**REPUBLIQUE DU BENIN**

**********

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**********

**UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI (UAC)**

**********

**INSTITUT NATIONAL DE L'EAU (INE)**

**********

**DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU (DHGRE)**

**********

***LICENCE PROFESSIONNELLE EN HYDROLOGIE (LPH)***

**OPTION : GEOHYDROLOGIE**

# THÈME :

# *Etude sur le processus de captage des eaux souterraines en zone de socle : cas de Savalou*


**Mémoire de fin de formation présenté par :**

**DJEBOU D. Justin**

**Maitre de mémoire:**

**Dr AKOKPONHOUE Nesny**


***Année académique : 2021-2024***

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

**REPUBLIQUE DU BENIN**

**********

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**********

**UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI (UAC)**

**********

**INSTITUT NATIONAL DE L'EAU (INE)**

**********

**DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU (DHGRE)**

**********

***LICENCE PROFESSIONNELLE EN HYDROLOGIE (LPH)***

**OPTION : GEOHYDROLOGIE**

# THÈME :

# *Etude sur le processus de captage des eaux souterraines en zone de socle : cas de Savalou*


**Réalisé par :**

**DJEBOU D. Justin**


**Mention : Bien**

| Membres du Jury | Emargements |
|---|---|
| Prof. ELEGBEDE Manu B. | |
| Dr. AKOKPONHOUE Nesny | |
| Dr. KPEGLI Raoul | |

***Année académique : 2021-2024***

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

## DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Mes parents DJEBOU Tossa Marcel et GNIMAVO Jeanne en l'honneur de leur mémoire

**REMERCIEMENTS**

Beaucoup de personnes ont contribué d'une manière ou d'une autre au déroulement de notre formation, notre stage et à la rédaction de notre mémoire, c'est le moment de témoigner notre gratitude envers toutes ces personnes ; Il s'agit de :

- Professeur Daouda MAMA, Directeur de l'Institut National de l'Eau (INE), pour nous avoir permis l'insertion dans son établissement ;
- Docteur MC Abdou Karim ALASSANE, le chef département de l'hydrologie ;
- Docteur Nesny AKOKPONHOUE pour son encadrement, ses aides et sa disponibilité à suivre de loin et de près ce travail.
- 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 en hydrologie qui ont tout fait pour qu'une atmosphère de convivialité règne entre nous, spécialement à ceux d'hydrogéologie pour toutes leurs motivations ;
- Nos aînés de la formation Professionnelle en Hydrologie ;

**RESUME**

Notre étude sur le processus de captage des eaux souterraines en zone de socle s'est effectuée dans la commune de Savalou, au centre du Benin, dans le département des collines. C'est une zone qui est sur le substratum granitique avec une couverture d'altérités, connu pour ses difficultés d'accès à l'eau potable. Cette étude a été initiée pour apporter plus de visibilité sur le processus de foration en zone de socle. Pour y parvenir, nous avons débuté notre travail par l'étude géophysique de la zone en optant pour le trainé électrique. Après, nous avons procédé à des sondages électriques sur les profils électriques issus des trainés électriques. L'interprétation des profils électriques est faite à l'aide de Microsoft EXCEL, l'interprétation du sondage électrique à l'aide du logiciel « Ipi2WIN ». Ensuite, sur la base des résultats des sondages électriques, l'équipe géophysique décide de l'emplacement des forages et aussi de la profondeur d'altération. Les points d'implantation sont par la suite forés et équipés selon les normes, par des PVC pleins et des PVC crépinés, ce qui a permis d'avoir les données de forage afin de construire les coupes de forages. L'interprétation des coupes de forages est faite à l'aide de Microsoft EXCEL. Enfin, des essaies de pompage ont été réalisé sur les sites forés et les données d'essai de pompage ont été relevées. Ces données ont servi à réaliser les graphes d'essai de pompage afin de déterminer les débits critiques de chaque forage et les paramètres hydrodynamiques (transmissivité et coefficient d'emmagasinement) de chaque aquifère.

**ABSTRACT**

Our study on the groundwater collection process in the basement zone was carried out in the commune of Savalou, in the center of Benin, in the department of the hills. It is an area that is on granite bedrock with a cover of otherness, known for its difficulty in accessing drinking water. This study was initiated to provide more visibility on the drilling process in the basement zone. To achieve this, we began our work with the geophysical study of the area, opting for the electric train. Afterwards, we carried out electrical surveys on the electrical profiles from the electrical trails. The interpretation of the electrical profiles is done using Microsoft EXCEL, and that of the electrical sounding using the "Ipi2WIN" software. Then, based on the results of the electrical surveys, the geophysical team decides on the location of the boreholes and also the depth of alteration. The implantation points are then drilled and equipped according to the standards, with solid PVC and perforated PVC, which made it possible to have the drilling data in order to construct the drilling sections. The interpretation of borehole sections is done using Microsoft EXCEL. Finally, pumping tests were carried out on the drilled sites and the pumping test data were recorded. These data were used to produce pumping test graphs in order to determine the critical flow rates of each borehole and the hydrodynamic parameters (transmissivity and storage coefficient) of each aquifer.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 **:** Carte de la localisation de la commune de Savalou.....…….……4

Figure 2 **:** Carte hydrographique de Savalou…….....…….……...6

Figure 3 **:** Carte géologique de la commune de Savalou…….……...7

Figure 4 **:** Principe de mesure en résistivité…….…….13

Figure 5 **:** Mise en place du dispositif du trainé électrique…….……..14

Figure 6 **:** Dispositif du Schlumberger……...…….……..15

Figure 7 **:** Schéma simplifié des pertes de charges dans un ouvrage...……...……..……22

Figure 8 **:** Anomalie de forme « V » et « W » à Attakplakanmé…...……...…25

Figure 9 **:** Anomalie de forme « U » et « V » à abiadji……...…….…26

Figure 10 **:** Anomalie de forme « U » et « W » à Abala……...27

Figure 11 **:** Courbe de sondage électrique dans le village de Attakplakanme selon le logiciel Ipi2win……..28

Figure 12 **:** Courbe de sondage électrique dans le village de Abiadji selon le logiciel Epi2win…….29

Figure 13 **:** Courbe de sondage électrique abala……...…….……...30

Figure 14 **:** Coupe de forage de Attakplakanme…….……..31

Figure 15 **:** Coupe de forage de Abiadji……...…….……33

Figure 16 **:** Coupe de forage de Abala……...…….…..35

Figure 17 **:** Graphe de détermination du débit critique à Attakplakanme…...…….….37

Figure 18 **:** Graphe de détermination du débit critique à Abiadji……...……...…38

Figure 19 **:** Graphe de la détermination du débit critique à Abala…….....39

## LISTE DES IMAGES

Photo 1 **:** Massifs rocheux de Tchetti……..……5

Photo 2 **:** Collines jumelles de kpatakpa…….……5

Photo 3 **:** Cliché montrant le matériel utilisé pour la géophysique……...10

Photo 4 **:** Foreuse (a) échantillon (b) Tuyau PVC……11

Photo 5 **:** Quelque clichées de matériel de pompe……12

Photo 6 : Echantillon…….……17

Photo 7 : foration en cours……17

Photo 8 : tuyau pvc……18

Photo 9 : soufflage en cours……..18

Photo 10 : quelques photos lors de l'essai de pompage…….……...…20

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 **:** Valeur locale de transmissivité et de coefficient d'emmagasinement

## SIGLES ET ABREVIATIONS

BDI : Bureau de documentation et d'information

DG Eau : Direction Générale de l'Eau

INE : Institut National de l'Eau

INSAE : Institut National de Statistique et d'Analyse Economique

MFT : Marteau Fond de Trou

OUAIP : Outil d'aide à l'interprétation des pompages d'essai

PVC : Poly chlorure de vinyle

RGPH : Recensement General de la Population et de l'Habitat

SONEB : Société Nationale des eaux du Benin

UAC : Université d'Abomey Calavi

**SOMMAIRE**

DEDICACE…….……i
REMERCIEMENT…….……....ii
RESUME……...iii
ABSTRACT……...iv
LISTES DES FIGURES……v
LISTES DES IMAGES…….……vi
LISTES DES TABLEAUX……..vii
SIGLES ET ABREVIATIONS……...viii
SOMMAIRE.…….……ix
INTRODUCTION GENERALE……1
CHAPITRE 1 : Localisation de la zone d'étude…….……2
1.1- Localisation géographique de la commune de Savalou……4
1.2- Géomorphologie et climat de la commune de Savalou……...……..5
1.3- Hydrographie de la commune de Savalou……6
1.4- La géologie de la commune de Savalou……7
1.5- Végétation et faune……8
CHAPITRE 2 : Matériel et méthodes d'études……...……9
2.1- Matériel d'étude…….……10
2.2 La méthode d'étude……..…..……13
2.2.1- Recherche documentaire……..…....13
2.2.2- Méthode de collecte des données…….……..13
CHAPITRE 3 : Résultats et discussions…….……..24
3.1- RESULTATS……..…...25
3.1.1- Analyses et interprétations des données géophysiques…….….25
3.1.2- Caractérisation des anomalies à partir des profils électriques de trainés……....25
3.1.3- Caractérisation des différentes formations géologiques par les sondages électriques réalisés dans la zone d'étude……..…...28
3.1.4- Réalisations des coupes de forages à partir des fiches techniques de forages réalisés dans la zone d'étude…….….31
3.1.5- Réalisation des graphes d'essai de pompage à partir des données relevées lors de l'essai de pompage……...37
3.1.6- Détermination des débits critiques des trois forages……..39
3.1.7- Détermination des paramètres hydrodynamiques……...40

3.2-DISCUSSION…….……41
CONCLUSION…….……42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES…….…….....43
ANNEXE ……45
ANNEXE 1……...45
ANNEXE 2……...46

## INTRODUCTION GENERALE

L'approvisionnement en eau potable des populations urbaines et rurales constitue une priorité pour les autorités mondiales car l'eau potable est un besoin humain fondamental et un facteur de suivi. Or, l'eau douce est en faible quantité dans le monde et sa majeure partie est confinée dans les glaciers polaires. Les eaux douces de surfaces comme les rivières et autres sont de plus en plus polluées par les activités anthropiques et obligent à faire plus recours aux eaux souterraines. La mobilisation des eaux souterraines nécessite des investigations diverses et couteuses liées aux contextes des aquifères. Dans les zones rurales, l'impact des prélèvements sur les ressources en eau souterraine est difficile à évaluer même si les débits d'exploitation et la densité des forages sont faibles (Compaoré, 1997). Le cas du socle est encore plus compliqué car la ressource est rare et confinée au cas où le contexte le permet dans des fractures profondes. En effet, en Afrique, les eaux souterraines sont les principales sources d'approvisionnement en eau potable des populations. Au Bénin en particulier la ressource en eau n'est pas encore maitrisée, les difficultés demeurent et l'eau potable n'est pas accessible à tous (Tossou, 2009). La problématique de l'accès à l'eau potable pour tous les habitants dans leur milieu de vie n'est donc pas une chose aisée. Dans le contexte géologique béninois par exemple, 75% de la superficie du pays relève du domaine où affleurent de roches cristallines et cristallophylliennes. La zone de socle est donc la plus grande et toute politique nationale d'approvisionnement en eau potable y consacre une attention particulière.

La région de Dassa-Zoumé, incluant la commune de Savalou est célèbre au Bénin pour ses problèmes de ravitaillement en eau potable (Boukari, 1982). Elle est sur un substratum granitique (migmatite fracturée) avec une couverture d'altérites. En effet les anciens forages réalisés dans la zone ont des débits ne permettant pas de satisfaire les besoins de l'hydraulique villageoise (débit compris entre 0.7 et 5m3/h) à plus forte raison l'hydraulique urbaine (débit supérieur à 5 m3 /h) avec un taux élevé de forages négatifs. Dans cette Commune, le taux de réussite pour la réalisation des forages de l'hydraulique villageoise est de 30% à 70%, celui de l'hydraulique urbaine (forages à gros débit) est de 20% à 30% selon la BDI / DG Eau. Elle a un taux de déserte en eau potable de la population de 42 % en saison pluvieuse (période de point du barrage) et de 33% en saison sèche (Akokponhoue,2018).

C'est dans cette optique que ce travail intitulé **« ETUDE SUR LE PROCESSUS DE CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES EN ZONE DE SOCLE : CAS DE SAVALOU »** est initié.

L'objectif général de notre mémoire est de montrer le processus de réalisation des forages en zone de socle en énumérant les différentes étapes d'installation d'un point d'eau en zone de socle cristallin

De façon spécifique, il s'agit de :

- faire la synthèse des méthodes géophysiques utilisées dans la zone
- définir des techniques de foration et d'équipement des forages en zone de socle
- analyser les paramètres hydrodynamiques des ouvrages dans la commune de Savalou

De ces objectifs, il découle les hypothèses suivantes :

- les méthodes géophysiques conduisent à l'implantation des forages en zone de socle ;
- les techniques de foration et d'équipement influent sur le débit de forage ;
- les paramètres hydrodynamiques contrôlent la qualité des ouvrages ;

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude
- ✓ Le second chapitre traite du matériel utilisé et de la méthodologie adoptée ;
- ✓ Le troisième présente les résultats obtenus suivis de leurs analyses et discussions.

# CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### 1.1-Localisation géographique de la commune de Savalou

La Commune de Savalou est comprise entre 7'35 et 8'13 de latitude Nord d'une part et 1'30 et 2'6 de longitude Est d'autre part. Elle partage ses frontières avec les communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué à l'Est ; de Djidja (Département de Zou) au Sud, de Bantè au Nord et la République du Togo à l'Ouest sur environ 65 km (limite Nord-sud). Cette commune est l'une des six (06) communes du département des Collines et l'une des soixante-dix-sept (77) que compte la République du Bénin. Elle s'étend sur près de 58 km de l'Ouest à l'Est et couvre une superficie de 2674 km² ; soit 2,37% du territoire national. L'extrémité de la Commune est à 48 km à vol d'oiseau et sa distance maximale de bord à bord est de 90 km. La commune de Savalou est administrativement subdivisée en quatorze (14) arrondissements dont quatre (04) urbains (Aga, Agbado, Attakè et Ouessè). Elle comprend dix-sept (17) quartiers de ville et cinquante- deux (52) villages avec une population totale de 144 814 habitants dont plus de la moitié (51.6 %) de femmes et un taux d'accroissement annuel de 2.92 % (INSAE/RGPH4 ; 2013). De par sa position géographique, Savalou est l'une des principales villes de transit pour les pays de l'hinterland en particulier le Burkina Faso et le Mali. La figure 1 présente la carte de localisation de la commune de Savalou.

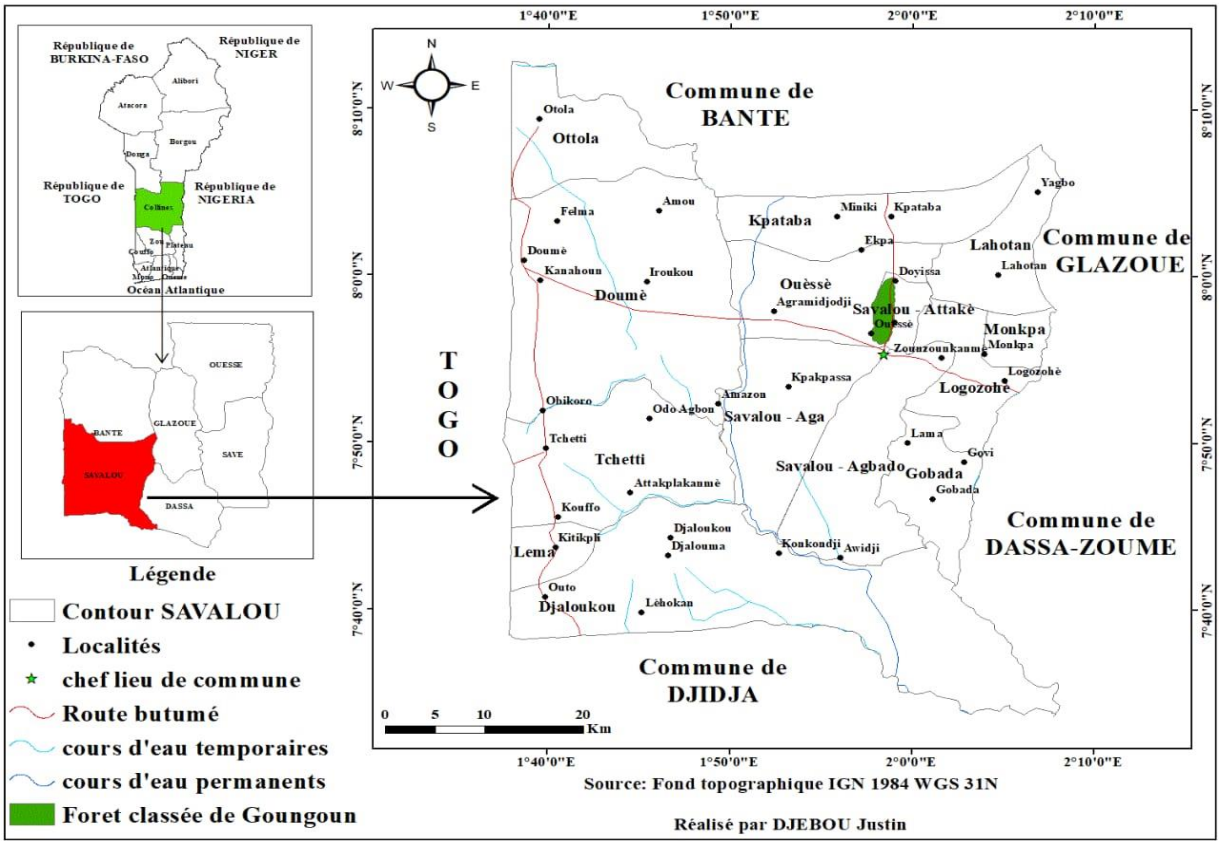



**Figure 1 :** Carte de localisation de la commune de Savalou

### 1.2- Géomorphologie et climat de la commune de Savalou

L'un des traits caractéristiques de la commune de Savalou est son relief. En effet, il est caractérisé par des affleurements de collines avec un axe orienté nord-sud sur une pénéplaine cristalline reposant sur du matériel précambrien du vieux socle granito gneissique. Il culmine entre 120 et 500 mètres d'altitude avec une chaîne centrale culminant à près de 500 mètres et s'étendant sur une vingtaine de kilomètres reliant le centre urbain à l'arrondissement de Kpataba donnant ainsi à la commune son appellation du "*pays de la chaîne des collines*" (Monographie de Savalou ; 2006). Il existe d'autres massifs périphériques à emprise plus réduite : les massifs de Tchetti (dont une sous forme de grotte) et de Doumé. Les sols rencontrés à Savalou résultent en grande partie de la nature de la roche mère. Ils sont de plusieurs types selon leurs caractères physiques, chimique et biologique. Les plus répandus dans la commune sont les sols ferrugineux tropicaux avec par endroits des étendues de concrétion. On distingue aussi des sols hydromorphes et des vertisols. Les photos 1 et 2 présentent respectivement le massif rocheux de tchetti et les collines jumelles de kpataba.

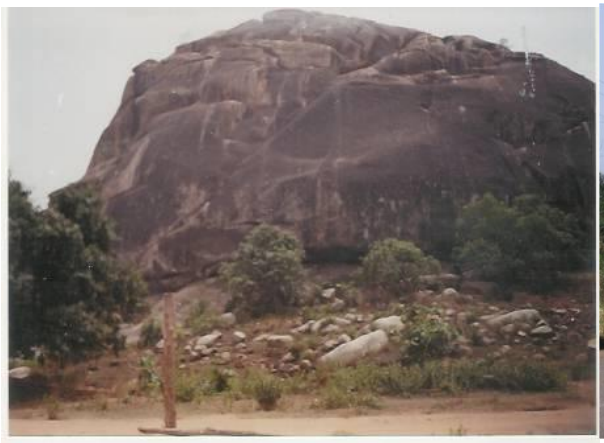




**Photo 1 : Massif rocheux de Tchetti** **Photo 2 : Collines jumelles de Kpataba**

La commune de Savalou bénéficie d'un climat de type soudano-guinéen avec deux saisons de pluie (de Mars à Juillet et de Septembre à Novembre) et deux saisons sèches (de Décembre à Mars et le mois d'Août). La hauteur moyenne des pluies est de 1150 mm. Toutefois, cette pluviométrie varie suivant les années entre 864 et 1637,3 mm Les températures sont élevées toute l'année avec des minima qui se situent entre 23 et 24°C et des maximas qui varient de 35 à 36°C. Cette variabilité constitue une contrainte au choix des différentes activités agricoles.

### 1.3-Hydrographie de la commune de Savalou

Sur le plan hydrographique, la commune est drainée par des cours d'eau saisonniers dont les principaux sont : Agbado, Klou, Gbogui, Azokan, Zou, longs d'environ 161 km (Figure2). L'espace urbain est traversé par de nombreux affluents de la rivière Agbado. Il s'agit d'un petit bassin riche en ruisseaux à écoulement intermittent. Les plus importants de ces bassins urbains sont : kinsissa, Sèhossou, Agbéto et Lévia. Les pentes, assez fortes par endroits et la perméabilité de certains sols, font que les nappes phréatiques facilement mobilisables sous forme de puits, sont masquées par les dos de baleine qui affleurent à faible profondeur, empêchant ainsi les populations d'avoir des sources d'eau permanentes. La figure 2 présente la carte hydrographique de Savalou.

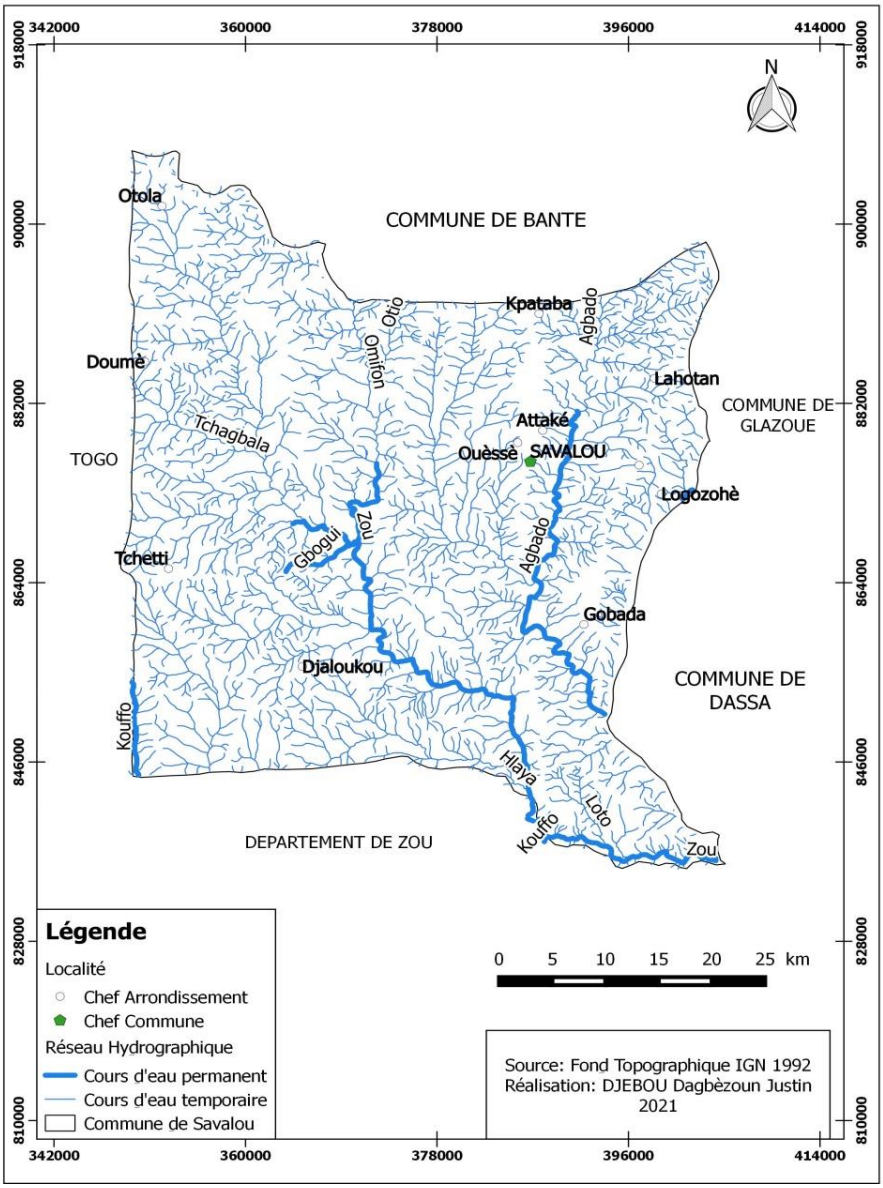


Figure 2 : carte hydrographique de Savalou

### 1.4- Géologie de la commune de Savalou

Géologiquement, la région d'étude est reconnue par sa complexité d'après les travaux menés par Affaton (1973), Bousslwi et Rollet (1974), Boussari (1975), Alidou, Bard et Julieb (1975) au Benin. Pour ces mêmes auteurs, il s'agit en effet d'ensembles lithologiques et structuraux ayant subi plusieurs phases de déformation, de métamorphisme et de magmatisme. Le secteur d'étude se situe au centre de la partie méridionale des formations précambriennes du Benin (Boussari, 1982). Les travaux de cartographie géologique de Breda (1989), mettent en évidence dans la zone un encaissant gneissique et migmatitique, des plutons granitiques et une série volcano-sédimentaire. Sur les affleurements de granulites en place, on observe de fortes structurations orientées Nord-Sud et des foliations mylonitiques verticales. Les observations microstructurales Adissin (2012), indiquent que le gneiss a subi une déformation ductile dans les conditions métamorphiques du faciès amphibolite. La figure 3 présente la carte géologie de Savalou

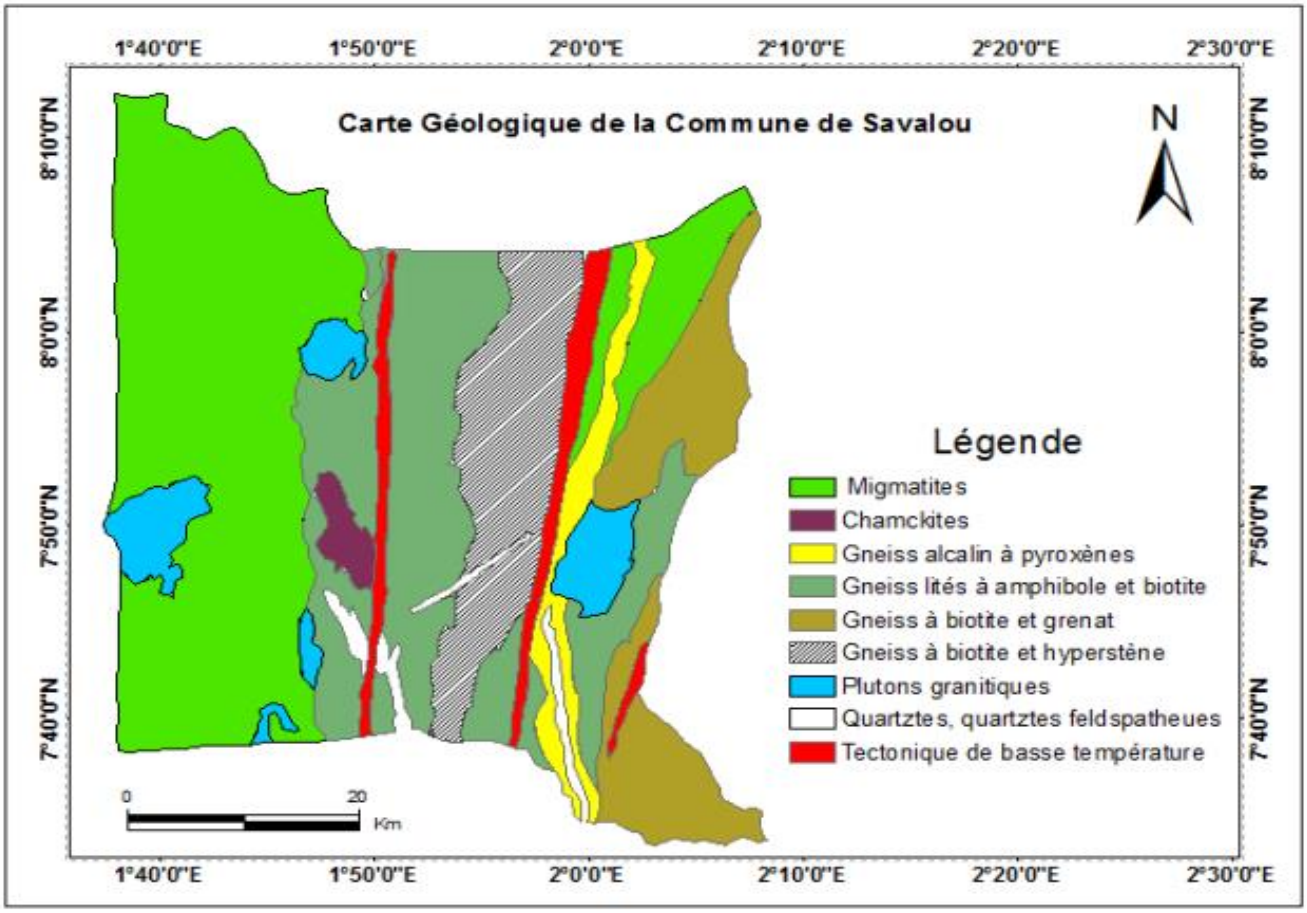



Figure 3 : Carte géologique de Savalou (AKOKPONHOUE,2018)

Trois paragenèses successives peuvent être distinguées : une paragenèse anté-cinématique (anté-cisaillement) à orthopyroxène + feldspath potassique1 + plagioclase1 du faciès granulite et deux paragenèses syn-cinématiques dont l'une à clinopyroxène + grenat + biotite + feldspath potassique2 + plagioclase2 et l'autre à chlorite. Les deuxième et troisième paragenèses minérales accompagnent une rétromorphose des granulites. Les roches montrent une texture oeillée et sont composées d'amandes de quartz et de matériel quartzo-feldspathiques centimétriques à décimétriques dispersés dans une matrice à grain plus fin de gneiss grano-lépidoblastique et porphyroclastique. L'assemblage minéralogique est à quartz + feldspath potassique + plagioclase + biotite + grenat + muscovite + sillimanite + cordiérite. Les minéraux accessoires sont la monazite, l'apatite et le zircon. Les biotites et la sillimanite aciculaire sont orientés dans une foliation qui moule les amandes feldspathiques ou quartzo-feldspathiques et les grenats. Les grenats renferment des inclusions de plagioclase et sont parfois fracturés avec des recristallisations de biotite et de muscovite dans les micro fractures (Akokponhoue,2018).

### 1.5-Végétation et faune

La végétation à Savalou est tributaire du type de sols rencontrés. Ainsi, plusieurs formations végétales se retrouvent sur l'espace de cette commune formant un paysage de savane malgré l'existence de deux saisons bien tranchées. Elle est composée par endroit de galeries forestières, de forêts denses sèches, semi-décidues, de forêts claires, de savanes boisées, de savanes arbustives et saxicole.

# CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

## 2.1 Matériel d'étude

Le matériel utilisé est un ordinateur portatif avec les logiciels :

- Excel pour le traitement des données ;
- Word pour les traitements de texte ;
- **Ipi2win** pour l'interprétation des sondages électriques ;
- Le logiciel **QGIS** et **suffer 11** pour la réalisation des cartes ;
- Le logiciel **ouaip** pour l'interprétation des graphes d'essai de pompage.

❖ **Pour la géophysique**

Lors de l'implantation des points au niveau des trois sites, ces matériels ont été utilisés :

- Un véhicule pour le déplacement ;
- Câbles pour acheminer le courant de la bactérie vers les différentes pièces ;
- Un marteau pour enforcer les électrodes sous terre ;
- Deux électrodes émetteur de courant électrique dans le sol : A et B;
- Deux électrodes réceptrices mesurant la différence de potentiel :M et N ;
- Un convertisseur pour transformer le courant continu en courant alternatif ;
- Un GPS pour la prise des coordonnées des points de mesures ;
- Résistivimètre pour mesurer la résistivité des couches traversées ;
- Batterie pour fournir le courant. La photo 3 présente les matériels de l'implantation



Photo 3 : photo du matériel utilisé pour l'implantation des points.

❖ **Pour le forage**

Nous avons utilisé au cours de la foration sur les trois sites :

- Une fiche technique de foration que nous avons utilisé pour la coupe de forage ;

- Un abaque de 15 L pour la mesure du débit ;
- Un décamètre pour la mesure des tiges de foration ;
- Un chronomètre pour connaitre le temps de remplissage de l'abaque ;
- Un stylo et un cahier pour relever les valeurs ;
- Un GPS pour prendre les coordonnées géographiques ;
- Une Foreuse avec ses accessoires pour forer les points d'implantation (Photo a) ;
- Une Tige pour approfondir le trou et de déplacer le mat de la foreuse de haut en bas ;
- Tuyau PVC crépinés et non crépinés. La photo a, b et c présente une foreuse, des échantillons et des PVC.



a b c

Photo 4 : Foreuse (a) ; Echantillons (b) et Tuyaux PVC (c)

❖ **Pour l'essai de pompage**

Nous avons aussi procédé à des essais de pompage pour tester la capacité des forages sur les trois sites. Lors de ces essais de pompage le matériel suivant a été utilisé :

- Un véhicule pour le déplacement ;
- Un groupe électrogène qui va alimenter la pompe immergée ;
- Une pompe immergée qui va refouler de l'eau vers la surface ;
- Une sonde électrique pour prendre le niveau statique et le niveau dynamique de l'eau ;
- Un appareil de mesure de profondeur total ;
- Une Chronomètres pour la prise du temps ;
- Un GPS pour rendre les coordonnées géographiques
- Un Lot de matériel électrique pour éclairage ;
- Un Galva ou tuyaux flexibles ;
- Une Calculatrice de poche ;
- Une Fiche de l'ouvrage avec résultats de développement
- Une Fiche normalisées pour l'enregistrement des mesures.

Les photos suivantes présentes quelques outils d'essai de pompage



**Photo 5 : Quelques clichés de matériel de pompage**

## 2.2- La méthodologie d'étude

La démarche méthodologique adoptée comprend trois étapes dont la recherche documentaire, la collecte des données et le traitement de ces données.

### 2.2.1- Recherche documentaire

Au cours de cette première étape, la recherche documentaire de notre cadre d'étude s'est beaucoup plus orientée vers les thèses, les mémoires, les rapports et les publications qui traitent d'une manière ou d'une autre du sujet d'étude. Ces documents sont trouvés sur internet.

### 2.2.2- Méthode de collecte des données

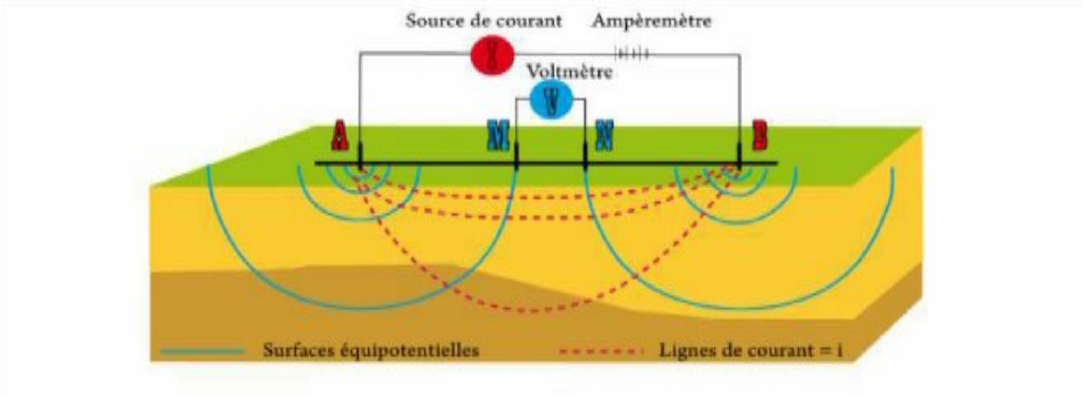
A ce niveau, le travail a consisté à collecter les données dont nous avons réellement besoin pour mener à bout l'étude. Ainsi, nous avons recueilli certaines données auprès des structures spécialisées et aussi assisté à trois forations et les essais de pompage de ces trois forations.

- **Pour la géophysique**

A ce niveau nous n'avons pas pu collecter les données sur le terrain mais nous avons eu les fiches d'implantation chez le géophysicien.

L'implantation consiste à l'utilisation d'une méthode géophysique de prospection afin de choisir des points appropriés pour le captage rapide et à bon débit de l'eau souterraine qui s'écoule dans les fractures. La méthode la plus utilisée en prospection au Bénin est le dispositif classique Schlumberger AMNB dans lequel A et B sont des électrodes émettrices du courant électrique et M et N des électrodes de mesure de la différence de potentielle. La figure 6 présente le principe de mesure en résistivité.

**Figure 4 : principe de mesure en résistivité**




- **Trainé électrique**

Le trainé électrique est la technique d'investigation latéral. Le processus de mesure consiste à déplacer suivant une ligne (profil), ou des mesures de tension et d'intensité de courant sont effectuées suivant un pas de mesure prédéfini par l'opérateur, en fonction des conditions de terrains et de la précision recherchée. Les résistivités apparentes calculées pour chaque station de mesure permettent de tracer le profil de résistivité électrique sur du papier semi-logarithmique (Tossou, 2009). Les profils permettent de détecter des structures conductrices allongées, que l'on associe à des fractures du socle, selon le contexte géologique. Plusieurs dispositifs peuvent être utilisés dont le plus répandu est le dispositif de Schlumberger. La figure 5 présente le dispositif de trainé électrique.

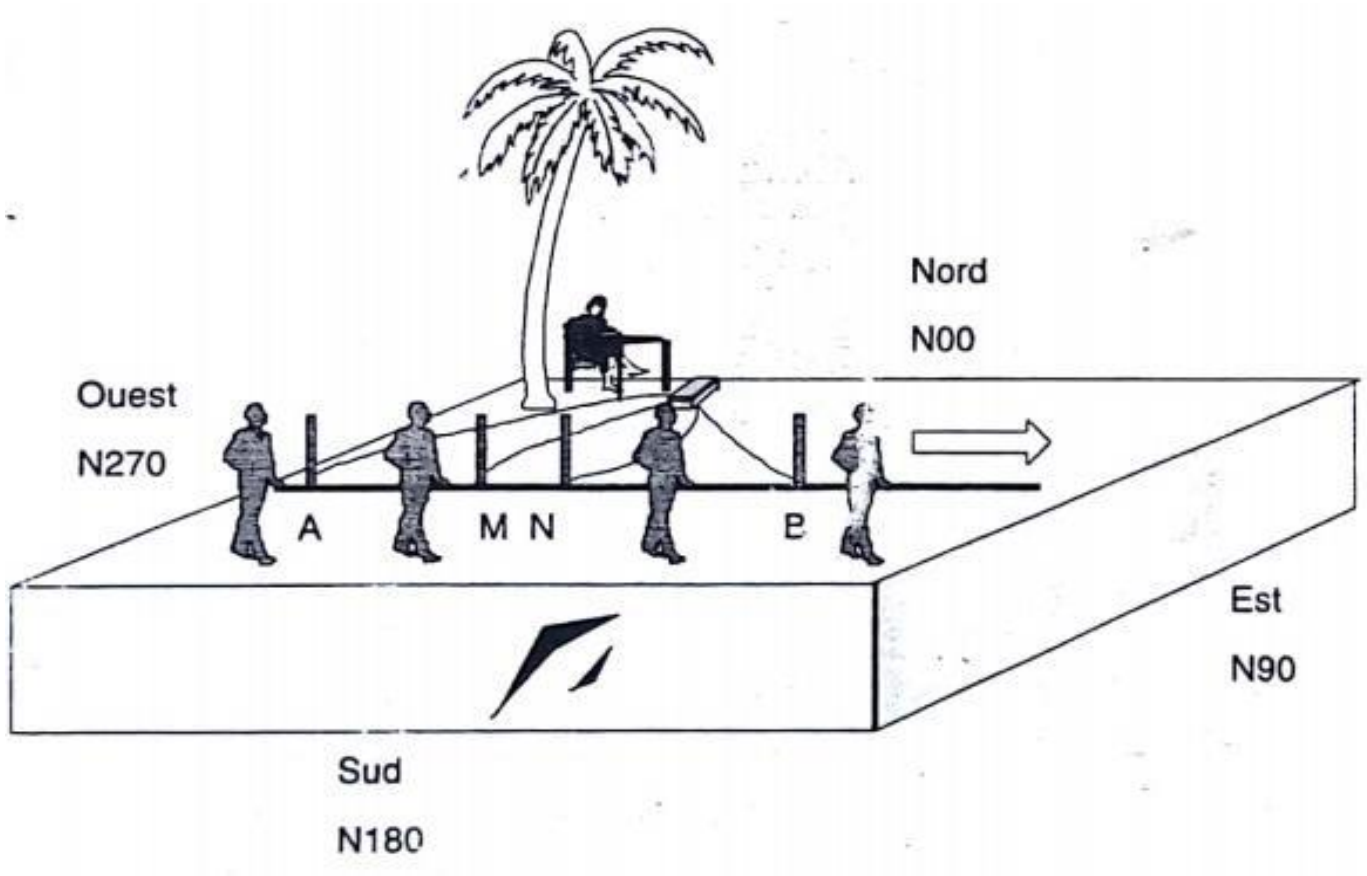



**Figure 5 : Mise en place du dispositif de trainé électrique**

- **Sondages électriques**

Après la réalisation des profils électriques, suivent les travaux de sondage électriques. A cet effet les sondages électriques sont exécutés au droit (à la verticale) des anomalies conductrices intéressantes, et permettent de suivre la variation verticale des propriétés électriques des couches sous-jacentes qu'on pourrait relier à des propriétés hydrogéologiques (Tossou,2009).

Cette technique, très utilisée et fournissant généralement une bonne approche initiale, consiste en l'analyse de la résistivité apparente du sous-sol (ρa) mesurée par un dispositif quadripôle symétrique (ABMN) pour une succession d'écartements des électrodes AB. Dans la pratique, le dispositif le plus utilisé est le Schlumberger. La profondeur d'investigation est réglée en faisant varier la distance entre les électrodes A et B d'envoi de courant. Ensuite on trace la courbe de variation de la résistivité apparente ρa en fonction de la profondeur (courbe de sondage électrique) sur un papier bi-logarithmique. La Figure 6 présente le dispositif Schlumberger

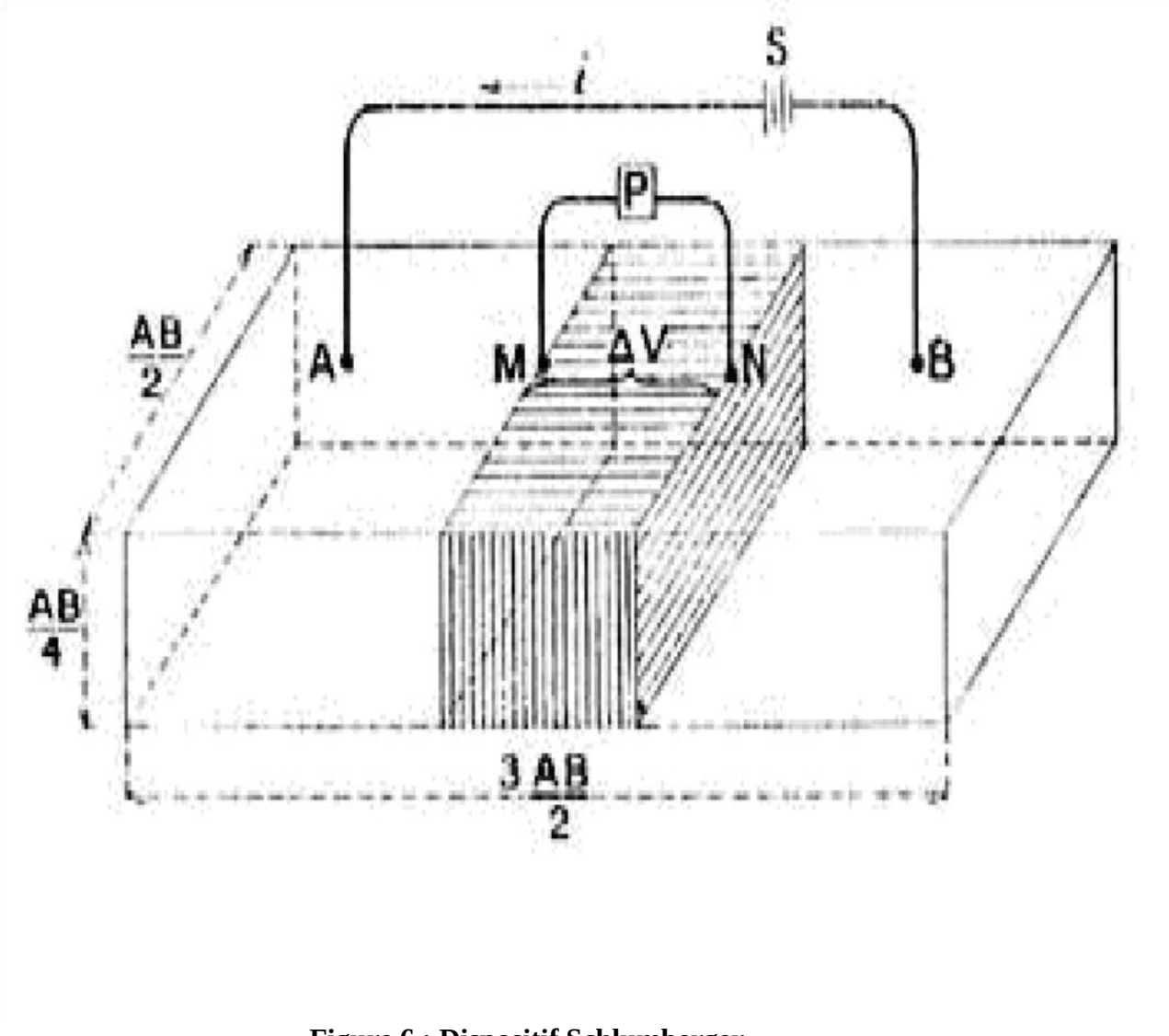



**Figure 6 : Dispositif Schlumberger**

- **Mode de foration en zone socle à Savalou**

A ce niveau nous avons assisté à la foration proprement dite sur trois sites. Cela nous a permis de collecter des données de foration dont nous avons besoin pour avoir la fiche technique de forage et la fiche de la coupe lithologie.

- **Forage dans l'altération**

Une fois l'atelier accédé au site, le foreur recherche le piquet prioritaire F1 de l'implantation. La foreuse se positionne alors de sorte à ce que son outil de foration soit exactement sur le point F1. Le montage du mat débute suivi de l'installation de l'outil de foration et de l'équilibrage de la machine à l'aide de ses 4 vérins qui soulève progressivement la machine jusqu'à la hauteur adéquate et l'équilibrage de la foreuse permet au mat de la foreuse d'être bien vertical afin que le trou de forage ne soit pas incliné. On débute la foration de l'altération avec le tricône en envoyant de l'air comprimé injecté par la tête d'injection. L'air sort à la tête de l'outil en passant à l'intérieur du train de tige vissées à l'outil. Pour avancer en profondeur, la foreuse exerce deux types de mouvement sur le tricône. Le premier est un mouvement d'enfoncement vertical à l'aide d'une poulie. Le second est une rotation du tricône. La foration commence alors avec beaucoup de poussière et prend de la profondeur avec l'ajout de tige. En enforçant en profondeur, le foreur remarque à un moment donné que le bruit du moteur change et que l'outil n'avance plus ce qui signifie qu'il a atteint le toit du socle alors il ressort les tiges une à une et met en place le tubage provisoire pour empêcher l'éboulement de l'altération. Le foreur remplace le tricône par le marteau.

- **Forage dans le socle dur**

Après la mise en place du tubage provisoire, le MFT est installé avec le vissage du train de tige à travers lequel l'air comprimé passe sous haute pression. Une pièce métallique au bout du MFT fait des mouvements de va et vient verticaux et très rapide sous la force de la pression exercée par l'air comprimé. Cette pièce vient frapper la queue de l'outil dont le taillant reste en contact direct avec le sol. L'air détendu ensuite à son passage dans le marteau, acquiert une grande vitesse et remonte dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du forage) en entrainant en surface les déblais appelés cuttings. On reconnait les venus et les fracture d'eau si la vitesse de foration augmente et aussi par les cuttings. Après avoir reconnu la fracture, le foreur fini la tige entamée et la ressort en envoyant de l'eau pour laver la fracture et ensuite envoie de l'air afin de mesure le débit d'eau générer par cette fracture. On

considère que la fracture est sèche s'il n'y a pas de l'eau.

On mesure le débit des venues d'eau avec des vases de soutenance. Lorsque les venues d'eau obtenues donnent un débit d'au moins 0,7 m3/h on peut équiper forage. Mais quand on atteint la profondeur de cette foration estimée par les études géophysiques et qu'on n'a pas ce débit de 0,7 m3/h on déclare le forage négatif. Les photos 6 et 7 présentent respectivement les échantillons et la foration en cour.





**Photo 6 : Echantillons** **Photo 7 : foration**

- **Equipement de forage**
  - **Equipement complet**

Les trois forages que nous avons assistés la foration étaient tous positif. Donc l'équipe de foration a procédé à leur équipement selon le principe suivant :

Le forage étant déclaré positif, le contrôleur hydrogéologue en commun accord avec le chef foreur, procède à la mise en place de l'équipement. Un schéma est réalisé rapidement sur papier en tenant compte de la profondeur du forage et les niveaux de venu d'eau. L'équipement se fait en PVC de diamètre intérieur et extérieur respectivement de 124 mm et 140 mm comprenant un tubage de décanteur dont la base est fermée. Les PVC ont des fentes de 0,75 mm à 1 mm (crépines) ou sont plein (sans fentes). Les crépines sont positionnées au droit des venues d'eau importantes repérer pendant la foration. A la longueur du trou équipé, on ajoute celle du hors sol qui est la hauteur de l'équipement au-dessus du sol. Sa hauteur fait environs 0,5 m. On prend le soin de mesurer les PVC disponible pour vérifier la

correspondance de la longueur des PVC et du schéma établit parce que les PVC existent de différentes longueurs. L'équipement proprement dites commence par l'envoie du décanteur ensuite les crépines et les PVC pleins s'alternent en fonction de leur positionnement sur le papier de représentation de l'équipement. Les PVC sont envoyés par vissage l'un à l'autre.

Après l'équipement on passe au gravillonnage qui consiste en la mise en place du massif filtrant (gravier) dans l'espace annulaire. L'espace annulaire est le vide qui existe entre le trou foré et les PVC puisque le diamètre des outils de foration est plus grand que celui des PVC. Le massif filtrant est donc renversé dans l'espace annulaire. Ce massif filtrant sert donc de base pour la partie restante qu'il faut remblayer. Ce remblai se fait à l'aide des cuttings et une couche de bétons de deux mètres environ qui sert à l'immobilisation de la tête de forage (Azonsi,2017). On enlève ensuite le tubage provisoire et on bouche l'espace annulaire en surface pour que l'eau qui sortira lors du développement ne s'échappe pas à travers cet espace.

Cela nous a permis d'établir sur la fiche technique un schéma de l'équipement adopté avec les positions de diffèrent venu d'eau, les PVC crépinés, les massifs filtrants

Apres l'équipement s'en suit le développement. Cette étape a pour objectif d'obtenir de l'eau claire sans particules. Elle consiste à envoyer un train de tuyaux Galva jusqu'à 1 m du fond du forage déjà équipé (dans le décanteur) dans lequel on envoie l'air sous forte pression afin de faire remonter l'eau captée par les crépines. On mesure donc le débit et le contrôleur réalise la tache de sable pour déclarer l'eau claire, ce qui conditionne l'arrêt d développement.

Les photos 8 et 9 présentent respectivement des PVC et le soufflage en cours



**Photo 8 : PVC**



**Photo 9 : Soufflage en cours**

- **Equipement suspendu**

L'équipement suspendu se fait uniquement dans les zones de socle. Il a eu lieu lorsque le débit de la foration est inférieur au normes (0,7 $m^3$/h) pour un forage positif au Benin (MEM,2018). De plus le contrôleur et le foreur doivent s'assurer que l'altération se termine à 10m au maximum et que la roche après l'altération est très dure jusqu'à la fin de la foration. Dans ce cas le foreur et le contrôleur peuvent décider de suspendre à une certaine mètre le forage. L'équipement suspendu est l'équipement sans décanteur. Lors de l'équipement l'on laisse une certaine profondeur nue jusqu'à la fin de la foration pour augmenter le débit. Ce sont des décisions qui sont prises dans des zones très difficiles où les forages négatifs sont très fréquents.

### 2.4. Détermination des paramètres hydrodynamique

Nous avons aussi suivi des essais se pompages des trois sites au cours duquel les données d'essai de pompage ont été relevé sur une fiche de pompage.

- **Essai de pompage**

L'atelier de l'entreprise qui s'occupe de cette étape est composé soit d'un camion soit d'un véhicule adapté avec la machine comme ce fut notre cas. Le pompage d'essai consiste à tester le forage. C'est-à-dire solliciter la nappe en pompant une quantité d'eau pendant un temps donné et en observant au fur et mesure la baisse du niveau d'eau dans le forage. Cette baisse de niveau d'eau dans le forage est appelée rabattement. Ces données traitées et interprétées nous permettent de connaitre le débit maximum que peut fournir le forage en permanence sans risque.

Les travaux démarrent par le contrôleur qui prend le niveau statique et la profondeur du forage à l'aide d'une sonde électrique et une sonde de masse. Le déroulement du pompage commence par la recherche de la meilleure position pour installer la machine afin de poser la poulie de déroulement du flexible proche du forage. On associe le flexible à la pompe. Le flexible est un tuyau dans lequel passera l'eau pompé du forage par la pompe vers l'autre extrémité pour la mesure du débit. Le câble de sécurité et celui de l'alimentation de la pompe étant déjà associé à la pompe, on descend la pompe très basse dans le forage par le déroulement du flexible auquel elle est associée. Il est très important de s'assurer que la pompe est descendue au niveau d'un PVC plein pour que la pression du pompage ne détruise pas les crépines. Le câble de sécurité est attaché à la pompe pour pouvoir la retirer lorsqu'elle

se dissociera du flexible et le câble d'alimentation conduit le courant à la pompe. L'autre bout du flexible est vissé à une association de tuyau en métal afin de recueillir l'eau pompée et de mesurer le débit pour caler les diffèrent débits à utilisés pour le pompage. Une vanne installée sur la tuyauterie permet de diminuer et d'augmenter le débit. Ainsi, selon le débit aux développements on règle à l'aide de la vanne le débit qu'il faut pour chaque palier.

La mesure du débit se fait par le chronométrage du remplissage d'un vase. Connaissant le volume du vase et le temps de remplissage on fait le calcul suivant : volume du vase en litre multiplié par 3600 secondes, le tout divisé par le nombre de seconde de remplissage. Et on a le débit en litre/heure. Lorsque ce débit ne correspond pas au débit voulu pour l'opération serre ou on desserre la vanne afin de reprendre l'opération jusqu'à obtenir le débit voulu. Après cela on peut donc chronométrer le temps de pompage et mesure de la baisse du niveau dynamique. Dix minutes avant la fin du pompage le contrôleur prélève au jet un échantillon d'eau pour l'analyse dans une bouteille de 1,5 L. Apres le pompage, on observe une remontée suivant une chronologie. On traite les données au bureau pour en déduire le débit à utiliser pour le forage et la cote de la pompe. Les photos suivantes présentent quelques outils d'essai de pompage.



**Photo 10 : Quelques photos lors de l'essai de pompage**

### 2.5. Traitement des données recueillies

Toutes les données collectées ont été traitées en fonction du résultat que l'on recherche. Pour se faire, plusieurs méthodes et programmes ont été utilisés. Il s'agit notamment des logiciels adaptés à chacun des objectifs poursuivis.

❖ **Réalisation de courbe de résistivité**

La courbe de résistivité indique généralement les anomalies où on peut fait du sondage électrique. Pour sa réalisation nous avons procédé :

- À l'organisation des données dans un fichier Excel en des colonne : une colonne pour les distances et l'autre pour les résistivités
- A l'insertion des données dans le graphique du fichier Excel
- Réarrangement de la courbe jusqu'à l'obtention de la courbe complète de résistivité (figure 5,6,7 du résultat)

❖ **Réalisation de la courbe de sondage**

La courbe de sondage nous donne une idée sur la couche (résistivité, épaisseur). Pour la réalisation nous avons choisi le logiciel **Epi2win** qui est un logiciel d'interprétation des sondages. Dans ce logiciel nous avons introduit les données de résistivité et de la distance AB. Ensuite nous avons ajusté notre courbe à une courbe spécifique de couleur rouge. L'ajustement de la courbe est vérifié par une marge d'erreur qui est inférieur à 1 (figure 8,9,10).

❖ **Réalisation de la coupe de forage**

La coupe de forage nous indique toutes les données qui concernes un forage à savoir : les données d'identifications, les données de foration et les données de la géologie. Pour la réalisation de la coupe de forage nous avons opté pour trois feuilles conçues dans Excel. En se servant de la fiche de forage nous avons procédé :

- A l'entrée des données d'identification (coordonnées géographiques, le pays, le nom de la localité, le nom du foreur, le village…)
- A l'entrée les données du forage (foration, tubage, annulaire)
- A l'entrée des données de géologie (les différentes roches traversées et leur profondeur suivi de leur code)

Enfin nous avons généré la coupe et l'enregistrer sous PDF.

❖ **Réalisation du graphe d'essai de pompage**

Le graphe d'essai de pompage nous renseigne sur les paramètres hydrodynamiques d'un aquifère et le débit critique du forage. Pour les réaliser nous avons utilisé le logiciel OUAIP.

OUAIP est un outil dédié à l'interprétation des tests hydrauliques en hydrogéologie (essais de puits, essais de nappe) et à la simulation prévisionnelle des niveaux d'eau.

**Principe de l'interprétation**

L'interprétation proposée pour la détermination automatique du débit critique diffère de la méthode Porchet, qui détermine de manière plus ou moins subjective un point d'inflexion sur la courbe caractéristique. OUAIP propose une méthode plus rigoureuse, basée sur le calcul des pertes de charges linéaire et quadratiques par la méthode de Jacob. La Figure 7 présente le schéma simplifié des pertes de charges dans un ouvrage

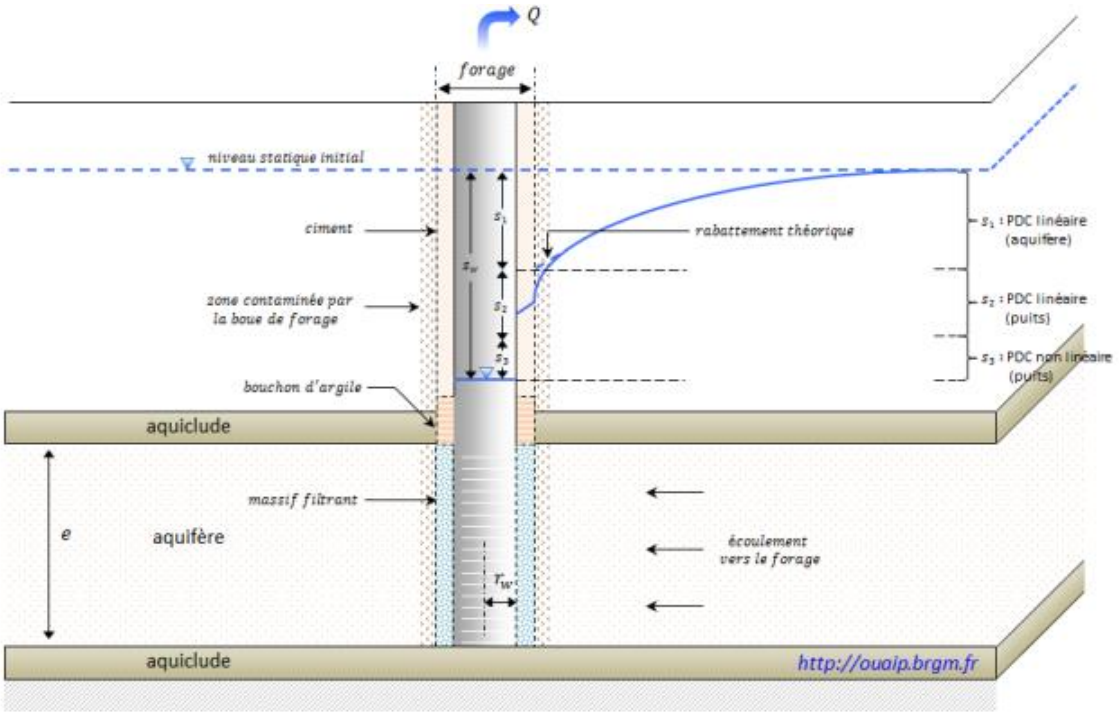



**Figure 7 : schéma simplifié des pertes de charges dans un ouvrage**

De manière assez schématique, Jacob estime que le rabattement total ($S_{total}$) mesuré lors d'un pompage est la somme d'un rabattement qui dépend des propriétés hydrodynamiques

de l'aquifère ($s_{aqui}$) et d'un rabattement provoqué par l'équipement installé et l'environnement immédiat du captage ($s_{equip}$).

$$s_{total} = s_{aqui} + s_{équip}$$

Du fait de l'augmentation des vitesses de l'eau à proximité du forage, le premier terme varie généralement de manière linéaire par rapport au débit (conditions d'écoulement de Darcy où les écoulements sont schématisés par des filets d'eau parallèles entre eux) tandis que le second comporte une composante proportionnelle au carré du débit (pertes de charge quadratiques). Dans ce cas, les écoulements ne sont plus laminaires mais turbulents. Ainsi, Jacob (1947) écrit la relation suivante :

$$s_{total} = BQ + CQ^2$$

Où B est le coefficient de pertes de charge linéaires et C est le coefficient de pertes de charge quadratiques. Ainsi, le terme BQ représente la part d'écoulement laminaire et le terme CQ2 représente la part d'écoulement turbulent des écoulements souterrains sollicités par le pompage. OUAIP donne la possibilité d'utiliser la formule généralisée où l'exposant « n » peut être différent (mais généralement proche) de 2.

$$S_{total} = BQ + CQ^n$$

Sur la base de cette conceptualisation des écoulements, OUAIP propose de déterminer le débit critique comme étant le débit à ne pas dépasser pour maintenir autour et à l'entrée dans l'ouvrage des écoulements majoritairement laminaires. Ce point est défini pour :

$$BQ = CQ^n$$

C'est le point dit « d'égalité des pertes de charge ». Sélectionner cette méthode de détermination fera apparaitre sur le graphique le débit critique et le rabattement correspondant (source : manuel ouaip,2015).

# CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

# 3. RESULTATS

## 3.1. Analyse et interprétation des données géophysique

### 3.1.1 Caractérisation des anomalies à partir des profils de résistivité électriques.

Sur un profil de résistivité électrique, les zones de broyage du socle sain se traduisent par des anomalies de faible résistivité c'est-à-dire des zones conductrices. La forme des anomalies renseigne sur le type de compartiment en présence sur le terrain. Les profils électriques réalisés en aller (profil 1 en bleu) et retour (profil2 en rouge) dans le village de attakplakanme avec pour profondeur d'investigation respectivement 30 et 50 m sont illustrés par les figures 8, 9 et 10. La figure 8 présente l'anomalie de forme « v » et « w » à Attakplakanme.

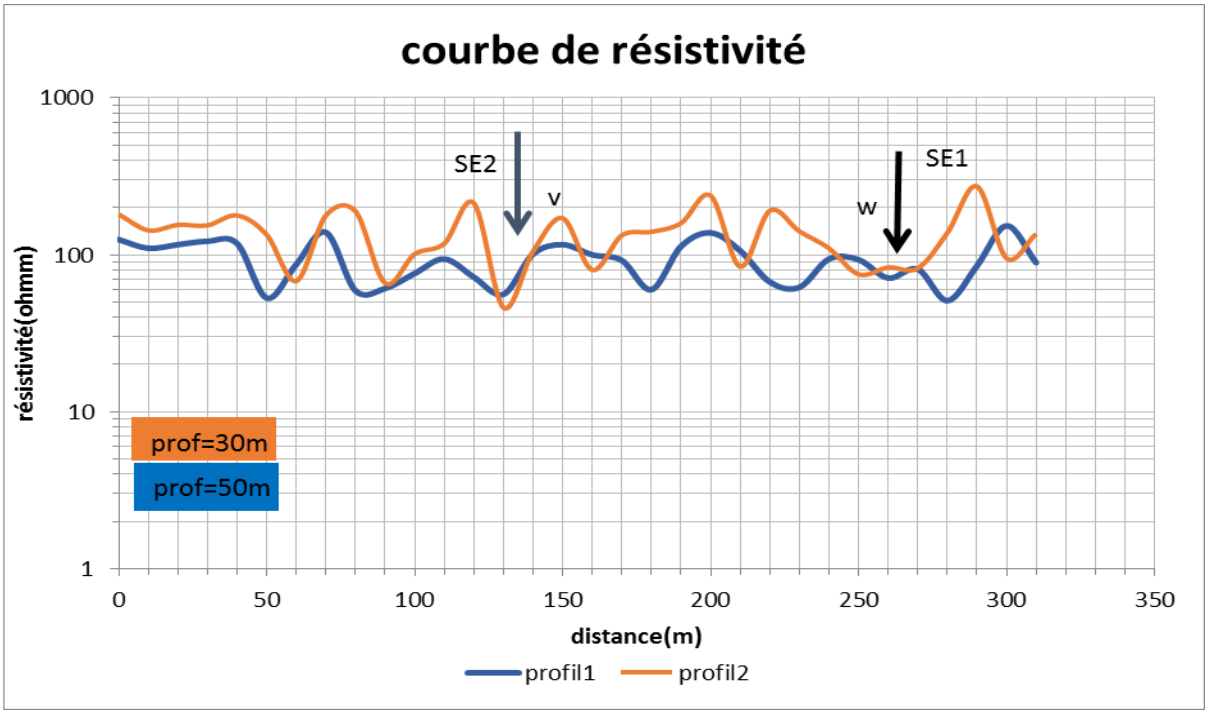



**Figure 8 : Anomalie de forme « v » et « w » à Attakplakanme**

Le profil électrique de la figure 8 réalisé long de 300 m environ présente deux anomalies à savoir : une anomalie de forme « v » au point de mesure 130 m et une anomalie de forme « W » au point de mesure 260 m. Les deux profils en ces points respectifs identifient l'anomalie suivant la même forme ceci justifie de la fiabilité du travail en amont d'une part et d'autre part des mesures prises. Comme en géophysique l'anomalie de forme « W » est importante, elle a été choisie pour le sondage

La figure 9 présente l'anomalie de forme « u » et « v » à Abiadji

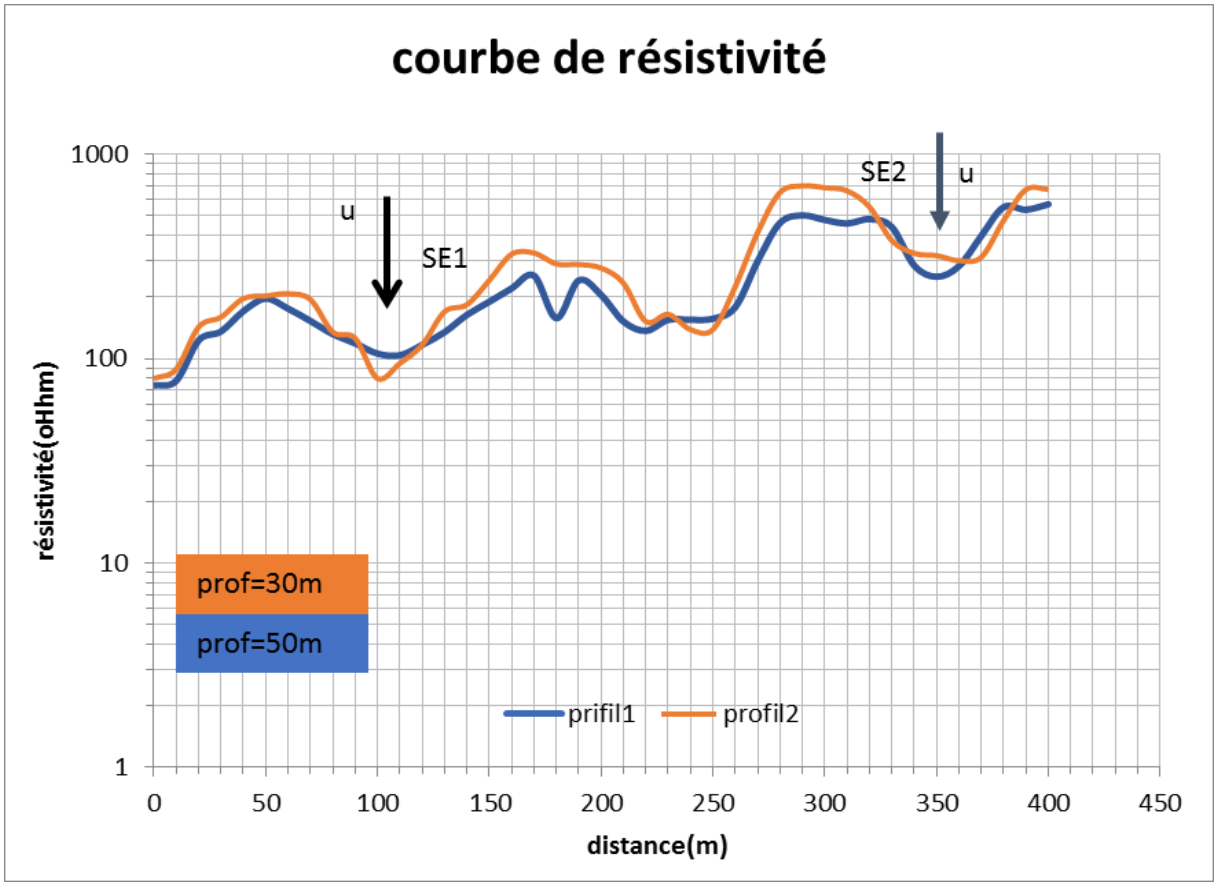



**Figure 9 : Anomalie de forme « U » et « V » à Abiadji**

Le profil réalisé à Abiadji présente deux anomalies de forme « U » et « V » aux points de mesure 100 m et 350 m. On a une anomalie de type compartiment conducteur large ou de forme « U » pour le profil 2 et une anomalie de type compartiment conducteur étroit ou de forme « v » « pour le profil 1. Cette situation est assimilée à une zone de broyage de la roche sous-jacente sur une longueur de 50 m. Puisque l'anomalie au point 100 m a une résistivité faible, ce point a été choisi pour le sondage électrique

La figure 10 présente l'anomalie de forme « w » et « u » à Abala.

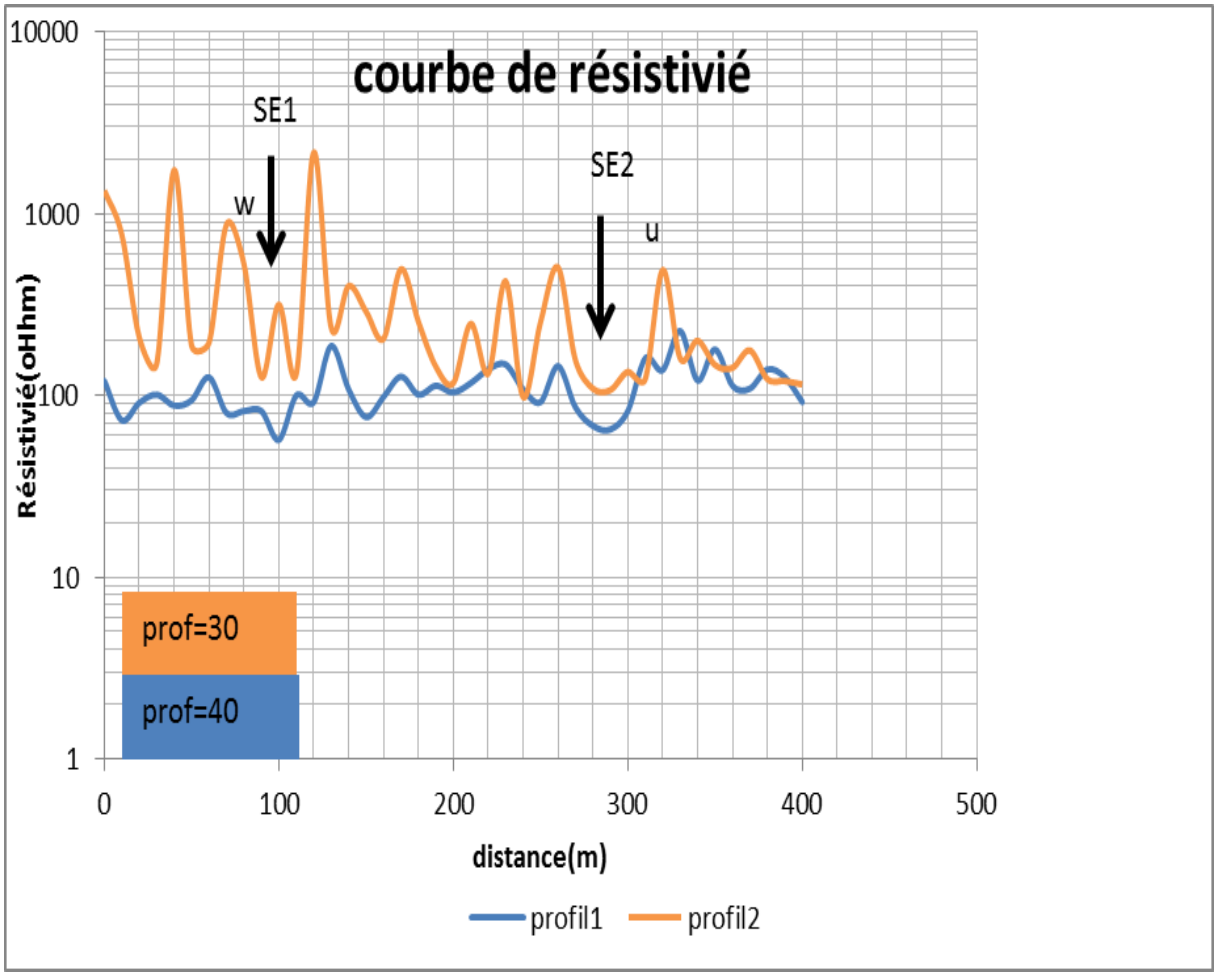



**Figure 10 : Anomalie de forme « U » et de forme « W » à abala**

La figure ci-contre présente une anomalie de type conducteur ou sous forme de « U » pour les deux profils au point de mesure 280 m et une anomalie de forme « W » au point de mesure 100 m. En hydrogéologique, les anomalies de forme « W » ont une grande importance à l'issu des travaux de prospections géophysiques, notamment des trainés électriques. Ainsi à l'aplomb de ces formes d'anomalies, on y réalise des sondages électriques et des panneaux de tomographie. Ce point a été retenu pour la réalisation d'un sondage électrique en surface afin d'affirmer ou d'infirmer l'existence de la zone de broyage synonyme de fracture.

### 3.1.3. Caractérisation des différentes formations géologiques par les sondages électriques réalisés dans la zone d'étude

Le sondage électrique SE1 de Attakplakanme est reproduit et interprété avec un taux d'erreur de 0.95%. La figure 11 présente la courbe de sondage électrique dans le village de Attakplakanme selon le logiciel Ipi2win.

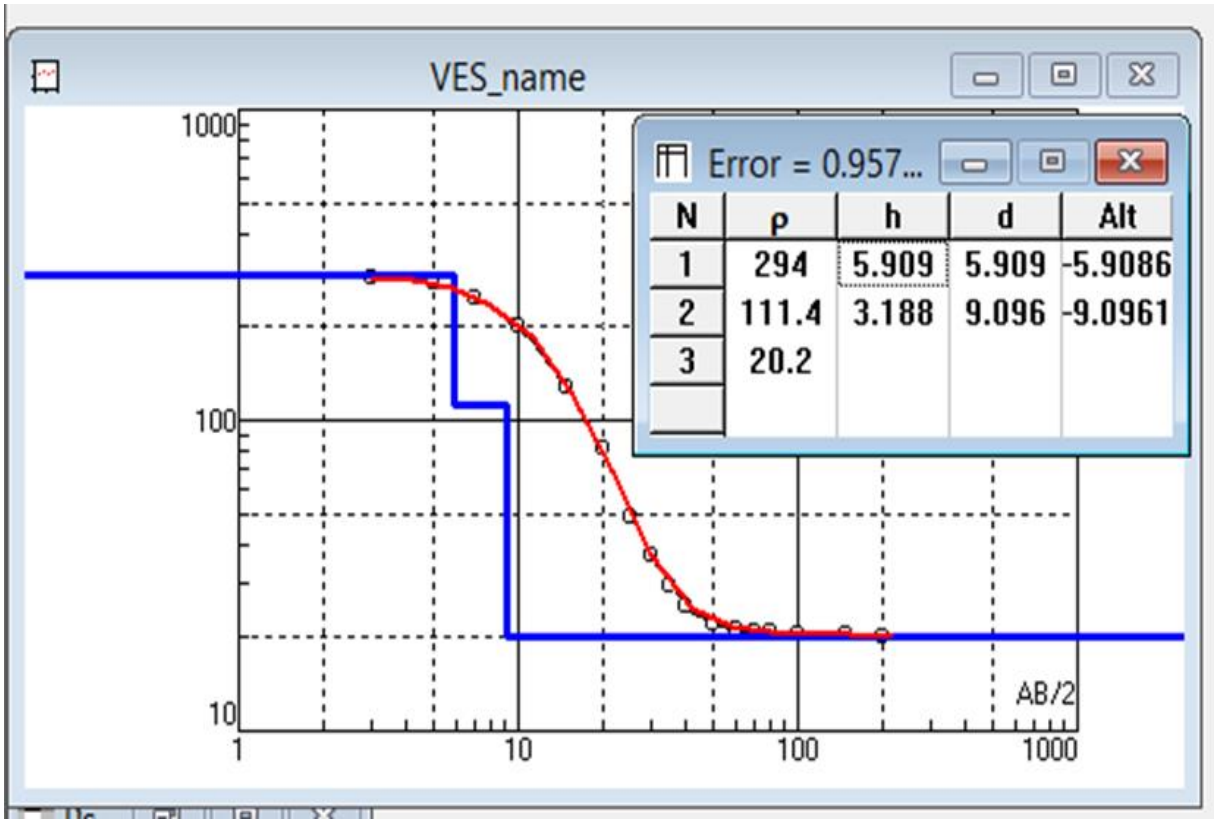



**Figure 11 : Courbe de sondage électrique dans le village de Attakplakanme selon le logiciel Ipi2win.**

Le sondage réalisé sur SE1 nous montre trois couches. La couche 1 d'épaisseur 5.9 m et de résistivité 294 Ω.m. La couche 2 d'épaisseur 3,18 m et de résistivité 111,4 Ω.m . La couche 3 a une épaisseur infinie avec une résistivité de 20,2 Ω.m. Le terrain 3 est donc traversé par des fractures ainsi il contient de l'eau.

Le sondage électrique SE1 de Abiadji est reproduit et interprété avec un taux d'erreur de 0,99%. La figure 12 présente la courbe de sondage électrique dans le village de Abiadji selon le logiciel Epi2win

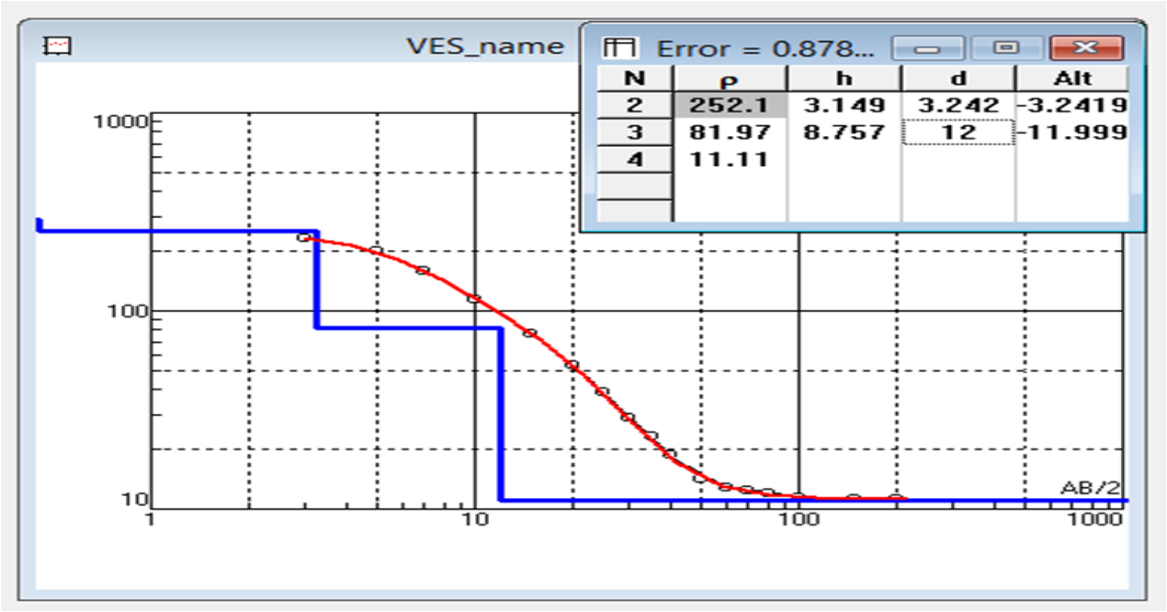



**Figure 12 : Courbe de sondage électrique dans le village de Abiadji selon le logiciel Epi2win**

Le sondage réalisé à Abiadji sur SE1 montre clairement trois terrains. Le terrain1 de résistivité 252,1 Ω.m et d'épaisseur 3,14 m. Le terrain2 a une résistivité 81,97 Ω.m et une épaisseur de 8,75 m. L'épaisseur du terrain3 est infinie mais avec une résistivité de 11,11 Ω.m. D'après ces données nous pouvons conclure que le terrain3 est traversé par des fractures et donc contient de l'eau de par sa faible résistivité.

Le sondage électrique SE1 de Abala est reproduit et interprété avec un taux d'erreur de 0,99%. La figure 13 présente la courbe de sondage électrique abala.

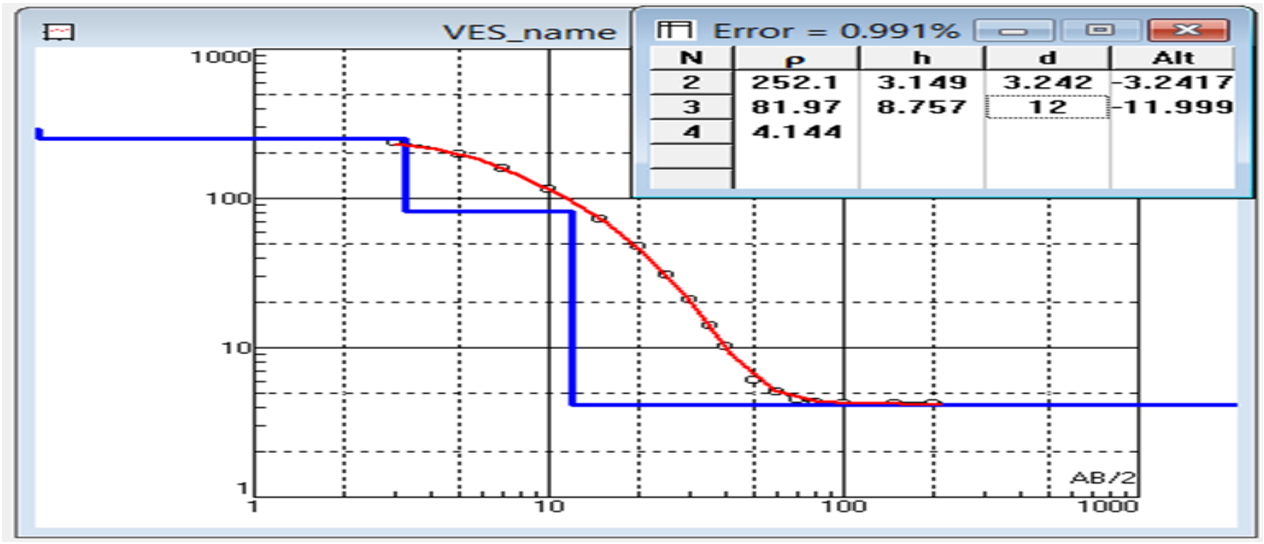



**Figure 13 : Courbe de sondage électrique Abala**

Le sondage électrique à Abala présente aussi trois couches, la première avec une épaisseur de 3,14 m et une résistivité de 252 Ω.m. La deuxième a une épaisseur 8,75 m et une résistivité de 81.97 Ω.m. La troisième avec une résistivité de 4.14 Ω.m présente une épaisseur infinie. Alors le terrain 3 est traversé par des fracture.

### 3.1.4 Réalisations des coupes forages à partir des fiches techniques de forages réalisés dans la zone d'étude

- **ATTAKPLAKANME**

Le forage réalisé à Attakplakanme nous présente une coupe technique et une coupe lithologie.

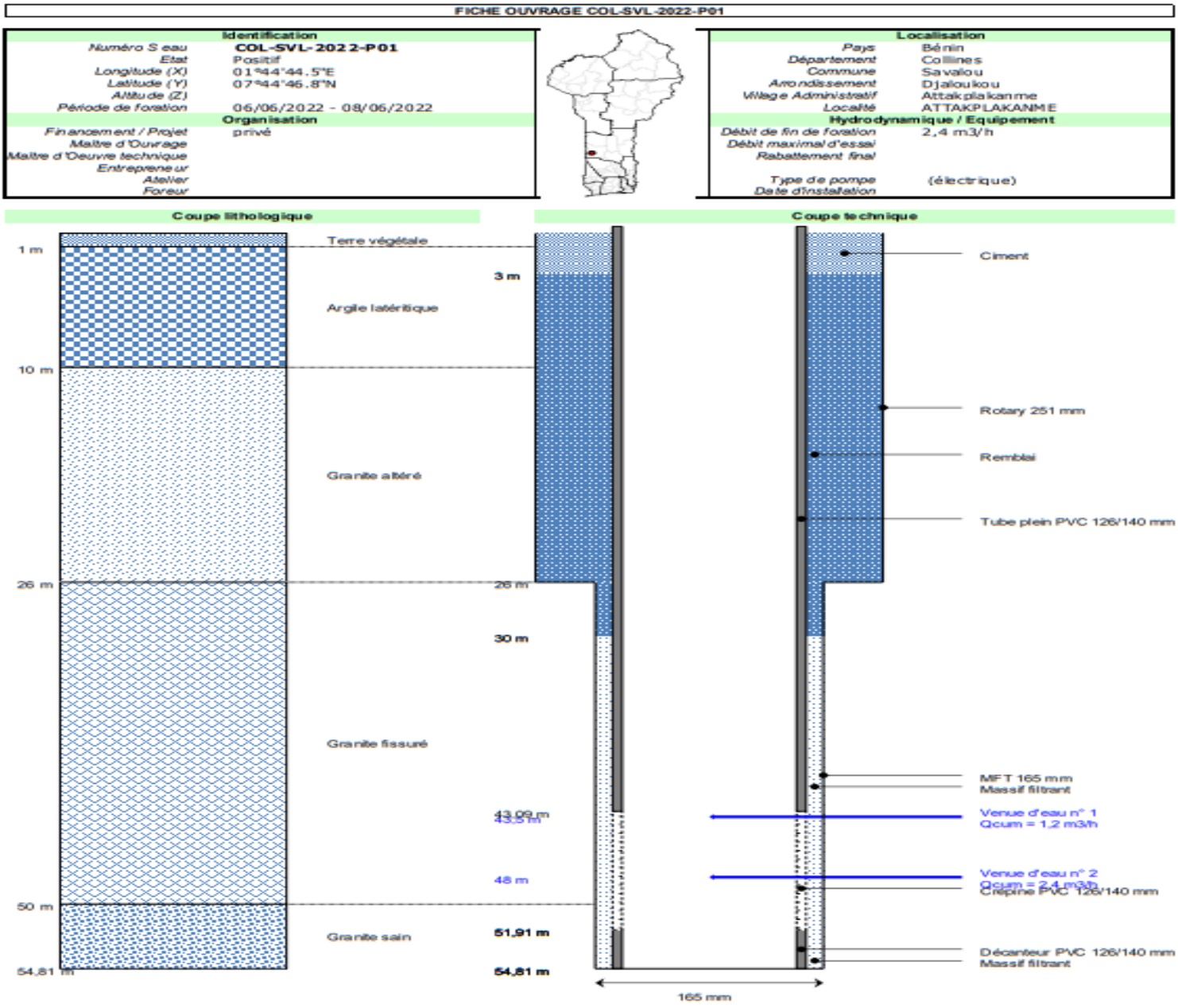



**Figure 14 : Coupe de forage de Attakplakanme**

- **Coupe technique du forage**

La coupe technique du forage présente une profondeur totale de 54.81 m dont une profondeur d'altération de 26m. Deux venues d'eau de profondeur respective 43.5 m et 48m, la première avec un débit de 1,200 $m^3$/h et la seconde avec un débit 1,400 $m^3$/h. L'équipement est fait avec des PVC Pleins d'une profondeur de 42,59 m, des PVC Crepinés d'une profondeur de 8,82m et un décanteur de 2,92 m. Par ailleurs un massif filtrant est mis en place de 30 m à 54,81 m suivi du remblai de 30 m à 3 m et une cimentation de 3 m.

- **Coupe lithologie**

La lithologie du forage se présente comme suit :

- 0 à 1 m : Terre végétale
- 1 à 10 m : Argile latéritique
- 10 à 26 m : Granite altéré
- 26 à 50 m : Granite fissuré
- 50 à 54.81m : Granite sain

### ❖ ABIADJI

Le forage réalisé à ABIADJI nous présente deux coupes : une coupe technique et une coupe lithologie

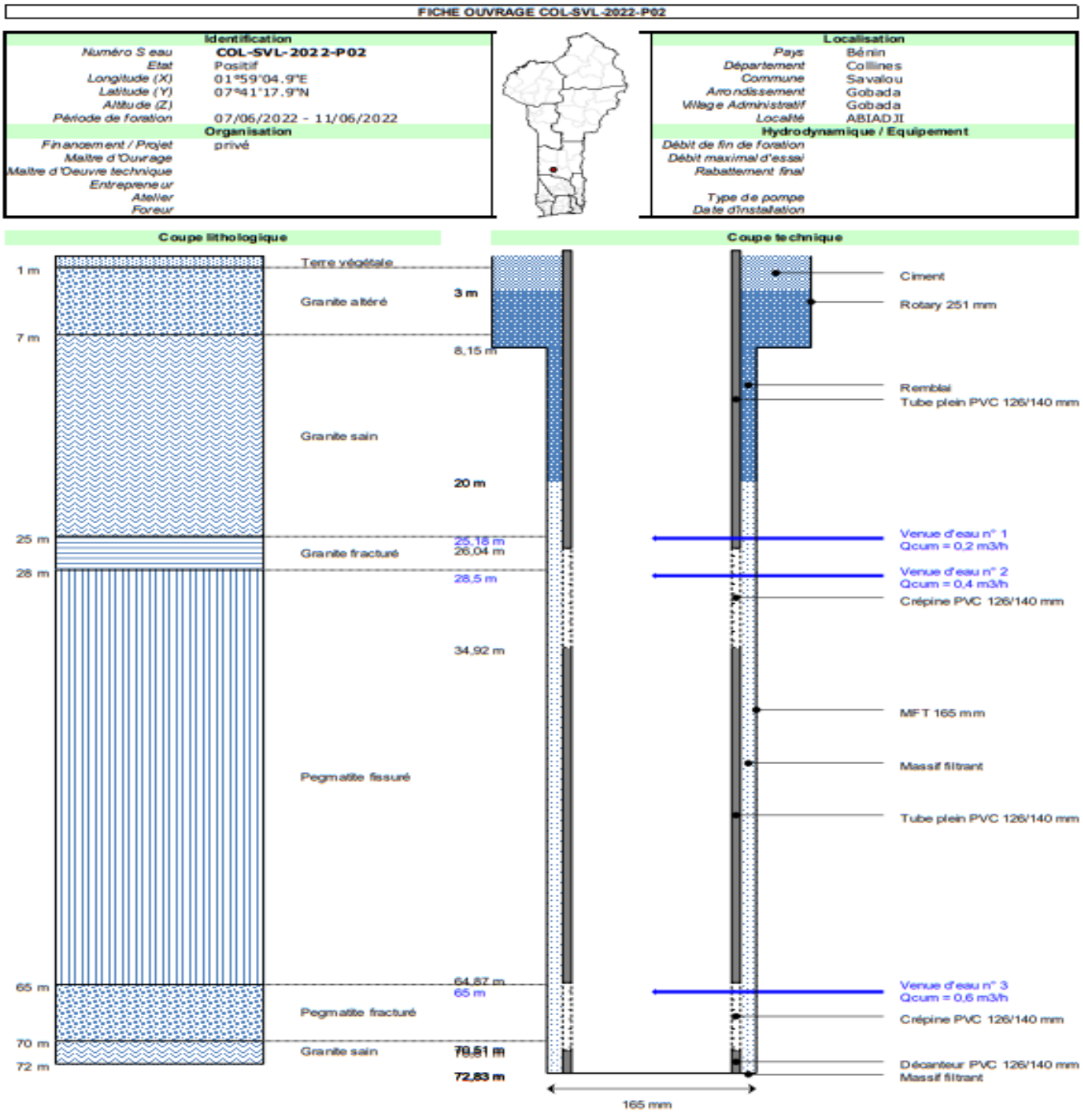



**Figure 15 coupes de forage de ABIADJI**

- **Coupe technique**

La coupe technique d'ABIADJI présente un forage de profondeur totale de 72,83 m et une profondeur d'altération de 8,2 m avec trois venues d'eau. La première à 28,5 m, la deuxième à 32,2m et une troisième à 66 m. les trois venues d'eau ont un débit respectif de 0,4 $m^3$/h ; 0,6 m3/h et 0,9 $m^3$/h. l'équipement est fait avec des PVC Pleins et des PVC Crepinés au niveau des venues d'eau avec un décanteur de 2,02 m. De plus un massif filtrant est mis en place de 72,83 à 25 m suivie du remblai et une cimentation de 3 m.

- **Coupe lithologie**

La coupe lithologie de ce forage se présente comme suit :

- 0 à 1 m : Terre végétale
- 1 à 8 m : Granite altéré
- 8 à 25 m : Granite sain
- 25 à 34 m : Pegmatite fracturé
- 34 à 65 m : Pegmatite fissuré
- 65 à 70 m : Pegmatite fracturé
- 70 à 72 m : Granite sain

### ❖ ABALA

Le forage réalisé à ABALA nous présente deux coupes : une coupe technique et une coupe lithologie.

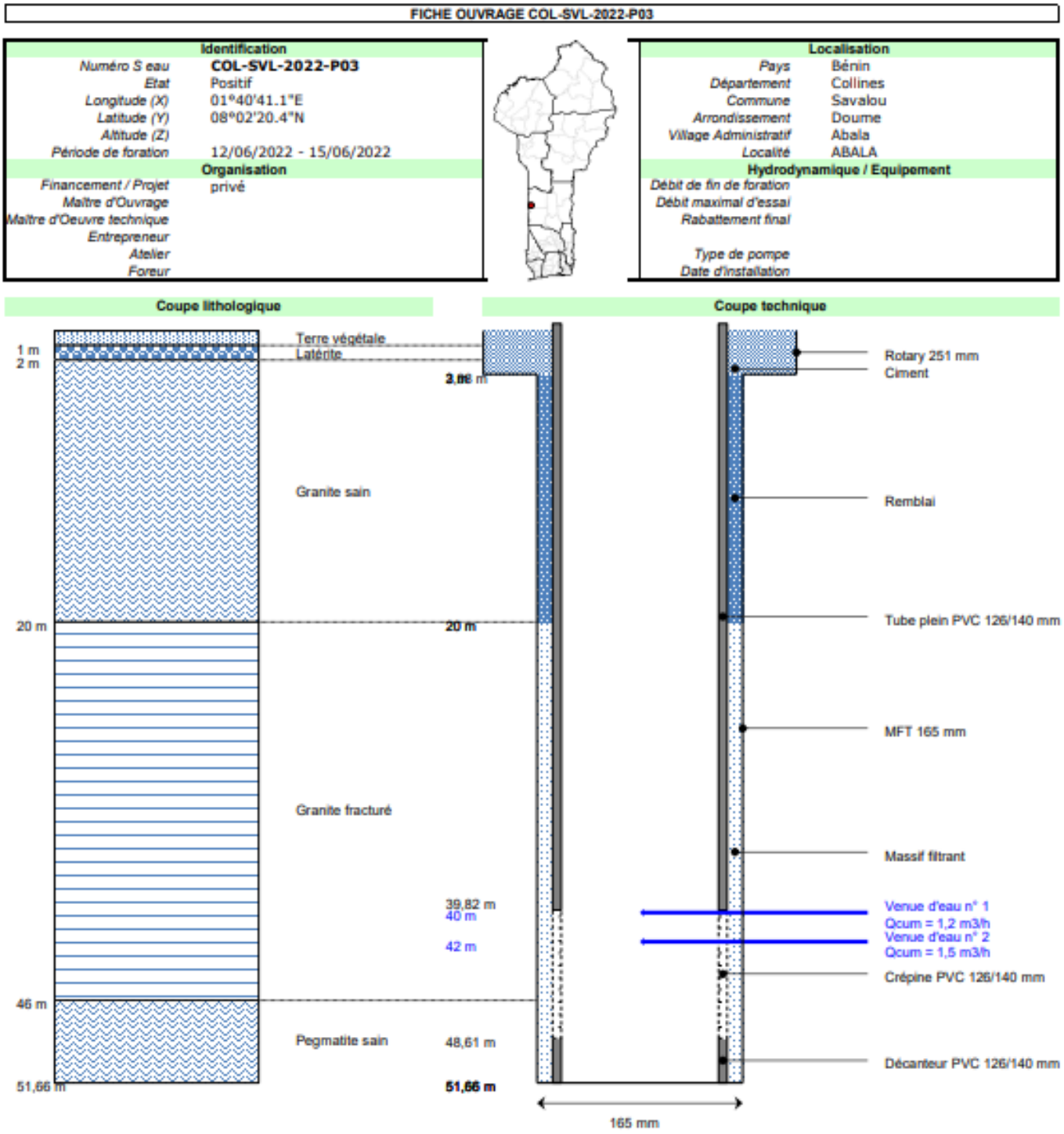



**Figure 16 : Coupe de forage de ABALA**

- **Coupe technique**

La coupe technique réalisée sur le forage de ABALA présente un forage d'une profondeur totale de 51,66 m et d'une profondeur d'altération de 2,18 m. On remarque sur cette coupe technique deux venues d'eau de profondeur 41 m et 46 m avec des débit respectifs 1.2 $m^3$/h et 1,5 $m^3$/h. En ce qui concerne l'équipement, des PVC Crepinés sont placés au niveau des venues d'eau et des PVC Pleins sont placés pour les autres parties avec un décanteur de 3 m. Le massif filtrant pour ce forage est mis de 51,66 à 20 m suivie du remblai et d'une cimentation de 3 m.

- **Coupe lithologie**

La coupe lithologie de ce forage se présente comme suit :

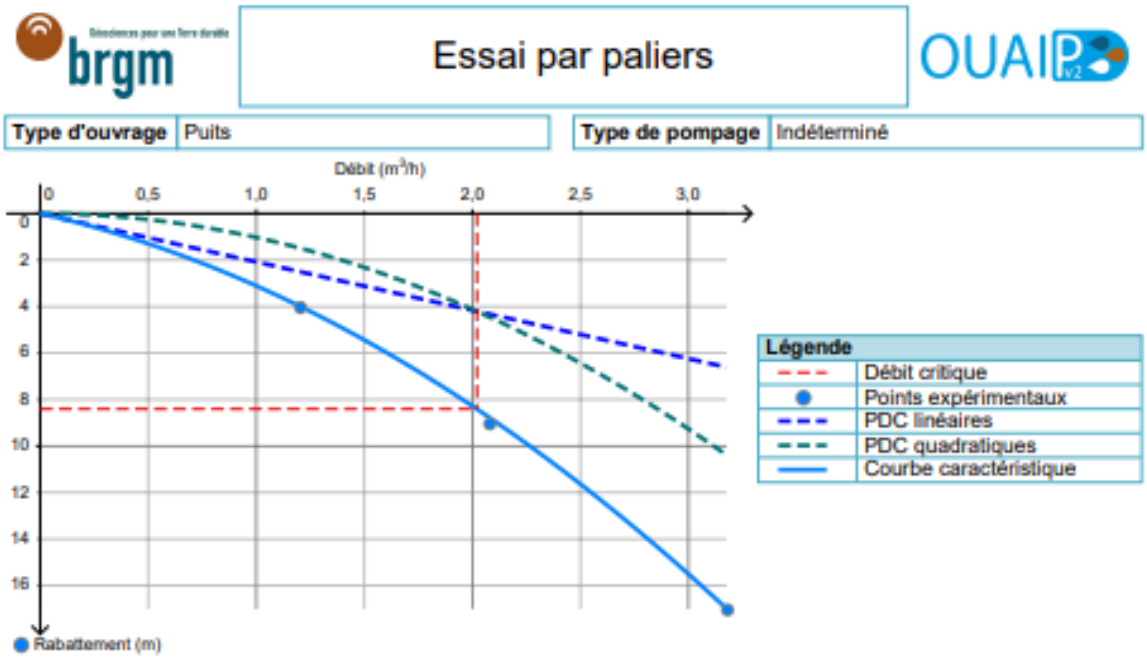
- 0 à 2 m : Terre végétale
- 2 à 13 m : Granite fissuré
- 13 à 20 m : Granite sain
- 20 à 45 m : Granite fracturé
- 45 à 51,66 m : Pegmatite fracturé

### 3.1.5 Réalisation des graphes d'essai de pompage à partir des données relevées lors de l'essai de pompage.

Les graphes d'essai de pompage suivant sont réalisés à partir des données d'essai pompage relevées sur les trois sites. Le logiciel utilisé est OUAIP qui stipule que l'ajustement ou la valeur obtenu est vrai si le coefficient de Nash-sutcliffe (E) se rapproche de 1.

### 3.1.6 Détermination des débits critiques des trois forages

- **ATTAKPLAKANME**




| Pompage par palier | Débit (m³/h) | Rabattement mesuré (m) | Temps de pompage (min) | Temps de remontée (min) | Rabattement linéaire calculé (m) | Rabattement quadratique calculé (m) | Rabattement normalisé mesuré (s/m²) | Rabattement normalisé calculé (s/m²) | Écart (sim-obs) (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Palier 1 | 1,2 | 4 | - | - | 2,5 | 1,5 | 12 000 | 11 900 | $-2{,}14\times10^{-2}$ |
| Palier 2 | 2,076 | 9 | - | - | 4,3 | 4,4 | 15 600 | 15 200 | -0,245 |
| Palier 3 | 3,176 | 17 | - | - | 6,6 | 10 | 19 300 | 19 300 | $-1{,}03\times10^{-2}$ |

| Résultats de l'ajustement | | |
|---|---|---|
| Coef. de pertes de charge linéaires (B) | 2,08 h/m² | $7{,}49\times10^{3}$ s/m² |
| Coef. de pertes de charge quadratiques (C) | 1,03 h²/m⁵ | $1{,}33\times10^{7}$ s²/m⁵ |
| Exposant (n) | 2,00 | |
| Coefficient d'ajustement de Nash-Sutcliffe (E) | 0,999 (-∞..1) | |

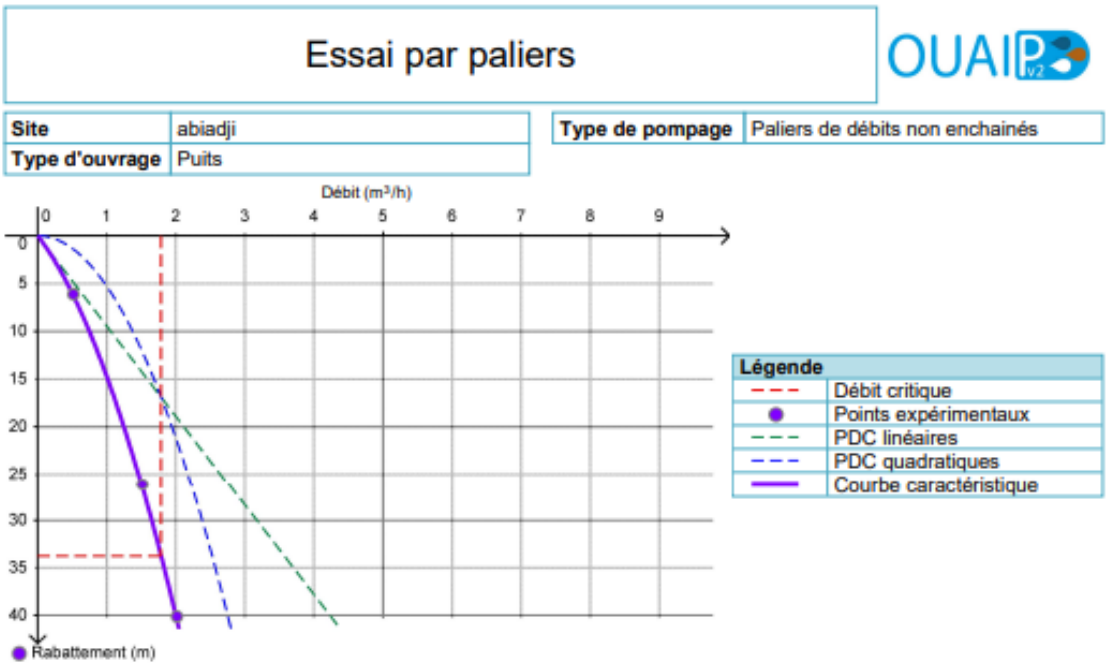
| Débit critique | 2,02 m³/h |
|---|---|

**Figure 17 : Graphe de détermination du débit critique à Attakplakanme**

Le graphe réalisé à Attakplakanme présente le débit du forage en fonction du rabattement. L'interprétation de ce graphe nous permet de décrire trois courbes : la courbe caractéristique, la courbe des pertes de charge linéaire et la courbe des pertes charge quadratique. L'analyse de ce graphe nous révèle que la courbe caractéristique est ajustée aux trois points

expérimentaux et que la courbe des pertes de charge quadratique croît jusqu'à rencontrer la courbe des pertes de charge linéaire au point 2,02 $m^{3/}h$. Par ailleurs le coefficient de Nash-sutcliffe est de 0,99% alors l'ajustement a été bien fait, nous pouvons donc confirmer la valeur 2,02 $m^3/h$ est la valeur du débit du forage de Attakplakanme à ne pas dépasser.

- ABIADJI




| Pompage par palier | Q (m³/h) | $s_{obs}$ (m) | $t_p$ (min) | $t_r$* (min) | $s_{lin}$ calc. (m) | $s_{quad}$ calc. (m) | $s_{spéc/l}$ obs. ($s/m^2$) | $s_{spéc/l}$ calc. ($s/m^2$) | $s_{sim}$ - $s_{obs}$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Palier 1 | 0,5 | 6 | - | - | 4,7 | 1,3 | 43 200 | 43 500 | $4,79\times10^{-2}$ |
| Palier 2 | 1,5 | 26 | - | - | 14 | 12 | 62 400 | 62 600 | $8,12\times10^{-2}$ |
| Palier 3 | 2 | 40 | - | - | 19 | 21 | 72 000 | 72 100 | $6,67\times10^{-2}$ |

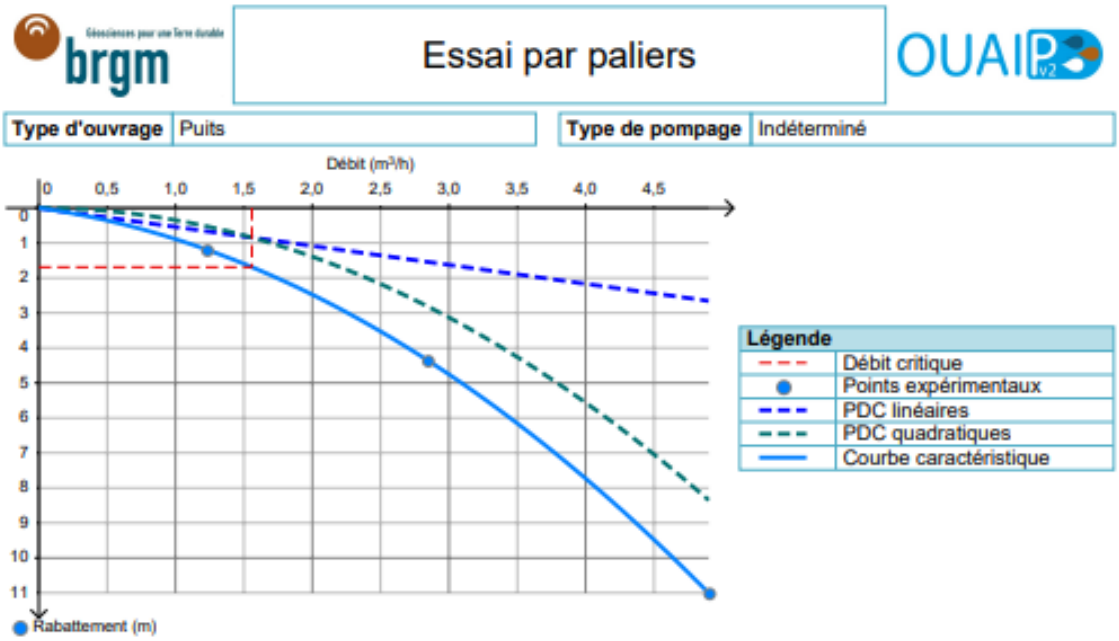
| Résultats de l'ajustement | | |
|---|---|---|
| PDC lin. (B) | 9,45 $h/m^2$ | **$3,40\times10^4$ $s/m^2$** |
| PDC quad. (C) | 5,29 $h^2/m^5$ | **$6,86\times10^7$ $s^2/m^5$** |
| Exposant (n) | 2,00 | |
| Coefficient d'ajustement de Nash-Sutcliffe (E) | 1 (-∞..1) | |

| Débit critique | 1,79 $m^3/h$ |
|---|---|

**Figure 18 : Graphe de détermination du débit critique à Abiadji**

Le graphique réalisé à ABIADJI est un graphe du débit en fonction du rabattement. L'interprétation nous révèle trois courbes dont une courbe caractéristique, une courbe des pertes de charge linéaire et une courbe des pertes de charges quadratique. Nous remarquons clairement l'ajustement de la courbe caractéristique aux trois points expérimentaux et la croissante de la courbe des pertes de charge quadratique pour rencontrer la courbe des pertes de charge linéaire au point 1,79 $m^3/h$. L'ajustement de Nash-sutcliffe étant respecté alors nous pouvons considérer cette valeur comme la valeur du débit à ne pas dépasser.

❖ ABALA




| Pompage par palier | Débit (m³/h) | Rabattement mesuré (m) | Temps de pompage (min) | Temps de remontée (min) | Rabattement linéaire calculé (m) | Rabattement quadratique calculé (m) | Rabattement normalisé mesuré (s/m²) | Rabattement normalisé calculé (s/m²) | Écart (sim-obs) (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Palier 1 | 1,227 | 1,19 | - | - | 0,66 | 0,52 | 3 490 | 3 490 | $-1{,}47\times10^{-3}$ |
| Palier 2 | 2,842 | 4,35 | - | - | 1,5 | 2,8 | 5 510 | 5 510 | $-9{,}3\times10^{-4}$ |
| Palier 3 | 4,9 | 11 | - | - | 2,7 | 8,3 | 8 080 | 8 090 | $5{,}3\times10^{-3}$ |

| Résultats de l'ajustement | | |
|---|---|---|
| Coef. de pertes de charge linéaires (B) | 0,542 h/m² | **$1{,}95\times10^{3}$ s/m²** |
| Coef. de pertes de charge quadratiques (C) | 0,348 h²/m⁵ | **$4{,}51\times10^{6}$ s²/m⁵** |
| Exposant (n) | 2,00 | |
| Coefficient d'ajustement de Nash-Sutcliffe (E) | 1 (-∞..1) | |

| Débit critique | 1,56 m³/h |
|---|---|

**Figure 19 : Graphique de la détermination du débit critique à Abala**

Le graphe réalisé à abala est en fonction du débit et du rabattement. Son analyse nous révèle aussi trois courbes : la courbe caractéristique, la courbe des pertes de charges linéaire et quadratique. On constate que la courbe caractéristique est bien ajustée aux trois points expérimentaux et que la courbe quadratique à couper la courbe linéaire au point 1,56 $m^3/h$ correspondant à la valeur du débit à ne pas dépasser suite à la vérification de l'ajustement de Nash-sutcliffe qui est 1%.

### 3.1.7 Détermination des paramètres hydrodynamiques.

Les paramètres hydrodynamiques calculés sont la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement, à partir des données issues des pompages de longue durée.

Les données d'essai de pompage de longue durée réalisé sur les trois sites dans la commune de Savalou, nous ont permis de calculer la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement grâce au logiciel OUAIP par l'interprétation à l'aide de la solution Theis,1935. Les transmissivités et les coefficients d'emmagasinement sont calculés et les résultats sont présentés dans le tableau 1

**Tableau 1 :** Valeur locale de transmissivité et de coefficient d'emmagasinement

| **Localités** | **Transmissivités** ($m^3/h$) | **Coefficient d'emmagasinement** |
|---|---|---|
| ATTAKPLAKANME | $2{,}45\times10^{-5}$ | $4{,}79\times10^{-2}$ |
| ABIADJI | $3{,}68\times10^{-5}$ | $1{,}49\times10^{-3}$ |
| ABALA | $1{,}64\times10^{-5}$ | $1{,}06\times10^{-2}$ |

## 3.2 DISCUSSION

La méthode géophysique par les sondages électriques a pour but de donner plus de précision sur la structure du sous-sol grâce à l'étude des résistivités électriques des formations qui le composent. L'interprétation de quelques sondage réalisé dabs les trois villages nous a permis de remarquer les anomalies U, V, W assimilable à des zones conductrices d'une part et d'autre part de contre le nombre, l'épaisseur, et la résistivité des terrains. Ces résultats sont approximatifs à ceux constatés sur la fiche technique de coupe de forage que nous avons établie. Ceci justifie aussi notre hypothèse pour laquelle « les méthodes géophysiques conduisent à l'implantation des forages en zone de socle ».

La commune de Savalou est une zone difficile pour le captage des eaux souterrains. Pour les trois forages réalisés dans notre zone d'étude, nous avons trouvé comme débit d'exploitation à Attakplankanme 1.82 $m^3/h$, 1,61 $m^3/h$ à Abiadji et 1,4 $m^3/h$ à Abala. Ces résultats sont approximatifs aux travaux de **Ouédraogo.**, (2019) ; montant que les aquifère capté dans ces fournissent des débits la moyenne est 3,6 $m^3/h$ et que certains ouvrages fournissent de très faibles débits, voire sont abandonnés pour des raisons beaucoup plus de tarissement que de qualité de l'eau. Au cours de la réalisation des forages nous avons remarqué au niveau du forage de ABIADJI que le débit avant équipement est 4 $m^3/h$ mais après équipement on a trouvé un débit de 2,5 $m^3/h$ alors ceci justifie notre hypothèse selon laquelle les techniques de foration et d'équipement influent sur le débit de dorage »

Les valeurs de transmissivité obtenue sur les trois site (Attakplakanme, Abiadji et Abalka) sont d'ordre $10^{-5}$ conforment aux résultats de **Ouédraogo.**, (2019) ; montrant que dans la sous-région ouest africaine les valeurs de transmissivité obtenue sont entre $10^{-6}$ et $10^{-4}$. En nous basant sur la classification de transmissivité de Lasm (2000) cité par Abraham et al (2021) (Classe faible $T<10^{-5}$) : ; Classe moyenne ($10^{-5}<T<10^{-4}$) : et Classe forte $10^{-5}>T$ :), nous pouvons dit alors que ces valeurs de transmissivité sont estimées faible au voisinage de ces forages. La faible valeur de la transmissivité traduit la faible productivité de l'ouvrage ce qui justifie notre hypothèse selon laquelle « les paramètres hydrodynamiques contrôlent la qualité des ouvrages »

## Conclusion

Au terme de nos recherche, il ressort que le trainé électrique et sondage électrique sont des techniques de la géophysique qui sont utile pour les prospections des eaux souterraines dans le contexte de socle. Elles sont efficaces pour localiser les aquifères, mettre en œuvre des déformations et discontinuités qui affectent le socle. Du point de vue géologique et hydrogéologique et de l'identification des coupes réalisées, la commune repose sur de l'altération constituée de sable de grès et essentiellement d'argile dont l'épaisseur varie entre 3 et 20m. Entre autres les affleurements rocheux rencontrés et la lithologie d'anciens forages réalisés dans la zone d'étude montrent que le sous-sol est composé de roches comme les quartzites, les granite et les gneiss.

Les débits des forages obtenus dans notre zone d'étude sont 1,82 $m^3/h$ ,1,61 $m^3/h$ et 1,40 $m^3/h$.

Les conductivités hydrauliques estimées à partir des données de pompage dans la région s'inscrivent dans la gamme des valeurs généralement obtenues sur les formations cristallines ailleurs au Benin et en Afrique, et sont de l'ordre de $10^{-6}$ à $10^{-4}$ $m^3/h$.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

**Adissin Glodji, L.** (2012) : La zone de cisaillement de Kandi et le magmatisme associé dans la région de Savalou-Dassa (Bénin) : étude structurale, pétrologique et géochronologique. Sciences de la Terre. Université Jean Monnet - Saint-Etienne ; Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 2012.

**Akokponhoue, N.** (2018) ; « Signatures hydrogéologiques des forages à gros débits en zone de socle cristallin au Sud du Département des collines au Bénin : cas de la commune de Savalou » Thèse

**Allé, C. ; Descloitres, M. ; Vouillamoz, J.M. ; Yalo, N. ; Lawson, F.M.A. ; Adihou, C.** (2015) ; « Caractérisation des aquifères de socle par la résistivité électrique. Pratique de l'implantation des forages et perspectives d'amélioration au Bénin »

**Azonsi. F.V.** (2017), « Contexte géologique et hydrogéologique du Bénin » 35p

**Boukari M**., (1982). « Contribution à l'étude hydrogéologique des régions de socle de l'Afrique intertropicale : l'hydrogéologie de la région de Dassa-Zoume (Bénin). Thèse de doctorat, Université de Dakar,173pp.

**Breda,** (1982). Etude de cartographie géologique et de prospection minière de reconnaissance au Nord du 11e parallèle (Bénin). Rapport final. Projet N°4105-011-13-20, Géomineraria Italiana.

**Compaoré G.**, 1997. Evaluation de la fonction capacitive des altérites. Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 178 p.

IGN. (2002), « Fond topographique »

**Leray S**. (2013), « Caractérisation des aquifères de socle cristallin et de leur ressource en eau - Apport des données d''‘âge'' de l'eau » ; 179p

**Luc DJEGUI**, (2016) « Analyse des sondages électriques réalisés au Bénin pour l'implantation des forages en zone de socle : comparaison avec les données des forages » p49.

**MEM**, (2018) « Etude de collecte de données pour le développement des eaux

souterraines et l'amélioration des systèmes d'approvisionnement en eau dans les département de couffo et plateau en république du Benin »

Monographie de Savalou (2006).

**Mohammed D.M**., (2012), « Utilisation des dispositifs de géophysique électrique non classiques pour l'étude des couches géologiques profondes : cas des chotts El Gharbi et Chergui » ; 198p

**Ouédraogo.**, (2019) ; « Caractérisation des aquifères de socle pour l'amélioration de la productivité des forages d'hydraulique villageoise dans le bassin versant du Bandama blanc amont ». P12-15

**Oumar T.**, (1996), « Essai de prospection par sondages électriques appliquée à l'étude d'aquifères du Sénégal soumis à des invasions marines actuelles ou récentes (Ferlo, Tanma, Nianing) » ; 99p

**Telford W.M.**, Geldart L.P., Sheriff R.E., Keys D.A. (1976), « Prospection géophysique »; 220p

**Tossou S.A.G.** (2009), **«** Contribution à l'amélioration du taux de succès des forages en zone difficiles : cas du département des collines au Bénin.

## Annexe

### Annexe1 : Tableau des données de sondages

| AB (m) | ρ(Ω.m) | AB (m) | ρ(Ω.m) | AB (m) | ρ(Ω.m) |
|---|---|---|---|---|---|
| **3** | 96,521 | 3 | 160,99 | 3 | 180,8 |
| **5** | 74,001 | 5 | 176,38 | 5 | 218,7 |
| **7** | 68,939 | 7 | 191,4 | 7 | 221,1 |
| **10** | 76,669 | 10 | 199,27 | 10 | 189,1 |
| **15** | 98 | 15 | 192,4 | 15 | 132,2 |
| **20** | 113,2 | 20 | 165,52 | 20 | 85,5 |
| **25** | 125,89 | 25 | 122,3 | 25 | 60,5 |
| **30** | 135,1 | 30 | 77,94 | 30 | 47,2 |
| **35** | 152,98 | 35 | 47,806 | 35 | 41,4 |
| **40** | 158 | 40 | 33,545 | 40 | 36,3 |
| **50** | 164 | 50 | 27,111 | 50 | 30,6 |
| **60** | 173,17 | 60 | 23,06 | 60 | 28,3 |
| **70** | 176,26 | 70 | 20,355 | 70 | 27 |
| **80** | 179,41 | 80 | 18,85 | 80 | 27 |
| **100** | 170,13 | 100 | 98,3 | 100 | 28,6 |
| **150** | 176,26 | 150 | 189,6 | 150 | 35,4 |
| **200** | 176,26 | 200 | 207,3 | 200 | 43,7 |

**Annexe 2 : Tableau des données d'essai de pompages**

**ATTAKPLANKANME**

| Palier | T(min) | ND(m) | S (m) | Q (m3/h) | S /Q |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 8,47 | | | |
| **1er Palier** | 3 | 8,9 | 0,43 | 1,227 | 0,35 |
| | 5 | 8,95 | 0,48 | 1,227 | 0,39 |
| | 10 | 9,11 | 0,64 | 1,227 | 0,52 |
| | 15 | 9,31 | 0,84 | 1,227 | 0,68 |
| | 20 | 9,4 | 0,93 | 1,227 | 0,75 |
| | 30 | 9,66 | 1,19 | 1,227 | 0,96 |
| | 40 | 9,85 | 1,38 | 1,227 | 1,12 |
| | 60 | 9,92 | 1,45 | 1,227 | 1,18 |
| | 80 | 10,02 | 1,55 | 1,227 | 1,26 |
| | 100 | 10,14 | 1,67 | 1,227 | 1,36 |
| | 120 | 10,26 | 1,79 | 1,227 | 1,45 |

**ABIADJI**

| Palier | T (min) | ND(m) | s(m) | Q (m3/h) | s/Q |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 14 | | | |
| **1er Palier** | 3 | 16,25 | 2,25 | 1,2 | 1,87 |
| | 5 | 16,76 | 2,76 | 1,2 | 2,3 |
| | 10 | 17,48 | 3,43 | 1,2 | 2,9 |
| | 15 | 18,1 | 4,1 | 1,2 | 3,41 |
| | 20 | 18,87 | 4,87 | 1,2 | 4,05 |
| | 30 | 19,34 | 5,34 | 1,2 | 4,45 |
| | 40 | 19,88 | 5,88 | 1,2 | 4,9 |
| | 60 | 20,6 | 6,6 | 1,2 | 5,5 |
| | 80 | 20,86 | 6,86 | 1,2 | 5,71 |
| | 100 | 20,92 | 6,92 | 1,2 | 5,76 |
| | 120 | 21,15 | 7,15 | 1,2 | 5,95 |

**ABALA**

| Palier | T(min) | ND (m) | s(m) | Q (m3/h) | s/Q |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 7,85 | | | |
| **1er Palier** | 3 | 11,22 | 3,37 | 1,148 | 2,93554007 |
| | 5 | 12,04 | 4,19 | 1,148 | 3,64982578 |
| | 10 | 14,36 | 6,51 | 1,148 | 5,67073171 |
| | 15 | 15,57 | 7,72 | 1,148 | 6,72473868 |
| | 20 | 16,15 | 8,3 | 1,148 | 7,22996516 |
| | 30 | 16,99 | 9,14 | 1,148 | 7,96167247 |
| | 40 | 17,46 | 9,61 | 1,148 | 8,37108014 |
| | 60 | 17,98 | 10,13 | 1,148 | 8,82404181 |
| | 80 | 18,24 | 10,39 | 1,148 | 9,05052265 |
| | 100 | 18,5 | 10,65 | 1,148 | 9,27700348 |
| | 120 | 18,73 | 10,88 | 1,148 | 9,47735192 |