



Université  
de Lomé

**FACULTÉ DES SCIENCES**

**DÉPARTEMENT DE GÉOLOGIE**

Année Universitaire 2021-2022

*Mémoire N°..... /*

## **CARACTÉRISATION DE L'ARTÉSIANISME DANS LE BASSIN SÉDIMENTAIRE CÔTIER BÉNINO- TOGOLAIS**

Pour l'obtention du grade Master

Domaine : Sciences et Technologies

Mention : Géosciences

**Spécialité : Hydrologie - Hydrogéologie**

Présenté par

**EZI Komlan Ehli Elom**

Soutenu publiquement, le 30 janvier 2023

### **Composition du Jury de soutenance**

**Président du jury** : Pr GNANDI Kissao, (Professeur Titulaire / UL)

**Examineur** : Dr TAIROU Mahaman Sani, (Maitre de conférences / UL)

**Directeur de mémoire** : Pr GNAZOU Masamaéya D-T, (Professeur Titulaire / UL)

**Maitre de stage** : Dr KPEGLI Raoul, (Ph.D. / UAC)

DEDICACE

*A  
mes parents,  
mon oncle,  
tous mes frères et sœurs,  
toute la communauté Bénino-Togolaise  
et à tous les amis  
pour leurs sacrifices, leur soutien et leur  
compréhension.*

Komlan Ehli Elom EZI

## REMERCIEMENT

*Je tiens à remercier sincèrement le Professeur GNAZOU Masamaéya D-T, Responsable de ce Master et Directeur de ce mémoire, pour son engagement, ses sages conseils avec toute la rigueur scientifique qu'il faut et surtout sa disponibilité malgré ses diverses occupations.*

*Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Raoul KPEGLI, Ph.D, mon Maître de stage qui m'a accompagné tout au long de ce parcours avec beaucoup de patience et de pédagogie, je ne saurais assez manifester ma reconnaissance envers lui.*

*Je témoigne mes sincères remerciements à Monsieur Jean- Michel VOUILLAMOZ chargé de recherche à l'IRD et mon second Maître de stage pour tous ses précieux conseils, pour son écoute active et sa disponibilité.*

*Je remercie tous les enseignants du département de Géologie de l'Université de Lomé et tous les enseignants qui sont intervenus dans notre parcours de Master, pour leurs soutiens et encouragements, en particulier le Professeur Olivier BANTON pour ses conseils.*

*Je tiens aussi à dire un sincère merci à Messieurs les membres du Jury qui ont accepté favorablement siéger dans ce jury et pris sur eux le temps de lire ce document afin de me faire des remarques devant m'aider à le parfaire.*

*Ce travail a été possible grâce au soutien financier de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), à travers le projet LMI REZOC en partenariat avec le Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) de l'Université d'Abomey- Calavi.*

*Je témoigne mes sincères gratitude à toute l'équipe du LMI REZOC à Cotonou au Bénin pour le soutien, les exhortations et les efforts déployés au quotidien pour la réussite de ce travail.*

*Mes vifs remerciements au Directeur Général de l'Institut National de l'Eau (INE), Professeur MAMA Daouda pour son accueil chaleureux au sein de l'institut.*

*Je voudrais exprimer ma profonde gratitude au Chef du Département d'Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau (HGRE) de l'Université d'Abomey Calavi, le Professeur ALASSANE Abdoukarim de m'avoir accordé ce stage au sein de son laboratoire.*

*Je remercie aussi Dr Bertrand AKOKPONHOUE et Mr Salifou OROU-PETE pour leurs contributions, apports scientifiques et qui ont rendu mon séjour inoubliable.*

*Je voudrais exprimer ma profonde gratitude à la doctorante Mme Mellone GLESSOUGBE pour son aide et conseils qu'elle a pu me prodiguer.*

*C'est le lieu d'exprimer toute ma reconnaissance à Mr AGBAMALEKPOKOU Symphorien et AVEKOE Sedzro qui ont servi de guide, de traducteur et conducteur sur le terrain respectivement du côté du Bénin et du Togo.*

## **RESUME**

Le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais est situé en Afrique de l'Ouest dans la zone tropicale. Il appartient aux territoires Béninois et Togolais et occupe l'extrémité méridionale des deux pays. Il couvre une superficie totale d'environ 14 776 km<sup>2</sup>. L'objectif de cette étude est de cartographier et évaluer le potentiel artésien de ce bassin. Pour atteindre cet objectif nous avons cartographier les forages artésiens, les fractures et générer la carte des réseaux hydrographiques dans une première phase. Puis dans une seconde phase nous avons utilisé la technique d'empotement pour mesurer les débits des forages artésiens sur le terrain et la méthode de fluctuation piézométrique pour estimer la recharge. Au total, 210 forages artésiens ont été dénombrés. Ces forages artésiens sont plus remarquables (plus de 75%) dans les formations de la dépression de la Lama, la partie où l'aquifère du crétacé supérieur et de l'éocène-paléocène deviennent captifs. Environ 21, 90 % de ces forages suivent la même direction que celle des fracturations dans le bassin. Le débit de déversement total de ces forages qui est environs 817,867 m<sup>3</sup>/h. Soit un déversement annuel de 7 164 514,92 m<sup>3</sup>/an qui rejoint les cours d'eau, lac et océan. La recharge estimée sur le plateau de Kouvé en considérant l'aquifère du crétacé supérieur montre que la recharge est faible uniquement sur la période 2019- 2020 par rapport au déversement. Deux types d'aménagements ont été observés dans le bassin. Il s'agit des techniques de réduction de la charge par colonne montante et d'équilibre du niveau piézométrique (bride-unie). L'aménagement par bride unie est le plus observé et l'aménagement par réduction de la charge par colonne montante est le plus durable.

**Mots clés :** Bassin Côtier, Bénin, Togo, Forage Artésien, Recharge, Aménagement, Déversement.

**ABSTRACT**

The Benin-Togolese Coastal Sedimentary Basin is located in West Africa in the tropical zone. It belongs to the Beninese and Togolese territories and occupies the southern end of both countries. It covers a total area of about 14,776 km<sup>2</sup>. The objective of this study is to map and evaluate the artesian potential of this basin. To achieve this objective we mapped the artesian boreholes, fractures and generated the map of the hydrographic networks in a first phase. In a second phase we used the impaction technique to measure the flow rates of the artesian wells in the field and the piezometric fluctuation method to estimate the recharge. In total, 210 artesian boreholes were counted. These artesian boreholes are most noticeable (more than 75%) in the formations of the Lama depression, the part where the Upper Cretaceous and Eocene-Paleocene aquifers become captive. About 21.90% of these boreholes follow the same direction as the fractures in the basin. The total discharge rate of these boreholes is about 817,867 m<sup>3</sup>/h. This represents an annual discharge of 7,164,514.92 m<sup>3</sup>/year to rivers, lakes and the ocean. The estimated recharge on the Kouvé plateau, considering the Upper Cretaceous aquifer, shows that the recharge is low only over the period 2019-2020 compared to the discharge. Two types of development have been observed in the basin. These are the riser load reduction and the piezometric level equilibration (uni-flange) techniques. Single flange development is the most common and riser reduction development is the most sustainable.

**Keywords:** Coastal Basin, Benin, Togo, Artesian Drilling, Recharge, Development, Discharge.

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

AGCD : Administration Générale de la Coopération au Développement  
BSCB : Bassin Sédimentaire Côtier Béninois  
BSCB-T: Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais  
BSCT : Bassin Sédimentaire Côtier Togolais  
DG Eau : Direction Générale de l'Eau  
DGH : Direction Générale de l'Hydraulique  
DGMG : Directions Générales des Mines et de la Géologie  
DGSCN : Direction Générale de la Comptabilité Nationale  
DRE : Direction des Ressources en Eau  
FPM : Forage équipé de Pompe à Motricité humaine  
FA : Forage Artésien  
FP : Fluctuation Piézométrique  
Hab : Habitant  
INSAE : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique  
INE : Institut National de l'Eau  
IRD : Institut de Recherche pour le Développement  
LHA : Laboratoire d'Hydrologie Appliquée  
MELCC : Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques  
MNT : Modèle Numérique de Terrain  
OBEMINES : Office Béninois des Mines  
OMS : Organisation Mondiale de la Santé  
UAC : Université d'Abomey- Calavi  
UL : Université de Lomé  
WTF: Water- Table Fluctuation  
WWDR: World Water Development Report

## INTRODUCTION

L'eau est un élément indispensable à l'être humain qui, au repos, en consomme 2 à 3 litres par jour, fournis pour moitié par son alimentation. 97,2% des réserves d'eau de la planète sont constituées des eaux salées inutilisables pour les activités humaines et des 2,8% restant, 2,15% sont piégées dans les glaces polaires, 0,65% dont 0,62% sous forme souterraine (Baechler, 2012). L'utilisation des eaux souterraines est une solution à fort potentiel pouvant répondre à la demande croissante en eau en Afrique afin d'assurer la survie de la population et de promouvoir le développement économique (WWDR, 2022). La grande partie de ces eaux sont concentrées dans les aquifères des bassins sédimentaires côtiers.

L'Afrique regorge plusieurs bassins sédimentaires, dont le bassin sédimentaire côtier du golfe du Benin localisé en Afrique de l'ouest le long du Golfe de Guinée. Le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais (BSCB-T) est une portion du vaste bassin sédimentaire côtier du golfe de Guinée. Il est formé au même moment et connaît les mêmes histoires que leurs homologues du golfe de Guinée. Les roches de ce bassin constituent une grande formation à fort potentiel hydrogéologique. Elles forment un vaste système aquifère. Les eaux emmagasinées dans ces aquifères sont considérées comme propres à la consommation humaine par rapport aux eaux de surface (Locas, 2007). En effet, elles sont emmagasinées dans les aquifères libres vulnérable à la pollution et captifs parfois très profonds. En particulier les aquifères captifs emprisonnent les eaux dans les formations hydrogéologiques perméables entre deux formations imperméables (aquitards), l'eau se retrouve sous pression et jaillit naturellement. Un aquifère manifeste l'artésianisme lorsqu'il est enfermé entre des aquitards et que les charges hydrauliques s'élèvent au-dessus de la surface terrestre (Meinzer, 1928; Sethi et Di Molfette 2019). Cette particularité est l'aptitude des aquifères captifs. Ce phénomène est conditionné par la géologie et la géomorphologie (Kpegli *et al.*, 2018). Sur ce, les eaux souterraines sont sollicitées pour l'approvisionnement en eau potable dans les zones urbaines, semi-urbaines et rurales. L'accès à cette ressource pose encore d'énormes difficultés dans plusieurs régions du monde. Les observations montrent qu'il n'est pas facile à capter pour des raisons économiques et la nature des formations. La captation des eaux souterraines peut-être facile dans les terrains sédimentaires, en particulier les eaux souterraines des aquifères captifs qui manifeste l'artésianisme sont avantageuses pour l'approvisionnement rural en eau potable dans les pays en développement, car les puits artésiens à écoulement libre rendent inutiles l'utilisation de pompe (Kpegli *et al.*, 2018). Les eaux souterraines exploitées à l'aide de forages et de puits à grand diamètre constituent la principale source d'approvisionnement des populations rurales, en particulier dans les régions des pays du tiers monde. Ainsi, grâce à ces phénomènes

géologiques, topographiques et hydrogéologiques cette eau peut être disponible en quantité avec un débit considérable. C'est le cas du phénomène d'artésianisme qui permet par des conditions hydrodynamiques de faire jaillir l'eau avec une grande pression à travers des ouvrages de captage d'eau. Les forages artésiens sont propices aux extractions d'eaux souterraines et sont à moindre coûts, satisfaisants, facilitant les prélèvements et sa gestion soutenable.

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude sur les formations du bassin sédimentaire côtier Bénino Togolais.

L'objectif général de cette étude de cartographier et d'évaluer le potentiel artésien du Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais. Il s'agira plus spécifiquement de :

- Cartographier les réseaux de fractures et les forages artésiens ;
- Quantifier le débit de déversement des forages artésiens et la recharge ;
- Évaluer la part des forages artésiens qui sont aménagés dans le BSCB-T.

Ce mémoire est structuré en quatre (04) chapitres.

- Le premier correspond à une synthèse bibliographique et définitions des concepts,
- Le second chapitre présente le cadre géographique et le contexte géologique de la zone d'étude,
- Le troisième porte sur le matériel et la méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude,
- Enfin le quatrième chapitre présente les principaux résultats des travaux et les discussions.



**CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ET DÉFINITIONS DES  
CONCEPTS**

### 1.1. Synthèse bibliographique

Plusieurs études ont été menées sur l'artésianisme, notamment pour comprendre la dynamique de l'eau souterraine et sa gestion (Garnier, 1821 ; Fourmanier, 1939 ; Imbeaux, 1930 ; Dienert, 1932). Les travaux de Paramelle (1956) ont montré les méthodes et indices de découvrir les sources artésiennes ; de même, Héricart de Thuty (1929) a démontré les conditions géologiques permettant le jaillissement spontanée de l'eau. Meinzer (1928) a montré la compressibilité et l'élasticité des aquifères artésiens. Dans le bassin sédimentaire côtier Bénino- Togolais ce phénomène est connu depuis 1955 au Bénin lors des campagnes de reconnaissance géologique réalisées par des sondages d'exploration dont certains ont fait jaillir de l'eau sans pompage inaugurant ainsi l'artésianisme (Azonsi, 2016).

Glodji et *al.*, (2019) ont relié l'artésianisme et la fracturation dans le bassin versant du Mono par cartographie des fractures et points artésiens. Les résultats révèlent que les forages artésiens sont alignés sur les fractures d'orientation NNE-SSW qui proviennent de la réactivation de la faille de Kandi.

Kpegli et *al.*, (2021) ont travaillé sur la prévision de la charge hydraulique artésienne de l'aquifère du Turonien-Coniacien (crétacé supérieur) au sud du Benin par stimulation 3D de l'aquifère à l'issue duquel les résultats ont révélé que les bassins artésiens sont structurés en zones périphériques et centrales ; les amplitudes de charge dans les zones périphériques adjacentes aux zones de recharge sont plus élevées et décroissent vers les zones artésiennes centrales du fait de l'influence de la diffusivité hydraulique de l'aquifère captif et de la fuite de la couche de confinement.

Azonsi (2016), et Dada (2022) ont travaillé sur l'actualisation de l'état des connaissances des forages artésiens dans le bassin du Mono.

De ces travaux antérieurs, aucune étude n'est faite sur l'artésianisme sur la portion Togolaise du Bassin sédimentaire côtier jusqu'à ce jour.

## 1.2. Définitions des concepts

Artésianisme : est l'aptitude d'un aquifère captif à permettre le jaillissement spontané des puits qui l'atteignent. Ce phénomène se produit lorsque la configuration particulière de la géologie d'un lieu et sa topographie provoquent une telle mise en pression de l'aquifère ; le niveau piézométrique se retrouve au-dessus de la surface du sol (figure 1).

Forage artésien : est un ouvrage de captage des eaux souterraines dont l'eau jaillit spontanément avec un débit naturel à la surface.

Recharge : est l'alimentation des aquifères ou l'infiltration résulte naturellement d'un processus hydrologique par lequel les eaux de surface percolent à travers le sol et jusqu'à la nappe.

Niveau piézométrique : Le niveau d'eau dans un aquifère confiné, mesuré par un piézomètre.

Piézomètre : Un instrument de mesure utilisé pour mesurer le niveau d'eau souterraine dans un

Pression artésienne : La pression de l'eau confinée dans un aquifère, qui peut être suffisante pour faire jaillir l'eau à la surface sans pompage.

Écoulement artésien : L'écoulement de l'eau à la surface due à la pression artésienne.

Captage artésien : Le forage d'un puits dans une couche perméable confinée pour exploiter l'eau artésienne.

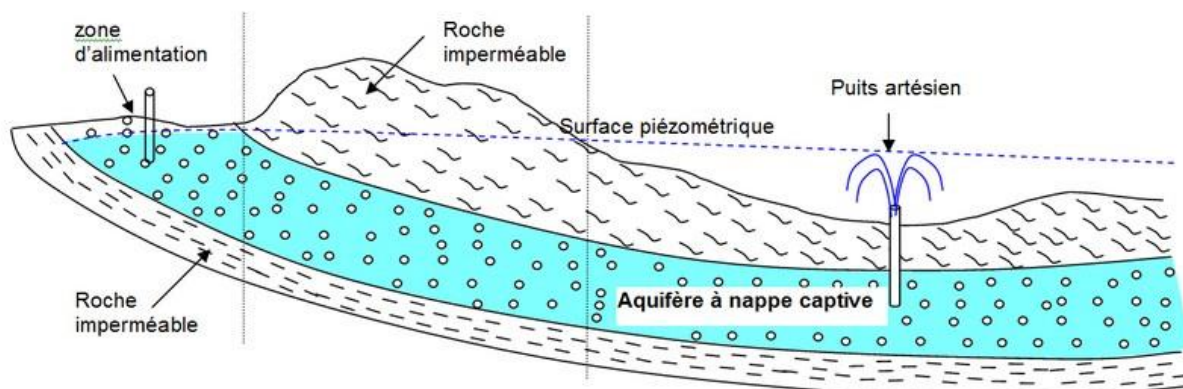


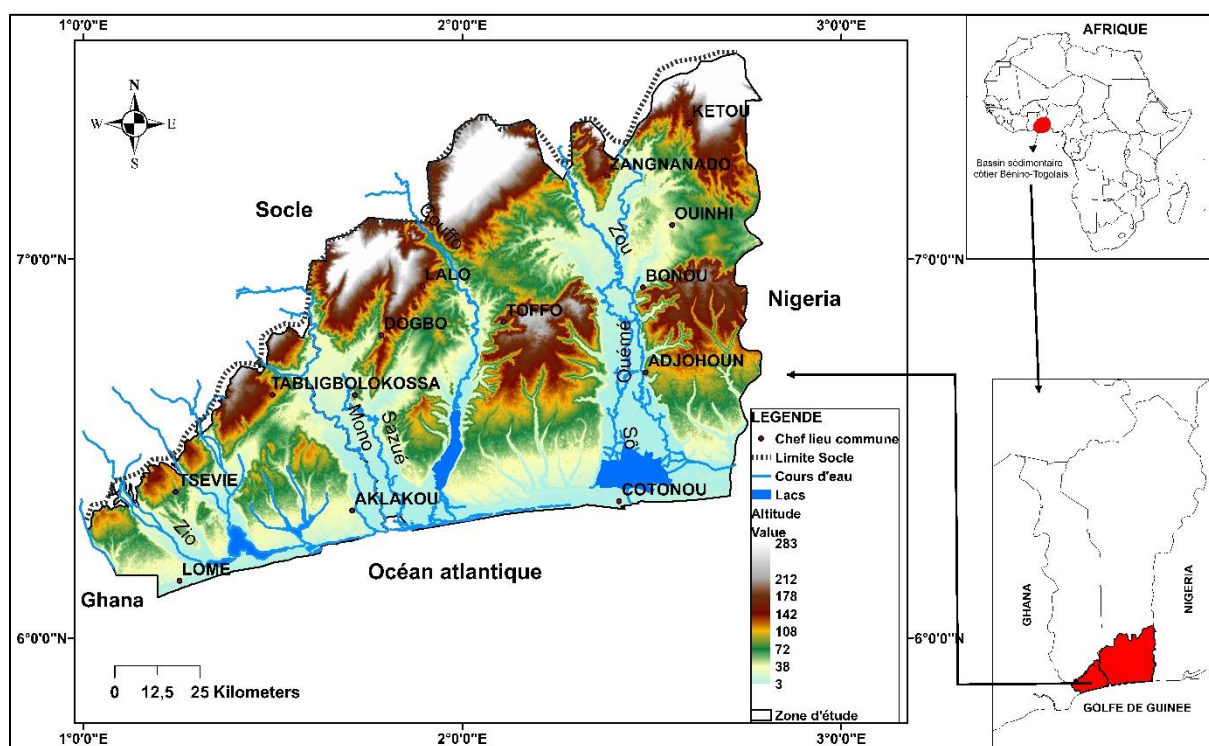
Figure 1: schémas illustrant un aquifère captifs montrant avec un puits artésiens

Source : [http://eric.lacouture.free.fr/lycee/1ereES/cours\\_1ereES\\_ch6.htm](http://eric.lacouture.free.fr/lycee/1ereES/cours_1ereES_ch6.htm)

## **CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

## 2.1. Cadre géographique de la zone d'étude

La zone d'étude (figure 2) fait partie du vaste Bassin Sédimentaire Côtier du Golfe de Guinée; située en Afrique de l'Ouest de coordonnées 6° 10' et 7° 75' de latitude nord et de 1° 0' et 2° 48' de longitude est. Elle appartient aux territoires Béninois et Togolais; et occupe l'extrémité méridionale des deux pays dont le fleuve Mono matérialise la frontière. Connue au Togo sous le nom de Bassin Sédimentaire Côtier Togolais, elle couvre une superficie d'environ 3300 km<sup>2</sup> soit 6% du territoire National (Gnazou et *al.*, 2015). Au Benin, elle est connue sous le nom de Bassin Sédimentaire Côtier Béninois, et occupe une superficie d'environ 11476 km<sup>2</sup> soit 10% du territoire National (Glodji et *al.*, 2019). Le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais (BSCB-T) couvre une superficie totale d'environ 14776 km<sup>2</sup> et s'élargit d'Ouest à l'Est, depuis la frontière du Ghana et du Togo jusqu'à celle du Bénin et du Nigéria. Il est limité au nord par le socle cristallin d'âge panafricain et se prolonge au sud par la portion offshore sous l'Océan Atlantique.



## 2.2. Géomorphologie du bassin

Le BSCB-T a une structure monoclinale à très faible pendage de 1 à 2° vers le Sud-Est (Da Costa *et al.*, 2013). Il s'organise, de part et d'autre de la dépression de la Lama orientée NNE-SSW, en une série de plateaux peu élevés (30 à 280 m) inclinés vers le sud-ouest séparé par d'importantes vallées des principaux cours d'eau et une basse zone littorale formant un système lagunaire complexe (Slansky, 1962 ; da Costa *et al.*, 2013). Il comprend deux groupes de plateaux (figure 3) que sont :

- Les plateaux du Nord

Ils comprennent d'Est en Ouest, les plateaux de Kétou, Zagnanado, Abomey, Aplahoué, Kouvé, Fogbé et de Tsévié.

- Les plateaux du Sud

Ce sont les plateaux de Sakété, Allada, Bopa, Vogán-Attitogon, Agoe et Kpogame.

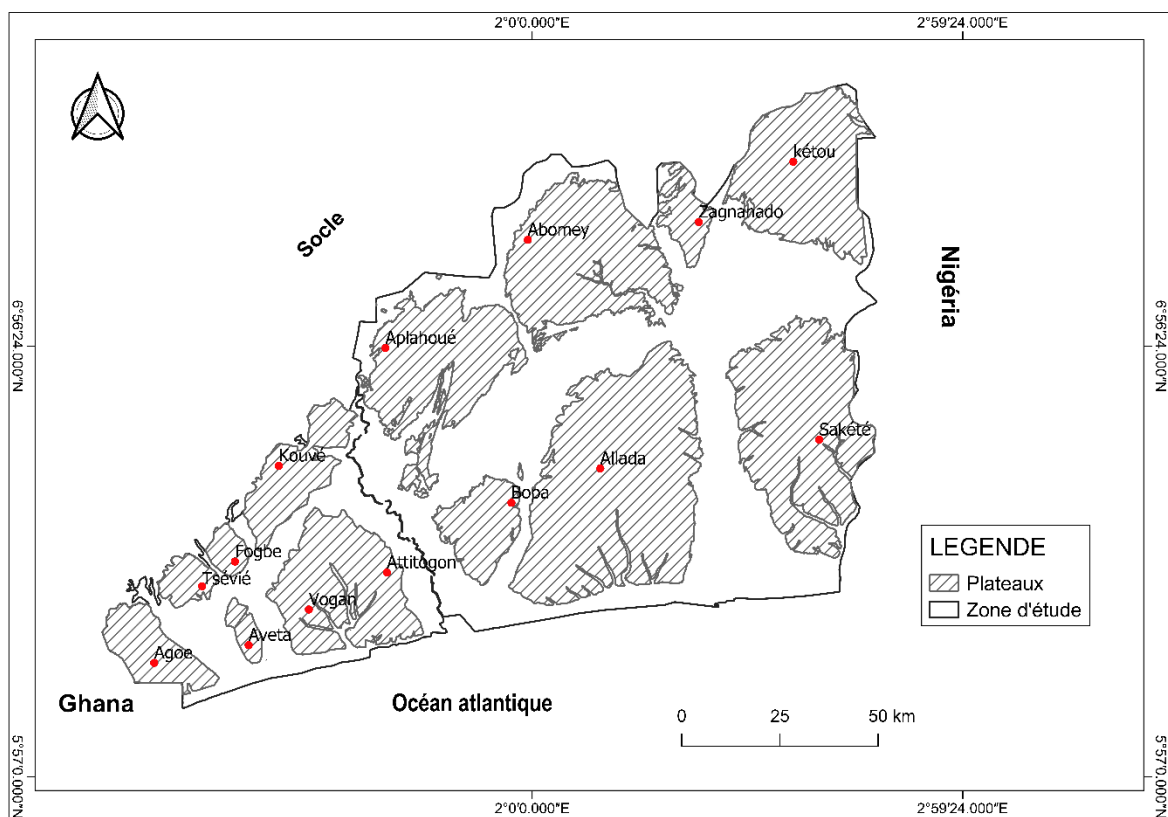


Figure 3: Carte géomorphologique du Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais

## 2.3. Tectonique et fracturation

L'histoire structurale du bassin sédimentaire côtier, est étroitement liée à l'histoire polyphasée de la faille de Kandi qui est un accident majeur à l'échelle du Bénin et du Togo et même de l'Afrique de l'Ouest. D'autres failles sont mises en évidence par la géophysique de prospection minière et/ou hydrogéologique, ainsi que le soulèvement du bassin à l'oligocène en est une

autre cause de la fracturation du bassin. La plus importante de ces failles est celle d'Adina située à plus de 3000 m de profondeur (Sylvain et *al.*, 1986b). Les failles mises en évidence se répartissent suivant trois directions principales selon les travaux de Monciardini et *al.*, 1986; Slansky, 1962 ; Johnson, 1987.

- Le premier groupe de failles, de directions NNE-SSW, correspond à une famille d'accidents majeurs, dont deux failles ont été mises en évidence au Bénin (faille de Séhoué et celle de Lokossa; Slansky, 1962) ;
- Le second groupe de failles, de directions NNW-SSE et N-S, serait liées à la distension du rift paléotlantique,
- Le troisième groupe de failles, de directions W – E, dont l'activité provoque l'effondrement du compartiment méridional, à l'aplomb duquel s'est déposée une épaisse couche de sédiment (2000 m) d'âge Dévonien-Crétacé. La faille Adina (N70°), située sur le rivage, fait partie de la famille des failles E-W. Les jeux de failles dans le bassin sédimentaire a entraîné une inégale répartition des dépôts sédimentaires, les terrains les plus affectés sont les plus anciens (Crétacé-Paléocène). Les formations récentes ont une morphologie qui obéit aussi à la tectonique.

## 2.4. Hydrologie

Sur le plan hydrographique, la zone d'étude comprend 6 bassins (bassin du Zio, bassin du Haho, bassin du Mono, bassin de l'Oueme, bassin du Zou et le bassin du Couffo). Elle est drainée par (figure 4) :

- Le Mono sert de frontière entre le Bénin et le Togo sur près de 148 km. Il prend sa source au Togo dans la préfecture de Tchaoudjo et se jette dans la baie du Bénin à travers un système extensif de lagons saumâtres et de lacs. Ses principaux affluents sont l'Ogou (210 km) et l'Anié (161 km).
- Long de 190 km, le fleuve Couffo draine un bassin versant de 300 km<sup>2</sup>. Ses principaux affluents se trouvent dans la partie nord du bassin. Ce sont sur la rive droite, l'Aiokpé, le Honvé, le Dra et sur la rive gauche, le Gougou, l'Agougan et le Lahoun.
- Le Haho a une longueur de 199 km. Il prend sa source dans les monts Haïto au Togo et se jette au nord du lac Togo. Lili et Yoto constituent ses principaux affluents.
- Le Zio prend sa source dans les montagnes de Dayes, sa longueur est de 176 km.
- Le fleuve Ouémé prend sa source dans les montagnes de l'Atacora au Nord-ouest du Bénin et pénètre dans le bassin Sédimentaire Côtier au niveau de Zagnanado pour se jeter dans le lac Nokoué et la lagune de Porto Novo.

Ce système hydrographique est associé à un système lagunaire (ou laguno lacustre) dont le Lac Togo qui représente l'un des plus importants de 13 km de long et 900 m de plus grande largeur et le Lac Nokoué qui communique au nord avec les deltas de la Sô et de l'Ouémé, au sud avec la mer (par le chenal de Cotonou) et à l'est par la lagune de Porto Novo.

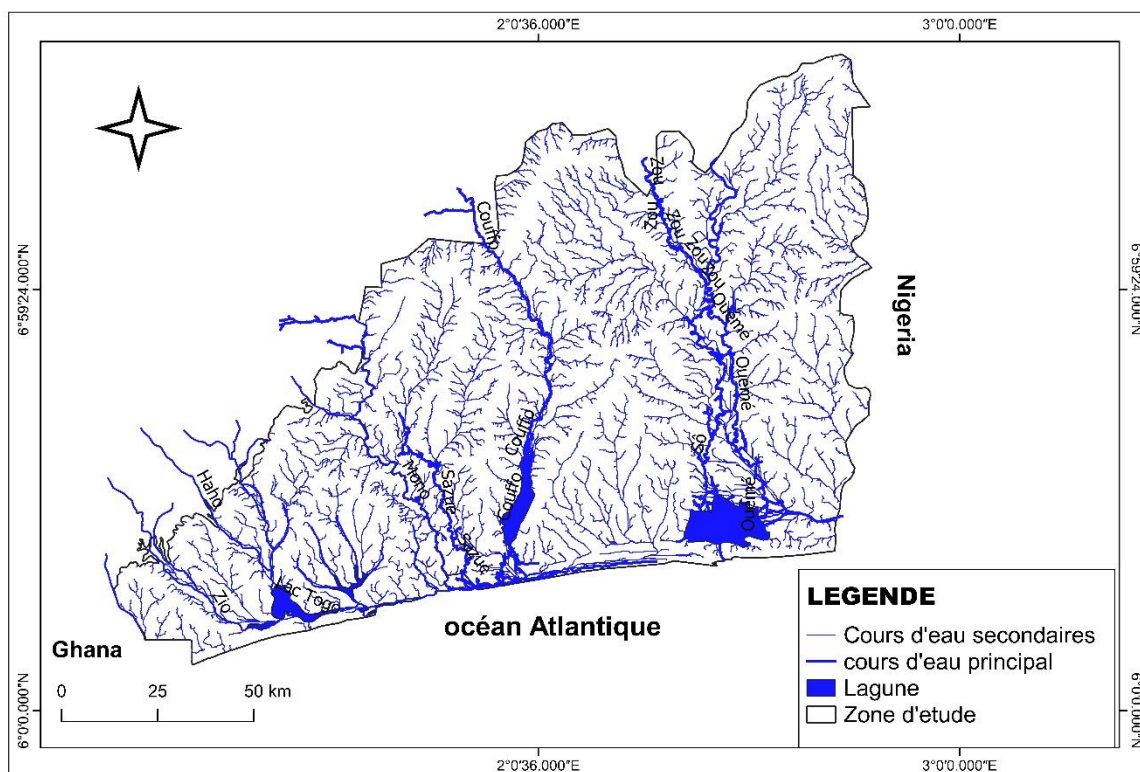


Figure 4: Carte hydrographique du BSCB-T

## 2.5. Climat et végétation

### 2.5.1. Climat

Le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais bénéficie d'un climat humide et chaud, de type subéquatorial. La répartition des saisons est sous la dépendance du déplacement du Front Inter Tropical (FIT) située dans la zone de convergence des deux principaux flux d'air qui balaient l'Afrique de l'Ouest : l'harmattan (ou alizé continental) et la mousson (alizé maritime australe) qui déterminent les saisons et se distinguent comme suit :

- Une grande saison sèche s'étalant de mi-novembre à mars et une petite allant d'août à septembre ;
- Une grande saison pluvieuse entre mars/avril-juillet et une petite de septembre à mi-novembre.



### 2.5.1.1. Pluviosité

Les précipitations sur l'ensemble du bassin ne sont pas homogènes ; elles diminuent sensiblement du Nord-Est (1445 mm à Tabligbo) au Sud -ouest (864 mm à Lomé). La température moyenne mensuelle varie entre 25 et 29 °C à Lomé (Gnazou, 2008). De même les gradients pluviométriques varient de l'Ouest vers l'Est entre 900 et 1450 mm au sud du Benin (Alassane, 2004). Pour l'étude des paramètres hydroclimatiques, nous retenons les stations de Cotonou, Zagnanado, Lomé et Tabligbo (figure 5). Les données sont mises à notre disposition par la Direction Nationale de la Météorologie du Togo et l'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin (Tableau 1& 2 Annexe). L'analyse de ces données climatologiques facilitera leur interprétation.

Les moyennes des hauteurs de pluies annuelles calculées sur une période de 30 ans aux stations de Cotonou, Lomé, Tabligbo et Zagnanado sont respectivement de 851,22 mm, 921,56 mm, et 1133,72 mm.

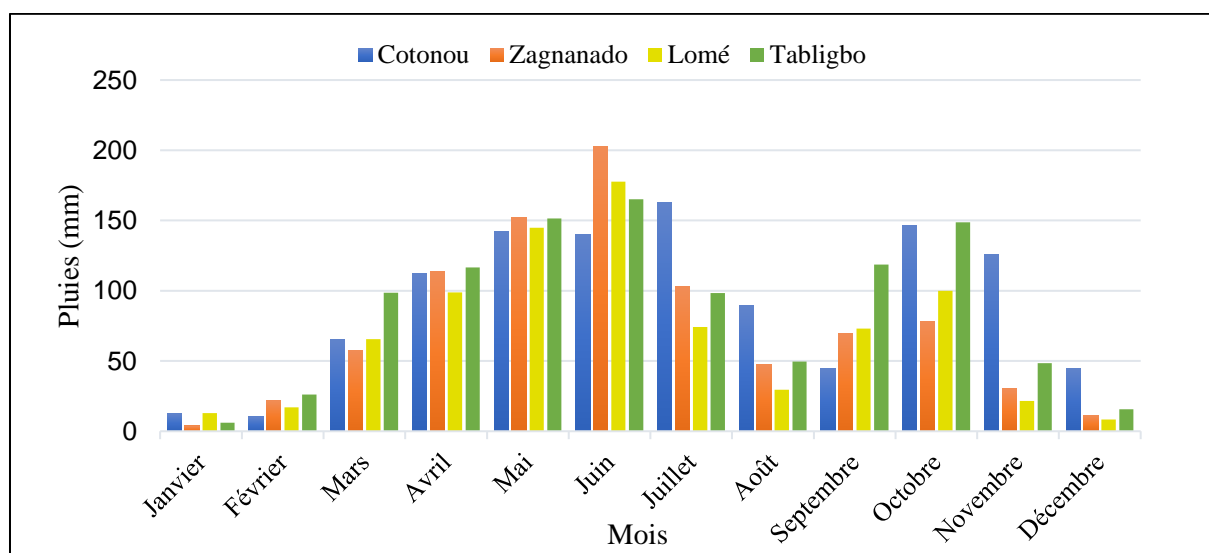


Figure 5: précipitations moyennes mensuelles (1990-2020) des stations Cotonou, Zagnanado Lomé et Tabligbo.

### 2.5.1.2. Température

Les moyennes mensuelles des températures entre 1990 à 2020 à Tabligbo varient entre un minimum de 26,28°C au mois d'Aout et 30,06 °C au mois de mars. L'analyse du graphique de variation des températures moyennes mensuelles montre qu'il existe deux périodes :

- une période de froid qui commence en juin et finie en octobre.
- une période de chaleur qui va de novembre à mai.

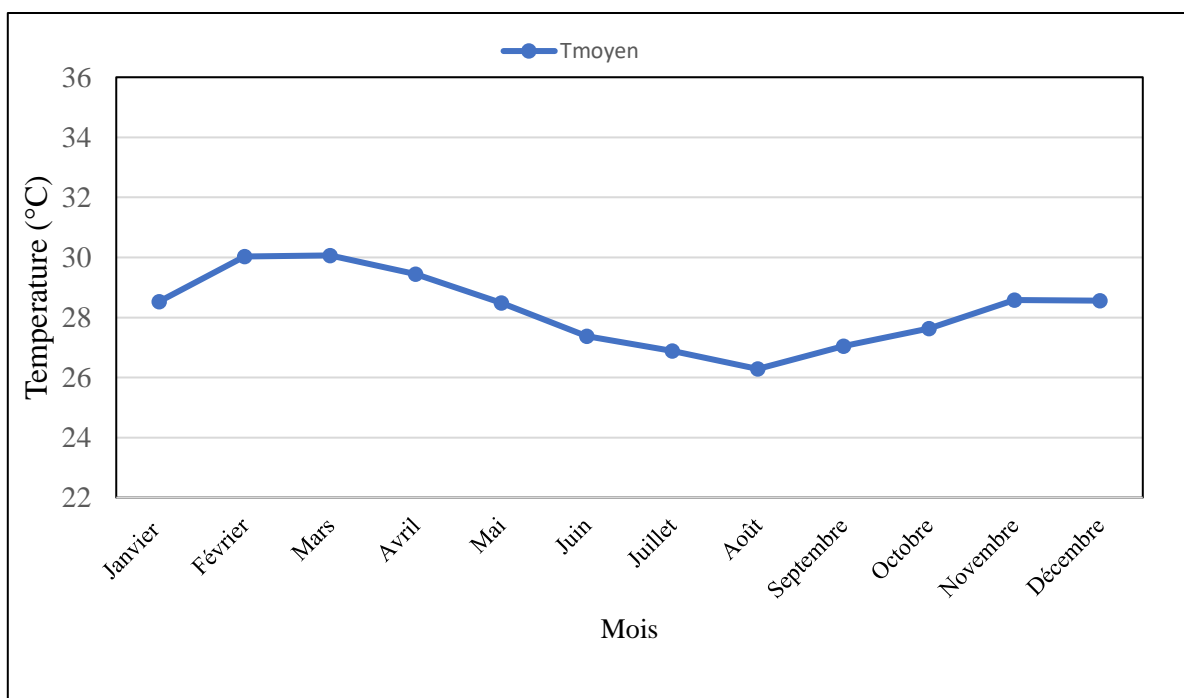


Figure 6: Température moyenne mensuelle de 1990 -2020 à Tabligbo

### 2.5.1.3. Humide relative

L'humidité relative moyenne enregistrée à la station de Tabligbo fluctue et atteint les valeurs minimales au mois de janvier avec 66% et au mois de décembre avec 70%. L'humidité moyenne mensuelle croit à partir de février et atteint les valeurs maximales en Juin et reste constante jusqu'en septembre avec 80%. Elle décroît à compter du mois d'Octobre. L'humidité relative conditionne l'évaporation.

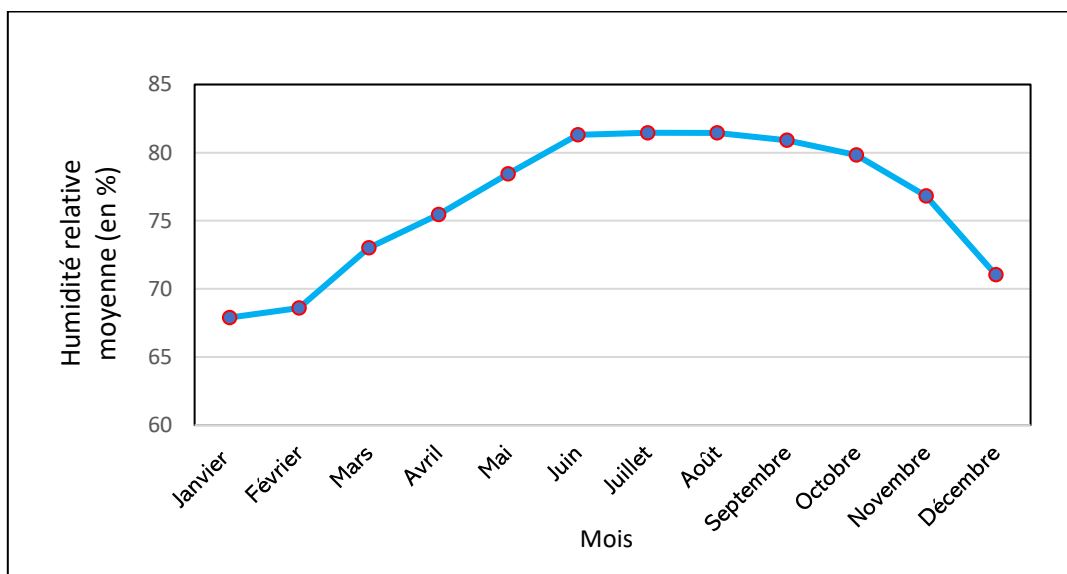


Figure 7: Humidité relative moyenne mensuelle de 1990 -2020 à Tabligbo

### 2.5.1.3. Évapotranspiration

L'évapotranspiration est un phénomène naturel regroupant à la fois des processus d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol et des processus de transpiration correspondant à l'utilisation de l'eau du sol par les végétaux et au rejet de vapeur d'eau dans l'atmosphère. On distingue l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

#### 2.5.1.3.1. Évapotranspiration potentielle (ETP)

La courbe de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (Figure 8) à la station de Tabligbo est maximale au mois de mars avec 176,29 mm en période de forte chaleur. Elle est minimale en juin avec 140,72 mm en période fraîche pendant l'année. L'évapotranspiration est faible en période fraîche, de juin à septembre et très forte à partir du mois d'octobre à mai.

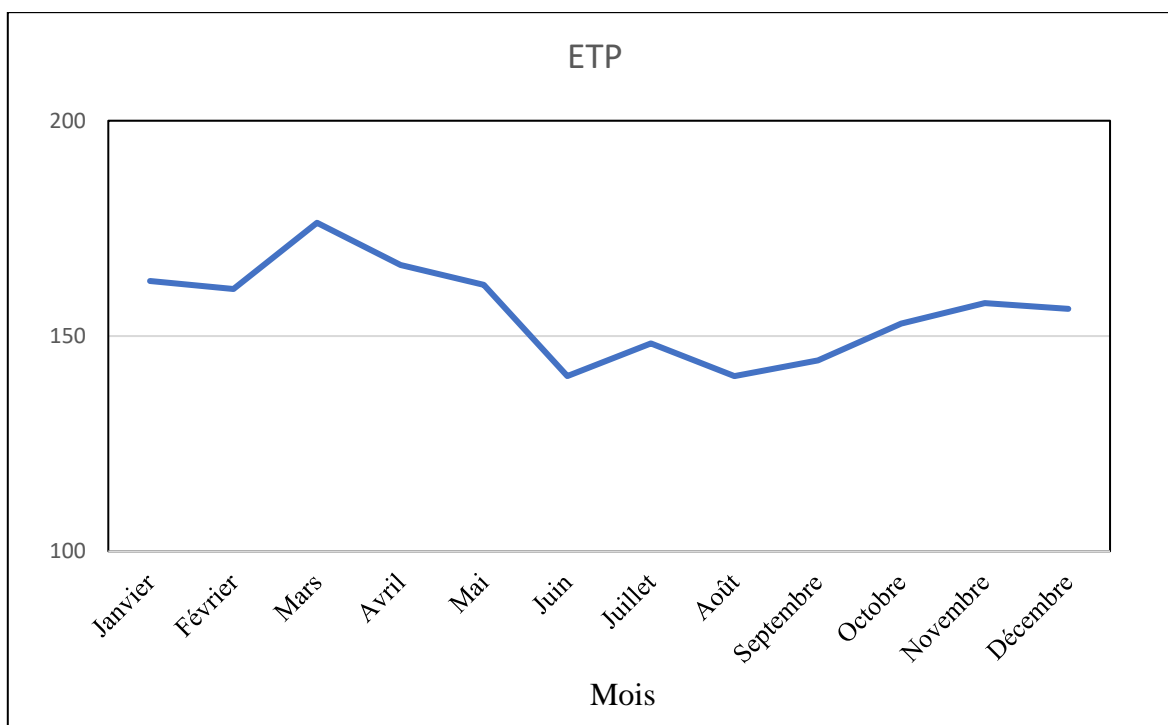


Figure 8: moyennes mensuelles ETP à la station de Tabligbo (1990-2020)

### 2.5.2. Végétation

La végétation est un autre facteur qui joue sur l'index hydrogéologique. La zone d'étude est recouverte dans l'ensemble par une savane arborée (Alassane, 2004 ; Tampo et *al.*, 2015 ). La portion Togolaise de la zone d'étude s'étend sur la zone écologique V caractérisée par des savanes humides guinéennes avec des lambeaux de forêts humides (Akpagana et Bouehet, 2013). La portion Béninoise comporte plusieurs types de végétations réparties en fonction du régime hydrologique des plans d'eau lagunaires des différentes régions: *Paspalum vaginatum*

(graminées) et *Typha australis* (Tyaceaa), la fougère à *Acrostichum aureum* sur les rives saumâtres.

## **2.6. Contexte géologique**

Le cadre géologique de cette étude correspond à la portion Bénino-Togolaise du Bassin Sédimentaire Côtier du golfe de Guinée dont l'histoire est liée à l'ouverture de l'Océan atlantique. Le BSCB-T s'est formé au même moment que ses homologues du Golfe de Guinée. Toute la séquence sédimentaire repose en discordance fondamentale sur un socle polycyclique d'âge panafricain appartenant aux unités internes de la chaîne des Dahoméyides ou unités de la péninsule bénino-togolaise qui s'enfoncent progressivement en direction de l'océan.

Le bassin comprend ( Figure 9) :

- Une série inférieure marine d'âge crétacé -Tertiaire (Turonien à Pliocène)
- Une série supérieure continentale d'âge (Pliocène à Quaternaire)

### **2.6.1. La série inférieure**

Elles sont représentées par les formations du Mésozoïque dans le Bassin Sédimentaire où le Turonien- Coniacien, le Campanien, le Maastrichtien et le Pliocène sont caractérisés.

#### **2.6.1.1. Le Turonien- Coniacien**

Le Turonien- Coniacien est présent généralement le long de la bordure des plateaux septentrionaux (Aplahoué, Zagnanando et Kétou) en bordure du socle et dans quelques dépressions particulièrement incisées. Son épaisseur dans certaines zones d'affleurement est en moyenne de 50 m. Il est composé par le sable (argileux marneux) (Breda, 1987).

#### **2.6.1.2. Le Campanien**

Le Campanien a été identifié dans le Nord-Est de la partie septentrionale du bassin en bordure du socle. Il est discordant sur le socle panafricain. Les dépôts campaniens représentent quelques mètres d'épaisseur. Ils sont essentiellement constitués de roches détritiques avec des épisodes argileux ou carbonatés (da Costa 2005).

#### **2.6.1.3. Le Maastrichtien**

Les dépôts Maastrichtiens sont dominés par la combinaison de faciès quartzo-détritiques et argileux, riches en matière organique. Les sables, argileux ou non, majoritaires au Nord sont de types fluvio-deltaïque à margino-littoraux (Johnson, 1987).

## **2.6.2. Le Cénozoïque**

Les dépôts Cénozoïques sont représentés depuis le Paléocène jusqu'au Pliocène (Sylvain et *al.*, 1986b, Breda, 1987, Johnson, 1987, da Costa, 2005).

### **2.6.2.1. Le Paléocène**

La sédimentation paléocène est caractérisée par la prédominance des dépôts biochimiques. Au Nord, elle est réduite à des dépôts argileux et sablo-argileux gris, peu organogéniques et relevant du domaine infralittoral proximal. Plus au Sud, elle peut débiter avec des faciès marneux et marno-sableux, matérialisant le premier épisode transgressif consécutif à la régression fini-crétacée. Au-dessus de ces dépôts de base se retrouve un corps carbonaté à bivalves, gastéropodes, échinodermes et algues. Ces calcaires s'organisent le plus souvent en un seul banc décimétrique, éventuellement dolomitique, un peu glauconieux et phosphaté. Ils relèvent du domaine infralittoral moyen de barrière. Cette formation calcaire bioclastique portant historiquement le nom de calcaire à *Togocyamus seefriedi* montre une large extension géographique et ne régresse que dans la partie distale du bassin, pour disparaître dans la partie offshore.

### **2.6.2.2. L'Eocène**

Il s'agit des dépôts marno-argileux, phosphatés, de marnes et d'argiles. Il est subdivisé en : Eocène inférieur basal, Eocène inférieur terminal à Eocène moyen et l'Eocène moyen (Bartonien).

### **2.6.2.3. L'Oligocène**

Il s'agit de dépôts englobant des faciès d'argiles plus ou moins sableuses et des calcaires à nummulitidés. Dans ces dépôts, la glauconie y est fréquente.

## **2.6.3. La série supérieure**

### **2.6.3.1. Le Pliocène**

Les formations du Continental Terminal sont des formations essentiellement détritiques, argileuses ou gréso-argileuses. Elles reposent aussi bien sur le socle précambrien que sur les termes successifs du Crétacé, du Paléocène, voire du Néogène marins. Il s'agit d'une mégaséquence essentiellement continentale, dénommée Continental terminal *s.l.* datée du Mio-Pliocène à Quaternaire (da Costa, 2005). La formation du Continental terminal sens large est composée de deux unités comprenant quatre membres discordants : une unité inférieure d'âge Miocène inférieur et une unité supérieure comprenant un membre inférieur mio-pliocène, correspondant au Continental Terminal sens strict et un membre sommital dénommé « la terre

de barre » et datant du Quaternaire. L'unité inférieure du Continental terminal sens large est représentée par des sables grossiers conglomératiques, de sables fins et silts argileux micacés (membre supérieur), et des grès et sables et sables grossiers conglomératiques (membre supérieur). L'unité supérieure est représentée par des grès conglomératiques, de sables argileux à lentilles de poudingues, des argilites kaoliniques (membre inférieur), et des sables argilo-silteux constituant « la terre de barre » (membre supérieur).

#### **2.6.4. Le Quaternaire**

Le Quaternaire, correspond aux formations holocènes de la plaine littorale, c'est à- dire, d'une part, à des sables jaune, bruns (ou blancs) et gris des cordons et d'autre part aux alluvions et vases des dépressions, d'âge également holocène. Les informations sur le Quaternaire sont tirées des travaux de Monciardini *et al.* 1986. Selon ces travaux, le Quaternaire est caractérisé par cinq (05) formations dans le bassin. Il s'agit de :

- La formation continentale des bas plateaux, constituée essentiellement de sables argileux avec une épaisseur qui varie de 15 à 30 m.
- La formation marine littorale constituée de sables fins et grossiers, très peu carbonatés et d'aspect voisin de celui de la plage actuelle. Ces formations de cordons littoraux sont mis en place pendant les périodes d'oscillations du niveau marin. D'une épaisseur maximale de 25 m, ils occupent toute la façade maritime du pays, depuis Lomé où ils atteignent 2 km de large, jusqu'à Aného où ils sont entaillés par la lagune et mesurent moins de 1 km.
- La Formation laguno-marine est faite de sables gris, beiges ou blancs, plus ou moins argileux. Ce sont des sables moyens à grossiers, à débris coquilliers fréquents, d'une épaisseur pouvant dépasser 10 m et d'une extension latérale de 1 à 2 km.
- Les formations fluvio-lacustres et fluvio-lagunaires sont argileuses, avec des vases gris riches en matières organiques. L'épaisseur cumulée de ces dépôts varie de quelques mètres à plus de 10 m. Ils reposent sur des argiles sableuses vertes qui appartiennent probablement à la formation lagunaire
- La formation fluviale est constituée d'argiles et de sables accumulés dans le fond plat des vallées alluviales.

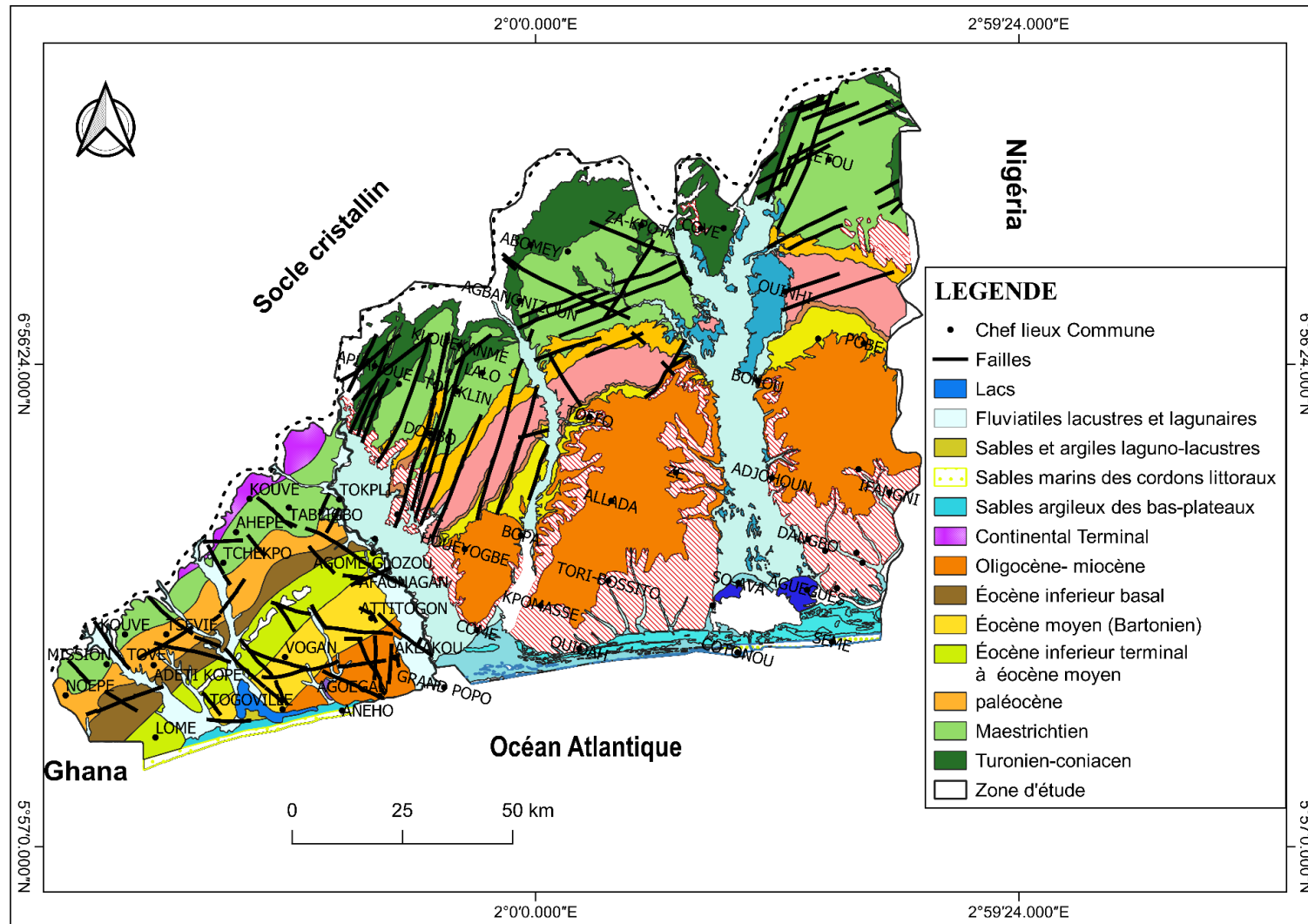


Figure 9: carte géologique du Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais

## 2.7. Contexte hydrogéologique

Le BSCB-T regroupe environ 41% des ressources en eaux souterraines à l'échelle du Bénin et du Togo. Il est constitué des aquifères continus. Il est composé des aquifères d'extension généralisé dans le bassin côtier, qui sont diversifiés et se reconnaissent par la nature de leur réservoir. Selon Boukari, 1998, Alassane, 2004 et Gnazou, 2008, on distingue quatre niveaux aquifères. Ce sont, de bas en haut des aquifères du Crétacé supérieur, de l'Eocène et Paléocène, du Mio- Pliocène (Continental terminal) et du Quaternaire.

- L'aquifère du Crétacé supérieur situé au-dessus du socle qui est captif, morcelé par des failles longitudinales et transversales représenté par une alternance de niveaux sableux plus ou moins épais, il se présente sous forme libre au Nord de la dépression de la Lama et captive vers le Sud. Son épaisseur croît graduellement de 50 à 60 m au Nord à plus de 800 m à proximité de la côte (Maliki, 1993 cité par Alassane, 2004). Vers le l'ouest, son épaisseur varie entre 5 à 25 m et de nature argileuse ou sablo-argileuse. La profondeur varie par endroit entre 50 à 120 m (Gnazou, 2008).

- L'aquifère des calcaires Eo-Paléocènes est à nappe captive sous les argilites et marnes de Paléocène supérieur et de l'Eocène inférieur et moyen. Il est parfois affleurant ou subaffleurant à l'intérieur de la dépression de la Lama (Onigbolo), puis s'approfondit très rapidement vers le Sud. Il est caractérisé dans l'ouest du bassin par des calcaires phosphatés au sud-ouest et au centre du bassin ; le réservoir est composé de calcaire blancs organogéniques ou calcaire blancs organogéniques sur sables avec une épaisseur de 5 à 30m et dont la profondeur varie entre 20 m au Nord du Bassin et à plus de 300 m le long du littoral. L'aquifère du paléocène est continu dans le bassin (Gnazou et *al.* ; 2015).

- L'aquifère du Continental terminal localisé au niveau des plateaux sud du bassin côtier, est assez complexe et généralement à nappe libre. Il est caractérisé par des niveaux statiques faibles au Sud et dans les zones de bordures des plateaux. Mais ces niveaux statiques peuvent atteindre et même dépasser 50 m au Nord; ce qui rend sa réalimentation par les eaux superficielles et météoriques aléatoire dans ce secteur.

- L'aquifère du Quaternaire présente également une structure complexe qui évoque celle du Continental terminal, avec une alternance de niveau sableux ou argileux plus ou moins continus. Au niveau des cordons littoraux béninois, il existe presque toujours une nappe phréatique avec des lentilles d'eau douce flottant sur une nappe d'eau salée d'origine marine et/ou lagunaire. Sous cette nappe, on retrouve un complexe aquifère profond à nappe captive qui se prolonge même sous la mer. Dans les alluvions de la grande vallée de l'Ouémé et du Mono, les nappes sont souvent en charge sous des niveaux d'argiles plus ou moins superficiels, avec des



phénomènes fréquents d'artésianisme jaillissant dans la partie sud de la vallée (Alassane, 2004). L'épaisseur de ces alluvions diminue progressivement lorsqu'on remonte vers l'amont, pour devenir insignifiante vers la bordure nord du bassin.

## **2.8. Pédologie**

Selon Volkoff (1970), Lamouroux (1966); cités respectivement par Alassane (2004) et Gnazou (2008), les sols de l'ensemble du Bassin sédimentaire côtier Bénino-Togolais comprennent les sols ferralitiques. Ce sont soit des sols à sesquioxydes ferrugineux ou lessivés à concrétion sur sédiments argilo-sableux ou sablo-argileux ou alors des vertisols sur sédiments argileux. La zone littorale et alluviale est recouverte de sols soit hydromorphes, soit halomorphes lessivés à alcalis, soit de sols peu évolués sur sables littoraux ou alluviaux.

Ils comprennent également des sols ferrugineux tropicaux lessivés sur de faibles profondeurs.

## **2.9. Population et activités socio-économiques**

La population à l'échelle du BSCT avoisine 1 164 500 habitants selon les données de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques et Démographiques (INSEED) sur le recensement général de la population et de l'habitat de 2010. Et celle du BSCB est estimée à partir des populations des différents arrondissements couverts par le bassin. Selon l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique (INSAE) elle avoisine 5 271 802 hab.,RGPH4-2013. La population à l'échelle du BSCB-T avoisine 6 436 300 hab.

Les activités économiques sur le bassin sont dominées par l'agriculture pluviale, l'artisanat et le commerce. Les cultures vivrières comme le maïs et le manioc sont très pratiquées. La riziculture irriguée est aussi pratiquée dans la zone de Kovié, Mission-Tové, Hon, Yovotonou et Ouinhi.

Le BSCB-T est essentiellement peuplé d'Ouatchi, Fon, Kotafon, Aizo, Adja, Mina, Xwla, Honli et quelques étrangers minoritaires comme les Yoruba, Haoussa et Nago.

## **CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODE**

Ce chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie et des matériels utilisés pour l'atteinte de nos objectifs. Dans un premier temps nous avons fait une synthèse bibliographique et dans un second temps, les données nécessaires ont été collectées, traitées puis analysées. Le matériel nécessaire utilisé est également décrit dans ce chapitre.

### **3.1. Acquisition des données**

Les données utilisées dans cette étude sont collectées en trois phases. La première phase est dédiée aux données des forages artésiens extraites dans la base de données nationale Béninoise et Togolaise des forages. La seconde concerne la collecte des données auprès des bureaux d'études, de la Direction Générale de l'Eau du Benin (DG-Eau), Direction Générale des Ressources en Eau et de l'hydraulique du Togo, IGA Togo (Ingénieur et Conseil), et de la Météo Bénin et Togo. Et une troisième phase consacrée aux travaux de terrain sur les forages artésiens dans le but d'actualiser la base des données et la répartition des forages artésiens, le débit, la température et l'état des aménagements dans le Bassin sédimentaire Côtier Bénino-Togolais.

#### **2.1.1. Recherche documentaire**

Les recherches documentaires sont menées afin d'être informé sur les travaux antérieurs réalisés dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénin- Togolais, précisément les travaux ayant abordés des thèmes similaires. Cette étape a nécessité la consultation d'un certain nombre d'ouvrages généraux, des mémoires, des thèses, des rapports et des articles ayant traité les thématiques sur le phénomène de l'artésianisme ; et caractérisant les réseaux de fractures en lien avec l'hydrogéologie. Ces documents ont été obtenus dans la bibliothèque du laboratoire d'Hydrologie appliquée (LHA) de l'Université d'Abomey Calavi et la Bibliothèque Universitaire de l'Université de Lomé et aussi au niveau des bibliothèques connectées sur internet.

#### **3.1.2. Les données collectées auprès des structures**

Pour cette étape, les données sont collectées auprès des structures en charge notamment :

- La Direction Générale de l'Eau du Benin (DG-Eau), les données collectées porte sur les forages, donc nous avons extraits uniquement les données des forages artésiens dans le BSCB. De cette base de données, nous avons extrait le résumé technique des forages artésiens donnant des renseignements sur la localisation, la profondeur forée, la couche aquifère captée et les différents débits de ces forages artésiens.
- La Direction Générale des Ressources en Eau et de l'hydraulique du Togo, les données collectées sont uniquement les résumés sur la localisation et le type d'aquifère captés

des forages artésiens dans le BSCT et les données mensuelles piézométrique de 2016 à 2021 dans l'objectif de déterminer la recharge de l'aquifère du crétacé supérieur.

- L'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin et la Direction Générale de la Météorologie Nationale du Togo, pour connaître l'hydro-climatologie du bassin, les données relatives à la pluie, la température et l'humidité relative sur les 30 dernières années sont également collectées.
- Les Modèles Numériques du terrain (MNT) sont téléchargés sur le site [www.earthexplorer.usgs.gov/](http://www.earthexplorer.usgs.gov/)

Pour la description géologique de la zone d'étude nous avons utilisés la feuille géologique à 1/200000 d'Abomey-Zagnanado, Lokossa-Porto Novo, OBEMINES ; et la feuille géologique à 1/200000 de Lomé, DGMG/ BGMG.

### 3.1.3. Les travaux de terrain

Les travaux de terrain ont débuté sur deux périodes, la première sur le BSCT dans le mois d'Aout et la seconde dans le mois d'Octobre et achevés en Novembre dans le BSCB. En effet, ces travaux ont été menées dans l'objectif de faire l'inventaire des forages artésiens dans le BSCB-T, de connaître le débit actuel de déversement, les paramètres physiques (température, pH et Conductivité électrique) et l'état des aménagements réalisés autour de ces forages artésiens.

### 3.2. Matériels

Les matériels utilisés sont consignés dans le tableau 1 ci-dessous :

Appareils / matériels	Usage
Conductivimètre (Yakamoz)	Mesurer : <ul style="list-style-type: none"><li>- La conductivité électrique</li><li>- La température de l'eau</li></ul>
Récipient gradué de 13L + Chronomètre	Débit des forages artésiens
GPS (Garmin)	prise des coordonnées géographiques



Figure 10: chronomètre



Figure 11: GPS



Figure 12 : Conductivimètre



Figure 13: Récipient gradué de 13L

### 3.3. Méthodes de collectes des données

Au cours de nos travaux de terrain, divers paramètres ont été mesurés à savoir le débit et la conductivité électrique et la température de l'eau.

Le débit a été déterminé par la technique par empotement ( Figure 14). Cette méthode consiste à chronométrer le temps de remplissage d'un récipient sous une chute d'eau dont on cherche à déterminer le débit. Cette technique est très pratique et a été utilisée par plusieurs chercheurs dont Benoist et Birgand (2010) ; Consandey et Robinson (2012).



*Figure 14: prise de débit par la technique par empotement à Bonou (Benin)*

### 3.4. Traitement des données

Les données cumulées lors des travaux de terrain et celles de la base de données des différentes structures en charge de l'eau, ont permis de réaliser les différents cartes et graphes. Suivant la nature des données et en fonction des résultats recherchés, un outil spécifique (QGIS 3.16 ; Microsoft office Excel 2013 et Word 2013, et Tectonict FP 1.7.9) de traitement a été adapté.

#### 3.4.1. Réalisation de la carte des réseaux de fractures, et des points de forages artésiens

Afin d'établir la carte des réseaux de fractures et des forages artésiens, 4 étapes ont été nécessaires :

- **Analyse de la carte géologique du BSCB-T**

Cette analyse consiste d'abord à une observation directe à l'œil nu de la carte géologique. Ensuite une analyse de forme des fractures (relief et réseaux hydrographiques) et de toutes structures assimilables aux fractures probables.

- **Digitalisation des réseaux de fractures et extraction du réseau hydrographique**

Elle consiste au géoréférencement de la carte géologique et à la digitalisation des fractures probables d'une part et à générer le réseau hydrographique d'autre part à partir du Model Numérique de Terrain dans le logiciel Qgis 3.16.

- **Superposition de la carte des fractures avec celle des forages artésiens**

- **Analyse des réseaux de fractures**

Elle consiste à construire les histogrammes de distribution des fractures en fonction de leur direction et de leur poids.

**3.4.2. Réalisation de la carte de spécialisation des débits des forages artésiens.**

**3.4.2.1. Réalisation de la carte des débits**

Pour étudier la variation spatiale des débits actuels des FA de BSCB-T nous avons réalisé une carte spatiale des débits. Pour y parvenir nous avons utilisé les débits mesurés des FA.

**3.4.2.2. Quantification du déversement et estimation de la recharge**

- Le déversement total est obtenu par sommation des débits mesurés
- Détermination de la recharge de l'aquifère du crétacé supérieur

Il existe plusieurs méthodes pour l'estimation de la recharge. Compte tenu du temps très court que nous avons eu et les données dont nous disposons, nous avons préconisé utiliser la méthode de Fluctuation Piézométrique (FP).

Depuis les années 1920, la méthode de FP a été utilisée pour estimer la recharge des eaux souterraines (Meinzer, 1923), et à partir de ce moment jusqu'à aujourd'hui, c'est l'une des techniques les plus utilisées dans toutes les conditions climatiques (Healy et Cook, 2002; Scanlon et *al.*, 2002; Risser et *al.*, 2005; Maréchal et *al.*, 2006; Ordens et *al.*, 2011). Cela peut être dû à la simplicité de sa mise en application qui n'exige aucune prétention sur les mécanismes de flux d'eau dans la zone non saturée par conséquent les chemins préférentiels de l'écoulement ne limitent pas son utilisation et aussi à la disponibilité des données concernant les niveaux statiques.

Le niveau piézométrique de l'eau et le coefficient d'emmagasinement (S) sont indispensables pour le calcul de la recharge dans la méthode de FP. Cette méthode est basée sur l'hypothèse que l'élévation du niveau d'eau dans les aquifères à nappe libre, est due à l'infiltration d'eau qui arrive à la nappe phréatique. La recharge peut être calculée comme étant le produit des amplitudes des niveaux statiques ou piézométriques par le coefficient d'emmagasinement (Eq1).

$$R=S*dh/dt = \Delta h/\Delta t \text{ (Eq1)}$$

Où  $R$ ,  $S$  et  $dh/dt$  ; représentent respectivement la recharge, le Coefficient d'emmagasinement et la variation des amplitudes piézométriques par rapport au temps.

Certaines des difficultés découlant de cette technique sont l'identification de la cause de la fluctuation du niveau piézométrique, car les fluctuations ne sont pas toujours dues à la recharge et à la décharge; aussi le calcul du coefficient d'emmagasinement n'est pas souvent sans biais, (Healy et Cook, 2002).

La méthode de FP nécessite la connaissance de  $\Delta h$  qui est la différence entre le pic du niveau le plus élevé sur la courbe de niveau statique/ piézométrique et le point le plus bas de la courbe extrapolée (appelé amplitude piézométrique). Le point le plus bas de la courbe extrapolée est le niveau que l'eau attendrait dans l'aquifère si aucun apport ne s'effectuait.

Rappelons que cet objectif de calculer la recharge a été effectif uniquement dans le bassin Sédimentaire Côtier Togolais. Nous avons considéré les zones d'affleurement du Crétacé Supérieur. La méthode de FP est appliquée dans notre étude en considérant le piézomètre de EPP Sika Kondji (plateau de Kouvé).

La figure 15 ci-après illustre la détermination du  $\Delta h$ .

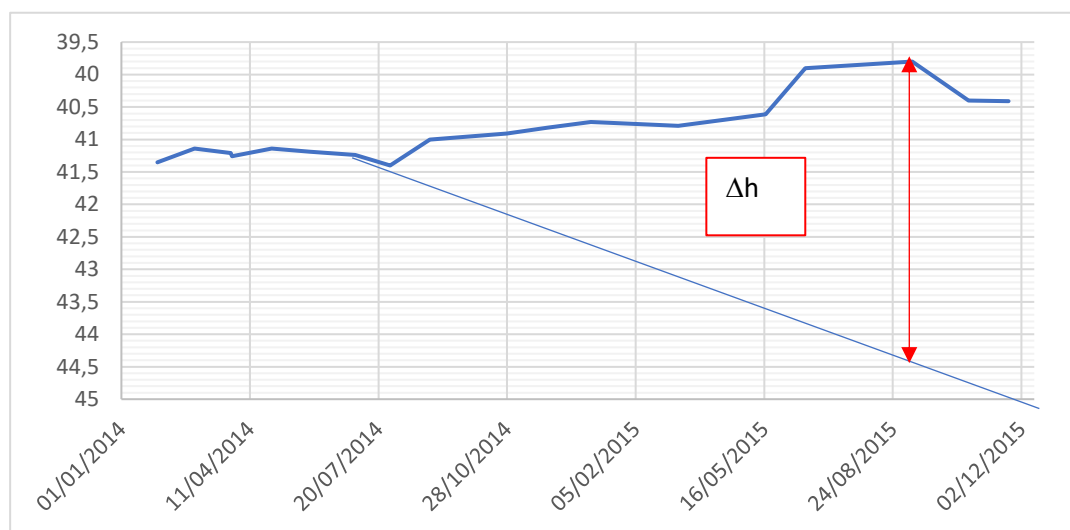


Figure 15: principe de détermination de  $\Delta h$ . (D'après Koudjega et al., 2020). Exemples sur les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji

Le coefficient d'emmagasinement s'obtient par la méthode graphique semi-logarithmique de Jacob (1946). Faute de données, ce coefficient n'a pas été estimé ; nous utilisons alors ceux calculés dans les travaux antérieurs et récapitulés par Gnazou (2008).

Le coefficient d'emmagasinement calculé sur l'ensemble des ouvrages captant le maëstrichtien est inférieur à 1% compris entre 0,01 à 0,7% (Gnazou, 2008).



**3.4.2.3. Relation entre débit au développement et profondeur totale des forages artésiens.**

Pour évaluer la relation entre le débit mesuré et la profondeur totale des forages artésiens, nous avons procédé à l'analyse des données obtenues à la DG-Eau et celle collectées sur le terrain. A partir d'elles, nous avons observé principalement les données liées à la profondeur totale et le débit actuels des FA. Avec Excel, on a catégorisé les données par classe de débits forts et débits faibles. Puis on a effectué une analyse comparative des débits des forages artésiens en relation avec la profondeur totale. Cette méthode a permis de mettre en évidence les liens éventuels qui existent entre débit et profondeur des forages artésiens.

## **CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

## 4.1. Résultats

Les résultats de cette étude sont présentés en trois parties suivant les objectifs.

### 4.1.1. Cartographie des forages artésiens et des réseaux de fractures

#### 4.1.1.1. Cartographie des forages artésiens

La figure 16 montre la localisation des forages artésiens dans le BSCB-T. Au total 210 forages artésiens ont été dénombrés. Les coordonnées géographiques de ces forages artésiens sont présentées en Annexe 2. Ces FA sont plus remarquables dans la partie où l'aquifère du Crétacé supérieur et de l'Éocène – Paléocène deviennent captifs (dans la vallée du Mono, Zou, Couffé et l'Ouémé). Certains aménagements des forages artésiens (figure 17 (a, b, c et d)) se sont effondrés sous la pression de l'eau en formant des torrents artificiels pérennes qui détruisent des habitations et en rendant les zones marécageuses.

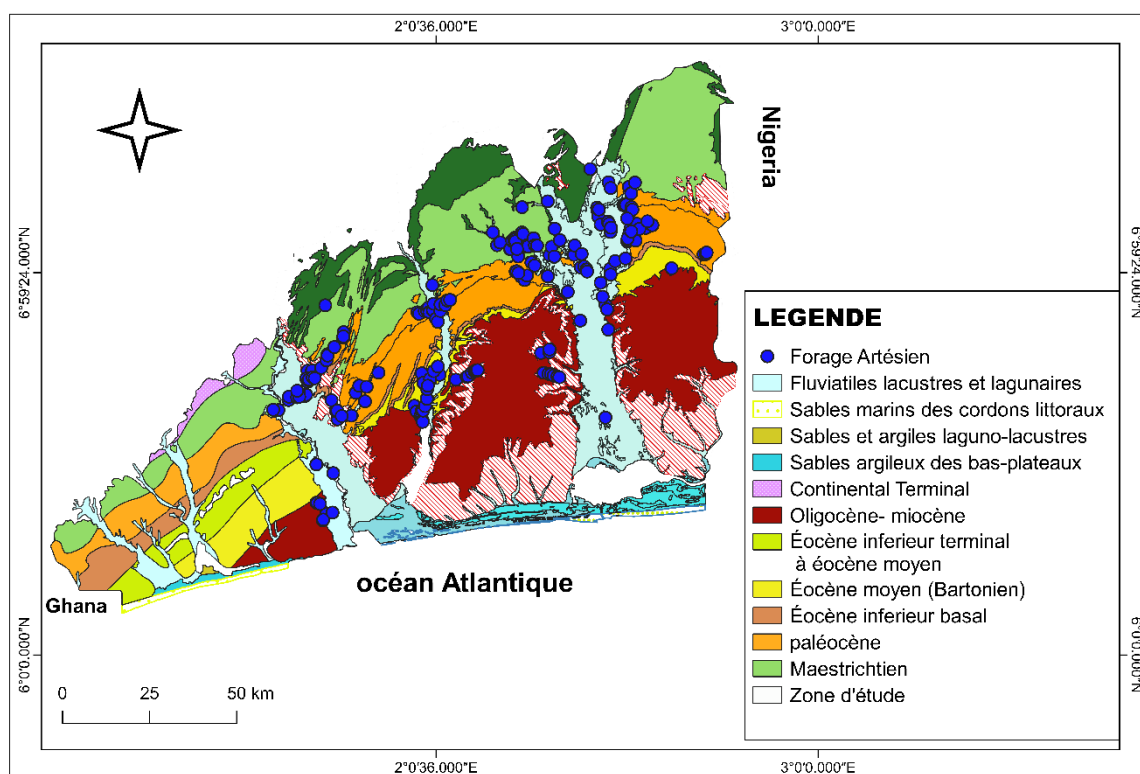


Figure 16: Carte de la répartition des forages artésiens dans le Bassin Sédimentaire Bénino-Togolais



*Figure 17: Photographie montrant quelques forages artésiens dans le BSCB-T*

- (a) FPM devenu artésien (Latamegon, Benin), (b) l'eau jaillissant (Ouinhi, Benin), (c) l'eau jaillissant à travers un conduit en fonte (Gogo-kondji, Togo) (d) rupture de la structure d'un forage artésiens par la pression de l'eau (Ayogo, Benin),

#### 4.1.1.2. Cartographie des réseaux de fractures et extraction du réseau hydrographique

La carte des fractures ci-dessous (figure 18) a été obtenue à partir de la digitalisation des fractures probables de la carte géologique du BSCB-T. Elle comporte deux cent vingt-trois (223) fractures majeures.

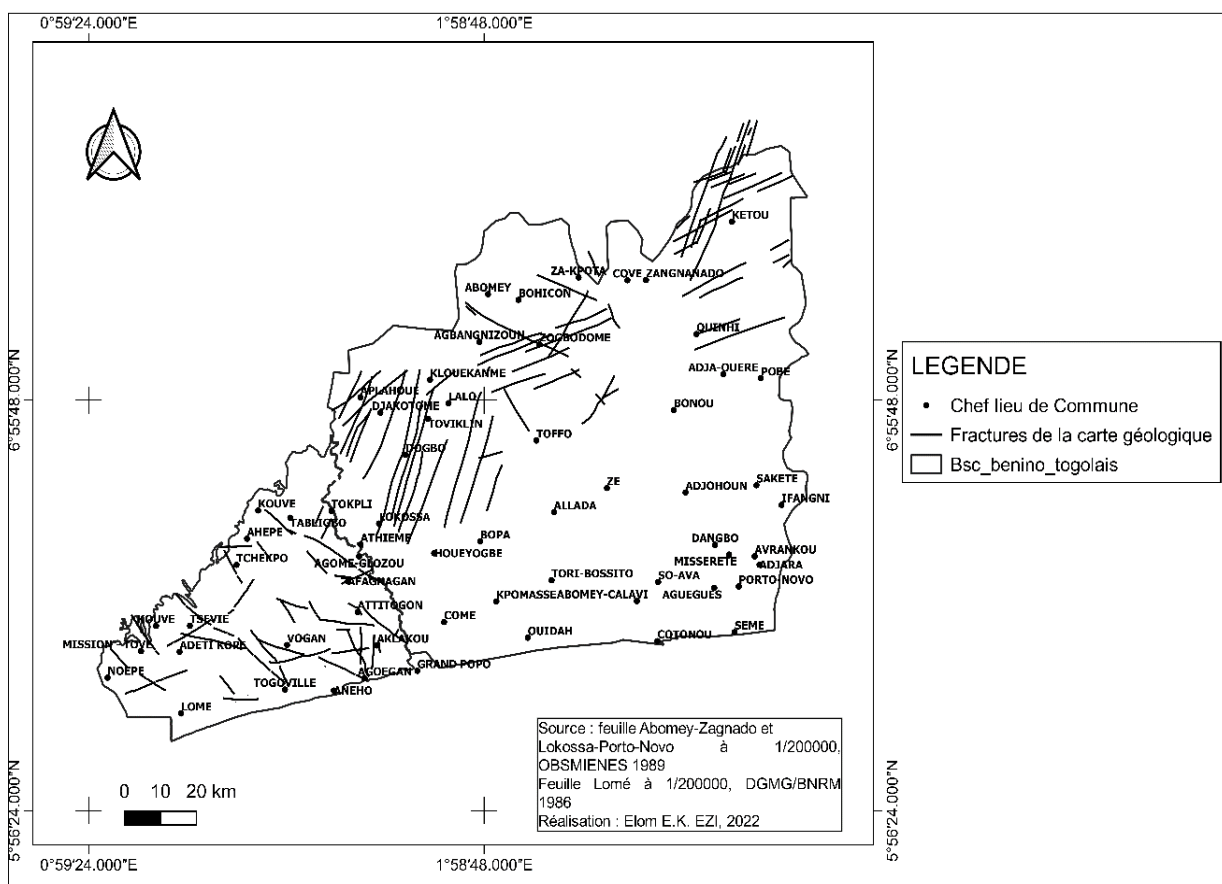


Figure 18: Carte de fracture dans le bassin sédimentaire côtier Bénino-Togolais

L'analyse du réseau met en évidence la représentation des fractures hectométriques à kilométriques dans toutes les directions (figure 19).

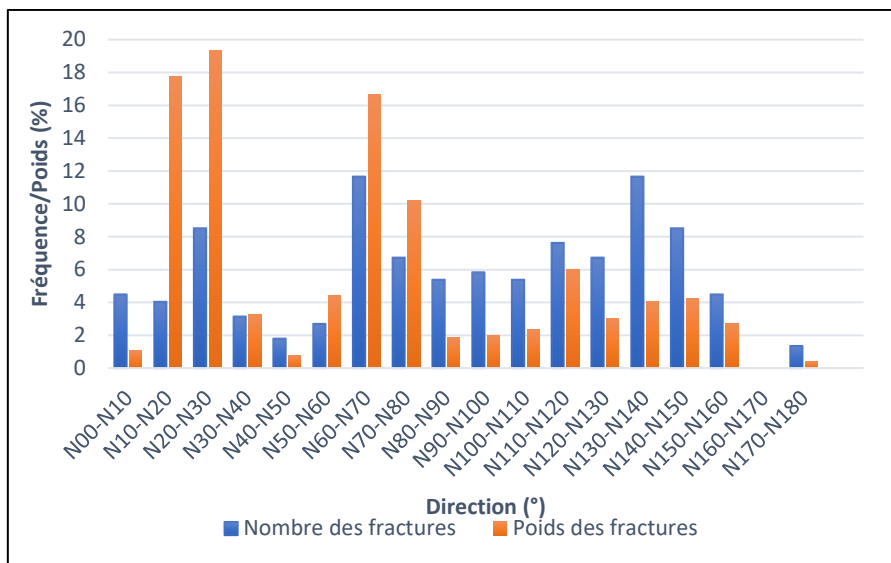


Figure 19: histogrammes de représentation graphique de la distribution des fractures dans le bassin sédimentaires Bénino-Togolais

Le réseau des fractures probables comprend plusieurs familles réparties dans diverses directions. La principale est celle des fractures transversales (NW-SE). La rosace directionnelle de l'ensemble des fractures (figure 20) indique les classes de familles suivantes :

- La famille NW-SE (N100- N160) dont les plus représentées sont : N140- N160)
- La famille ENE-WSW (N60- N80) dont les plus représentées sont : N60- N70)
- La famille NNE- SSW (N0- N30) dont les majoritaires sont : N10- N20 et N20- N30)

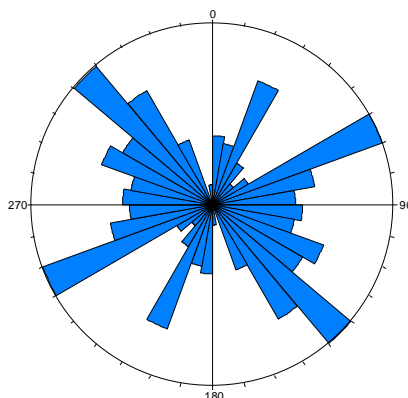


Figure 20: rosace des directions de failles dans le bassin sédimentaire côtier Bénino-Togolais

*Tableau 2: Fréquence des orientations de fractures dans le bassin*

Orientations des fractures	N00- N10	N10- N20	N20- N30	N30- N40	N40- N50	N50- N60	N60- N70	N70- N80	N80- N90	N90- N100	N100- N110
Effectif	10	9	19	7	4	6	26	15	12	13	12
Fréquence	4%	4%	9%	3%	2%	3%	12%	7%	5%	6%	5%

N110- N120	N120- N130	N130- N140	N140- N150	N150- N160	N160- N170	N170- N180	Total
17	15	26	19	10	0	3	223
8%	7%	12%	9%	4%	0%	1%	100%

La superposition de la carte de répartition spatiale des forages artésiens et des fractures (figure 21) nous montre que 21,90% des forages artésiens sont alignés suivant les fractures sur une distance inférieure à 1 km. Dans le bassin du Mono la majorité de ces forages artésiens sont alignés le long des fractures comme dans les localités de Tokpli, Aklakou, Gogo Kondj, Adohoun, Tokpa, Vaha, Diahehouin, Yénama, Kodji, Tinou-hounsa et Yayahoué. La distribution spatiale de ces forages suit la même orientation que celle des fracturations dans le bassin versant. Le premier exemple d'orientation d'un ensemble des forages est celui des forages qui quittent la partie Nord-ouest du bassin (Agbetiko et Agome- Seva), et par Sakpove, Aklakou et Agbodjinoukondji vers le Sud- est. L'orientation de cet ensemble de forages est semblable à la direction des fracturations d'orientation NNW-SSE décrite. Un second ensemble d'orientation des forages est celui qui quitte le Nord- est du bassin (Azonta, Hazin, Mankpa, Medetogbo et Fiogbehoue), vers le Sud-ouest du bassin (Anadji, Logbo, Tokpa, Agbodji et Hogbonou). Cet ensemble de forages est semblable à la direction des fracturations d'orientation NW-SE décrite. Et une troisième orientation des forages artésiens des localités Zakpo, Kotonou, Somionta, Ichougbo, Ita-Tele, Ahicon et Attougou) vers l'est du BSCB-T suivent les fractures de directions ENE-WSW.

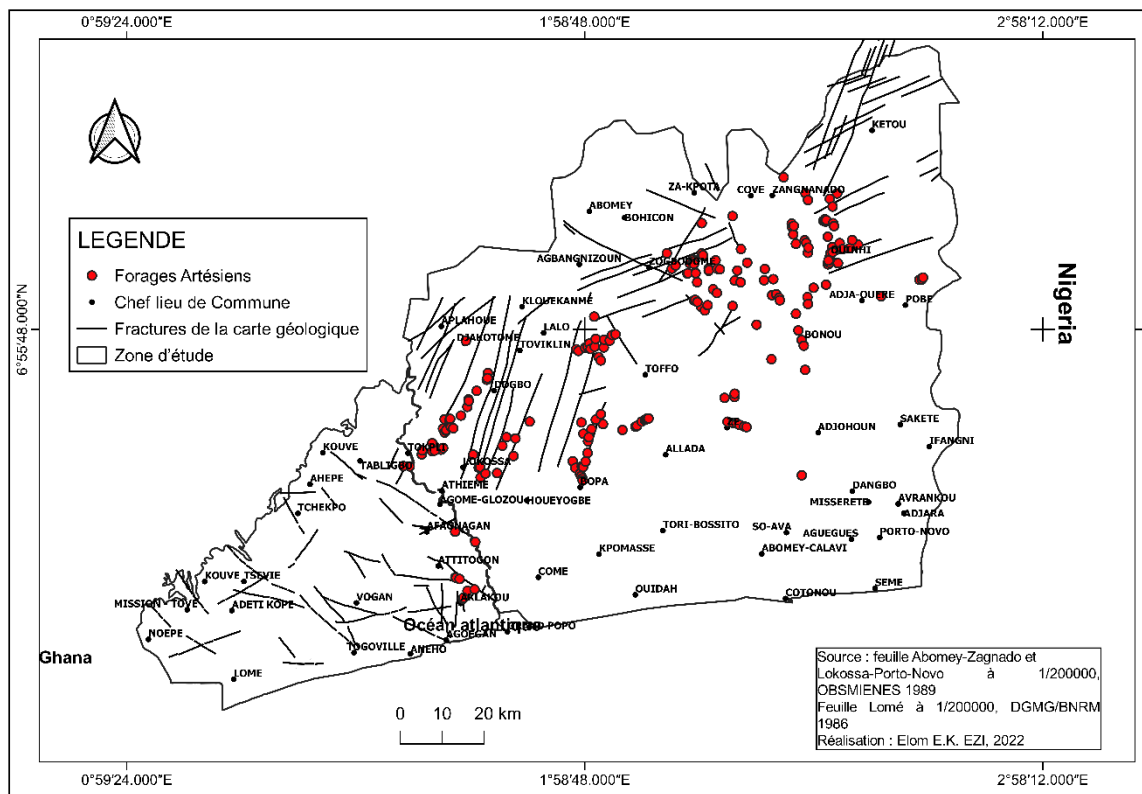


Figure 21: carte montrant la relation entre les fractures et les forages artésiens



La carte du réseau hydrographique (figure 22) extraite à partir du Modèle Numérique de Terrain montre des réseaux dendritiques très dense à l'est et penné vers l'ouest. Les systèmes dendritiques se forment dans des vallées en forme de V ; en conséquence, les types de roche doivent être imperméables et non poreux. Les forages artésiens projetés sur la carte des réseaux hydrographiques montrent une similitude qui confirme que les forages artésiens sont associés aux réseaux dendritiques très denses. La majorité des forages artésiens sont dans le lit des rivières.

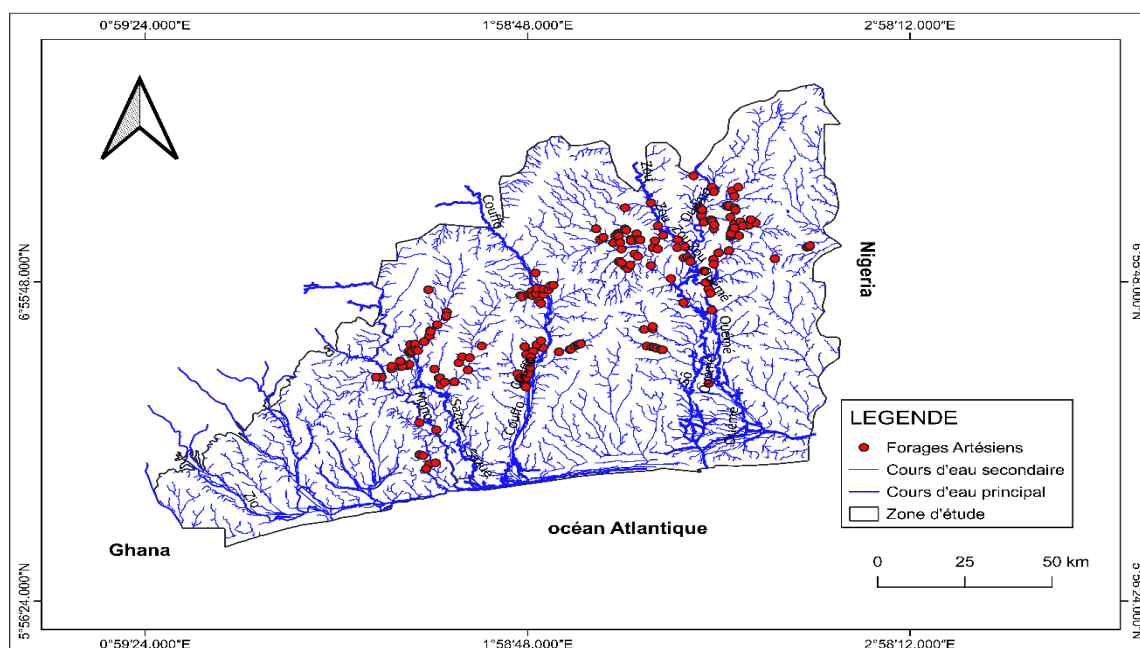


Figure 22: Carte de répartition des Forages artésiens en fonction du réseau hydrographique

La figure 23 nous montre la relation entre le réseau hydrographique, les fractures et les forages artésiens. Les fractures qui sont perpendiculaires aux réseaux hydrographiques portent en majeure partie des forages artésiens.

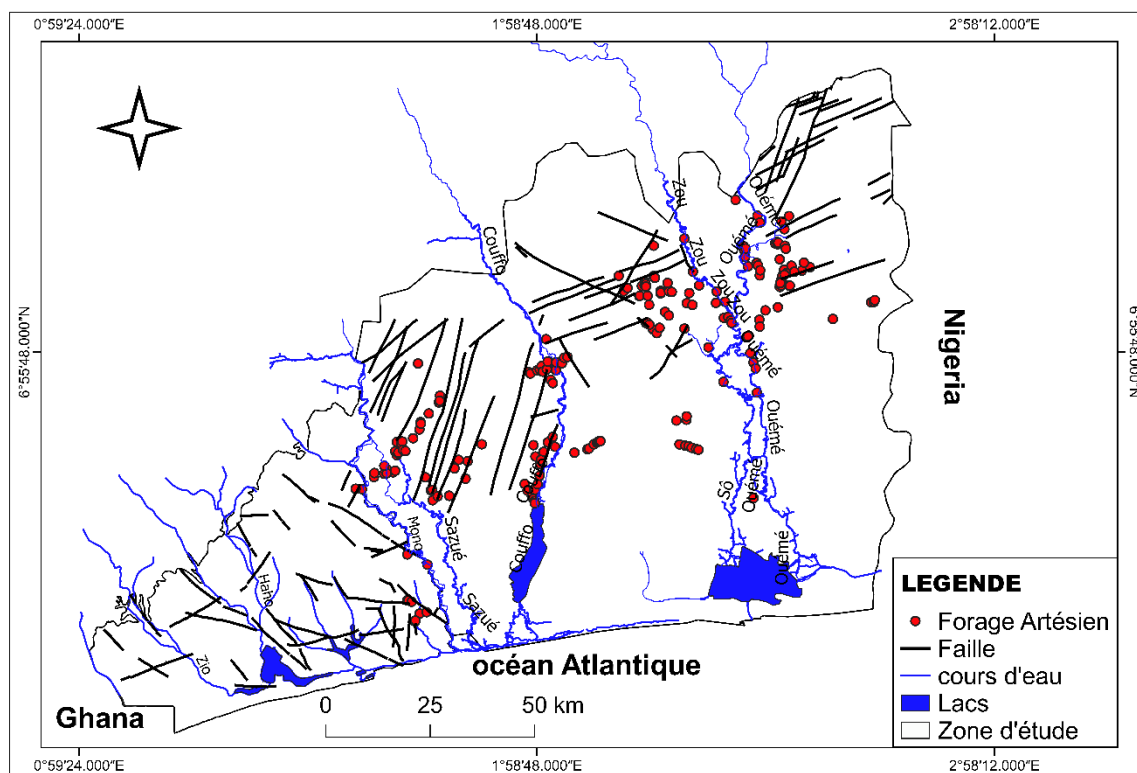


Figure 23: carte montrant la relation entre les fractures et les forages artésiens

La carte de la figure 24 nous montre la répartition spatiale des forages artésiens en fonction des plateaux du BSCB-T. Les forages artésiens ne se développent pas sur les plateaux mais par contre sur la bordure des vallées des rivières qui drainent ces plateaux. Certaines eaux de ces forages artésiens sont des eaux chaudes dont la température varie entre 29, 9 à 43 °C (figure 25).

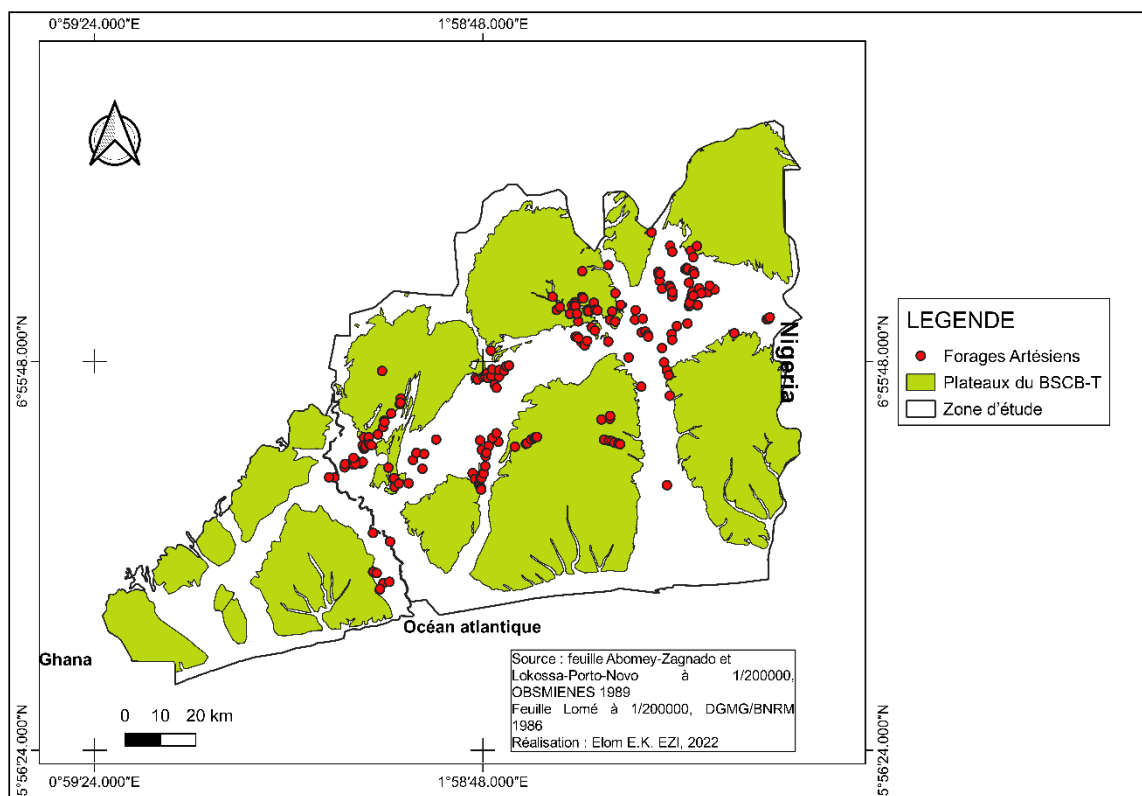


Figure 24: carte de spatialisation des forages artésiens en fonction des plateaux du BSCB-T

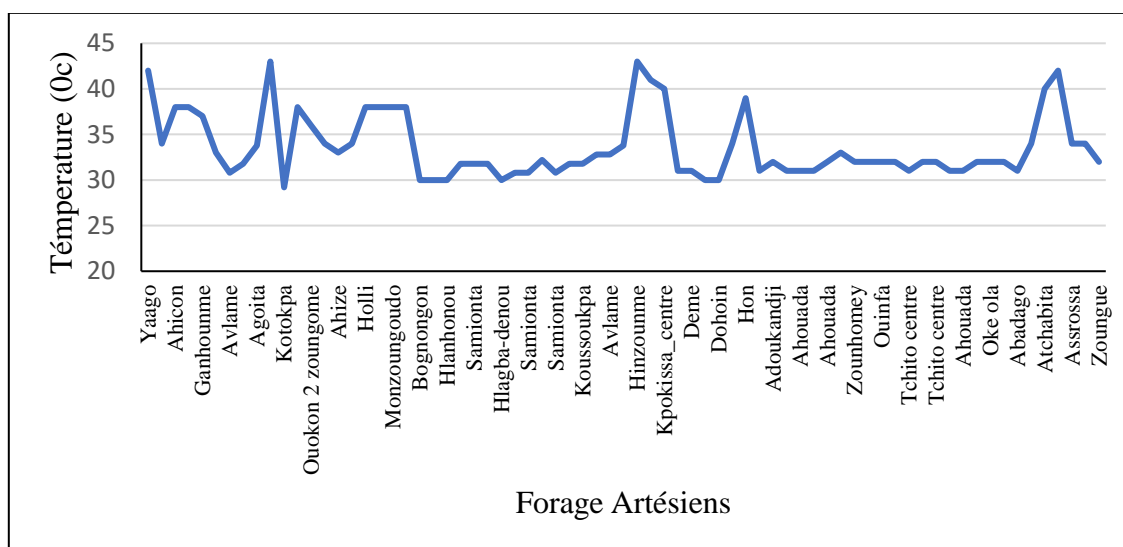


Figure 25: graphe montrant la variation de la température de l'eau des forages artésiens

La figure 26 nous montre que plus de 75% des forages artésiens sont développés sur les formations de la dépression de la Lama, de direction NE- SW. Les forages artésiens épousent cette orientation. Cette dépression couvre essentiellement des formations de l'éocène- moyen, le paléocène inférieur, moyen à supérieur et une partie des dépôts alluvionnaires.

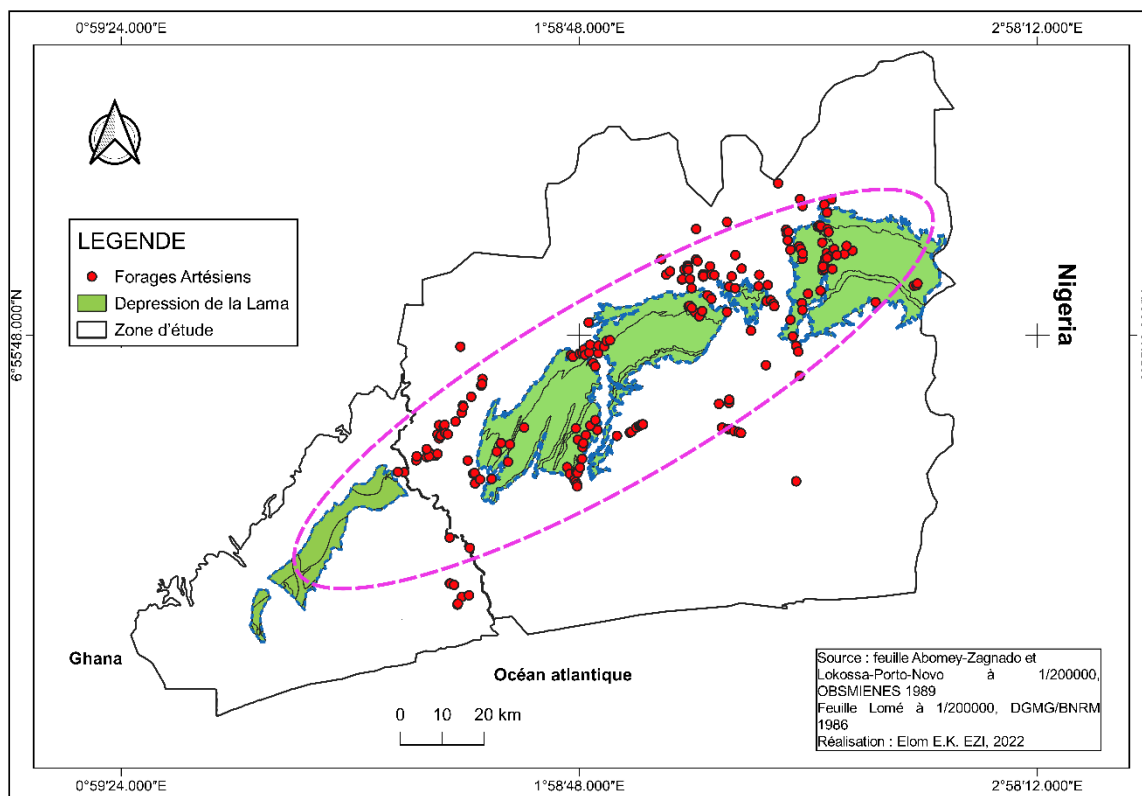


Figure 26: carte démontrant la relation entre la dépression de la lama et les forages artésiens

La figure 27 montre la relation entre les forages artésiens et l'altitude. La répartition des forages artésiens n'est pas aléatoire. On remarque une forte cohérence entre les forages artésiens et les faibles altitudes.

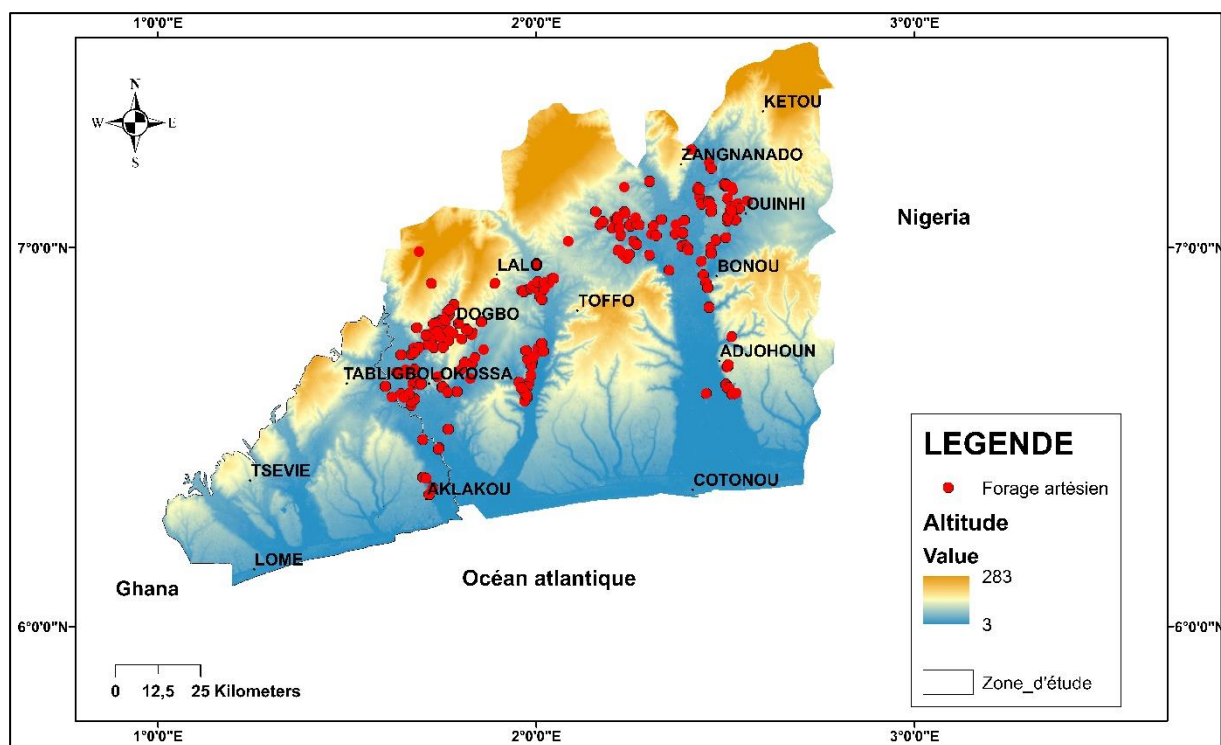


Figure 27: carte montrant la relation entre l'artésianisme et l'altitude

#### 4.1.2. Quantification du débit de déversement des forages artésiens et estimation de la recharge

##### 4.1.2.1. Quantification du débit de déversement

Pour quantifier le débit de déversement, nous avons utilisés les données de débits mesurés issus des travaux de Dada (2022) et Agboga (2022) respectivement 45 dans le département du Mono et 19 dans le département de Bopa ; et nous avons mesuré 80 débits de forages artésiens sur le terrain.

Par rapport au débit total mesuré (145) sur le terrain nous avons quantifié approximativement le débit de déversement total des FA qui est d'environ  $817,867 \text{ m}^3/\text{h}$ . Partant de cette valeur obtenue nous avons quantifié le déversement annuel des forages artésiens. Cette valeur est de  $7\,164\,514,92 \text{ m}^3/\text{an}$ .

La figure 28 montre la carte spatiale des débits des forages artésiens dans BSCB-T. Elle a été réalisée grâce aux débits totaux mesurés sur 145 FA (Annexe tableau 3). A partir de cette figure

on remarque que le débit actuel des forages artésiens varie entre 0,2 et 58 m<sup>3</sup>/h. Les plus faibles valeurs du débit sont remarquées à l'ouest vers le Togo et au centre en direction du sud. Les plus fortes valeurs s'observent au centre dans la vallée du Couffo et au Nord Est dans la vallée de l'Ouémé et du Zou.

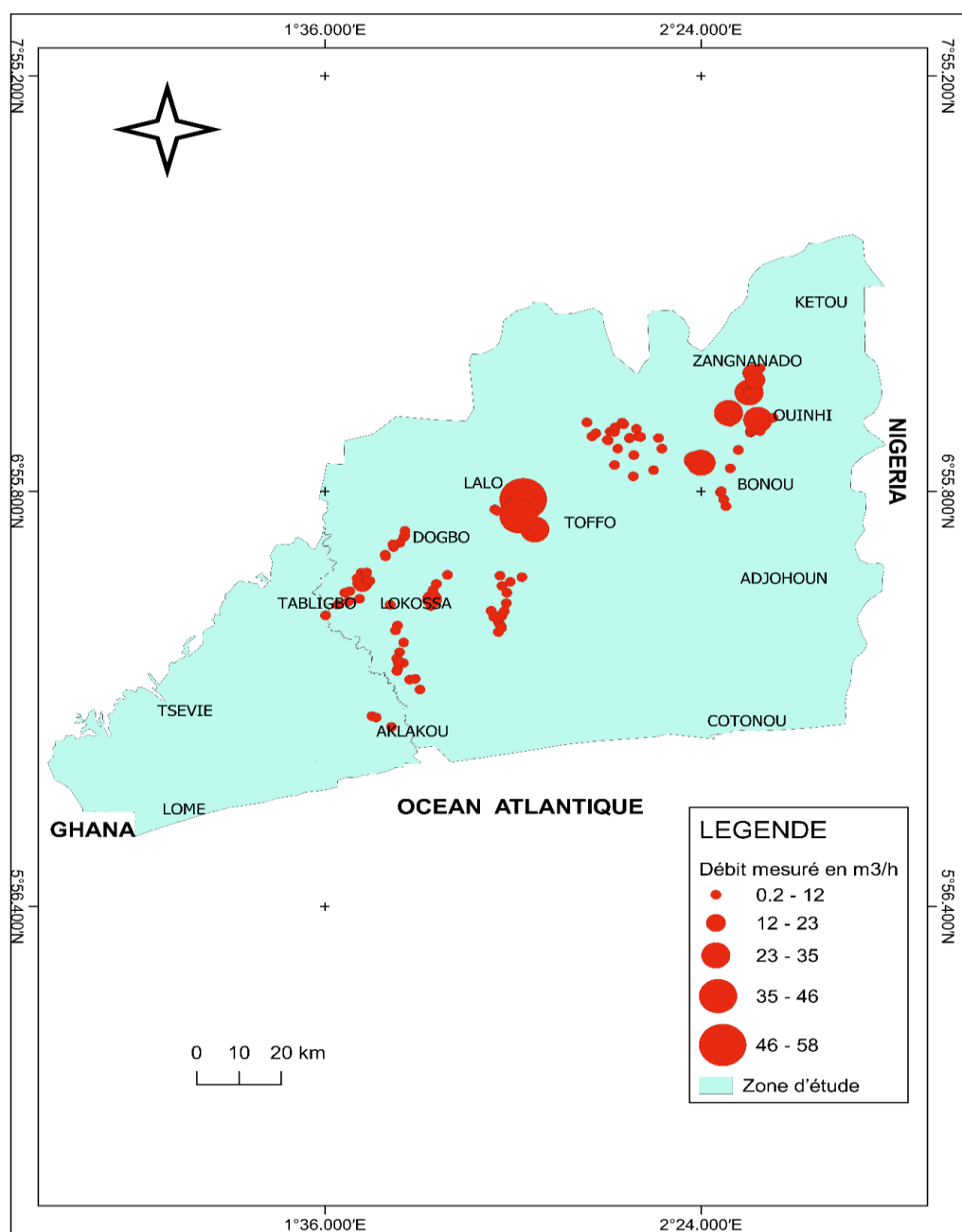


Figure 28: carte montrant la spatialisation des débits actuels des forages artésiens

La relation entre la productivité et la profondeur des forages artésiens est représentée par le graphe de la figure 29. L'analyse du graphe indique qu'il n'y a pas un lien évident entre les deux paramètres. Sauf que les débits les plus importants (10- 58 m<sup>3</sup>/h) se rencontrent sur les forages allant de 150 à 216 m de profondeur.

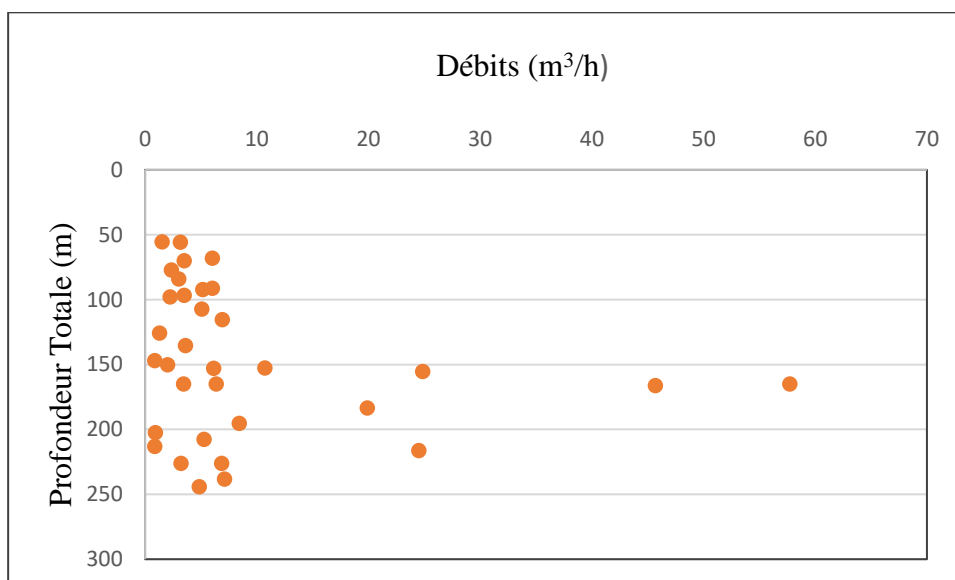


Figure 29: relation entre débits et profondeur totale des forages artésiens

#### 4.1.2.2. Estimation de la recharge

Détermination de la recharge par la méthode de fluctuation piézométrique

Avec la méthode de fluctuation piézométrique, nous avons estimé la recharge en déterminant d'abord les amplitudes piézométriques pour chacun des piézomètres.

Les courbes de fluctuations piézométriques dans le piézomètre analysés, EPP Sika- Kondji entre 2016 et 2021 sont présentés sur les figures 30 à 32.

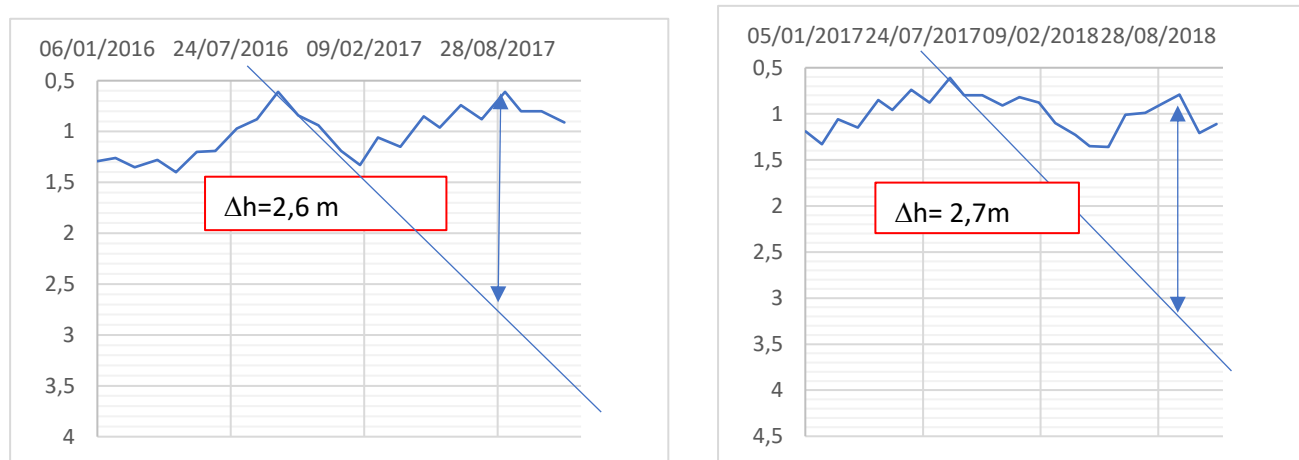


Figure 30: détermination des amplitudes  $\Delta h$ . les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji

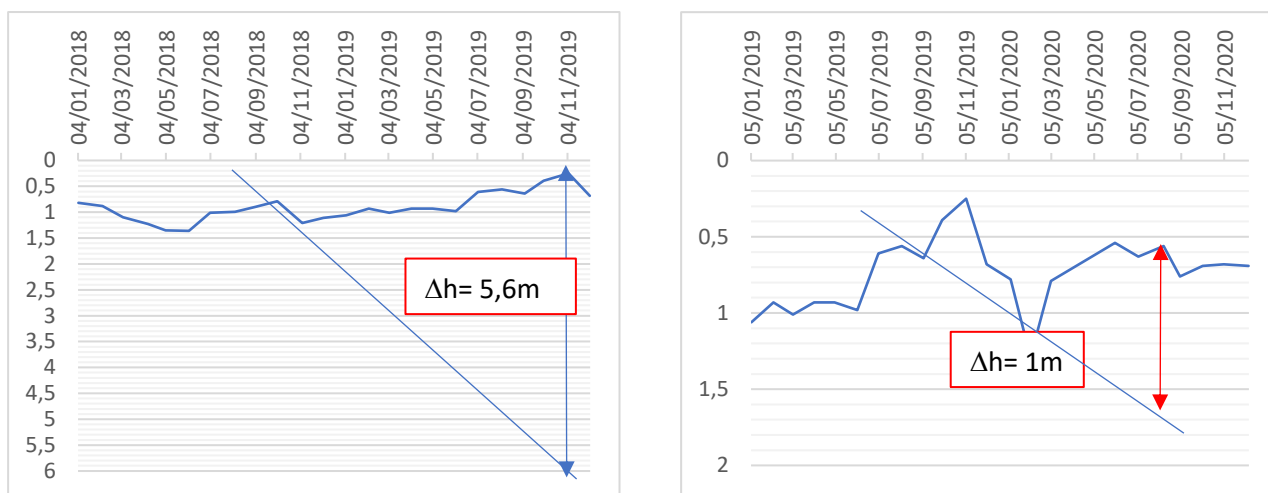


Figure 31: détermination des amplitudes  $\Delta h$ . les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji

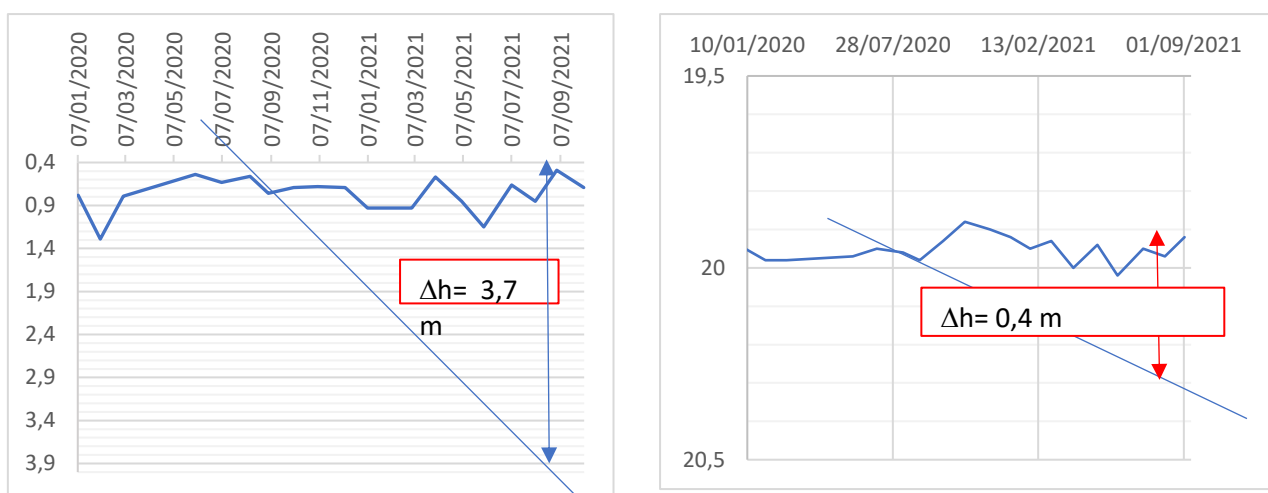


Figure 32: détermination des amplitudes  $\Delta h$ . les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji

Les valeurs d'amplitudes obtenues sont récapitulées dans le tableau 3 selon les années hydrologiques. C'est à partir de ces amplitudes que les valeurs de recharges par année hydrologique ont été calculées en considérant le coefficient d'emmagasinement 0,7% (Gnazou, 2008).



*Tableau 3: Tableau récapitulatif des amplitudes piézométriques calculées*

Ouvrages	Années Hydrologiques	Amplitudes $\Delta h$ (m)
EPP Sika- Kondji	2016-2017	2,6
	2017-2018	2,7
	2018-2019	5,6
	2019-2020	1
	2020-2021	3.1

Le piézomètre considéré étant sur le plateau de Kouvé avec une superficie 442865423,8 m<sup>2</sup> d'environ a permis de déterminer le volume d'eau rechargée par année hydrologique sur la zone d'affleurement du Crétacé supérieur sur ce plateau.

*Tableau 4: Tableau récapitulatif des valeurs de la recharge estimée par la méthode de FP, Piézomètre EPP Sika- Kondji*

Années Hydrologiques	Recharge (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )
2016-2017	18,2	8060150,713
2017-2018	18,9	8370156,51
2018-2019	39,2	17360324,61
2019-2020	7	3100057,967
2020-2021	21,7	9610179,696

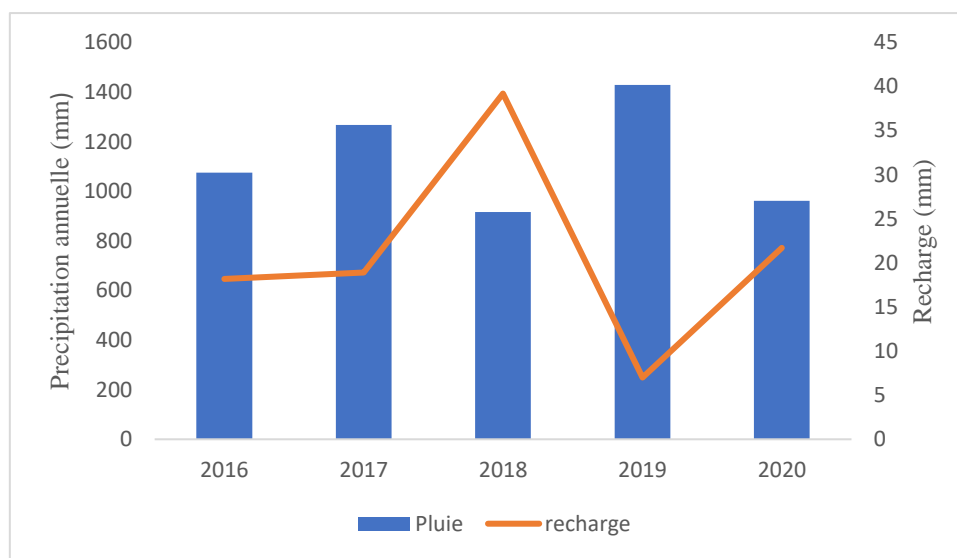
Avec la méthode de FP, la recharge varie de 7 et 39,2 mm sur le plateau Kouvé (piézomètre EPP Sika- Kodji). En analysant les données piézométriques, nous constatons que la période 2018-2019 paraît une période caractérisée par de fortes recharges sur le plateau Kouvé. La période 2019-2020 paraît une période déficitaire où on constate que la nappe s'est vidée complètement avec une valeur de recharge très faible.

La seule valeur ponctuelle issue du piézomètre de EPP Sika-Kondji captant le Crétacé supérieur a permis d'extrapoler la recharge au niveau des zones d'affleurements du Crétacé supérieur dans le BSCB-T (tableau 5). La superficie d'affleurement du Crétacée supérieur dans le bassin est d'environ 3967,91 km<sup>2</sup>. Cette recharge a été estimée en considérant un seul piézomètre ponctuel et le coefficient d'emmagasinement 0,7% ce qui laisse une marge de biais sur les résultats.

*Tableau 5 : récapitulatif des valeurs de la recharge estimée par extrapolation dans le Bassin*

<b>Années Hydrologiques</b>	<b>Recharge (mm)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
2016-2017	18,2	72216096,69
2017-2018	18,9	74993638,87
2018-2019	39,2	155542362,1
2019-2020	7	27775421,8
2020-2021	21,7	83326265,41

Une analyse comparative des précipitations et des recharges (figures 33), montrent que les précipitations ont une influence sur la recharge. Les précipitations constituent les principales sources de recharge de la nappe. En étudiant proportionnellement les recharges estimées et les précipitations, la recharge estimée sur l'année hydrologique 2019- 2020 a été déficitaire. En 2019, il y a eu assez de précipitation mais progressivement vers 2020, la précipitation a diminué ce qui agit sur la recharge de l'aquifère du Crétacé supérieur et les déversements artésiens étant continus cela a dû considérablement vidée la nappe.



*Figure 33:Pluviométrie et recharge estimée sur l'aquifère du Crétacé supérieur dans le BSCB-T*

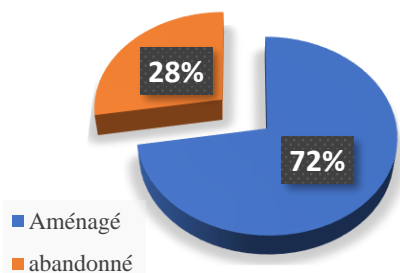
Le tableau 6 montre que la recharge est supérieure aux déversements sur les 5 années hydrologiques considérées sur le Bassin ce qui confirme la deuxième hypothèse de notre étude.

*Tableau 6 : bilan hydrique partiel de l'aquifère du Crétacé supérieur dans le BSCB-T*

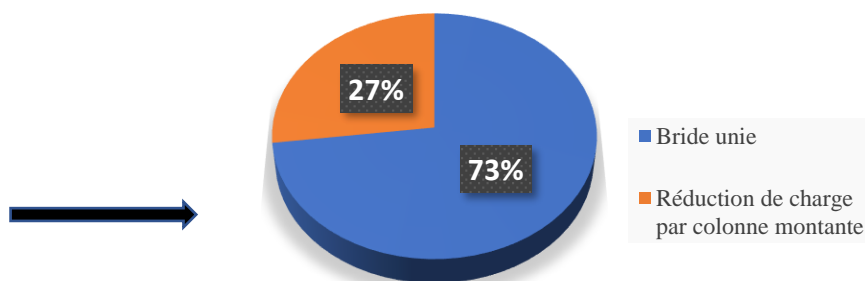
Années Hydrologiques	Recharge (mm)	Volume rechargée (m <sup>3</sup> )	Volume déversé (m <sup>3</sup> )	Rech. – Devers. (m <sup>3</sup> )
2016-2017	18,2	72216096,69	7164514,92	65051581,8
2017-2018	18,9	74993638,87	7164514,92	67829124
2018-2019	39,2	155542362,1	7164514,92	148377847
2019-2020	7	27775421,8	7164514,92	20610906,9
2020-2021	21,7	83326265,41	7164514,92	76161750,5

#### 4.1.3. États des lieux des forages artésiens aménagés

Parmi les 210 forages artésiens dans le BSCB-T, nous avons visité 126 forages artésiens dont 72% sont aménagés et une proportion de 28% (48) abandonnés ou l'aménagement est dégradé. Cette répartition des états des forages sont illustrés par la figure 34. Parmi les forages artésiens aménagés, deux types d'aménagement ont été observés. Il s'agit des techniques de réduction de la charge et d'équilibre du niveau piézométrique. La représentation de la part de chaque type d'aménagement est illustrée par la figure 35.



*Figure 34: états des forages*



*Figure 35: états des forages*

Parmi les forages artésiens aménagés, l'aménagement par bride unie est le plus observé dans le bassin environ 72% dont 21% des forages artésiens aménagés par cette technique ne sont plus en bon état à cause de la dépressurisation du forage, l'agressivité de l'eau et aussi du manque d'entretien et celui par colonne montante représente 28 % des aménagements. Cette répartition est illustrée par la figure 36.

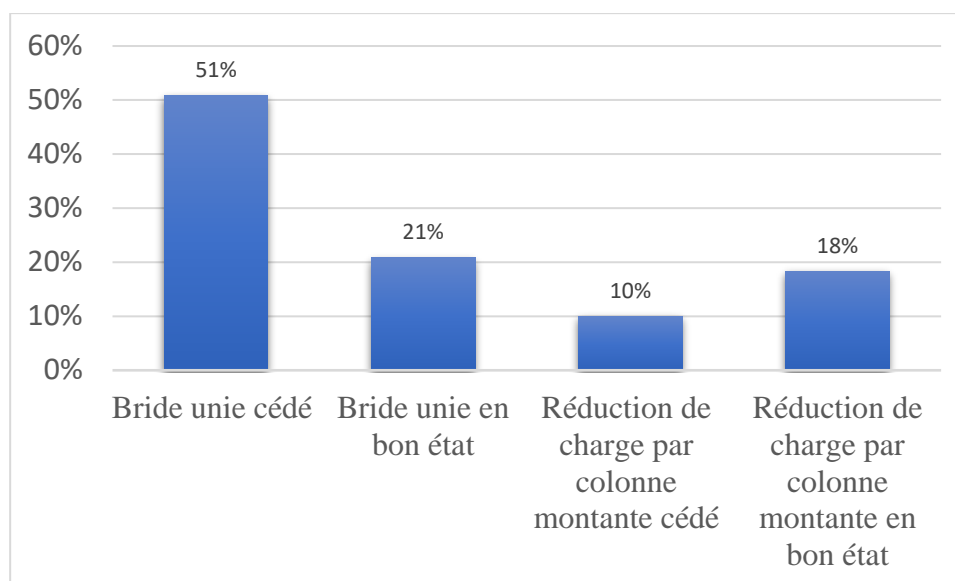


Figure 36: répartition de l'état des ouvrages en fonction des types d'aménagements

La technique d'aménagement de réduction de charge par colonne montante consiste à déterminer la pression à la tête du forage et la hauteur de l'artésianisme majorée d'une hauteur de fluctuation commandée par les pluies et/ou la recharge, on procède à la mise en place de tubages en fonte formant un "T" qui conduit l'eau du forage vers les usagers. Le tubage principal est ancré dans une superstructure en béton dosé à  $350 \text{ kg/m}^3$  fondée entre 0,50 et 1 m. Ce tubage portera un manomètre de bonne qualité. Tout le système de tubage sera complété par un autre tubage en PVC ou en acier orienté vers le haut pour équilibrer la pression et ainsi assurer une maîtrise totale des écoulements. Alors que la technique par bride unie représente une variante de la première ne comportant pas de tubage d'équilibre de l'artésianisme. Elle assurerait une meilleure étanchéité. Par ailleurs, les valeurs de pressions lues au manomètre donnent une idée sur la variation de pression.

En vue d'assurer une meilleure gestion et de garantir une pérennité de cette nappe jaillissante, nous suggérons :

- Obstruer ces forages artésiens abandonnés par la méthode d'injection de coulis dense proposée par le MLECC.
- Faire un château près de ces forages artésiens cela pourra stocker l'eau en grande quantité et faciliter la redistribution vers les usagers.
- Revoir l'aménagement par la Bride-Unie en changeant le fer qui compose l'aménagement en conduite Johnson en acier inoxydable ou en PVC ce qui pourra empêcher l'eau de rouiller ce dernier.

➤ Aménagement de réduction de charge par colonne montante



Figure 37: Photographie montrant les fins desservies par un aménagement à colonne

- (a) Aménagement à la colonne sans superstructure (Agbodjinoukondji, Togo), (b) superstructure à la colonne montante environs 11 m (Avavi, Benin), (c&d) superstructure à colonne à Monzougoudo et Adagbodji, Benin

➤ **Bride-unie**



*Figure 38: Aménagement par Bride- Unie*

(a)-Agome-Seva, Togo, (b)- Senkhame, Benin, (c)- Zouhomey, Benin (d) Ahize Centre

## Discussions

La répartition spatiale des forages a montré que plus de 75% des forages artésiens se trouvent dans les formations de la dépression de Lama. Ces résultats confirment l'hypothèse d'Alassane (2004) qui suggérait que les forages artésiens se localiseraient dans la dépression de la Lama et dans les vallées des rivières. Cette hypothèse a été appuyée par Kresic, 2010 in Sabrina 2012, qui affirment que la géomorphologie, la structure géologique, la topographie jouent un rôle important dans l'artésianisme. Selon Mondjannagni (1969) in Gnazou (2008) la dépression de la Lama doit son nom au caractère particulièrement argileux de son sol qui reste boueux (le terme Lama « signifiant boue en portugais»). Cette particularité rend les nappes ainsi confinées. L'étude structurale de notre zone nous a permis de constater que la dépression de Lama est une grande fracture médiane ouverte orientée NNE- SSW avec une largeur d'environ 25 km et de 200 km de long. Cette fracture de très grande taille serait un grand potentiel hydrogéologique qui serait alimenté par d'autres petites fractures. Dans notre étude, trois types d'orientations dominantes à savoir : NW-SE, ENE-WSW et NNE- SSW sur lesquelles s'alignent 21, 90 % des forages artésiens. Ce faible taux nous montre qu'il n'y a pas de lien évident entre les FA et les fractures. Nos résultats contrastent avec ceux de Glodji et *al.*, 2019 qui n'avaient trouvé que l'orientation NNE-SSW dans le bassin du mono dans son étude. Cela pourrait s'expliquer par l'étendue de notre zone d'étude qui va au-delà du bassin du Mono.

La dépression de Lama et les fractures de direction NW-SE et NNE- SSW recourent le sens de l'écoulement dans le bassin qui est de direction nord- sud ; cette configuration leur confère la notion de fractures hydrauliquement actives. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de Méheust (2002) qui a démontré que l'écoulement à travers une fracture ouverte est contrôlé par les grandes échelles du champ de l'ouverture et une sensibilité importante de la perméabilité de la fracture vis- à-vis de son orientation.

La superposition de la carte des réseaux hydrographiques à celle des forages artésiens révèle que les forages artésiens sont essentiellement localisés dans la vallée des cours d'eau. Ces réseaux hydrographiques alimenteraient les aquifères alluviales (de la vallée du Mono, du Couffo et de l'Oueme) et l'aquifère du Crétacé supérieur à travers des fractures profondes de la dépression de la Lama.

En ce qui concerne la variation spatiale des débits, on remarque que le débit actuel des forages artésiens varie entre 0,2 et 58 m<sup>3</sup>/h. Les plus faibles valeurs du débit sont remarquées à l'Ouest vers le Togo et au centre en direction du sud. Les plus fortes valeurs (allant jusqu'à 58m<sup>3</sup>/h) s'observent au centre dans la vallée du Couffo et au Nord Est dans la vallée de l'Ouémé et du Zou.

Vers l'ouest du BSCB-T (au Togo) on a déterminé 6% de FA, ce faible taux pourrait s'expliquer par la faible profondeur de cette fracture et les caractéristiques géologique et hydrogéologique de l'aquifère du Crétacé supérieur ; l'épaisseurs des couches argileuses susceptibles de confiner l'aquifère diminuer vers l'ouest et son substratum commence par affleurer, le biseau sec vers le Togo alors qu'au Benin cette fracture est très profonde ce qui confère cette aptitude à manifester l'artésianisme.

L'aquifère étudié pour l'estimation de la recharge est l'aquifère du Crétacé supérieur. La portion considérée pour notre étude est le plateau de Kouvé. En effet, la nappe du crétaqué capté sur le plateau de Kouvé est libre au nord d'où elle se recharge et captive au Sud. Avec la méthode de FP, la recharge sur les cinq ans varie de 7 et 39, 2 mm sur le plateau de Kouvé.

Les forages artésiens déversent 817 867 L/h. Cette quantité de déversement peut répondre aux besoins en eau de 40893 personnes dans le Bassin en considérant un minimum vital de 20 litres d'eau par jour et par personne selon l'OMS.

Le déversement annuel des forages artésiens qui rejoint l'océan est environ de 7 164 514,92 m<sup>3</sup>/an. Ce déversement est inférieur à la recharge sur la période 2019- 2020; ce qui voudra dire que la nappe s'est vidé, alors que sur les autres périodes la recharge est supérieure au déversement.

Pour l'aménagement des forages artésiens, 72% sont aménagés et une proportion de 28% abandonnées ou l'aménagement est dégradé. Deux types d'aménagement ont été observés. Il s'agit des techniques de réduction de la charge et d'équilibre du niveau piézométrique. Ces aménagements permettent de réduire les pertes d'eau, la consommation d'énergie et de protéger durablement l'ouvrage. L'aménagement de réduction de charge par colonne montante est le mieux adaptées à ces ouvrages.



## **CONCLUSION**

L'alimentation en eau potable des populations et le développement d'une agriculture de contre saison rendent nécessaire une bonne connaissance des eaux souterraines des aquifères qui manifestent l'artésianisme en vue de leur exploitation et gestion soutenable. Cette étude a été entreprise dans le but de cartographier et d'évaluer le potentiel artésien du Bassin Sédimentaire Bénino-Togolais.

Pour atteindre nos objectifs les approches géologiques, structurales, hydrologiques et hydrogéologiques ont été exploitées suivant une méthodologie bien définie. L'analyse des cartes de spatialisations des forages artésiens, des réseaux hydrographiques et de fracturation a permis d'identifier les causes possibles de la fréquence élevée de l'artésianisme dans la partie médiane du bassin. Les zones favorables à l'artésianisme se situent dans la dépression de la Lama de direction NNE- SSW dans l'aquifère du Crétacé supérieur.

La plus-part des aménagements ne sont plus en bon état. Les aménagements ont été réalisés autour de la majorité des forages artésiens dans le Bassin par deux techniques pour mieux gérer l'eau et éviter le gaspillage. Mais force de constater que ces aménagements ne tiennent plus à cause de la pression et l'aspect corrosif de l'eau. Par ailleurs, pour éviter le gaspillage des eaux des forages artésiens, les initiatives de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) doivent être mises en place autour de ces forages artésiens.

## **PERSPECTIVE**

Bien que cette étude ait donné des résultats satisfaisants par rapport à l'estimation de la recharge, elle mérite d'être élargie sur toute la zone d'affleurement du Crétacé supérieur tout en prenant en compte plusieurs champs de piézomètres et en en considérant des pas de temps plus petits pour réduire les biais.

En ce qui concerne le caractère corrosif des eaux de certains forages artésiens, une étude de la qualité de ces eaux dans le bassin est nécessaire.

Liste des figures

Figure 1: schémas illustrant un aquifère captifs montrant avec un puits artésiens .....	5
Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude (Slansky,1962 Modifié) .....	7
Figure 3: Carte géomorphologique du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénino-Togolais.....	8
Figure 4: Carte hydrographique du BSCB-T .....	10
Figure 5: précipitations moyennes mensuelles (1990-2020) des stations Cotonou, Zagnanado Lomé et Tabligbo. ....	11
Figure 9: température moyenne mensuelle de 1990 -2020 à Tabligbo .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 10: humidité relative moyenne mensuelle de 1990 -2020 à Tabligbo ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 11: moyennes mensuelles ETP à la station de Tabligbo (1990-2020).....	13
Figure 12: carte géologique du Bassin Sédimentaire Côtier Bénino-Togolais .....	17
Figure 13: chronomètre	Figure 14: GPS .....
Figure 15 : Conductivimètre	Figure 16: Récipient gradué de 13L .....
Figure 17: prise de débit par la technique par empotement à Bonou (Benin).....	24
Figure 18: principe de détermination de $\Delta h$ . (D'après Koudjega et al., 2020). Exemples sur les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji .....	26
Figure 19: Carte de la répartition des forages artésiens dans le Bassin Sédimentaire Bénino-Togolais.....	29
Figure 20: Photographie montrant quelques forages artésiens dans le BSCB-T .....	30
Figure 21: Carte de fracture dans le bassin sédimentaire côtier Bénino-Togolais.....	31
Figure 22: histogrammes de représentation graphique de la distribution des fractures dans le bassin sédimentaires Bénino-Togolais .....	32
Figure 23: rosace des directions de failles dans le bassin sédimentaire côtier Bénino-Togolais .....	32
Figure 24: carte montrant la relation entre les fractures et les forages artésiens.....	34
Figure 25: Carte de répartition des Forages artésiens en fonction du réseau hydrographique.	35
Figure 26: carte montrant la relation entre les fractures et les forages artésiens .....	36
Figure 27: carte de spatialisation des forages artésiens en fonction des plateaux du BSCB-T .....	37
Figure 28: graphe montrant la variation de la température de l'eau des forages artésiens.....	37
Figure 29: carte démontrant la relation entre la dépression de la lama et les forages artésiens	38
Figure 31: carte montrant la relation entre l'artésianisme et l'altitude .....	39
Figure 34: carte montrant la spatialisation des débits actuels des forages artésiens .....	40
Figure 35: relation entre débits et profondeur totale des forages artésiens.....	41
Figure 36: détermination des amplitudes $\Delta h$ . les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji .....	41
Figure 37: détermination des amplitudes $\Delta h$ . les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji .....	42
Figure 38: détermination des amplitudes $\Delta h$ . les données piézométriques DRE (Togo), des piézomètres EPP Sika Kondji .....	42
Figure 39: Pluviométrie et recharge estimée sur l'aquifère du Crétacé supérieur dans le BSCB-T.....	44
Figure 40: états des forages .....	45
Figure 41: états des forages .....	45
Figure 42: répartition de l'état des ouvrages en fonction des types d'aménagements .....	46

Figure 43: Photographie montrant les fins desservies par un aménagement à colonne .....	47
Figure 44: Aménagement par Bride- Unie .....	48
Table des matières	
REMERCIEMENT .....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	v
INTRODUCTION.....	1
<b>CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ET DÉFINITIONS DES CONCEPTS</b> .....	3
1.1. Synthèse bibliographique .....	4
1.2. Définitions des concepts.....	5
<b>CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE</b> .....	6
2.1. Cadre géographique de la zone d'étude .....	7
2.2. Géomorphologie du bassin.....	8
2.3. Tectonique et fracturation .....	8
2.4. Hydrologie.....	9
2.5. Climat et végétation .....	10
2.5.1. Climat.....	10
2.5.1.1. Pluviosité.....	11
2.5.1.2. Température .....	11
2.5.1.3. Humidité relative .....	12
2.5.1.3. Évapotranspiration .....	13
2.5.1.3.1. Évapotranspiration potentielle (ETP).....	13
2.5.2. Végétation .....	13
2.6. Contexte géologique.....	14
2.6.1. La série inférieure.....	14
2.6.1.1. Le Turonien- Coniacien .....	14
2.6.1.2. Le Campanien .....	14
2.6.1.3. Le Maastrichtien.....	14
2.6.2. Le Cénozoïque.....	15
2.6.2.1. Le Paléocène .....	15
2.6.2.2. L'Eocène .....	15
2.6.2.3. L'Oligocène.....	15
2.6.3. La série supérieure .....	15

2.6.3.1. Le Pliocène .....	15
2.6.4. Le Quaternaire .....	16
2.7. Contexte hydrogéologique .....	18
2.8. Pédologie .....	19
2.9. Population et activités socio-économiques .....	19
<b>CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODE</b> .....	<b>20</b>
3.1. Acquisition des données .....	21
2.1.1. Recherche documentaire .....	21
3.1.2. Les données collectées auprès des structures .....	21
3.1.3. Les travaux de terrain .....	22
3.2. Matériels .....	22
3.3. Méthodes de collectes des données .....	24
3.4. Traitement des données .....	24
3.4.1. Réalisation de la carte des réseaux de fractures, et des points de forages artésiens.....	24
3.4.2. Réalisation de la carte de spécialisation des débits des forages artésiens.....	25
3.4.2.1. Réalisation de la carte des débits.....	25
3.4.2.2. Quantification du déversement et estimation de la recharge.....	25
3.4.2.3. Relation entre débit au développement et profondeur totale des forages artésiens. ..	27
<b>CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS</b> .....	<b>28</b>
4.1. Résultats .....	29
4.1.1. Cartographie des forages artésiens et des réseaux de fractures.....	29
4.1.1.1. Cartographie des forages artésiens .....	29
4.1.1.2. Cartographie des réseaux de fractures et extraction du réseau hydrographique .....	31
4.1.2. Quantification du débit de déversement des forages artésiens et estimation de la recharge .....	39
4.1.2.1. Quantification du débit de déversement.....	39
4.1.2.2. Estimation de la recharge .....	41
4.1.3. États des lieux des forages artésiens aménagés.....	45
Discussions.....	49
CONCLUSION .....	51
PERSPECTIVE.....	51
Liste des figures .....	A
Table des matières .....	B
References Bibliographiques.....	D
ANNEXE .....	H

### Références Bibliographiques

- Akouvi, A., Dray, M., Violette, S., de Marsily, G., & Zuppi, G. M. (2008). The sedimentary coastal basin of Togo : Example of a multilayered aquifer still influenced by a palaeo seawater intrusion. *Hydrogeology Journal*, 16(3), 419-436. <https://doi.org/10.1007/s10040-007-0246-1>
- Akpagana et Bouehet (1994). État actuel des connaissances sur la flore et la végétation du Togo. *Acta botanica Gallica: bulletin de la Société botanique de France* 141(3):367-372 DOI:10.1080/12538078.1994.10515170
- Alassane, A., Trabelsi, R., Dovonon, L. F., Odeloui, D. J., Boukari, M., Zouari, K., & Mama, D. (2015). Chemical Evolution of the Continental Terminal Shallow Aquifer in the South of Coastal Sedimentary Basin of Benin (West-Africa) Using Multivariate Factor Analysis. *Journal of Water Resource and Protection*, 07(06), 496-515. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2015.76040>
- Azonsi V. (2016), Amélioration de la connaissance du phénomène de l'artésianisme dans les départements du Mono et du Couffo. Rapport Provisoire, PNE, Bénin, 35p
- Benoist, J.C. & Birgand, François. (2002). Les dispositifs de mesure des débits dans les bassins versants agricoles. *Sciences, Eaux & Territoires*, 51 - 63.
- Baechler L., (2012). La bonne gestion de l'eau : un enjeu majeur du développement durable. *L'Europe en Formation* 2012/3 (n° 365), pages 3 à 21.
- Breda (1989). Notice explicative de la carte géologique à 1/200000, Feuille Pira -Savè, Abomey -Zagnanado et Lokossa-Porto Novo, mémoire n°3, 1ere édition, 77 p. 6.
- DGH (2000). Politique nationale de gestion des ouvrages hydrauliques. Rapport, Cotonou, 39 p. 1e édition. 64p + 2 annexes. 1986
- Castany G. (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris, 236p.
- Da Costa, P.Y. D., Biostratigraphie et Paléogéographie du bassin sédimentaire du Togo. Thèse de Doctorat, Université de Lomé, 2 tomes, 476p. 2005
- Da Costa, P.Y. D., Johnson A. K. C, Affaton Pascal (2013) - Les terrains paléozoïques et mésozoïques du bassin côtier togolais: Stratigraphie et Paléogéographie.15p.
- Da Costa, P.Y. D., Médus J., R. Filcoteux, Salaj J., Harmsmid B., Affaton P., K. Seddoh (2013). Biostratigraphie de la bordure septentrionale du bassin cotier Togolais. Apport des donnes palynologiques et structurales. *Science de la vie, de la terre et agronomie. Rev. Cames- Vol. 01.2013. P6 à 20.*

- Dada F., 2020. Artésianisme dans la vallée du fleuve mono : caractéristiques des forages artésiens et états des lieux des aménagements. Mémoire d'université, Université d'Abomey- Calavi 55p.
- DGSCN. Recensement général de la population et de l'habitat : Résultats définitifs. 57p. 2011
- Gléssougbe M., 2017. Évaluation de la recharge et des prélèvements de l'aquifère du Turonien Coniacien capté sur les plateaux d'Abomey et Zagnanado. Mémoire de Master d'université, Université d'Abomey- Calavi 59p.
- Glodji, L. A., Alassane, A., Dossou, P. M., Zogo, A., Ahossi, A., & Gbewezoun, V. (2019). Influence de la Réactivation de la Faille de Kandi sur l'artésianisme dans le Bassin Versant du Fleuve Mono au Sud-ouest du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal ESJ*, 15(24). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n24p346>
- Gnazou M.D-T. Etude hydrodynamique, hydrochimique, isotopique et modélisation de l'aquifère du bassin sédimentaire côtier du Togo. Thèse Univ. Lomé. 204p. 2008
- Gnazou M.D.T, Sabi B. E, Togbe K.A, da Costa Y.D (2015) - actualisation structurale de l'aquifère du paléocène dans le bassin Côtier du Togo. 22p
- Gnazou Masamaéya Dadjá-Toyou, SABI Edem Bawoubadi, Tairou, Sani Mahaman, Akakpo Wohou., Agouda Kpadja., Upton Kirsty, Brighid Ó Dochartaigh, Imogen Bellwood-howard, Africa Ground water Atlas : Hydrogéologie of Togo. Commission géologique britannique consulté le (19/12 /2022), <http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php>
- Johnson et al;. (2000). Le bassin sédimentaire a phosphates du Togo (Maastrichtien-Eocène): stratigraphie, environnements et évolution. *Journal of African Earth Sciences* P183-200.
- Kaki, C., Oyédé, L.M., & Ye ssoufou, S. (2001). Dynamique sédimentaire et environnement côtier béninois à l'Est de l'embouchure du fleuve Mono. *Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 5 (2), 247-261
- Koudjega k. Hervé, kodja d. Japhet et vissin w. Expédit. 2020. Évaluation de la Recharge des Eaux Souterraines Profonde de l'Aquifère du Paléocène Supérieure dans le Bassin du Mono- Couffo au Benin. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*,20(2), 145-155
- Kpegli, K. A. R. (2020). Flow characterization and modelling of a South Benin artesian aquifer system : Effects of hydraulic and storage properties and recharge on simulated

heads across the artesian zone [Wageningen University].

<https://doi.org/10.18174/526095>

- Kpegli, K. A. R., Alassane, A., van der Zee, S. E. A. T. M., Boukari, M., & Mama, D. (2018). Development of a conceptual groundwater flow model using a combined hydrogeological, hydrochemical and isotopic approach : A case study from southern Benin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 18, 50-67. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.06.002>
- Kresic, N. & Stevanovic, Z. (2010). Hydrology of springs: engineering and sustainability. *Acta Carsologica*, 39 (2), 573 p
- Locas A., (2005). Évaluation de la qualité microbiologique des eaux souterraines utilisées comme source d'eau potable. Thèse université de Québec. Institut Nationale de la Recherche Scientifique, thèse de Doctorat en biologie 146p.
- Meheust Y., *Écoulement dans les fractures ouvertes*. Hydrologie. Université Sud- Paris Thèse Univ. Sud- Paris. 361p. 2002
- Meinzer, O.E., (1923). *Eau souterraine aux États-Unis avec discussion des principes*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 489, Washington
- Meinzer, O. E. (1928). Compressibility and elasticity of artesian aquifers. *Economic Geology*, 23(3), 263-291. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.23.3.263>
- Monciardini C., Tchota K., Slansky M., Podevin G. Marteau P., Le Nidre Y., Farjanel G., Chateaneuf J.J., Castaing C., Carbonel G., Blondeau A. & Andreiff P. Synthèse géologique du bassin côtier Crétacé Supérieur – Tertiaire du Togo – Recherche de tourbe, lignite, charbon et autres substances industrielles » Rapport BRGM 86 TGO. 1986
- Claude Cosandey et Mark Robinson. *Hydrologie continentale*, Éditions Armand COLIN, collection U, 2ème édition, 448 p. *Physio-Géo*, Volume 7, 2012. 7-13. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.3415>
- Oyédé, L.M., Tossou, M.G., Kaki, C., Laibi, R .A. & Lang, J . (2006). Phénomènes enregistrables, milieu enregistreur et messages enregistrés : application aux séquences biosédimentaires du quaternaire récent dans le géosystème margino -littoral béninois (Afrique de l'Ouest). *Africa Géoscience Review*, 13 (3), 395-408.
- PNE-Bénin (2015). Amélioration de la connaissance sur le phénomène de l'artésianisme dans le Mono et Couffo, Rapport de mission, 8 p.
- Shiklomanov and J. C. Rodda - *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*, Cambridge University Press, 2003.

- Sethi et Di Molfette (2019). Groundwater engineering a technical approach to hydrogeology, contaminant transport and groundwater remediation. DOI:10.1007/978-3-030-20516-4.
- Slanky M. Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. Thèse Univ. Nancy, Mém. BRGM n°11, 270p. 1962.
- Sylvain J.P., Aregba A., Assih-Edeou P., Castaing C., Chevremont J., Collart J., Monciardini C., Marteau P., Ouasane I. & Tchota Notice explicative de la carte géologique à 1/200000. Feuille de Lomé. Mémoire n° 5 DGMG/BNRM.



ANNEXE

Tableau 1 : Précipitations mensuelles Tabligbo 1990- 2020. (source : Météo Togo )

ANNEES		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
<b>1990</b>	HAUTE UR	0,0	25,7	96,3	135,0	142,6	125,2	80,4	33,8	83,4	96,5	91,7	194,1	<b>1104,7</b>
	NB/JOURS	0	2	2	6	10	15	8	5	15	11	11	6	<b>91</b>
<b>1991</b>	HAUTE UR	0,0	18,1	69,1	231,9	107,5	98,9	105,2	21,9	89,5	156,4	7,2	0,0	<b>905,7</b>
	NB/JOURS	0	6	6	10	14	15	15	12	13	12	4	0	<b>107</b>
<b>1992</b>	HAUTE UR	0,0	0,0	26,9	100,8	219,8	44,8	18,6	2,2	184,7	53,8	48,1	6,4	<b>706,1</b>
	NB/JOURS	0	0	3	8	11	7	5	1	17	9	6	2	<b>69</b>
<b>1993</b>	HAUTE UR	0,0	39,0	116,8	95,4	52,1	168,7	54,7	23,2	188,8	194,5	66,9	2,9	<b>1003,0</b>
	NB/JOURS	0	4	7	8	9	15	7	11	12	10	6	3	<b>92</b>
<b>1994</b>	HAUTE UR	9,8	73,0	50,5	89,6	168,7	171,8	121,7	11,9	64,9	168,6	62,6	0,0	<b>993,1</b>
	NB/JOURS	2	4	5	12	12	10	6	6	10	15	7	0	<b>89</b>
<b>1995</b>	HAUTE UR	0,0	29,1	309,6	172,5	174,5	210,1	32,7	44,2	95,6	175,4	33,7	4,4	<b>1281,8</b>
	NB/JOURS	0	4	12	8	10	19	11	14	10	16	3	3	<b>110</b>
<b>1996</b>	HAUTE UR	0,8	121,5	139,4	181,2	136,9	189,0	133,2	107,8	13,0	201,8	0,0	2,4	<b>1227,0</b>
	NB/JOURS	1	7	12	9	10	15	11	16	4	11	0	1	<b>97</b>
<b>1997</b>	HAUTE UR	5,3	0,0	104,6	73,5	115,9	240,4	76,3	25,3	11,4	148,5	73,5	29,8	<b>904,5</b>
	NB/JOURS	3	0	9	11	14	20	10	7	6	13	9	3	<b>105</b>
<b>1998</b>	HAUTE UR	20,0	42,2	2,6	24,3	236,0	176,1	74,4	68,4	87,4	144,8	53,1	2,1	<b>931,4</b>
	NB/JOURS	1	2	3	3	9	14	11	8	11	15	6	2	<b>85</b>
<b>1999</b>	HAUTE UR	34,7	29,1	169,8	100,5	129,8	173,3	162,3	143,8	139,9	229,7	28,6	0,0	<b>1341,5</b>
	NB/JOURS	4	3	9	9	11	15	15	10	9	18	8	0	<b>111</b>
<b>2000</b>	HAUTE UR	7,1	11,5	62,0	40,7	109,4	86,2	86,7	90,1	87,9	120,8	16,4	0,0	<b>718,8</b>

Caractérisation de l'artésianisme dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino- Togolais

	NB/JOUR	1	1	2	8	10	10	8	9	9	12	5	0	<b>75</b>
<b>2001</b>	HAUTE UR	2,1	1,0	36,4	177,0	155,7	231,8	54,4	4,2	110,4	84,5	41,0	0,0	<b>898,5</b>
	NB/JOUR	1	1	8	10	10	13	10	6	14	11	4	0	<b>88</b>
<b>2002</b>	HAUTE UR	2,8	10,7	79,5	143,7	111,6	195,7	170,7	29,6	53,9	313,3	64,9	0,8	<b>1177,2</b>
	NB/JOUR	1	3	8	9	12	12	14	11	6	16	6	1	<b>99</b>
<b>2003</b>	HAUTE UR	32,3	23,2	31,6	231,9	66,1	288,9	42,7	23,3	83,1	67,3	83,4	19,4	<b>993,2</b>
	NB/JOUR	4	3	4	11	3	14	7	3	9	9	7	4	<b>78</b>
<b>2004</b>	HAUTE UR	17,2	23,1	189,0	112,5	200,5	113,2	183,5	51,9	204,7	109,4	15,0	0,0	<b>1220,0</b>
	NB/JOUR	5	2	7	7	15	9	10	9	16	11	2	0	<b>93</b>
<b>2005</b>	HAUTE UR	0,0	9,6	101,3	77,0	108,7	85,4	97,4	20,1	139,4	142,3	30,3	10,2	<b>821,7</b>
	NB/JOUR	0	3	8	7	9	6	7	3	12	11	3	3	<b>72,0</b>
<b>2006</b>	HAUTE UR	0,0	9,2	123,8	84,9	220,9	174,0	71,9	48,9	134,7	189,0	29,6	0,6	<b>1087,5</b>
	NB/JOUR	0	3	11	7	13	11	6	6	13	16	3	1	<b>90</b>
<b>2007</b>	HAUTE UR	0	3,7	93,3	76,4	247,4	88,147	78,3	108,1	92,6	74,1	7,4,3		<b>1013,9</b>
	NB/JOUR	0	3	7	5	14	13	14	16	18	18	10	2	<b>120</b>
<b>2008</b>	HAUTE UR	12,2	0,0	49,9	117,1	194,3	202,1	209,7	70,4	80,4	161,4	18,6	28,5	<b>1144,6</b>
	NB/JOUR	2	0	6	7	15	18	15	10	11	15	3	2	<b>104</b>
<b>2009</b>	HAUTE UR	0,0	32,0	91,0	111,5	142,9	255,0	112,3	67,7	86,9	69,6	15,3	23,0	<b>1007,2</b>
	NB/JOUR	0	3	5	7	8	15	12	8	9	9	3	1	<b>80</b>
<b>2010</b>	HAUTE UR	17,4	96,7	116,2	151,6	139,8	152,8	25,4	86,8	191,5	150,2	161,4	20,6	1310,4
	NB/JOUR	2	3	8	7	12	13	5	15	15	15	10	1	106
<b>2011</b>	HAUTE UR	0	34,2	59	130,8	172,7	196,9	132,8	14	123	213,7	88,9	0	1166
	NB/JOUR	0	3	6	7	10	14	7	8	13	22	6	0	96
<b>2012</b>	HAUTE UR	0,0	27	37,8	49,1	154,4	194,5	61,5	114,1	112,3	124,8	26,4	23,9	925,8

Caractérisation de l'artésianisme dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino- Togolais

	NB/JOUR	0	3	3	4	9	12		7	13	17	7	3	78
<b>2013</b>	HAUTE UR	0,0	0,0	140,6	139,7	105,6	101,8	105,6	37,5	43,7	139,1	44,7	15,4	873,7
	NB/JOUR	0	0	10	11	14	11	11	4	9	18	7	3	98
<b>2014</b>	HAUTE UR	7,0	22,8	142,1	98,1	159,3	102,2	79,7	128,2	215,9	65,7	64,1	0,0	1085,1
	NB/JOUR	1	3	10	12	13	10	6	13	14	7	10	0	99
<b>2015</b>	HAUTE UR	0,0	39,4	147,1	65,3	102,6	140,6	65,1	48,4	41,6	188,1	33,9	21,4	893,5
	NB/JOUR	0	5	9	4	9	11	6	7	12	17	6	1	87
<b>2016</b>	HAUTE UR	0,0	1,2	109,6	131,4	91,0	153,0	110,3	28,0	199,4	190,4	60,3	0,7	1075,3
	NB/JOUR	0	2	8	6	7	11	12	6	14	12	3	1	82,0
<b>2017</b>	HAUTE UR	0,0	18,1	72,8	202,9	112,1	264,5	225,8	68,0	151,7	13,7	113,7	23,3	1266,6
	NB/JOUR	0	4	6	9	13	17	7	7	11	10	8	2	94
<b>2018</b>	HAUTE UR	0,0	19,9	51,1	77,1	93,8	146,6	56,5	24,4	218,8	210,5	17,8	0,0	916,5
	NB/JOUR	0	3	5	4	9	17	9	7	14	12	5	0	85
<b>2019</b>	HAUTE UR	16,5	51,7	158,3	68,5	244,5	186,8	176,8	24,9	217,2	197,5	66,7	18,8	1428,2
	NB/JOUR	2	2	7	8	13	9	13	5	14	20	12	3	108
<b>2020</b>	HAUTE UR	0,0	0,0	81,1	125,3	224,4	103,3	37,3	0,9	141,1	168,3	27,3	52,7	961,7
	NB/JOUR	0	0	5	7	10	13	8	2	14	15	4	4	82

Tableau 2 : Température moyenne mensuelle 190-2020 station de Tabligbo (source météo )

Année/ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total général
1990	28,5 2	29,2 5	30,9 3	29,0 6	28,0 5	27,5 9	25,9 1	26,2 2	26,5 9	27,4 6	28,2 1	27,5 6	27,94
1991	27,9 0	29,6 8	29,7 9	28,1 4	28,0 4	27,5 5	26,2 8	25,6 4	26,6 2	26,6 7	28,1 3	27,4 4	27,64
1992	26,7 6	29,7 3	30,0 5	29,2 2	28,2 4	26,8 1	26,0 5	25,7 9	26,4 7	27,4 2	27,3 2	28,2 6	27,67
1993	27,3 7	29,6 0	28,6 4	28,9 8	28,1 8	27,2 0	26,0 5	26,1 7	27,0 0	27,8 8	28,1 5	27,7 9	27,74
1994	27,6 0	29,4 1	29,3 7	28,9 5	27,9 9	26,8 4	26,1 7	26,1 2	26,9 1	26,9 7	27,7 8	26,8 3	27,56
1995	28,0 9	29,7 1	28,5 5	29,2 3	28,4 7	27,2 0	26,5 0	26,5 2	27,1 0	27,3 0	28,1 4	28,0 4	27,89
1996	28,8 9	29,6 1	29,2 6	28,7 2	28,0 0	26,9 9	26,3 7	25,5 7	26,4 4	27,2 2	28,4 0	28,7 3	27,84
1997	28,8 2	29,3 7	29,2 1	28,6 8	27,7 8	26,6 8	26,0 9	26,0 5	27,3 3	27,7 0	28,4 2	28,1 5	27,85
1998	27,6 2	30,3 9	31,5 2	31,2 2	28,9 7	27,7 3	26,9 4	26,2 2	27,2 1	27,6 1	28,7 9	28,2 0	28,52
1999	28,5 0	29,0 4	29,0 8	26,7 6	26,1 9	27,1 7	26,5 3	26,1 6	26,1 1	26,6 5	28,0 6	28,1 3	27,35
2000	28,6 3	28,4 4	30,4 0	29,0 1	28,6 7	27,2 6	26,4 3	25,9 7	27,0 3	27,5 4	28,6 3	28,7 5	28,06
2001	29,1 5	30,2 6	29,9 6	28,9 8	28,5 1	27,0 1	26,4 4	25,9 2	26,5 9	27,8 2	28,6 4	29,4 5	28,21
2002	28,3 4	30,2 5	30,2 3	29,2 5	28,9 2	27,2 1	26,9 6	26,2 1	26,9 0	27,4 5	28,4 3	28,0 3	28,17
2003	28,5 0	30,3 5	30,3 9	28,7 1	28,9 5	27,2 4	26,8 2	26,8 0	27,3 8	28,1 8	28,4 2	28,3 6	28,33
2004	29,0 7	29,7 2	29,7 3	28,7 6	27,8 4	26,8 4	26,3 5	26,3 2	26,6 5	27,2 1	28,2 3	29,2 4	27,99
2005	27,4 2	30,7 5	29,6 7	29,6 7	28,3 0	27,5 9	26,4 8	26,0 6	27,4 5	27,5 8	28,8 7	29,1 9	28,23
2006	29,7 9	30,5 7	29,2 5	29,9 1	28,0 5	27,7 4	26,9 0	25,8 9	26,7 0	27,5 9	28,6 3	28,8 2	28,30
2007	27,2 2	30,3 0	30,0 5	29,3 9	28,6 1	26,8 5	26,5 2	26,0 9	26,9 6	27,1 8	28,1 9	28,4 1	27,96
2008	26,1 1	29,8 5	29,6 7	28,8 6	28,0 3	26,8 8	26,4 8	26,2 5	26,9 0	27,8 6	24,7 7	28,8 7	27,54
2009	28,6 0	30,0 0	29,6 6	28,9 2	28,5 9	27,0 9	26,2 7	26,0 3	26,8 2	27,5 3	28,3 0	29,5 1	28,10
2010	29,6 2	30,5 4	30,0 8	30,2 0	28,9 3	28,1 0	27,0 3	26,9 7	27,1 6	28,0 8	29,1 4	29,0 3	28,72
2011	28,1 1	29,7 7	30,7 1	29,9 3	28,6 4	27,6 6	26,7 1	26,1 3	27,5 7	27,7 7	28,8 3	28,3 2	28,33
2012	28,6 3	29,9 1	30,3 9	30,3 2	29,0 2	27,5 9	26,9 9	26,3 4	27,5 4	27,9 0	28,9 1	28,9 4	28,53
2013	29,1 6	30,5 5	30,5 5	29,7 7	28,6 5	27,7 6	27,0 4	26,4 4	27,4 9	27,9 0	28,6 8	28,9 2	28,56
2014	29,6 6	29,8 4	29,5 0	29,1 4	28,7 6	27,6 7	26,6 7	25,7 7	26,9 9	27,8 6	28,5 8	29,0 8	28,28
2015	29,9 2	30,4 0	29,8 6	29,9 4	29,5 9	27,7 0	31,6 5	27,0 7	27,8 5	28,6 0	34,4 7	27,5 9	29,54

## Caractérisation de l'artésianisme dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino- Togolais

2016	29,2 3	31,0 4	34,3 1	33,8 6	29,7 1	27,4 5	30,7 3	26,9 9	27,5 9	28,3 8	29,6 7	29,5 1	29,87
2017	29,6 4	30,5 4	30,6 4	29,7 1	29,1 3	28,2 7	27,0 2	26,1 9	27,0 8	28,2 9	28,4 8	28,6 0	28,62
2018	28,6 0	30,5 5	29,8 7	29,5 3	28,5 5	27,6 2	27,2 7	26,8 6	27,6 9	27,9 1	28,9 7	28,9 8	28,52
2019	29,9 8	30,7 4	29,9 4	30,0 3	28,7 2	27,8 6	27,1 8	27,2 3	27,3 6	27,1 7	28,6 7	29,2 0	28,66
2020	28,7 7	30,7 6	30,8 2	29,8 2	28,9 6	27,6 6	26,6 5	26,8 6	27,0 6	27,7 6	29,1 9	29,2 8	28,62

Tableau 3 : Niveau piézométrique mensuelle (source : DRE Togo)

<b>Préfecture</b>	<b>Yoto</b>
<b>canton</b>	<b>Sika kondji</b>
<b>village</b>	<b>Sika kondji</b>
<b>lieu-dit</b>	<b>EPP Sika kondji</b>
<b>Longitude X (m)</b>	<b>343908,614</b>
<b>latitude Y (m)</b>	<b>733610,039</b>
<b>Altitude/repère (m)</b>	<b>23,74</b>
<b>Aquifère capté</b>	<b>Maestrichtien</b>
<b>profondeur</b>	<b>131</b>
<b>date</b>	<b>niveau piézo (m)</b>
06/01/2016 00:00	1,29
02/02/2016 00:00	1,26
02/03/2016 00:00	1,35
05/04/2016 00:00	1,28
03/05/2016 00:00	1,4
03/06/2016 00:00	1,2
01/07/2016 00:00	1,19
02/08/2016 00:00	0,97
01/09/2016 00:00	0,88
03/10/2016 00:00	0,61
02/11/2016 00:00	0,84
02/12/2016 12:00	0,94
05/01/2017 12:00	1,19
02/02/2017 12:00	1,33
01/03/2017 12:00	1,06
04/04/2017 00:00	1,15
09/05/2017 00:00	0,85
02/06/2017 00:00	0,96
04/07/2017 00:00	0,74
04/08/2017 00:00	0,88
08/09/2017 00:00	0,61
02/10/2017 00:00	0,8
02/11/2017 00:00	0,8
06/12/2017 00:00	0,91
04/01/2018 00:00	0,82
06/02/2018 00:00	0,88
06/03/2018 00:00	1,1
09/04/2018 00:00	1,23
03/05/2018 00:00	1,35
04/06/2018 00:00	1,36
03/07/2018 00:00	1,01
06/08/2018 00:00	0,99

04/09/2018 00:00	0,89
03/10/2018 00:00	0,79
06/11/2018 00:00	1,21
05/12/2018 00:00	1,11
05/01/2019 00:00	1,06
05/02/2019 00:00	0,93
05/03/2019 00:00	1,01
04/04/2019 00:00	0,93
03/05/2019 00:00	0,93
04/06/2019 00:00	0,98
04/07/2019 00:00	0,61
06/08/2019 00:00	0,56
06/09/2019 00:00	0,64
02/10/2019 00:00	0,39
05/11/2019 00:00	0,25
04/12/2109 00:00	0,68
07/01/2020 00:00	0,78
04/02/2020 00:00	1,29
04/03/2020 00:00	0,79
03/06/2020 00:00	0,54
06/07/2020 00:00	0,63
11/08/2020 00:00	0,56
03/09/2020 00:00	0,76
05/10/2020 00:00	0,69
04/11/2020 00:00	0,68
09/12/2020 00:00	0,69
06/01/2021 00:00	0,93
03/03/2021 00:00	0,93
02/04/2021 00:00	0,57
05/05/2021 00:00	0,85
02/06/2021 00:00	1,15
07/07/2021 00:00	0,66
06/08/2021 00:00	0,85
02/09/2021 00:00	0,49
06/10/2021 00:00	0,69

Tableau 4 : Coordonnées des forages artésiens et leurs débits mesurés

ID	yCoord	xCoord	q(m3/h)	Type	Departement	Commune	Arrondissement	Village
RB	6,984917	2,462222	8,4476534 3	Artésien	ZOU	OUIHI	DASSO	YAAGO
RB	7,165833	2,502222	24,849557 5	Artésien	ZOU	OUIHI	SAGON	AHIZE
RB	7,070583	2,5055	1,7979254 7	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	AHICON
RB	7,075639	2,506028	0,9937712 3	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	AHICON
RB	7,103305	2,536611	0,8603995 6	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	AKANTE ZALOKO
RB	7,072556	2,207056	2,3724231 2	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	AVLAME	AVLAME
RB	7,074139	2,213028	2,7432590 9	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	AVLAME	AVLAME
RB	7,057194	2,309583	5,8402662 2	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	DOME	AGOITA
RB	7,003833	2,384583	19,886685 6	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KPOKISS A	KPOKISSA
RB	7,094555	2,157278	3,1536388 1	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	AVLAME	KOTOKPA
RB	7,116917	2,4585	24,502617 8	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	OUIHI AHLAN
RB	7,095445	2,462111	5,2861445 8	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	OUIHI ZOUNGOME
RB	7,167917	2,498722	6,1363636 4	Artésien	ZOU	OUIHI	SAGON	AHIZE
RB	7,162778	2,500472	6,3731275 5	Artésien	ZOU	OUIHI	SAGON	AHIZE
RB	7,164889	2,501278	10,725744 8	Artésien	ZOU	OUIHI	SAGON	AHIZE
RB	7,084722	2,508472	7,1160669	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	HOLLI
RB	7,073861	2,509194	6,8722467	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	HOLLI
RB	7,100611	2,520944	32,201834 9	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	AKANTE ZALOKO
RB	7,073722	2,5255	4,8598130 8	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	MONZOUNGOU DO
RB	7,061111	2,168056	6,9299111 5	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	ZOUKOU	BOGNONGON
RB	7,068305	2,176111	3,0297798 9	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	ZOUKOU	HLANHONOU
RB	7,068278	2,176139	3,5038682 3	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	ZOUKOU	HLANHONOU
RB	7,07675	2,215333	5,0906454	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	AVLAME	AVLAME
RB	7,0715	2,215861	4,0589765 8	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KOUSSOU KPA	SAMIONTA
RB	6,992972	2,216139	2,0201438 8	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	MASSI	HLAGBA ZAKPO
RB	7,031944	2,222833	0,8825748 1	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	MASSI	HLAGBA- DENOU
RB	7,094111	2,232445	6,0231660 2	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	AVLAME	SAMIONKPA
RB	7,090222	2,235417	6,0231660 2	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KOUSSOU KPA	SAMIONTA



Caractérisation de l'artésianisme dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino- Togolais

RB	7,016722	2,257195	1,3078714 5	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	MASSI	HLAGBAWASS A
RB	7,079195	2,262694	0,8755846 6	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KOUSSOU KPA	SAMIONTA
RB	7,061139	2,266	1,5204678 4	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KOUSSOU KPA	KOUSSOUKPA
RB	7,059916	2,271833	2,2590506 8	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KOUSSOU KPA	KOUSSOUKPA
RB	7,0827109 2	2,2177738 4	1,8478547	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	AVLAME	AVLAME
RB	7,0827109 2	2,2177738 4	1,7142857 1	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	AVLAME	AVLAME
RB	7,0318151 3	2,3167797 7	7,3700787 4	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	DOME	AGOITA
RB	6,9983703 3	2,3999368 9	25,026738	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KPOKISS A	Gangbin
RB	7,0566743 1	2,2478953 3	0,975881	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KOUSSOU KPA	DEME
RB	7,0578781 9	2,2484366 3	1,5996354 1	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	KOUSSOU KPA	DEME
RB	7,0515883 9	2,2027332 5	3,3333333 3	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	ZOUKOU	DOHOIN
RB	7,0527971 5	2,2008117 4	3,5898747 1	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	ZOUKOU	DOHOIN
RB	6,9659188 6	2,2561880 1	9,6230294 7	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	MASSI	YOVOTONOU
RB	6,9806379 9	2,2992013 7	2,5102807 1	Artésien	ZOU	ZOGBODOMEY	MASSI	HON
RB	6,887333	1,961583	3,6120401 3	Artésien	COUFFO	LALO	ADOUKA NDJI	ADOUKANDJI
RB	6,883667	1,966194	1,4961636 8	Artésien	COUFFO	LALO	ADOUKA NDJI	ADOUKANDJI
RB	6,892556	1,986389	6,0205831 9	Artésien	COUFFO	LALO	ADOUKA NDJI	AHOuada
RB	6,899722	1,990333	3,5652615 5	Artésien	COUFFO	LALO	ADOUKA NDJI	AHOuada
RB	6,892806	2,001583	3,1423455 7	Artésien	COUFFO	LALO	ADOUKA NDJI	AHOuada
RB	6,909611	2,003556	7,3855865 3	Artésien	COUFFO	LALO	ADOUKA NDJI	AHOuada
RB	6,862916	2,014472	24,332755 6	Artésien	COUFFO	LALO	AHOMAD EGBE	HAGNONHOUE
RB	6,891056	2,021	21,500765 7	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	ZOUNHOMEY
RB	6,907833	2,021472	8,1722933 6	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	ZOUNHOMEY
RB	6,905889	2,034	3,4649555 8	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	OUIFA
RB	6,9217601 1	2,0481676 7	1,2541313 1	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	TCHITO CENTRE
RB	6,8392504 1	2,0465854 3	25,480943 7	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	TCHITO CENTRE
RB	6,9231106 6	2,0496040 9	3,0608240 7	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	TCHITO CENTRE
RB	6,9168052 1	2,0489831 3	0,5436803	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	TCHITO CENTRE
RB	6,9111156 6	2,0219868 3	57,730263 2	Artésien	COUFFO	LALO	TCHITO	ZOUNHOMEY

Caractérisation de l'artésianisme dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino- Togolais

RB	6,90258	1,9927890 5	0,638443	Artésien	COUFFO	LALO	ADOUKA NDJI	AHOUDA
RB	6,8708555 9	2,0121776 7	45,688252 5	Artésien	COUFFO	LALO	AHOMAD EGBE	TOWETA
RB	7,212139	2,5095	14,355828 2	Artésien	PLATEA U	ADJA-OUERE	MASSE	OKE OLA
RB	7,195305	2,515445	13,487031 7	Artésien	PLATEA U	ADJA-OUERE	MASSE	OKE OLA
RB	7,2235	2,525389	5,1808118 1	Artésien	PLATEA U	ADJA-OUERE	MASSE	ABADAGO
RB	7,10575	2,55325	3,2298136 6	Artésien	PLATEA U	ADJA-OUERE	ADJA- OUERE	HOUELI GABA
RB	6,894694	2,453278	0,9226523	Artésien	OUEME	BONOU	BONOU	ATCHABITA
RB	6,927722	2,441556	1,7105263 2	Artésien	OUEME	BONOU	DAME- WOGON	ASSROSSA
RB	6,9305273 6	2,4430653 9	1,5743440 2	Artésien	OUEME	BONOU	DAME- WOGON	ASSROSSA
RB	6,9108322 1	2,4483203 3	1,9248697 6	Artésien	OUEME	BONOU	AHITONO U	AHITONOU
RB	7,0287498 6	2,4796449 2	8,5766646 3	Artésien	ZOU	OUIHI	OUIHI	ZOUNGUE
RB	6,644694	1,981639	2,16	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	AGBODJI
RB	6,645375	1,953731	5,184	Artésien	MONO	BOPA	LOBOGO	ADJAME
RB	6,603661	1,975386	6,912	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	AGONSA
RB	6,663445	1,986	0	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	HOUEGBO
RB	6,731056	1,860861	2,7	Artésien	MONO	BOPA	GBAKPO DJI	KPLATOE
RB	6,709311	1,837378	1,2	Artésien	MONO	BOPA	GBAKPO DJI	KPLATOE
RB	6,6885	1,986972	0	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	MEDETOGBO
RB	6,618505	1,969372	1,98	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	TOHONOU
RB	6,729139	1,972639	0,972	Artésien	MONO	BOPA	BADAZO UI	ZOUNGBO
RB	6,594797	1,968858	0,576	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	BOPA GBEDJI
RB	6,634056	1,973639	0	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	HOUEGBO
RB	6,634056	1,973639	0	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	HOUEGBO
RB	6,6345	1,973944	0	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	HOUEGBO
RB	6,632889	1,976278	4,14	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	HOUEGBO
RB	6,7145	1,994417	1,404	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	ZIZAGUE
RB	6,63075	1,959722	1,55	Artésien	MONO	BOPA	LOBOGO	DJOFOUN
RB	6,704667	1,976889	0,252	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	MEDETOGBO
RB	6,60825	1,974806	1,84	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	TOHONOU
RB	6,613364	1,972064	1,98	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	TOHONOU
RB	6,731056	1,860861	2,7	Artésien	MONO	BOPA	GBAKPO DJI	KPLATOE
RB	6,645417	1,95375	6,912	Artésien	MONO	BOPA	LOBOGO	ADJAME
RB	6,63075	1,959722	1,55	Artésien	MONO	BOPA	LOBOGO	DJOFOUN
RB	6,618417	1,969417	1,98	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	TOHONOU
RB	6,613361	1,972167	1,84	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	TOHONOU
RB	6,60825	1,974806	4,14	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	TOHONOU
RB	6,603694	1,975389	1,98	Artésien	MONO	BOPA	BOPA	AGONSA

Caractérisation de l'artésianisme dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino- Togolais

RB	6,704667	1,976889	0,252	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	MEDETOGBO
RB	6,644694	1,981583	2,16	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	AGBODJI
RB	6,6885	1,986972	1,404	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	MEDETOGBO
RB	6,725639	2,019222	0,972	Artésien	MONO	BOPA	AGBODJI	DJIDJOZOUN
RB	6,735972	1,677083	2,8249497	Artésien	COUFFO	DOGBO	DEVE	AGNAVO
RB	6,732833	1,687222	2,7785474	Artésien	COUFFO	DOGBO	DEVE	AGNAVO
RB	6,736861	1,688972	7,5402792 7	Artésien	COUFFO	DOGBO	DEVE	AGNAVO
RB	6,778806	1,728472	7,5402792 7	Artésien	COUFFO	DOGBO	AYOMI	TOKPOTA
RB	6,7755	1,729167	7,4050632 9	Artésien	COUFFO	DOGBO	AYOMI	TOKPOTA
RB	6,797417	1,746278	1,1851101 5	Artésien	COUFFO	DOGBO	TOTA	AHOMEY
RB	6,821389	1,768111	2,2285714 3	Artésien	COUFFO	DOGBO	TOTA	DEKANDJI
RB	6,824889	1,769722	10,369276 2	Artésien	COUFFO	DOGBO	TOTA	KPODAVE
RB	6,660167	1,627639	0,9670087 5	Artésien	MONO	ATHIEME	ADOHOUN	SEVOTINO
RB	6,731056	1,860861	7,3163105 8	Artésien	MONO	BOPA	GBAKPO DJI	KPLATOE
RB	6,656694	1,825861	2,9770992 4	Artésien	MONO	HOUYOGBE	DOUTOU	TOKPA
RB	6,711639	1,679972	12,975970 4	Artésien	MONO	LOKOSSA	OUEDEME	TOTINGA
RB	6,65975	1,738889	7,0235117 6	Artésien	MONO	LOKOSSA	LOKOSSA	AGNIVEDJI
RB	6,716556	1,695667	6,9196648 6	Artésien	MONO	LOKOSSA	OUEDEME	MEDEHOUNTA
RB	6,6739621 4	1,6736488 4	6,9196648 6	Artésien	MONO	LOKOSSA	OUEDEME	MEDHOUNTA
RB	6,6601803 7	1,6276109 6	7,0235117 6	Artésien	MONO	LOKOSSA	LOKOSSA	AGNIVEDJI
RB	6,6671870 7	1,6498151	7,2445820 4	Artésien	MONO	ATHIEME	ATCHAN NOU	ALLOUNKOUI
RB	6,5466366 5	1,7590928 9	1,4969613	Artésien	MONO	ATHIEME	ATCHAN NOU	ALOMESSA
RB	6,5208083	1,767069	3,7350359 1	Artésien	COUFFO	DJAKOTOMEY	GOHOME Y	HANGOUMEY
RB	6,4813906 6	1,7806016 5	4,0137221 3	Artésien	MONO	LOKOSSA	KOUDO	AGNITO
RB	6,6102413 4	1,754648	1,1851101 5	Artésien	COUFFO	DOGBO	TOTA	DOGBO- AHOME
RB	6,5699188 5	1,7675544 5	2,8249497	Artésien	COUFFO	DOGBO	DEVE	AGNAVO
RB	6,6726892 5	1,8280592 8	12,975970 4	Artésien	MONO	LOKOSA	OUEDEME	TOTINGA
RB	6,5315002 7	1,7531347 4	3,7044854 9	Artésien	MONO	LOKOSA	OUEDEME	DEKPOE
RB	6,5055927 7	1,7546274 6	7,3163105 8	Artésien	MONO	BOPA	GBAKPO DJI	KPLATOUE
RB	6,6945451 6	1,8301783 2	2,2285714 3	Artésien	COUFFO	DOGBO	TOTA	DEKANDJI
RB	6,4577827 6	1,8023404 3	3,5082458 8	Artésien	COUFFO	DOGBO	AYOMI	GBANAVI

Caractérisation de l'artésianisme dans le Bassin Sédimentaire Côtier Bénino- Togolais

RB	6,5224892 3	1,7555081 6	0,5464098 1	Artésien	COUFFO	APLAHOUE	LONKLY	ABOULOUME
RB	6,5987177 4	1,7504260 5	7,4050632 9	Artésien	COUFFO	DOGBO	AYOMI	TOKPOTA
RB	6,7093584 9	1,8373168 6	0,9405774 8	Artésien	COUFFO	DOGBO	AYOMI	HOUEGLE
RB	6,6920563 6	1,6528676 2	0,9670087 5	Artésien	MONO	ATHIEME	ADOHOU N	SEVOTINOUE
RB	6,6884925 6	1,6427736 1	7,5402792 7	Artésien	COUFFO	DOGBO	DEVE	AGNAVO
RB	6,8075397 1	1,7596931 6	2,7785474	Artésien	COUFFO	DOGBO	DEVE	AGNAVO
RB	6,7974755 1	1,7463191 2	6,5332712 9	Artésien	COUFFO	DOGBO	DEVE	KPOUJI
RB	6,8035944 1	1,7448374 9	1,4968017 1	Artésien	COUFFO	DOGBO	AYOMI	
RB	6,7755173 9	1,7291225 7	0,7132696 6	Artésien	MONO	ATHIEME	ADOHOU N	AGBOGBOME
RB	6,8357937 1	1,7705330 8	10,369276 2	Artésien	COUFFO	DOGBO	TOTA	TETEHOUE
RB	6,7229027 3	1,6688668 9	2,9770992 4	Artésien	MONO	HOUHEYOGBE	DOUTOU	TOKPA
RB	6,7188733	1,6904981	2,0574443 1	Artésien	MONO	ATHIEME	ADOHOU N	DONON
RB	6,5018094 4	1,7534431 7	7,1669219	Artésien	COUFFO	DOGBO	TOTA	YOGOHOUE
RB	6,4830374 8	1,7922711 9	4,2493946 7	Artésien	MONO	LOKOSSA	OUEDEM E	HLODO
RB	6,4619276 7	1,7958024 6		Artésien	MONO	HOUHEYOGBE	DOUTOU	TOKPA
TG	6,6343	1,6015	3,17	Artésien	Maritime	Yoto	Yoto 3	Tokpli
TG	6,3941981	1,7000769	2,57	Artésien	Maritime	Lacs	Lacs2	Aklakou
TG	6,3937445	1,7018681	0,39	Artésien	Maritime	Lacs	Lacs2	Aklakou
TG	6,3911071	1,7092504	3,5	Artésien	Maritime	Lacs	Lacs2	Aklakou
TG	6,3686453	1,7416578	5,34	Artésien	Maritime	Lacs	Lacs2	Aklakou