

Identification de la Zone de Recharge de l'Aquifère du Crétacé Supérieur dans le Bassin Versant du Mono à l'Exutoire de Athiémé

[Identification of the recharge zone of the Upper Cretaceous aquifer in the Mono catchment area at the outlet of Athieme]

Armél Monkoude Codjo AHOSSI ^{1,3*} ; Dr Abdoukarim ALASSANE ² ; Pr Expédit Wilfrid VISSIN ^{2,3}, André ZOGO ⁴, Prudence DOSSOU ²

¹ Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi,
01 BP 526 Cotonou 01, Bénin

² Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi,
01 BP 526 Cotonou, Bénin

³ Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement, Université d'Abomey-Calavi
01 BP 526, Cotonou 01, Bénin

⁴ Partenariat National de l'Eau du Bénin, Bénin
01 BP 4392 Cotonou, Bénin



Résumé – Cette étude examine la structure et la géométrie de l'aquifère du Crétacé supérieur dans le bassin versant du Mono à l'exutoire de Athiémé afin d'en déduire les zones probables de recharge. L'approche lithostratigraphique basée sur l'analyse des corrélations lithostratigraphiques, la délimitation des affleurements de l'aquifère du Crétacé supérieur et sa piézométrie où elle affleure dans le bassin versant du Mono a été développée. A cet effet, trois coupes lithologiques ont été réalisées dans le bassin du Mono selon les directions Nord Nord Ouest-Sud Sud Est, Nord Nord Est – Sud Sud Ouest et Ouest-Est. Les corrélations lithostratigraphiques ont permis d'identifier les zones d'affleurement du Crétacé supérieur, située entre 6°42' et 6°04' latitude nord et entre 1°37' et 1°55' longitude est. Elles couvrent une superficie de 707,10 Kilomètre carré partagée entre les 6 communes du département du Couffo et la commune de Lokossa dans le département du Mono. L'analyse issue des trois coupes hydrogéologiques révèle la présence de six couches. Les formations sableuses susceptibles de contenir de l'eau sont libres dans la partie Nord de l'aquifère (Dèkpo, Lokogba, Gohomey à Aplahoué et Djotto à Klouékanmè). Ces résultats tendent à prouver que la recharge de l'aquifère se fait au Nord des Communes de Aplahoué et de Klouékanmè. La présente étude oriente les acteurs dans la mise en place des périmètres de protection pour mieux sécuriser les eaux du Crétacé supérieur.

Mots Clés – Structure, géométrie, vulnérabilité, Crétacé supérieur, bassin du Mono.

Abstract – This study examines the structure and geometry of the Upper Cretaceous aquifer in the Mono watershed at the outlet of Athieme to infer probable recharge zones. The lithostratigraphic approach based on the analysis of lithostratigraphic correlations, delineation of the outcrops of the Upper Cretaceous aquifer and its piezometry where it outcrops in the Mono watershed has been developed. For this purpose, three lithological sections were carried out in the Mono basin in the directions North North West-South South East, North North East-South South West and West-East. The lithostratigraphic correlations identified the Upper Cretaceous outcrop areas located between 6°42' and 6°04' north latitude and between 1°37' and 1°55' east longitude. They cover an area of 707.10 square kilometer shared between the 6 communes of the Couffo Department and the commune of Lokossa in the Mono Department. The analysis of the three hydrogeological sections reveals the presence of six layers. The sandy formations likely to contain water are free in the northern part of the aquifer (Dèkpo, Lokogba, Gohomey in Aplahoué and Djotto in Klouékanmè). These results tend to prove that aquifer recharge is taking place in the northern part of the Municipalities of Aplahoué and Klouékanmè. This study guides the actors in the implementation of protection perimeters to better secure the waters of the Upper Cretaceous.

Keywords – Structure, geometry, vulnerability, Upper Cretaceous, Mono basin.

I. INTRODUCTION

L'eau souterraine, constitue la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète [1]. Elle est exploitée par au moins 50 % de la population mondiale pour l'alimentation en eau potable et représente aussi 43 % de toute l'eau utilisée pour l'irrigation [2]. Dans le monde, 2,5 milliards de personnes dépendent uniquement des ressources en eaux souterraines, pour satisfaire leurs besoins quotidiens fondamentaux en eau [3]. Au Bénin, les ressources en eau souterraine sont estimées à environ 2 milliards de m³ inégalement réparties dans l'espace et dans le temps [4]. Selon l'estimations du ministère en charge de l'eau à travers le document de stratégie national d'approvisionnement en eau potable réalisé en 2017, ce potentiel est mobilisé, pour assurer 97 % des besoins en eau potable. Les autres usages de l'eau souterraine sont : l'agriculture, l'élevage, la pisciculture, le tourisme, l'industrie et les transports. Plusieurs études ont été menées pour améliorer la connaissance et la gestion de ce potentiel hydrique [1,5,6,7] qui se retrouve dans le bassin sédimentaire côtier, le bassin de kandi, le bassin de la volta et dans le socle.

Le bassin sédimentaire côtier est plus sollicité parce que plus peuplé. Il représente approximativement 10 % de la superficie du Bénin et regorge 35 % des ressources en eaux souterraines du Bénin [4]. Ce bassin comporte deux aquifères principaux : le Continental Terminal et le Crétacé, auxquels s'ajoutent l'aquifère du Quaternaire et celui du Paléocène. Ces derniers ont des potentialités relativement moindres par rapport aux deux premiers [4]. Ces formations affleurent dans le bassin versant du Mono qui couvre une partie du bassin sédimentaire côtier (fig.1).

Ces aquifères subissent aussi une forte pression anthropique non seulement à cause de la démographie mais aussi à cause du phénomène de l'artésianisme qui est prépondérante dans le bassin versant du Mono. Selon le recensement exhaustif des forages artésiens conduit par le PNE-Bénin en 2016, la portion béninoise du bassin du Mono regorge 116 forages jaillissants inégalement répartis dans les communes de Lalo, Toviklin, Dogbo, Lokossa, Athiémé, Houéyogbé et Bopa. Les quatre communes du département du Mono regroupent environ 60 % des forages artésiens jaillissants et la Commune de Athiémé regorge le plus grand nombre (29 forages artésiens jaillissants).

L'aquifère captive le plus important est le Crétacé supérieur [4]. Selon la Base de Données Intégrée de la Direction Générale de l'Eau, ce réservoir d'eau est mobilisé par 248 forages en mars 2018. Ces forages deviennent jaillissant par endroit en fonction de la topographie. Le débit moyen des forages jaillissant peut atteindre plus de 20m³/heures. Cette forte sollicitation de l'aquifère du Crétacé supérieur a déjà des impacts perceptibles dans certaines localités où les investigations auprès des communautés ont fait remarquer une variation de la pression de l'eau artésienne au cours de l'année et une diminution progressive mais relativement lente du débit de l'eau au niveau des ouvrages de mobilisation des eaux souterraines (planche 1)



Planche 1 : Photos montrant le débit d'un forage artésien en 2012 et 2018

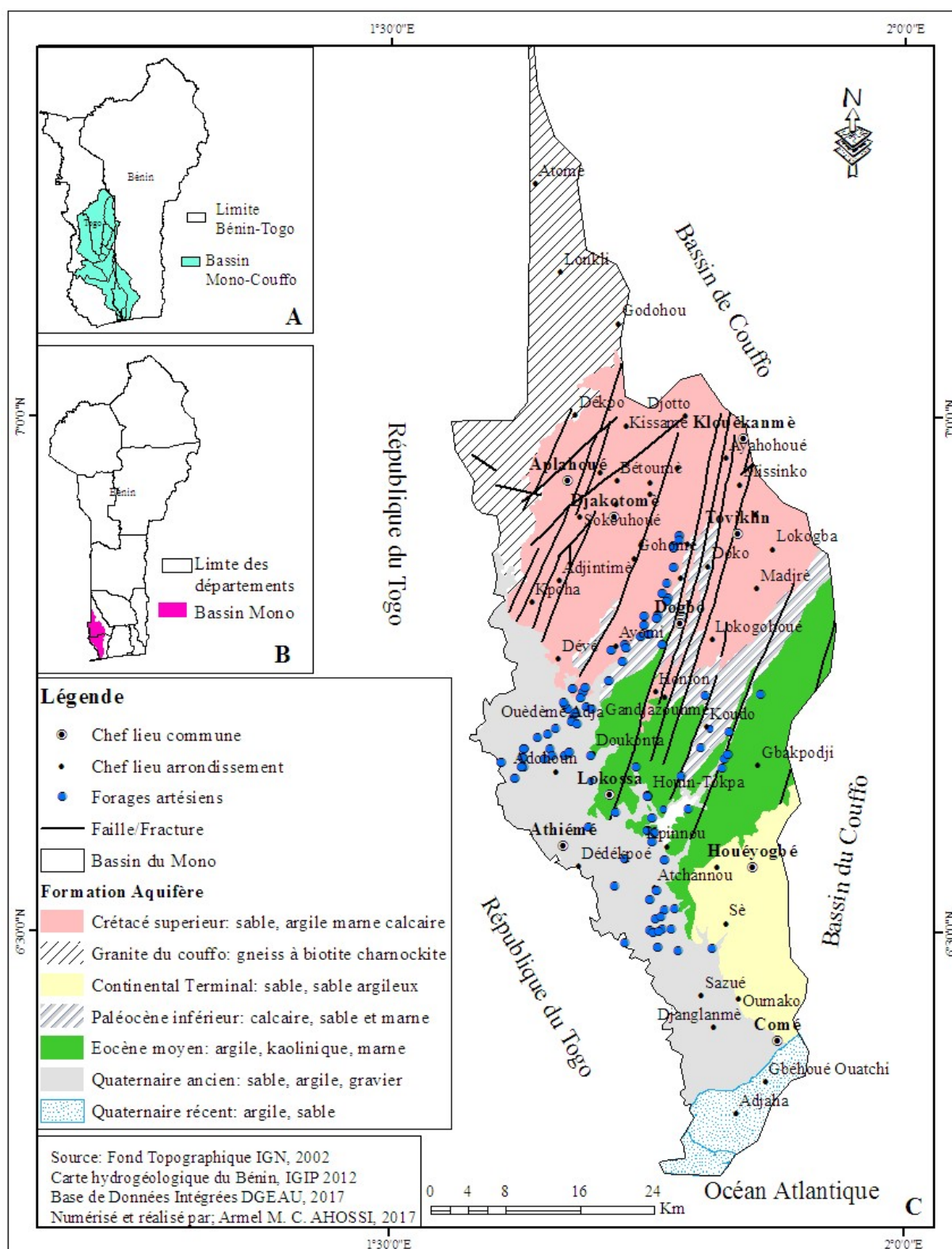


Fig 1 : hydrogéologie du bassin versant du Mono

II. DONNEES ET METHODE

A. Données

Les données nécessaires pour cette étude sont les lithologies des forages réalisés dans les formations géologiques du Crétacé supérieur du bassin versant du Mono. Ces données ont été collectées auprès de la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau) et l'Office Béninois de Recherches Géologiques et Minières (OBRGM) du Bénin. Les travaux de terrain, ont porté sur un échantillon composé de 94 forages et 84 puits, définis dans une population de 309 forages des départements du Mono et du Couffo et captant l'aquifère du Crétacé supérieur, enregistrée dans la Base de Donnée Intégrée (BDI) de la Direction Générale de l'Eau (DGEau) en mai 2018. Le niveau statique de ces puits, a été mesuré en Octobre 2018 (en saison pluvieuse) et février 2019 (en saison sèche) afin d'apprécier le comportement de la nappe en saison pluvieuse et en saison sèche.

B. Méthode

Le logiciel QGIS 2.18.15, a été utilisé pour le traitement des données cartographiques. Il a été complété par le logiciel Sufer version 9.9.785 dans le traitement des données du niveau statique collectées en saison pluvieuse et en saison sèche. L'analyse des données est basée sur l'exploitation des travaux de recherche antérieur notamment, la carte générale de la République du Bénin au 1/600000e, les fonds topographiques au 1/200.000 sur lequel figure le réseau routier, les cours d'eau et quelques villages du secteur d'étude. Il s'agit également de l'exploitation de la carte pédologique au 1/200 000 produit par ORSTOM en 1977 feuilles de LOME et de la carte hydrogéologique au 1/200

000 élaboré par OBMINES en 1989, dans la détermination de la zone d'affleurement du Crétacé supérieur. A cet effet, trois coupes ont été réalisées. Les deux premières coupes traversent la zone d'affleurement du Crétacé supérieur dans la direction Nord Sud. La troisième coupe traverse la vallée du bassin du Mono au sud. Ces différentes coupes permettent d'apprécier l'épaisseur des couches protectrices de l'aquifère du Crétacé supérieur, dans la zone d'affleurement et dans la vallée. Le sens et la direction des courbes est fonction de la densité des points de forage disposant de plus de données lithologiques. La démarche suivie pour la réalisation des coupes lithologiques a consisté à : i) situer les points où sont implantés les forages sur la carte topographique, à l'aide des coordonnées géographiques enregistrées par le GPS dès réalisation du forage ; ii) tracer sur la carte les directions dans lesquelles des traits de coupes seront réalisées à l'échelle de la zone d'étude ; iii) réaliser les profils topographiques tout au long des traits de coupe ; iv) positionner sur ces profils les logs de forages situés sur ou à proximité des traits de coupes, les niveaux statiques et les crépines ; v) corréler les faciès identiques d'un log de forage à un autre pour mettre en évidence les différents horizons superposés ; vi) différencier les niveaux aquifères de ceux qui ne le sont pas ; vii) scannage et digitalisation. Les coupes lithologiques sont de direction Nord Nord Ouest-Sud Sud Est (NNW-SSE : Coupe AB), Nord Nord Est – Sud Sud Ouest (NNE-SSW: coupe BC) et Ouest-Est (NW : Coupe CD),(fig. 2).

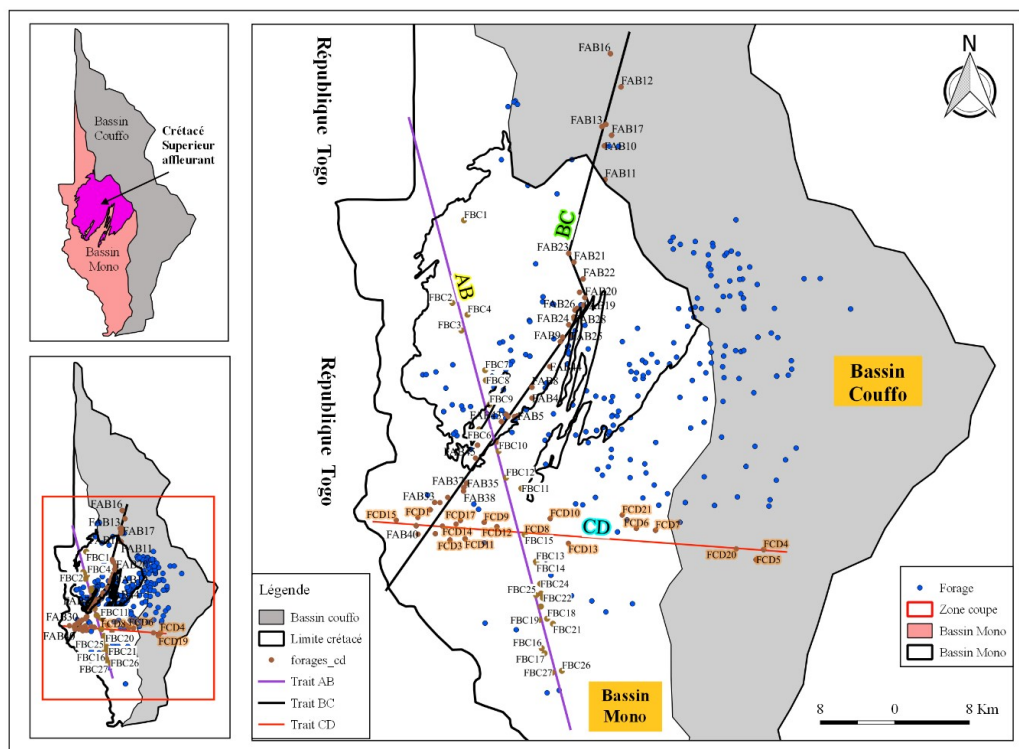


Fig. 2 . Les trois coupes lithologiques de la zone d'étude

III. RESULTATS ET DISCUSSION

La zone d'affleurement de l'aquifère du Crétacé supérieur dans le bassin du Mono est située entre 6°42' et 6°04' latitude Nord et entre 1°37' et 1°55' longitude Est (fig 3). Elle couvre une superficie de 707,10 Km² partagée entre les 6 communes du département du Couffo (Aplahoué, Djacotomey, Dogbo, Klouékanmè, Lalo et Toviklin) et la commune de Lokossa dans le département du Mono.

La coupe BC montre que l'aquifère du Crétacé supérieur, prend corps au niveau de la zone de socle entre Gohomey et Djotto (fig 5). A l'Est de cette zone, la coupe AB met en exergue d'autres zones d'exposition du Crétacé supérieur notamment au niveau de la rivière Lomo et des fractures ou failles profondes (fig. 4). Dans ces zones l'aquifère du Crétacé est dénudé. Du Nord au Sud, il se couvre d'une couche d'argile qui s'épaissit progressivement, allant à plus de 140 mètres d'épaisseur. La coupe CD, réalisée dans la vallée du bassin du Mono illustre bien la superposition de l'aquifère du Crétacé supérieur par d'épaisses couches d'argile (fig. 6). Cette épaisse couche d'argile, présente des failles par endroit. La plus importante est entre les localités de Gbézé et Lokogba qui expose, encore une fois l'aquifère du Crétacé supérieur. Ainsi, dans la zone d'étude, l'aquifère du Crétacé supérieur est plus vulnérable au Nord et au niveau des failles profondes dans le bassin du Mono.

La ligne piézométrique, tracée à partir des données du niveau statique des puits dans la zone de recharge, montre le caractère artésien de l'aquifère du Crétacé supérieur. Les forages qui captent cet aquifère sont jaillissants dans la zone de Gbakpohoué, Agonkanmè (fig 5) et dans les environs du lac Togbadji, Houin Tota, Dékanmè (fig 4) et sont artésiens non jaillissants dans les autres localités situées au Sud du Bassin.

Les niveaux statiques recueillis au cours des travaux de terrain en saison sèche et en saison pluvieuse ont été introduite dans le logiciel surfer et QGIS 2.18.15 afin d'obtenir la carte de la profondeur de la nappe du Crétacé supérieur dans le bassin du fleuve Mono (fig. 7 et 8). Les eaux souterraines dans la zone de recharge coulent du Nord au Sud suivant le gradient topographique. Dans la zone de recharge identifiée le niveau piézométrique de l'aquifère du Crétacé supérieur varie de 195 à 155 mètres. Cette hauteur d'eau ne varie pas entre les deux saisons (fig. 7 et 8).

La portion Sédimentaire côtier du bassin versant du Mono, est caractérisée du point de vue hydrogéologique par des formations du Crétacé supérieur, de Paléogène, du Néogène et du Quaternaire qui sont structurées en huit unités lithostratigraphiques (Breda, 1989). Ces formations reposent

en discordance majeur sur le socle cristallin. L'aquifère le plus sollicité pour les besoins d'approvisionnement en eau potable des populations de cette portion du bassin est celui du Crétacé supérieur [4]. Selon la Base de Données Intégrée de la Direction Générale de l'Eau, ce réservoir est mobilisé par 248 forages en mars 2018.

Les traits de coupes réalisés selon les trois directions Nord Nord Ouest-Sud Sud Est, Nord Nord Est – Sud Sud Ouest et Ouest-Est mettent en évidence la présence de 6 couches hydrogéologiques constitués du sommet vers le bas de l'Argile, le Grès, le Sable, le Calcaire, le Gravier, le Curasse latéritique (fig. 2). Les formations sableuses susceptibles de contenir de l'eau sont libres dans la partie Nord de l'aquifère du Crétacé notamment dans les localités des Communes de Aplahoué (Dèkpo, Lokogba, Gohomey) et Klouékanmè (Djotto) (fig 4 et 5). Elles affleurent au Nord du bassin sur une superficie de 707,10 Km². Du Nord au Sud, ces formations se couvrent d'une couche d'argile qui s'épaissit progressivement allant à plus de 140 mètres d'épaisseur dans certaines localités sud-est du bassin. Ces résultats sont en lien avec les travaux de recherche de Boukari et Al en 2002.

La recharge est facilitée dans cette zone à cause de la nature du sol (ferralitique, appauvries sur matériaux meuble et argile), du relief dominé par des cuvettes et de la présence de failles ou fractures profondes. Cet aquifère est alimenté par les eaux de pluie ce qui le rend vulnérable aux variabilités climatiques [9,10,11]. La zone de recharge est située dans les communes de Aplahoué et Djacotomey, où l'agriculture est la principale activité des populations. Elle est dominée par la production du maïs, du manioc, de la tomate et du coton. Ces productions sont essentiellement pluviales avec l'utilisation des engrais et des pesticides chimiques. Selon la 3ème génération du Plan de Développement Communal d'Aplahoué et de Djacotomey, la Commune d'Aplahoué produit 72,64 % du charbon de bois et 37,38 % du bois d'œuvre des départements du Mono-Couffo. Cette activité de transformation du bois favorise la dégradation du couvert végétal et réduit de ce fait l'infiltration des eaux de pluie.

Au regard de la nature géologique de ce réservoir sableux du Crétacé dans sa zone d'affleurement, les activités agricoles développées par la majorité de la population dans cette zone de recharge de l'aquifère le rendraient vulnérables aux polluants. Cette vulnérabilité pourrait prendre d'ampleur si les polluants, transportés par les eaux souterraines suivant le gradient topographique, résiste dans les profondeurs des

eaux du Crétacé supérieur au sud du bassin versant où l'aquifère est captif.

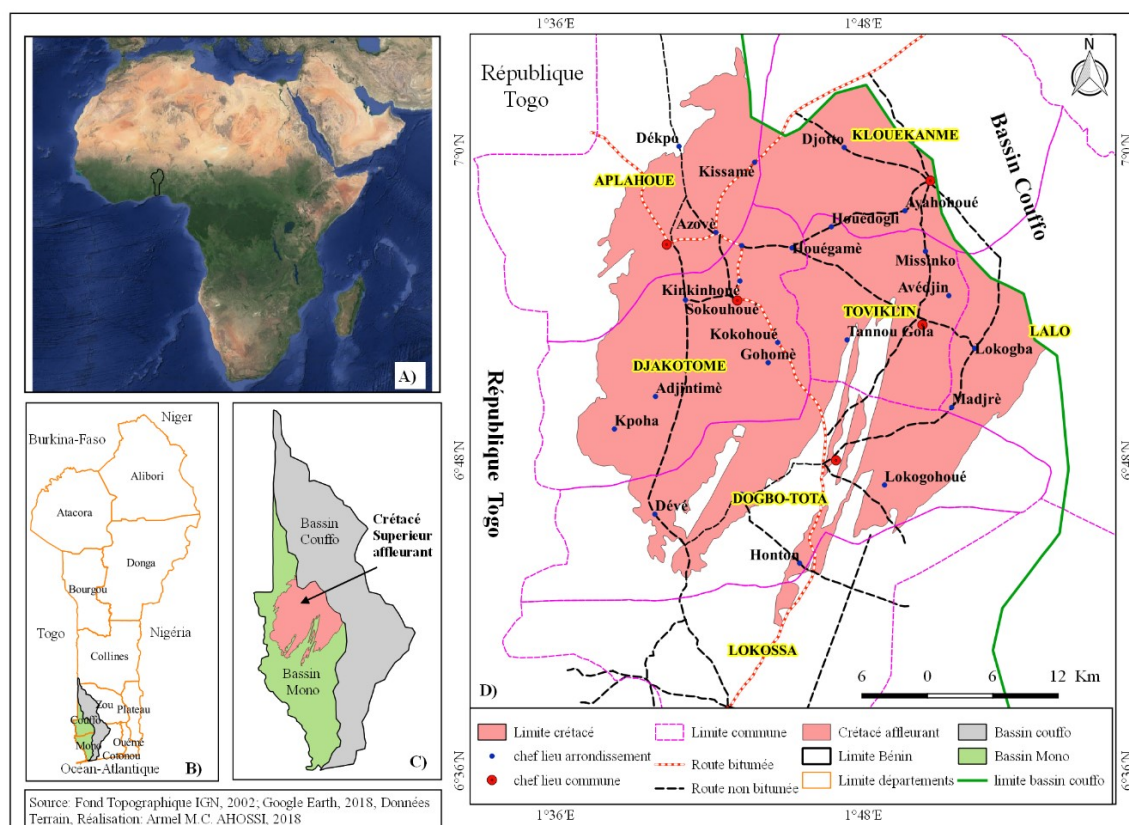
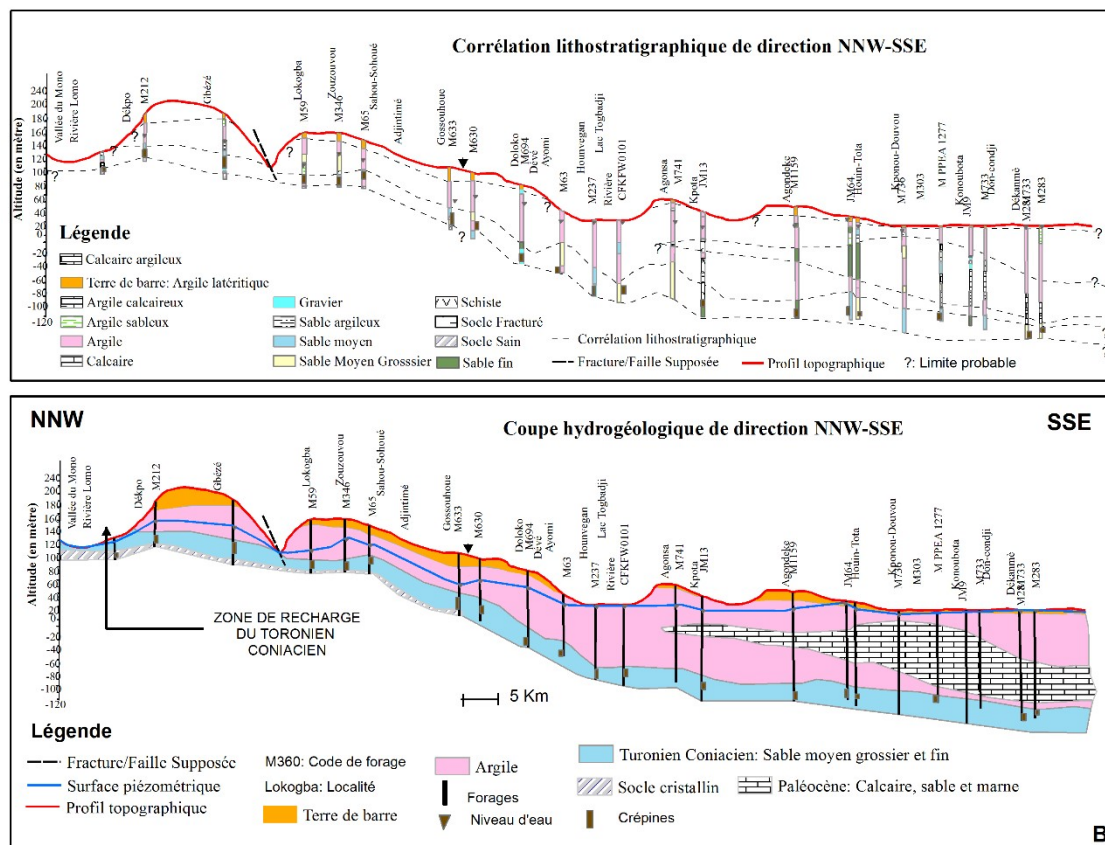


Fig. 3. Zone d'affleurement de l'aquifère du Crétacé supérieur dans le bassin versant



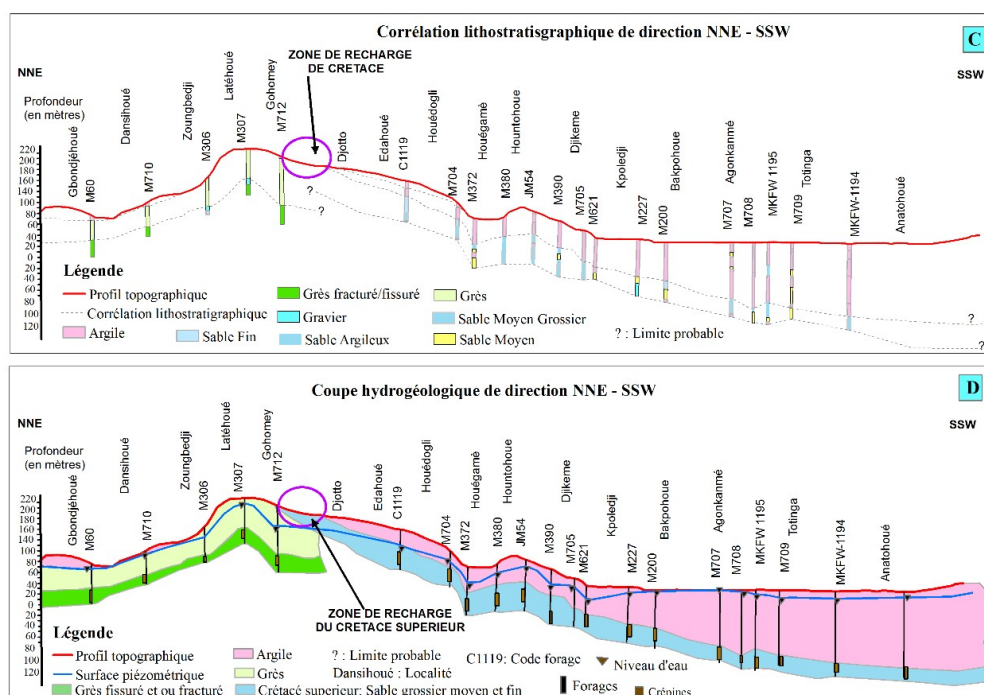


Fig. 5. Coupe hydrogéologique BC
Source : Enquête de terrain, 2018

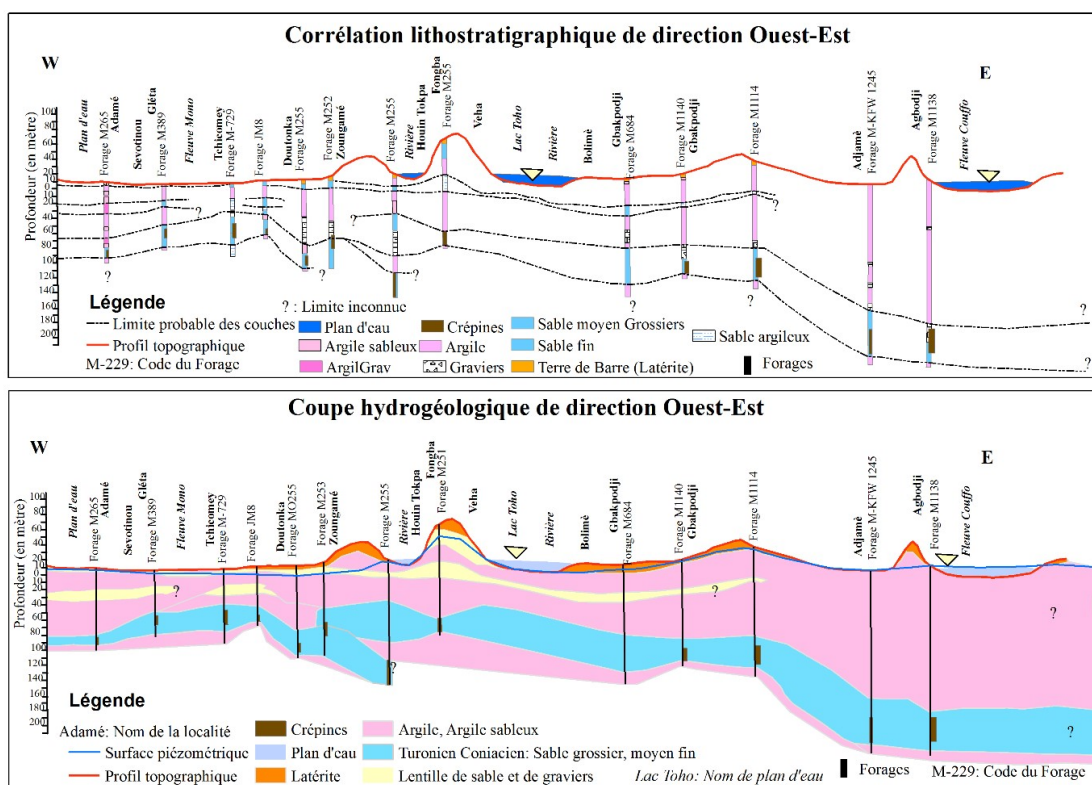


Fig. 6. Coupe hydrogéologique BC
Source : Enquête de terrain, 2018

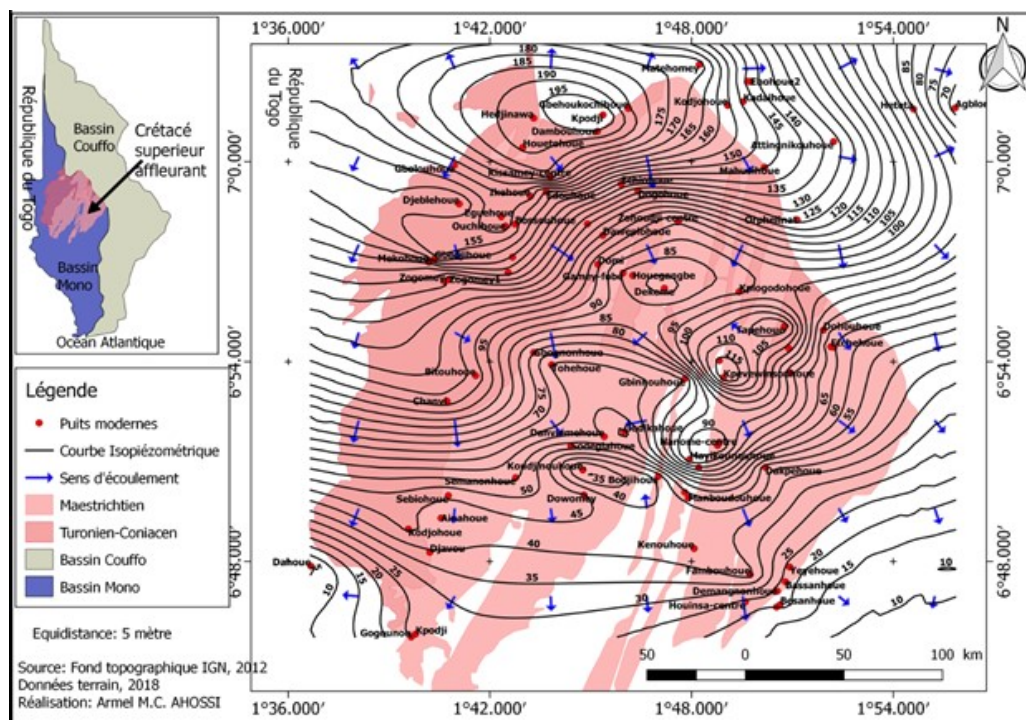


Fig. 7. Courbe piézométrique dans la zone de recharge de l'aquifère du Crétacé en saison pluvieuse

Source : Enquête de terrain, 2018

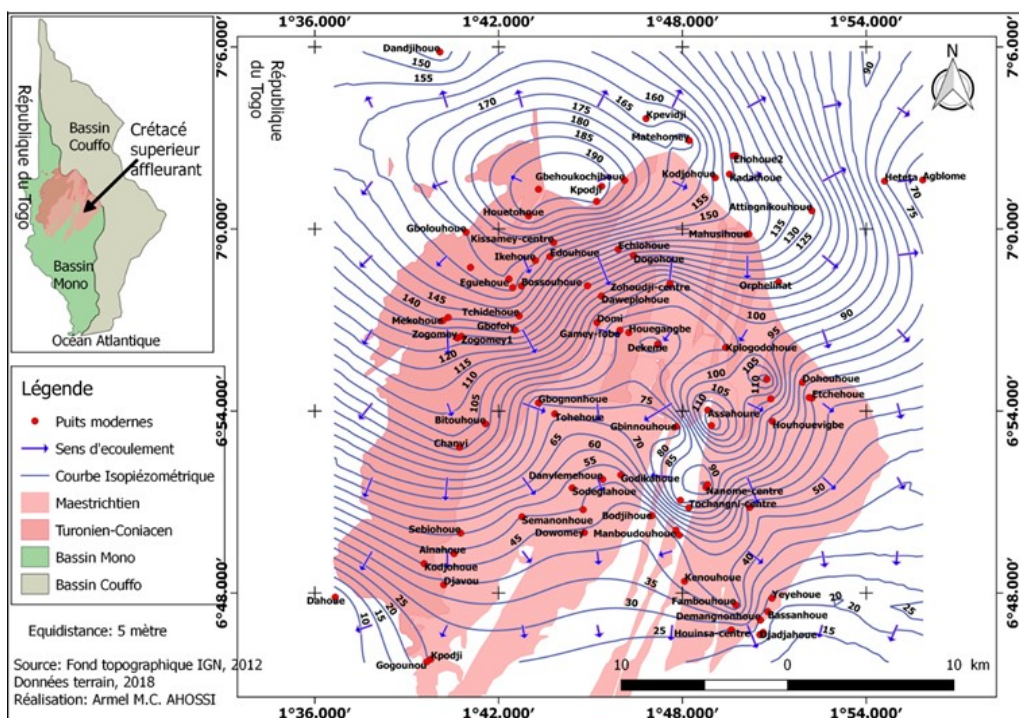


Fig. 8. Courbe piézométrique dans la zone de recharge de l'aquifère du Crétacé en saison sèche

Source : Enquête de terrain, 2018

IV. CONCLUSION

L'étude portant sur la caractérisation de l'aquifère du Crétacé supérieur dans le bassin versant du Mono à l'exutoire de Athiémé a permis de développer une approche lithostratigraphique pour la détermination de la zone de recharge de l'aquifère du Crétacé supérieur. Elle est basée sur la réalisation de trois coupes lithologiques dans la zone d'affleurement de l'aquifère et de son niveau piézométrie piézométrique. Cette approche a été complétée par l'analyse documentaire des facteurs potentiels de vulnérabilité de l'aquifère dans sa zone de recharge. Ainsi, l'aquifère du Crétacé supérieur se recharge dans l'extrême Nord de la zone d'affleurement du Crétacé supérieur dominées par les formations du turonien coniacien et du Maestrichtien et où la nappe du Crétacé biseaute et l'aquifère dénoyé. Dans cette zone de recharges, les eaux souterraines coulent du Nord au Sud suivant le gradient topographique. Elle est située dans les Communes de Aplahoué et Djacotomey, les activités anthropiques dominées par une production agricole essentiellement pluviale et dépendante des engrais et pesticides chimiques, constituerait des facteurs de vulnérabilité de l'aquifère du Crétacé supérieur aux pollutions chimiques et organiques. Cette recherche offre la perspective d'une étude plus affinée sur la disponibilité qualitative de l'eau du Crétacé supérieur au regard des risques de pollution de l'aquifère. Elle peut être aussi complétée par un bilan hydrique de la réserve du Crétacé supérieur.

REFERENCES

- [1] Margat (2008) : Les eaux souterraines dans le monde [Groundwaters of the world]. UNESCO, New York and BRGM, Orléans, France, 187 pp. ISBN 10 : 2715924526, ISBN 13:9782715924529
- [2] FAO (2006) : Rapport sur le symposium interrégional FAO/SIDA/OSE sur le développement rural intégré. Berlin, 19-23 p.
- [3] UNESCO (2002) Groundwater contamination inventory, A methodological guide, IHP-IV, Series on groundwater N°2
- [4] MEE (2011) : Politique Nationale de l'Eau du Bénin adopté en 2009, Ministère de l'Eau et de l'Energie
- [5] Boukari M. (2002) : réactualisation des connaissances hydrogéologiques relatives au bassin sédimentaire côtier du Bénin, rapport d'étude, 154p.
- [6] Laleye (2014) : Relation eau de ruissellement et eau des sources et forages artésiens dans la région Zagnanado-Zogbodomey au Bénin : Approche couplée (pollution microbiologique – télédétection). International Formulae Group. All rights reserved.
- [7] Margat (1990) : Les eaux souterraines dans le monde, Rapport BRGM, Services Sol et Sous-Sol Département Eau, 44 p
- [8] Totin (2010) : Assessment of Global Change Impacts on Groundwater in the Coastal Sedimentary Basin of Benin (West Africa). Report for Africa Global Environmental Change Research Grant. Global Change SysTem for Analysis, Research and Training (START) 61 p.
- [9] Laleye (2014) : Relation eau de ruissellement et eau des sources et forages artésiens dans la région Zagnanado-Zogbodomey au Bénin : Approche couplée (pollution microbiologique – télédétection). International Formulae Group. All rights reserved.
- [10] Dovonou et Al (2014) : Gestion environnementale des aquifères superficiels au sud-Bénin : Etat des lieux et mesures de protection,
- [11] IRD (2015) : 4ème journée scientifique GRIBA, Résultats de recherche sur les eaux souterraines du Bénin, Projets GRIBA, JEAI, et associés.
- [12] Gaou (2016) : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : cartographie des risques de contamination de l'aquifère superficiel de la zone côtière à l'ouest du chenal de Cotonou (Bénin), Thèse de doctorat, Université d'Abomey Calavi, Cotonou, Bénin, 224 p.
- [13] Ahossi A. (2016) : Risques hydro-climatiques et stratégies endogènes d'atténuation et d'adaptation dans la Commune de Bopa, mémoire de master MIRD/UAC, 113p ;
- [14] Villumsen et al, 1983. Methods of groundwater vulnerability and protectability assessment. Groundwater vulnerability : Chernobyl Nuclear Disaster, Monograph Number 69. Edited by Boris Faybishenko and Thomas Nicholson.
- [15] Cazaux M. (2007). Les eaux souterraines en Girande cartographie de la vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. Rapport de stage master II. Départ des sciences de la terre et de l'environnement de Montpellier.