UNIVERSITE D'ABOMEY CALAVI

= = = = = = = = =

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

= = = = = = =

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

HOUNSOUNOU Priscilla Armande Modukpè

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : GEOHYDROLOGIE

ACTUALISATION DES CONNAISSANCES HYDROGEOLOGIQUES ET HYDROCHIMIQUES DE L'AQUIFERE CAPTE DANS LA COMMUNE DE KPOMASSE

==========

MAÎTRE DE MÉMOIRE :

Dr SAMBIENOU Wèré Gédéon

Hydrogéologue au LHA/INE/UAC

PROMOTION : 2022-2023

DEDICACE

A mes parents Benjamin HOUNSOUNOU et Edith AHANHANZO-GLELE,

En témoignage à l'amour et à l'affection qui nous lient

REMERCIEMENTS

La réussite du présent travail ne serait possible sans l'apport d'un certain nombre de personnes à qui je tiens à montrer toute ma reconnaissance. J'adresse mes sincères remerciements à :

- Professeur Daouda MAMA, Directeur de l'Institut National de l'Eau (INE), pour nous avoir permis l'insertion dans son établissement ;
- Docteur DOVONOU Flavien**,** le chef du département d'Hydrologie et Gestion des Ressource en Eau (HGRE), pour son amour et sa lutte pour nous assurer une formation de qualité ;
- Docteur SAMBIENOU Wèré Gédéon, mon maitre mémoire, pour son encadrement et sa disponibilité à suivre de loin et de près ce travail ;
- Au technicien BOURE Mouhamed pour sa disponibilité pour les analyses au laboratoire ;
- tous les responsables de la Formation Professionnelle en Hydrologie à l'Institut National de l'Eau (INE) ;

- tous les Honorables membres du Jury qui apprécieront ce travail ; merci pour le temps que vous sacrifierez au détriment de vos occupations pour l'analyse et l'amélioration de ce document;

- tous nos camarades étudiants de la promotion 2020-2021 qui ont œuvré au maintien d'une atmosphère de convivialité entre nous, spécialement à ceux de Géohydrologie pour tout leur amour, tous leurs soutiens de natures diverses ;
- nos aînés de la formation Professionnelle en Hydrologie en particulier à Serge DOSSOU, Romaric ZANOU. GANDAHO Espérant et Léogis Ezéchiel DOVONON pour leurs conseils avisés ;
- mon père Benjamin HOUNSOUNOU pour son amour et sa lutte quotidienne pour assurer un avenir meilleur à ses enfants ;
- ma mère Edith AHANHANZO-GLELE pour son amour, sa force à garder la tête haute peu importe les difficultés de la vie ;
- mes frères et sœur HOUNSOUNOU Merveille, Harry, Silas pour leur amour, leurs conseils et leurs motivations ;
- mes chers amis AZONGNIDE Julienne, AMOUZOUN Marin, Donald, pour leur soutien ;

RESUME

Dans la commune de Kpomassè, les eaux souterraines constituent essentiellement l'unique source d'approvisionnement en eau potable. L'objectif de cette étude est d'avoir des connaissances sur l'hydrogéologie et l'hydrochimie de l'aquifère capté dans la commune de Kpomassè et de comprendre le processus à l'origine de la minéralisation afin de contribuer à leur gestion durable. Dix échantillons ont fait l'objet d'une analyse physico-chimique et des puits ont été repérés pour des mesures du niveau statique et piézométrique dans l'objectif de connaitre le sens d'écoulement des eaux souterraines de ladite commune. Les données obtenues pour les analyses ont été traités par la méthode hydrochimique à l'aide du logiciel Diagramme et par la méthode de l'analyse en composantes principales (ACP) utilisant le logiciel R studio. Les résultats issus de ces analyses montrent une faible minéralisation comprise entre 17,2 à 1801 µS/ cm pour une valeur moyenne de 378,83 µS/cm. Par ailleurs les eaux souterraines étudiées sont généralement acides avec un $pH\ moyen$ de 5,80. Elles se classent de par leur anion en deux principaux faciès hydrogéochimiques : celui chloruré calcique (80%) et bicarbonaté calcique (20%). Les résultats de l'analyse statistique multivariée a permis d'identifier trois processus hydrogéochimiques qui participent à la minéralisation des eaux. Le processus de dissolution des roches suivi de l'hydrolyse des minéraux silicatés, puis l'apport anthropogénique qui influence la minéralisation en polluant les eaux.

Mots clés : eaux souterraines, hydrogéologie, hydrochimie, minéralisation, faciès, pollution, anthropogénique, analyse multivariée.

ABSTRACT

In the municipality of Kpomassè, groundwater is essentially the only source of drinking water supply. The aim of this study is to gain knowledge of the hydrogeology and hydrochemistry of the aquifer tapped in the municipality of Kpomassè, and to understand the process of mineralization in order to contribute to its sustainable management. Ten samples were subjected to physicochemical analysis, and wells were identified for static and piezometric level measurements to determine the direction of groundwater flow in the commune. The data obtained for the analyses were processed by the hydrochemical method using Diagramme software and by the Principal Component Analysis (PCA) method using R studio software. The results of these analyses show a low level of mineralization, ranging from 17,2 to 1801 µS/cm, with an average value of 378,83 µS/cm. In addition, the groundwater sampled is generally acidic with a pH of 5,80. It is classified by anions into two main hydrogeochemical facies : calcic chloride (80%) and calcic bicarbonate (20%). Static multivariate analysis identified three hydrogeochemical processes involved in water mineralization. The hydrolysis of silicate minerals, followed by cation exchange, and then anthropogenic inputs influencing mineralization.

Keywords : Groundwater, hydrogeology, hydrochemistry, mineralization, facies, pollution, anthropogenic, multivariate analysis.

Liste des sigles ou abréviation

ACP : Analyse en Composante Principale

AEP : Adduction d'Eau Potable

BSC : Bassin Sédimentaire Côtier

CE : Conductivité Electrique

DGEau : Direction Générale de l'Eau

LHA : Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

NP : Niveau Piézométrique

NS : Niveau Statique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

RGHP : Recensement Général de la population et l'habitat

Liste des tableaux

Tableau 1:Population de la commune de Kpomassè (Résultats définitifs RGPG4,2013) 10

Tableau 2: Evolution de la température moyenne mensuelle de 1991-2021 10

Tableau 3: Evolution de la Température et Humidité relative 11

Tableau 4 : Résultats des paramètres chimiques.....42

Tableau 5 : valeurs propres et pourcentage de variances cumulées.....45

Tableau 6 ; Matrice de corrélation entre les variables 46

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'un puits de surface(www.ggl.ulaval.ca) 6

Figure 2 : Schéma d'un puits artésien(www.ggl.ulaval.ca).....7

Figure 3 : Localisation de la zone d'étude.....9

Figure 4 : Variation des valeurs moyennes mensuelles de la température et de l'humidité relative 11

Figure 5 : Carte hydrographique de la zone d'étude.....12

Figure 6 : Carte Pédologie de la zone d'étude.....13

Figure 7 : Carte Géologie de la zone d'étude.....16

Figure 8 : Carte hydrogéologique de la commune de Kpomassè.....18

Figure 9 : Localisation des traits de coupes (DAKPO, 2019).....19

Figure 10: Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) de la commune de kpomassè suivant le trait de coupe *AB* de direction Nord Nord-Ouest-Sud Sud Est de la figure *9*. (DAKPO, 2019) 21

Figure 11 : Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) suivant le trait de coupe CD de direction Sud-Ouest - Nord Est de la figure 9. (DAKPO, 2019).....23

Figure 12 : Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) suivant le trait de coupe EF de direction Ouest Sud-Ouest - Est Sud Est de la figure 9. (DAKPO, 2019).....25

Figure 13 : Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) suivant le trait de coupe GH de direction Nord-Ouest - Sud Est de la figure 9. (DAKPO,2019) 27

Figure 14 : Carte de localisation des points d'échantillonnage.....31

Figure 15: Carte de profondeur du toit de la nappe de la commune de Kpomassè.....36

Figure 16: Carte piézométrique de la commune de Kpomassè 37

Figure 17 : Valeurs de la température des eaux souterraines.....37

Figure 18 : Variation spatiale de la Température des eaux souterraines de la commune de Kpomassè 38

Figure 19 : Valeurs du potentiel d'Hydrogène des eaux souterraines.....39

Figure 20 : Variation spatiale du pH des eaux souterraines dans la commune de Kpomassè.....39

Figure 21 : Valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines.....40

Figure 22 : Variation spatiale des conductivités électriques des eaux souterraines de la commune de Kpomassè 41

Figure 23: Classification des eaux par le diagramme de piper.....44

Figure 24: Représentation des faciès hydrogéochimiques des eaux souterraines de la commune Kpomassè 45

Figure 25: Analyse de l'ACP dans le plan factoriel F1xF2 47

Figure 26: Analyse de l'espace des individus du factoriel F1xF2 48

SOMMAIRE

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

Liste des sigles ou abréviation vi

Liste des tableaux vii

Liste des figures viii

Introduction Générale 1

CHAPITRE 1 4

1-1 Synthèse bibliographique 4

1-1-1 Généralité sur les aquifères 4

1.1.2. Origine de la minéralisation des eaux souterraines 5

1.2. Présentation de la zone d'étude 8

1.2.1. La démographie et cadre administratif 9

1.2.2. CONTEXTE HYDROCLIMATIQUE 10

1.2.3. HYDROGRAPHIQUE RELIEF, VÉGÉTATION, SOLS 12

1.2.4. CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIE ET GÉOLOGIE 14

1.2.5. CONTEXTE HYDROGEOLOGIE 16

1.2.5.1- Caractérisation géologique et hydrogéologique 19

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES 29

2.1- MATERIEL 29

2.2- METHODOLOGIE DE L'ETUDE 29

2.1.1- Collecte de données 29

2.1.2- Travaux de terrain 30

2.2.1- Traitement des données hydrogéologiques 32

2.2.2- Traitement des données statistiques 33

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION 35

3.1- RESULTATS 35

3.1.1- ETUDE STATIQUE ET PIEZOMETRIQUE 35

3.1.1-1- NIVEAU STATIQUE 35

3.1.1.2- ETUDE PIEZOMETRIQUE 36

3.1.2- Résultats des analyses hydrochimiques 37

3.1.2.1-Paramètres physiques des eaux souterraines 37

3.1.2.2- Paramètres chimiques des eaux souterraines 41

3.1.3- Classification hydrogéochimique des eaux 43

3.1.4 - Résultats de l'analyse statistique multivariée 45

3.2-Discussion 49

Conclusion et suggestion 51

Perspectives 51

Références Bibliographiques 52

ANNEXE 54

Annexe 1 54

Annexe 2 56

Introduction Générale

L'eau, ressource vitale pour l'homme, recouvre plus de 70% du globe. Cependant, l'eau potable est loin d'être présent en abondance : en effet les eaux souterraines ne représentent que 2% de l'eau de notre planète. Elles sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour la production d'eau potable car moins vulnérables aux polluants que les eaux de surface. Toutefois, certaines caractéristiques minimales sont exigées pour qu'elles puissent être exploitées comme eau potable qui doit, elle-même satisfaire à des normes de qualité physico-chimique et biologique. La qualité naturelle de ces eaux souterraines peut être altérée par des activités anthropiques ou des phénomènes naturels. Ainsi, la composition qualitative de l'eau souterraine des matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique détermine sa qualité. L'étude des caractéristiques de ces eaux souterraines est souvent destinée à préciser les variations potentielles de leur qualité et à comprendre leur origine (BAKOUAN et al, 2017). Les eaux souterraines, sont en général propres à la consommation que les eaux de surface. Bien qu'elles ne soient pas aussi vulnérables que les eaux de surface, les eaux souterraines ne sont pas épargnées des polluants. Dans la commune de Kpomassè, les eaux souterraines sont contaminées par le biais des activités anthropiques. Les types et les concentrations de ces polluants dépendent souvent de la nature du matériel géologique par lequel ces eaux se déplacent et la qualité de l'eau de recharge Suite à leur déplacement à travers les roches et les sols sédimentaires.

Face à cela et dans le souci de garantir la qualité de l'eau souterraine, la commune de Kpomassè a fait l'objet de plusieurs études. C'est ainsi que KPANOU , (2010) à montrer dans son étude sur *l'impacts du changement climatique sur l'approvisionnement en eau portable des populations : cas de la commune de Kpomassè* que le niveau de la ressource a évolué dans les ouvrages et qu'il a été confrontés à un problème d'inexistence de données sur l'évolution quantitative de la ressource au niveau des structures étatiques ; HOUENOU, (2011) par contre s'est intéressé à la *caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la commune de Kpomassè*. Cependant, ces différentes études n'ont pas abordé la mise à jour des données hydrogéologiques et hydrochimiques qui reste une préoccupation, jusque-là, sans une étude approfondie. C'est donc pour satisfaire à cela que le présent sujet de recherche intitulé « Actualisation des connaissances hydrogéologiques et hydrochimiques de l'aquifère capté dans la commune de Kpomassè » a été formulé. A cet effet, les

résultats de la présente étude auront pour but d'apporter une réponse à la question scientifique suivante : Quelles sont les connaissances hydrogéologiques et hydrochimiques à mettre à jour ?

L'objectif général de cette étude est de mettre à jour les connaissances hydrogéologiques et hydrochimiques de l'aquifère capté pour l'approvisionnement en eau potable de la commune de Kpomassè. De manière spécifique il s'agira de :

- Déterminer le sens de l'écoulement de la nappe de l'aquifère de la commune de Kpomassè.
- Evaluer la qualité des eaux souterraines de la commune de Kpomassè.
- Expliquer le processus de minéralisation des eaux souterraines de la commune de Kpomassè.

De ces objectifs spécifiques, il découle des hypothèses ci-dessous :

- Dans la commune de Kpomassè, l'écoulement de la nappe se fait du Sud-Ouest au Nord-Ouest
- La qualité des eaux souterraines dans la commune de Kpomassè est affectée par des activités anthropiques telles que l'agriculture et l'élevage.
- Des facteurs tels que l'apport anthropogénique, la dissolution des roches influencent la minéralisation des eaux souterraines de la commune de Kpomassé.

Ce travail comporte trois chapitres précédés d'une introduction générale et suivis d'une conclusion qui fait la synthèse des principaux résultats de l'étude. Le premier chapitre est consacré au cadre général de l'étude ; le deuxième chapitre parle du matériel utilisé et de la méthodologie mise en œuvre. Enfin, le troisième présente les résultats obtenus suivis de leurs interprétations et discussion.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET PRESENTATION DU CADE D'ETUDE

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET PRESENTATION DU CADE D'ETUDE

1-1 Synthèse bibliographique

1-1-1 Généralité sur les aquifères

Le résumé de la revue de littérature, plus précisément des documents de thèse de KOTCHONI (2019) et de ALLE (2019), nous a permis d'avoir la vue suivante sur les aquifères.

L'aquifère, du latin aqua fero qui signifie porter l'eau, est la structure (ou matériau) géologique perméable contenant de l'eau souterraine remplissant entièrement les interstices (*Foucault et al. 2014, Alle 2019).* Il est caractérisé par sa géométrie, sa superficie, sa profondeur et par les propriétés des couches qui le forment (lithologie, porosité, perméabilité, fracturation, homogénéité etc.) (*Renard et al. 2018*). Selon la forme des vides qui contiennent l'eau, on distingue différents types d'aquifères : Les aquifères poreux et les aquifères fissurés/fracturés (*Renard et al. 2018).*

Dans les aquifères poreux, les vides sont des espaces intergranulaires d'origine sédimentaire (pores sensu stricto) ou diagenétique (dissolution de cristaux). Ces aquifères correspondent à des roches « granuleuses » constituées de blocs, graviers, sables, silts, calcaires grains stones, qui peuvent être meubles (alluvions, colluvions, sables détritiques et oolithiques, arènes granitiques etc.) ou cohérentes (grès, calcaires) si la cimentation n'a pas oblitéré toute la porosité (*Renard et al., 2018*).

Dans les aquifères fissurés/fracturés, les vides proviennent de ruptures (diaclases, failles et de fissures) dans la roche consolidée. Il n'y a pas de porosité intergranulaire pour ce type d'aquifère. On les retrouve en zone de socle avec ou sans une altération meuble au-dessus. En milieu tropical en général, cas de notre zone d'étude, dans sa partie supérieure, au-dessus des fissures/fractures, l'aquifère de socle est constitué d'un « important » aquifère poreux (altération meuble).

- **Eaux souterraines**

Les eaux souterraines regroupent l'ensemble des réserves d'eau qui se trouvent dans le sous-sol. L'eau est stockée dans des zones appelées aquifères, composées de roches poreuses et/ou fissurées. Elle peut s'accumuler dans ces espaces vides pour former des nappes qui occupent tout ou une partie

de l'aquifère. La profondeur de ces nappes est variable. Les plus profondes peuvent se trouver à plusieurs centaines de mètres sous la surface du sol.

Les nappes phréatiques sont celles qui se trouvent près de la surface et résultent de l'accumulation d'eau infiltrée depuis la surface du sol suite, par exemple, à un épisode de pluie. Leur faible profondeur les rend facilement accessibles pour les activités humaines. Les eaux souterraines constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Dans plusieurs pays, c'est pratiquement la seule source d'approvisionnement. Au Bénin, les eaux souterraines représentent 95% des eaux exploitées pour l'AEP et l'eau de surface 5% (Allé, 2019).

1.1.2. Origine de la minéralisation des eaux souterraines

L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO2 dissous. Au cours de son infiltration en raison de son contact avec des terrains géologiques en présence, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme. La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. A tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule : il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans des sous-sols sablonneux ou granitique sont généralement acides et peu minéralisées. Les eaux circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques et présentent une dureté élevée. Les interactions entre l'eau et les roches responsables de la minéralisation des eaux souterraines dans l'aquifère s'effectuent à travers certains mécanismes de base que sont : les réactions de dissolution, de précipitation, d'oxydo-réduction et d'échanges d'ions (Boukari, 1998).

- **Définition d'une eau potable**

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2004), une eau potable est une eau ne renfermant en quantité dangereuse ni substances chimiques ni germes nocifs pour la santé. C'est en effet un terme générique qui ne peut s'appuyer sur un type unique, car toute eau que l'on peut consommer sans danger peut être considérée comme eau potable. A cette notion de danger peut se superposer une notion d'agrément vis-à-vis du goût et même de confort (aspect, température). On pourrait donc dire, qu'une eau destinée à la consommation humaine doit :

-Être raisonnablement minéralisée (respectant les recommandations des directives de qualité de l'OMS ou les normes du pays,)

- Être incolore, inodore et limpide,

- Assurer de ne pouvoir nuire à la santé,

- Assurer de ne pas voir ses qualités altérées par le temps ou par les conditions de transport.

- **Différents puits d'approvisionnement**

Il existe deux types de puits : le puits de surface et le puits artésien.

- **Puits de surface**

On appelle puits de surface un puits qui s'approvisionne directement dans la nappe phréatique. Le pompage dans un puits de surface a pour effet de former autour du puits un cône de dépression. Un excès de pompage abaissera le niveau phréatique et pourra contribuer à assécher d'autres puits avoisinants.

La figure 1 et 2 nous présentent un puits de surface et un puits artésiens

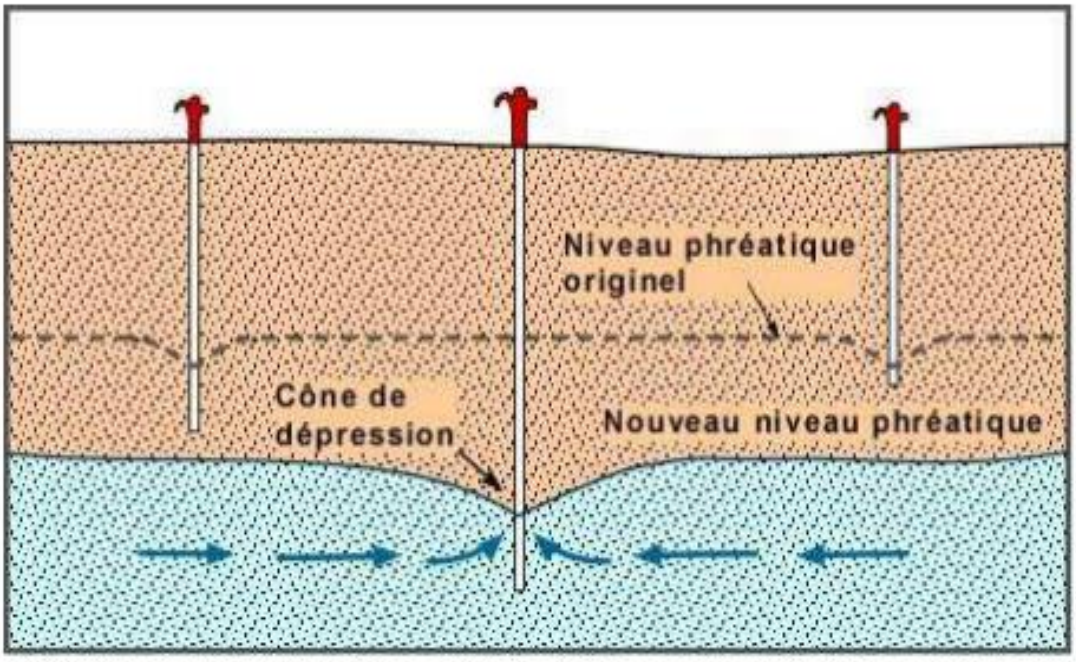


Figure 1 : Schéma d'un puits de surface(www.ggl.ulaval.ca)

- **Puits artésien**

Le puits artésien est un puits qui s'approvisionne dans un aquifère confiné par un aquiclude et mis sous pression à la faveur d'une zone de recharge. Le schéma qui suit montre que la recharge en eau de l'aquifère se fait à partir de la surface du terrain, créant dans l'aquifère une pression croissante avec la profondeur.

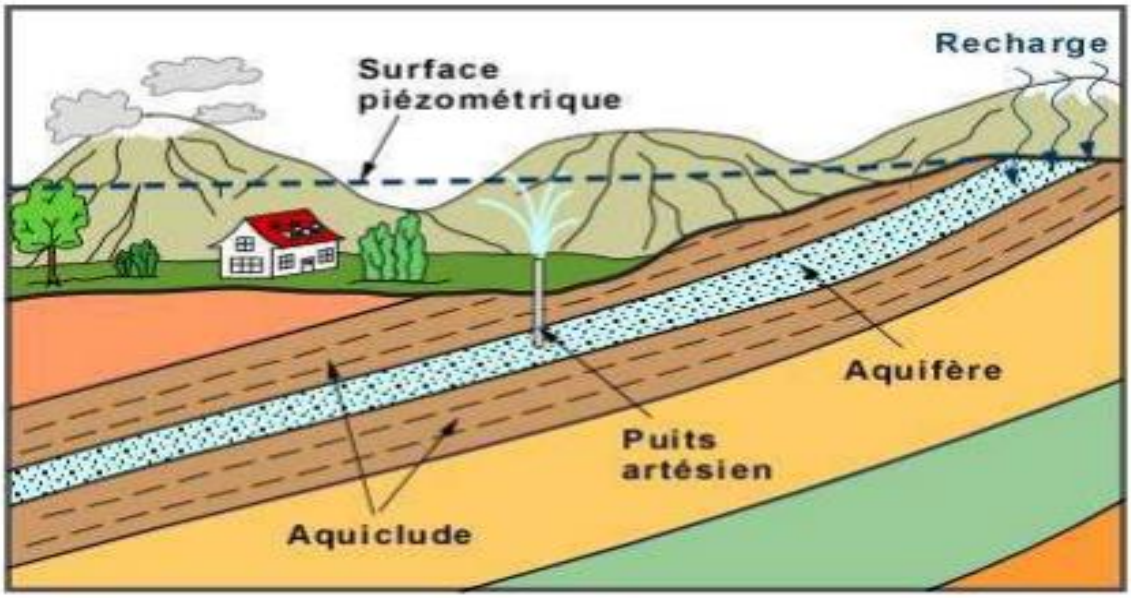


Figure 2 : Schéma d'un puits artésien(www.ggl.ulaval.ca)

Au point où on a percé l'aquiclude, la pression dans l'aquifère fait en sorte que l'eau va jaillir si la bouche du puits se situe sous la surface piézométrique. Si la bouche du puits se situait au-dessus de la surface piézométrique, il n'y aurait pas de jaillissement ; l'eau atteindrait dans le puits la hauteur de la surface piézométrique. C'est une question d'équilibre entre la zone de recharge ouverte à la pression atmosphérique et le puits aussi ouvert à la pression atmosphérique (le principe des vases communicants). Ceci explique qu'il faut une zone de recharge qui soit au-dessus de la bouche du puits. On pourrait avoir facilement un puits artésien dans une plaine qui borde une zone montagneuse, si la recharge se fait en montagne, mais il serait impossible d'avoir un puits artésien jaillissant si la zone de recharge ne se trouvait que dans la plaine.

- **Sources de dégradation de la qualité des eaux souterraines :**

Bien qu'elles ne soient pas aussi vulnérables que les eaux de surface, les eaux souterraines peuvent être exposées aux polluants ou être très riches en sels minéraux à cause des couches géologiques

traversées. Dans le premier cas, les polluants proviennent très souvent des activités anthropiques. La contamination peut être liée à l'évacuation de déchets d'une manière directe (systèmes privés d'évacuation d'eau d'égout, élimination des déchets solides, eaux usées municipales, retenue d'eau usée, propagation des déchets radioactifs etc.) ou de manière indirecte (accident, certaines activités agricoles, exploitation, routes dégivrées etc.).

Dans le second cas, même sans l'action humaine, les eaux souterraines contiennent quelques impuretés naturelles dépendant de la nature du matériel géologique traversé pour atteindre les nappes. Ceci a pour conséquence parfois des teneurs en sels minéraux très élevées.

1.2. Présentation de la zone d'étude

Située au Sud-Ouest du département de l'Atlantique, la commune de Kpomassè se trouve entre les parallèles 6°20' et 6°39' de latitude nord, et les méridiens 1°56' et 2°07' de longitude Est. Elle est limitée au nord par la commune d'Allada, au sud par la commune de Ouidah, à l'ouest par les communes de Comé et de Bopa avec une frontière naturelle composée du lac Ahémé et d'un affluent couffo et à l'Est par les communes de torri-Bossito et de Ouidah. Sous ses neufs arrondissements : Agonkanmè, Aganmalomè, Agbanto, Dédomè, Dekanmè, Kpomassè-Centre, Sègbohoué, Sègbéya, Tokpa-Domè. La commune de Kpomassè compte soixante-seize (76) villages et quartiers établis sur une superficie de 305km², soit 9% du territoire de l'Atlantique et 2,26% du territoire national.

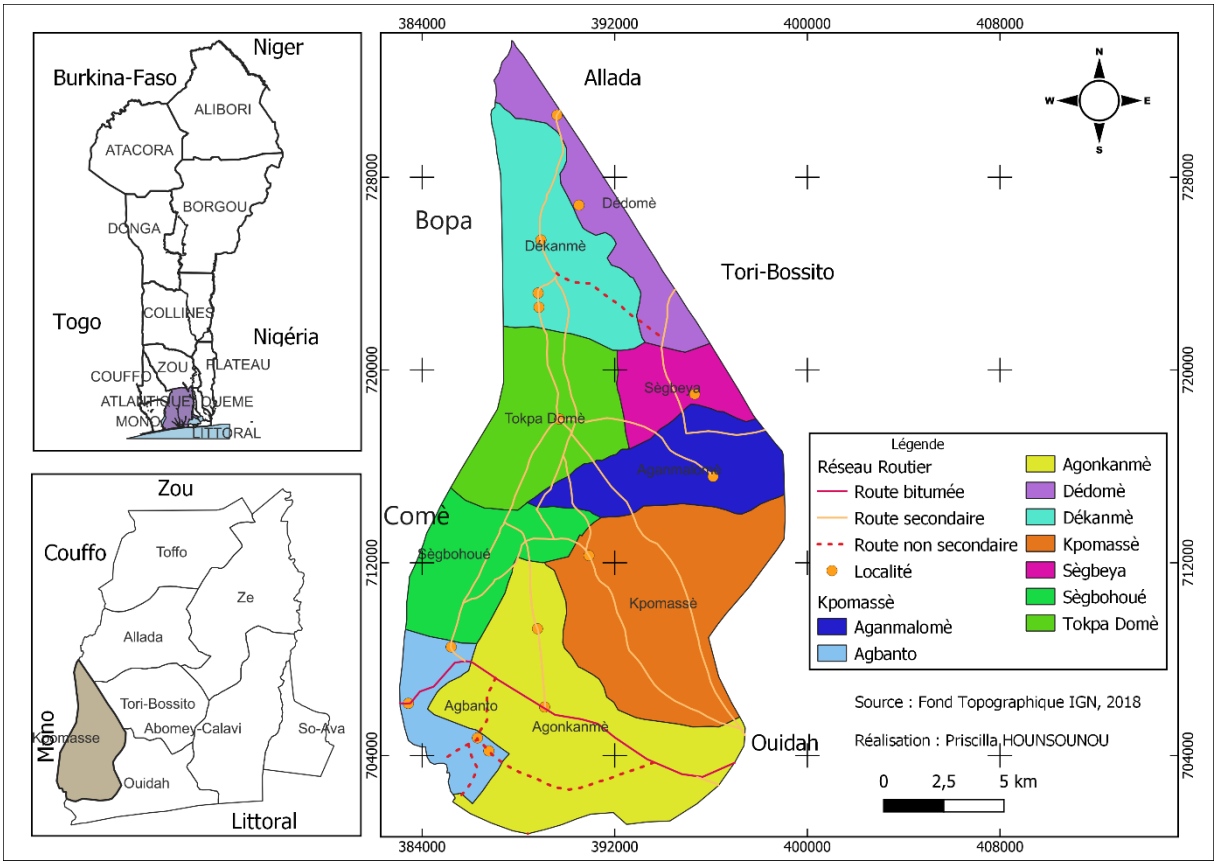


Figure 3 *:* Localisation de la zone d'étude

1.2.1. La démographie et cadre administratif

Au troisième recensement de 2002, la Commune de Kpomassè a une population estimée à 57639 habitants (28625 hommes pour 29014 femmes donc un taux de masculinité de 49,66%), soit 07,15% de la population du département de l'Atlantique. Avec le RGPH4 de 2013, la population de Kpomassè est passée à 67648 habitants (34295 femmes pour 33353 hommes).

Sur le plan ethnique et religieux, les ethnies rencontrées sont les Adja, Pédah et assimilés (53,4%), Fon (40,4%), Yoruba (4,7%), Peulh (0,2%), Bariba (0,1%), autres (1,2%). La diversité de groupes ethniques qui peuple la commune de Kpomassè pratique plusieurs religions dont les plus importantes sont les cultes traditionnels (76,8%), les catholiques (17,7%), protestants (0,2%), musulmans (1,1%) et autres religions (4,2%). L'attachement aux religions traditionnelles est très ancré chez les populations de la Commune. Il se traduit par une dévotion au vaudoun et une kyrielle de rythmes et danses traditionnelles. Des monuments existent pour matérialiser la panoplie de vaudoun.

Le tableau 1 ci- dessous nous présente la situation administrative de la commune de Kpomassè.

***Tableau 1**:Population de la commune de Kpomassè (Résultats définitifs RGPG4,2013)*

	MASCULIN	FEMININ	TOTAL
ARRONDISSEMENT	**33 353**	**34 295**	**67 648**
AGANMALOME	2 247	2 276	4 523
AGBANTO	2 796	2 898	4 523
AGONKAME	4 188	3 884	8 072
DEDOME	3 569	3 732	7 301
DEKANME	4 836	5 141	9 977
SEGBEYA	1 943	2 016	4 016
SEGBOHOUE	3 756	3 591	7 347
TOKPA-DOME	5 114	5 077	10 191
KPOMASSE	5 208	5 319	10 527

Source : Projection faite à partir des données du RGPH4

1.2.2. CONTEXTE HYDROCLIMATIQUE

La commune de Kpomassè est dominée par un climat subéquatorial avec quatre (4) Saisons : une grande saison pluvieuse de mars à juillet ; une petite saison pluvieuse de septembre à novembre ; une sèche de novembre à mars et une petite saison sèche juillet à d'août. Mais ces derniers temps avec les phénomènes de changement climatique, on assiste à un bouleversement de la pluviométrie. La hauteur d'eau recueillie au cours de l'année varie entre 950 et 1500 mm. Elle est plus importante à l'Est qu'à l'Ouest. La température moyenne est de 27°C, variant de 24° à 30°C en saison des pluies et de 23° à 33°C en saisons sèches. (KPANOU, 2011).

1.2.2.1- Température

Le tableau ci-dessous montre l'évolution de la température mensuelle de 1991-2021.

Tableau 2: Evolution de la température moyenne mensuelle de 1991-2021

Mois / Température	Janv.	Fév.	Mars	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total Annuel
Moy. des maxi (°C)	32,1	32,4	32 ,4	31,9	30,5	28,4	27,7	27,7	28,4	29,4	30,6	31,7	30,26
Moy. des min (°C)	24,3	25,3	25,9	25,7	25	23 ,9	23,3	22,9	23 ,4	24	24,7	24,6	24,41
Moy. Mensuelle (°C)	27,4	28,1	28,5	28,2	27,3	25,7	25	24,8	25,3	26,1	27,1	27,5	26,75
Ecart. (°C)	4,7	4,3	3,9	3,7	3,2	2,7	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,2	3,51

De l'analyse du tableau, il ressort que les températures varient d'une saison à une autre et oscillent en moyenne autour de 26°C

La température la plus élevée de l'année est observées dans le mois de Mars, avec une température de 28,5°C. Autour du mois d'Août, on observe une baisse notable des températures, avec un minimum moyen d'environ 24°C. Cette période est caractérisée par une amplitude thermique mensuelle de 2,9°C.

1.2.2.2- Température et Humidité relative

Le tableau ci-dessous se rapporte aux données de température et d'humidité relative

Tableau 3: Evolution de la Température et Humidité relative

Mois / Température	Janv.	Fév.	Mars	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total Annuel
Température (°C)	27,4	28,1	28,5	28,2	27,3	25,7	25	24,8	25,3	26,1	27,1	27,5	26,75
Humidité relative (%)	73	76	77	79	83	87	85	84	85	85	82	77	81,08

De l'analyse du graphe de la figure4 nous pouvons retenir que les périodes les plus humides correspondent aux périodes ayant les températures les plus faibles alors que les périodes les moins humides correspondent aux périodes les moins élevé. En termes d'humidité relative, le mois qui présente le taux le plus élevé est le mois de juin avec un pourcentage de 87. Inversement, le mois de Janvier a été enregistré comme ayant le taux d'humidité relative le plus bas avec seulement 73%.

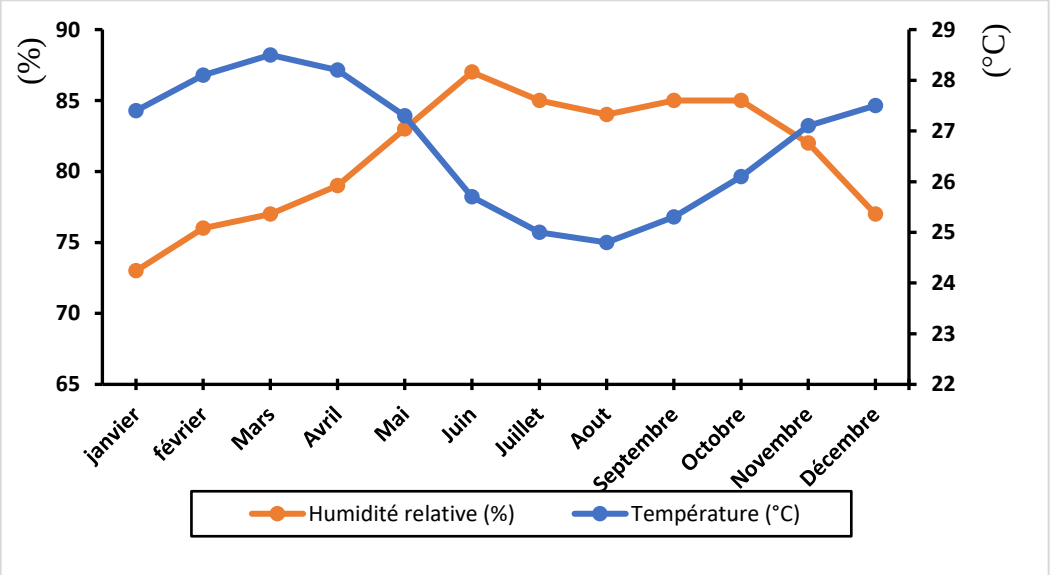


Figure 4 : Variation des valeurs moyennes mensuelles de la température et de l'humidité relative

1.2.3. HYDROGRAPHIQUE RELIEF, VÉGÉTATION, SOLS

❖ HYDROGRAPHIE

Le réseau hydrographique est dominé par le lac Ahémé, la principale ressource naturelle de la commune. Le lac Ahémé s'étend sur environ 40 km² et sur une distance d'environ de 30 km. A cela s'ajoute l'affluent du fleuve mono qui se jette dans le lac. Le lac Ahémé est logé dans un fossé d'effondrement subméridien à l'estuaire du Couffo, dont il reçoit les eaux tumultueuses, ainsi que quelques petites rivières sur sa rive occidentale (Boko, 1994).

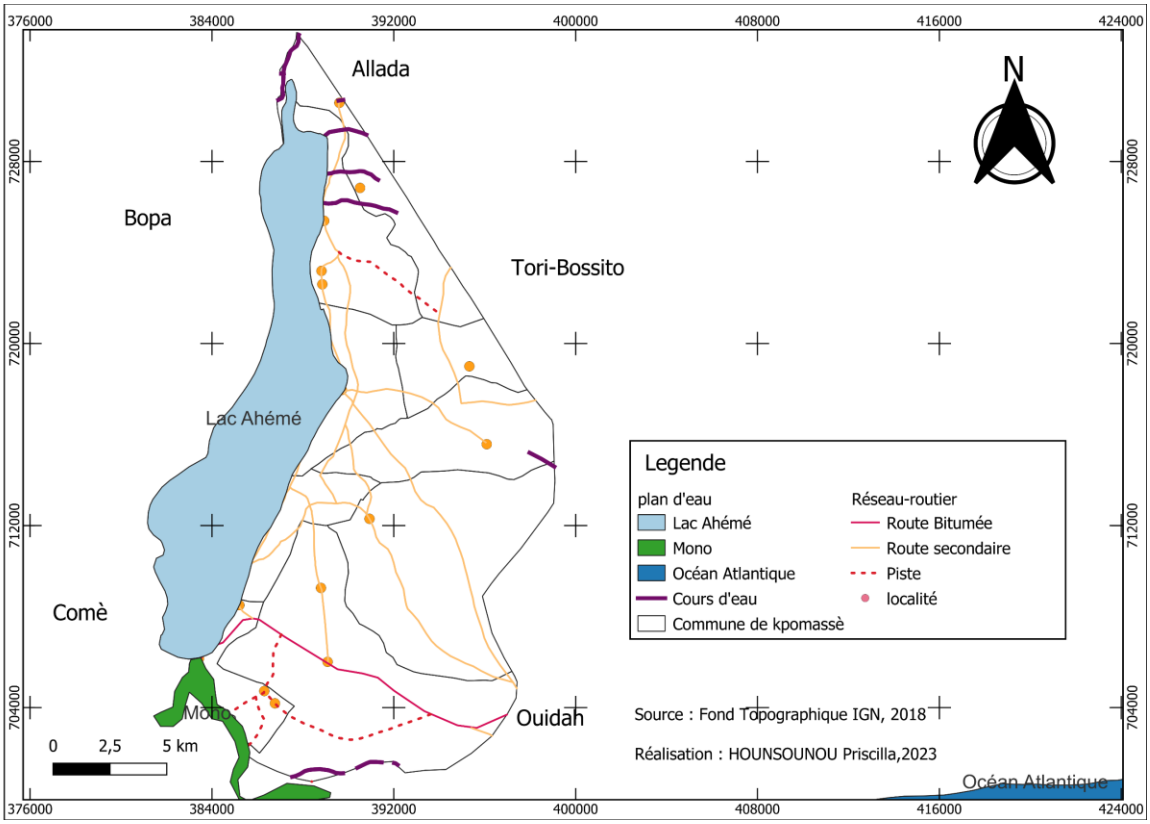


Figure 5 : Carte hydrographique de la zone d'étude

❖ RELIEF

Le relief de la commune de Kpomassè est très peu accidenté. Elle est caractérisée par une plaine qui peut être scindée en deux ensembles : Une haute plaine avec une altitude comprise entre 38 et 70m et une basse plaine avec une altitude comprise entre 16 et 38m. A ces deux ensembles s'ajoute une plaine inondable à laquelle appartient le lac Ahémé.

❖ SOL, VÉGÉTATION

La majeure partie du BSC auquel appartient la commune de Kpomassè est recouverte de sols ferralitiques, formés sur des sédiments meubles argilo-sableux encore appelés terre de barre. La présence de ces sols serait liée à celle du Continental Terminal. Généralement, la teneur en argile de ces sols varie entre 5 et 15% en surface et passe à 35% entre 30 et 60 cm de profondeur puis à 45 et même 50% au-delà de cette profondeur (Azontonde, 1991). La réserve en eau de ces sols est assez faible et varie entre 40 et 50 mm à 30 cm du sol puis entre 60 et 70 mm à 60 cm du sol (Azontonde, 1991). Quant à l'indice d'érodibilité, il varie de 0,05 en surface à 0,1 en profondeur, alors que la perméabilité diminue depuis les horizons superficiels où elle varie entre 5 et 8 cm/h jusqu'aux horizons profonds atteignant 3 à 6 cm/h (Houessinou, 2020). Dans la partie Sud de la commune notamment au niveau des arrondissements d'Agonkanmè et Agbanto, le sol est marécageux**.** La végétation est caractérisée par une forêt arbustive, associée entre autres à des peuplements plus ou moins denses de palmiers à huile, des cocotiers. La végétation aquatique est constituée de rhizophora racemosa (palétuvier rouge), à Avicennia africana (palétuvier blanc) et à Acrostium aureum (fougères des mangroves).

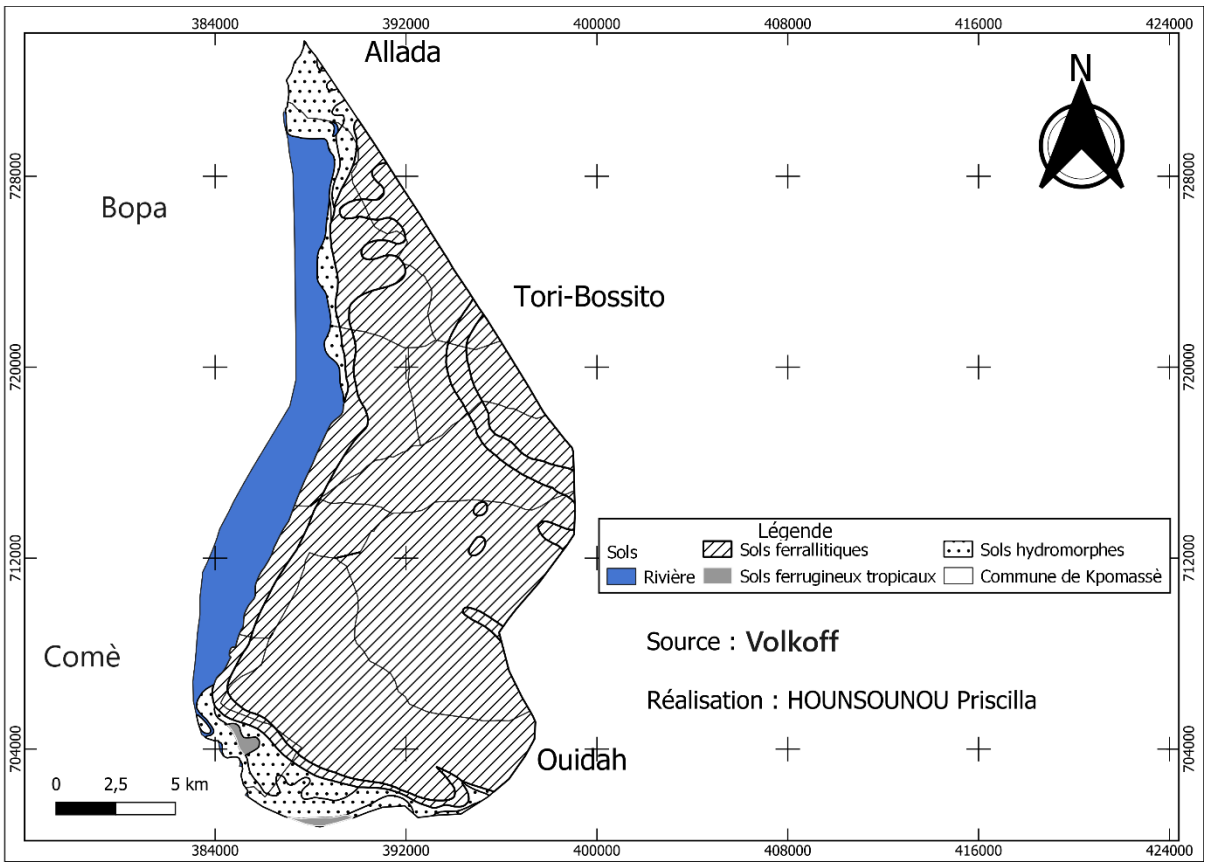


Figure 6 : Carte Pédologie de la zone d'étude

1.2.4. CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIE ET GÉOLOGIE

- **GÉOMORPHOLOGIQUE**

La commune de Kpomassè présente une géomorphologie caractérisée par une combinaison de reliefs et de formations géologiques. Voici quelques éléments de géomorphologie qui peuvent être observés dans cette région :

- **Plateau** : La commune de Kpomassè est principalement située sur un plateau, qui est une forme de relief généralement caractérisée par des altitudes relativement élevées et des pentes douces à modérées. Ces plateaux sont souvent formés par des roches résistantes à l'érosion, telles que des formations sédimentaires ou volcaniques.
- **Vallées et plaines alluviales** : La présence de cours d'eau dans la région a donné lieu à la formation de vallées et de plaines alluviales. Les vallées sont généralement creusées par l'érosion des rivières au fil du temps, tandis que les plaines alluviales se forment à partir des sédiments déposés par les cours d'eau lors des inondations.
- **Cuestas** : Dans certaines parties de la commune, on peut observer des formations géologiques appelées cuestas. Les cuestas sont des pentes douces d'un côté et des falaises abruptes de l'autre, formées par l'érosion différentielle de couches de roches dures et tendres. Elles peuvent créer un paysage en gradins caractéristique.
- **Dépôts de colluvions** : Les colluvions sont des dépôts de matériaux transportés par gravité depuis les pentes supérieures des collines ou des plateaux. Ces dépôts peuvent former des accumulations de sols et de sédiments dans les parties inférieures des versants.

Il convient de noter que les caractéristiques géomorphologiques peuvent varier d'une région à l'autre à l'intérieur de la commune de Kpomassè en fonction des conditions géologiques et des processus d'érosion spécifiques.

- **GÉOLOGIE**

On distingue six (06) unités géologiques dans la commune de Kpomassè. Par ordre d'importance, on peut noter :

▪ Pliocène-Pléistocène (Unité VII) : C'est une unité formée de graviers, sables et argiles, dépôts fluviatiles et de cône d'alluvions. Cette unité occupe environ 40 % de la superficie totale de la commune.

▪ Miocène supérieur (Unité VI) : C'est une unité formée de sables quartzeux, argiles (parfois kaoliniques) ; graviers et grès ferrugineux subordonnés ; dépôts côtiers qui représentent environ les 35% de la superficie totale de la commune.

▪ Eocène Moyens (Unité IV) : C'est une unité formée d'argiles kaoliniques, parfois marneuses avec niveaux micritiques et coquilliers phosphatés (coprolithes et restes épigénisés) ; micrites fossilifères avec nombreux niveaux à nodules et coprolithes phosphatés ; dépôts sublittoraux intermédiaires-externes.

▪ Les dépôts alluvionnaires récents (Al) : Ce sont des formations de nature sableuse ou argileuse avec graviers subordonnés et niveaux charbonneux qui dominent les vallées.

▪ Les dépôts tidaux et lagunaires (QT) : Ce sont des formations composées des argiles, sables et niveaux charbonneux

▪ Les dépôts de cordon littoral anciens (QLa) : sables anciens.

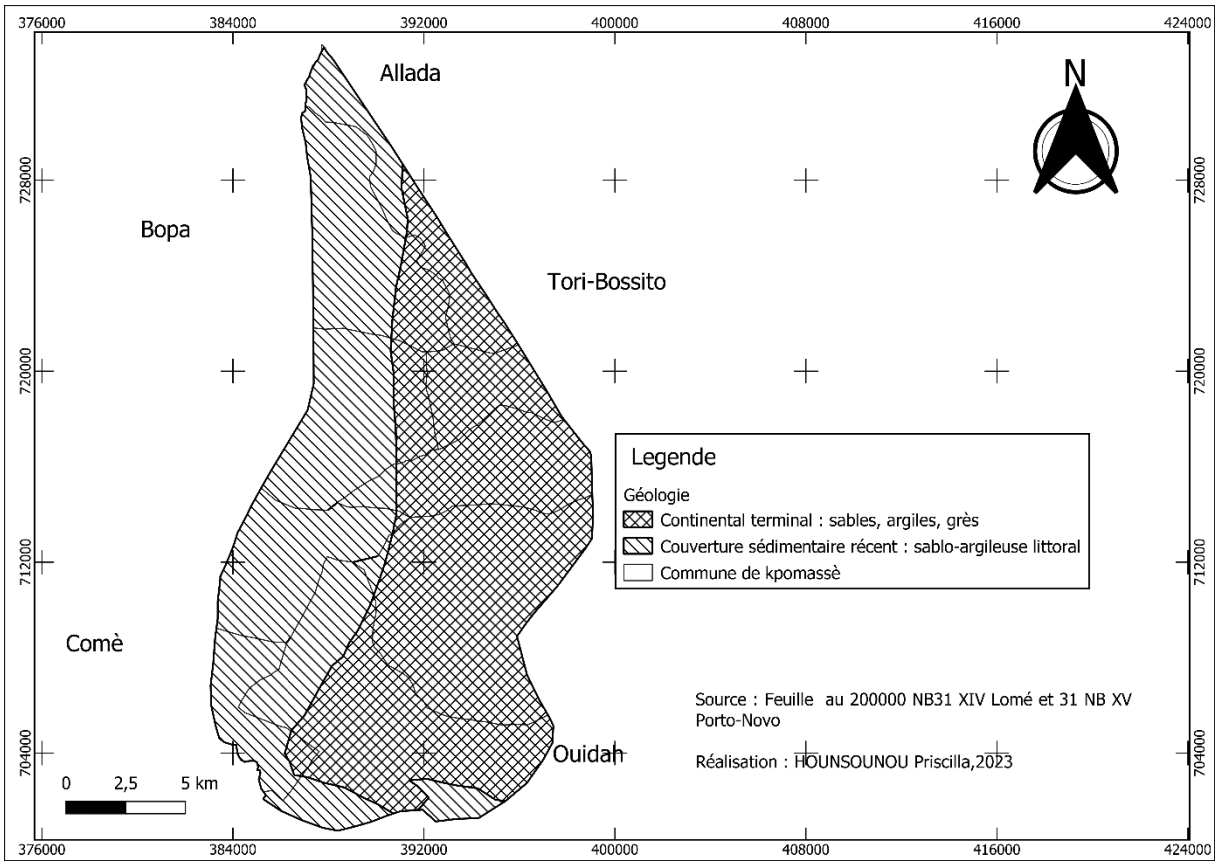


Figure 7 *:* Carte Géologie de la zone d'étude

1.2.5. CONTEXTE HYDROGEOLOGIE

L'hydrogéologie de la commune de Kpomassè fait partie du système hydrogéologique du Bassin Sédimentaire Côtier (BSC) du Bénin. Elle est située au sud-Ouest du plateau d'Allada. Le bassin sédimentaire côtier du Bénin comporte plusieurs aquifères. Dans l'ensemble, il s'agit d'aquifères qui recèlent des ressources en eau nettement plus importantes et généralement plus aisées à prospecter et à capter que les aquifères des formations du socle (Houenoussi, 2020). Ces aquifères sont la principale source d'approvisionnement en eau potable pour le sud du Bénin. Deux aquifères principaux ont été identifiés. Il s'agit notamment du Continental Terminal et du Crétacé, auxquels s'ajoutent les aquifères dont les potentialités sont relativement moindres. Il s'agit du quaternaire (unité VIII) et du paléocène (unité IIb). Ces aquifères sont séparés par une puissante couche argileuse ou marneuse voire calcaire par endroit et peuvent être confinés ou non confinés en fonction de la géologie locale. Ils sont faiblement perméables et caractérisés par une lente circulation de l'eau. Les débits sont généralement de 2 à 50L/s et la transmissivité est généralement de 80 à 900m2 /j. Le coefficient d'emmagasinement est généralement de 10-6 à 10-5 (Boukari, Totin, Upton, 2018).

● L'aquifère le plus important de par son épaisseur et son accessibilité est celui des sables du Continental Terminal (Unités VI, VII). Son épaisseur maximum est de l'ordre de 120m.

Généralement à nappe libre, il se subdivise superficiellement en trois unités hydrogéologiques morphologiquement représentées par les plateaux méridionaux du bassin. Il est caractérisé par des niveaux piézométriques qui s'approfondissent progressivement du Sud des plateaux au Nord où elles peuvent dépasser 60m voire 80m, ce qui rend sa réalimentation par les eaux superficielles et météoriques lente et continue.

● Le second aquifère en importance est celui des sables du Crétacé supérieur (Turonien Coniacien : Unité I). Il peut atteindre 150m d'épaisseur mais reste en grande partie moins accessible que l'aquifère du Continental Terminal en raison de son enfoncement rapide. Sa nappe se présente sous forme libre au Nord de la dépression de la Lama où le Coniacien sableux affleure et captive sous les argilites et marnes du Maestrichtien et de l'Eocène vers le Sud du bassin avec des phénomènes d'artésiannisme jaillissant.

● L'aquifère des calcaires paléocènes (Unité IIb) est à nappe essentiellement captive sous les argilites et marnes du Paléocène supérieur et de l'Eocène inférieur et moyen avec des phénomènes d'artésiannisme jaillissant aussi. Son épaisseur ne varie que de quelques mètres à une trentaine de mètres au maximum. Il est parfois affleurant ou subaffleurant à l'intérieur de la dépression de la Lama puis s'approfondit rapidement vers le Sud.

● Représentés par les aquifères des sables littoraux d'une part et ceux des sables alluviaux d'autre part, les aquifères quaternaires (Unité VIII) sont d'extension spatiale limitée. Leurs épaisseurs sont de l'ordre de 20 m au maximum. Dans les alluvions des grandes vallées du fleuve Mono et surtout du complexe Ouémé-lac Nokoué, les aquifères sont souvent en charge sous des niveaux d'argilites plus ou moins superficiels avec des phénomènes fréquents d'artésiannisme jaillissant dans la partie Sud de la vallée (Ganvié, Sô-Tchanhoué…). L'épaisseur de ces alluvions diminue progressivement lorsqu'on remonte vers l'amont puis devient insignifiant vers la limite Nord du bassin. Dans la plaine littorale, l'aquifère quaternaire superficiel à une structure particulière. En effet au niveau des cordons sableux les plus méridionaux notamment la nappe d'eau douce est constituée en réalité de petites lentilles d'eau qui « flottent » qui flottent directement sur la nappe d'eau salée sous-jacente d'origine marine ou lagunaire (Boukari, 2007). Le risque de pompage de l'eau salée étant présent, la profondeur de captage est donc limitée et le captage se fait aisément à l'aide des puits à grands

diamètres. A l'échelle des plateaux d'Allada et de Sakété, le Continental Terminal est constitué de trois couches plus ou moins continues. Il s'agit, de bas en haut, des couches sableuses, sablo-argileuse et argilo-sableuse (Terre de barre par exemple) avec des intercalations de couches argileuses de forme lenticulaires. Sous la « Terre de barre », la couche sablo-argileuse rencontrée au niveau du plateau d'Allada devient, par variation latérale de faciès, argilo-sableuse et même argileuse au niveau du plateau de Sakété. Le Continental Terminal peut donc être considéré comme un ensemble monocouche à l'échelle de chacun des plateaux avec toutefois de légères variations verticale et/ou latérale de faciès susceptibles de conférer à la nappe un caractère semi-libre à semi-captif, voire même captif par endroit (Alassane, 2018). Par contre, à l'extrême-sud des plateaux (surtout le plateau d'Allada) et aussi sous les cordons littoraux, ce système devient plus hétérogène et composé d'au moins deux sous-ensembles perméables plus ou moins homogènes, l'un superficiel et relativement peu épais, l'autre plus profond et dont le substratum n'est pas rencontré par les ouvrages existants. Les deux sous-ensembles sont séparés par une couche argileuse plus ou moins épaisse.

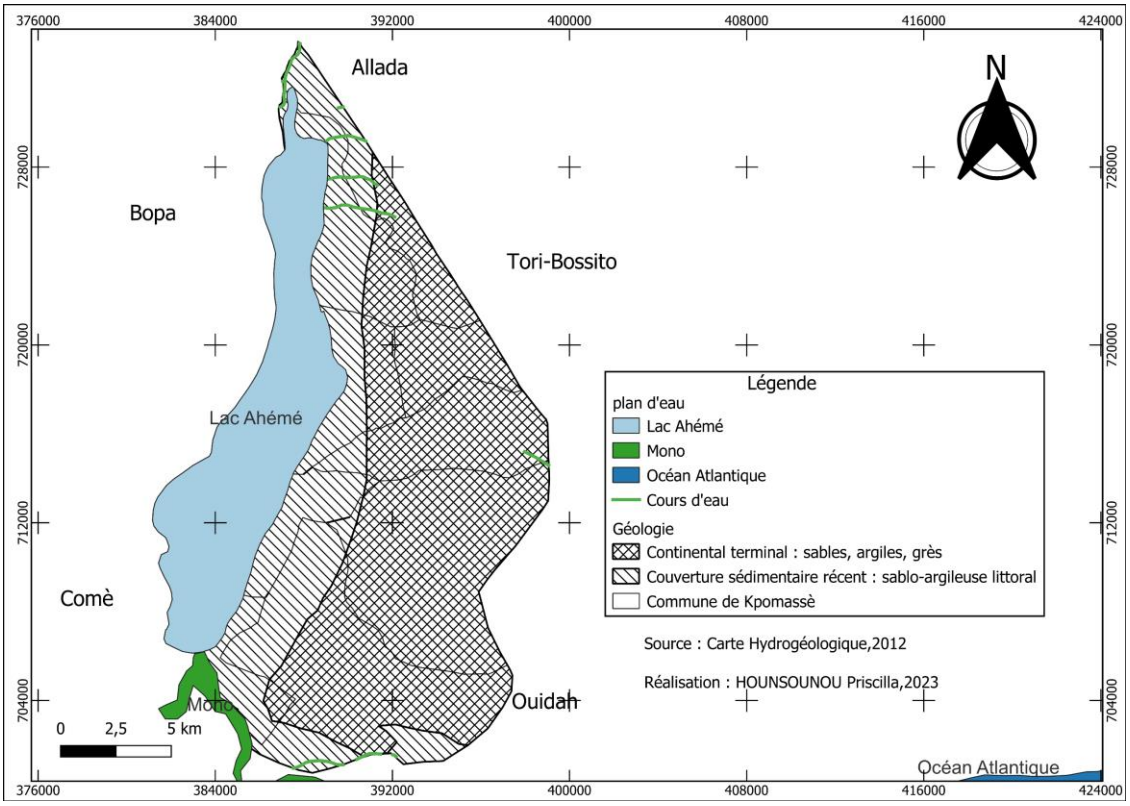


Figure 8 *:* Carte hydrogéologique de la commune de Kpomassè

1.2.5.1- Caractérisation géologique et hydrogéologique

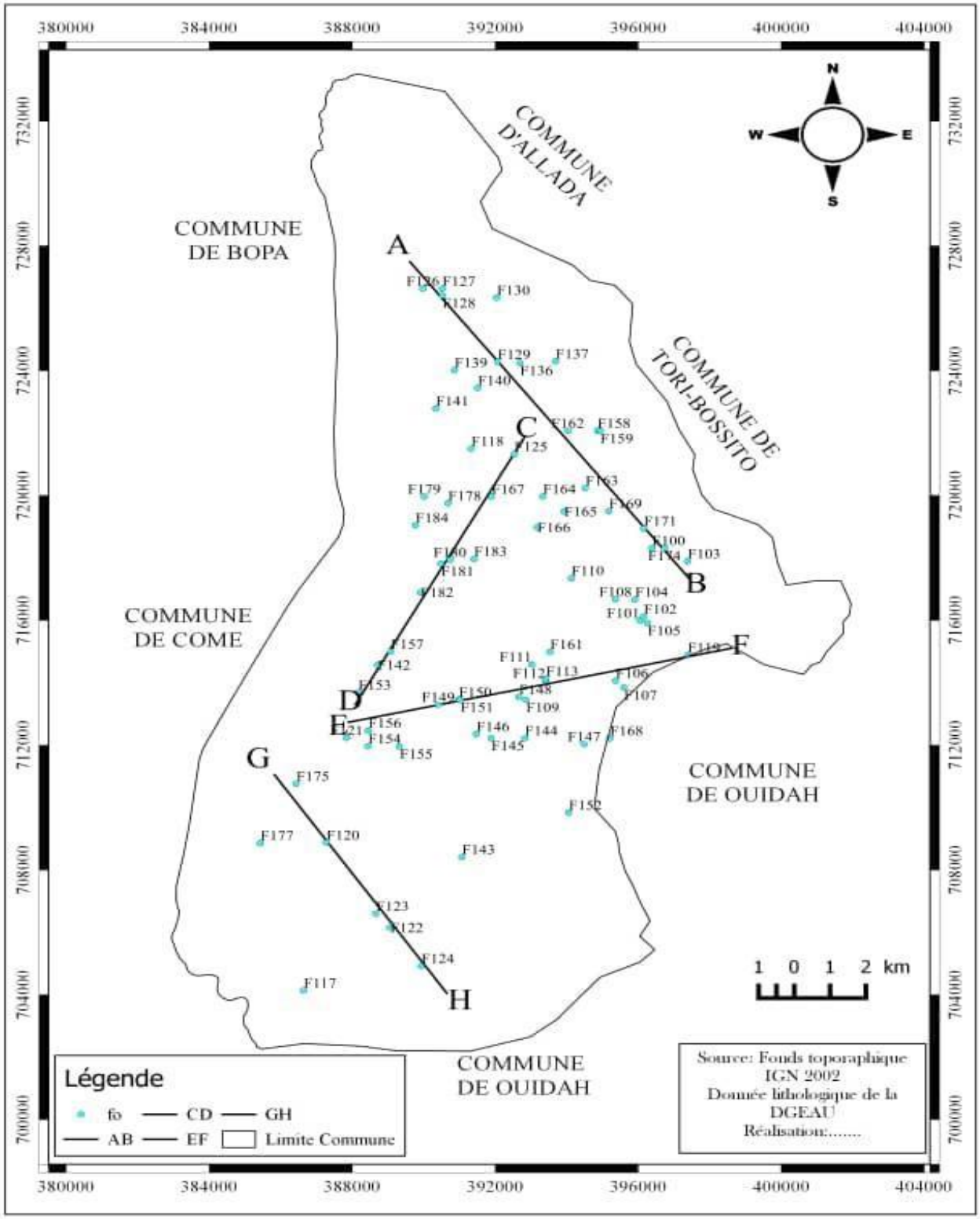


Figure 9 : Localisation des traits de coupes (DAKPO, 2019)

❖ Identification lithostratigraphique

Suivant la direction NNE - SSE (coupe AB) nous avons cinq (05) faciès qui peuvent être regroupés en trois (03) principaux faciès : la latérite, le sable et l'argile. La couche de latérite est présente sur toute la partie superficielle de la coupe avec une épaisseur variant entre 4 et 17 m. Elle est maximale au niveau de Dédomè II, minimale à Danzoumè et recouvre à ce niveau une couche de grès épaisse de 10 m en moyenne. De même la couche de sable s'étend le long du trait de coupe et a une épaisseur comprise entre 17 et 60 m ; minimale à Danzoumè et maximale à Dédomè II. Elle est recouverte vers le Sud-Est par une couche de sable argileux d'une épaisseur maximale de 28 m. Cependant la couche d'argile sur laquelle repose de part et d'autre les deux premières se retrouve localement à l'Est, au centre et à l'Est du trait de coupe AB. Elle est maximale à Sègbéya II avec une épaisseur de 22 m (Figure 10).

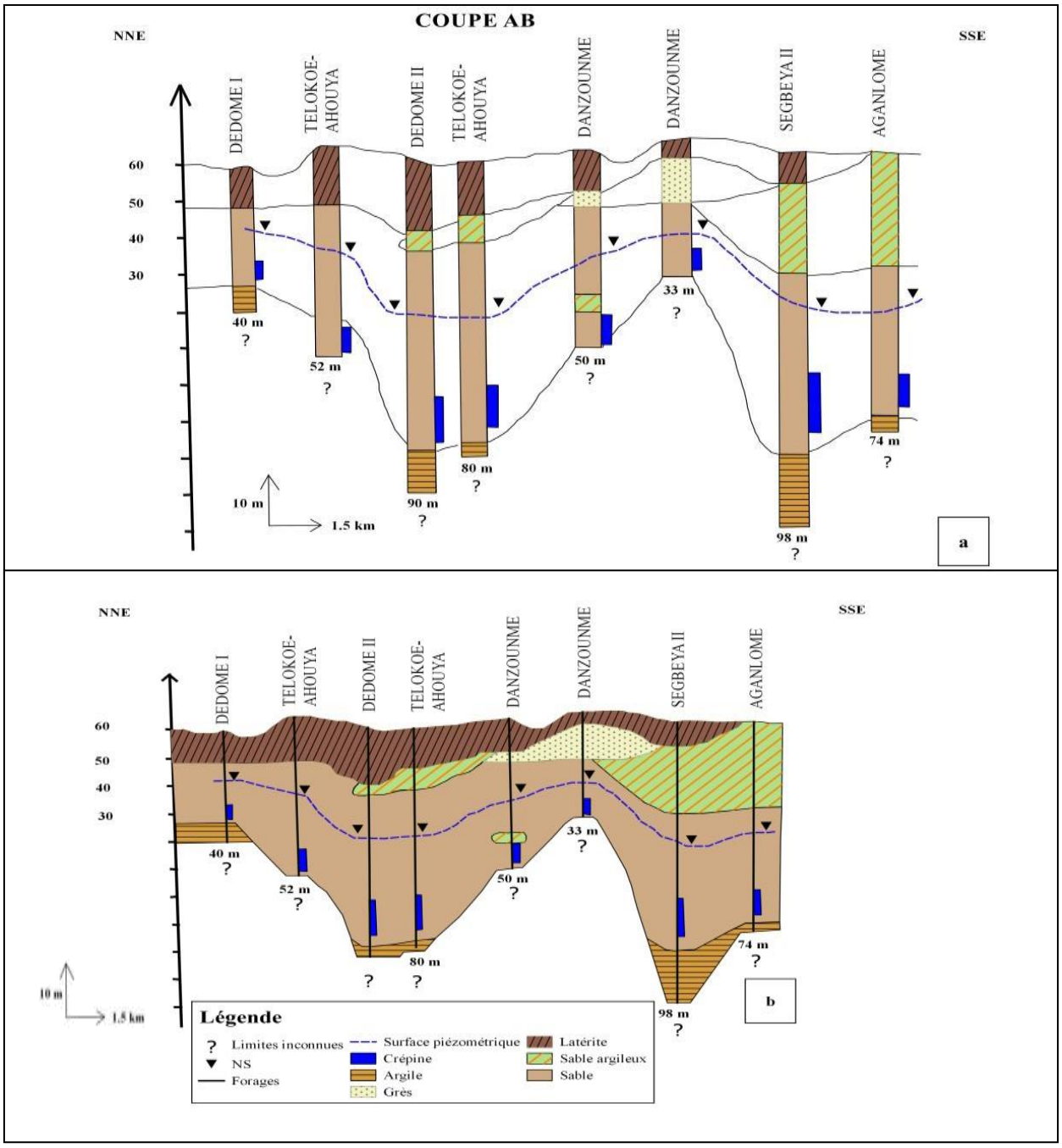


Figure 10: Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) de la commune de kpomassè suivant le trait de coupe *AB* de direction Nord Nord-Ouest-Sud Sud Est de la figure 9. (DAKPO, 2019)

❖ Suivant la direction SO - NE (coupe CD)

Nous avons en tout quatre (04) faciès qui peuvent être regroupés en trois (03) principaux faciès : la latérite, le sable et l'argile. La couche de la latérite est présente sur la partie superficielle de la coupe avec une disparition et apparition vers le Sud-Ouest. Ce phénomène serait dû à une érosion. L'épaisseur de cette couche varie entre 5 m (à Gbindou) et 12 m (à Missèbo). Il s'ensuit la couche de sable qui est la plus importante et qui aurait subi un phénomène d'intrusion de la couche d'argile moyennement épaisse de 15 m. Au Nord-Est à Agbodoi, on retrouve localement une couche de sable argileux épaisse de 6 m (Figure 11).

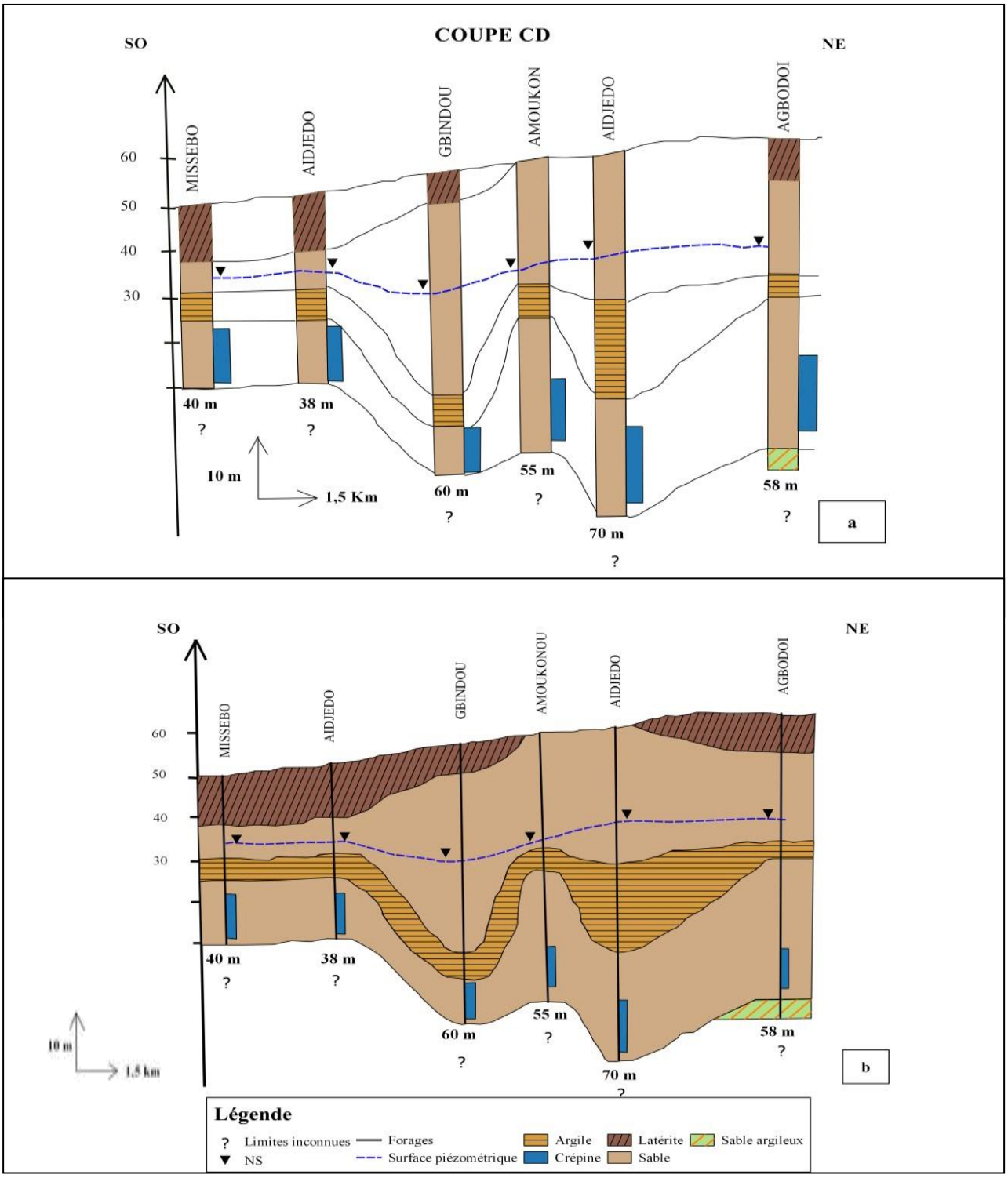


Figure 11 : Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) suivant le trait de coupe CD de direction Sud-Ouest - Nord Est de la figure 9. (DAKPO, 2019)

- Suivant la direction OSO - ESE (coupe EF)

Il y a suivant cette direction cinq (05) faciès qui peuvent être regroupés en trois (03) principaux faciès : la latérite, le sable et l'argile.

La couche de latérite est retrouvée de part et d'autre de la partie supérieure. Elle aurait subi une érosion qui a entraîné l'affleurement de la couche de sable argileux sur laquelle elle repose. La couche de sable s'étend le long du trait de coupe, a une épaisseur comprise entre 9 et 55 m et aurait subi l'intrusion d'une couche d'argile qui la sépare en deux. (Figure 12)

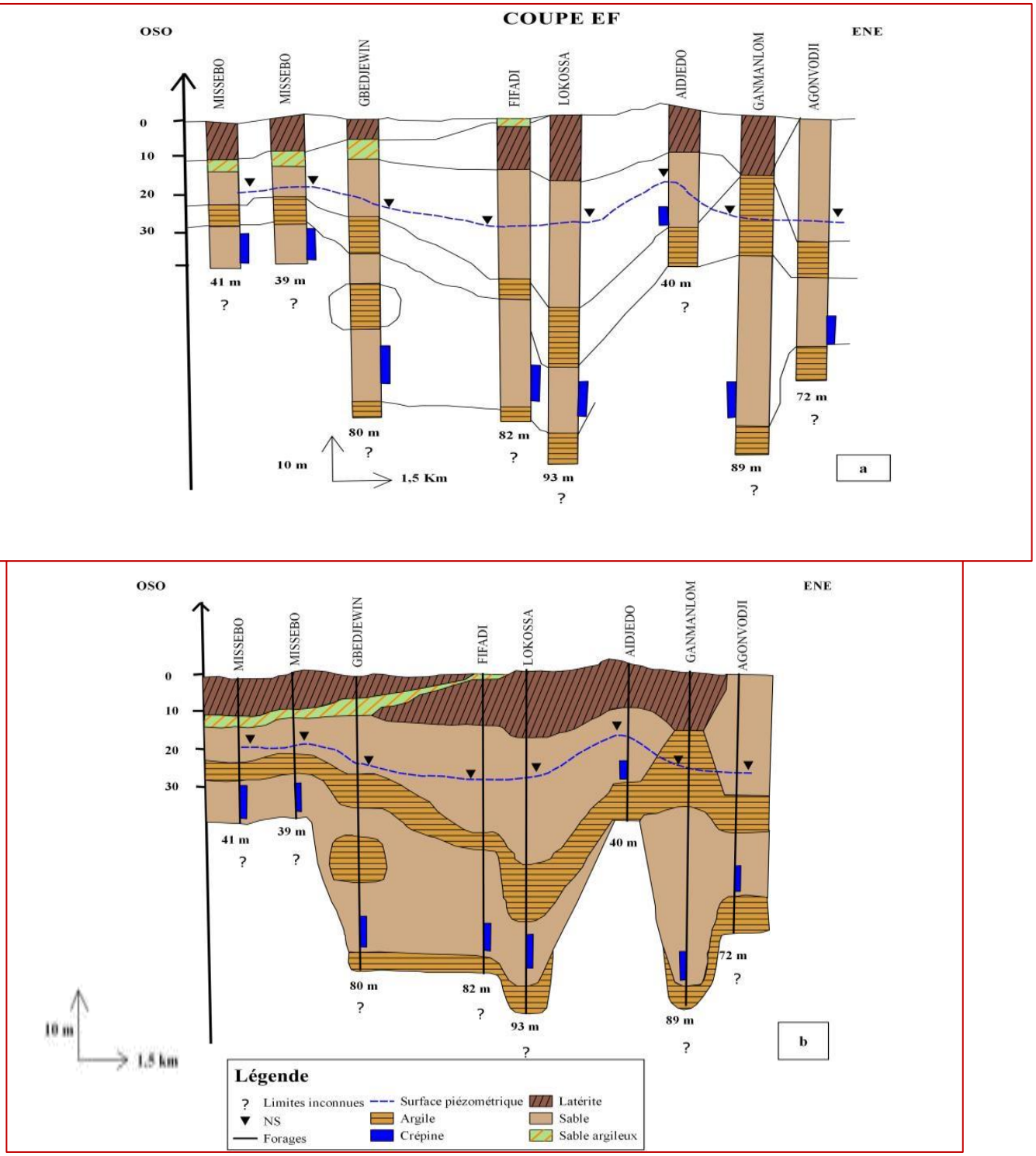


Figure 12 : Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) suivant le trait de coupe EF de direction Ouest Sud-Ouest - Est Sud Est de la figure 9. (DAKPO, 2019)

- Suivant la direction NO - SE (coupe GH)

Nous avons au total 3 faciès qui peuvent être regroupés en 3 principaux faciès : le sable argileux, le sable et l'argile.

La couche de sable argileux se retrouve au Sud-Est avec une puissance variant entre 3 et 9 mètres. On y retrouve deux couches superficielles d'argile : une superficielle au centre et qui est recouverte par le sable argileux vers le Sud-Est et une autre en profondeur sur laquelle repose la couche de sable.

La couche de sable s'étend le long du trait de coupe mais est recouverte du centre vers le Sud-Est par le sable argileux et l'argile. Sa puissance varie entre 43 et 57 mètres, elle est minimale à Sègbohoué II et maximale à Adjatokpa II. (Figure 13).

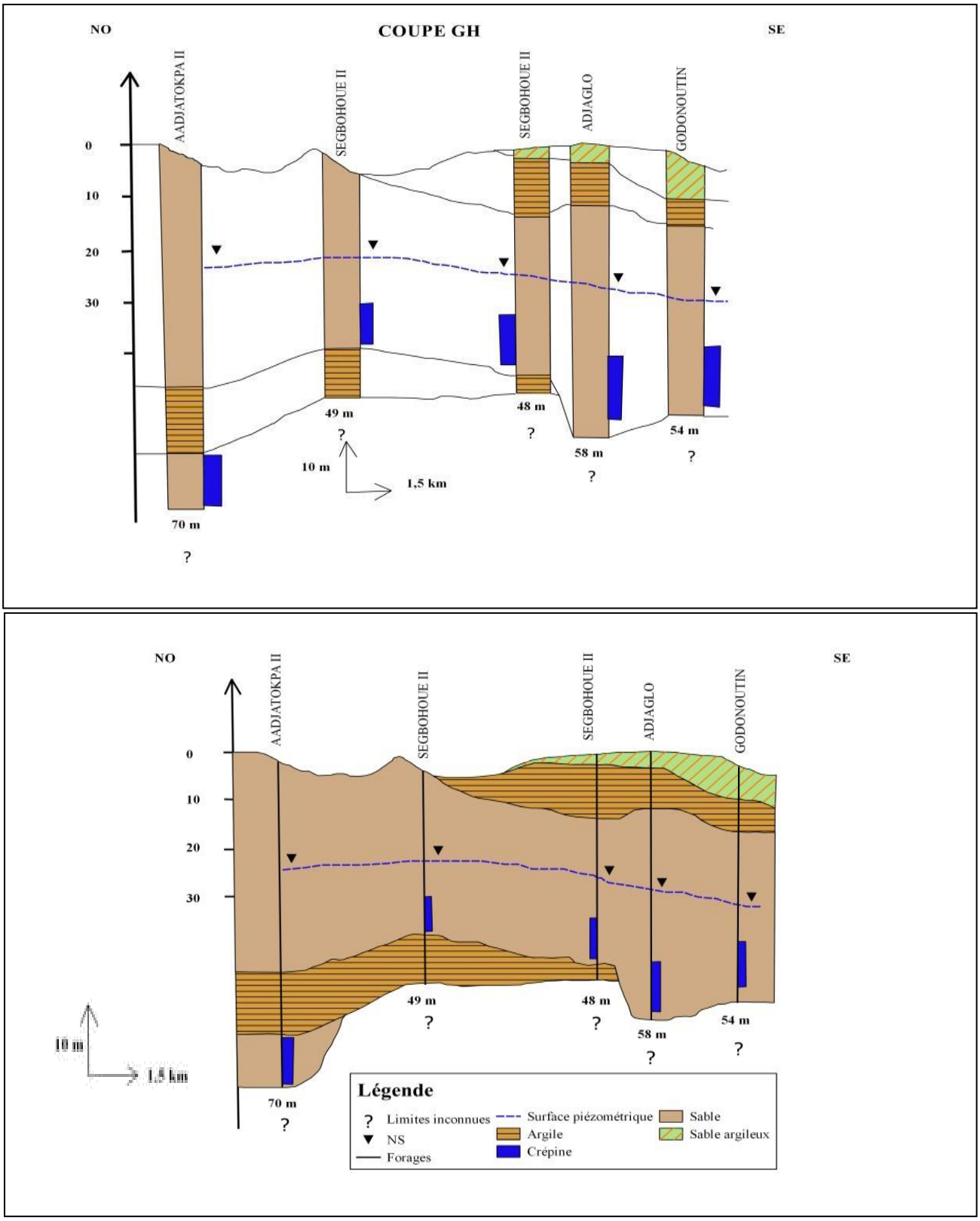


Figure 13 : Corrélation lithostratigraphique (a) et coupe hydrogéologique (b) suivant le trait de coupe GH de direction Nord-Ouest - Sud Est de la figure 9. (DAKPO,2019)

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

Dans cette section nous présenterons les différentes données utilisées dans le cadre de ce travail ainsi que le traitement des données réalisé et la méthodologie adoptée pour aboutir aux résultats obtenus. La base des données constituée est composée des données hydrogéologiques et hydrochimiques.

2.1- MATERIEL

Le matériel utilisé se présente comme suit

- GPS Garmin (MAP 64) pour la prise des coordonnées sur terrain des ouvrages
- Sonde piézométrique pour la mesure des niveaux statiques
- Un appareil photo pour la prise des photos
- Un calepin pour les notes
- Une bande adhésive pour étiqueter les échantillons
- Les appareils du laboratoire pour l'analyse des échantillons
- Ordinateur muni des logiciels pour le traitement des données (Excel pour l'édition de texte ; Qgis 3.30.3 pour la réalisation des différentes cartes ; Diagrammes version 6.7 du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon (Simler, 2007) servant à la visualisation triangulaire des faciès hydrogéochimiques) et la saisie (Word).
- R Studio version 3.6.0 pour les analyses statistiques multivariées ;

2.2- METHODOLOGIE DE L'ETUDE

La démarche méthodologique utilisée est axée sur la collecte des données, les travaux de terrain, de l'analyse et le traitement des données recueillies.

2.1.1- Collecte de données

La recherche documentaire a été la première étape de collecte de données de cette recherche. Elle a porté sur les mémoires, thèses, les publications et les rapports des années antérieures et sur des sites internet appropriés. Cette phase nous a permis de bien nous imprégner du sujet et de définir une orientation dans la collecte des échantillons sur le terrain.

2.1.2- Travaux de terrain

Les travaux de terrain se sont déroulés du 10 au 14 octobre 2023. Ces travaux ont porté sur la prise des mesures du niveau statique, des mesures in situ des paramètres physico-chimiques tel que le PH, la température (T°C), la conductivité électrique (CE) et également sur le prélèvement des échantillons. Au cours de notre campagne d'échantillonnage et de mesures, 65 puits ont été identifiés et 10 échantillons ont été prélevés dans chaque arrondissement de la commune de Kpomassè uniquement au niveau des puits en raison de la forte consommation de l'eau de puits par les habitants.



Planche : Mesure des niveaux statiques des puits dans la commune de Kpomassè

- **Echantillonnage**

Dans l'objectif de suivre la qualité des eaux produites par les ouvrages hydrauliques, des prélèvements ont été effectués sur les eaux souterraines captées par les puits et ramenés au laboratoire pour procéder à leurs analyses physico-chimiques. Pour le prélèvement, nous nous sommes assurés que les ouvrages fonctionnent et sont intensément utilisés par la population pour

leurs besoins quotidiens. Les coordonnées satellitaires ont été prises à l'aide d'un GPS GARMIN sur les différents points d'eau à échantillonnés. Les échantillons d'eau prélevés sont mis dans des bouteilles en polyéthylène étanche de capacité 1,5 L dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon. Les bouteilles d'eau sont ensuite étiquetées à l'aide d'un ruban sur lequel est inscrit le nom du point d'eau, l'origine de l'eau (puits ou forages), la date et l'heure du prélèvement. Ils sont conservés dans une glacière (2°C à 4°C) jusqu'au moment de l'analyse. Les paramètres physico-chimiques in-situ portent sur la température, le pH, la conductivité, ont été mesurés à l'aide d'un multi-paramètres de marque HANNA.

La figure ci-dessous montre la répartition des sites de prélèvements des échantillons dans la commune de kpomassè.

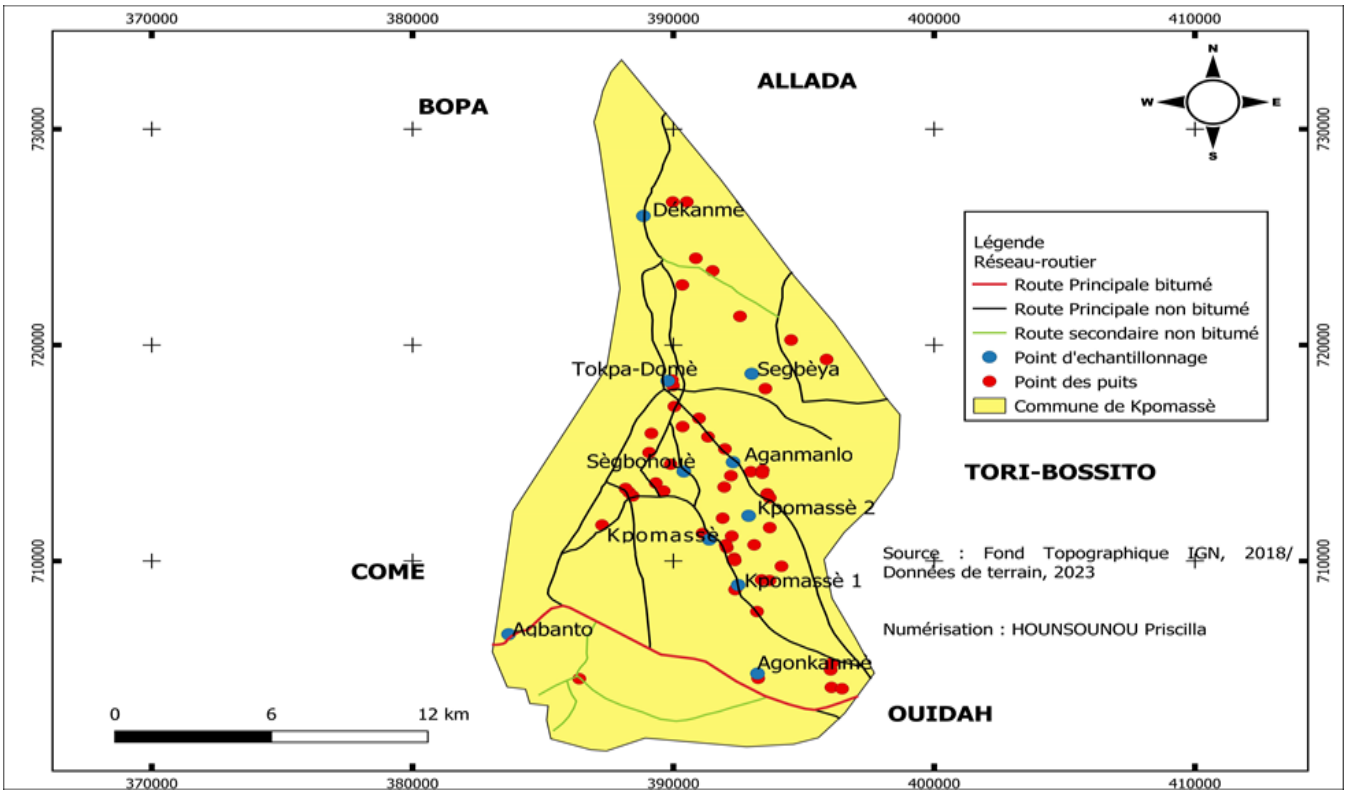


Figure 14 : Carte de localisation des points d'échantillonnage

- **Analyse au laboratoire**

Les analyses chimiques ont été faites au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) de l'Université d'Abomey-Calavi et concernent les ions majeurs Na^+,K^+ , Ca^{2+}, Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+. Ils ont été analysés par la méthode volumétrique et spectrophotométrique.

Dosage des bicarbonates : Le dosage des bicarbonates s'est fait par la méthode volumétrique. Elle est basée sur la neutralisation des bicarbonates dans 100 ml d'eau par l'acide chlorhydrique en présence d'un indicateur coloré (indicateur mixte) (Rodier, 2009).

Dosage du sulfate : Le dosage du sulfate, la méthode utilisée est la méthode néphélométrique. Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Ce précipité est stabilisé à l'aide d'une solution de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes de sulfates sont mesurées au spectrophotomètre d'absorption moléculaire (Zogo, 2016).

Dosage du calcium : On a utilisé dans ce dosage, la méthode volumétrique. Elle est basée sur la neutralisation des calciums par la liqueur complexométrique en présence d'acide chlorhydrique, d'un indicateur et du NaOH (Zogo, 2016).

Dosage du chlorure : Pour ce dosage, la méthode volumétrique est celle utilisée. A cet effet, on dosera le chlore combiné à l'état chlorure par le nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur coloré (Zogo, 2016).

2.2.1- Traitement des données hydrogéologiques

- **Méthode de réalisation de la carte piézométrique**

Sur le terrain, le niveau statique du puits considéré est mesuré avec une sonde piézométrique par rapport à la margelle, de même que la hauteur de cette dernière. Celle-ci est mesurée au droit de l'emplacement où la mesure du niveau a été effectuée. Le niveau statique par rapport au sol est obtenu par la relation suivante :

NS/sol (m) = NS/margelle (m) – hm (m) (Equation 1) ; avec :

- NS/sol, le niveau statique mesuré par rapport au sol ;

- NS/margelle, le niveau statique mesuré par rapport à la margelle ;

- hm, la hauteur de la margelle

Pour la réalisation de la carte piézométrique, il s'agira d'éliminer les puits où les niveaux statiques n'ont pas pu être relevés et de déduire, à partir des altitudes, les niveaux piézométriques devant servir de données d'entrée pour la réalisation de la carte piézométrique.

2.2.2- Traitement des données statistiques

Les résultats des analyses physico-chimiques ont été traités par des méthodes d'analyse statistique multivariée couplées aux méthodes hydrochimiques. La méthode hydrochimique a nécessité l'utilisation du diagramme de Piper réaliser sous le logiciel « Diagrammes », pour l'identification des faciès chimiques des eaux. Ce diagramme est beaucoup utilisé en hydrochimie et donne des résultats satisfaisants (Ahoussi et al., 2013 ; Kouzana et al., 2007 ; Kolsi et al., 2013 ; Lasm et al., 2012 ; Oga et al., 2009). La seconde approche est fondée sur l'utilisation de la statistique multivariée à partir de l'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN). L'analyse statistique a été réalisée sur les 10 échantillons avec 11 variables (la conductivité électrique (CE), la température (T°C), le pH, Cl, NO_3, SO_4, HCO_3, Na, K, Mg, Ca) à l'aide du logiciel R Studio. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque (Biémi, 1992). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances et la position graphique que pourraient présenter deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution. Les différentes méthodes utilisées dans cette étude permettront de connaître, d'une part, le mécanisme de minéralisation des eaux souterraines de la zone étudiée et, d'autre part, les relations qui existent entre ces ressources en eau et les activités.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1- RESULTATS

3.1.1- ETUDE STATIQUE ET PIEZOMETRIQUE

Une compagne de mesures des niveaux d'eau des aquifères captés a été réalisée dans la zone d'étude en 2023, le niveau statique des puits à grand diamètre a été mesuré par la sonde piézométrique. Les cordonnées des puits ont été déterminés par le GPS et référenciés selon le système de projection GW 84. Le Niveau statique (NS) permet de connaître la profondeur de la nappe et surtout de suivre son évolution. Au cours d'une année, précisément lors de notre campagne, nous avions relevé les différentes profondeurs trouvées, ce qui nous permet de réaliser des courbes de niveau piézométriques. Ces courbes nous permettent de connaitre la santé de la nappe lorsque des relevés de niveau statique sont fait périodiquement permettant de savoir si la nappe subit un déficit ou pas. Mais aussi, ces courbes permettent de déterminer le sens de l'écoulement des eaux souterraines, dont la connaissance est très importante dans diverses études.

3.1.1-1- NIVEAUX STATIQUES

La figure de la carte illustre la répartition spatiale des niveaux d'eau dans les puits de la zone d'étude. Cette carte indique de façon générale le comportement de la nappe en période de basses eaux. Les niveaux statiques ont été mesurés dans les puits à grand diamètre et se situe entre 17,2 et 85,47m dans les localités de Dédomè II et Agbanto. On remarque sur cette carte que la profondeur de la nappe du continental terminal est élevée au Nord (environ 80m) puis décroit au fur et à mesure qu'on descend dans le sud avec une valeur inférieure à 20m.

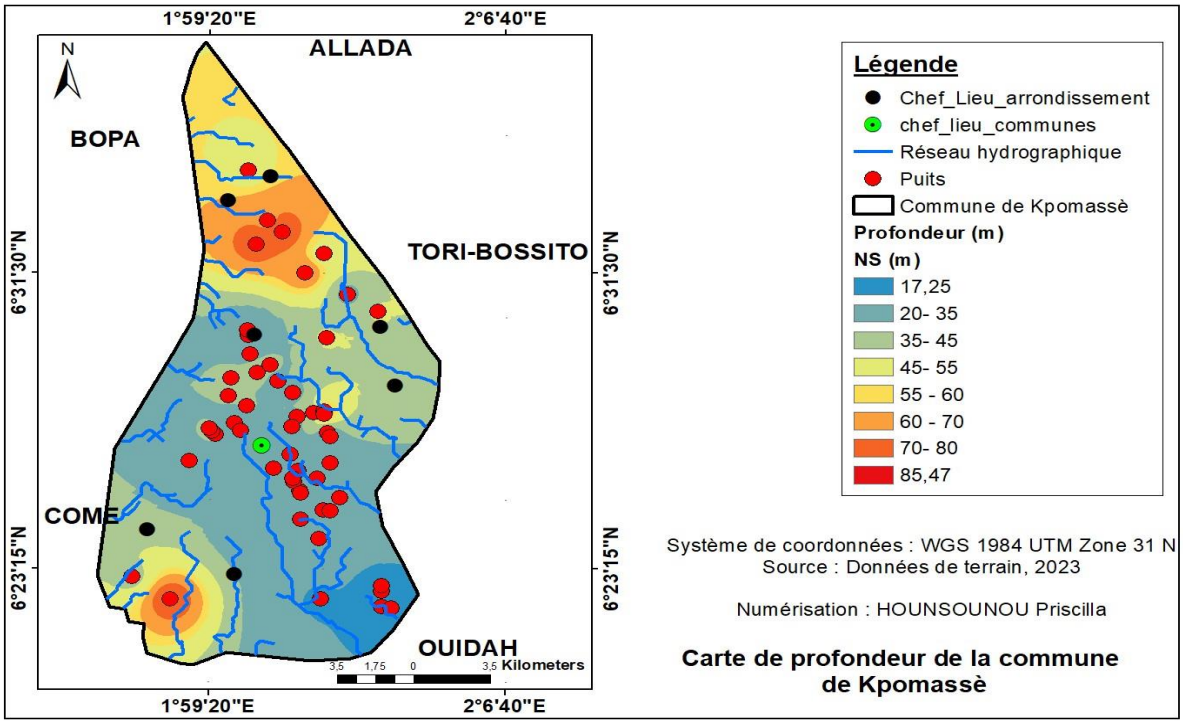


Figure 15: Carte de profondeur du toit de la nappe de la commune de Kpomassè

3.1.1.2- ETUDE PIEZOMETRIQUE

Dans le but de mieux comprendre le sens de l'écoulement de la nappe, nous avons établi une carte piézométrique de notre zone d'étude. L'analyse cette carte piézométrique montre que l'écoulement de la nappe du continental terminal se fait de façon radiale compte tenue de la présence des dômes qui renvoie l'eau vers les dépressions piézométriques. Au sud-ouest un dôme piézométrique est observé alors qu'une dépression au nord-ouest observée. On note également des courbes de niveau avec une équidistance de 4m des niveaux piézométriques situés entre 4 à 64m constatées dans les localités Kpomassè et d'Agbanto. L'écoulement de la nappe s'effectue vers les dépressions du Nord-ouest ou la nappe est drainée vers le lac Ahémé.

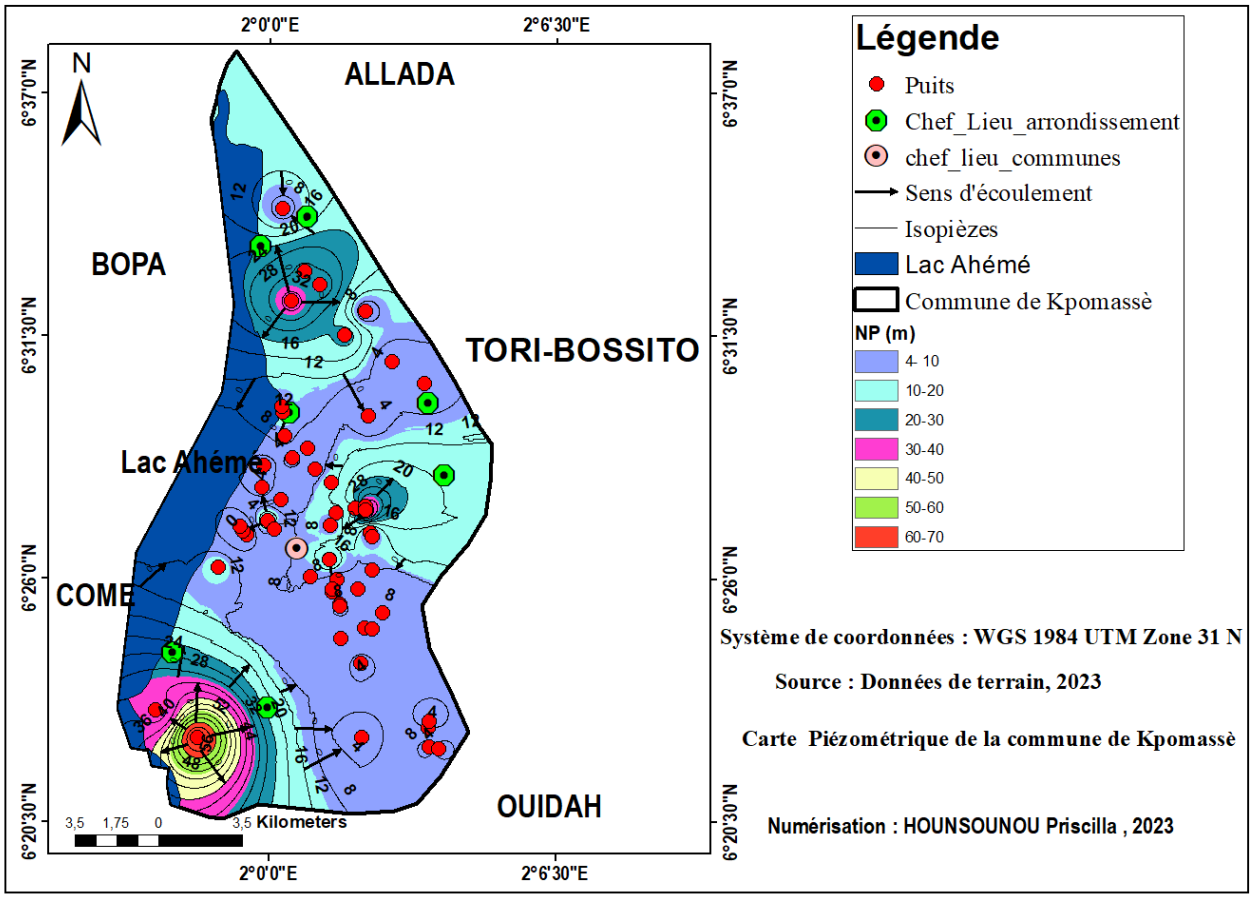


Figure 16: Carte piézométrique de la commune de Kpomassè

3.1.2- Résultats des analyses hydrochimiques

Les paramètres in situ ainsi que les résultats des analyses chimiques des eaux échantillonnées dans la commune de Kpomassè ont donné les résultats récapitulés de la manière suivante.

3.1.2.1-Paramètres physiques des eaux souterraines

- **Température**

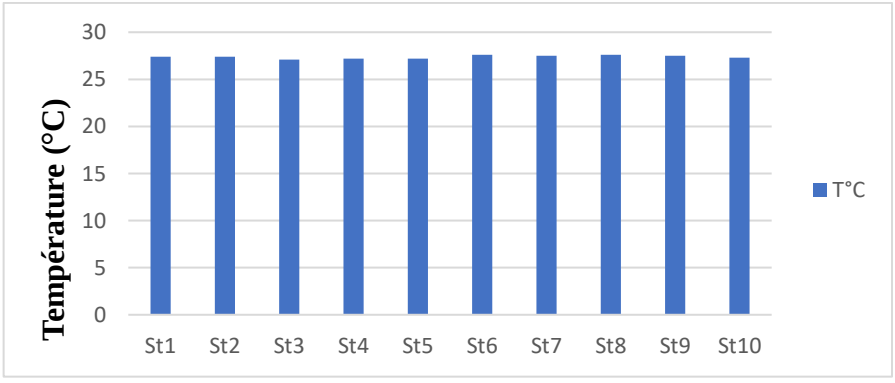


Figure 17 : Valeurs de la température des eaux souterraines

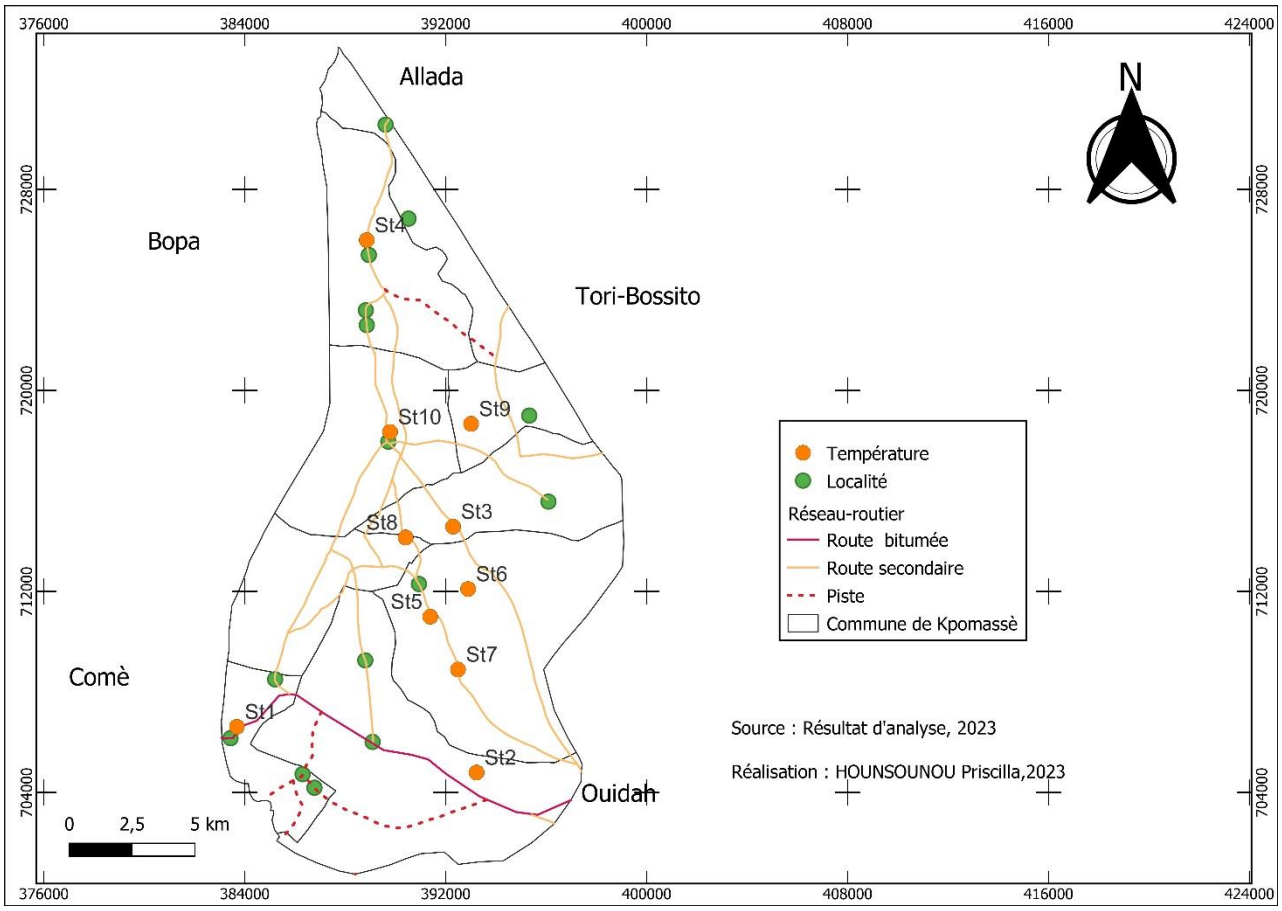


Figure 18 : Variation spatiale de la Température des eaux souterraines de la commune de Kpomassè

Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la température (Figure 17 et 18). Dans notre zone d'étude, nous avons remarqué que la température varie entre 27,1 et 27,6°C avec une moyenne de 27,38°C. La valeur minimale de la température est observée au niveau de St3(Aganmalomè) et la valeur maximale au niveau de St6 (Kpomassè centre 2) et St8 (Sègbohoué). Ces valeurs traduisent la température du milieu ambiant. On note par ailleurs que les valeurs obtenues sont relativement les mêmes que celles qui prévalent dans la région pendant la période de notre étude.

❖ **Potentiel d'Hydrogène**

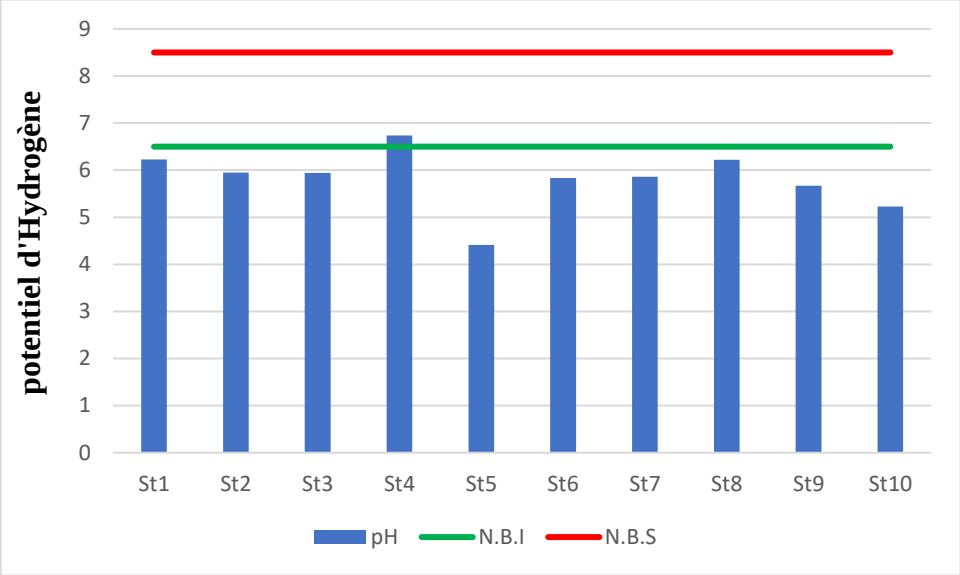


Figure 19 : Valeurs du potentiel d'Hydrogène des eaux souterraines

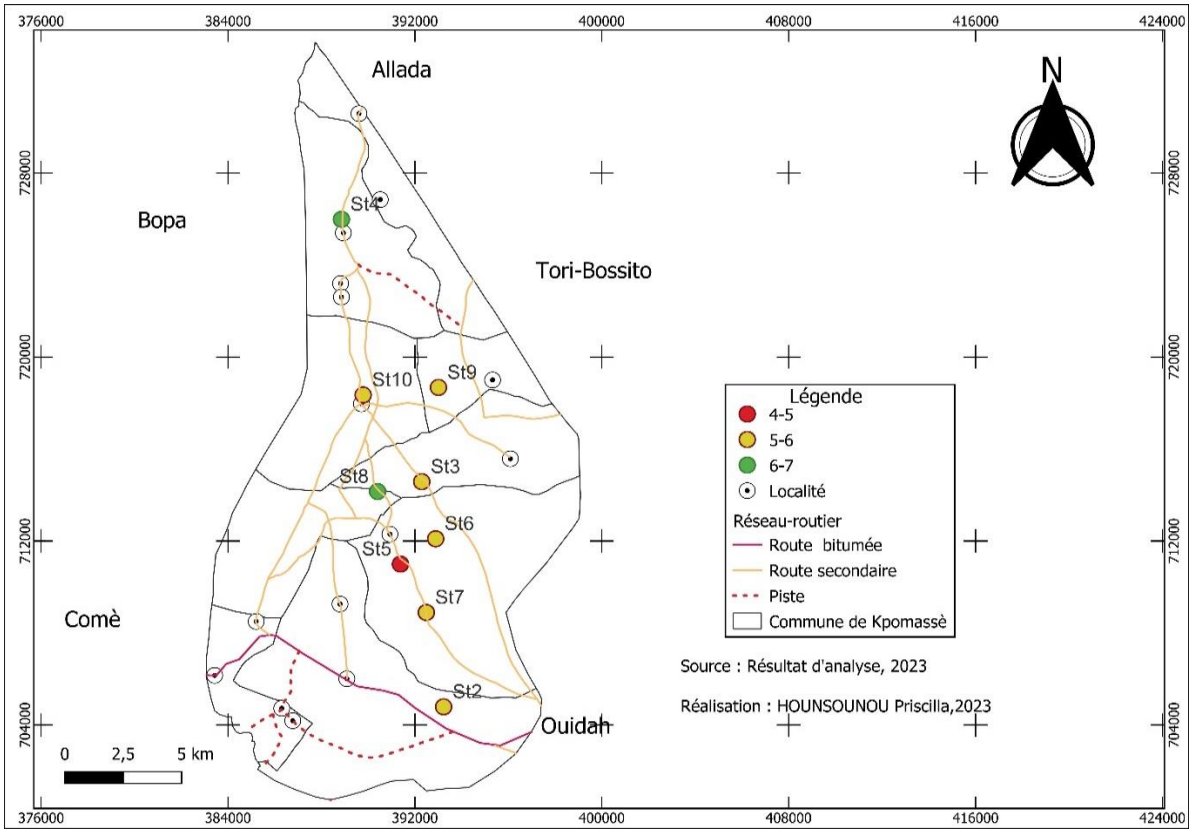


Figure 20 : Variation spatiale du pH des eaux souterraines dans la commune de Kpomassè

Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation du pH (Figure 19 et 20). Les valeurs du pH de nos échantillons changent en fonction du site échantillonné. Les potentiels d'hydrogène obtenus se situent entre 4,41 et 6,74 avec une moyenne de 5,80. La plus faible valeur est enregistrée à Kpomassè centre 3(St5) et la plus grande à Dékanmè (St4). Une comparaison avec les normes de qualité de l'eau potable en république du Bénin selon le décret n°2001-094 du 20 Février 2001, fixant le pH entre 6,5 et 8,5 permet de conclure que ces eaux ne respectent pas lesdites normes de qualité excepté l'échantillon St4 et sont majoritairement acides.

❖ **Conductivité électrique**

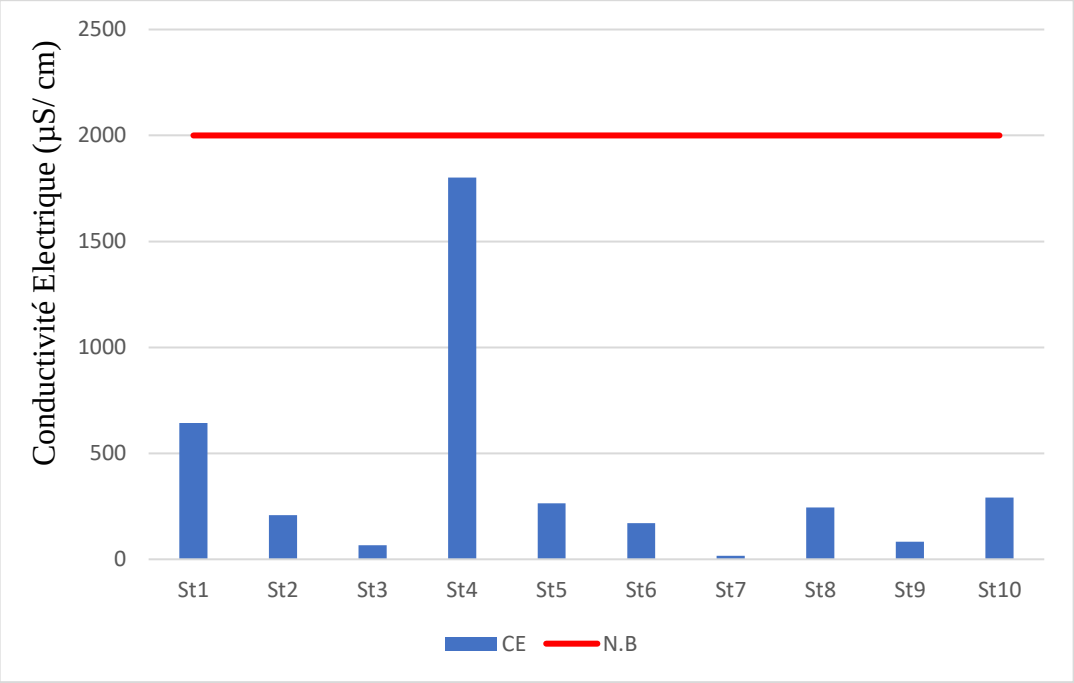


Figure 21 : Valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines

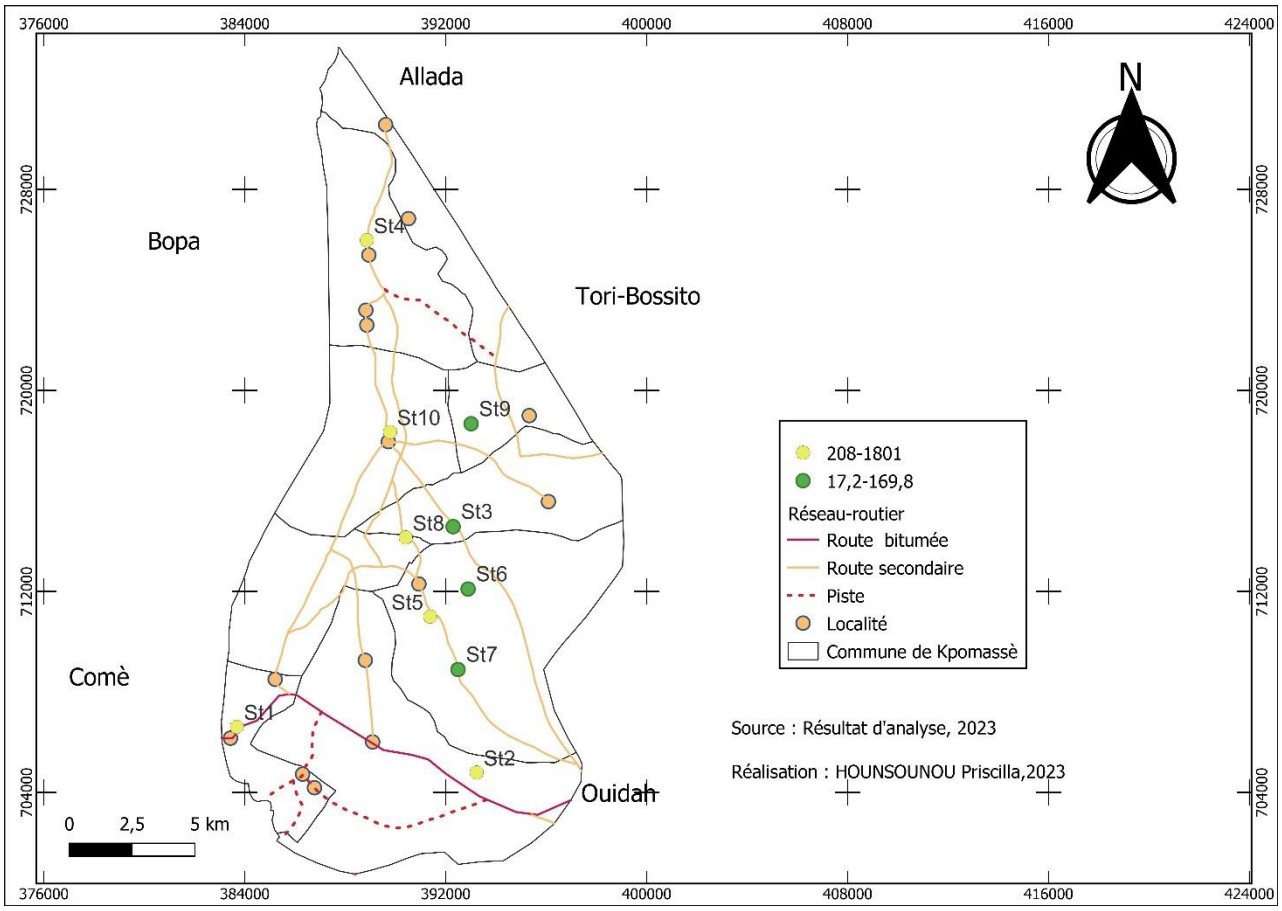


Figure 22 : Variation spatiale des conductivités électriques des eaux souterraines de la commune de Kpomassè

Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la conductivité électrique (Figure 21 et 22). Les valeurs enregistrées durant la période d'étude varient de 17,2 à 1801 µS/ cm pour la conductivité à une température variable entre 27,1°C et 27,6°C avec une moyenne respective de 378,83 µS/cm. La plus forte valeur est obtenue au site St4 (Dékanmè). Les valeurs trouvées sont en conformité avec les normes. La plupart de ces eaux ont une faible conductivité donc contiennent moins de matières solides dissoutes et sont par conséquent peu minéralisées, donc susceptibles d'être agressives. Une eau douce associée à un pH acide donne une eau agressive.

3.1.2.2- Paramètres chimiques des eaux souterraines

Le tableau 4 nous présente les résultats des paramètres chimiques des eaux souterraines.

Tableau 4 : Résultats des paramètres chimiques

Paramètres Chimiques (mg/L)	Norme	Min	Moy	Max
Ca^{2+}	100	4,28	48,629	242,79
Na^{+}	100	2,36	18,28	127,35
Mg^{2+}	50	1,74	8,191	34,86
K^{+}	10	0,83	8,37	58,18
Cl^{-}	250	25,56	82,857	383,40
HCO_3^{-}	-	12,30	35,055	61,50
NO_3^{-}	50	1,109	24,933	159,990
SO_4^{-}	400	0	13,805	51,277
PO_4^{3-}	0,2	0	3,886	7,641

- **Cations majeurs**

Les teneurs en calcium varient entre 4,28 mg/l et 242,79 mg/l avec une moyenne de 48,629 mg/l. Les valeurs de soduim obtenues varient entre 2,36 mg/l et 127,35 mg/l avec une moyenne de 18,28 mg/l. Le potassium présent varient entre 0,83 mg/l et 58,18 mg/l pour une moyenne de 8,37 mg/l . Les valeurs de magnésium obtenues sont en de faibles proportions et oscillent entre 1,74mg/l et 34,86mg/l. Les plus faibles valeurs sont obtenues à Aganmaolomè et les plus fortes à Dékanme.

- **Anions majeurs**

Tout comme les cations majeurs, les anions existent a des doses moyennes dans les eaux souterraines de la commune de Kpomassè. Les teneurs en chlorure vaient entre 25,56 mg/l et 383,40 mg/l avec une moyennes de 82,85 mg/l. Les bicarbonates affichent des teneurs comprises entre 12,30mg/l et 61,50 mg/l avec une moyennes de 35,055 mg/l. Les taux de nitrate enrégistrés varient entre 1,109 mg/l et 159,99 mg/l pour donner une valeur moyenne de 24,93 mg/l . Le sulfate et l'orthophosphate présents en faible proportion varient respectivements entre 0 et 51,27 mg/l ; 0 et 7,64 mg/l pour des valeurs moyennes respectives de 13,805 mg/l et 3,886 mg/l.

Parmi les éléments majeurs, les principaux ions sont le calcium pour les cations et le chlorure pour les anions. En considérant les valeurs moyennes en mg/l, l'ordre d'importance des principaux ions présents dans les eaux échantillonnées se résument comme suit :$Ca^{2+} > Na^{+} > K^{+} > Mg^{2+}$ pour les

cations et $Cl^{-}>NO_3^{-}>HCO_3^{-}>SO_4^{2-}>PO_4^{3-}$ pour les anions. Notons également que l'ensemble des échantillons ont des concentrations en éléments majeurs (Ca^{2+} ;Na^{+} ; K^{+} ;Mg^{2+} ; Cl^{-} ;NO_3^{-} ;HCO_3^{-} ;SO_4^{2-}, PO_4^{3-}) faibles situées en dessous des normes maximales admises par l'OMS, sauf pour les nitrates et les orthophosphates qui sont très présents à Dékanmè, ce qui met en évidence la contamination des eaux par les activités anthropiques.

3.1.3- Classification hydrogéochimique des eaux

Dans le but de déterminer les différents types d'eau du point de vue de leurs faciès, les compositions chimiques des échantillons analysés ont été reportées sur le diagramme de piper (Piper,1944). La Classification hydrogéochimique des eaux souterraines échantillonnées met en évidence deux types de faciès à savoir :

- Chloruré calcique (ClCa) : 80%
- Bicarbonaté calcique (HCO3Ca) : 20%

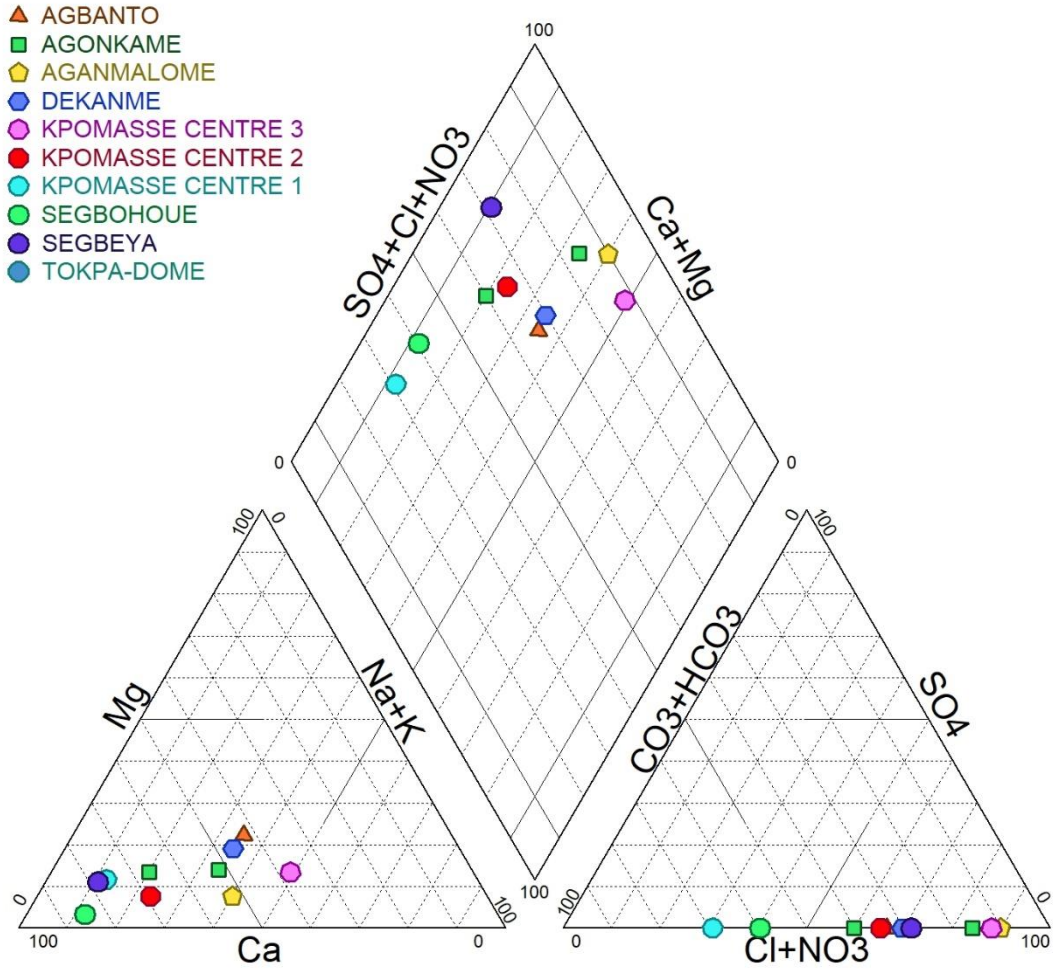


Figure 23: Classification des eaux par le diagramme de piper

Notons que les eaux chlorurées calcique sont observées dans huit (08) localités (Agbanto, Agonkanmè, Aganmalomè, Dékanmè, Kpomassè-centre2, Kpomassè-centre1, Sègbéya, Tokpa-Domè) et les eaux bicarbonates calcique dans deux (02) localités (Kpomassè-centre1 et Sègbohoué).

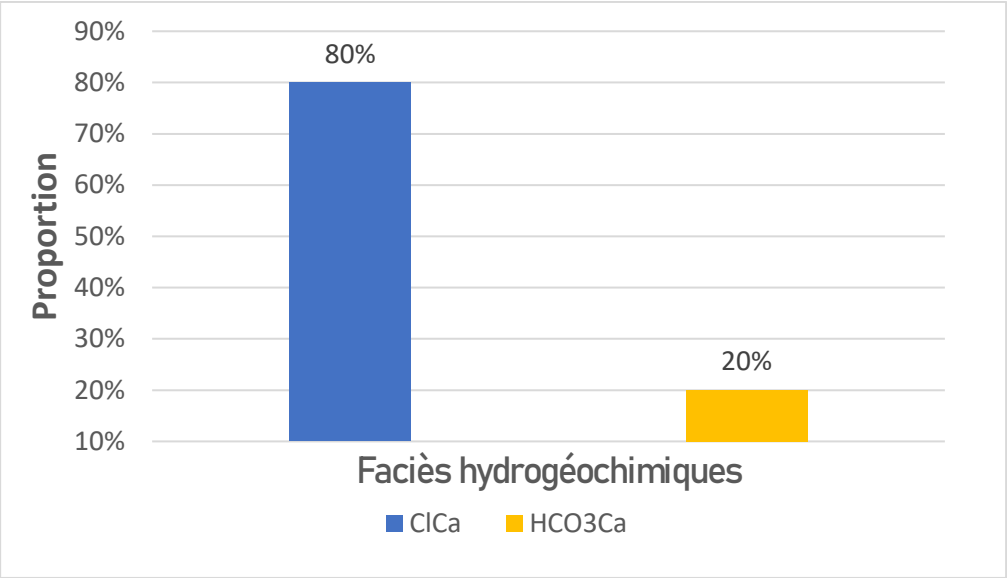


Figure 24: Représentation des faciès hydrogéochimiques des eaux souterraines de la commune Kpomassè

L'analyse de ce graphe nous a permis de distinguer deux grandes familles d'eau suite à la projection des points représentatifs d'échantillons d'eau dans le diagramme de piper que sont : les eaux chlorurées et les eaux bicarbonatées lesquelles présentent deux sous grandes familles : les eaux chlorurées calcique (80%) qui sont les plus abondantes dans la commune, les eaux bicarbonatées calcique (20%).

3.1.4 - Résultats de l'analyse statistique multivariée

Les processus influençant l'hydrochimie des eaux souterraines étant très variés, leurs études requièrent donc nécessairement l'application des méthodes multivariées. Dans cette partie, nous utiliserons à l'aide d'une méthode statistique multivariée (ACP), les différentes corrélations entre les éléments chimiques pour identifier les différents pôles de minéralisation et de pollutions des eaux souterraines.

Le tableau 5 représente les deux facteurs avec leurs valeurs propres et les différents pourcentages exprimés.

Tableau 5 : valeurs propres et pourcentage de variances cumulées

Axe principal	F1	F2
Valeurs propres	8,45	1,59
Variance propre	76,83	14,47
Variance cumulées (%)	76,83	91,30

On constate que le premier facteur F1 exprime à lui seul 76,83% de la variance exprimées par leurs valeurs propres de l'ACP et donc contient une quantité importante d'information contrairement au Facteur F2 qui n'exprime que 14,47 %. Ces deux facteurs (F1xF2) totalisent 91,30 % de la variance totale exprimée ce qui est très significatif pour l'observation du comportement globale des échantillons. Au vu de ces pourcentages exprimés, le mécanisme qui contrôle l'évolution chimique des eaux de la zone étudiée sont largement contenus dans ces deux, principalement le facteur F1. De ce fait l'analyse portera sur ces deux facteurs dans la mesure où l'ACP de la zone n'est valable que si le pourcentage de variance totale cumulée est supérieur à 70%. Notons donc que le pourcentage cumulé de ces deux facteurs est de 91,30 % (> 70%).

Corrélation entre les variables

La représentation à l'aide des deux facteurs rend compte de manière satisfaisante de la structure des nuages de points. La liaison existante entre toutes les variables prises deux à deux et les coefficients de corrélation entre ces différentes variables sont donnés dans le tableau 6.

Tableau 6 ; Matrice de corrélation entre les variables

Variables	T°C	pH	CE	Ca2	Mg2	HCO3	NO3	Cl	NH4	SO4
T°C	1									
pH	0,19114751	1								
CE	-0,35168622	0,5152671	1							
Ca2	-0,18891647	0,61281285	0,9330953	1						
Mg2	-0,33427405	0,56249292	0,9793895	0,90250694	1					
HCO3	0,22494352	0,6806282	0,51442683	0,53537829	0,60951087	1				
NO3	-0,36271252	0,55730712	**0,98206432**	0,94730755	**0,9782956**	0,5199013	1			
Cl	-0,43476143	0,39770687	0,97695002	0,9306802	0,94806929	0,41185274	0,977108072	1		
NH4	-0,70665555	0,16149443	-0,39195207	-0,56328676	-0,35588905	-0,56756039	-0,232493201	-0,38815157	1	
SO4	-0,5304808	0,66600605	0,97144669	0,87672436	**0,98480364**	0,77408844	**0,970418502**	0,92676433	0,9514376	1

L'analyse de ce tableau révèle des corrélations faibles et négatives, faibles, fortes et positives entre les variables. Ainsi la CE présente de très fortes corrélations avec NO_3 (0,982), Mg (0,979), Cl (0,976), SO_4 (0,971), Ca (0,933) et une moyenne corrélation avec HCO_3 (0,514) et le pH (0,515). Il existe également une forte corrélation entre Ca et NO_3 (0,946), Cl (0,930), Mg (0,902), $S0_4$ (0,876) et une moyenne corrélation avec HCO_3(0,535). On note par ailleurs une bonne corrélation entre Mg et SO_4 (0,984), NO_3 (0,978), Cl (0,948) et une moyenne avec HCO_3 (0,609). Le HCO_3, SO_4 (0,774) et NO_3 (0,51) sont moyennement corrélés entre eux. On peut néanmoins relever une bonne corrélation existante entre NO_3 et Cl (0,977), $S0_4$ (0,970) ; Cl et $S0_4$ (0,926) et entre NH_4 et $S0_4$

(0,951). Il existe de très faible corrélation négative mais pas significative. L'analyse des variables dans le factoriel F1xF2 est présenté par la figure 25. Le cercle du factoriel F1xF2 (figure25) montre que le facteur F1 est déterminé dans sa partie positive par le groupe des variables : CE, $Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-$ et à moindre degré par les variables $HCO_3^- et\ pH$. Par contre le facteur F2 est présentée dans sa partie positive par la variable température. De ce fait deux pôles ont été identifier sur le cercle : le pôle de minéralisation et de pollution défini par l'axe F1 et le pôle de température attribué au facteur F2. On constate que plus la conductivité est élevée plus les ions sont abondants et le taux de pollution est élevé. Les corrélations existantes entre CE et la majorité des variables soutenues par la minéralisation, montrent une influence de l'altération-hydrolyse dans la mise en solutions des ions. La présence de Cl^- et NO_3^- dans les eaux souterraines exprime l'influence des activités anthropiques dans l'acquisition de la minéralisation.

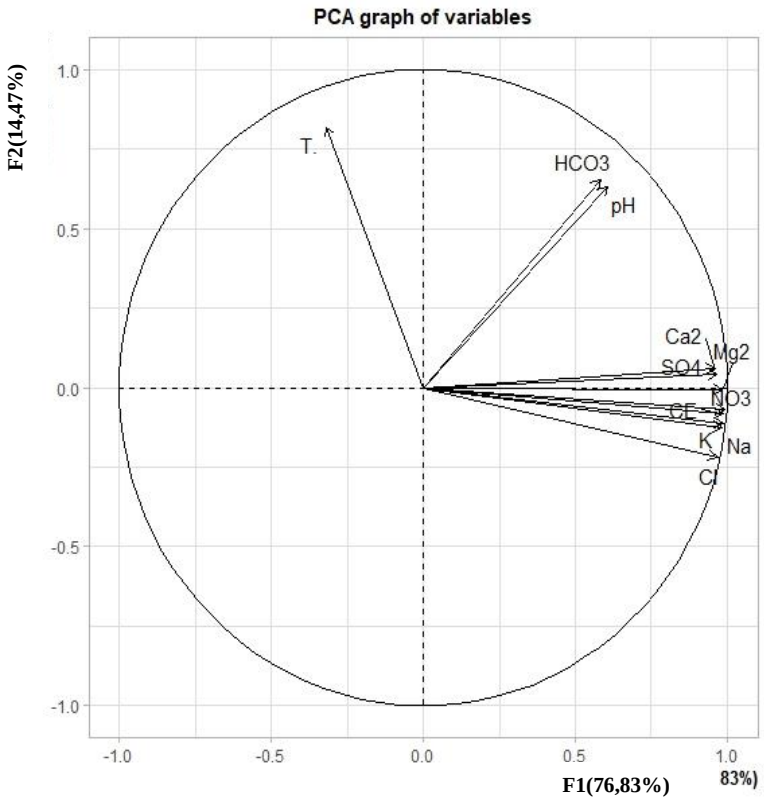


Figure 25: Analyse de l'ACP dans le plan factoriel F1xF2

La figure 26 présente l'analyse de l'espace des individus du factoriel F1xF2. L'analyse de la projection des individus sur le plan factoriel F1xF2 (Figure 26) révèle que la répartition des échantillons se fait en trois regroupements des paramètres étudiés dans l'eau souterraine. Le premier regroupement concerne les zones dont les puits sont caractérisés par les eaux fortement minéralisées et polluées. Le second regroupement rassemble les zones à forte température attribuant donc le

caractère chaud de ces eaux. Le troisième regroupement est marqué par les échantillons faiblement minéralisés et moins chaud (Figure 26).

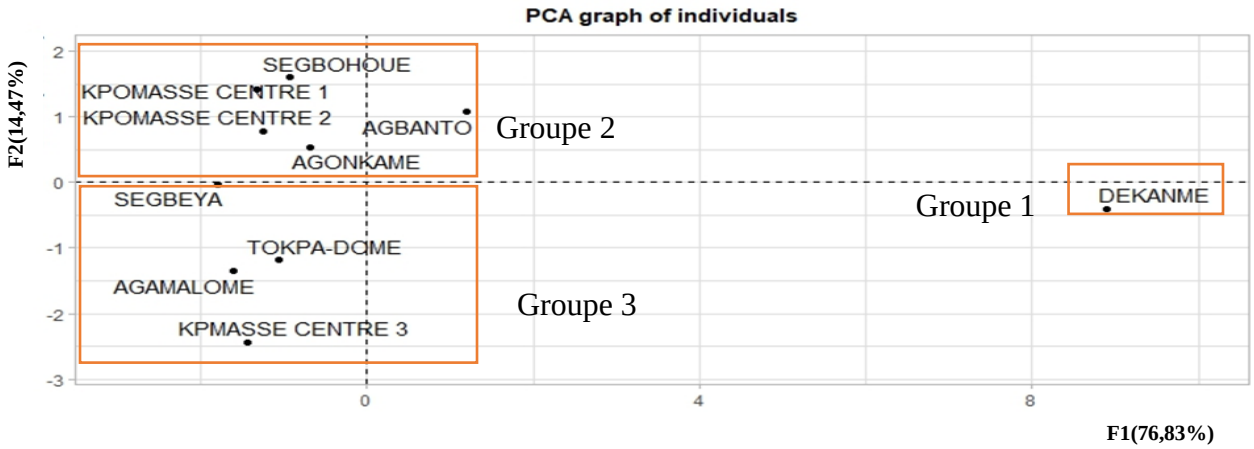


Figure 26: Analyse de l'espace des individus du factoriel F1xF2

3.2-Discussion

L'analyse hydrogéologique des eaux souterraines de la commune de Kpomassè révèle que les niveaux statiques de la zone d'étude varient de 17,2 m au Sud à 85,47m au Nord , en particulier dans les localités de Agbanto et Dédomè II . Cette diminution vers le sud est attribuée à la présence de zones marécageuses, tandis que la profondeur maximale de la nappe est atteinte au nord de la commune, dans l'aquifère continental. Le flux des eaux dans cette région s'oriente des dômes piézométriques vers les dépressions piézométriques, avec des altitudes variantes entre 4 m et 64 m, constatées dans les localités de Kpomassè et d'Agbanto.

L'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de l'aquifère de la commune montre que, dans l'ensemble, ces eaux présentent des valeurs conformes aux normes recommandées par l'OMS pour une eau de consommation. Cependant, il est à noter que le point d'eau de Dékanmè présente des concentrations en nitrates (159,99 mg/L) et en phosphate (7,64 mg/L) dépassant les normes de l'OMS de 50 mg/L et 0,2 mg/L. Par conséquent, ces eaux ne sont pas recommandées pour la consommation afin de prévenir d'éventuels risques de maladies. Le nitrate est un polluant commun des eaux souterraines, il est généralement issu de l'agriculture (utilisation des engrais), des eaux usées domestiques et des fumures animales Yuan et al., (2017). De même les teneurs élevées en phosphates constituent selon l'auteur Eblin et al., (2014) un indice de pollution. La présence de ces deux éléments (nitrates et phosphates) dans une eau souterraine dénote de l'influence des apports anthropiques sur la qualité des eaux souterraines. Certains auteurs comme Béchir et al., (2017), Blé et al, 2016, Benaricha et al, (2017), ont établi un lien entre la dégradation des nappes et la pression anthropique. Selon eux, le rejet d'effluents domestiques et le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides en sont les causes. La zone d'étude étant une zone agricole, la présence des nitrates dans ces eaux serait due aux activités agricoles utilisatrices d'engrais chimiques.

Le pH moyen des eaux souterraines est de 5,80, indiquant un caractère acide de ces eaux. La valeur obtenue pour le pH n'appartient à la norme fixée par l'OMS qui est de (6,5-8,5). Cette acidité est peut-être en accord avec la nature lithologique principalement siliceuse du réservoir aquifère (roches acides). Ces résultats sont cohérents avec les conclusions de l'étude menée par DAKPO en (2019), qui avait également mis en évidence l'acidité des eaux souterraines de la commune de Kpomassè. En effet, selon Tapsoba (1995), Matini et al. (2009), et Ahoussi et al. (2010), l'acidité des eaux en

zone tropicale humide est principalement liée à la décomposition de la matière organique végétale, entraînant la production de CO2 dans les premières couches du sol. La présence de CO2 provenant des sols facilite l'hydrolyse des minéraux silicatés et la formation d'ions HCO_3^-. Les résultats de l'analyse multivariées révèlent que l'hydrolyse acide des roches est un phénomène significatif dans la minéralisation des eaux souterraines de cette zone. Selon Ahoussi et al. (2012), la présence d'ions calcium et hydrogénocarbonates dans l'eau provient de l'altération des carbonates. En outre, ces eaux sont faiblement minéralisées (378,83 µS/cm), avec une minéralisation assez à Dékanmè (1801 µS/cm). Cette faible minéralisation des eaux selon Youan Ta et *al*, (2015) pourrait s'expliquer par le caractère très peu soluble des roches encaissantes.

L'analyse hydrochimique des eaux souterraines échantillonnées, réalisée à l'aide du diagramme de Piper, a permis de distinguer deux principaux types de faciès : le faciès chloruré calcique (80%) dominant, et le faciès bicarbonaté calcique (20%). On note une prédominance des ions Chlorures (Cl^-) qui s'associe au cation Ca^{2+} et la présence des ions bicarbonates (HCO^-_3) en association avec l'ion Ca^{2+} serait une conséquence de l'attaque acide des roches. Nos résultats sont similaires à ceux obtenues par Adama et *al* en 2019 qui ont montré que les eaux de la région du Poro (zone de socle de socle) en Côte d'Ivoire sont à environ 98% hydrogénocarbonatées calciques et chlorurées calciques à 2%. La dominance des ions chlorures dans notre zone d'étude peut être due à la pollution. Une représentation graphique dans un espace factoriel a révélé trois groupes d'eaux distincts. Le premier groupe comprend des eaux fortement minéralisées avec une conductivité électrique élevée dont l'acquisition ionique est sous le contrôle de la minéralisation-temps de séjour et les eaux polluées sous l'influence des activités anthropiques. Le second regroupe les eaux chaudes sous l'influence de la température. Le troisième regroupe les eaux de faible minéralisation et moins chaude. L'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN) indiquent que la minéralisation des eaux de la commune de Kpomassè est contrôlée par trois grands phénomènes. Il s'agit de la minéralisation temps de séjour qui se traduit par la dissolution des roches, l'hydrolyse des minéraux silicatés, et l'apport anthropogénique qui influence la minéralisation en polluant les eaux.

Conclusion et suggestion

Ce travail s'est donné pour objectif l'étude de l'actualisation hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de la commune de Kpomassè. Cette étude met en évidence le sens d'écoulement des eaux souterraines de la zone qui est du sud (Kpomassè) vers le nord (Agbanto) et les différentes caractéristiques physico-chimiques des eaux. Cette étude relève que dans la commune de Kpomassè les eaux souterraines sont acides et présentent une minéralisation faible. De plus seul l'échantillon prélevé à Dékanmè montre des forts taux (159,99 mg/l ;7,64 mg/l) en nitrate et en phosphate dépassant la norme fixée par l'OMS qui est de 50 mg/L et 0,2 mg/l. Cette eau est donc polluée en nitrate et en phosphate. La classification des résultats des analyses chimiques obtenues à partir du diagramme de Piper permet d'identifier deux faciès hydrogéochimiques. Les eaux chlorurées calciques (80%) qui sont les plus importantes des eaux étudiées et bicarbonatées calcique (20%) sont les moins importantes. Du point de vu origine et processus de la minéralisation rendu possible par la méthode d'ACP, les différentes relations établies entre les différents éléments majeurs ont révélé que l'évolution de la minéralisation des eaux souterraines de la commune de kpomassè serait contrôlée par des processus naturels à savoir : la minéralisation temps de séjour qui se traduit par la dissolution des roches, l'hydrolyse des minéraux silicatés, et l'apport anthropogénique qui influence la minéralisation en polluant les eaux. Pour éviter les problèmes liés aux données géologiques, hydrogéologiques, et hydrochimiques ; il est nécessaire d'avoir une meilleure compréhension des caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère. Cela pourrait inclure l'estimation des taux de renouvellement de l'aquifère et le développement de stratégie de gestion durable pour éviter l'épuisement des ressources en eau, de sensibiliser la population sur les mauvaises pratiques de l'hygiène au niveau des ouvrages hydraulique.

Perspectives

Il convient alors de poursuivre et d'approfondir les connaissances sur la thématique afin d'apporter davantage de clarté aux résultats. Il conviendra dans la suite des travaux de :

- Cartographier les zones de l'aquifère où les risques de pollution des eaux souterraines sont plus élevés afin de mieux assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines.
- D'analyser les métaux lourds pour une base de données complète sur l'hydrochimie.
- Protéger de manière renforcée la proximité des captages d'eau en vue d'assurer une production d'eau de meilleure qualité

Références Bibliographiques

AHOUSSI , K., Youan T., Loko S., Adja M., Lasm T. et Jourda J. (2012) Étude hydrogéochimique des eaux des aquifères de fractures du socle Paléo-protérozoïque du Nord-Est de la Côte d'Ivoire : Cas de la région de Bondoukou. Afrique SCIENCE, 08(3) : 51- 68.

ALASSANE, A. (2018). Apports des outils géochimiques et isotopiques pour l'amélioration des Connaissances sur le fonctionnement du système aquifère du Continental Terminal dans le bassin sédimentaire côtier du Bénin. Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi (UAC). Bénin.

ALASSANE, A., Trabelsi, R., Dovonon, L. F., & Odeloui, D. J. (2015). Chemical Evolution of the Continental Terminal Shallow Aquifer in the South of Coastal Sedimentary Basin of Benin (WestAfrica) Using Multivariate Factor Analysis. Journal of Water Resource and Protection.

ALLE, 2019. Evaluation de l'implantation géophysique des forages d'eau en zone de socle en milieu tropical (bénin, Afrique de l'ouest) : apport de la tomographie de résistivité électrique pour la caractérisation de la cible hydrogéologique.

BECHIRB.T., KhalifaR., HoudaB. (2007) : Elimination de la turbidité par oxygénation et filtration successives des eaux de la station de Sfax (Sud de la Tunisie).Rev.Sci.Eau,20 (4) :355365.

BENARICHA B, Khaldi A, Elouissi A, Mouassa S, Zaagane M. (2017). Geochemical characterization the waters off oggaras the continental Intercalary aquifer of Timinoune region (SouthWestAlegria). J Fundam Appl Sci.9(1) :51-73.

BLE L. O. AkéG. E. SoroT.,SoroG.,KouadioE.Y.(2016).Evaluation de la Qualité Hydrochimique des eaux Souterraines de la Région de Bonoua. (Sud-EstdelaCôted'Ivoire). International Journal of Innovation and Applied Studies.14 (4):896-907

Boukari, M. (1998). Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral Béninois: Impact du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse de doctorat. Université Cheick Anta Diop (Dakar).

DAKPO Éric.(2018) . Contribution des systemes d'information geographique (sig) à la gestion quantitative et qualitative des eaux souterraines dans la commune de Kpomassè.

HOUENOU G.G. Kevin. Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines la commune de Kpomassè. Rapport pour l'obtention de diplôme de la licence professionnelle. GEN/EPAC/UAC.

HOUENOUSSI, D. A. (2020). Etude de la recharge naturelle de la ressource en eau souterraine : cas du plateau d'Allada (benin). Mémoire de Master.

KOTCHONI. (2019), recharge des aquifères de socle du bénin : identification des processus quantification et analyse de l'évolution temporelle, thèse.

MAR Bamba Ahmadou Serigne. (2018). Caracterisation hydrogeologique des aquiferes du continental terminal et de l'oligo-miocene dans la zone tambacounda-kaffrine (senegal).

OMS 2004 Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif

RGPH4. (2013), QUE RETENIR DES EFFECTIFS DE POPULATION EN 2013 ?

SAMBIENOU W.G., (2019). Contribution à la compréhension du fonctionnement et à l'évaluation des potentialités en eau du système aquifère du bassin versant de la Pendjari (Nord-Ouest du Bénin) : Apports des outils piézométriques, hydrogéochimiques, isotopiques et de la télédétection. Université d'Abomey-Calavi.

SAMBIENOU W G., Orou Pete Allou G.S., Alassane A., Mama D., B. M. (2018). Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du bassin versant de Pendjari (nord-ouest du Bénin).

www.ggl.ulaval.ca

ZOGO D. (2016). Analyse des eaux de consommation,50 pages.

ANNEXE

Annexe 1 : Données piézométriques de la commune de kpomassè

Commune	Quartier	Longitude	latitude	NS	Z	NP
Kpomassè	GBEDJEWOUIN	2°0'31,97"E	6°27'35,66"N	33	39,7	6,7
Kpomassè	MISSEBOR	2°0'15,36"E	6°27'46,45"N	37,49	42,5	5,01
Kpomassè	MISSEBOR	1°59'56,9"E	6°27'18,09"N	17,2	38,61	21,41
Kpomassè	MISSEBOR	2°0'6,77"E	6°27'6,21"N	31,32	35,5	4,18
Kpomassè	MISSEBOR	1°59'28,30"E	6°26'58,51"N	35,2	37,7	2,5
Kpomassè	MISSEBOR	1°59'19,42"E	6°27'9,80"N	35,7	38,5	2,8
Kpomassè	KPOGBEHOUE	1°58'50,04"E	6°27'9,93"N	25,2	37,55	12,35
Kpomassè	MISSEBOR	1°59'48,50"E	6°28'3,94"N	37,6	39,95	2,35
Kpomassè	AIDJEDO	1°59'51,32"E	6°28'32,93"N	38,5	40,5	2
Kpomassè	TOKPA-DOME	2°0'30,28"E	6°28'43,12"N	39,2	41,5	2,3
Kpomassè	MISSITE	2°0'50,86"E	6°28'55,92"N	37,25	42	4,75
Kpomassè	MISSITE	2°0"11,10"E	6°28'27,84	32,5	38,5	6
Kpomassè	LOKOSSA	2°1'23,09"E	6°28"9,71"N	27	38,5	11,5
Kpomassè	FIFADJI	2°1'55,40"E	6°27'35,49"N	29,5	38,2	8,7
Kpomassè	TOLANGA	2°2'16,19"E	6°27'2,10"N	28,1	32	3,9
Kpomassè	TOLANGA	2°2'19,27"E	6°26'56,08"N	25,8	34	8,2
Kpomassè	GBEDJEMIN	2°1'30,76"E	6°27'29,26"N	32,2	41,5	9,3
Kpomassè	FIFADJI	2°1'22,44"E	6°27'12,20"N	31,5	37,4	5,9
Kpomassè	FIFADJI II	2°1'20,51"E	6°26'25,29"N	19,6	40,1	20,5
Kpomassè	LOKOSSA	2°0'55,49"E	6°26'2,39"N	28,4	36,5	8,1
Kpomassè	LOKOSSA	2°1'4,00"E	6°25'52,99"N	30,33	39	8,67
Kpomassè	FANDJI	2°1'34,95"E	6°25'24,68"N	22,6	28,5	5,9
Kpomassè	SEGBOHOUE	2°1'40,15"E	6°24'45,73"N	28,3	32,5	4,2
Kpomassè	SEGBOHOUE	2°1'36,25"E	6°24'37,43"N	24,1	30,5	6,4
Kpomassè	ADJONDJA	2°2'9,49"E	6°24'52,40"N	24,5	29,5	5
Kpomassè	KPEHOUHOCOU	2°2'19,22"E	6°24'51,40"N	27,09	31,1	4,01
Kpomassè	AGOUSSOTONOU	2°2'34,18"E	6°25'12,85"N	21,9	30,4	8,5
Kpomassè	FANDJI	2°2'0,10"E	6°25'45,24"N	27,9	34	6,1
Kpomassè	FANDJI AGUEMON	2°1'38,89"E	6°25'40,69"N	33,6	34,5	0,9
Kpomassè	FIFADJI ADEKOU	2°1'48,31"E	6°25'58,33"N	27,8	34,4	6,6
Kpomassè	TOKPA-DOME HOUGBOGBA	2°1'9,41" E	6°26'11,11"N	23,9	31,5	7,6
Kpomassè	SEKOME	2°1'52,93"E	6°26'20,96"N	21,2	32,5	11,3
Kpomassè	SEKOME	2°0'19,97"E	6°29'13,47"N	34,5	44,5	10
Kpomassè	TOPKA-DOME	2°0'18,07"E	6°29'44,95"N	25,4	40	14,6

Kpomassè	TOPKA-DOME	2°0'11,41"E	6°29'52,24"N	12,81	19,5	6,69
Kpomassè	TOPKA-DOME	2°0'16,82"E	6°29'53,51"N	20,1	28	7,9
Kpomassè	COCOUDJI	2°2'3,64"E	6°24'4,63"N	22,5	25,5	3
Kpomassè	COCOUDJI	2°1'52,12"E	6°24'29,63"N	21,6	26,5	4,9
Kpomassè	WEGAN1	2°1'36,69"E	6°25'47,54"N	19,4	31,5	12,1
Kpomassè	WEGAN1	2°1'36,69"E	6°25'22,38"N	19,6	31,1	11,5
Kpomassè	WEGAN2	2°2'3,62"E	6°24'12,51"N	19,5	22,1	2,6
Kpomassè	WEGAN2	2°1'36,69"E	6°22'35,98"N	17,4	24,1	6,7
Kpomassè	WEGAN2	2°3'35,75"E	6°22'36,71"N	17,6	22,6	5
Kpomassè	WEGAN2	2°3'56,71"E	6°22'11,50"N	19,4	20,5	1,1
Kpomassè	WEGAN2	2°3'36,86"E	6°22'46,28"N	19,8	21,5	1,7
Kpomassè	ATCHAKANME	02°03'08,1"E	06°32'44,7"N	33,7	78	44,3
Kpomassè	ATCHAKANME	02°02'58,9"E	06°31'53,9"N	51,9	55,45	3,55
Kpomassè	SEGBEYA I	02°03'29.8"E	06°30'24.9"N	41,29	45,65	4,36
Kpomassè	DANZOUNME	02°02'13.7"E	06°28'03.0"N	43,14	46,68	3,54
Kpomassè	DANZOUNME	02°02'45.5"E	06°30'54.1"N	26,52	30,2	3,68
Kpomassè	AZIZONKANME II	02°00'29.5"E	06°32'16.9"N	46,06	80,25	34,19
Kpomassè	AZIZONKANME II	02°00'46.3"E	06°32'57.1"N	38,12	66,76	28,64
Kpomassè	AZIZONKANME II	02°01'07.3"E	06°32'38.2"N	52	83	31
Kpomassè	LOKOSSA	02°02'10.4"E	06°27'37.7"N	29,7	61,35	31,65
Kpomassè	LOKOSSA	02°02'09.9"E	06°27'33.1"N	29,6	85,47	55,87
Kpomassè	NOUGBOYIFI	02°05'34.1"E	06°29'18.5"N	33,38	73,48	40,1
Kpomassè	NOUGBOYIFI	02°05'46.2"E	06°29'08.0"N	39,44	44,7	5,26
Kpomassè	AGBODOHO(HINMADOU)	02°02'10.2"E	06°32'02.6"N	43,63	48,65	5,02
Kpomassè	AGBODOHO(HINMADOU)	02°01'41.6"E	06°31'29.7"N	49,38	71,23	21,85
Kpomassè	DEDOME I	02°00'17.3"E	06°34'22.0"N	42,41	48,94	6,53
Kpomassè	DEDOME II	02°01'24.7"E	06°33'07.3"N	53,34	94	40,66
Kpomassè	DEDOME II	02°00'34.8"E	06°34'22.0"N	42,41	48,94	6,53
Kpomassè	AGONVODJI-KPEVI	01°58'22.1"E	06°22'22.8"N	13,05	81,18	68,13
Kpomassè	GOGOTINKPONME	01°57'25.0"E	06°23'00.5"N	11,78	42,2	30,42
Kpomassè	GOGOTINKPONME	01°57'25.0"E	06°23'00.5"N	11,78	42,2	30,42

Annexe 2 : Résultats physico-chimiques des eaux souterraines de la commune de kpomassè

Sites d'échantillonnage	T°C	pH	CE	Ca2	Mg2	HCO3	NO3	Cl	PO4	NH4	SO4	Na	K
AGBANTO	27,4	6,23	643	29,99	15,69	61,50	36,055	85,91	0,131	0,067	22,640	18,28	6,37
AGONKAME	27,4	5,95	208	38,56	7,84	43,05	20,523	43,31	<0,001	<0,001	<0,001	8,73	2,92
AGAMALOME	27,1	5,94	66	4,28	1,74	12,30	1,109	26,98	<0,001	0,910	<0,001	2,36	0,84
DEKANME	27,2	6,74	1801	242,79	34,86	61,50	159,990	383,40	7,641	<0,001	51,277	127,35	58,18
KPOMASSE CENTRE 3	27,2	4,41	264	12,14	4,36	12,30	1,225	88,75	<0,001	0,041	0,096	11,05	4,97
KPOMASSE CENTRE 2	27,6	5,83	169,8	27,85	3,05	24,60	4,992	41,18	<0,001	<0,001	8,423	6,78	2,62
KPOMASSE CENTRE 1	27,5	5,86	17,2	25,71	3,92	61,50	1,775	25,56	<0,001	0,050	<0,001	3,06	1,09
SEGBOHOUE	27,6	6,22	245	65,70	2,61	43,05	1,572	27,69	<0,001	0,030	0,299	6,67	2,72
SEGBEYA	27,5	5,67	82,3	21,42	3,05	12,30	1,659	29,11	<0,001	<0,001	0,096	2,11	0,83
TOKPA-DOME	27,3	5,23	292	17,85	4,79	18,45	20,436	76,68	<0,001	<0,001	<0,001	8,58	3,16