

**CARTOGRAPHIE DES ZONES POTENTIELLES DE
MOBILISATION DE LA RESSOURCE EN EAU
SOUTERRAINE POUR L'AEP DANS LA COMMUNE
D'APLAHOUE AU BENIN**

**Raoul KPEGLI ¹, Flavien DOVONOU ¹, Nicaise YALO ¹,
Emmanuel LAWIN ¹ et Boukari MOUSSA ¹**

¹ Laboratoire d'Hydrologie Appliquée à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi (LHA/ FAST/ UAC) 01 BP 4521 Cotonou (Bénin) Téléphone : (00229) 21150567

Résumé

La commune d'Aplahoué est au Bénin une commune à statut particulier du fait de la complexité de sa géologie. En effet, sa partie sud repose sur le bassin sédimentaire côtier pendant que sa partie nord repose sur le socle cristallin. Entre ces deux contrastes géologiques, on note la présence d'une zone de contact, connue sous le nom de biseau sec ou de zone de contact. De ce fait, les potentialités hydriques et hydrauliques y sont variables et les études antérieures ont montré que 19 % des ouvrages hydrauliques se révèlent négatifs dans la commune. Dans l'objectif de minimiser ce taux de réalisation d'ouvrage négatif, la présente étude a été conduite et a permis de cartographier les zones les plus favorables à la mobilisation de la ressource en eau souterraine. La démarche méthodologique a consisté à collecter auprès des structures compétentes, les données de profondeurs et de débits des ouvrages hydrauliques de la commune. Ces données ont été spatialisées après une analyse variographique. Ceci a permis de réaliser une carte de profondeur des ouvrages hydrauliques montrant les zones à fort débit. Pour juger de la validité de cette carte, nous avons effectué des campagnes de prospections géophysiques dans la commune basées sur des méthodes de résistivité électrique ; ce qui a permis de sélectionner dix points pouvant abriter dix forages. Ces forages ont été réalisés, ils se sont révélés positifs et leurs coordonnées ont été projetées sur la carte précédemment réalisée. Les résultats montrent que les localités de Hontonou, de Kpéta, de Fontoe, de Lomnava, de Lonkly et de Lavagbe sont des zones à fort potentiel de la mobilisation de la ressource en eau souterraine. Les forages y sont en moyenne de 50 m de profondeur avec des débits pour la plupart compris entre 7 et 14 m³/h mais qui peuvent atteindre

30 m³/h. Ces zones sont donc recommandées pour des questions d'AEP et surtout pour des questions d'hydraulique villageoise.

Mots Clés : *AEP, Commune d'Aplahoué, variogramme, prospections géophysiques, ouvrages hydrauliques.*

Abstract

The township of Aplahoue in Benin has a particular geological context. Its southern part is based on the coastal sedimentary basin of Benin while its northern part has a crystalline base. A geological transition zone does exist between these two geological contrasts. As a result, the hydraulic potential and the total soil water potential are variable. In this township, previous studies showed that 19 % of boreholes are negative. In an attempt to minimize the percentage of negative boreholes, this study was conducted and permitted to map zones of high groundwater potential. The methodological approach used consists in collecting the boreholes' depths and yields data from competent sources. These data was analyzed using variogramme methods and then plotted. To ascertain the validity of the map obtained, geological surveys based on resistivity methods were carried out. This allowed constructing ten new positive boreholes and their coordinates are projected on the map previously obtained. Results show that the communities of Hontonou, Kpéta, Fontoe, Lomnava, Lonkly and Lavagbe are zones of high groundwater potential. Boreholes in those communities are 50 meters depth in average with yields between 7 and 14 m³/h but can reach 30 m³/h. Those zones are therefore highly recommended when it comes to drill high yielding boreholes to serve large communities as sources of potable water.

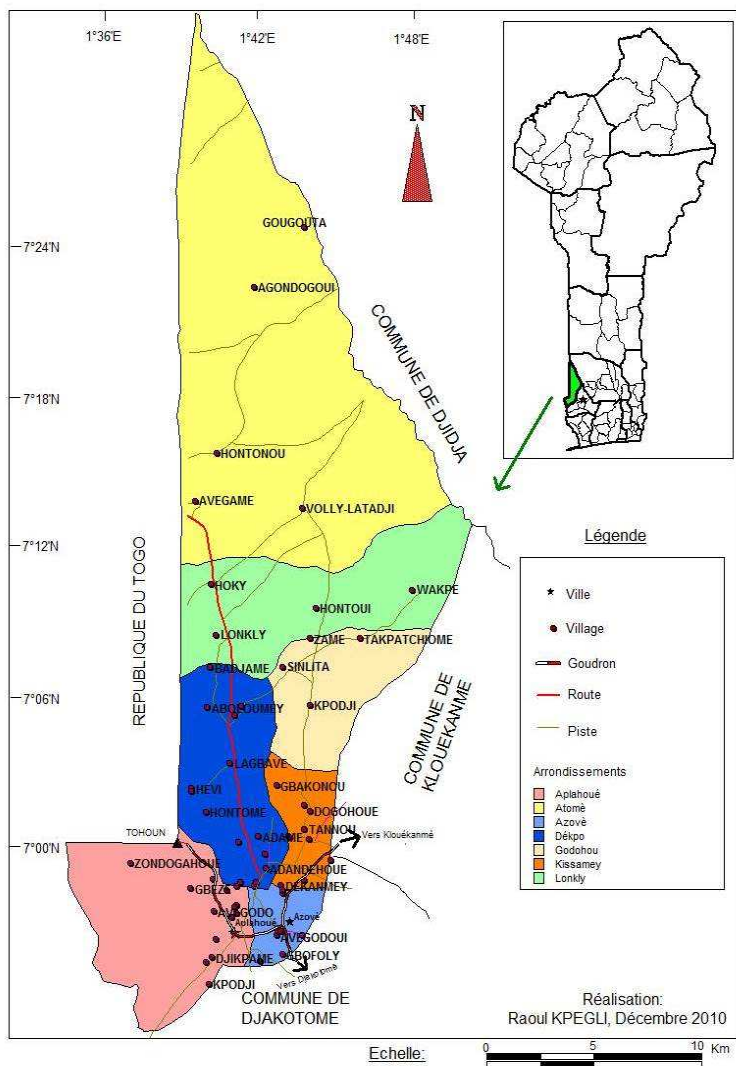
Key Words : *Boreholes, variogramme, sources of potable water, Aplahoue township, geophysical surveys.*

INTRODUCTION

L'eau est une ressource vitale tant pour le développement socio-économique que pour les écosystèmes. Résultant de la croissance ininterrompue de la demande, du gaspillage et de la progression de la pollution dans le monde entier, les contraintes qui pèsent sur les ressources en eau douce de la planète s'aggravent et engendrent de

sérieuses préoccupations (OMM, 1997). Malheureusement, les ressources en eau de surface étant exposées à la pollution, nos regards sont de plus en plus tournés vers les ressources en eau souterraines pour les questions d'approvisionnement en eau potable; surtout dans des milieux ruraux où il est nécessaire de réaliser d'innombrables points d'eau pour les populations. Le fait réel est que l'eau souterraine, vue son caractère d'inégale répartition et son caractère de non continuité dans les matériaux rocheux, n'est pas tout à fait aisé à mobiliser. Les difficultés liées à sa mobilisation varient en fonction du contexte géologique de la zone de même qu'en fonction de la topographie. En milieu cristalline, cette mobilisation est relativement plus difficile. En revanche, elle peut être considérer comme aisée en milieu sédimentaire.

La commune d'Aplahoué est au Bénin une commune à statut particulier du point de vue de sa géologie. Sa partie sud repose sur le Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin tandis que sa partie nord repose sur le socle cristallin (figure 2). De ce fait, les potentialités hydriques et hydrauliques y sont variables. Elle se trouve au sud-ouest du Bénin (figure 1), elle couvre une superficie de 915 km² et est à une distance d'environ 148 km de Cotonou. Le climat y est entièrement subéquatorial avec une pluviométrie annuelle en dessous de l'isohyète 1200 mm (Le barbé *et al.*, 1993 in Boukari, 1998). Dans cette commune, le système d'Alimentation en Eau Potable repose entièrement sur l'exploitation de la ressource en eau souterraine à l'aide des ouvrages hydrauliques que sont les forages et les puits modernes. Environ 41,4% de la population communale en milieu rural a accès à l'eau potable (DG-Eau, 2010) et 19% des forages réalisés dans cette commune sont négatifs (Kpegli, 2010). 19%, ce n'est peut-être pas écoeurant ; mais c'est très significatif lorsqu'on considère le coût de la réalisation d'un ouvrage hydraulique. Ce travail se propose de mettre en place un outil d'aide à la prise de décision en ce qui concerne le choix des zones pouvant abriter les ouvrages hydrauliques dans le but de réduire le taux d'occurrence des forages négatifs.



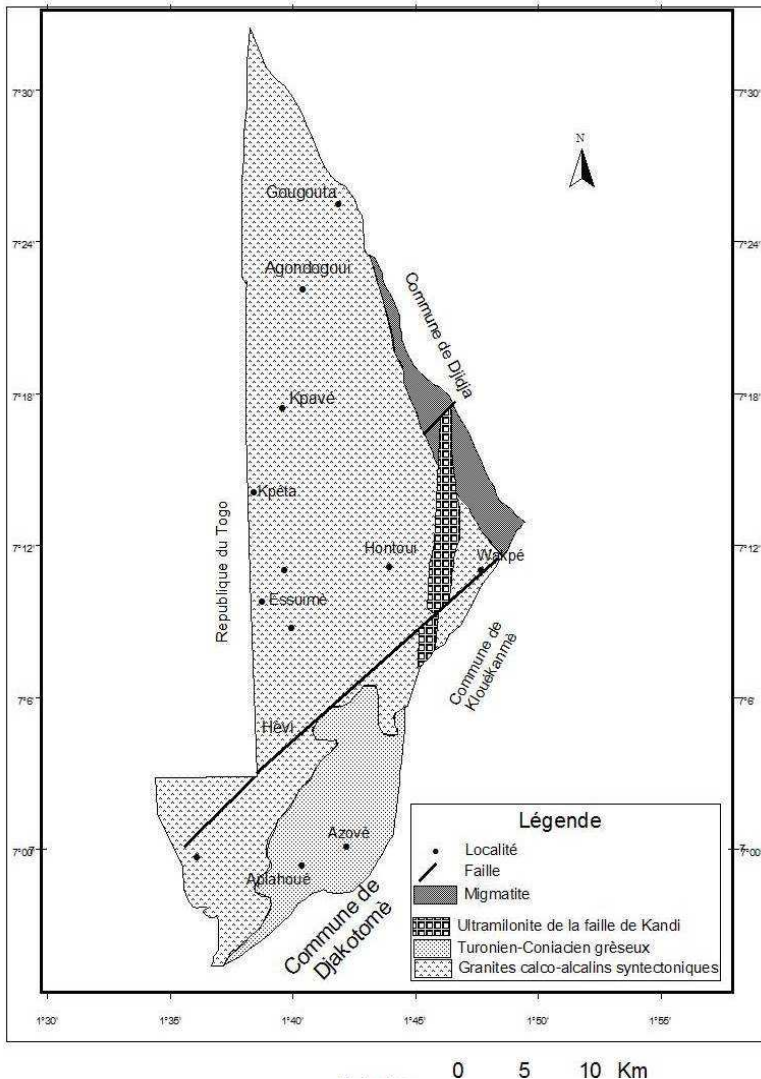


Figure 2: Carte géologique de la zone d'étude

Pour optimiser le taux de réussite des ouvrages hydrauliques (forages notamment) dans cette commune, une façon est de cartographier les

zones potentielles de mobilisation de la ressource en eau souterraine. Une telle cartographie nécessite la mise en œuvre de plusieurs méthodes. Dans ce cas typique, nous avons combiné trois méthodes : la méthode d'analyse géostatistique basée précisément sur l'analyse variographique, la méthode de prospection géophysique basée notamment sur la résistivité électrique et le SIG (Système d'Information Géographique). L'analyse variographique s'intéresse à l'interpolation des données spatiales et à la prise en compte des différentes imprécisions et incertitudes. Cette analyse s'avère nécessaire pour la réalisation des cartes.

La méthode géophysique s'intéresse à l'identification des anomalies horizontales (fractures) et les anomalies à la verticale (venues d'eau probables). Le SIG est considéré comme un des meilleurs outils pour à la fois rassembler toutes les données, les analyser et visualiser plusieurs couches d'informations sur un même support. En effet, le premier avantage du SIG est sa capacité à rassembler dans une même base de données des informations autrefois dispersées. Les informations sont stockées, gérées dans la base et mises à la disposition de ceux qui en ont besoin (Boussema, 1994). L'innovation dans ce travail vient de l'introduction et du croisement des données provenant de plusieurs domaines (hydrogéologie, hydrodynamique et géophysique).

2 - MATERIELS ET METHODE

La méthodologie de recherche adoptée vise à déterminer les zones les plus favorables à la mobilisation de la ressource en eau souterraine dans la commune. Elle comporte essentiellement trois étapes: la collecte des données hydrogéologiques et hydrodynamiques, les travaux de prospections géophysiques sur le terrain, l'analyse et le traitement des données.

2-1 Collecte des données

Il s'agit des données hydrogéologiques (profondeur des ouvrages hydraulique positifs) de la zone d'étude et des données hydrodynamique (débit de chacun de ces ouvrages). Ces données ont été collectées auprès de la Direction Générale de l'Eau du Bénin (DG-Eau).

2-2 Travaux de prospections géophysiques

Dans le cadre de ce travail, 10 sites au total (6 situés en zone de socle, 1 en zone sédimentaire et 3 en zone de contact) ont fait l'objet de nos études. Chacun de ces sites a fait l'objet d'investigations hydrogéologiques suivies de campagnes de prospections géophysiques. Les études hydrogéologiques sur le terrain ont été guidées par les conclusions issues de l'analyse des photographies aériennes de la zone d'étude. Ainsi, nous avons procédé à la recherche d'un certain nombre d'indicateurs à savoir : les indicateurs biologiques (l'alignement de végétaux hydrophiles, des termitières etc.); les indicateurs géomorphologiques (la structurale des roches affleurantes, les dépressions etc.); le tracé des cours d'eau et les points d'eau existants. Cette phase d'investigations hydrogéologiques a permis d'identifier de façon « partielle » les fractures repérées lors de l'analyse des photographies aériennes et a conduit à la délimitation des secteurs où seront effectuées les prospections géophysiques.

En ce qui concerne la prospection géophysique, nous avons effectué des profils électriques suivis de sondages électriques à l'aide du dispositif *Schlumberger* (quadripôle AMNB). L'objectif poursuivi en cette phase était de confirmer ou d'infirmer les résultats des analyses photo-géologiques. En effet, si une fracture relevée sur photographie aérienne est décelée par la géophysique, son existence est quasi certitude (CIEH, 1979). Les **profils électriques** ont permis la mise en évidence des anomalies horizontales (fractures) et les **sondages** ont permis la mise en évidence des anomalies à la verticale (venues d'eau probables).

Pour les profils électriques, le dispositif *Schlumberger* a été trainé d'un point à un autre de la direction de mesure avec un pas constant de 10 m. Cependant, des mesures intermédiaires de vérification et de confirmation ont été parfois nécessaires pour des raisons de précision du travail. En zone de contact (zone de transition entre le socle et la zone sédimentaire), l'épaisseur du recouvrement étant importante, nous avons adopté les écartements suivants: AB=300m et MN=20m. Par contre en zone de socle, nous avons adopté AB=200m et MN=20m. Ces différents écartements permettent par expérience d'explorer les profondeurs allant jusqu'à 100 m dans la zone d'étude et ses voisinages (Baraka consultants Inc et Hydro-génie Sarl, 2010).

Pour le sondage électrique, l'écartement maximal adopté correspond à l'écartement adopté pour le trainé électrique au niveau de chaque site. Le matériel ayant servi à faire les prospections géophysiques est composé d'un GPS de marque « Etrex Garmin », d'un résistivimètre (Yokogawa 3244), d'une batterie, de deux bobines, de quatre piquets, de quatre marteaux, de deux hectomètres, de balises et d'un véhicule de terrain. Les données géophysiques obtenues sur les différents sites de même que les données de profondeur d'ouvrages hydraulique et de débit ont permis après traitement d'identifier les zones les plus favorables à la mobilisation de la ressource en eau souterraine dans la commune.

2-3 Analyse et traitement des données

Au regard de la problématique de notre travail, il apparait que l'un des critères fondamentaux de choix de l'outil SIG le mieux approprié doit être la richesse des opérations d'analyse spatiale qu'il peut permettre. Dans cette application, c'est le SIG surfer 8 qui est utilisé. En une première étape, nous avons intégré les données relatives à tous les points d'eau disponibles dans la zone d'étude (données de profondeur d'ouvrages hydraulique et de débit) sous le tableur Excel (tableau 1) pour qu'elles soient ensuite importées par surfer et combinées aux données cartographiques.

Tableau 1: Aperçu de la base de données pour la cartographie

Localite	YCoord	Prof_Totale(m)	Debit_Dvpt(m ³ /h)
Agname	7.251111	61.64	8
Agounassohoue	7.366944	60	0.615
Atchedohoue	7.225833	63	4.2
Atchedohoue	7.277778	60.4	1
Danielhoue	7.262222	63.15	1.085
Sodjagohoue	7.2225	61.59	4

L'élaboration d'une carte de profondeur des ouvrages positifs donne une idée des zones où l'on peut espérer faire un captage. Notons que sur cette même carte, nous aurons à visualiser les zones où les débits obtenus au développement sont importants. Pour la réalisation d'une telle carte, nous avons construis le variogramme expérimentale $\mathbf{Y}(\mathbf{h})$ de la variable aléatoire « profondeur des ouvrages hydraulique » (figure 3).

$$\boxed{Var[Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}] = 2\gamma(h)} \quad (E1)$$

Dans la pratique, le nombre de points où l'on connaît la variable aléatoire Z étant limité, pour estimer l'espérance du carré de l'écart entre deux points (x_i) et (x_{i+h}) distant de h , on remplace l'espérance par une moyenne empirique sur l'ensemble de tous les couples de points distants approximativement de h . on a ainsi :

$$\boxed{\gamma(h) = \frac{1}{2 \times N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)})^2} \quad (E2)$$

La classe h étant définie par $h \pm \frac{\Delta h}{2}$, $N(h)$ est le nombre de couple de points appartenant à la classe h . Le variogramme $\mathbf{Y}(\mathbf{h})$ (défini à

l'équation E1) contient toute l'information structurale souhaitable concernant la variable régionalisée (Serra, 1967).

- dimension de la zone d'influence autour d'un point,
- nature isotropique ou anisotropique de la Variable Régionalisée,
- nature de la continuité de la Variable Régionalisée dans l'espace.

L'étude du variogramme est donc un puissant moyen d'étude de la structure du phénomène analysé. De plus, la connaissance du variogramme est indispensable à la mise en œuvre plausible du krigeage. L'analyse de la continuité spatiale du champ des profondeurs des ouvrages fournit un variogramme expérimental spécifié à la figure 3.

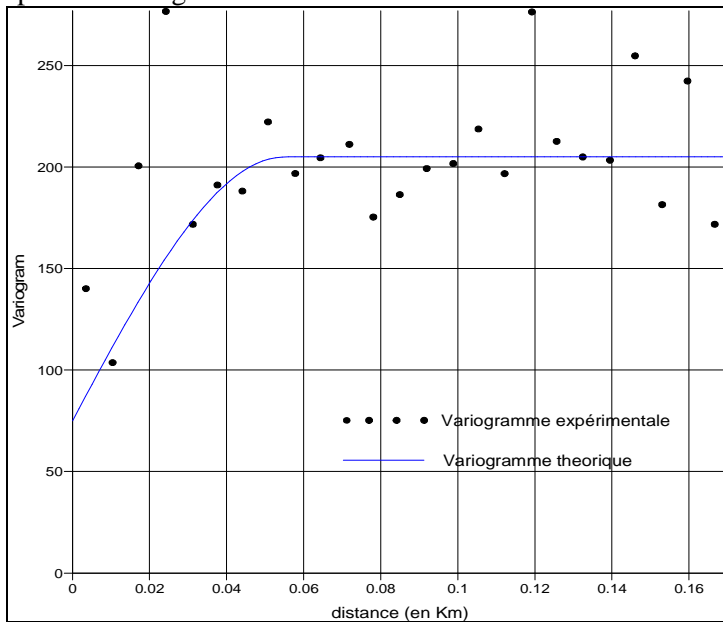


Figure 3: Variogrammes expérimentale et théorique de la variable aléatoire profondeur des ouvrages hydraulique

Ce variogramme expérimental (figure 3) a une allure linéaire aux faibles distances avec un effet de pépite c_0 . Aux grandes distances, le variogramme expérimental croît progressivement et se stabilise (à

partir d'une distance **a**) autour d'une valeur moyenne **c**. En conséquence un variogramme théorique ayant une formulation mathématique sphérique serait le mieux adapté pour son ajustement. La méthode de calage graphique visuelle a permis d'estimer les différents paramètres du modèle sphérique (Tableau 2). Par ailleurs ce variogramme ne change pas de comportement en fonction des directions. On n'est donc dans un cas d'anisotropie.

Tableau 2: **Paramètres du modèle d'ajustement**

Paramètres	Valeurs
C (palier)	205 m ²
C₀ (pépite)	75 m ²
a (distance de décorrelation)	0.05 km

Ce modèle de variogramme a été utilisé pour le krigeage des profondeurs des ouvrages hydrauliques. Les résultats ont permis le tracé des courbes isobathes (figure 4). A cette carte est associée la carte de la variance de l'erreur d'estimation. Sur la carte de profondeur des ouvrage hydrauliques, nous avons projeté successivement les points où le débit obtenu au développement est compris entre 0,7 et 1 m³/h ; entre 1 et 7 m³/h; entre 7 et 14 m³/h et entre 14 et 36 m³/h (figure 4).

RESULTATS ET DISCUSSION

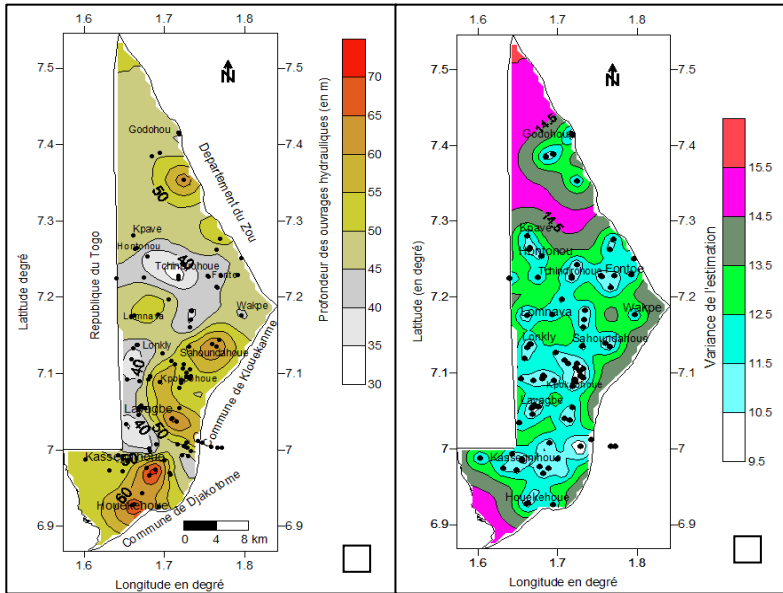


Figure 4: Cartes de profondeur des ouvrages hydrauliques (a) et de variance de l'erreur d'estimation (b)

La carte de la variance de l'erreur de l'estimation montre que l'erreur de l'estimation de la profondeur des ouvrages est comprise entre 9,5 m et 16,5 m. Pour cette étude, nous considérons qu'une erreur d'estimation inférieure ou égale à 14,5 m est acceptable. Dans cet ordre, les zones colorées en rose et rouge, qui traduisent des erreurs d'estimations supérieure à 14,5 m sont systématiquement exclu de notre champ d'interprétation. La carte de profondeur des ouvrages hydrauliques (figure 4 a) montre que la profondeur des ouvrages dans la commune d'Aplahoué est comprise entre 30 m et 75 m. Les profondeurs les plus considérables (65 m à 75 m) sont enregistrées dans zone de Houekehoue et environs. Cette zone appartient du point de vue géologique au biseau sec ou zone de contact socle-

sédimentaire. Les forages les moins profonds (16 m à 25 m) de la commune sont situés dans les villages Lavagbe, Tchindjrohoue et environs.

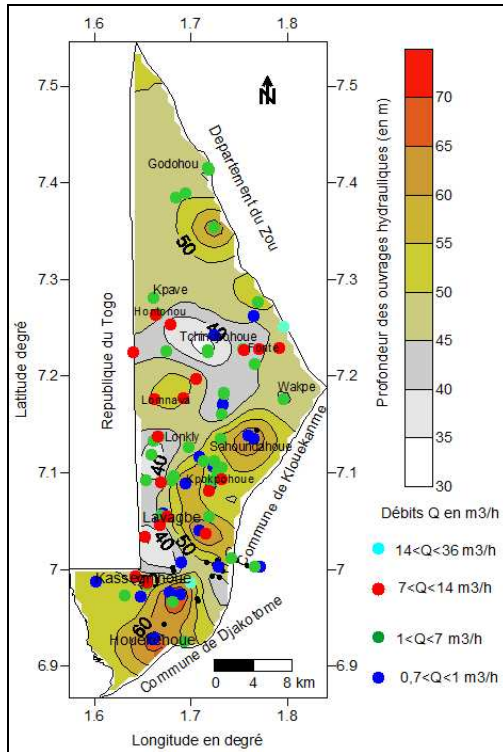


Figure 5: Carte de répartition spatial des profondeurs et débits des ouvrages hydrauliques de la commune d'Aplahoué

Dans les villages Kpave, Hontonou, Lomnava, Wakpe, Sahoundahoue, Kassegnihoue etc., la profondeur des forages est comprise entre 45 m et 60 m. Les débits les plus élevés (14 à 36 m³/h) obtenus au développement dans la commune (Figure 5) sont localisé au nord est de Fontoe et à l'est de Kassegnihoué. Ils ne concernent que deux localités et sont donc très peu distribués.

Les débits élevés (7 et 14 m³/h) sont très distribués dans la commune et plus concentrés dans la zone cristalline. Ces débits ne sont pas rassemblés dans une zone délimitée de la partie du socle. Néanmoins, on note que dans les régions de Lavagbe, de Hontonou, de Fontoe, et de Kassegnihoué, ces débits (7 et 14 m³/h) sont nombreux. Notons qu'au Bénin, des ouvrages hydrauliques débitants 5 m³/h peuvent faire objet d'adduction d'eau villageoise (DGEau, 2010). Par contre dans les zones de Sahoundahoué, Houekhoué et toute la partie sud de Kassegnihoué présenteraient des débits inférieurs à 7 m³/h voire moins de 1 m³/h ; ce qui ne seraient pas intéressants du point de vue Approvisionnement en eau potable des populations. Pour juger de la validité des cartes précédentes, nous avons projeté sur elles les coordonnées des dix forages suivis à cet effet. La figure 6 présente les courbes de profils électriques effectués dans la localité de Kpéta. Il s'agit de courbes semi-logarithmiques de l'évolution de la résistivité apparente en fonction de la distance.

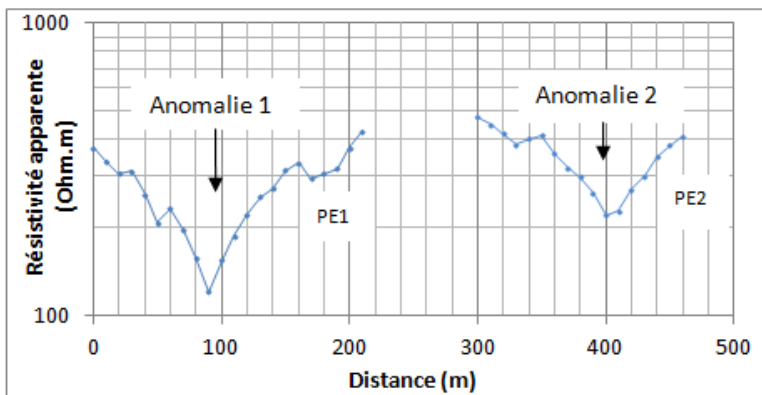


Figure 6: Profils électriques à Kpéta

Les Profils Electriques (PE) effectués (figure 6) montrent que la résistivité des terrains oscille entre 120 et 477 Ohm.m. Il montre par ailleurs la présence de deux anomalies bien marquées en forme de **V** : *Anomalie 1* et *Anomalie 2*. Les résistivités les plus basses sont observées pour des distances de 90m (*Anomalie 1*) et de 400 m

(Anomalie 2). L'anomalie 1 étant plus large (100 m) et moins résistive (120 Ohm.m) que l'anomalie 2, le choix a été porté prioritairement sur l'anomalie 1 pour le sondage électrique.

Les résultats de sondage électriques se présentent sous forme de courbe Log de Sondage Electrique (SE) est une courbe bilogarithmique des résistivités apparentes en fonction de la profondeur. Pour le Sondage Electrique N°1 à Kpéta (Figure 7), le log de sondage montre une chute progressive de la résistivité (500 à 160 Ohm.m) de la surface à 12 m de profondeur. Entre 12 et 25 m on note une augmentation progressive de la résistivité (160 à 200 Ohm.m environ). A partir de 25 m de profondeur, on note une rechute brusque de la résistivité jusqu'à 160 Ohm.m. Une autre rechute de la résistivité est notée à 50 m de profondeur.

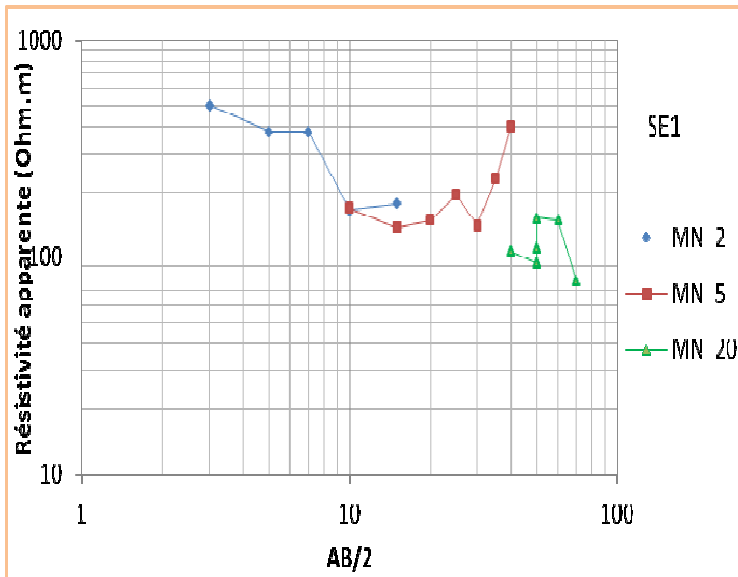


Figure 7: Log de Sondage Electrique N°1 (SE1) à Kpéta

Au total, le log SE1 présente deux rechutes de résistivités aux profondeurs allant de 25 m à 30 m et de 50 à 70 m. Il s'agit des zones

de fracture qui peuvent être hydrologiquement intéressantes, c'est à dire pouvant contenir la ressource en eau souterraine. L'épaisseur d'altération s'estime à 12 m. La profondeur du forage peut atteindre 70 m.

En ce qui concerne le Sondage Electrique N°2 à Kéta (Figure 8), le log de sondage montre une chute progressive de la résistivité (300 à 70 Ohm.m) de la surface à 14 m de profondeur. Entre 14 et 20 m on note une augmentation brusque de la résistivité (70 à 78 Ohm.m environ). A partir de 20m de profondeur, on note une rechute de la résistivité jusqu'à 45 Ohm.m. Une autre rechute de la résistivité est notée à 80 m de profondeur.

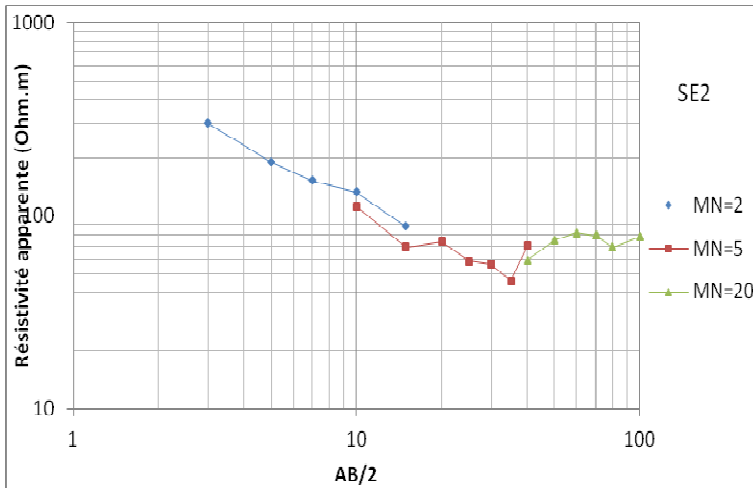


Figure 8: Log de Sondage Electrique N°2 (SE2) à Kpéta

Au total, le log SE2 présente essentiellement deux rechutes de résistivités aux profondeurs de 20 m et 80 m. Ces zones de fractures peuvent être aussi intéressantes et peuvent contenir la ressource en eau souterraine. L'épaisseur de l'altération s'estime à 14 m. La profondeur du forage peut atteindre 100 m.

Tableau 3 : Récapitulatif des résultats de Sondages Electriques à Kpéta

Caractéristiques	SE1	SE2
Epaisseur de l'altération	12 m	14 m
Venues d'eau	25 à 30 m et 50 à 70 m	20 et 80 m
Profondeur de l'ouvrage	70 m	100 m

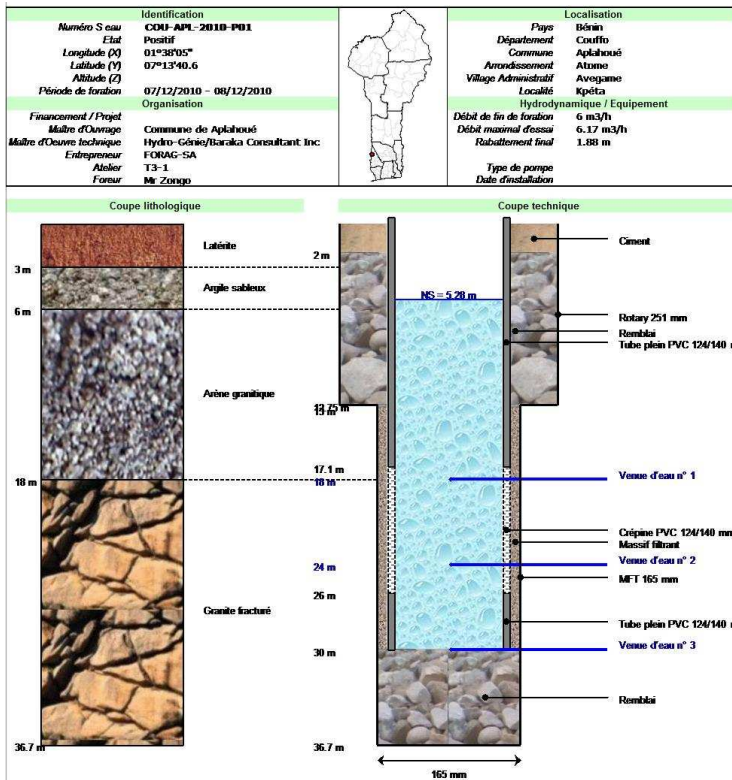


Figure 9: Coupe technique et lithologique du forage de Kpéta

Par comparaison des différentes caractéristiques obtenues au niveau des sondages SE1 et SE2 (tableau 3), nous avons conclu qu'il y a

plus de chance de trouver la ressource en eau au point du sondage SE1. La raison est que les zones de fracture pour SE1 sont plus rapprochées et peuvent appartenir à un réseau de fracturation. Ceci permettrait une bonne alimentation du forage au cas où il est positif. Le forage a été exécuté au point SE1, il est positif et ses caractéristiques sont récapitulées sur la coupe de forage (figure 9). La prospection géophysique a permis de réaliser dix forages dans différents localités comme récapitulé dans le tableau (tableau 4):

Tableau 4 : Caractéristique des forages réalisés dans la commune.

Localités	Coordonnées		Prof (m)	Débit (m3/h)
	X	Y		
Hevi	1.648	7.227	59	1.8
Avegame	1.640	7.230	57.6	30
Hontonou	1.665	7.264	61.3	5
Ekahoue	1.702	6.994	82	3.2
Gayihoue	1.663	7.007	61.1	1.8
Meyouhoue	1.664	7.019	54.9	2.571
Mahougbehoue	1.67041667	7.15841667	54.94	1.2
Egahoue	1.66122222	7.13397222	61.1	20
Matekpe	1.72291667	6.96155556	55	7.2
Kpeta	1.63472222	7.22794444	37.7	6.17

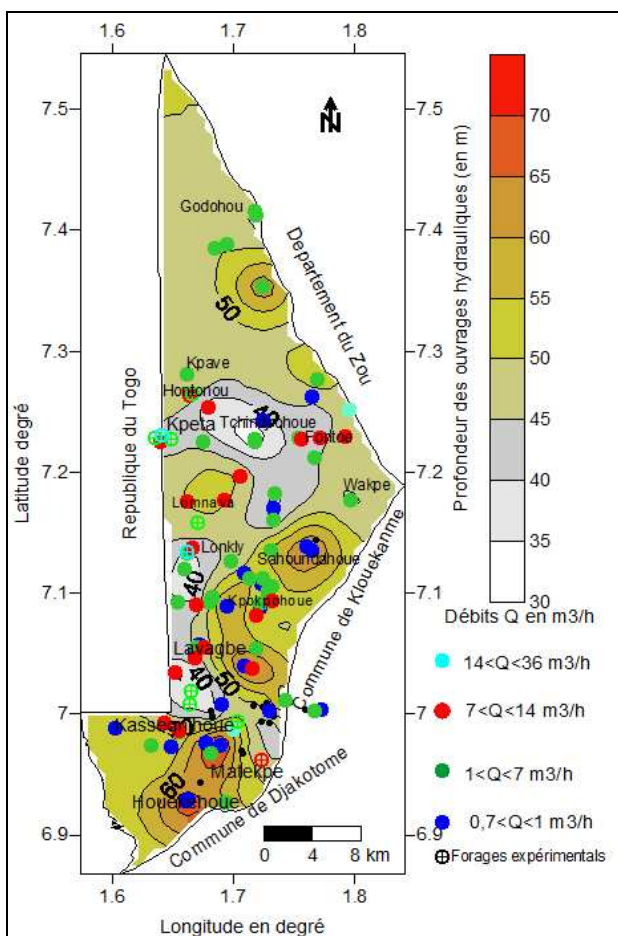


Figure 10: Carte des zones potentielles de la mobilisation de la ressource en eau souterraine dans la commune d'Aplahoué

La figure 10 résulte de la projection des coordonnées des dix forages précédents sur la carte.

L'analyse de la figure 10 montre que les valeurs proposées par la carte ne s'écartent pas trop des valeurs réelles observées sur le

terrain. Les zones de Hontonou, de Kpéta, de Fontoe, de Lomnava, de Lonkly et de Lavagbe, sont caractérisées par des forages de profondeur moyenne de 50 m avec des débits pouvant atteindre 30 m³/h. Ces zones sont des à très forte potentiel du point de vue mobilisation de la ressource en eau souterraine pour l'AEP dans la commune.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis à l'aide de la géophysique, des SIG et des données disponibles sur les forages de la commune de repérer les zones les plus favorables à la mobilisation de la ressource en eau souterraine. Ces zones potentielles sont les localités de Hontonou, de Kpéta, de Fontoe, de Lomnava, de Lonkly, de Lavagbe. Pour minimiser les risques d'occurrence de forages négatifs et surtout pour des questions d'AEV qui nécessitent des forages à gros débits, nous recommandons ces zones. Par ailleurs, c'est des zones où l'on devra éviter à tout prix la création de site de dépôt souterrain ; ceci pour ne pas altérer à cours ou long terme la qualité de la ressource en eau souterraine.

REFERENCES

Baraka consultant Inc et Hydro-génie 2010. Contrat de prestation de service pour l'implantation de quinze forages et le contrôle de la réalisation de dix forages équipés de pompe à motricité humaine dans la commune d'Aplahoué. Rapport provisoire des études d'implantation, Baraka consultant Inc, Cotonou, Bénin, 33p.

Boukari M. 1998. Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'Approvisionnement en Eau de la ville de Cotonou sur le littoral Béninois. Impacte du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse 3ème cycle, Université cheik Anta Diop, Dakar, Sénégal, 256p.

Boussema MR. Base de données et cartographie numérique. Thèse de doctorat d'État es sciences géologiques, sujet complémentaire, faculté des sciences et techniques de Tunis FST, 1994.

CIEH 1979. Méthode d'étude et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'ouest. Livre, Géohydrologie, Alfort, France, 191p.

DG-Eau 2010. Guide de programmation communale des ouvrages d'approvisionnement en eau potable en milieu rural et semi-urbain. Livre, DG-Eau, Cotonou, Bénin, 77p.

Kpegli R. 2010. Mobilisation de la ressource en eau souterraine et état des lieux de l'AEP dans la commune d'Aplahoué au Bénin. Mémoire de Licence, Université d'Abomey-Calavi, Bénin 66p.

OMM. 1997. Inventaire exhaustif des ressources mondiales en eau douce. Organisation mondiale de la météorologie/Institut Environnement, Stockholm, 33p.

SERRA J., 1967. - Un critère nouveau de découverte de structures : le variogramme. Sciences de la Terre, vol. 12, n° 4, Nancy, 1967.