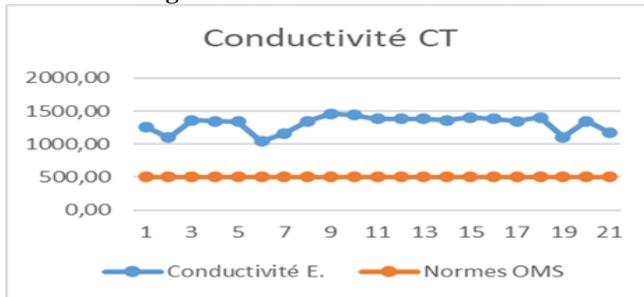


Figure 10 c. Valeur de la Conductivité Electrique

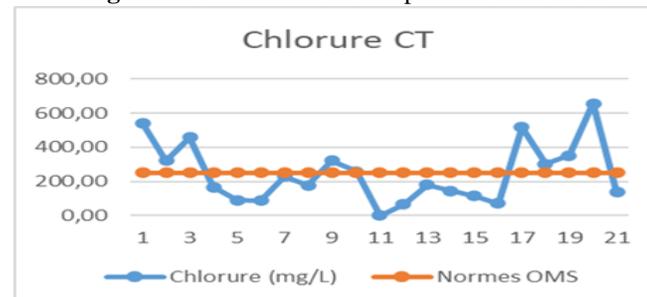
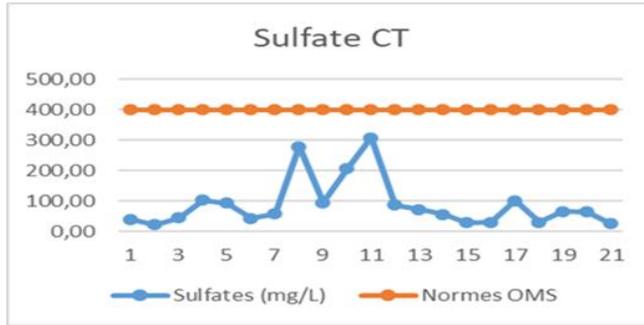
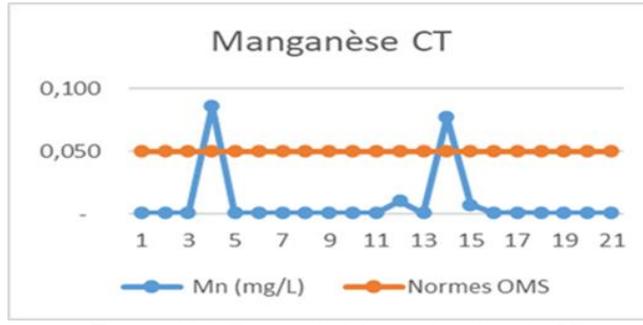


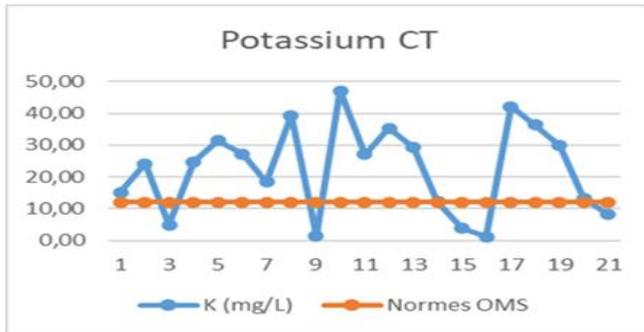
Figure 10 d. Teneur des Chlorures dans CT



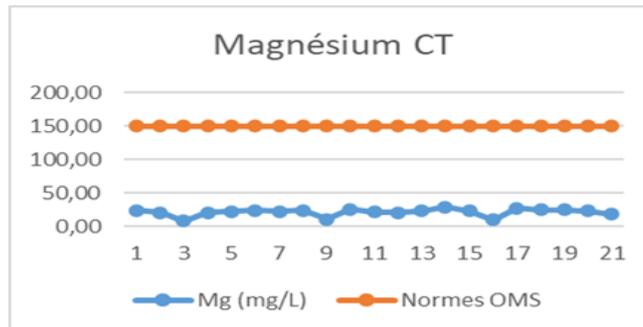
**Figure 10 e.** Teneur des Sulfates dans CT



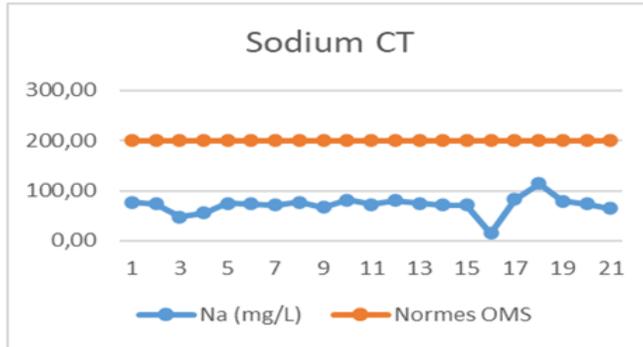
**Figure 10 f.** Teneur du Manganèse dans le CT



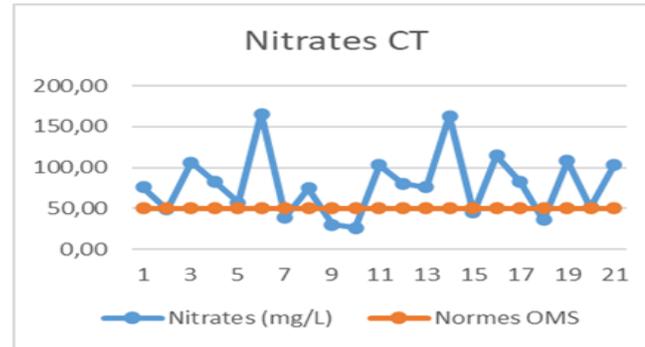
**Figure 10 g.** Teneur du potassium dans CT



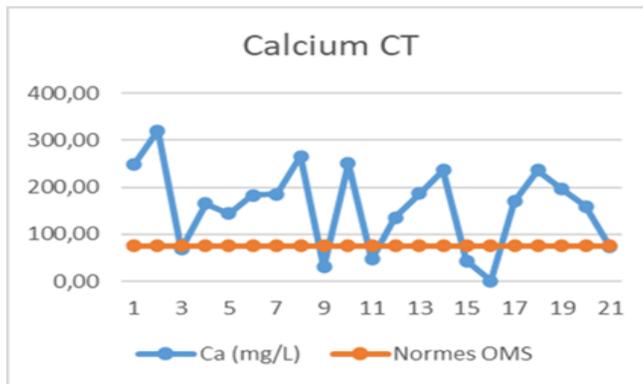
**Figure 10 h.** Teneur du magnésium dans CT



**Figure 10 i.** Teneur du Sodium dans le CT



**Figure 10 j.** Teneur des Nitrates dans le CT



**Figure 10 k.** Teneur du Calcium dans le CT

### Caractérisation de l'eau de la nappe du **Sable du Cordon Littoral (SCL)**

Les résultats de la caractérisation physico-chimiques de l'eau de la nappe du Sable du Cordon Littoral sont présentés sur les figures 11 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j et k).

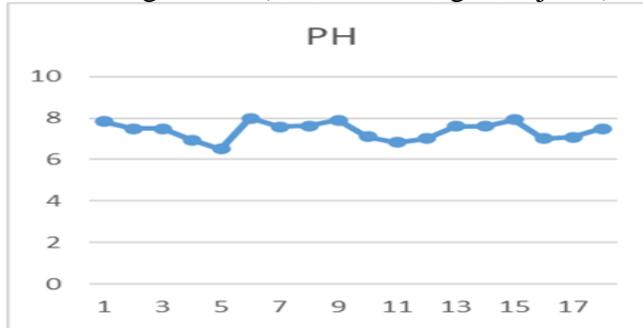


Figure 11 a. Valeur du PH dans le SCL

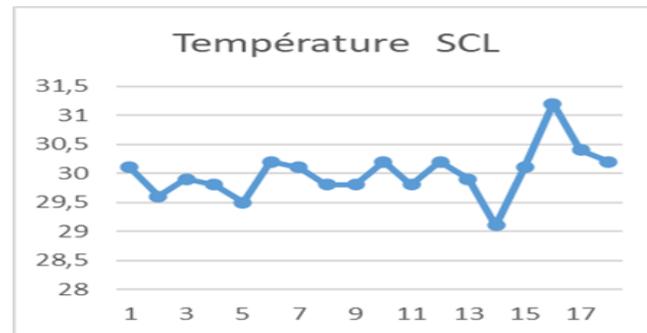


Figure 11 b. Valeur de la température dans le SCL

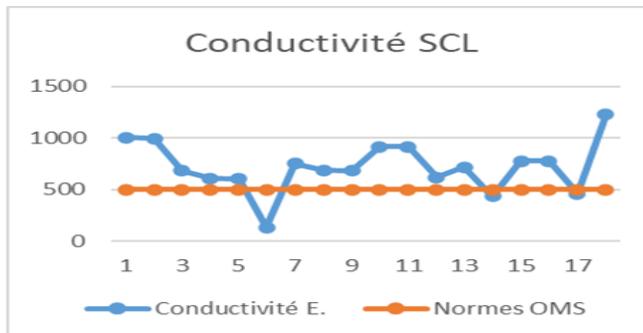


Figure 11 c. Valeur de la Conductivité électrique

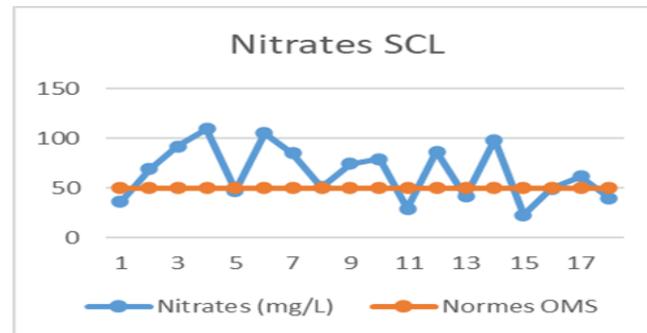


Figure 11 d. Teneur des nitrates dans le SCL

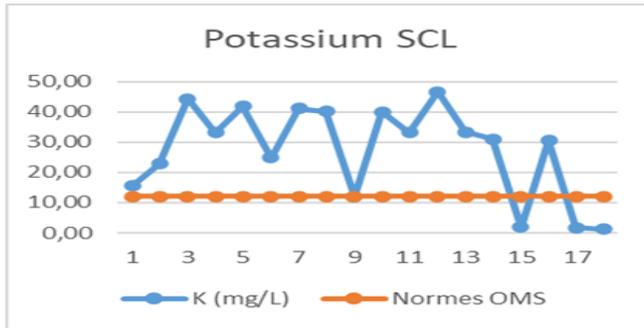


Figure 11 e. Teneur du Potassium dans le SCL

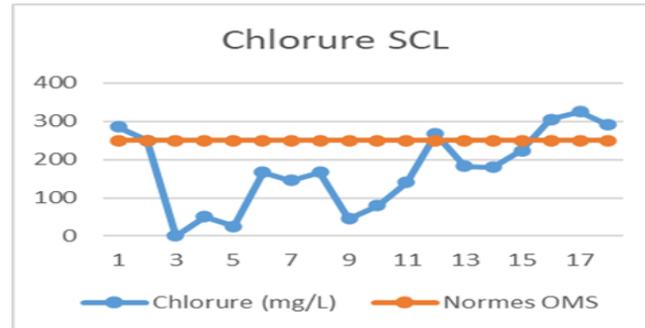


Figure 11 f. Teneur des Chlorures dans le SCL

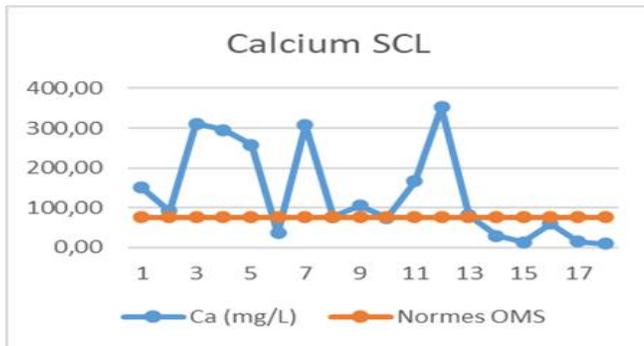


Figure 11 g. Teneur du Calcium dans le SCL

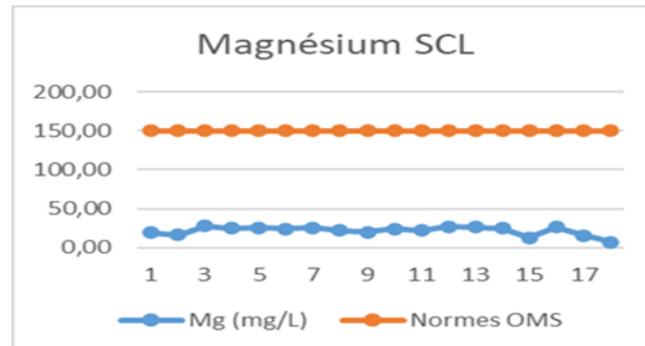


Figure 11 h. Teneur du Magnésium dans le SCL

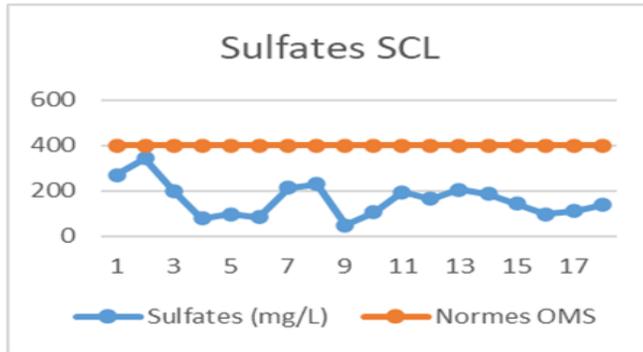


Figure 11 i. Teneur des Sulfates dans le SCL

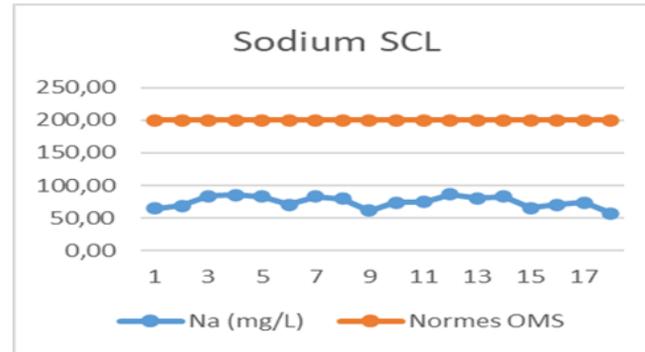


Figure 11 j. Teneur du Sodium dans le SCL

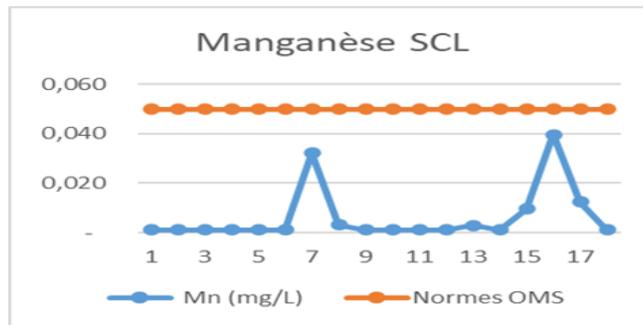


Figure 11 k. Teneur du Manganèse dans le SCL

### Caractérisation de l'eau de la Lagune (Lagune)

Les résultats de la caractérisation physico-chimiques de l'eau de la lagune sont présentés sur les figures 12 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j et k).

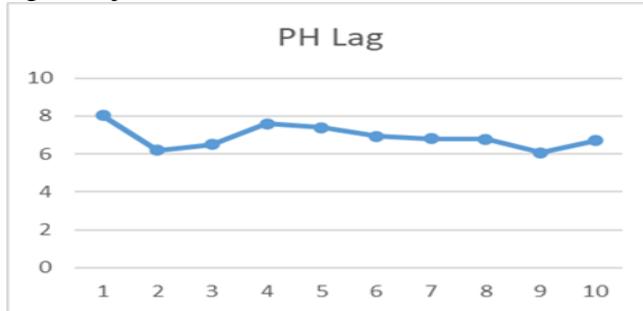


Figure 12 a. Valeur du PH dans la lagune

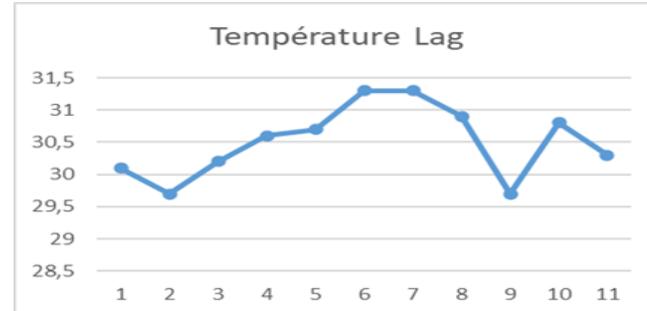


Figure 12 b. Valeur de la température dans la lagune

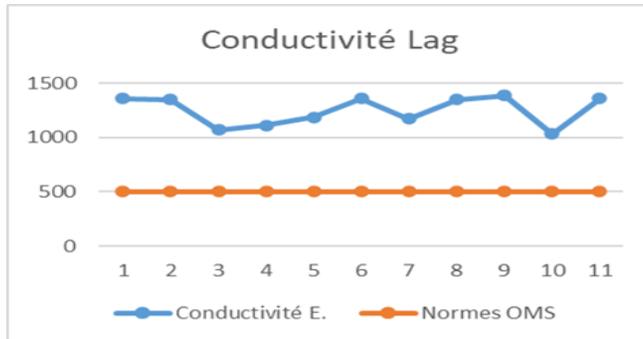


Figure 12 c. Valeur de la Conductivité dans la lagune

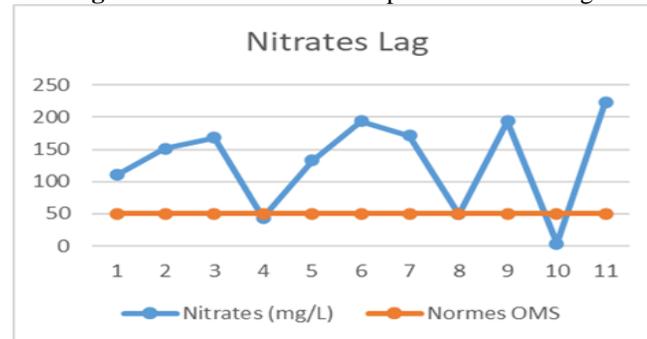
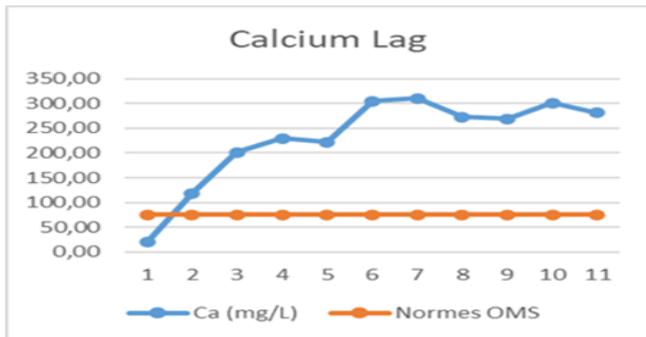
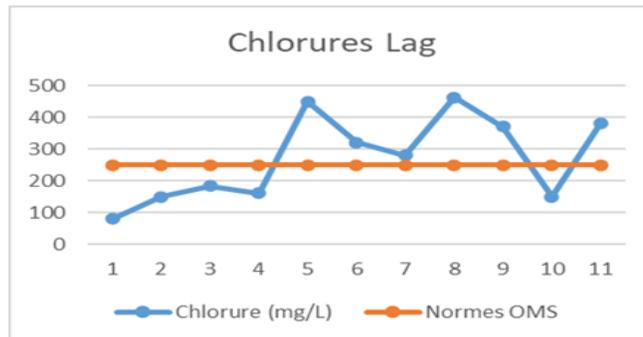


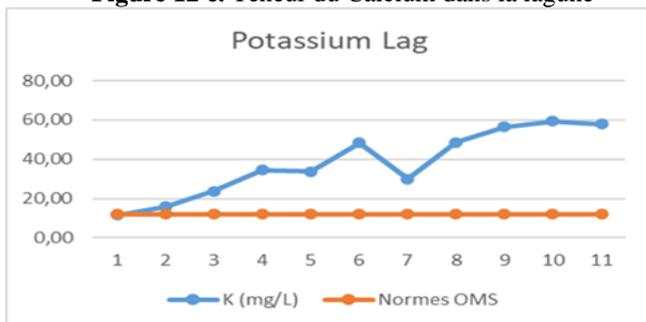
Figure 12 d. Teneur des Nitrates dans la lagune



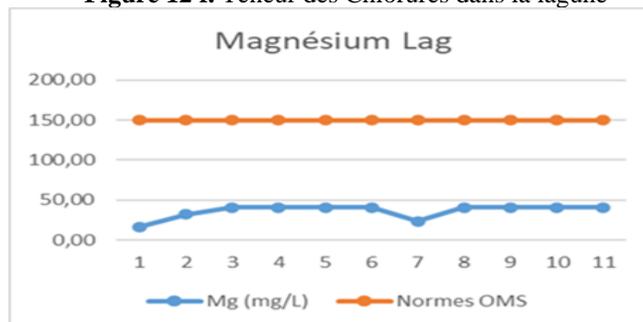
**Figure 12 e.** Teneur du Calcium dans la lagune



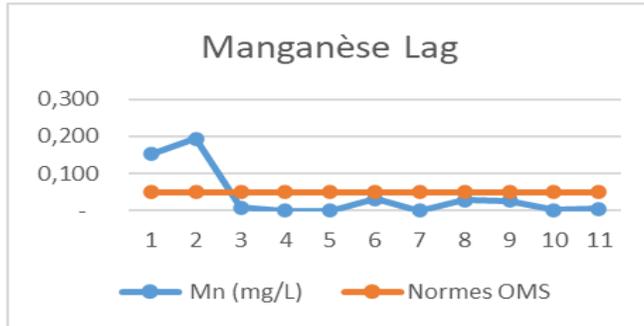
**Figure 12 f.** Teneur des Chlorures dans la lagune



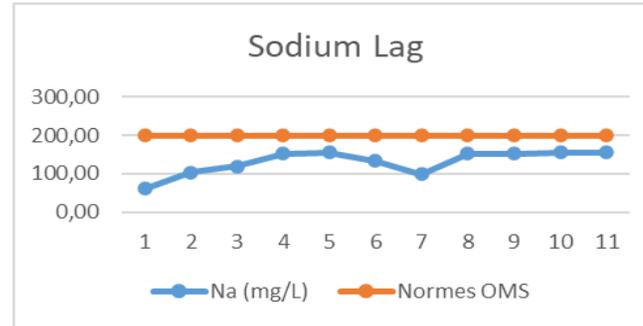
**Figure 12 g.** Teneur du Potassium dans la lagune



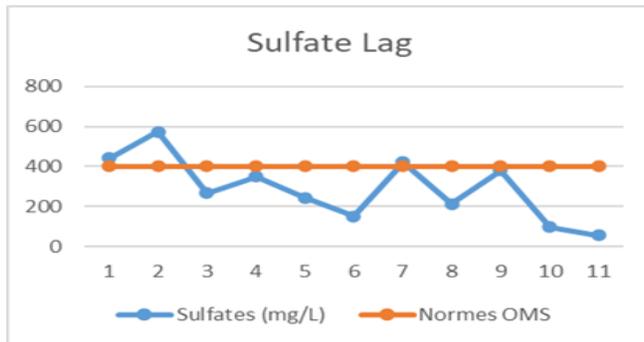
**Figure 12 h.** Teneur du Magnésium dans la lagune



**Figure 12 i.** Teneur du Manganèse dans la lagune

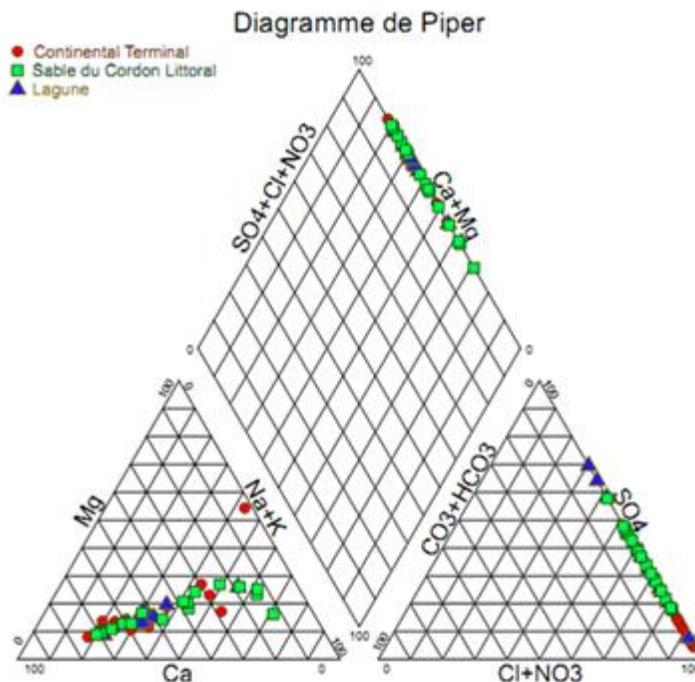


**Figure 12 j.** Teneur du Sodium dans la lagune



**Figure 12 k.** Teneur des Sulfates dans la lagune

Les résultats de la caractérisation physico-chimique ont permis de représenter les paramètres analysés sur le diagramme de piper (fig. ou Figure 13) afin de déterminer les différents faciès hydro chimiques des eaux étudiées. D'après les résultats, toutes les eaux sont hyper chlorurées calciques et sulfatées. L'eau du continental terminal présente plus de chlorures et de nitrates que les autres eaux étudiées.



**Figure 13.** Diagramme de piper montrant les différents faciès hydro chimiques des eaux à Aného

## Discussions

Notre étude a utilisé la méthode DRASTIC pour étudier les facteurs de pollution des eaux des deux nappes libres (la nappe du sable du cordon littoral et la nappe du continental Terminal) dans la ville d'Aného au Togo. L'étude de la profondeur d'eau (D) dans les nappes a révélé que les nappes libres sont de faible profondeur (en moyenne 5m pour la nappe du continental terminal et 3,5 m pour la nappe du sable du cordon littoral) à Aného ; ce qui augmente le risque de contamination de la nappe. Plusieurs études ont montré que plus la nappe est de faibles profondeurs plus elle devient vulnérable à la pollution (Kanhin et al., 2018). L'étude de la profondeur des nappes a permis de réaliser les cartes piézométriques. L'analyse de ces cartes piézométriques montre des niveaux de courbes concentriques ; ces anomalies observées au niveau des courbes piézométriques se traduisent par la présence des cônes de dépression et des dômes. Au niveau des cônes de dépression, les écoulements sont centripètes alors qu'ils sont centrifuges au niveau des dômes. Les cônes sont observés plus au nord - est et les dômes sont observés au sud. L'analyse des cartes montre que l'eau coule dans les deux nappes du Nord au Sud et de l'Ouest à l'Est. Pour ce qui est du paramètre de la recharge, l'estimation a donné une valeur de 58,48mm, largement supérieur à 25mm ce qui a fait qu'un

côte de 9 a été attribué. Quant à la nature du matériau de l'aquifère, les deux aquifères sont constitués essentiellement du sable d'après les données lithologiques de forages enregistrées (Bleza et al., 2020). Ce qui veut dire que nous sommes dans un contexte d'aquifère continu et que l'eau circule en continu et en permanence dans les deux nappes ; ce qui augmente aussi un risque de contamination et surtout de propagation d'un polluant si ce dernier arrivait à atteindre la nappe. Le type de sol a été étudié en se basant sur la carte pédologique de la zone d'étude. La ville est couverte en majorité de sable et d'argile sableux dans les zones marécageuses. L'étude de la topographie présente la ville d'Aného comme étant une zone plate avec des pentes nulles à faibles (0 à 5%) en majorité. La ville a la même configuration géomorphologique que celle de la plupart des villes de la côte (Zinsou et al., 2016 ; Lagnika et al., 2014 ; Ahoussi et al., 2018). L'étude du milieu vadose s'est faite en se basant sur les données lithologiques de forage et selon les endroits, on y rencontre que du sable et d'argile sableuse. Cette texture sableuse du milieu vadose contribue elle aussi à la vulnérabilité des nappes d'autant plus qu'elle devrait servir de couche de protection de la nappe. Tous ces paramètres étudiés cas par cas en plus de la grande perméabilité des aquifères qui est de  $9,6 \cdot 10^{-4}$  pour le sable du cordon littoral et de  $6,28 \cdot 10^{-4}$  pour le continental terminal, ont permis de distinguer trois classes de vulnérabilité pour l'aquifère du continental terminal et de deux classes pour celui du sable du cordon littoral. Les degrés obtenus vont de moyens à très élevés et de élevés à très élevés pour l'aquifère du continental terminal d'après les classifications d'ALLER et de ENGEL. Ces degrés vont de élevés à très élevés pour l'aquifère du sable du cordon littoral d'après les classifications d'ALLER et de ENGEL.

Les sondages et les mesures de terrains réalisés lors de cette étude ont permis de confronter les données des cartes de vulnérabilité réalisées. Ainsi, il apparaît que les cartes de vulnérabilité obtenues sont valides dans la mesure où, sur le terrain, il existe des facteurs anthropiques qui rendent d'avantage les aquifères plus vulnérables. L'observation de l'environnement immédiat des puits permet de constater que les puits présents à Aného sont traditionnels, non protégés et vétustes pour la plupart. La présence à proximité des ouvrages d'assainissement constitués essentiellement de fosses septiques, les toilettes à chasse manuelles et de puisards à fond perdu dans un contexte géologique fait de sable où les nappes sont peu profondes augmente suffisamment le risque de vulnérabilité des aquifères étudiés. Les ménages évoquent des raisons de manque d'espace dans les parcelles pour justifier cette proximité des puits près des ouvrages d'assainissement (Gautier, 2015; Hounsounou et al., 2017).

L'eau de la lagune d'Aného et l'eau des nappes étudiées ont été analysées au laboratoire. A cet effet, les germes indicateurs de contaminations fécales et les principaux polluants physico-chimiques ont été déterminés. Les

résultats obtenus confirment l'état de vulnérabilité des nappes étudiées. Les eaux vont de modérément contaminées à très fortement contaminées par rapport à l'indice de contamination fécale calculé. Les résultats montrent que du point de vue bactériologique, aucun des échantillons prélevés ne répond à la norme pour les paramètres recherchés. Des observations similaires ont été rapportées à Lomé (Djeri et al., 2016 ; Soncy et al., 2015 ; Sokegbe et al., 2018) et dans plusieurs pays de la sous-région (Dansou, 2015 ; Salah et al., 2015 ; Mba et al., 2019 ; Heriarivony, 2015). La forte contamination fécale observée peut s'expliquer par la présence des ouvrages d'assainissement ne respectant pas les normes standards de construction à proximité des points d'eau (Dovonou et al., 2018). Elle s'expliquerait aussi par la forte perméabilité du sol, la faible profondeur des nappes et la mauvaise gestion des eaux usées et des boues de vidange qui sont jetées directement dans la nature sans aucun traitement préalable (Poromna et al., 2020).

Les eaux contaminées deviennent impropres pour la consommation car elles sont sources des maladies hydriques (Vissin et al., 2017 ; Prisca, 2021). Les travaux de Soncy et al. (2014) ont montré la présence des germes indicateurs de contaminations fécales dans les jus frais obtenus à partir des fruits lavés à des eaux de puits de Lomé. Ce qui voudrait dire, qu'il faudrait être prudent quant à ce qui concerne leurs usages dans le quotidien (laver les aliments destinés à la consommation cru, se brosser les dents, donner du bain aux bébés etc.). Il est important de traiter ces eaux avant leurs usages. Plusieurs méthodes de traitement permettent de purifier l'eau avant sa consommation ; elles vont des plus simples (bouillir l'eau, chloration avant toutes consommations) à des méthodes plus sophistiquées (station de traitement des eaux) (Markarian, 2010).

## **Conclusion**

Cette étude a pour but d'étudier la vulnérabilité des nappes libres dans la ville d'Aného au Togo. Elle a permis de distinguer trois classes de vulnérabilité pour la nappe du continental terminal et deux classes pour la nappe du sable du cordon littoral. La vulnérabilité des deux nappes a été étudiée par la méthode DRASTIC. L'étude de chaque paramètre composant l'acronyme DRASTIC a montré que les nappes libres sont de faible profondeur, elles s'alimentent essentiellement par des pluies efficaces avec un taux de recharge élevé. Les deux aquifères sont constitués de sable et ont une grande perméabilité. Au-dessus des nappes se trouve un sol majoritairement sableux exposant ainsi les nappes à une vulnérabilité élevée dans un contexte topographique dominé par une plaine à basse altitude. Le milieu situé entre le sol et les nappes (zone dite vadose) ne favorise pas non plus la protection des nappes car il est fait de sable et d'argile sableuse. Pour confronter les résultats obtenus de l'estimation de la vulnérabilité à la réalité de terrain, quelques

sondages et mesures ont été effectués sur le terrain. Ceci a permis de conclure que les activités anthropiques contribuent énormément à la vulnérabilité des nappes libres. En effet, les ménages n'ont pas respecté non seulement les normes standards de construction mais aussi la distance minimale de 15 m recommandée. La plupart des ménages ont construit les ouvrages d'assainissement à proximité des puits pour des raisons de manque d'espace dans les parcelles. L'analyse physico-chimique et microbiologique réalisée sur les eaux ont permis de montrer que les eaux sont fortement polluées par les polluants physico-chimiques tels que les chlorures, les nitrates et les sulfates rendant ainsi l'eau brute impropre à la consommation. Elles nécessitent d'être traitées avant d'être utilisées.

### References:

1. Ahoussi, E. K., Keumean, N. K., Kouassi, M. A., & Koffi, B. Y. (2018). Etude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des eaux de consommation de la zone périurbaine de la ville de Man : Cas du village de Kpangouin (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6), 3018. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.37>
2. Ahoussi, K., Koffi, Y., Kouassi, A., Soro, G., & Biemi, J. (2013). Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences*, 63(1), 4703. <https://doi.org/10.4314/jab.v63i1.87245>
3. Ake, G., Kouadio, H., Dongo, K., Dibi, B., Kouame, F., & Biemi, J. (2011). Application des méthodes DRASTIC et SI pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution par les nitrates (NO<sub>3</sub>) de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(5). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i5.65557>
4. Akpaki, O., Baba, G., Koledzi, K. E., & Segbeaya, K. N. (2016). *Quantification et valorisation en biogaz des boues de vidange du site d'Attidjin à Lomé*. 7.
5. Albinet, M. (1970). *LES CARTES DE VULNÉRABILITÉ DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE À LA POLLUTION*. 31.
6. Aller, L., Bennet, T., Lehr, J., Petty, R., & Hackett, G. (1987). DRASTIC : A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. EPA- 600/2-87-035, 455 p.
7. Amharref, M., Aassine, S., Bernoussi, A. S., & Haddouchi, B. Y. (2007). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du Gharb (Maroc). *Revue des sciences de l'eau*, 20(2), 185-199. <https://doi.org/10.7202/015812ar>

8. *BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER. SONDAGE 1 A 108.pdf.* (1986).
9. Bleza, A., Gnazou, M. D.-T., & Gnazou, M. E. (2020). *CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE DU CONTINENTAL TERMINAL A L'OUEST DU COURS D'EAU ZIO (TOGO).* 12. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), 2020, 22(3)
10. Boualem, B., Aziez, Z., & Salah, B. M. (2015). Contribution de la Méthode de Vulnérabilité Intrinsèque GOD à l'Etude de la Pollution de la Nappe Libre d'Ouargla (SE Algérie) International Journal for Environment & Global Climate Change ISSN 2310-6743. *Global Climate Change*, 3(4), 9.
11. Brou, D., Lazare, K. K., Innocent, K. K., Seraphin, K. K., Moussa, S., Brice, K. A., & Dago, G. (2013). *Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères des formations altérites à partir des méthodes DRASTIC et SYNTACS : Cas de la ville de M'bahiakro, Centre de la Côte d'Ivoire.* 2(4), 13. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 2 No. 4 Apr. 2013, pp. 464-476 © 2013 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.issr-journals.org/ijias>
12. Dansou, B. S. (2015). *Facteurs de dégradation des eaux de puits à usage domestique dans la commune de Pobè au Sud-Est du Bénin.* 10. Afrique SCIENCE 11(6) (2015) 367 - 376 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>
13. Deh, S., Kouame, K., Saley, M., Tanoh, K., Anani, E., Signo, K., Jourda, J., & Biemi, 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). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(3), 1390-1408. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i3.40>
14. Dekkiche Issam (2019). *Etude comparative de trois méthodes pour la cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère alluviale à la pollution, plaine alluviale de Khemis Miliana.* Mémoire (102 p).
15. Diawara, H., Ahimir, S., Berthé, T., & Guindo, A. (2021). Etude De La Contribution Des Forages Dans L'amélioration De L'accès À L'eau Potable Dans Le Quartier De N'Tabacoro Cité Extension À Bamako. European Scientific Journal, ESJ, 17(40), 106. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n40p106>
16. Djeri, B., Awussi, A., Anani, K., Boguido, G., Soncy, K., Adjrah, Y., Tchacondo, T., Ameyapoh, Y., Bawa, L., & Karou, D. (2016). Évaluation des propriétés antimicrobiennes des javels vendues à Lomé sur quelques germes isolés de l'eau de consommation. *Journal of Applied Biosciences*, 97(0), 9152. <https://doi.org/10.4314/jab.v97i1.2>

17. Dovonou, F. E., Alassane, A., Adjahossou, V. N., Agbodo, B., Djibril, R., & Mama, D. (2018). Impacts de l'assainissement autonome sur la qualité des eaux de puits dans la Commune de Sèmè-Podji (Sud-Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6), 3086. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.42>
18. Engel, B.A., Navulur, K.C.S., Cooper, B.S., & Hahn, L. (1996). Estimating groundwater vulnerability to non-point source pollution from nitrates and pesticides on a regional scale. *Int. Assoc. Hydrol. Sci.*, 235. 521-526.
19. Gautier, K. W. (2015). Stratégies d'accès à l'eau potable dans un quartier défavorisé : Cas de Gobelet dans la commune de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire). *Revue Canadienne de Géographie* / *Canadian Journal of Tropical Geography* RCGT (En ligne) / *CJTG* (Online) ISSN : 2292-4108 Vol. 2 (2) : 60-72 <http://laurentienne.ca/rcgt>
20. Hamza, M. H., Added, A., Francès, A., Rodriguez, R., Ajmi, M., & Abdeljaoued, S. (2008). Évaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Jebel-Raf Raf (Nord-Est tunisien) selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI. *Revue des sciences de l'eau*, 21(1), 75-86. <https://doi.org/10.7202/017932ar>
21. Heriarivony (2015). *Caractères physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation (puits) de la Commune Rurale d'Antanifotsy, Région Vakinankaratra, Madagascar*. 11. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°24, Décembre 2015, pp. 7-17 © 2015 All rights reserved, Legal Deposit 1266-2002
22. Hounsounou, E. O., Agassounon Djikpo Tchibozo, M., Kelome, N. C., Vissin, E. W., Mensah, G. A., & Agbossou, E. (2017). Pollution des eaux à usages domestiques dans les milieux urbains défavorisés des pays en développement : Synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(5), 2392. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.35>
23. Kanohin, F., Otchoumou, E., Yapou, O. B., Dibi, B., & Bonny, A. C. (2018). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2495. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.43>
24. Kouassi kouadio\_auguste (2015). *Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe d'Abidjan (Sud-est de la Cote d'Ivoire)*. *Mémoire* 36 p
25. Lagnika, M., Ibikounle, M., Montcho, J. C., Wotto, V. D., & Sakiti, N. G. (2014). Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans

- la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 79(1), 6887. <https://doi.org/10.4314/jab.v79i1.13>
26. Latifi, S., & Chaab, S. (2017). *Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, selon les méthodes DRASTIC et GOD, dans la plaine alluviale de Guelma, Nord-Est Algérien*. 15. Rev. Sci. Technol., Synthèse 34 : 48 -62 (2017)
27. Markarian, A. (2010). *Couplage d'un procédé biologique sur charbon actif en poudre à un procédé membranaire pour le traitement des eaux potables*. Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada.
28. Mba, F. F., Temgoua, E., Kengne, P. D., & Kamhoua, S. N. (2019). Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans la ville de Dschang, Ouest-Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(5), 39. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i5.3S>
29. Mboudou, G. E., Ombolo, A., Kan, J. K., Bon, A. F., & Bineli, E. (s. d.). *Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères du bassin versant de la Mingosso (région de Yaoundé) par les méthodes paramétriques DRASTIC, SI et GOD*. 1. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 12 No. 1 Jul. 2015, pp. 266-286 © 2015 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journals.org/>
30. Murat, V., Paradis, D., Savard, M. M., Nastev, M., Bourque, E., Hamel, A., Lefebvre, R., & Martel, R. (2003). *Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : Évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD* (N° 2003-D3 ; p. 2003-D3). <https://doi.org/10.4095/214216>.
31. Orou, R. K., Coulibaly, K. J., Tanoh, G. A., Ahoussi, E. K., Kissiedou, P. E. K., & Soro, D. T. (2016). *QUALITÉ ET VULNÉRABILITÉ DES EAUX D'AQUIFÈRE D'ALTÉRITES DANS LES SOUS-PRÉFECTURES DE GRAND-MORIÉ ET D'AZAGUIÉ DANS LE DÉPARTEMENT D'AGBOVILLE AU SUD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE*. 31. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 28 (2016) 243 - 272 243 ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>
32. *POLITIQUE NATIONALE SECTORIELLE EN MATIÈRE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE ET ASSAINISSEMENT EN MILIEU RURAL ET SEMI URBAIN - Copie.pdf*. (2012).
33. Poromna, H., Lare, F., Sossou, S. K., Kangni-dossou, M., Gnandi, K., & Ameyapoh, Y. (2020). *Quantification et caractérisation des boues de vidange dans la ville d'Aného au Togo pour le choix d'un traitement approprié*. 49(2), 13. International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 49 No. 2 Jul. 2020, pp. 288-300 ©

- 2020 Innovative Space of Scientific Research Journals  
<http://www.ijisr.issr-journals.org/>
34. Prisca, D.R. (2021). Les contraintes socio-environnementales du manque d'eau potable au sein des villages Avikam du cordon littoral de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, ESJ, 17(14), 70. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n14p70>
35. PSSAC Togo (2012). POLITIQUE SOUS-SECTORIELLE DE L'ASSAINISSEMENT COLLECTIF AU TOGO Volume2.pdf.
36. Rodier, J., Bazin, C., Chanbon, P., Broutin, J.P., Champsaur, H., & Rodi, L. (1996). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*. 8ème Ed. Dunod, Paris: 1383p.
37. Salah, B.M., Salah, C., Rabah, K., & Younes, H. (2015). CARACTÉRISATION HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES: CAS DU NAPPE LIBRE ET COMPLEXE TERMINAL DE L'OUED RIGH: SAHARA ALGÉRIEN. *International Journal for Environment & Global Climate Change* ISSN 2310-6743. *Global Climate Change*.
38. Singh, S., Mohan, R. R., Rathi, S., & Raju, N. J. (2017). Technology options for faecal sludge management in developing countries: Benefits and revenue from reuse. *Environmental Technology & Innovation*, 7, 203-218. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.02.004>
39. Sokegbe, O. Y., Djeri, B., Kogno, E., Kangnidossou, M., Mensah, R. T., Soncy, K., & Ameyapoh, Y. (2018). Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n°2 de Lomé-commune : Cas du quartier d'Adakpamé. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2341. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.31>
40. Soncy, K., Djeri, B., Anani, K., Eklou-Lawson, M., Adjrah, Y., Karou, D., Ameyapoh, Y., & De Souza, C. (2015). Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo. *Journal of Applied Biosciences*, 91(1), 8464. <https://doi.org/10.4314/jab.v91i1.6>
41. Thioune, P. B. D., Ndao, S., Diouf, M., Diallo, M. S., & Diaw, E. H. B. (2019a). *Evaluation de la vulnérabilité de la nappe libre de la zone des Niayes (Sénégal) par les méthodes DRASTIC, SINTACS et Index de Susceptibilité (SI)*. 26(4). *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 26 No. 4 Jul. 2019, pp. 965-984 © 2019 Innovative Space of Scientific Research Journals, <http://www.ijias.issr-journals.org/>
42. Thioune, P. B. D., Ndao, S., Diouf, M., Diallo, M. S., & Diaw, E. H. B. (2019b). *Evaluation de la vulnérabilité de la nappe libre de la zone des Niayes (Sénégal) par les méthodes DRASTIC, SINTACS et Index*

- de Susceptibilité (SI)*. 26(4). International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 26 No. 4 Jul. 2019, pp. 965-984  
© 2019 Innovative Space of Scientific Research Journals  
<http://www.ijias.issr-journals.org/>
43. Traore, F., Konare, M.A., Sossou, S., Andrianisa, H. A., & Samakea, Y. (2021). Contribution AL'amélioration De L'accès a L'eau, L'hygiène Et L'assainissement Dans La Commune Rurale De Zan Coulibaly au Mali. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(40), 196. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n40p196>
44. Vissin, E. W., Aimade, H. S. S., Dougnon, L. D., Sohounou, M., Atiye, E. Y., & Atchade, G. A. A. (2017). Qualité de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 106(1), 10300. <https://doi.org/10.4314/jab.v106i1.10>
45. WHO (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Weltgesundheitsorganisation. Regional büro für Europa. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329520>
46. Zinsou, H. L., Attingli, A. H., Gnohossou, P., Adandedjan, D., & Laleye, P. (2016). Caractéristiques physico-chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Oueme au Benin. *Journal of Applied Biosciences*, 97(0), 9163. <https://doi.org/10.4314/jab.v97i1.3>