



**Mémoire pour l'obtention :**

**Du diplôme de DESS  
Eau pour l'Agriculture et l'Approvisionnement des Communautés (EAC)  
(Option : Mobilisation des eaux souterraines et approvisionnement des  
communautés (MESAC))**

**Présenté par :**

**MOUNKALIA Yacouba**

**THEME**

---

**EVALUATION DE LA PRECISION DES METHODES GEOPHYSIQUE  
DANS LA RECHERCHE DE SITE DE FORAGES EN MILIEU  
CRISTALLIN : CAS DE LA PROVINCE DU BOULGOU  
(BURKINA FASO)**

---

Encadreur école :

M Babacar DIENG

Maître de stage :

M. LOMPO Justin

## *DEDICACE*

*Je dédie ce travail à tous les étrangers et fils d'immigrés, et qui  
espère un jour à un lendemain meilleur*

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à l'endroit de tous les enseignants du 2iE et particulièrement à ceux de l'Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche UTER-GVEA et notre responsable académique **M. Moussa Laurent COMPAORE**. Ils ont su malgré des conditions souvent difficiles nous fournir un enseignement d'un haut niveau scientifique et technique. Qu'ils voient en ceci l'expression de toute ma gratitude.

Je remercie très particulièrement **M. Babacar DIENG**, notre enseignant de spécialité. Lui qui, après nous avoir fait bénéficier mes camarades et moi de toute sa sollicitude au cours de notre formation, a accepté de corriger ce mémoire.

Toute ma gratitude à l'endroit des responsables du Bureau d'étude BEESTH. En acceptant de m'accueillir pour le compte de ce stage, ils m'ont donné l'occasion de me frotter à des professionnels au sein d'une équipe dynamique. Et plus loin encore ils m'ont permis de prendre la température complexe du milieu professionnel. Mes remerciements vont également à l'endroit de M. LOMPO Justin pour sa participation effective dans la conception de ce mémoire à travers ses conseils précieux, sa disponibilité et ses suggestions. Qu'il en soit infiniment remercié.

J'exprime aussi ma gratitude à tous mes collègues de promotion. Venant des horizons aussi divers que nos différentes nationalités, nous avons tous su surmonter nos appréhensions pour savoir nous supporter mutuellement.

Je n'oublierai pas ici tous les compatriotes au sein des 2IE pour l'ambiance fraternelle qu'ils ont pu créer malgré l'éloignement des nôtres, laisser loin au Pays.

Enfin, je suis reconnaissant à toute ma famille qui par sa grande disponibilité malgré la distance qui m'éloignait d'elle, a rendu toute ma formation agréable.

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 ASPECT PHYSIQUE .....	4
1.1.1 Situation géographique.....	4
1.1.2 Climat et végétation.....	5
1.1.3 Hydrographie et Topographie .....	5
1.2 CADRE GEOLOGIQUE .....	6
1.2.1 RAPPEL DE LA GEOLOGIE DU BURKINA FASO .....	6
1.2.2 Aperçu géologique de la zone d'étude .....	7
1.3 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PROVINCE DE BOULGOU .....	7
1.3.1 Altération.....	7
1.3.2 Différents types d'aquifères .....	8
1.3.2.1 Aquifères des altérites.....	8
1.3.2.2 Aquifères fissurés .....	8
1.3.3 Relation entre la fracturation et le réseau hydrographique .....	9
1.3.4 Facteur humain et hydraulique.....	9
1.3.5. Relations entre fracturation et les indices biologiques.....	9
1.3.6 Conclusion partielle .....	10
1.4 SOCLE CRISTALLIN ET LA PROSPECTION ELECTRIQUE .....	10
1.4.1 Sondage électriques et trainés de résistivité.....	10
1.4.2 Sondage carré.....	11
2.1 DONNEES.....	13
2.1.1 Données géophysiques.....	13
2.1.2. Données hydrogéologiques.....	13
2.2 MATERIELS .....	14
2.3 METHODOLOGIE.....	15
2.3.1 Méthode géophysique .....	15
2.3.2 Composition de l'équipe de prospection et organisation du chantier .....	16
2.3.3. Interprétation des mesures géoélectrique.....	17
2.3.3.1 Trainé de résistivité .....	17
2.3.3.2 Sondage électrique.....	18
2.3.4 Méthode de foration.....	19
3.1 RESULTATS QUANTITATIFS DES IMPLANTATIONS .....	22
3.2 DISTRIBUTION DES FORMES DES ANOMALIES GEO-ELECTRIQUES.....	22
3.3 DISTRIBUTION DES FORMES DE SONDAGES ELECTRIQUES .....	26
3.4 CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES AQUIFERES FISSURES DE LA PROVINCE DE BOULGOU .....	32
3.4.1 Débit .....	32
3.4.2 Profondeur de l'ouvrage.....	33
3.4.3 Epaisseur d'altération .....	34
3.4.4 Les venues d'eau.....	35
3.4.5. Au niveau de la variation des débits en fonction des différents paramètres.....	36
3.4.6 Corrélation entre profondeur du socle sain en sondage électrique et en forage.....	37
<b>4. CONSTAT ET OBSERVATION PENDANT LA PERIODE DE STAGE.....</b>	<b>38</b>
4.1. PROSPECTION GEOPHYSIQUE .....	38
4.1.1. Communication avec les bénéficiaires .....	38
4.1.2. Reconnaissance de terrain.....	38
4.1.3 Géophysique et sourcier .....	40
4.1.4 Contrôle de forage.....	44
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERNCS BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>46</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I: Classification des paramètres (d'après le CIEH).....</i>	32
<i>Tableau II: Rapport des taux de succès de forage .....</i>	33
<i>Tableau III: Proportion des débits.....</i>	33
<i>Tableau IV: Proportion des profondeurs .....</i>	34
<i>Tableau V: Répartition des épaisseurs d'altération .....</i>	34

## LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Localisation de la zone d'étude .....</i>	4
<i>Figure 2: Réseau hydrographique de la Province du Boulgou .....</i>	6
<i>Figure 3: Appareil de mesure de résistivité électrique .....</i>	14
<i>Figure 4: Classification des anomalies de résistivité en fonction de leur forme .....</i>	23
<i>Figure 5: Influence de la largeur de l'anomalie sur le débit des forages .....</i>	25
<i>Figure 6: Distribution des formes de courbes dans la province .....</i>	26
<i>Figure 7: Corrélation entre débit et profondeur des venues d'eau par rapport au toit du socle .....</i>	35
<i>Figure 8: Variation des débits en fonction de l'épaisseur d'altération (a) et de la profondeur totale (b) .....</i>	36
<i>Figure 9: Comparaison de la profondeur du forage et de la profondeur géoélectrique a)forages négatifs b) forage positif .....</i>	38

## LISTE DES PHOTOS

<i>Photo 1: une termitière au bas d'un Diospiros mespiliformis.....</i>	39
<i>Photo 2: Exécution de forage en bordure d'un cours d'eau.....</i>	42
<i>Photo 3: forage exécuté en bordure d'une mare artificielle, prélèvement d'eau de boisson ...</i>	44

## **Sigles et Acronymes**

CIEH Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

PIHVES Projet Intégré d'Hydraulique Villageoise et d'Education pour la Santé

BEESTH Bureau d'Etude des Eaux Souterraines et des Travaux Hydrauliques

BESER Bureau Engineering Service

ONEA Office National de l'Eau et de l'Assainissement

# **Introduction**

## INTRODUCTION

Dans les régions de socles, les hydrogéologues se sont orientés sur la recherche de fractures. Elles sont le siège du piégeage de circulation de l'eau, seuls axes pouvant canaliser l'eau et même la stocker. Selon Savadogo (1984), en zone de socle, les fractures servent de guide à la recherche des eaux souterraines. Les travaux en matière de prospection et d'exploitation des eaux souterraines dans les régions de socle ont permis de préciser leur mode de gisement.

C'est au Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) que l'on doit le plus grand nombre de publications sur l'application des méthodes électriques dans les roches cristallines fracturées de l'Afrique de l'ouest. Les progrès réalisés ont ainsi limité les proportions d'échecs lors des prospections. A cet effet, Koussoubé et *al.* (2003) et Dieng et *al.* (2004), ont respectivement décelé sept (7) familles de courbes principales couvrant 82 % du territoire pour les premiers et identifié des critères géophysiques qui peuvent assurer un meilleur taux de succès des forages, spécifiquement dans le nord du pays pour les seconds.

Cependant, du fait de la méconnaissance des méthodes géophysiques par les techniciens, de leur interprétation d'une part et d'autre part des délais d'exécution des travaux d'implantation très limités, l'on assiste à un taux de succès de forages productifs estimatif inférieur à 70 %. Ceci se traduit par une augmentation des charges budgétaires des entreprises et un retard dans la réception des ouvrages. Afin de remédier à ce problème, des travaux ont été entrepris en vue d'améliorer les chances de succès dans la recherche de site de forage productif et d'optimiser les méthodes de prospection. Mais les problèmes ci-dessous ont été recensés:

- l'épaisseur d'altération donnée par l'interprétation des courbes de sondage ne correspond pas toujours à celui du forage exécuté ;
- l'interprétation de la plupart des sondages débouche sur des résultats pas toujours satisfaisants ;
- l'exécution de sondage très proche l'un de l'autre favorisant une succession du taux de réduction et ou d'augmentation de succès de forage dans un même cadre (rayon entre forage élargi ou rapproché imposé par l'emplacement des sondages) ;
- la profondeur total du forage n'est pas également déterminée par les courbes de sondage.
- la combinaison des différentes techniques n'est pas appliquée de façon méthodologique, ce qui pourrait aboutir à une mauvaise orientation des dispositifs et donc d'éviter une perte de temps.

De tout ce qui précède, l'on peut conclure que l'utilisation des techniques de géophysique doit se faire accompagner des caractéristiques hydrogéologiques des roches. C'est dans ce contexte que l'étude dont le thème est « Evaluation de la précision des méthodes géophysique dans la recherche de site de forages en milieu cristallin : cas de la province du Boulgou (Burkina Faso) » est menée.

L'objectif principal visé par cette étude est de rentabiliser les méthodes de prospection géophysique électrique dans la recherche des eaux souterraines.

De façon spécifique il s'agit de :

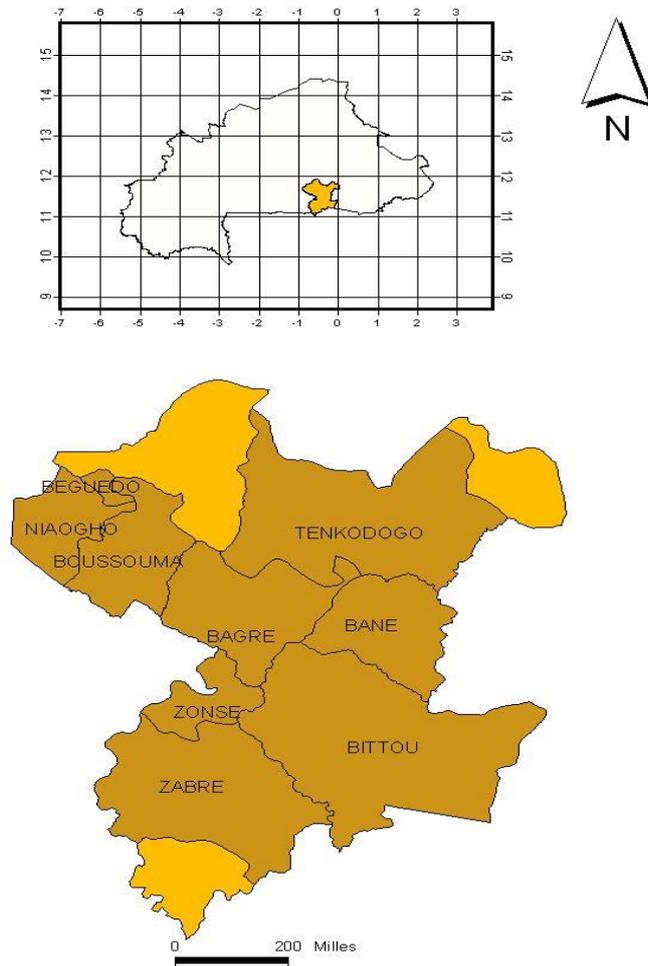
- d'identifier les familles de courbes et les types d'anomalies prédominants dans la région ;
- d'établir les relations entre les paramètres (profondeur totale, profondeur d'altération, forme de courbe, débits, venue d'eau, horizon fissuré) des forages ;
- établir une corrélation entre l'interprétation des sondages électriques et la productivité des forages en vue d'optimiser les opérations de prospection.
- d'évaluer le taux de succès par zone dans la province.

La première partie de ce mémoire est consacrée aux généralités sur la région d'étude. Elle fait l'analyse des éléments géographiques, géomorphologiques, géologiques et hydrogéologiques. La seconde partie consiste en une description des matériels et méthodes utilisés. Enfin, dans la dernière partie, les résultats obtenus sont rapportés et interprétés.

# Première Partie : Généralités

## 1.1 Aspect physique

### 1.1.1 Situation géographique



*Figure 1: Localisation de la zone d'étude*

La zone d'étude est située au Centre Est du territoire burkinabé entre les longitudes 0° à 1°W et les latitudes 11°N à 12°N. L'accès à la province se fait par la route nationale RN4 reliant Ouagadougou à la frontière du Niger puis à partir de Koupéla par la RN16 reliant Koupéla et Tenkodogo à la frontière du Togo. La superficie de la province est estimée à environ 6 852 km<sup>2</sup>. Dans le cadre de notre étude nous nous intéresserons aux forages réalisés dans les départements suivant : Zabré, Zonsé, Bagré, Bittou, Niagho, Bané, Tenkodogo, Béguédo et Garango, par le projet PIHVES II dans son volet eau. Ce projet a prévu la réalisation de 70 forages positifs avec un taux de succès de 70 % soit un nombre de 100 implantations. La figure 1 ci-dessus délimite la zone du projet.

### **1.1.2 Climat et végétation**

La province à l'instar du pays est caractérisée par un climat variable allant d'un climat soudanien dans la partie Sud à un climat sahélien dans la partie Nord. La pluviométrie annuelle varie dans le même sens. Dans la partie Sud à Sud-Ouest, elle est de 1100 mm à 900 mm. A l'extrême Nord elle est proche de 400 mm.

La répartition des pluies se fait aussi suivant l'espace. L'hivernage dure 6 mois (de mai à octobre) dans la partie Sud. Sa durée se réduit à 4 mois (juin à septembre) dans la partie Nord. La zone d'étude se caractérise par un climat de type nord-soudanien avec une pluviométrie annuelle moyenne de 600 à 900 mm.

Les températures varient également d'une période à l'autre de l'année et de la journée.

Les plus fortes chaleurs correspondent à la fin de la saison sèche avril à mai où les températures diurnes atteignent des maxima de 35 à 45°C avec des minima nocturnes supérieurs à 20°C. Les températures les plus fraîches s'observent de décembre à février.

Les maxima diurnes sont alors de 20 à 30°C et les minima nocturnes souvent inférieurs à 10°C.

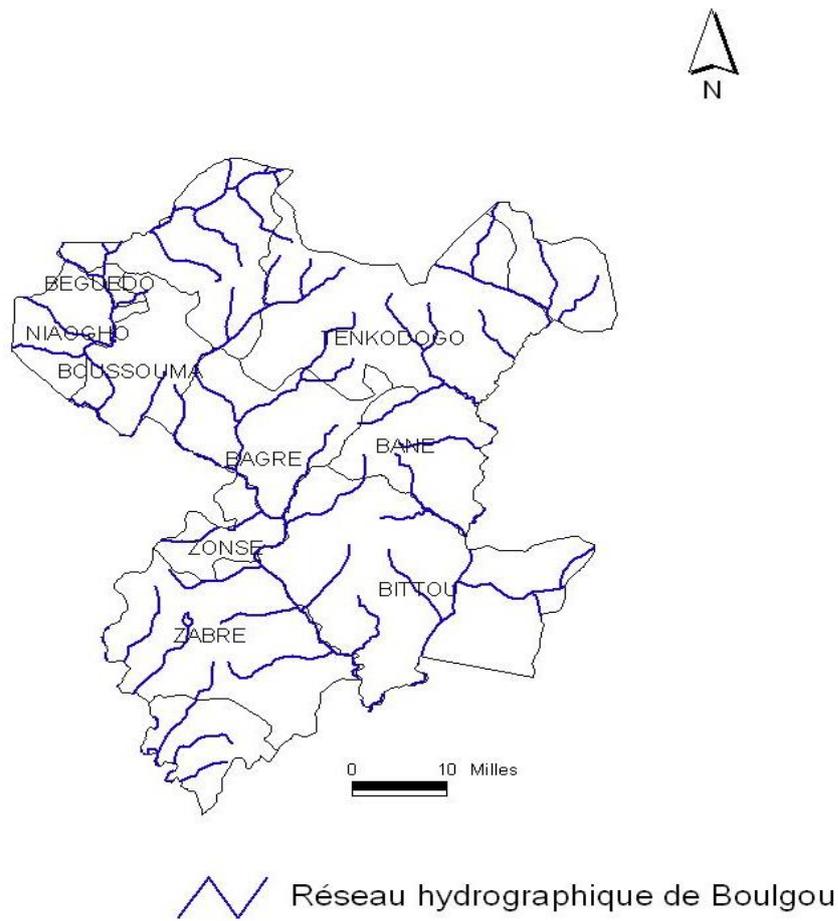
La végétation de la zone est de type savane arborée avec une forêt galerie le long des cours d'eau existant.

### **1.1.3 Hydrographie et Topographie**

La zone d'étude est drainée par un important réseau hydrographique bien hiérarchisé (figure 2).

La zone du projet est drainée par le Nakambé et le Nazinon qui constitue une limite naturelle de la province. Ces deux (2) cours d'eau et le réseau de marigots qui s'y rattache s'inscrit dans le grand bassin de Volta. L'ensemble du réseau hydrographique est semi-permanent. C'est avec la réalisation du barrage de Bagré sur le Nakambé dans la partie Sud-Ouest de la zone que l'on dispose d'un lac artificiel retenant l'eau toute l'année.

Sur le plan topographie, la zone d'étude est uniformément plate avec une légère inclinaison globale vers le Sud suivant le sens de drainage. L'altitude moyenne de la zone est de l'ordre de 250 m. On note cependant quelques altitudes constituées par des collines birmiennes et de butes latéritiques dans la zone de Zabré au Sud Ouest. Dans la partie centrale, zone de Garango, dominant des collines de migmatites antébirimiennes. Le plus haut point de toute la zone d'étude culmine à 368 m et se trouve à Youga à la frontière avec le Ghana.



**Figure 2: Réseau hydrographique de la Province du Boulgou**

## **1.2 Cadre géologique**

### **1.2.1 Rappel de la géologie du Burkina Faso**

Le Burkina Faso s'étend sur deux grands ensembles géologiques :

Les formations sédimentaires qui occupent les parties occidentales septentrionales et Sud-est du pays. Elles comprennent des grès et des schistes argileux, des grès quartzites et quartzites avec des intrusions basiques dans le bassin occidental. Les formations récentes se composent de sédiment du continental terminal et des formations alluviales et éoliennes du quaternaire.

Le socle cristallin couvre 80 pour cent du territoire du Burkina Faso. Trois grandes formations s'y rencontrent : les formations granito-migmatitiques, les formations volcano-sédimentaires et en fin les roches plutoniques. Deux grandes orogenèses ont contribué à la mise en place des formations géologiques du socle. Il s'agit de l'orogenèse libérienne et éburnéenne.

## **1.2.2 Aperçu géologique de la zone d'étude**

Le substratum géologique de la zone d'étude est constitué presque exclusivement de formations cristallines du précambrien D (antécambrien) et précambriennes C (birimien).

- **Formations antébirimiennes**

Elles sont constituées de gneiss, leptynites, migmatites à biotite amphibole, de migmatites et granites indifférenciés. Ces formations du précambrien D forment près de 70 % de la superficie de la zone d'étude.

Les roches ont des compositions qui varient rapidement sur le même affleurement. Elles sont replissées et présentent une linéation très poussée du type gneissique.

Des filons de quartz nombreux et parfois volumineux recoupent la masse granito-gneissique. Sur le degré carré de Tenkodogo, les septas gneissiques constituent des petits îlots fortement laminés, concentrés dans les migmatites à amphibole orthogneissifiées.

- **Formations birimiennes**

Ces formations sont de faibles extensions et sont représentées dans la zone par des roches volcano-sédimentaires (tufs, laves, métasédiments associés et métavolcanites) formant des bandes étroites à l'extrême Sud-Ouest de la zone (régions de Youga et de Bittou) et au Nord (région de Béguédo). Ces formations sont orientées NE-SW à NNE-SSW. Elles sont composées de trois groupes de formations : l'un est essentiellement sédimentaire, le deuxième comprend des volcano-sédiments, le troisième est principalement volcanique (andésite et basalte).

On y rencontre aussi sous forme d'intrusions plutoniques des granites à biotite parfois à muscovite, dans la région de Tenkodogo. La figure 3 ci-après décrit les formations rencontrées dans la province.

## **1.3 Contexte hydrogéologique de la province de Boulgou**

### **1.3.1 Altération**

L'épaisseur des altérites est non seulement fonction de la composition minéralogique de la roche, mais, aussi et surtout liée au degré de fissuration du socle. La composition minéralogique des schistes conduit à une couche d'altération très épaisse et fortement argileuse. L'épaisseur totale des altérites est très variable et parfois très importante. Selon Delany (1975), la zone d'altération totale du Birimien, là où ne persiste aucune trace du litage originel peut atteindre 30 m d'épaisseur. Elle comporte des argiles versicolores, rouges, rouges ocres. Une roche saine peut être rencontrée seulement à partir de 60 m.

Du point de vue hydrogéologique, le phénomène d'altération est bénéfique car il permet à la roche d'acquérir une certaine porosité de telle sorte que les séries birimiennes altérées peuvent, malgré tout, renfermer de l'eau.

La verticalité des couches birimiennes de la zone d'altération favorise l'infiltration verticale de l'eau de ruissellement, mais défavorise le mouvement horizontal de celle-ci.

### **1.3.2 Différents types d'aquifères**

On y distingue deux types aquifères : aquifères d'altérites et de fissures.

#### **1.3.2.1 Aquifères des altérites**

Les aquifères d'altérites se développent dans les formations argilo-sableuses de la couche d'altération dont l'épaisseur varie généralement entre 1 et 30 m mais peut parfois atteindre 40 m (Savado, 1984). Ces altérites caractérisés par une perméabilité et une porosité utile, constituent un vaste réservoir recevant directement les eaux de pluie. La recherche d'eau souterraine était essentiellement orientée vers les altérites à l'aide d'ouvrages peu profonds (puits) du fait de la méconnaissance du milieu cristallin fissuré. Le débit des arrivées d'eau dans ces altérites chute très rapidement suite au colmatage de l'ouvrage causé par l'apport de fines particules argileuses, rendant peu propice les altérites à l'exploitation. Cependant la présence d'intercalations détritiques ou volcano-sédimentaires contribue grandement à améliorer leur qualité (Guiraud, 1975).

Selon Savado (1984) l'exploitation des réservoirs d'altérites est en nette régression du fait des profondeurs assez grandes du niveau statique de l'eau (20 à 25 m) et de la faible épaisseur des altérites saturés (par endroit moins de 5 m).

#### **1.3.2.2 Aquifères fissurés**

La recherche d'eau dans les secteurs où le socle est cristallin se limite aux zones où la roche a subi le phénomène de fracturation. Le milieu fissuré est hétérogène et ses caractéristiques hydrauliques sont déterminées par la géométrie et la densité des fissures. La continuité hydraulique de ce système hydrogéologique dépend de l'interconnexion des fissures (Nakolendousse, 1991). Les aquifères de fissures constituent des réservoirs beaucoup plus intéressants mais d'allure irrégulière et se localisent à des profondeurs de 20 à 60 m voire plus, là où les fractures sont décomprimées par la contrainte lithostatique. Selon le même auteur, ces aquifères développent une perméabilité dix fois supérieures à celle des altérites et sont caractérisés par une faible porosité utile.

La porosité primaire faisant défaut, la circulation d'eau souterraine ne peut se faire dans le birimien que par des fissures. Ces fissures proviennent de fracture sans déplacement

visible et sont de prime importance pour l'hydrogéologie (Delany, 1975). Selon le même auteur, en affleurement, on observe souvent des fractures de distension avec ou sans remplissage de quartz et qui constituent de très bons drains tant pour la réalimentation que pour l'exploitation de la nappe. Dans les roches métamorphiques, les fissures sont plus irrégulières et plus étroites. Les plans de schistosité des roches feuilletées, constituent des zones de faibles résistances et peuvent donner des fissures ouvertes sous l'effet des contraintes et des déformations.

### **1.3.3 Relation entre la fracturation et le réseau hydrographique**

Dans les régions de socle en l'absence de toute carte géologique, l'architecture du réseau hydrographique est susceptible de nous renseigner sur l'état de la fracturation. Cependant, une fois la couverture latéritique enlevée, le réseau hydrographique s'aligne sur les zones de faiblesses de roches cristallines subjacentes (Delany, 1975). Au Burkina Faso, les principaux accidents logent les cours d'eau. La proximité ou le recouvrement d'un bas fond ou d'un marigot favorisent énormément la réalisation des aquifères (Nakolendousse, 1991).

### **1.3.4 Facteur humain et hydraulique**

Les facteurs humains compliquent parfois grandement la détermination de site de forage. C'est le cas en zone d'habitation dispersé (comme en pays mossi par exemple) où la création d'un forage dans chaque village, ne peut régler que très temporairement le problème de l'eau. Le forage n'est pas seulement un ouvrage technique, il est aussi et surtout destiné à satisfaire les besoins domestiques et parfois même pastoraux. La consultation des habitants est donc importante. De ce fait l'ouvrage doit servir la totalité de la population. La province du Boulgou compte au dernier recensement 1079 forages exploitables à la fin de l'exercice 2005. Le taux d'accès aux ouvrages varie entre 45 % et 80 %.

### **1.3.5. Relations entre fracturation et les indices biologiques**

Selon Savadogo (1984) l'implantation et les linéaments peuvent être collés à d'autre aspect naturel entre autre les indices végétaux (*Ficus gnanfalocarpa*, tamarinier, *Diospyros mespiliformis*) et d'indice animal (termitières). Il faut noter que l'indice animal n'est perceptible qu'en période sèche, en période d'hivernage l'abondance de l'eau favorise l'activité des termitières.

### **1.3.6 Conclusion partielle**

Les conditions naturelles ne favorisent pas l'accès aux ressources en eau souterraine de la région. L'exploitation de ces ressources ne sera facilitée qu'au prix d'une meilleure connaissance de l'environnement hydrogéologique.

### **1.4 Socle cristallin et la prospection électrique**

Dans cette introduction, il s'agit également de rappeler très brièvement ce qui à été fait dans le domaine de la prospection électrique appliquée à l'étude de zone de socle en se contentant de décrire rapidement les méthodes les plus couramment employées et en donnant un exemple de leur application. L'interprétation des courbes sondages déjà obtenus sera exprimée de façon plus détaillée car elle constitue la plupart de notre investigation.

Les travaux de nombreux auteurs (Savadogo 1984 ; Koussoubé, 2003 ; Nakolendoussé 1991; Dibi, 2004) ont permis d'essayer de résoudre le problème important posé par les taux d'échecs des investigations géophysique en zone de socle. A la suite de ces recherches les auteurs ont donné plusieurs exemples d'application des prospections électriques à des problèmes hydrogéologiques en zone de socle. Dans ce domaine, les problèmes posés aux géophysiciens sont les suivants :

- recherche de l'épaisseur de recouvrement ;
- recherche de zone plus fracturée, en général aquifère ;
- ressortir les caractères communs d'ensemble des formations ;
- identifier les critères pertinents en vue d'optimiser les conditions d'implantation de forage ;
- évaluer les paramètres susceptible d'influencer la productivité des ouvrages (profondeur d'altération, épaisseur des altérations, débit).

Les interprétations ont été confirmées par les résultats de forage, ou autre étude géologique.

#### **1.4.1 Sondage électriques et traînés de résistivité**

Ce sont les sondages électriques et les traînés de résistivité qui ont été le plus souvent utilisés en zone de socle. Ces méthodes sont plus rapides et moins coûteuses et applicables par les techniciens et opérateurs géophysiciens. Elles donnent pour la plupart de bons résultats pour la reconnaissance générale ; la technique du carré est également utilisée pour la recherche systématique des directions des anomalies prédominantes. Selon Nakolendoussé (1991) le sondage doit être exécuté avant le traîné afin de rester dans la branche montante et

de suivre également la variation de l'épaisseur des altérites et la morphologie du bedrock. Il n'est pas possible de prévoir la productivité d'un ouvrage à partir de sondages électriques mais on peut indiquer parmi plusieurs sondages celui qui présente le plus de chances de fournir les meilleurs résultats. Koussoubé et *al* (2003), ont identifié sept (7) familles de courbes correspondant aux différentes successions de couches de terrain en milieu de socle cristallin soudano-sahélien et sahélien du Burkina Faso (annexe 1).

Les traînées de résistivité, quand à eux, ont permis de mettre en évidence des zones plus conductrices que d'autres. La présence d'argile ou d'eau provoque la diminution des valeurs de la résistivité et pourrait faire envisager l'existence d'une fracture ouverte. Les travaux réalisés dans le nord du Burkina Faso dans des contextes géologiques différents ont décelé trois grands types d'anomalies (Dieng et *al*, 2004).

#### **1.4.2 Sondage carré**

La méthode consiste à effectuer en une même station plusieurs sondages électriques dans les directions différentes, et à porter sur un diagramme la valeur de la résistivité apparente obtenue pour chaque direction et pour une même longueur de ligne AB. Le dispositif carré peut améliorer ces implantations car il permet de situer le point où l'anisotropie est plus marquée.

Les matériels et les méthodes requis sont présentés dans la deuxième partie.

# Deuxième Partie : Matériel et Méthodes

## **2.1 Données**

La réalisation de ce travail a été possible grâce à l'existence et à la disponibilité de plusieurs données. Celles-ci sont constituées des données géophysiques, hydrogéologiques.

### **2.1.1 Données géophysiques**

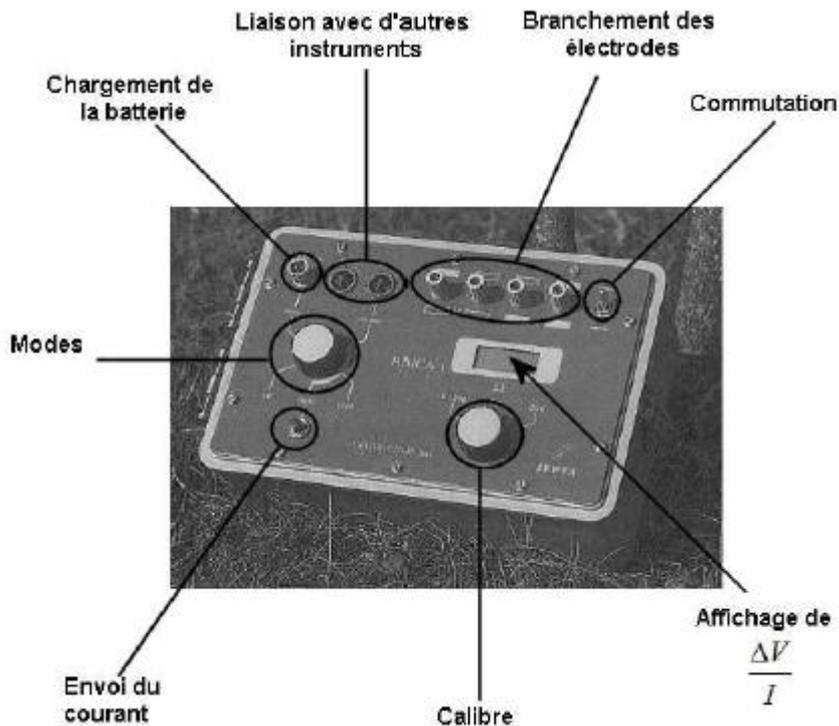
La géophysique a constitué l'essentiel de notre activité lors de notre stage. Les travaux d'implantation dans le cadre du projet ont été également exécutés par notre structure d'accueil BEESTH. Il n'est pas possible de prévoir la productivité d'un ouvrage à partir de sondages électriques mais on peut indiquer parmi plusieurs sondages celui qui présente le plus de chance de fournir un meilleur résultat. Ils renseignent également sur les résistivités minimales, les profondeurs d'altération probable, le type de courbe, les profondeurs de foration conseillées et probablement celles du désespoir ou de désolation, les lieux à forer. Ces données peuvent permettre à l'équipe de foration d'ajuster le matériel et de s'organiser.

### **2.1.2. Données hydrogéologiques**

Ces données sont extraites des fiches de suivi de contrôle ou fiches techniques des forages réalisées par le BESER qui a en charge le contrôle des travaux de foration. Ces fiches donnent pour certains endroits la description lithologique des couches et formations géologiques traversées par les forages. Elles décrivent également les différentes Arrivées d'Eau obtenues au cours de la foration, les profondeurs totales forées, l'altération, des débits de foration, la profondeur de la frange fissurée captée, niveau statique etc.

## 2.2 Matériels

La structure est constituée de quatre équipes de géophysique. Le matériel utilisé au cours du stage pour l'implantation se présente comme suit :



*Figure 3: Appareil de mesure de résistivité électrique*

Il s'agit d'appareil de type COPERIO. L'affichage est parfois numérique ou en aiguille selon le modèle. Le courant est envoyé à l'aide d'une batterie de véhicule via une bobine de stockage qui sert en même temps de transport des autres éléments constitutifs du montage de l'appareil. A tout ce dispositif il faut ajouter les accessoires tels que : la boussole ; le décamètre ; le marteau.

Le traitement des différentes données s'est fait avec :

- Arcview: pour la numérisation de la carte géologique et du réseau hydrographique et la situation de la zone;
- Excel, Word : pour le traitement des données.

## 2.3 Méthodologie

### 2.3.1 Méthode géophysique

Trois techniques de mesure ont constituées l'essentiel de notre investigation:

- le sondage électrique qui permet d'avoir au droit du point de mesure les épaisseurs et les résistivités apparentes des différentes couches géologiques ;
- le profil de résistivité apparente qui permet une investigation latérale du sous sol à une profondeur relativement constante et donc de délimiter des zones conductrice ou résistantes ;
- le dispositif carré qui donne une indication sur la direction d'anisotropie (fracture, failles) du terrain testé.

La méthode de sondage électrique consiste à planter 4 électrodes dans le sol, en faisant circuler un courant entre les électrodes A et B. Ce courant circule dans le sol, et crée une différence de potentiel (ddp) entre les électrodes M et N ( $\Delta V$ ), que l'on mesure avec le voltmètre. Ainsi, la connaissance de l'intensité du courant injecté (I) et de la ddp mesurée permet d'accéder à la résistivité apparente qui joue un rôle essentiel dans l'interprétation des résultats. Il s'agit en effet de relier la résistivité apparente aux résistivités vraies des matériaux. Le mode de prospection retenu a été selon la méthode Schlumberger où les électrodes AMNB sont alignées. La distance entre A et B est de 200 mètres pour l'ensemble des travaux que nous avons effectué sur le terrain. Cette distance suppose que l'on a plus ou moins évalué la profondeur du socle à une valeur environ de 100 mètres. La distance entre M et N est en général égale à 20 m afin de procéder à une mesure arrière et avant avec un pas de mesure de 10 mètres.

Il faut signaler que nous avons utilisé les techniques traditionnelles de résistivité à savoir sondage électrique, profilage de résistivité apparente.

La résistivité apparente ( $\rho_a$ ) est donnée par la formule suivante :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Avec le facteur K exprimé de la manière suivante :

$$K = \frac{AM \times AN}{MN} \times \pi$$

$$K=3132$$

- Nous avons également réalisé des sondages en profondeur : on augmente la valeur de A et B tout en gardant le centre du dispositif fixe. On obtient alors une image de la coupe géologique à la verticale du centre du dispositif.

Les résultats que nous évoquons dans le prochain chapitre sont tirés données du programme PIHVES II basé à Tenkodogo. Comme nous l'avons déjà mentionné, le projet prévoyait la réalisation de 70 forages productifs avec un taux de succès estimatif de 70 % ; soit 100 implantations à faire. Un total de 100 implantations a été réalisé, soit les 100 % de l'objectif quantitatif du programme. Toutes les implantations ont été faites sur la base de la géophysique.

Le tableau (I) en annexe donne la liste des quartiers par département.

### **2.3.2 Composition de l'équipe de prospection et organisation du chantier**

L'équipe comprend 8 personnes:

Un géophysicien, chef de mission. Il coordonne l'ensemble des activités aussi bien des travaux préparatoires de bureau (carte topographique, identification de la zone, études antérieures, difficultés d'implantation de cette zone) que de l'intervention sur le terrain. Il fait la reconnaissance en se basant sur la morphologie du terrain, les indicateurs potentiels de passage d'anomalies (indicateur biologique, végétal) et éventuellement des injections de quartz surtout dans les zones accidentées. Il établit des correspondances entre les phénomènes naturels (alignement d'arbres, filons à l'allure d'un mure, alignement d'éléments du réseau hydrographique etc.) et structure rectiligne ou curviligne (linéaments) L'inventaire succinct des ouvrages présents dans la zone, les caractéristiques des ces ouvrages (fonctionnel ou non, état de dégradation, abandonnés, estimation du débit et des paramètres visuels et organoleptiques recueillis auprès des usagers). Il rédige le rapport final. Ce rapport comporte les fiche de traîné, de sondage où il indique les profondeurs d'altération, du socle et dans d'autre cas des indications à l'entreprise de forage à ne pas dépasser une certaine profondeur.

- Un opérateur géophysicien jouant le rôle d'assistant. Il se charge d'organiser les manœuvres leur disposition sur le dispositif. Il s'occupe du branchement de l'appareillage et de son étalonnage, gère les pannes et les recollements au niveau des fils, et prépare les fiches de notation des résistivités.

- Cinq (5) manœuvres dont quatre sont positionnés sur les différentes électrodes et le cinquième est chargé de faire les mesures entre les dispositifs M et N et d'enfoncer les électrodes.

Le chauffeur qui s'occupe du transport de toute l'équipe et du matériel. Toute cette organisation est mise en place en vue d'optimiser les implantations. Le nombre d'implantation est compris entre 1 et 2 par jour dans des zones de prospection moins difficiles, avec un critère d'incitation financier du personnel basé sur le nombre d'implantation. Souvent le nombre est limité à une implantation pour des zones à forte couverture de curasse ou argileuses et parfois même sableuses.

### **2.3.3. Interprétation des mesures géoélectrique**

#### **2.3.3.1 Trainé de résistivité**

Le trainé est conçu de façon à faire porter l'investigation sur une tranche de sous-sol d'épaisseur plus ou moins constante. En déplaçant sur le terrain un dispositif de trainé de dimension fixe, on décèle les différents types d'anomalies en tenant compte du contraste de résistivité et d'une éventuelle dissymétrie de forme. Les faibles résistivités correspondent à des fractures, généralement intéressantes dans la recherche d'eau souterraine en zone de socle cristallin. Une astuce nous permet souvent de préférer les courbes présentant à certains endroits une allure en W : water (l'eau en anglais). Cette allure évoque souvent l'existence d'un filon, à dessein alimenté. Il peut arriver qu'au lieu de couper la faille, on y parcourt plutôt. Ce qui peut se traduire par une variation moins significative de la courbe de trainé. On choisit alors dans ce cas de faire un autre profil perpendiculaire afin de voir à quel point la faille a été coupée.

Dans certains cas, on peut réaliser des profils parallèles afin de s'assurer de l'existence effective de la faille. A chaque point de faible résistivité on associe des indices pour se repérer et procéder à un sondage. On observe trois types d'anomalies :

- type compartiment conducteur, étroit ou large selon le cas, parfois dissymétrique ;
- type contact où on observe deux paliers de résistivité distincts : c'est le cas avec les filons ;
- type de palier conducteur : on observe des faibles valeurs de résistivité apparente et sans présence d'un encaissant net.

Les anomalies de résistivité rencontrée peuvent être classées dans l'une de ces sept formes (annexe 1). La forme de l'anomalie ne tient compte d'aucun critère numérique tel que contraste, largeur ou résistivité minimale. Il existe 7 formes d'anomalies :

- V : Anomalie étroite, pointue, isolée sur un profil,
- U : Anomalie arrondie, un peu plus large que le V, également isolée sur profil,

- W : Anomalie en général large dont la partie conductrice est perturbée par un ou plusieurs résistants ;
- M : Anomalie qui peut être en forme de V ou se U mais qui est encadrée par d'autres anomalies conductrices. Cette anomalie est toujours associée à des anomalies adjacentes;
- K : Anomalie de contact géologique montrant un ou plusieurs conducteurs au contact ;
- C : Anomalie de contact ne montrant pas de conducteur au contact ;
- H : Anomalie à très fort contraste présentant un compartiment conducteur très tranché et de résistivité peu perturbée.

Après la détermination du type d'anomalie un sondage est effectué sur ces points de faible résistivité afin de choisir entre deux points celui qui présente un intérêt hydrogéologique, car le minimum peut correspondre à un noyau argileux ce qui peut engendrer un échec. Nous avons identifié les types d'anomalie puis déterminé la largeur de ces anomalies ainsi que les maxima et les minima dans notre zone d'étude. Ces types sont également associés à des débits de forage.

### **2.3.3.2 Sondage électrique**

En ce qui concerne le sondage, nous avons utilisé la succession de couches de terrains, l'interprétation fait ressortir :

- le type de courbe ;
- le nombre de terrain ;
- la profondeur de la roche (conseillée et désespoir) ;
- le comportement de la roche (fissurée, fracturée, saine, inclinée)

Tous ces éléments donnent des indications à l'équipe de foration d'ajuster le matériel nécessaire.

Toutes ces indications sont données à la lecture de la courbe de sondage, tracée sur un papier log-log en abscisse les distances et en ordonnée les résistivités apparentes (voir annexe 2).

La frange la plus intéressante pour une courbe de sondage se situe généralement à partir de la tranche  $AB/2 = 40$ , c'est-à-dire peu avant le deuxième embrayage. A ce niveau, on estime qu'on a fini la partie altérée et qu'on est au niveau de la roche. Si celle-ci est très fracturée, l'embrayage est grand, visiblement écarté à condition que le sondage soit fait dans la direction de la faille. Si le sondage n'est pas fait dans la direction de la faille, l'embrayage peut être grand mais sans que cela soit forcément une faille. Entre deux courbes, on choisit souvent

celle dont les valeurs de résistivités situées au-delà de 40 m sont basses. Ce qui sous-entend une roche plus altérée.

Une corrélation est parfois faite entre le sondage étalon et la courbe de forage à exécuter. Quand ce dernier cité se trouve en dessous du premier, présentant les mêmes allures elle devient très intéressante dans notre choix. De façon pratique sur le terrain, les différentes couches sont identifiées sur la courbe de sondage par le changement de pente et de l'allure du tracé. Nous avons utilisés la classification donnée de Koussoubé et al 2003, pour faire des superpositions entre les courbes de sondage obtenues et celles décrites par l'auteur (annexe).

Pour rappel les auteurs ont travaillé sur deux milles (2000) sondages et décelé sept (7) formes générales dans l'ensemble du territoire burkinabé. Les sept familles et leur désignation sont les suivantes :

- un seul fond de bateau (H) ;
- cloche dans un bateau ; (KH)
- cloche puis en fond de bateau ; (K et H)
- une seule branche montante ;(1A)
- remontée trainante ;(A)
- une première branche à escalier descendant ;(Q)
- deux fond de bateau ; (2H)

#### **2.3.4 Méthode de foration**

Nous avons utilisé les données des résultats de foration auprès du bureau d'étude en charge du contrôle. Nous allons également procéder à une brève introduction de la méthode de foration car lors de notre stage nous avons eu à suivre des ateliers de forage. Les forages exécutés dans le cadre du projet qui a servi à recueillir les données de notre mémoire sont destinés pour la plupart à l'approvisionnement des petites localités. Ces forages sont équipés de pompe à motricité humaine, sauf dans les cas où les débits s'avèrent très élevés, sont automatiquement attribués à l'ONEA au cas où ils sont découverts dans les grandes villes.

Les forages sont exécutés dans un grand nombre de cas au rotary à l'air ou au marteau fond de trou, parfois à la boue dans les zones à forte altération. Dans les premiers mètres jusqu'au toit du socle le forage est exécuté en 9''<sup>7/8</sup>. En suite le trou est équipé d'un tubage provisoire de diamètre 200 mm. Le trou est poursuivi avec le marteau de 6''<sup>1/2</sup> et le tout est équipé en 4''<sup>1/2</sup>. Après la mise du tubage 4''<sup>1/2</sup> une mise en place dans l'espace annulaire, de gravier s'opère jusqu'à environ 5 mètres au-dessus de la partie supérieure des crépines. L'espace annulaire est enfin cimenté en tête sur 2 à 3 mètres.

Au début des opérations, les informations sont données sur :

- la hauteur du taillant (marteau fond de trou) (Hmft);
- la hauteur du tricône ou du trilame (Htri) ;
- la hauteur des tiges (Htig);
- la hauteur de la table qui correspond à la différence entre la table de rotation et le niveau du sol (Htabl).

Un calcul est effectué avec toutes ces informations afin de déterminer la profondeur d'altération, la profondeur totale du forage, les cotes des crépines etc.

Lors de l'exécution un échantillonnage est procédé à tous les mètres en vue de constituer le log de forage et une description lithologique des déblais.

Les premiers mètres de foration sont obtenus à partir de l'exemple suivant :

Profondeur d'altération = (Htig) + (Htri) - (Htabl).

Profondeur totale du forage =  $\sum((Htig) + (Htri) \text{ ou } (Hmft) - (Htabl))$

Pendant la foration les échantillons représentatifs des cuttings sont prélevés, entreposés et analysés pour chaque mètre pénétré. Nous procédons également à la mesure de la vitesse d'avancement, de la position de zone fracturée (changement brusque du régime de frappe du marteau, secousses du train de tiges, chute libre du marteau, coincement du marteau).

Toutes ces valeurs sont soigneusement repérées et notées sur la fiche de foration (annexe)

3). Cette fiche comporte :

- la coupe lithologique des terrains forés ;
- les arrivées d'eau, le débit de soufflage à la fin de chaque tige ;
- la profondeur d'altération ;
- le niveau statique ;
- la profondeur totale et d'autre information pertinente dont nous nous sommes servi pour établir les différentes corrélations avec celles des données géoélectriques.

# Troisième Partie : Résultats et interprétations

### **3.1 Résultats quantitatifs des implantations**

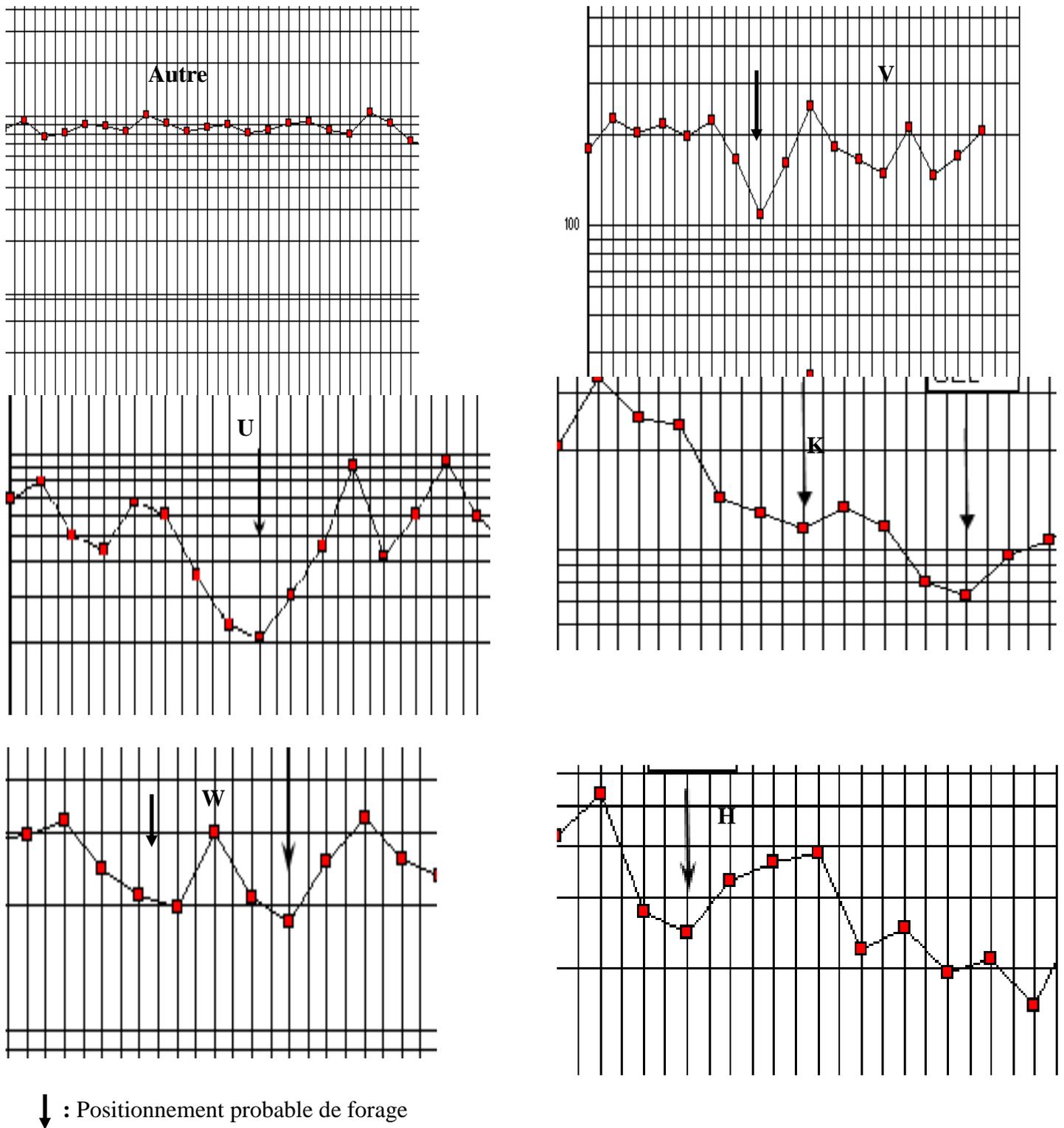
Pendant le projet, cent (100) implantations ont été réalisées dans la province du Boulgou. En quantité de travaux :

- 175 km de profils géoélectriques ;
- 473 sondages électriques dont 62 sondages électriques d'étalonnage ont été réalisés sur des ouvrages existants déjà (puits ou forages).

Des 411 sondages réalisés sur des anomalies, il a été proposé 200 sites de forage conformément aux clauses du marché qui stipulent que deux (2) sondages électriques soient proposés par site de forage. Le tableau (II) en annexes fait la synthèse quantitative des résultats géophysiques obtenus.

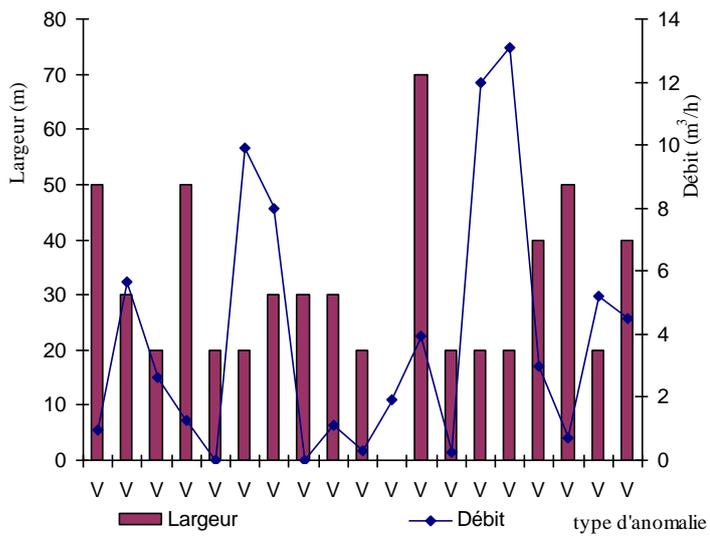
### **3.2 Distribution des formes des anomalies géoélectriques**

L'examen des types d'anomalies montre cinq types qui appartiennent également au sept identifiés selon la classification CIEH, 1989. On note, à partir de la figure ci-après, une prédominance des formes en U sur les 82 sondages réalisés soit 37 % du total. Cette forme se rencontre dans toutes les localités de la province. Cependant on note l'absence de la forme C, Aucun sondage n'a été exécuté sur les formes en C. les formes désignées par "Autre" n'ont aucune correspondance avec la classification de CIEH. Cette forme "Autre" caractérise par des profils uniformes parfois en dent de scie. Ce qui ne permet pas au géophysicien d'implanter avec exactitude son forage dans le background des résistivités. On note également un seul profil M dans la zone donc pratiquement inexistant. Comme M et W sont assez semblables on pourrait être amené à les confondre lors de l'identification. La figure (4) présente un récapitulatif du dénombrement des anomalies ayant fait l'objet des sondages électriques. La flèche indique le point de positionnement du forage.



**Figure 4:** Classification des anomalies de résistivité en fonction de leur forme

Les figures ci-après illustrent l'influence de la largeur des différents types d'anomalie sur les débits enregistrés. La largeur est la distance entre les valeurs maximales de résistivité obtenues lors du profilage des points successifs et le point immédiat de faible résistivité suivi d'autres valeurs maximales. Il ressort que les débits les plus importants sont enregistrés sur les anomalies les moins larges (20 à 30 m). Tandis que pour des largeurs supérieures à 60 m, les débits sont faibles. Les débits les plus importants se signalent en général chez les types K et W avec respectivement des pics de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  et  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  avec des largeurs d'anomalies respectives de 30 et 4 m.



Erreur ! Liaison incorrecte.

Erreur ! Liaison incorrecte.

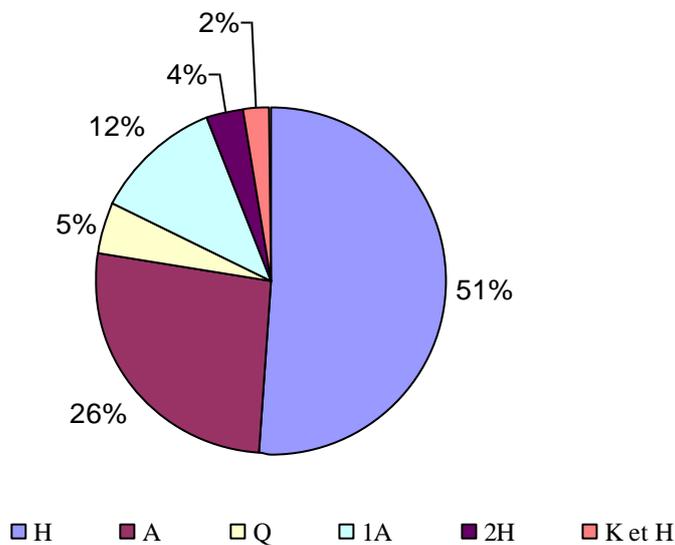
Erreur ! Liaison incorrecte.

Erreur ! Liaison incorrecte.

Figure 5: Influence de la largeur de l'anomalie sur le débit des forages

### 3.3 Distribution des formes de sondages électriques

Six (6) familles de formes de sondage ont été dégagées (figure 6). Les sondages sont pour une très grande majorité conformes à celles des terrains 3 couches, en « fond de bateau » type H. Les minima de résistivités apparentes, observées sur ces sondages, sont contenus dans leur grande majorité dans une tranche de 10 à 30 Ohm.m. Cette forme couvre la moitié de la zone d'étude. Elle donne des forages productifs dans l'ensemble. Les plus gros débits enregistrés dans la zone sont issues de cette courbe de sondage. La forme la moins représentative est attribuée à la forme en cloche puis fond de bateau (type K et H) ce qui paraît raisonnable car cette région est marquée par des roches qui affleurent. Il serait difficile d'avoir dans les premiers mètres des argiles ou une nappe phréatique. La remontée traînante de type A est également présente dans cette zone avec un taux de 26 %.



**Figure 6:** Distribution des formes de courbes dans la province

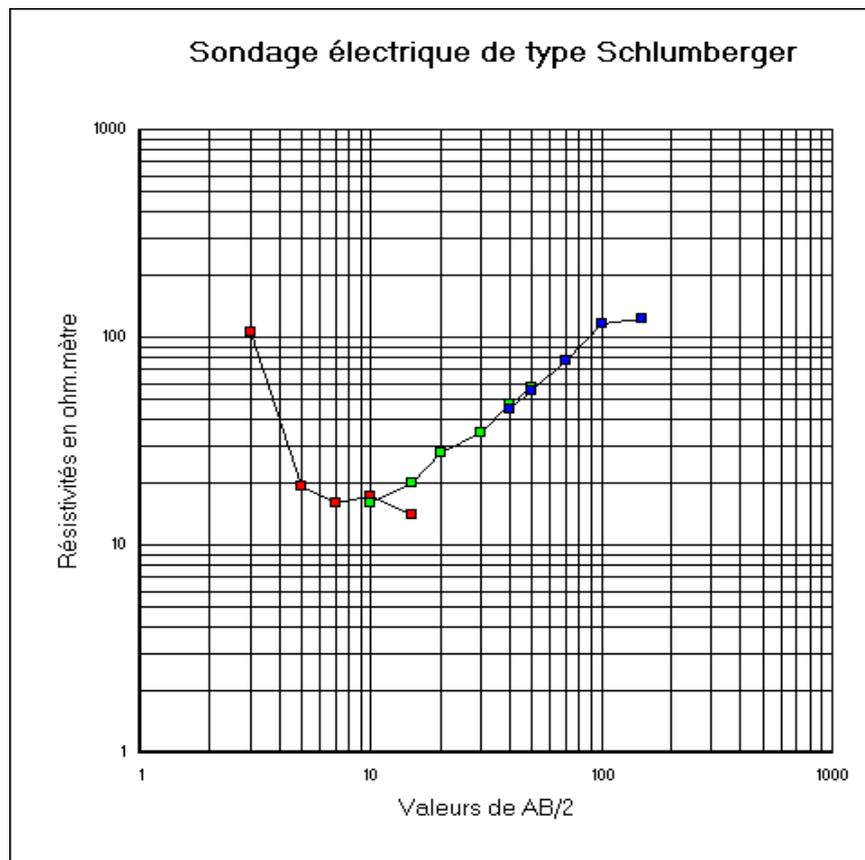
Nous présentons quelques exemples de courbes de sondage dans lesquelles certaines formes sont perceptibles et d'autres pas (forme X). Les sondages électriques ont, en général, l'allure en fond de bateau mettant en évidence la superposition de trois milieux électriquement différenciés :

- un recouvrement résistant ;

- un complexe conducteur ;
- un substratum résistant à 45 °.

Ce type de courbe (H) indique une forme de bateau avec à ces deux extrémités des valeurs de résistivités élevées. Elle se caractérise par une carapace latéritique que l'on rencontre dans la partie superficielle du sol de la zone d'étude. L'interprétation de ce type de courbe montre une structure à trois couches de terrains électriquement distincts :

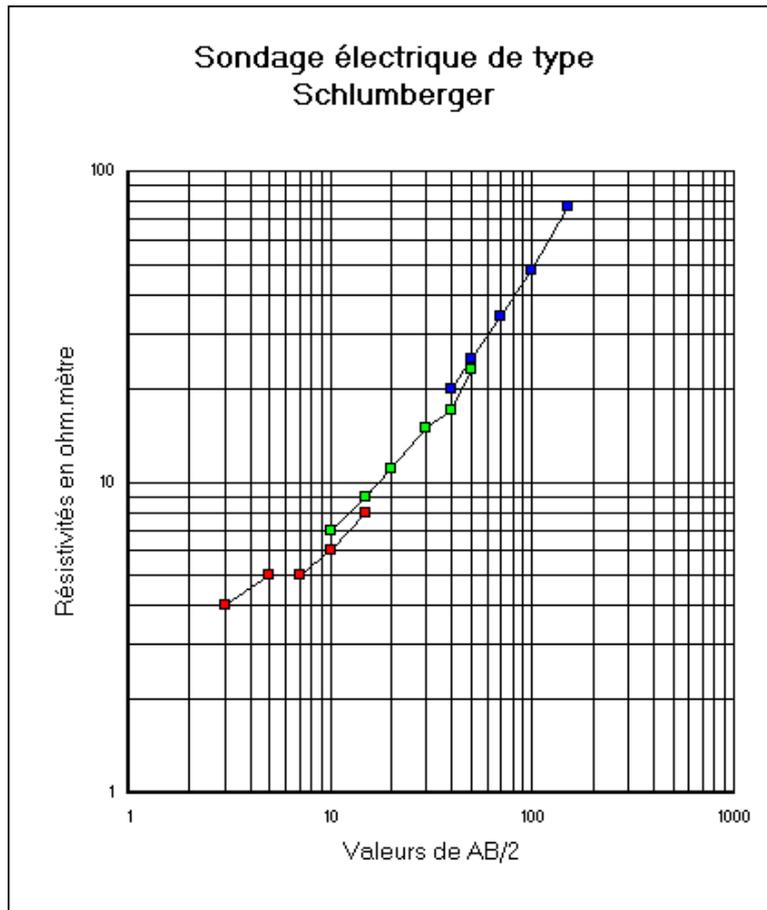
- la partie superficielle avec des résistivités élevées avec des épaisseurs relativement faible 0 à 8 m elle peut atteindre 15 m.
- la partie conductrice est représentée sur la courbe de sondage en fond de bateau. Les résistivités sont faibles dans cette partie. Elle correspondrait à la partie fracturée ou parfois à dépôt argileux quand les valeurs de résistivité sont très basses
- le socle résistant correspond à la partie remontante de la courbe à 45 ° de la courbe de sondage à partir de ce point les résistivités commencent à être élevées.



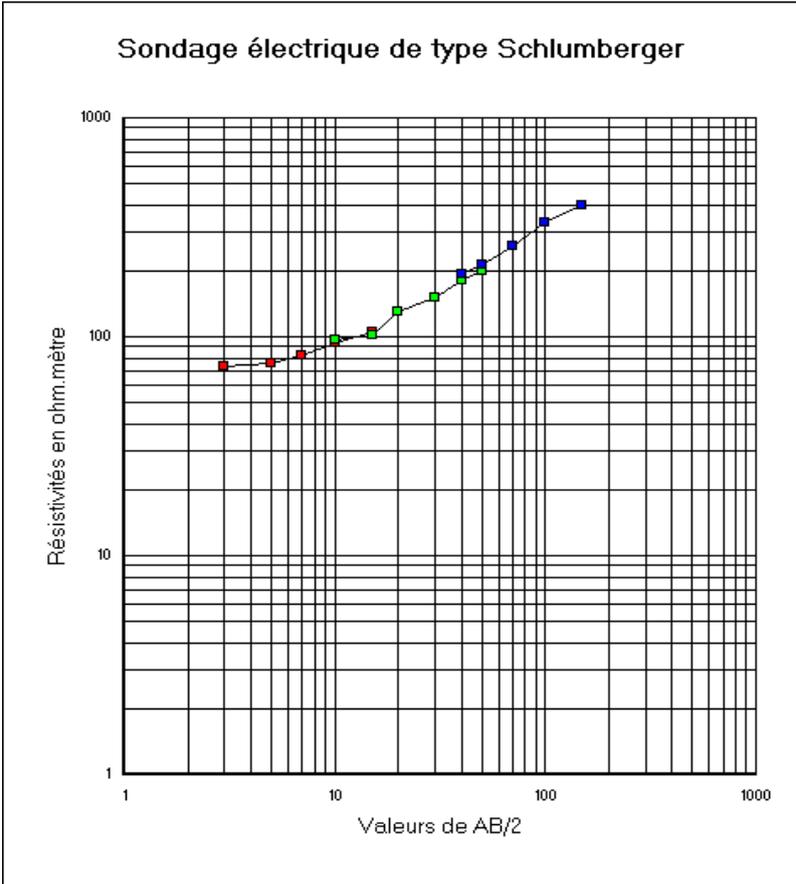
En ce qui concerne la courbe suivante, elle présente une seule branche montante (A). Ce genre de courbe se caractérise par deux terrains :

Le premier avec des résistivités faibles mais qui augmentent progressivement avec la profondeur. Elle peut traîner avant d'atteindre le substratum rocheux ce qui pourrait être intéressant du point de vue hydrogéologique.

Le deuxième terrain se caractérise par la remontée à 45 °.

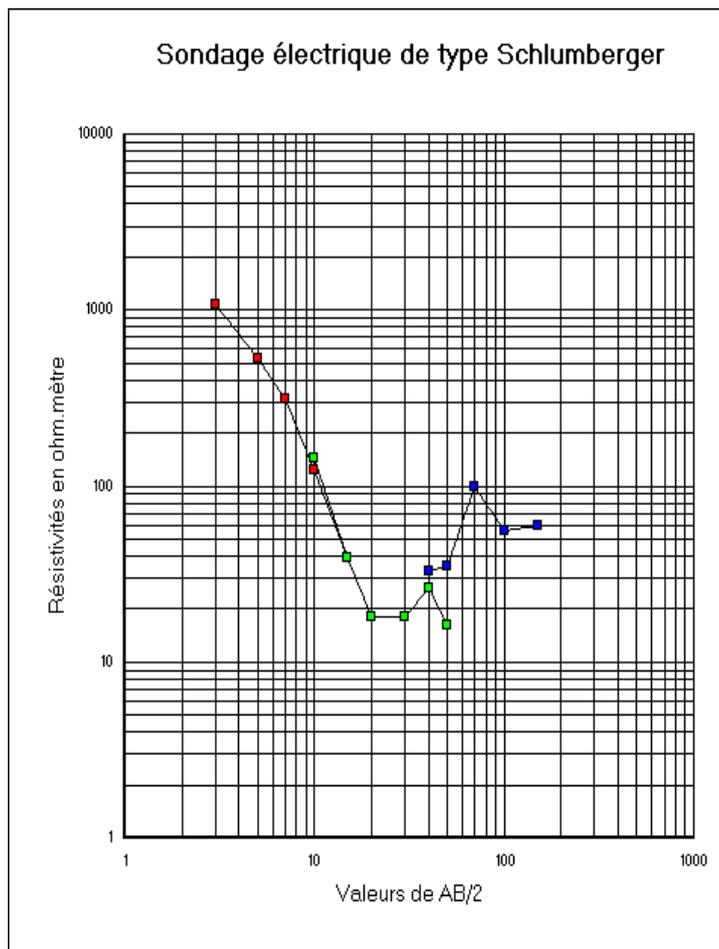


Cette courbe (1A) présente les mêmes caractéristiques que celle décrite précédemment à la seule différence que la remontée traînante est très marquée d'où son appellation de courbe de sondage en remontée traînante. La diminution de la résistivité est souvent du à la présence d'arènes grenues et d'horizons fissurés.

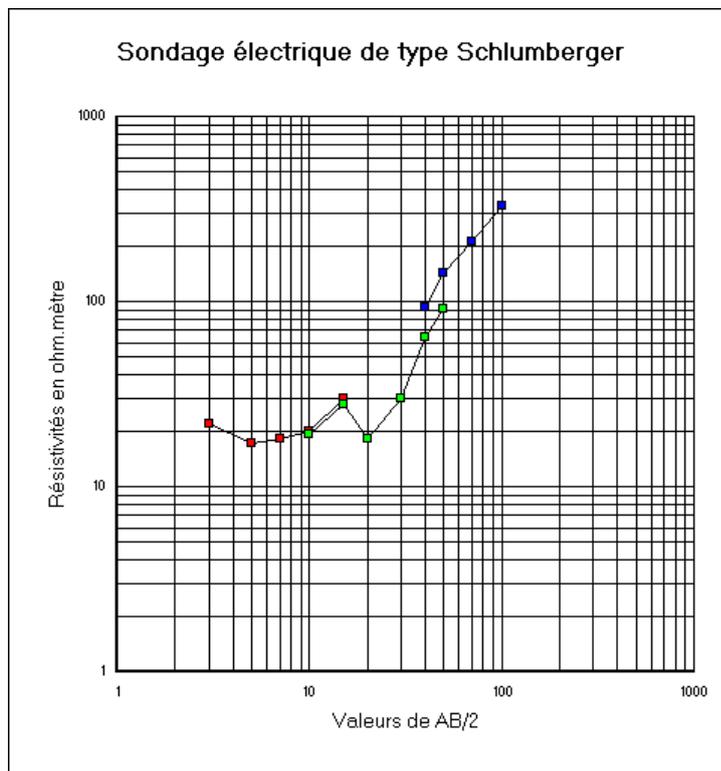


A propos de cette courbe en escalier sur branche montante (Q) elle se compose de trois terrains :

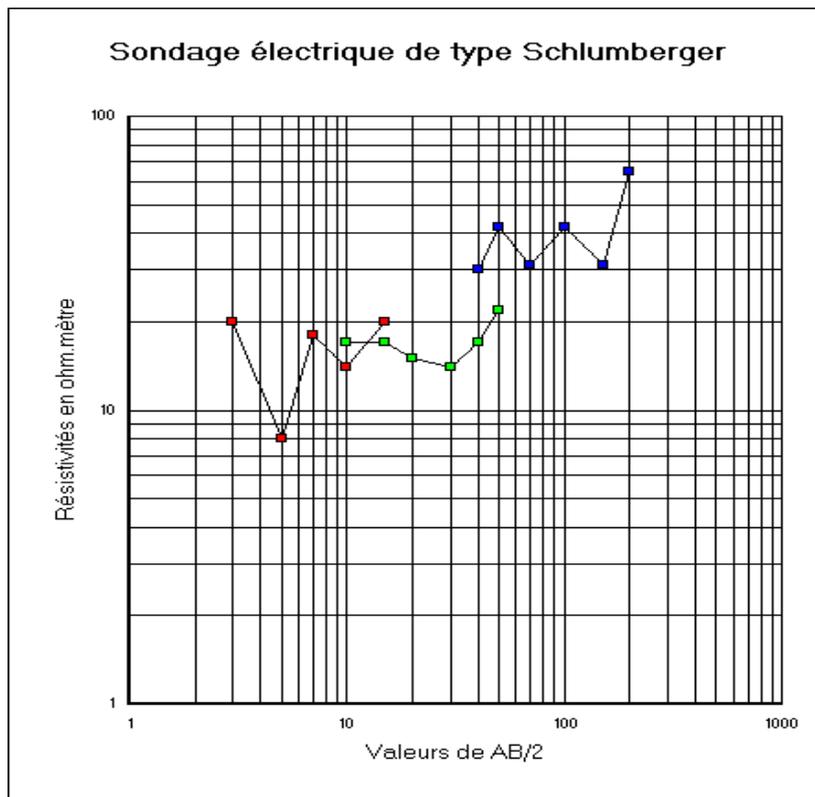
- un terrain constitué en général de curasse latéritique avec des valeurs de résistivité élevées.
- un second terrain conducteur avec de faibles résistivités
- une branche montante moins conducteur que le précédent.



Pour ce qui est de la courbe en deux fonds de bateau consécutifs (2H) nous identifions une alternance de terrains résistants et de terrains conducteurs. Ce qui pourrait faire apparaître en des endroits des nappes. Il peut arriver que le premier fond de bateau ne soit pas alimenté.



Cette dernière courbe que nous avons identifié X ne correspond pas aux différentes nomenclatures par les des auteurs. Cependant ces formes pourraient être assimilées à certaines courbes par lissage ou une révision du matériel de mesure.



### 3.4 Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères fissurés de la province de Boulgou

Les données de prospection géophysique et de foration ont permis d'analyser les caractéristiques des aquifères de la province et d'établir des corrélations entre ces différents paramètres.

Nous avons mis l'accent sur les paramètres tels que, débit d'exploitation, épaisseur d'altération, niveau statique et profondeur d'ouvrage afin de déterminer les rapports qui existent entre eux.

Pour une manipulation plus simple et une meilleure interprétation, les valeurs de chaque paramètre ont été divisées en quatre (4) ou cinq (5) classes (tableau III) :

- classe 1 : Très faible ;
- classe 2 : faible ;
- classe 3 : moyenne ;
- classe 4 : forte ;
- classe 5 : Très forte.

*Tableau I: Classification des paramètres (d'après le CIEH)*

<b>classes paramètres</b>	<b>très faible</b>	<b>faible</b>	<b>moyenne</b>	<b>forte</b>	<b>Très forte</b>
<b>Débit (m<sup>3</sup>/h)</b>	0 - 1	1 - 2,5	2,5 - 5	> 5	—
<b>épaisseur d'altération (m)</b>	< 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	> 25
<b>profondeur d'ouvrage (m)</b>	< 20	20 - 30	30 - 40	40 - 70	> 70

#### 3.4.1 Débit

Le débit sur l'ensemble des forages étudiés (87) varie de 0 à 36 m<sup>3</sup>/h. Les forages dont les débits sont inférieurs à 0,7 m<sup>3</sup>/h sont déclarés négatifs. Le taux de succès du projet représenté par le rapport des forages positifs sur le total exécuté est de 84 %. Ce résultat atteint est supérieur au taux de 70 % demandé dans le marché. Le tableau ci-dessous renseigne sur le taux de succès par département.

**Tableau II: Rapport des taux de succès de forage**

Département	Forages exécutés	Forages positifs	Taux de succès
Bagré	8	5	62,5%
Bané	5	3	60%
Béguédo	2	2	100%
Bissiga	1	0	0%
Bittou	5	5	100%
Boussouma	6	6	100%
Garango	15	14	93,3%
Niaogho	3	3	100%
Tenkodogo	30	24	80%
Zabré	8	7	87,5%
Zoaga	1	1	100%
Zonsé	3	3	100%
<b>TOTAL</b>	<b>87</b>	<b>73</b>	<b>84%</b>

Le tableau ci-après (V) montre la proportion de débit de forage.

**Tableau III: Proportion des débits**

Classe de débit (m <sup>3</sup> /h)	Nombre de forage	Fréquence (%)
0 - 1	22	25,29
1 – 2,5	21	24,14
2,5 - 5	21	24,14
> 5	23	26,44

Le nombre de forage est relativement la même dans tous les classes. Ce qui pourrait nous amener à affirmer que les chances d’avoir aussi bien un gros débit qu’un débit faible dans cette zone sont les mêmes.

### 3.4.2 Profondeur de l’ouvrage

Les travaux de certains auteurs (Guiraud, 1976 ; Berger et *al.*, 1980-1981), ont permis de proposer des profondeurs de "foration" à ne pas dépasser dans le socle (80 m dans les granites et 100 m dans les schistes) pour des raisons essentiellement économiques. Selon ces auteurs, les fractures hydrauliquement actives se referment avec la profondeur. Les forages étudiés dans le cadre de ce mémoire ont une profondeur comprise entre 43 et 100,03 m. Elle est généralement élevée. Un grand nombre des forages a une profondeur comprise entre 40 et 70

m. La classe «très forte» est représentative avec 14 forages, soit une fréquence de 17,72 % (tableau VI). Les profondeurs respectent les intervalles proposés par les auteurs cités plus haut.

*Tableau IV: Proportion des profondeurs*

Classe de profondeur (m)	Nombre de forages	Fréquence (%)
40 – 70	65	82,28
> 70	14	17,72

### 3.4.3 Epaisseur d'altération

L'épaisseur d'altération varie de 2 m à 40 m avec une moyenne de 20 m. La classe « faible » est la plus couramment rencontrée, soit une fréquence de 26,44 % (tableau VII).

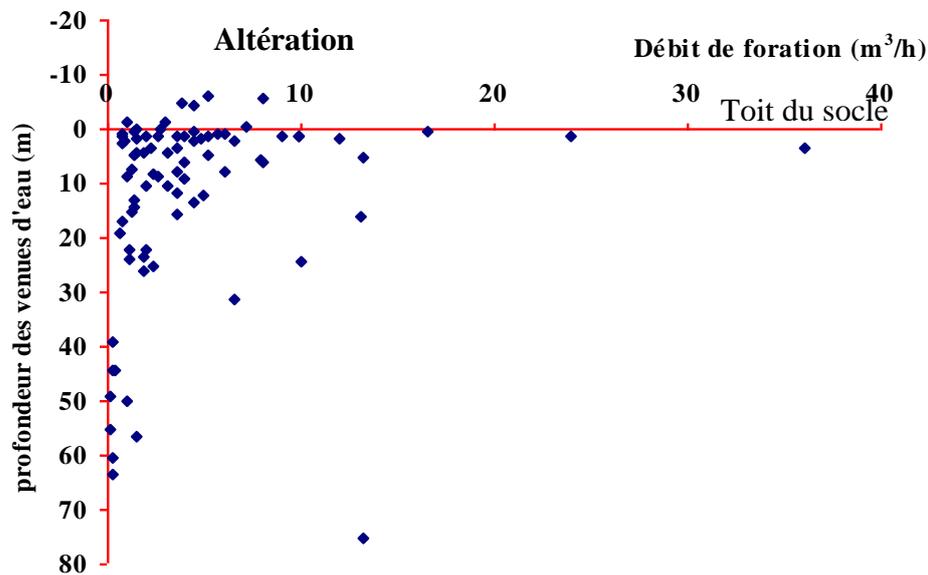
*Tableau V: Répartition des épaisseurs d'altération*

Classe d'épaisseur d'altération (m)	Nombre de forages	Fréquence (%)
< 10	21	24,14
10 – 15	23	26,44
15 – 20	21	24,14
20 – 25	11	12,64
> 25	11	12,64

L'épaisseur d'altération est un paramètre important dans ces zones à substratum granitique car elle permet d'apprécier l'intensité de fracturation du substratum et de mettre l'eau des fractures à l'abri de l'évapotranspiration. Les mesures électriques ne décèlent pas les fractures elles mêmes, mais les altérites conductrices qui les surmontent (Meyer, 1991). Selon Marsily (1994), l'évapotranspiration devient négligeable quand la nappe se trouve à plus de 10 ou 15 m sous la surface du sol. L'analyse de ce paramètre en fonction de la géologie montre que les épaisseurs d'altérites les plus importantes se rencontrent au niveau des formations granodiorites, ensuite viennent les schistes et en fin les granites dont l'épaisseur est parfois estimée à 3 mètres.

### 3.4.4 Les venues d'eau

Les venues d'eaux souterraines dans les forages ont été remarquées en cours de foration et elles ont été mesurées en  $\text{m}^3/\text{h}$ . La fréquence des profondeurs et la force des venues d'eau sont en relation avec le toit du socle (CIEH, 1987). Sur figure 7, nous avons comparé seulement les venues d'eau des forages au toit du socle. A l'exception de quelque forage dont les venues sont apparues au dessus du toit de socle, nous remarquons qu'elles se signalent en général au contact altération-socle au plus dans les dix (10) premiers mètres. Il apparaît clairement que les venues d'eau des forages à gros débit se trouvent d'une manière générale à la même profondeur que les venues d'eau des forages à faible débit. Ceci montre qu'il n'existe probablement que des différences graduelles dans la largeur et la densité de la fracturation, entre les venues d'eau des forages à gros débit et celle à moindre débit. A partir de 25 m en dessous du toit du socle l'on constate moins de venue d'eau. L'aquifère de fissure constituerait le majeur parti des ressources en eau de cette province. Les aquifères d'altérites sont pratiquement rares, ce qui confirme la classe des épaisseurs d'altération « faible » qui prévaut dans cette localité.

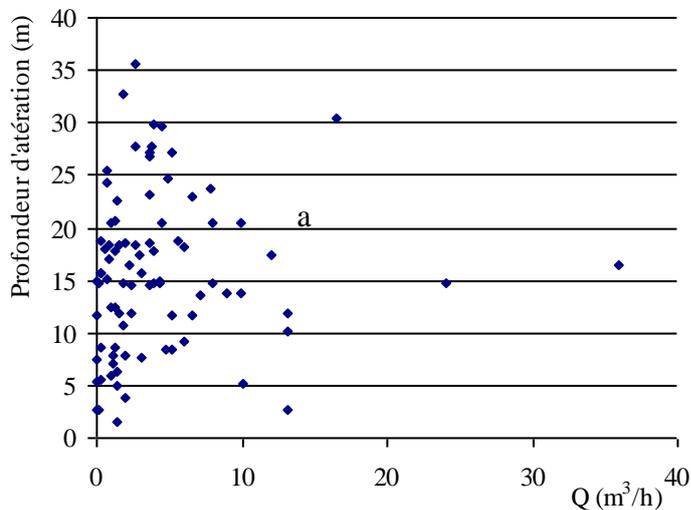


*Figure 7: Corrélation entre débit et profondeur des venues d'eau par rapport au toit du socle*

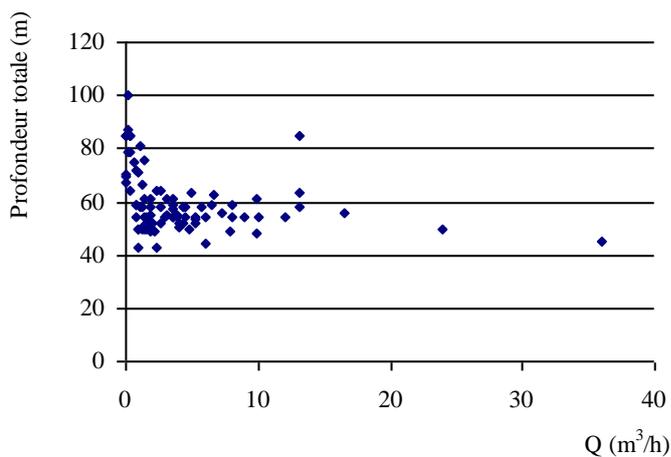
### 3.4.5. Au niveau de la variation des débits en fonction des différents paramètres

L'étude de la variation des débits en fonction de l'épaisseur des altérites montre que l'importance des débits des ouvrages ne semble pas établir une relation particulière avec la puissance des altérites d'une manière générale (figure 8). Cependant on constate que les débits moyens d'exploitation (2,5-5 m<sup>3</sup>/h) se rencontrent dans les zones où les épaisseurs d'altération sont comprises entre 5 et 20 m. Au-delà de 30 m d'épaisseur d'altérites, aucun débit intéressant n'a été obtenu.

En ce qui concerne la profondeur optimale d'obtention des forages productifs, la tranche de profondeur à proposer pour réaliser des forages économiques est comprise entre 40 et 80 m.



b



**Figure 8:** Variation des débits en fonction de l'épaisseur d'altération (a) et de la profondeur totale (b)

L'analyse des caractéristiques des forages (profondeur, débit, épaisseur d'altérites), obtenues au cours de la "foration" et les différentes relations qui les lient, ont montré qu'il existe une relation positive entre la productivité et la profondeur du forage d'une part, et entre cette même productivité et l'épaisseur des altérites d'autre part. Dans cette région, la formation la plus productive est le granodiorite. Cette zone est caractérisée par les roches qui affleurent par endroit ce qui rend difficile la prospection géophysique, cependant elle oriente le géophysicien tout de même des accidents tectoniques qui ont lieu dans la région.

### **3.4.6 Corrélation entre profondeur du socle sain en sondage électrique et en forage**

La figure 9 compare les profondeurs des forages données après foration et celles supposées par les géophysiciens. En effet après une interprétation des sondages électriques, l'opérateur géophysicien estime les profondeurs limite à ne pas dépasser lors de la foration. Dans ce cas, deux indications peuvent être données :

- la profondeur conseillée
- la profondeur du désespoir au-delà de cette limite, lorsque le débit escompté n'est pas atteint la foration doit être suspendue et le forage déclaré négatif.

La figure 9 a indique une étude comparative entre les profondeurs réelles, désespoirs, et conseillées des forages négatifs. Il faut noter que la profondeur réelle des forages est située entre celles estimées par l'interprétation des courbes de sondage. La profondeur conseillée est pour la plupart sous évaluée. Les forages restent négatifs malgré les indications des géoélectriques et les profondeurs atteintes par la foration. La profondeur géoélectrique (désespoir) est largement surestimée par rapport à la profondeur des forages déterminée mécaniquement. Cette surestimation est souvent liée à des calculs économiques, car le coût d'un forage est donné soit en mètre linéaire ou soit en terme de forage négatif.

A propos de figure 9b Il apparaît que la profondeur du forage et celui conseillée ne suit pas la même tendance. Cependant l'écart entre les profondeurs n'est pas trop significatif

**Erreur ! Liaison incorrecte.**

**a)**

Erreur ! Liaison incorrecte.

**b)**

*Figure 9: Comparaison de la profondeur du forage et de la profondeur géoélectrique  
a) forages négatifs b) forage positif*

#### **4. CONSTAT ET OBSERVATION PENDANT LA PERIODE DE STAGE**

##### **4.1. Prospection géophysique**

Au cour de notre stage nous avons pu avoir une idée sur le fonctionnement des structures et le mode d'acquisition de marché.

En général les marchés sont attribués aux entreprises soit de gré à gré soit après soumission et attribution aux appels d'offre qui peuvent être restreinte ou ouverte. Une fois le marché obtenu, le chef de mission établit les besoins matériels et financiers. Il procède également à la recherche documentaire sur la zone. Sur le terrain, il entreprend plusieurs approches :

###### **4.1.1. Communication avec les bénéficiaires**

Le chef de mission avise les populations concernées pour le futur point d'eau afin que celles-ci donne leurs appréciations et leurs propositions de la zone. A la fin de cet entretien l'opérateur débute la prospection.

###### **4.1.2. Reconnaissance de terrain**

La reconnaissance du terrain est l'une des étapes les plus importantes dans les travaux de recherche d'eau. Elle consiste à parcourir le maximum, si non la totalité du domaine choisi pour l'implantation. Elle renferme :

- des activités d'identification des ouvrages (forage, puits, retenue d'eau), des indices biologiques (termitière), végétaux (tamarinier, les résiniers, les figuiers, les baobab qui sont qualifiés d'arbres hydrophiles. l'alignement de ces indices donne une idée sur la direction de la fracturation.
- Recueille d'information sur les précédentes implantations, les difficultés d'approvisionnement en eau des populations. Il arrive parfois que les populations se réservent de fournir les informations exactes car celles-ci utilisent ces informations pour juger les équipes. Dès qu'elles constatent que vous avez positionné un sondage près d'un négatif en ce moment la population attire votre attention.

Pendant l'hivernage, certains indicateurs tels que les termitières sont à proscrire car elles sont sources d'erreurs dans la prospection.

Nous avons constaté que pendant cette période les termitières utilisent directement la source d'eau proche ou la verdure pour son architecture. Ce n'est qu'en période sèche que l'on peut se référer à cet un indicateur.



**Photo 1:** *une termitière au bas d'un Diospiros mespiliformis*

Une entreprise vit de ses propres réalisations, du fruit de son travail, ainsi les opérateurs sont contraints à une obligation des résultats. De plus une implantation géophysique ne relève ni d'une chance ou du hasard encore moins d'un à peu près. Elle est appréciée après foration ; deux cas de figure peuvent se présenter : elle est bonne donc conduit à un forage positif, dans le cas contraire mauvaise si le forage est déclaré négatif.

Cependant un forage peut être positif, mais s'il est mal équipé, le fonctionnement de l'ouvrage peut être compromis d'où la nécessité de bien équiper son forage.

Compte tenu de toutes les prérogatives et des résultats recherchés par les entrepreneurs il est important de ressortir les pratiques encore moins ingénieurs de certains opérateurs géophysiques. L'opérateur dans un souci de gain de temps et de peur de faire un forage négatif, localise un forage positif et effectue un profil pluridirectionnel. Il identifie le point où l'anisotropie est marquée et recherche à recouper la structure sur laquelle est située le forage. Il établit alors une courbe d'anisotropie.

Il est souvent à déplorer que l'on ne tienne pas compte de l'orientation de ce dispositif, entraînant ainsi une perte de temps après des multitudes trainés conséquence de la mauvaise détermination de la direction de l'anomalie.

Souvent, les opérateurs implantent dans les zones de bas-fonds. La recherche de gain en temps couplée du manque de connaissance des méthodes amènent les opérateurs à biaiser les implantations des forages.

Certaines personnes possèdent plus que d'autres, l'intuition de l'eau, le sens de l'eau ou une vue double. Leurs avis méritent souvent d'être entendus et examinés (sourciers et sorciers).

#### **4.1.3 Géophysique et sourcier**

Nous nous sommes demandés si les méthodes géophysiques doivent être associées ou être complémentaire des pratiques du sourcier. Le coût élevé des implantations amène certains opérateurs à solliciter les prestations de ceux qu'on appelle sourcier ou sorcier de l'eau. Pour Rocard (1981), le sourcier est celui qui trouve l'eau dans la terre en se procurant une baguette souvent d'arbres hydrophiles. Il s'agit là de se balader dans la zone, muni d'un bâton qu'on tient entre les deux bras. Au moment où on coupe la faille, la baguette se met à tourner. Ici nous présenterons un cas où le sourcier a appuyé la recherche d'eau souterraine en zone de socle.

Le site avait fait l'objet de trois (3) forages négatifs. Ces informations nous ont permis de commencer notre investigation par un trainé sur deux de ces trois forages distants de 40 m. La coupe technique des forages montre un mètre de cuirasse sous laquelle repose une importante couche d'argile. Cette démarche nous a donné une idée des résistivités de la zone d'étude. Un sondage test a été réalisé à 3 m du forage négatif puis suivi d'un profil pluridirectionnel. Une fois la direction de l'anomalie identifiée nous nous sommes dirigée vers la zone où la végétation est plus dense avec un alignement figuiers et des tamariniers.

Mais bien avant notre investigation, le sourcier qui faisait partir de notre équipe nous avait conduit vers cet endroit qui a fait l'objet de deux sondages. Et après la foration le site indiqué par l'opérateur a fourni 6 m<sup>3</sup>/h. Il revient qu'après ces trois forages négatifs, il s'est présenté sur les lieux et a prospecté avec ses baguettes. Il s'appuie sur les indicateurs biologiques. L'outil de prospection se compose de deux baguettes en forme de coude avec un angle de 90°. Il oriente les deux baguettes dans les sens opposés. Lorsqu'il y'a apparition d'une anomalie, les deux baguettes convergent dans le même sens. Le sourcier affirme que pendant la recherche il crée un vide dans son esprit cette situation nous amène à rejoindre Rocard (1981) qui estime que ce moment peut être assimilé à un dérangement physiologique chez le sourcier qui fait qu'il est incapable de maîtriser ces baguettes. L'apport du sourcier nous a permis de gagner en temps et d'obtenir un débit important pour l'approvisionnement d'une petite localité. Toutefois, malgré la présence du sourcier, nous avons observé un forage négatif, notamment celui de la zone Ziniaré.

Cette zone avait également fait l'objet d'un forage négatif. Elle est constituée d'une couverture de cuirasse latéritique et d'une rivière temporaire longeant le site. Un alignement de ficus et tamarinier nous a permis d'orienter le trainé. Pendant que nous étions entrain de faire les mesures une information nous ai parvenue afin qu'on abandonne le site pour aller prospecter de l'autre côté convenu par le sourcier. Des sondages ont été effectués à la suite des mesures ainsi il est venu au sourcier de choisir le site. Le site choisi par le sourcier correspondait en réalité à une zone fissurée non alimentée. Fort de toutes ces expériences il apparaît que l'apport de sourcier est souvent d'un intérêt, mais nous pensons que ces pratiques doivent faire l'objet de retenu.

Les villages où nous avons eu l'occasion de faire des implantations possèdent en majorité des forages en exploitation. Le point d'eau est exécuté dans le cadre des programmes d'approvisionnement des centres de santé et d'éducation. A cet effet, nous étions contraint par les clients à reprendre des implantations qui ont fait l'objet de forage positif parfois même équipé de pompe à motricité humaine. Ces ouvrages ont été rejetés pour de nombreuses raisons suivantes :

Le forage a été implanté en bordure d'une rivière pérenne en aval d'un barrage et la distance qui sépare le forage est évaluée à près de 5 m du plan d'eau. Les premiers bénéficiaires de cet ouvrage sont des écoliers et leurs encadreurs. Nul n'est sans ignoré du danger que l'on court en demandant à des écoliers d'aller prélevés de l'eau dans une zone à risque (proximité du barrage). Nous avons fait un test des paramètres organoleptiques et il ressort que cette eau

avait les mêmes caractéristiques que celles de la rivière. Il est certain que la nappe souterraine est alimentée par les eaux de la rivière.



↓ : Lit de la rivière  
↔ : Distance entre forage et la rivière

**Photo 2:** Exécution de forage en bordure d'un cours d'eau

Un autre forage a été observé à proximité d'une mare artificielle créée par la population pour la confection de brique en terre. Le premier constat que nous avons fait est relatif à l'abandon du forage au détriment de la retenue d'eau en période d'hivernage. Pour les usagers, cette retenue évite des efforts physiques et une perte de temps. Cependant une petite enquête sanitaire a révélé que cette période d'hivernage se caractérise par l'apparition de maladies diarrhéiques observées chez les enfants. Les conditions d'implantation de forages mal exécutées et le choix de sites inappropriés peuvent occasionner des problèmes de santé publique.

Les forages sont parfois exécutés dans les bas-fonds les rendant ainsi impraticable pendant la période pluvieuse.

Aussi les forages existants que nous avons rencontrés sont dans un état de dégradation avancé.



*Photo 3: forage exécuté en bordure d'une mare artificielle, prélèvement d'eau de boisson*

Nous avons par ailleurs suivi des entreprises de forage dont nous voudrions bien présenter les activités.

#### **4.1.4 Contrôle de forage**

Le contrôle à pied d'œuvre est le seul moyen fiable de vérifier que le forage a été réalisé selon les règles de l'art. C'est une étape qui requiert une grande disponibilité et la nécessité d'être toujours en état de veille. En effet, la première mesure de prudence est de ne pas rater la première venue d'eau qui est nécessaire pour le captage. Le personnel des entreprises est pour la plupart composé des personnes qui n'ont pas reçu de formation dans les techniques de foration. On note également l'absence de la gente féminine. L'équipe est composée de six (6) personnes. Ces personnes cumulent les fonctions (chauffeur-manœuvre, mécanicien-manœuvre, pointeur-manœuvre etc). Une personne se charge de prélever des échantillons représentatifs des cuttings. Celui-ci se charge de proposer la coupe technique du forage à la fin de la foration au contrôleur. Le sondeur joue le rôle de chef d'équipe et de mission.

## **CONCLUSION GENERALE**

Notre travail nous a conduit aux résultats suivants :

Le type U est le type d'anomalie le plus rencontré dans la province. La largeur de l'anomalie est un facteur très important car celui-ci décroît avec l'augmentation du débit.

La forme de la courbe de sondage la plus répandue est également celle en forme de bateau. Elle est également la plus productive avec le plus gros débit  $36 \text{ m}^3/\text{h}$

L'exploitation des données d'hydraulique villageoise (débit, profondeur, épaisseur d'altérites), a permis de constater que les forages sont généralement profonds. La relation entre la productivité et l'épaisseur d'altérites d'une part, et entre celle-ci et la profondeur totale d'autre part, a montré que les épaisseurs d'altérites les plus productives se situent entre 10 et 15 m avec un débit moyen de  $4,99 \text{ m}^3/\text{h}$ . La profondeur optimale est comprise entre 40 et 80 m.

La zone d'étude se caractérise par la présence d'aquifère de fissures.

On note une mauvaise corrélation entre les paramètres géoélectriques et les données de foration.

## **REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**ASTIER J. L. (1971).** Géophysique appliquée à l'hydrogéologie, édition Masson et Cie, 277 p.

**BRION M. (1976).** L'étude du phénomène de l'anisotropie électrique appliquée au milieu carbonaté fracturé. Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 125 p.

**CIEH (1987).** Recherche sur la fracturation profonde en zone de socle cristallin à partir de forages à gros débit et de linéaments Landsat à l'aide de méthodes géophysiques avancées Bulletin de liaison, pp 45-50.

**DIBI B., INZA D., GOULA B. T. A., SAVANE I., BIEMI J. (2004).** Analyse statistique des paramètres influençant la productivité des forages en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboisso (Sud-Est de la région de Côte d'Ivoire), revue Sud Sciences et Technologies, n°13, pp 22-31.

**DIENG B. (2004).** Optimisation de l'implantation géophysique des forages en zone de socle du nord du Burkina Faso, revue Sud Sciences et Technologies, n° 12, pp 21-30.

**GUIRAUD R. (1976).** Sur la présence des nappes de fissures dans le socle précambrien de l'Afrique intertropicale, 4<sup>e</sup> RAST, 217 p.

**KOUSSOUBE Y., NKOLEMDOUSSE S., BAZIE P., SAVADOGO A. N. (2003).** Typologie des courbes de sondages électriques verticaux pour la reconnaissance des formations superficielles et leur incidence en hydrogéologie de socle cristallin du Burkina Faso, revue Sud Sciences et Technologies, n°10, pp 26-32.

**MEYER C. (1991).** Applications de la géophysique aux recherches d'eau, Techniques et Documentation, 183 p.

**NAKOLEMDOUSE S. (1991).** Productivité des aquifères de socle cristallin du Burkina Faso. Télédétection, géologie, géophysique. Thèse de l'Université Joseph Fournier Grenoble. 200 p.

**ROCARD Y. (1981).** Les sourciers: que sais-je.presse universitaire de la France, 127 p.

**SAVADOGO A. N. (1984).** Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta: Etude régional du bassin versant de Sissili. Thèse de Doctorat ès-sciences. Université scientifique et médicale de Grenoble. 340 p.

**THIERRIN J. (1990).** Contribution à l'étude des eaux souterraines de la région de Fribourg, Suisse. Thèse de Doctorat de l'Université de Neuchâtel, 305 p.

**TRINQUARD R. (1971).** Notice d'explication de la carte géologique au 1/200000 Tenkodogo. Edition du Bureau de Recherches Géologiques et minier, 37 p.

## ANNEXES

**Tableau I : Répartition des travaux**

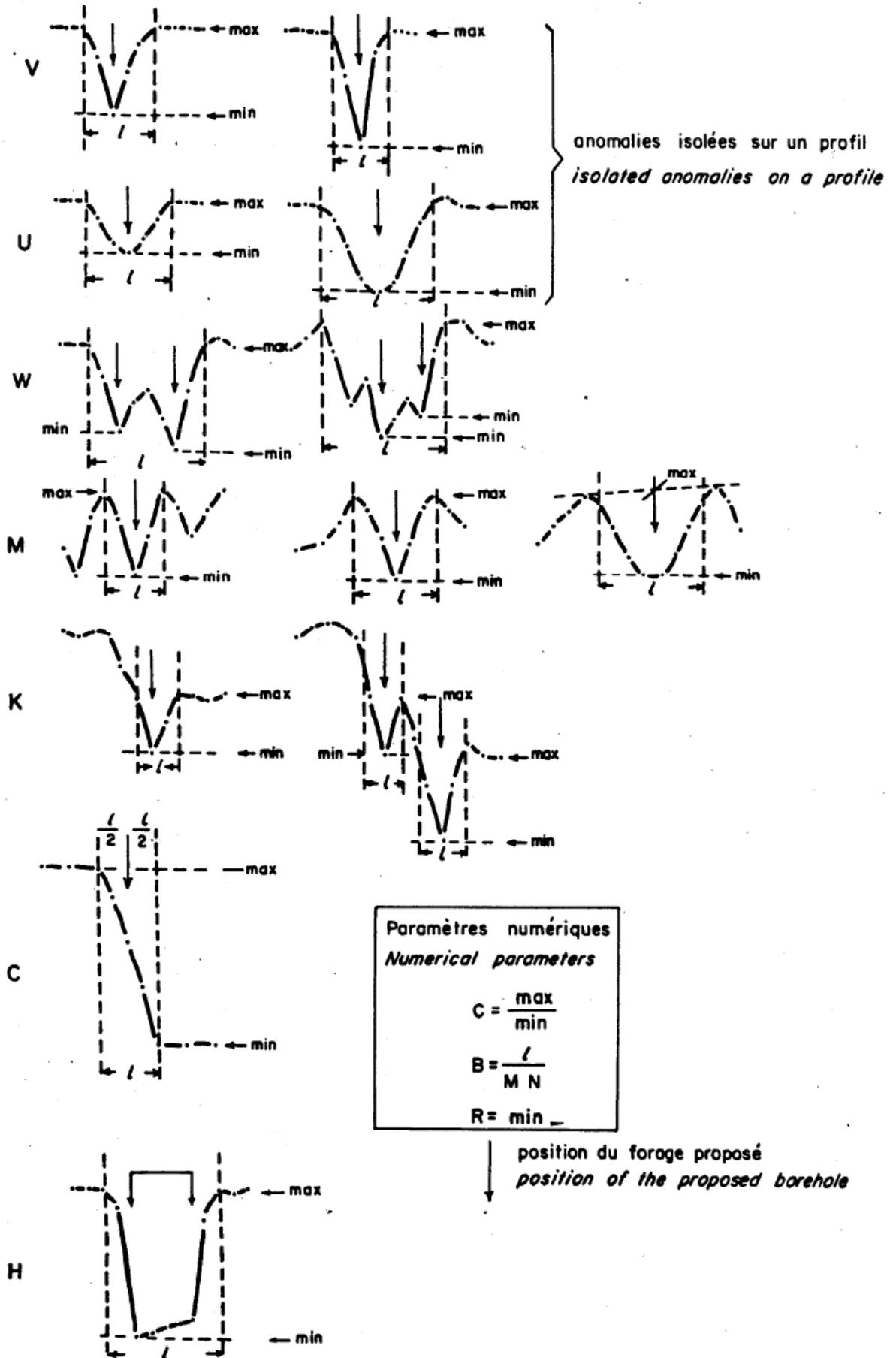
<b>Province</b>	<b>Départements</b>	<b>Nombre total de sites</b>	<b>Nombre de quartiers</b>	<b>Nombre d'écoles</b>	<b>Nombre de CSPS</b>
BOULGOU	BAGRE	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
BOULGOU	BANE	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
BOULGOU	BEGUEDO	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
BOULGOU	BISSIGA	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
BOULGOU	BITTOU	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
BOULGOU	BOUSSOUMA	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
BOULGOU	GARANGO	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>0</b>
BOULGOU	NIAOGHO	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
BOULGOU	TENKODOGO	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
BOULGOU	ZABRE	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>1</b>

Erreur ! Liaison incorrecte.

CLASSIFICATION DES ANOMALIES DE RESISTIVITE  
EN FONCTION DE LEURS FORMES

Fig. 5

CLASSIFICATION OF THE RESISTIVITY ANOMALIES ACCORDING TO THEIR SHAPES



## PHOTOS



Photo : Consommation d'eau de la mare par la population entraînant ainsi les maladies diarrhéiques



Photo : Un affleurement rocheux de granites pegmatitiques présentant la direction principale de filons de quartz.



Un alignement de ficus, de tamarinier