Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

Cartographie des structures linéaires par photo-interprétation et analyse d'images satellitaires dans la région du Boulkiemdé

Mémoire pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : **HYDROGEOLOGIE**

Présenté et soutenu publiquement le 23/06/ 2012 par :

GALBANE Bonfola Zaliatou

Travaux dirigés par :

Sewa DASILVEIRA
Enseignant au 2ie (UTER GVEA)

Mahamadou KOITA
Enseignant au 2ie (UTER GVEA)

Jury d'évaluation du stage :

Président :

Membres et correcteurs :

Promotion 2011/2012

DEDICACES

Je dédis ce mémoire

A ma grande mère « NAN » toi qui m'a fait confiance dès le début de mon histoire avec 2ie et qui m'a soutenu jusqu'au jour de ton dernier souffle avec toujours un sourire plein d'amour m'incitant à me battre tout en me promettant la réussite, en ce jour laisse moi te dire enfin mamie j'ai tenu bon j'y suis arrivée ! J'espère que de là haut tu es fière de moi. Que ton âme repose en paix.

A toi papa, qui à toujours été là pour me soutenir et m'encourager quand l'horizon paraissait si sombre.

A toi maman, femme forte et courageuse tu as été la première personne à croire en moi ; avec toi je me suis senti plus forte que jamais avec toi je me suis senti courageuse pour affronter la vie avec toi j'ai eu espoir à cette histoire je te dis merci pour ton courage, merci pour ta confiance, merci pour ton soutien, merci d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

A mon bien aimé et ma fille Mirabelle ce mémoire est le préambule de ce que je voudrais vous offrir. Dans toute mon histoire avec 2ie, vous figurez dans mes plus belles pages.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à ce que ce mémoire voit le jour

A monsieur K. Sewa DA SILVEIRA pour m'avoir soutenu et accepter de m'encadrer.

Je remercie le couple DARGA pour leurs précieux conseils et leurs encouragements.

Je remercie monsieur Mahamadou KOITA pour ses précieux conseils et son encadrement

Merci à ma tante Bibata pour ses conseils et ses encouragements.

Je remercie mes frères Aly et Taro pour leurs soutient et encouragements.

A monsieur Alphonse GALBANE à la DGRE pour son assistance.

A monsieur Christophe KY à ANTEA pour son assistance.

A Ines et Alex pour la joie qu'ils m'ont apporté tout au long de ce mémoire.

A Priva KABRE et Vitrice NTSIEDEWO pour leurs soutient dans l'élaboration de ce mémoire.

A toi Aida BAGUE malgré la distance qui nous sépare, merci pour ton soutient et tes conseils.

A mes sœurs chéries Fatou , Francine et Nathalie merci pour cette belle amitié.

Vous avez tous été formidables !!!!

Résumé

La présente étude porte sur le Boulkiemdé une région située au centre ouest du Burkina Faso qui est constituée à 80% de formation cristallines et cristallophyllienne où la fracturation est bien développée. Elle a pour objectifs principaux de cartographier les réseaux de fractures à l'aide des images satellitaires Landsat, des photographies aériennes et de caractériser les données de forages à partir de méthodes statistiques. L'ensemble des techniques utilisées a abouti au rehaussement des éléments structuraux et linéaires contenus dans les images brutes, permettant une meilleure cartographie des accidents géologiques. La carte obtenue après les traitements ressort une forte densité de linéaments de tailles très variables avec pour directions majeurs le N10° ; N150°-160°etN160°-170° La validation de ces différentes structures linéaires a été faite sur le terrain par la géophysique. L'analyse statistique des paramètres pouvant influencer la productivité à montré qu'il ya une relation entre le débit et l'épaisseur d'altération puis entre le débit et la profondeur ensuite entre le débit et le niveau statique. L'analyse statistique à montré que la corrélation qui existe entre les différents paramètres citées plus haut est très faible.

Mots clés : télédétection ; fractures ; Boulkiemdé ; photographies aériennes ; géophysique

Abstract: This study takes place on Boulkiemde a region in central western part of Burkina Faso, which is composed of 80% crystalline and cristallophyllienne structures where fracture is well developed. Its main goals are to make a map of fractures' network using Landsat satellite images, air-photography and to characterize the drillings data from statistical methods. All the methods used resulted in enhancement of structural and linear elements which are in the raw images, allowing to a better mapping of geological structures. The lineament map obtained after the treatments is very dense and is made of lineaments of various sizes whose principal direction are N10°; N150°-160°etN160°-170°. The validation of these different linear structures was based on the geophysical method data base available in the region. The statistical analysis showed that there is a little correlation between factors such as the flow rate, the static level, the depth and thickness of change.

Keys words: teledectetion; fracturing; Boulkiemde; air-photography; géophysical

LISTE DES AVBREVIATIONS

ACP : Analyse en Composante Principal

ACPN : Analyse en Composante Principal Normée

CRREA: Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles

DGRE : Direction Générale des Ressources en Eau

DMN : Direction de la Météorologie National

Landsat: Land Satellite

TM: Thematic Mapper

SOMMAIRE

I. OBJECTIFS DE L'ETUDE 11

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 11

A. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE 11

B. CONTEXTE CLIMATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE 12

1. Climat 12

2. La pluviométrie 13

3. La température 13

4. L'évapotranspiration 14

5. La végétation 14

C. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE 15

1. Géologie du Burkina Faso 15

2. Géologie du Boulkiemdé 16

3. Hydrologie du Boulkiemdé 17

D. AQUIFERES FRACTURES ET PROFILS D'ALTERATION EN ZONE DE SOCLE 18

1. Le réservoir supérieur d'altérites 19

2. Les réservoirs inférieurs de fissures et de fractures 19

III. MATERIELS ET METHODES 19

A. MATERIELS 19

B. METHODES 20

1. TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES 20

2. LA GEOPHYSIQUE PAR LA METHODE ELECTRIQUE EN ZONE DE SOCLE 23

3. ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES DE PRODUCTIVITES..... 24

IV. RESULTATS 25

A. TRAITEMENT DES IMAGES 25

1. L'Analyse en Composante Principale (ACP) 25

2. Compositions colorées 25

3. Les filtres directionnels de type Sobel 26

4. Extraction du réseau de linéaments 27

5. Distribution des orientations des fractures relevées sur images satellitaires et les photos aériennes 28

B. VALIDATION DE LA CARTE DE LINEAMENTS AVEC LA GEOPHYSIQUE PAR LA METHODE ELECTRIQUE 29

C. ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES DE PRODUCTIVITES 35

1. Influence des différents paramètres sur la productivité 35

Relation entre débit et niveau statique 37

2. Analyse en composante principale normée 38

DISCUSSION 39

V. CONCLUSION 40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: valeurs propres pourcentages et pourcentages cumulées 38

Tableau 2: matrice de corrélation entre les variables 38

LISTE DES FIGURES

Figure 1: carte de situation de la zone d'étude 12

Figure 2: variation des débits moyens mensuels à Koudougou 13

Figure 3: Variation de l'évapotranspiration 14

Figure 4: carte géologique du Burkina Faso (extraite de casting et al) 16

Figure 5: coupe lithologique type d'un forage en zone de socle 17

Figure 6: carte hydrologique du Boulkiemdé 18

Figure 7: première composante principale ACP1 25

Figure 8: application de la composition colorée 26

Figure 9: application du filtre sobel de type 7X7 26

Figure 10: Carte de linéaments du Boulkiemdé 27

Figure 11: rosace directionnel Rosace directionnelle du champ de fracturation globale relevé sur les images de la province du Boulkiemdé. 28

Figure 12: Positionnement des profils à Kikigogo et à Nayalgay 30

Figure 13: trainé électrique du profil 1 30

Figure 14: sondage du profil 1 31

Figure 15: trainé du profil 2 31

Figure 16: sondage du profil 2 32

Figure 17: trainé du profil 1 33

Figure 18: sondage du profil 1 34

Figure 19: trainé du profil 2 34

Figure 20: sondage du profil 2 35

Figure 21: illustration des débits en fonction des épaisseurs d'altération 35

Figure 22: illustration des débits en fonction des profondeurs totale 36

Figure 23: illustration des débits moyens en fonction des classes des profondeurs totales 36

Figure 24: illustration des débits en fonction du niveau statique 37

Figure 25: illustration des débits moyens en fonction des classes des niveau statique 37

INTRODUCTION

Le Burkina Faso se situe sur le craton de l'Afrique de l'ouest ; il se repose principalement sur des roches cristallines et cristallophylliennes. Lorsque la porosité primaire de ces formations géologiques est faible, l'écoulement des fluides se fait principalement dans les fractures. Les travaux menées en Afrique de l'Ouest ont montrés que les gros débits ($>5m^3$) sont liés à des fractures d'extension kilométrique, des intersections de fractures, et à des réseaux de fractures caractérisées par une forte interconnexion. Les eaux souterraines se trouvent dans deux types de réservoirs qui sont les réservoirs sédimentaires et les réservoirs de socle, qui sont souvent superposées formant ainsi un système bicouche. Les premiers, superficiels ont une fonction essentiellement capacitive et les seconds généralement profonds ont une fonction conductrice. Plusieurs études ont été menées afin de maitriser les paramètres influençant la productivité des ouvrages dans le domaine cristallin ; pour cela il existe plusieurs techniques de détection des fractures parmi lesquels il ya les techniques de télédétection toute fois le choix d'une méthode varie selon le problème posé. C'est dans cette lancée que nous allons nous intéresser à la télédétection afin de cartographier les différentes structures faillées qui se trouvent dans la région du Boulkiemdé.

I. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'eau ; source de vie est indispensable à toute survie sur terre **;** Le Burkina Faso est un pays qui fait beaucoup d'effort afin de desservir la population en eau potable. Cependant les activités anthropiques polluent nos eaux de surfaces ce qui rend sa qualité bactériologique et physico- chimique douteuses; vu aussi la croissance grandissante de la population l'eau potable qui est une ressource vitale n'est pas accessible à tous.

D'où la nécessité de se tourner vers la recherche des eaux souterraines profondes qui ont été filtré par les différentes couches du sol et dont le traitement sera moins péri eux et couteux pour l'état afin de satisfaire de manière urgentes les besoins en eaux de la population. L'objectif de la présente étude est de détecter les différentes failles de la zone d'étude afin de trouver les meilleurs points correspondants a des débits $>5m^3$ pour l'alimentation de la région en faisant une corrélation entre les structures faillées en zone de socle et les débits des forages existants.

De façon spécifique, il s'agira de :

- Ressortir une carte de linéaments de la zone d'étude ;
- Valider la carte de linéaments par la géophysique;
- Faire une analyse statistique entre les différents paramètres de productivité.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

A. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La province du Boukiemdé est située dans la partie centre ouest du Burkina Faso. Elle couvre une superficie de 41 323Km^2 et est limitée au Nord par les provinces du Passoré et du Kourwéogo, à l'Est par la province du Kadiogo, au Sud par la province du Sissilli et à l'Ouest par la province du Sanguié (figure 1).

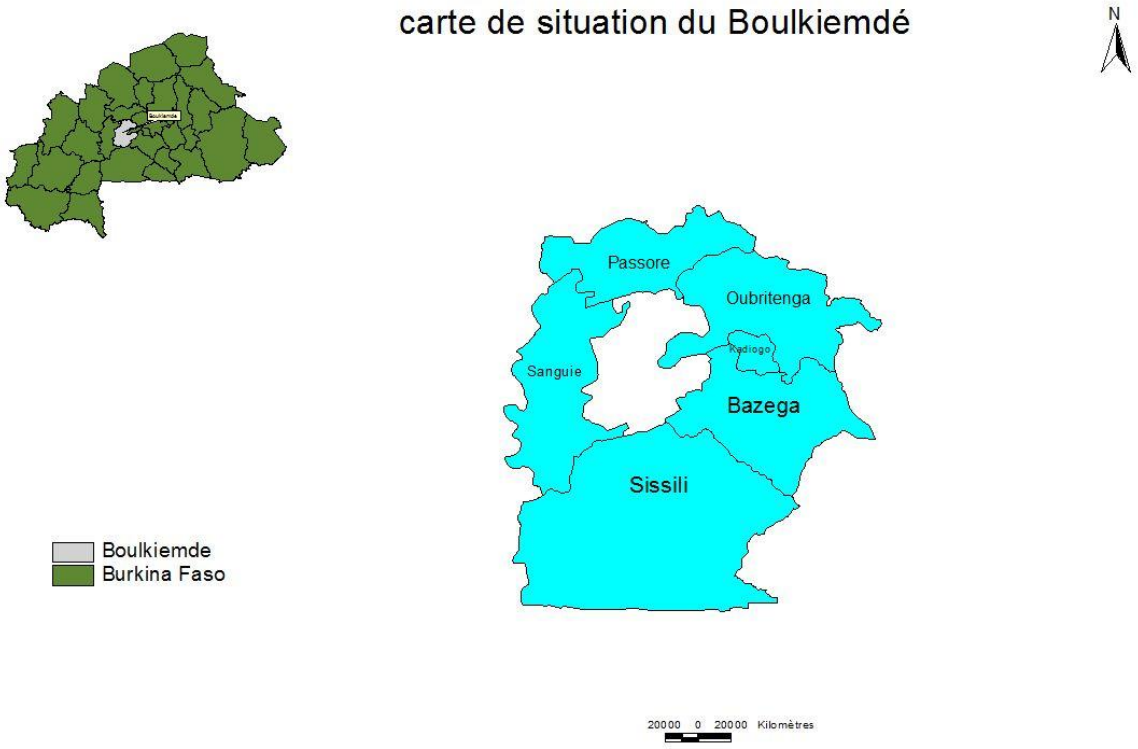


Figure 1: carte de situation de la zone d'étude

B. CONTEXTE CLIMATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

1. Climat

Le Burkina Faso situé au cœur du sahel possède un climat tropical de type soudanien ; il est caractérisé par deux saisons qui sont :

- Une saison sèche qui se défini par des vents secs d'harmattan qui s'étale sur 7mois (Novembre à Avril) ;

- Une saison pluvieuse qui se définit par les vents humides qui s'étale sur 4mois (Mai à Octobre).

On distingue trois zones climatiques qui sont :

- La zone soudanienne occupe tout le Sud du pays avec environ 6mois de pluie ;
- La zone soudano-sahélienne situé au centre occupe la moitié du pays avec 4à 5 mois de pluies ;
- La zone sahélienne au nord à environ 2 mois de pluie.

Le climat de la Région Centre est de type soudano- sahélien avec une pluviométrie annuelle variant de 600 à 900 mm du Nord au Sud.

2. La pluviométrie

La province du Boulkiemdé ne dispose pas de station synoptique néanmoins des mesures de hauteur de pluie sont régulièrement effectuées à Koudougou ; La figure ci-dessous nous montre l'évolution des précipitations dans la ville de Koudougou.

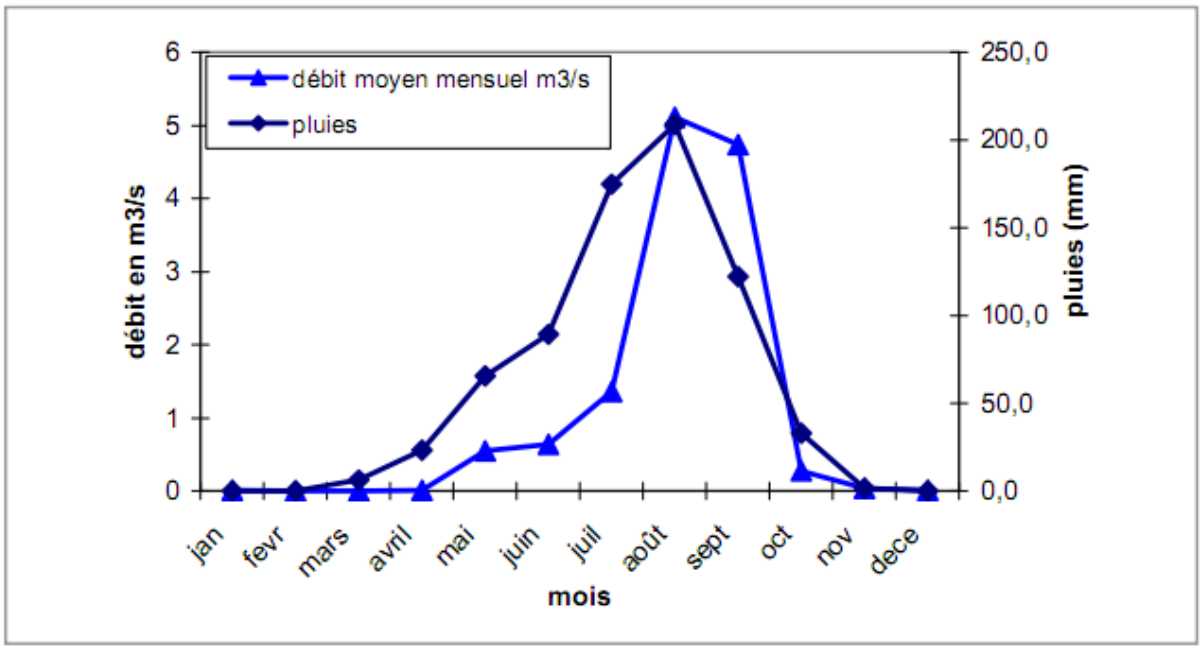


Figure 2: variation des débits moyens mensuels à Koudougou

3. La température

En saison pluvieuse, les températures moyennes sont comprises entre 26°C et 29°C ; au cours de la saison sèche, elles oscillent entre 36 et 40°C. L'amplitude thermique est de 9,12°C. Les écarts thermiques mensuels faibles permettent de dégager 4 périodes au cours de l'année :

De décembre en février, la période est relativement fraîche et sèche avec des températures minima absolues de moins de 16°C en décembre. La température moyenne est de l'ordre de 24°C.

De mars à juin ; c'est la période la plus chaude de l'année avec des températures moyennes de 30°C les maxima absolus peuvent atteindre 42°C à l'ombre.

De juillet à septembre ; cette période correspond à la seconde période fraîche où des fléchissements sont observables durant les mois d'abondantes pluies. Globalement les températures moyennes atteignent 25°C.

La seconde période chaude de l'année est observée d'octobre à novembre où on a de légères augmentations lorsque les précipitations diminuent. La moyenne thermique est de 28°C. (Source DMN)

4. L'évapotranspiration

C'est un des paramètres les plus importants dans la recharge de la nappe phréatique. En effet les effets conjugués de la température et de l'humidité relative font que l'on enregistre des prélèvements par évaporation et évapotranspiration très élevés. Ces prélèvements ont des effets néfastes sur les eaux souterraines qui sont sollicitées pour l'alimentation en eau potable de la population.

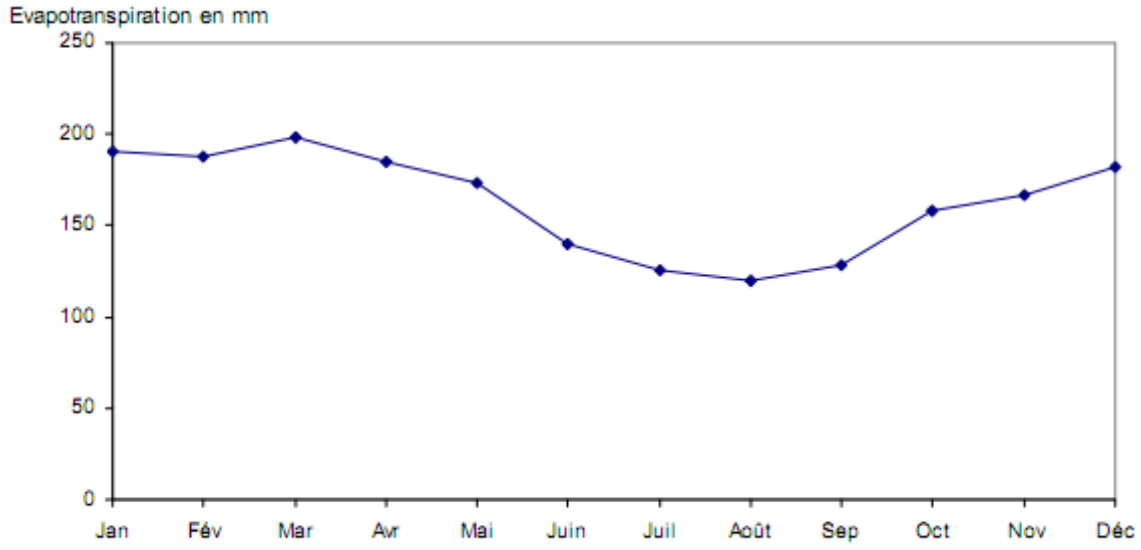


Figure 3: Variation de l'évapotranspiration

5. La végétation

La végétation évolue des steppes au nord, aux savanes soudaniennes et forêts claires au sud. Dans la partie septentrionale de la zone, on rencontre des steppes herbeuses et arbustives, une savane arbustive à arborée. Au niveau de la partie méridionale et en progressant vers les zones sud de la région, les arbres éparpillés acquièrent une densité plus importante. Dans la partie sud humide, on rencontre encore quelques étendues de formations naturelles, avec des

galeries forestières le long des cours d'eau. Les cours d'eau y sont peu nombreux, ils se limitent au Mouhoun (permanent), au Nazinon, le Nakanbé et la Sissili. (Source CRREA).

C. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

1. Géologie du Burkina Faso

La géologie du Burkina Faso à été décrite par plusieurs auteurs tels que Ducellier (1963) ; Hottin et Ouédraogo (1974) ; Sawadogo (1984). Le Burkina Faso est constitué à plus de 80% de socle cristallin et cristallophyllien et recouvert en discordance par des formations sédimentaires. Cet ensemble cristallin fait parti du bloc Baoulé Mossi dans le centre sud du craton Ouest africain. On peut distinguer globalement trois principales unités lithologiques qui sont :

- L'antébirrimien ou Précambrien D
- Le Birrimien ou Précambrien C
- Le précambrien supérieur et le tertiaire.

Les formations de l'antébirrimien ou Précambrien D

Elles sont constituées de granites et de migmatites indifférenciées ; de gneiss ; de leptynites ; d'amphibolites ; de métagabbros. Ce sont des formations plissées et métamorphisées lors de l'orogenèse libérienne (2800- 2600 Million d'année)

Les formations du Birrimien ou Précambrien C

Ces formations sont des roches volcano- sédimentaires et les roches plutoniques mises en place au cours de l'orogenèse éburnéennes ; le long de la fracturation du socle libérien suivant deux directions principales qui sont le NNE-SSW à NE-SW et WNW-ESE créant des sillons intracratonique.

Le précambrien supérieur et le tertiaire

Ce sont des formations de grès ; de calcaire et de schiste de l'infracambrien puis de sable et de grès argileux du continental terminal et du tertiaire.

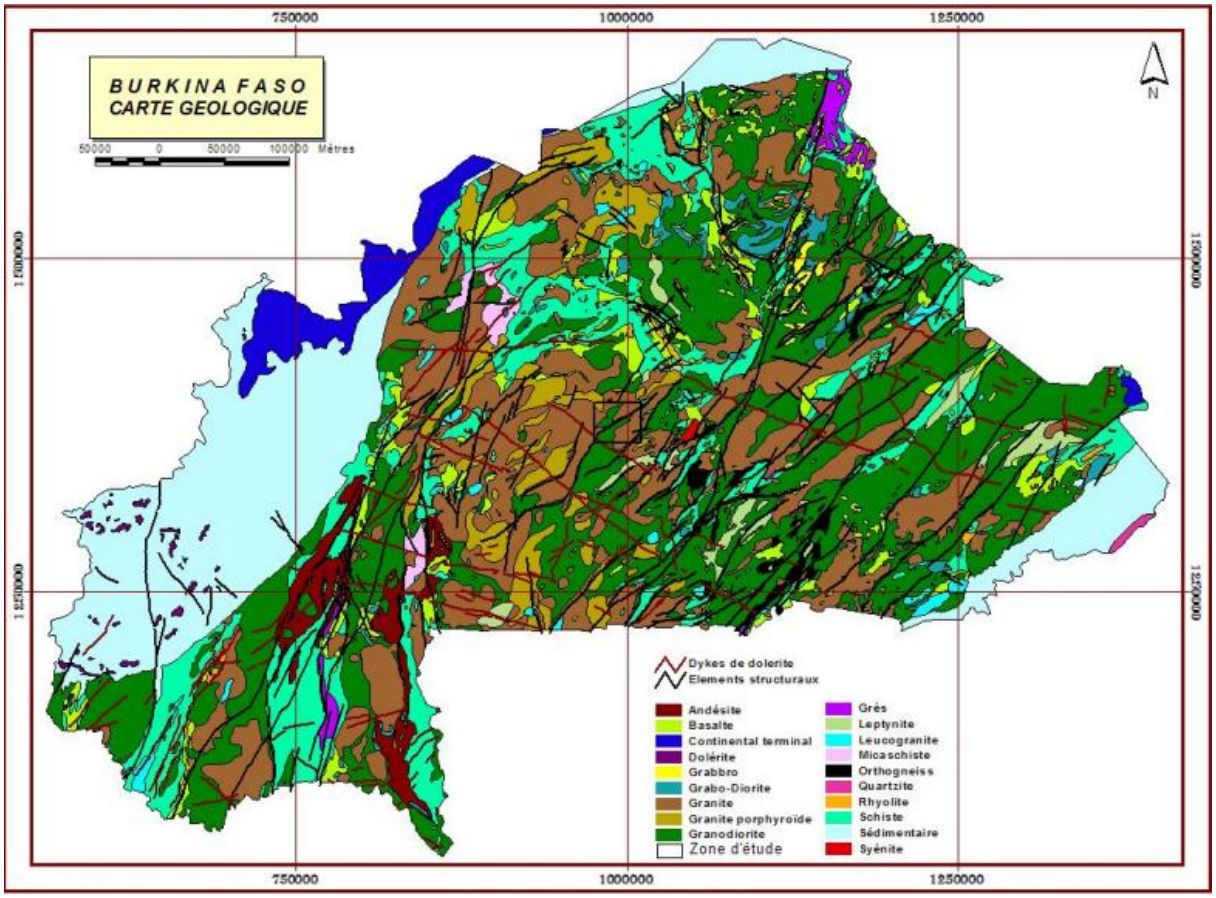


Figure 4: carte géologique du Burkina Faso (extraite de casting et al)

2. Géologie du Boulkiemdé

La région du Boulkiemdé est située sur les formations de l'antébirrimien ou précambrien D Sur ces structures géologiques s'est développé un paysage relativement plat. Mais cette platitude est par endroit rompue par des bas-fonds, des ravines peu encaissées et des reliefs résiduels. Le profil latéritique rencontré dans la zone est comme suit :

0-10 m : cuirasse latéritique et les argiles latéritiques

10-20m : altération argileuses

20-40m : apparition des minéraux de la roche mère ; arènes grenues ; la frange fissurée

40-60m : socle fracturé

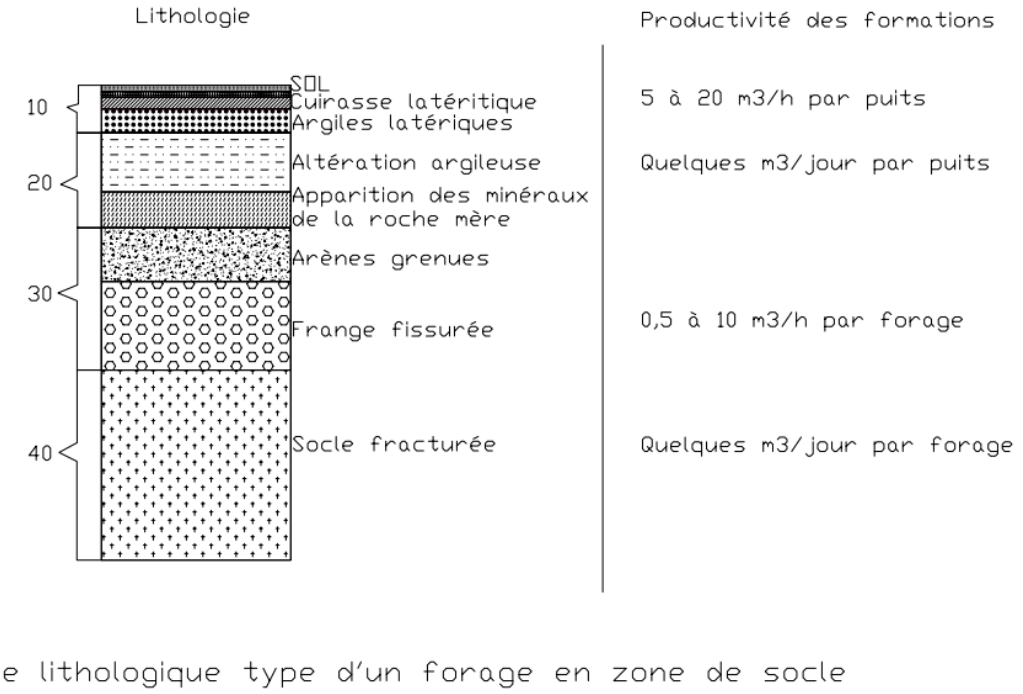


Figure 5: coupe lithologique type d'un forage en zone de socle

3. Hydrologie du Boulkiemdé

La province du Boulkiemdé est entièrement dans le bassin versant du fleuve Mouhoun.

Le Mouhoun qui constitue le cours d'eau principal de ce bassin versant, traverse le département de Dassa, longe ceux de Ténado, Pouni et Zawara et forme une frontière naturelle avec les provinces du Mouhoun et des Balés. Son débit est fortement lié aux conditions thermiques et pluviométriques. L'ensemble des cours d'eau intermittents qui constitue le réseau hydrographique peu dense de la province sont tous des affluents du Mouhoun. Ces affluents sont du Nord au Sud, le Wenar qui arrose le département de Godyr et de Didyr, le Vranso alimentant les départements de Kordié, Réo, Kyon, et Ténado. Au centre, le Marigot de Koudougou traverse Ténado et Zamo. Au sud, le Bolo arrose le département de Zawara Le régime hydrique de ces cours d'eau est calqué sur les précipitations dont les variations influent sur leur volume. Ainsi, les périodes de crue correspondent aux mois de juillet, d'août et le mois de mai en début de la période hivernale. Ces cours d'eau cessent de couler à partir du mois de janvier formant des chapelets de mares.

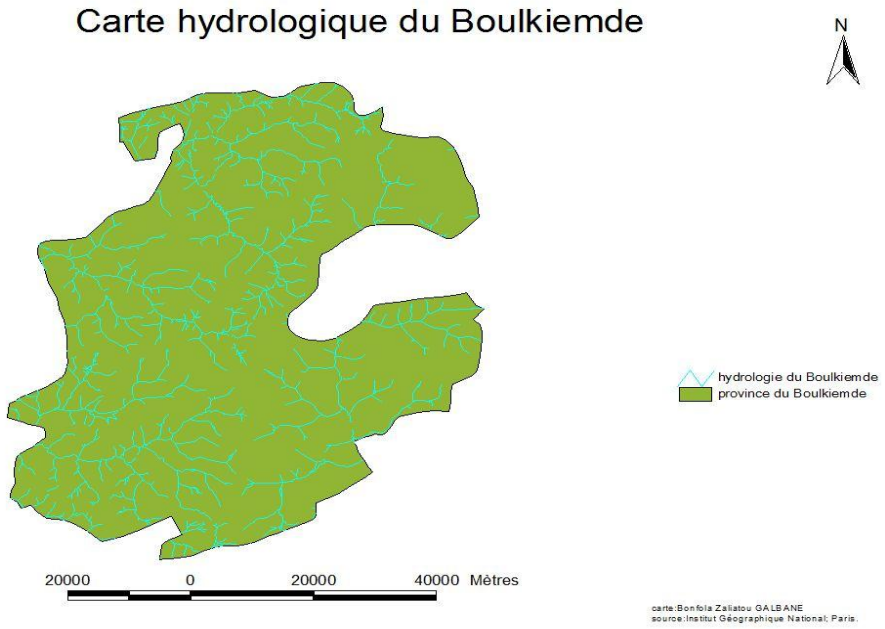


Figure 6: carte hydrologique du Boulkiemdé

D. AQUIFERES FRACTURES ET PROFILS D'ALTERATION EN ZONE DE SOCLE

La géométrie et la nature des aquifères en zone de socle dépendent du type de roches qui composent le substratum, de la tectonique et de l'altération qu'elles ont subi depuis leur mise en place.

On distingue deux grands domaines selon la nature des formations:

- Le domaine granito-gneissique, constitué de granites et granitoïdes et des formations métamorphisées de type gneiss.
- Le domaine schisteux affecté par du métamorphisme.

Le Boulkiemdé se trouvant dans le domaine granito-gneissique à un profil d'altération spécifique, qui à été étudié par de nombreux auteurs ainsi nous présentons ici le type de profil comme suit :

Le profil granito-gneissique

Le domaine granito-gneissique montre un profil d'altération, qui peut-être très détaillé de la manière suivante, de haut en bas:

1. Cuirasse à faciès nodulaire
2. Cuirasse à faciès massif
3. Carapace à faciès massif
4. Argiles tachetées à canaux
5. Litho-marge à texture conservée (zone d'altération minérale)

6. Arène sableuse
7. Socle fissuré et fracturé
8. Socle sain

On reconnait dans ce profil d'altération 2 types de réservoirs qui sont :

1. Le réservoir supérieur d'altérites

Ils sont constitués par les formations qui recouvrent ou qui se sont développées au dépens du socle cristallin (alluvions ; colluvions ; latérites ; arènes argilo-sableuse et arènes grenues) et qui recouvrent celui-ci. Leur épaisseur varie selon les régions et les zones climatiques mais elles atteignent en moyenne 10 à 20m en zone granito-gneissique et 15 à 40 m en zone schisteux (Detay et al ; 1991) ; ils sont caractérisés par une forte porosité qui leur confère de très bonnes propriétés de stockage d'eau et sont en général en liaison avec les réservoirs de fissures et de fractures qu'ils surmontent. La perméabilité de ces fractures dépend de leur orientation relative par rapport à celle du champ des contraintes tectoniques.

2. Les réservoirs inférieurs de fissures et de fractures

Ces réservoirs sont localisés dans la zone ou le socle sain est affecté par un réseau de fissures ou de fractures ouvertes à interconnexion variable.

La zone fissurée du socle se situe directement sous les altérites ; le contact entre le substratum sain et les altérites est en général très net. Il est parfois caractérisé dans sa partie supérieur par une zone de transition montrant des blocs de tailles variables qui flottent dans un résidu altéré ; les blocs sont de plus en plus volumineux vers le bas jusqu'à ce que leurs bases s'enracine (Engalenc ; 1978). L'épaisseur de la zone fissurée varie en fonction de la nature de la roche mère et de l'intensité de la fracturation ; elle peut atteindre localement 50m.

III. MATERIELS ET METHODES

A. MATERIELS

L'image du satellite landsat5 dont les scènes utilisées sont composées de 7 bandes spectrales de résolution 30m et 28.5m

Les photographies aériennes utilisées pour cette étude sont à l'échelle 1/50000 de la période d'octobre 91 du lot 91112 elles recouvrent la ville de Koudougou dans le Boulkiemdé ; le plan de vol se définit comme suit :

Ligne 7 : 6316 (longitude 2°28'W ; latitude 12°18'N) jusqu'au 6311 (longitude 12°15W ; latitude 12°18'N)

Ligne 8 : 6340 (longitude 2°28'W ; latitude 12°13'N) jusqu'au 6345(longitude 12°15'W ; latitude 12°13'N). Le taux de recouvrement de deux photos est de 40%.

Un stéréoscope ; le logiciel ENVI; le logiciel ArcView ; le logiciel XLSSAT. Les données de forages (débits ; épaisseur d'altération ; profondeur totale et le niveau statique.

B. METHODES

1. TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES

a) Télédétection

La télédétection est un moyen d'observation, d'interprétation et de gestion de l'environnement à distance. Elle permet d'acquérir des informations sans avoir aucun contact matériel avec les éléments observés. En hydrogéologie ; la télédétection permet de déterminer sur les images satellitaires et les photos aériennes des linéaments en zone de socle, lesquelles sont le siège de circulation de l'eau. Ce qui constitue une avancée technologique très importante en matière de recherche des ressources en eaux souterraines. Cependant, l'utilisation rationnelle de la télédétection reste tributaire de l'analyse au sol.

b) Techniques de traitement de l'image Landsat

Les techniques de traitement d'images est plus ou moins variable selon les objectifs fixés par l'opérateur. Elle suit un ordre dont la chronologie adoptée pour est comme suit :

- Le Mosaïquage
- L'extraction de la zone d'étude et application du masque
- Rehaussement de l'image (compositions colorées, combinaisons des bandes, analyse en composantes principales, filtrages)

- L'extraction du réseau des linéaments.

- **Le mosaiquage**

Le mosaïquage consiste à unifier deux ou plusieurs images de sorte à n'obtenir qu'une seule image ayant la taille de l'ensemble des images utilisées. Cette technique est utilisée lorsque le secteur d'étude ne tient pas dans une seule image. Pour cette étude la zone d'étude se trouve à cheval sur 2 scènes différentes qui sont la scène 195051 et la scène 195052. La première scène est une image landsat TM5 a une résolution spatiale de 28.5 m tandis que la seconde est une image landsat TM4 qui à une résolution spatiale de 30m. Il faudra alors procéder au mosaiquage avec un étalonnement du contraste afin que les 2 scènes aient le même ton et gris. Après cette étape, on procède à un ré-échantillonnage pour ramener la résolution spatiale à 28.5m.

- **L'extraction de la zone d'étude et application du masque**

Le principe du masque c'est de faire le produit de 2 images, une image qui est la zone d'intérêt et le masque qui est une image binaire ou 0 est affectée à la partie externe de la zone d'intérêt et 1 à la partie interne.

❖ **Rehaussement de l'image**

L'objectif visé ici est d'augmenter la perception de l'image en améliorant sa qualité visuelle, afin de mettre en évidence certains éléments qui caractérisent la géologie à savoir les failles et les discontinuités.

- **L'Analyse en Composante Principale (ACP)**

L'ACP permet de regrouper toutes les informations contenues dans les canaux de l'image originale, dans un nombre relativement plus petit de canaux ou de composantes. Les 3 premières ACP contiennent généralement le maximum d'information.

- **Compositions colorées**

Il s'agit de visualiser les images en couleur en réalisant une composition colorée. Cela consiste à attribuer une couleur de base (Rouge (R), Vert (V), Bleu (B)) à trois images de sorte à obtenir une image plus perceptible.

- **Combinaison de bandes**

Les combinaisons de bandes sont des opérations arithmétiques qui consistent à faire une addition soustraction ou une division sur les différents canaux. Elle est utile car elle met en évidence les différences d'une même image se trouvant dans des bandes différentes. Selon les auteurs ;M.Koita ; H.Jourde ;D.Ruelland ;K.Koffi ; S.Pistre ; I.Savane Plusieurs linéaments ont été mis en évidence par les combinaisons additives des canaux (TM7+TM6), (TM4+TM6) et le rapport (TM6-TM7)/(TM6+TM7).

- **Application de filtres directionnels de type Sobel**

Le filtre de type Sobel ont été utilisée sur les images de l'ACP afin de mettre en évidence les structures linéaires. pour ce travail les filtres de rang 3x3, 5x5, 7x7 et 11x11 ont été appliqués aux ACP.

c) Extraction manuelle des linéaments

- **Sur les photos aériennes**

Elle consiste à placer deux photos aérienne selon le pourcentage de recouvrement, de l'immobiliser à laide de trombones puis les superposer de papier calques. A l'aide du stéréoscope on procède au traçage des linéaments. Les linéaments se repèrent par les différences de ton ; par l'alignement de structures…

- **Sur les images satellitaires**

L'extraction des linéaments sur les images satellitaires est le résultat du processus des traitements faits plus haut car après ces traitements l'image devient plus nette et les contours et limites sont mis en évidence. Avant l'extraction des linéaments nous avons procédés à une vectorisation des structures tels que le réseau routier ; les lignes de courants et le réseau hydrographique Extraction des linéaments et nous les avons superposés aux images traitées afin d'éviter de les considérer comme des linéaments. Les discontinuités et les changements brusques rencontrés sur les images sont matérialisés par des droites.

2. LA GEOPHYSIQUE PAR LA METHODE ELECTRIQUE EN ZONE DE SOCLE

La géophysique est utilisée dans la détermination des fractures en zone de socle pour confirmer les directives de l'hydrogéologue. Le choix de la méthode varie en fonction du problème posé. Dans l'article de Sambo et al ; les méthodes électriques semblent les mieux adaptées, en raison de leur légèreté, de leur coût relativement bas, de leur facilité de mise en œuvre et surtout de leur grande fiabilité. Comme toutes les méthodes géophysiques, ces techniques sont non destructrices (Besson et al., 1990). Deux types d'investigations ont été utilisés au cours des prospections géophysiques par la méthode électrique ; Il s'agit des techniques d'investigations latérales (traînés électriques) et des techniques d'investigations verticales (sondages électriques). Pour ces méthodes comme pour toutes celles recherchant des anomalies, on notera qu'il s'agit de mettre en évidence des discontinuités géologiques dans le sous-sol, potentiellement associées à des transferts d'eau. Ces méthodes, à la fois quantitatives et qualitatives se basent sur la mesure de résistivité électrique par l'injection, dans le sol, du courant électrique au moyen de deux électrodes d'émission (A et B), puis de la mesure de la différence de potentiel crée par le passage du courant, au moyen de deux autres électrodes de réception (M et N). La valeur de résistivité mesurée correspond à une valeur apparente ρa, définit comme la résistivité d'un sol homogène et isotrope. Elle est la résultante de tous les terrains traversés par les lignes de courant. En générale les résistivités mesurées diminuent quand la teneur en eaux et le degré de saturation augmentent. Le rapport teneur en eau et résistivité électrique constitue un atout majeur pour les méthodes de résistivités électriques dans la recherche d'aquifères d'eaux souterraines. (Sambo et al).

a) Etude Par Traînés Électriques

Le traîné électrique est conçu pour porter l'investigation sur une épaisseur plus ou moins constante de terrain et fournit des informations qualitatives sur les variations latérales des propriétés électriques du sous-sol. Il met en évidence des contrastes de résistivités latérales (zones faillées, contact lithologique et d'autres accidents tectoniques) des faciès. Les mesures consistent à déplacer un quadripôle AMNB de dimension fixe ; le long de profils orientés perpendiculairement aux structures recherchées afin de confirmer les anomalies géologiques recoupées. Le pas de mesure entre deux stations a été de 5 m. Les trainés électriques tiennent, également compte de l'orientation présumée, des discontinuités géologiques, identifiable à la surface du sol par des alignements d'arbres dits indicateurs, de termitières etc.

a) Etude Par Sondage Électrique

Le sondage électrique est une technique d'investigation verticale, qui permet d'explorer successivement les couches de terrain traversées afin de déterminer l'épaisseur de celles-ci. Il peut également renseigner sur les zones de faibles ou de fortes profondeurs d'altération. La valeur de la résistivité caractérise une formation sans pour autant donner des renseignements quant à la teneur en eau ou à la minéralisation de l'eau de la formation. Elle permettra cependant de comparer deux formations et de les localiser les unes par rapport aux autres. Ainsi pour un horizon géologique donné, les terrains saturés en eau d'une part et ceux non saturés d'autre part représenteront deux terrains électriquement distincts (BRGM, 2007).

3. ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES DE PRODUCTIVITES

L'analyse statistique des paramètres de productivité a été faite sur les données de forages existants dans la région. Pour cela deux types d'analyses ont été réalisés:

La première a consisté à déterminer l'influence des différents paramètres pris par classes en fonction du débit moyen des forages existants dans la région. Elle analyse successivement la variation de la profondeur, du niveau statique et de l'épaisseur d'altération en fonction du débit moyen.

La deuxième approche est basée sur l'établissement de corrélation entre l'ensemble de ces variables à partir d'une analyse statistique normée. L'ACPN qui met en évidence les liens éventuels que présenteraient deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution.

Cette analyse permettra certainement de mieux appréhender la variation du débit en fonction des paramètres de productivité des ouvrages afin d'éclaircir les géophysiciens lors des campagnes d'hydraulique villageoise dans la région.

IV. RESULTATS

A. TRAITEMENT DES IMAGES

1. L'Analyse en Composante Principale (ACP)

L'analyse en composante principale à été réalisée sur l'image brute afin d'éviter les redondances et d'améliorer le contraste de l'image ; en effet après analyse nous constatons que les 3 premières bandes donnent respectivement des pourcentages de 98.9% ; 0.9% et 0.07% donc c'est ACP1 qui regroupe le plus d'information et c'est elle qui à été utilisée pendant la majeur partie du traçage des linéaments. Représentée ci-dessous par la figure 8

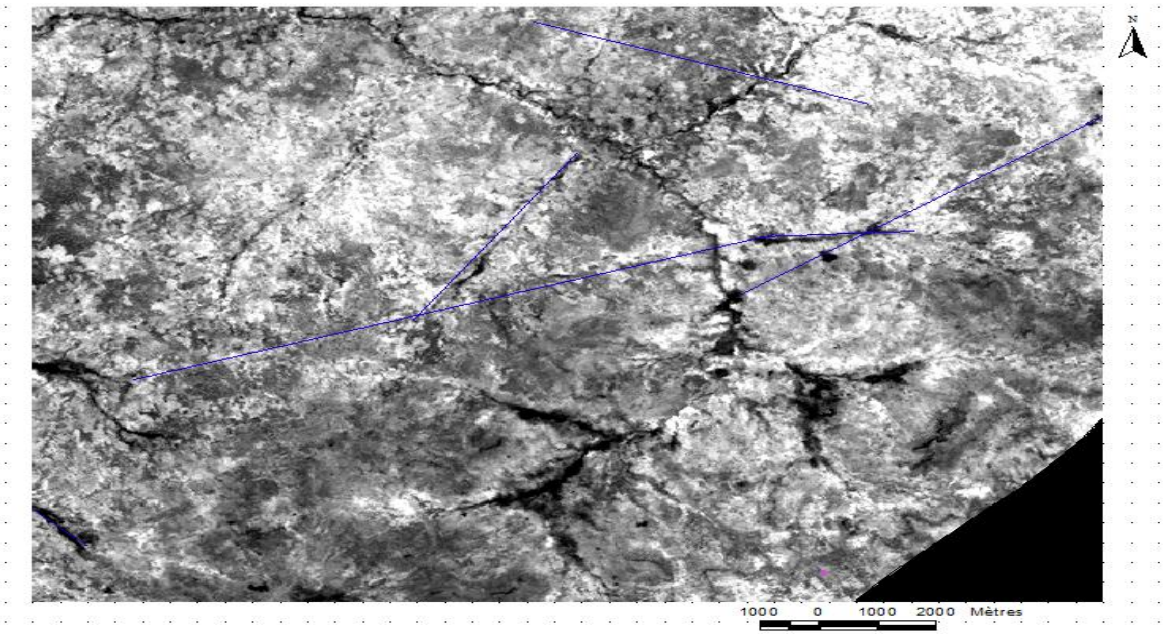


Figure 7: première composante principale ACP1

2. Compositions colorées

Elle met en évidence le contraste de l'image en montrant la couleur du sol nu des végétations et des cours d'eau. Quant à la disposition des couleurs il va d'une personne à une autre tout dépends de comment les uns et les autres perçoivent l'image.

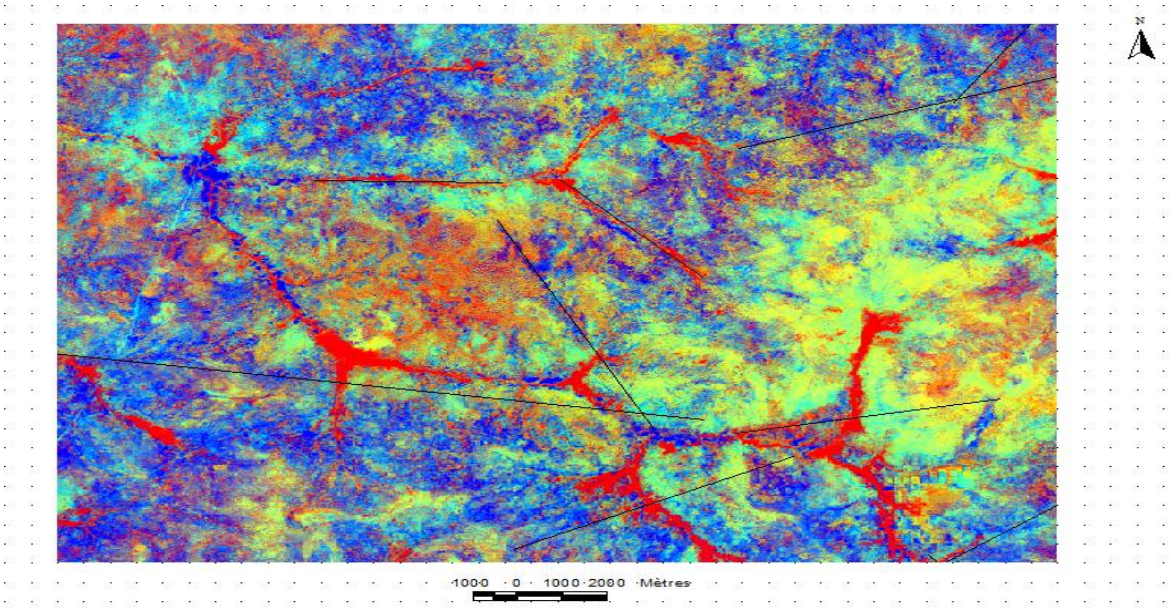


Figure 8: application de la composition colorée

3. Les filtres directionnels de type Sobel

Les filtres directionnels relèvent les discontinuités non perceptibles lors de l'utilisation des techniques évoquées plus haut. Pour cette étude le filtre de type 7X7 a été appliquée à l'ACP1 ainsi qu'à la combinaison de bande TM4+TM6. L'application du filtre sobel de type 7X7 à contribuer à l'identification quelques linéaments.

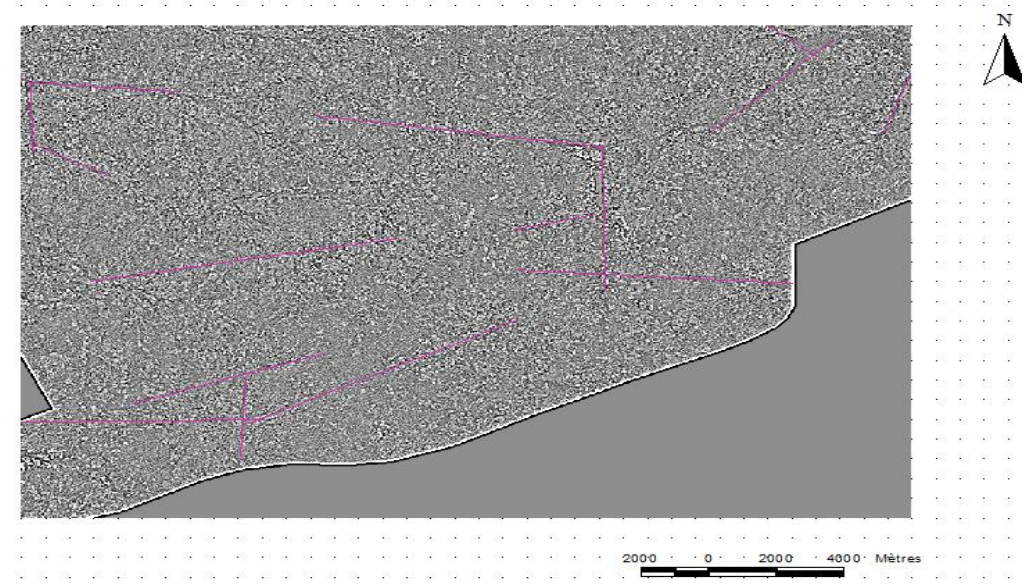


Figure 9: application du filtre sobel de type 7X7

4. Extraction du réseau de linéaments

La superposition entre les fractures relevée sur les photos aériennes et celle des images satellitaires montrent une certaine concordance entre les linéaments. Les changements brusques de tonalités et les discontinuités ont été représentés par des traits. Avant de procédé à la superposition des forages existants dans la zone d'étude que nous avons scindé en deux lots qui sont : les forages ayant des débits supérieurs à $5m^3$ et celle ayant des débits inférieurs à $5m^3$ sur la carte.

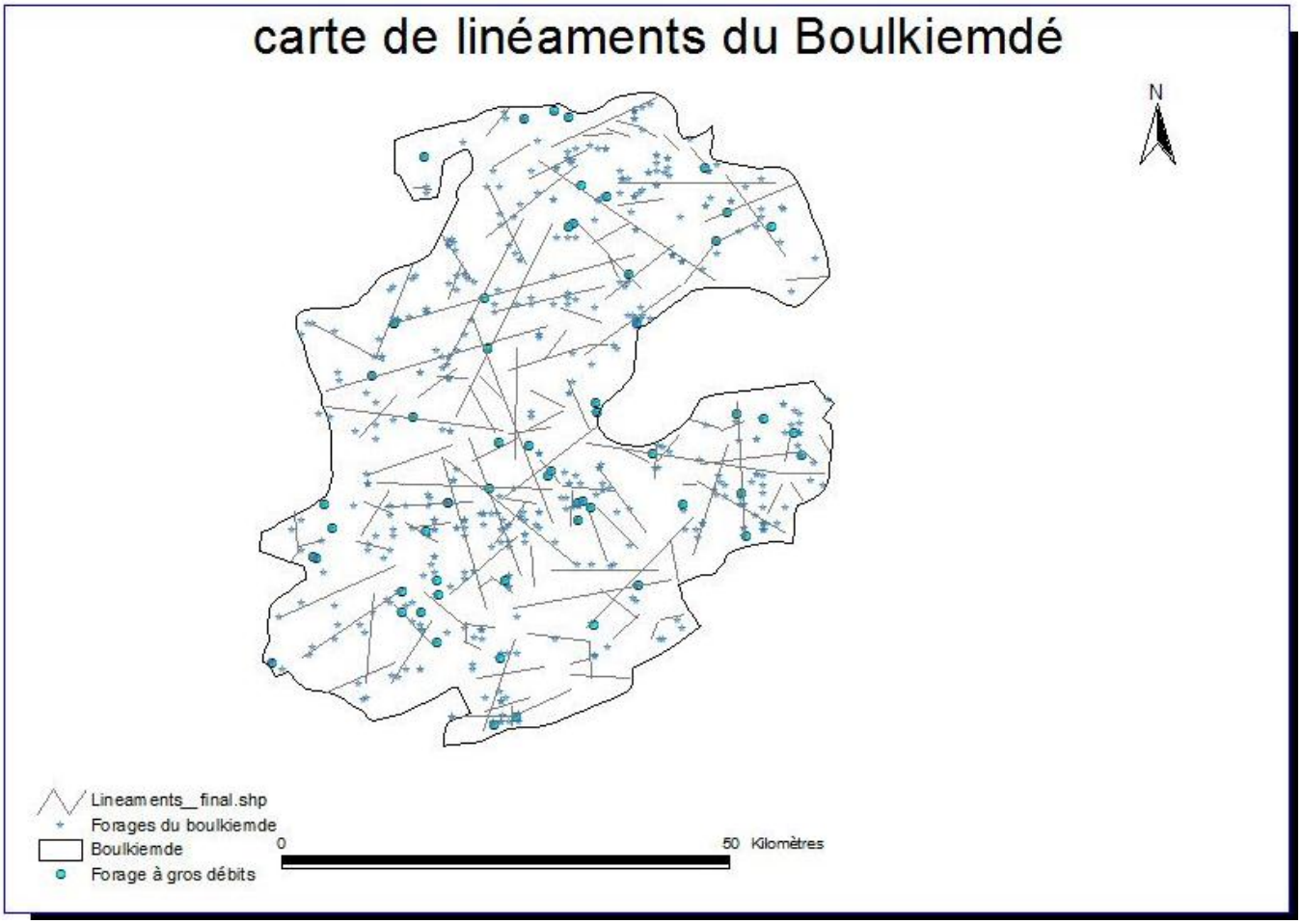


Figure 10: Carte de linéaments du Boulkiemdé

5. Distribution des orientations des fractures relevées sur images satellitaires et les photos aériennes

La figure 12 montre la densité de fracturation en rosaces directionnelles.

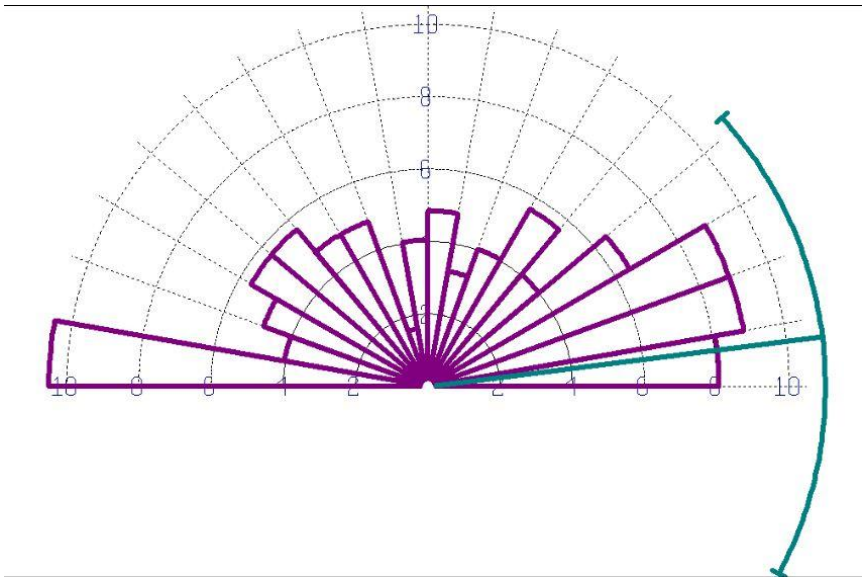


Figure 11: rosace directionnel Rosace directionnelle du champ de fracturation globale relevé sur les images de la province du Boulkiemdé.

La carte de linéaments de la zone d'étude montre que la fracturation de la province du Boulkiemdé est dense. L'exploitation des photographies aériennes et des images satellitaires montrent qu'il existe des linéaments de taille kilométrique ainsi que des intersections de linéaments pouvant générer des ouvrages à gros débits.

L'analyse directionnelle de toutes les fractures relevées montre qu'il existe trois familles principales de directions privilégiées. On distingue par ordre de fréquence et d'importance décroissante les directions suivantes :

- Une famille avec N 0°-10°
- Une famille avec N150°- 160° ; N160-170° ; N170-180°
- Une famille avec N30° - 40° ; N40°-50°

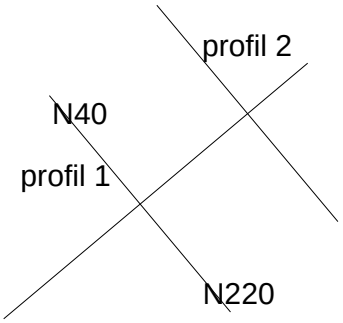
On remarque aussi quelques directions N120°-130° qui sont très peu marquées

Il est généralement conseillé de faire un contrôle par des relevés de terrain pour confirmer l'existence des linéaments.

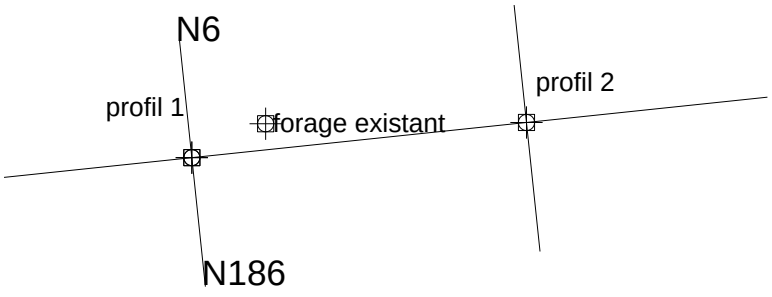
B. VALIDATION DE LA CARTE DE LINEAMENTS AVEC LA GEOPHYSIQUE PAR LA METHODE ELECTRIQUE

Des profils sur le terrain ont été réalisés afin de valider la carte de linéaments dans la province du Boulkiemdé. Ces profils ont été faites de façon perpendiculaire au linéament trouvé à partir du traitement des images satellitaires et des photos aériennes Le choix du site s'est porté sur le village de Kikigogo et celui de Nayalgay à cause de la taille de la fracturation qui les traverse. Des profils ont été également faits à proximité des forages existant dans la zone.

La figure ci-dessous représente le positionnement des profils par rapport à la fracturation pour chaque village.



posistionnement des profil à KIKIGOGO



Positionnement des profils à NAYALGAY

Figure 12: Positionnement des profils à Kikigogo et à Nayalgay

Les résistivités apparentes obtenus lors du trainé électrique a permis de mettre en évidence les contrastes de résistivités latérales (zone faillées, accidents tectoniques ou des contacts lithologique) selon une épaisseur d'investigation constante d'environ 60m.

- **Résultats des trainées et des sondages à Kikigogo**

Les trainées électriques effectuées à proximité du forage existant dans le village à montré qu'il y'a une anomalie. On note des zones de résistivités élevées de 0m à 70m ces résistivités sont hydrologiquement défavorables elles ne montrent pas encore l'anomalie ; à partir de 80 à 90m on voit la résistivité apparente chuter cette baisse est ensuite surmontée par des résistivités plus fortes à partir de 100m cela se traduit par l'existence de l'anomalie dans la partie de 80-90m. Le choix du point pour le sondage se fera à partir de la résistivité apparente la plus basse observé dans l'anomalie.

La figure ci- dessous montre l'allure du trainé et du sondage

Distance	Rho
0	192
10	214
20	165
30	153
40	160
50	172
60	170
70	147
80	78
90	86
100	101
110	152
120	166
130	188
140	190
150	214
160	226

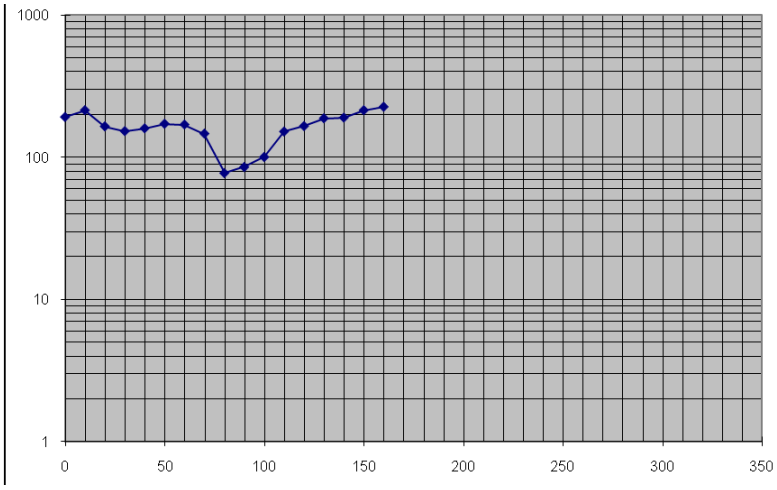


Figure 13: trainé électrique du profil 1

La courbe de sondage obtenue est du type « remontée trainante». Elle montre l'existence très intéressante de farcture en hydrogéologie, à savoir le socle fissuré entre l'horizon conducteur et le socle sain. Plus l'épaisseur du socle fissuré est grande plus elle s'exprime sur la courbe par une remontée trainante marquée. En effet lorsque l'épaisseur de la zone broyée du toit de socle devient importante, la branche de la remontée devient hésitante ou trainante. Pour Savane ce type de courbe de sondage traduit l'influence de méga fractures car elles présentent des perturbations au niveau des branches montantes.

AB/2	Rho	Rho	Rho
1,5	200		
2	175		
3	110		
4	80		
6	65		
8	64		
10	63		
15	69	65	
20	60	55	
30		60	
40		70	
60		90	104
80		110	123
100			150
300			

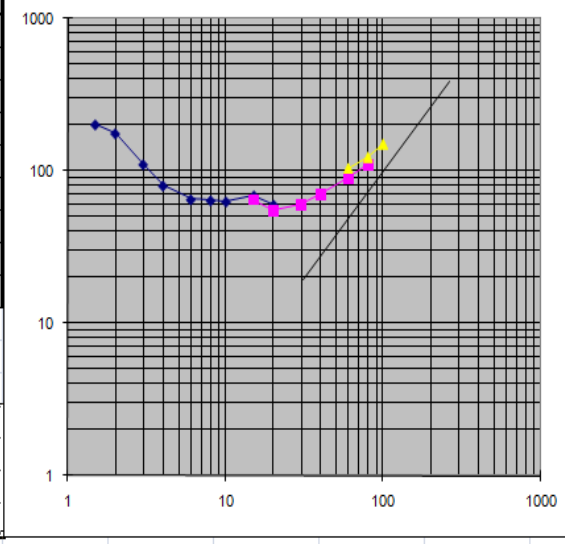
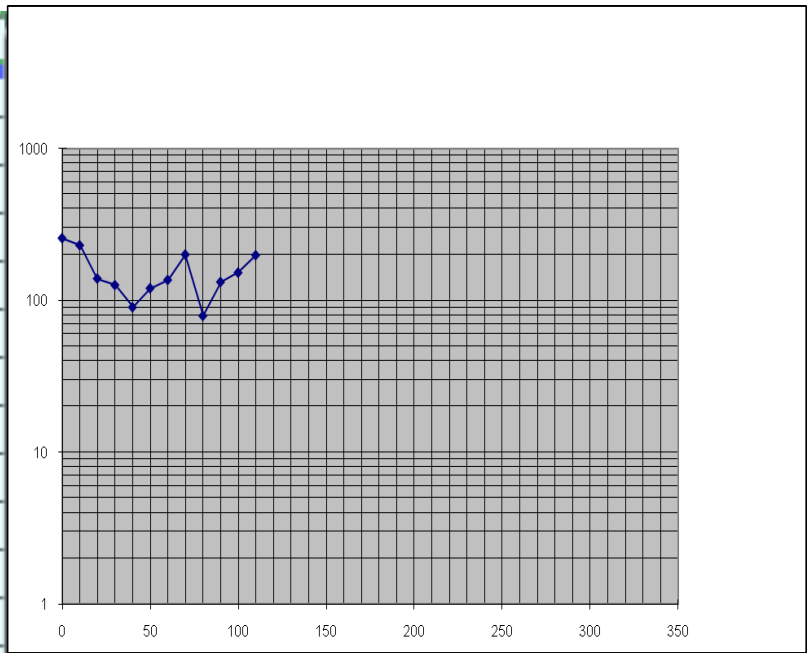


Figure 14: sondage du profil 1

Les trainées effectués sur le deuxième profil à 25m du premier profil met en évidence la taille de la fracturation elle montre des résistivités très élevées de 0 à 70m puis une chute brutale de la résistivité à partir de 80m cette même résistivité se voit augmenter aussi rapidement à partir de 90m. D'où le choix du point donnant la résistivité la plus faible pour le sondage.

Figure 15: trainé du profil 2

Distance	Rho
0	256
10	230
20	139
30	126
40	90
50	120
60	136
70	200
80	79
90	132
100	152
110	198



La courbe de sondage électrique obtenue est du meme type que la précédente elle vient confirmer l'existance de la faille dans cette zone là.

AB/2	Rho	Rho	Rho
1,5	270		
2	250		
3	170		
4	140		
6	100		
8	105		
10	100		
15	102	95	
20	100	89	
30		90	
40		110	
60		150	140
80		180	160
100			200
150			
200			

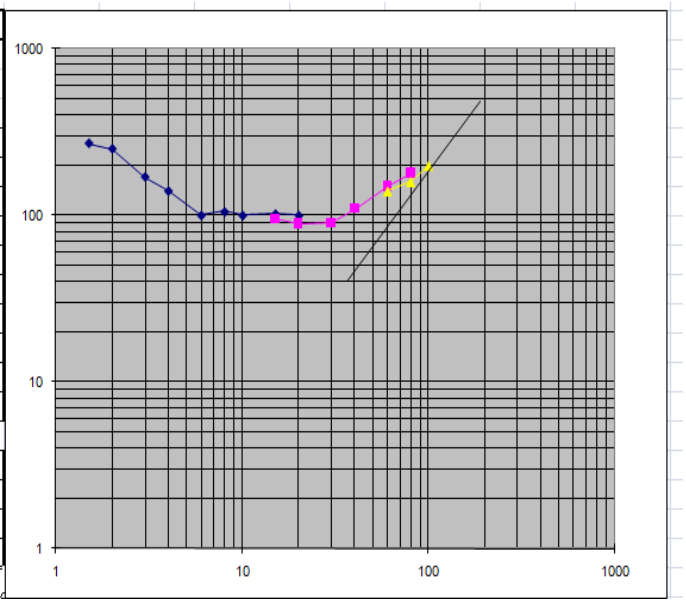


Figure 16: sondage du profil 2

- **Résultats des trainées et sondages à Nayalgay**

Les trainées électriques faits à proximité du forage à montré l'existence d'anomalie on note des zone à forte résistivité apparentes de 0-70m puis à partir de 80m cette résistivité baisse à partir de 80m puis elle remonte à 90m. Le choix du point pour le sondage s'est fait sur la résistivité la plus faible.

Distance	Rho
0	147
10	113
20	144
30	140
40	152
50	253
60	183
70	243
80	79
90	132
100	152
110	198

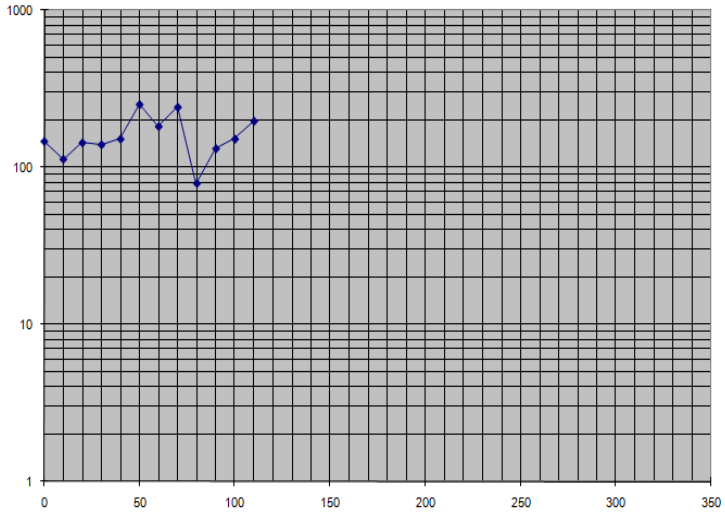


Figure 17: trainé du profil 1

La courbe de sondage obtenue est de type « fond de bateau » Elle caractérise les zones à cuirasse latéritiques. Généralement ce type de courbe ne donne aucun indicateur permettant de dégager la présence de fractures. Cependant selon Savadogo et al ces fractures sont présentes mais sont masquées par le plus souvent à la base des altérites ou confondus au socle du fait sa faible épaisseur.

AB/2	Rho	Rho	Rho
1,5			
1,5	74		
2	83		
3	117		
4	115		
6	133		
8	130		
10	105		
15	68	60	
20	55	49	
30		39	
40		36	
60		47	52
80		59	71
100			91
150			
200			

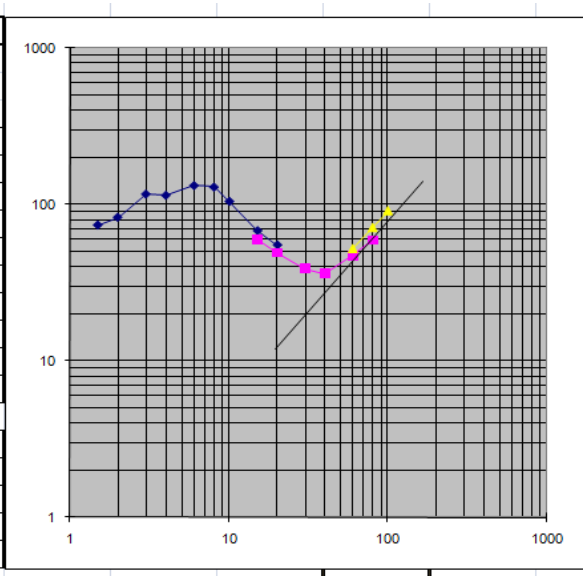


Figure 18: sondage du profil 1

Le deuxième profil effectué à 25m du premier profil montre la taille de la fracture. Cette mesure à été faite à 25m.

Les trainées électriques montrent des résistivités apparentes fortes de 0-30m puis elle baisse à partir de 40m pour augmenter légèrement de 50-60m elle augmente brusquement à 70m pour baisser à 80m à partir de 80m elle devient constante ce qui veut dire que la zone d'anomalie à été traversée.

Distance	Rho
0	147
10	113
20	144
30	140
40	152
50	253
60	183
70	243
80	79
90	132
100	152
110	198

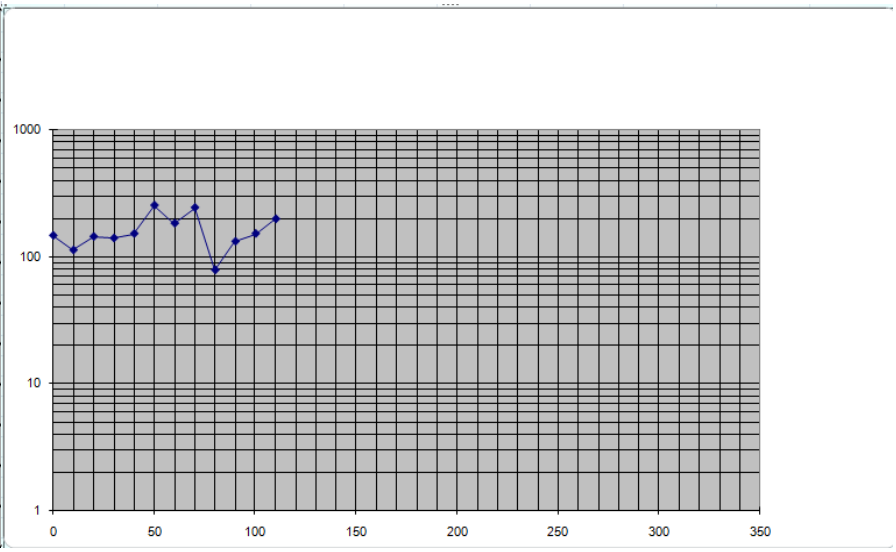


Figure 19: trainé du profil 2

La courbe de sondage du deuxième profil est du type « fond de bateau »

AB/2	Rho	Rho	Rho
1,5	1250		
2	1100		
3	778		
4	410		
6	260		
8	150		
10	109		
15	92	79	
20	59	47	
30		50	
40		56	
60		59	54
80		80	72
100			100
300			

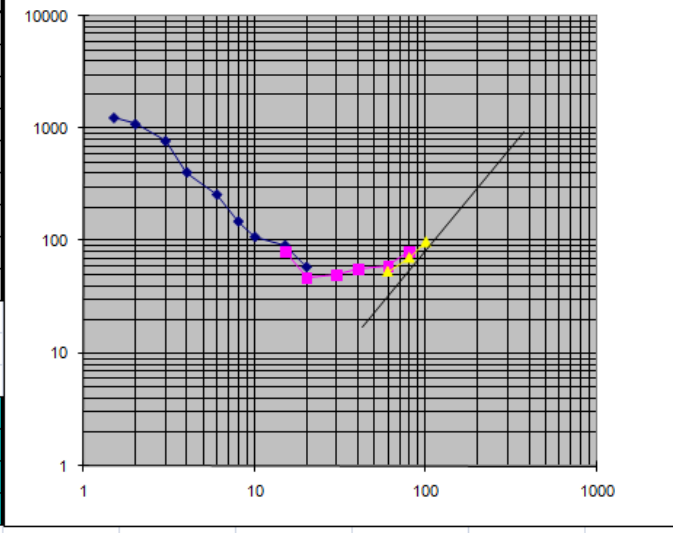


Figure 20: sondage du profil 2

C. ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES DE PRODUCTIVITES

1. Influence des différents paramètres sur la productivité

Relation entre débits et épaisseurs d'altération

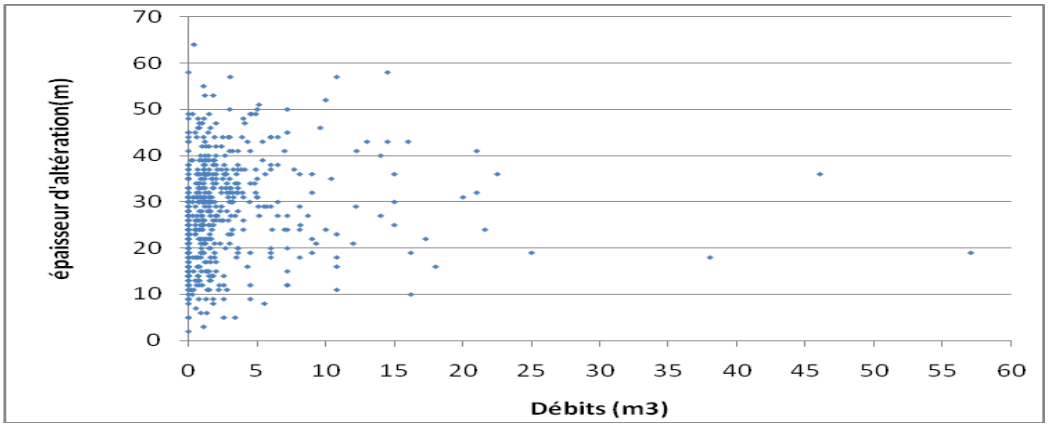


Figure 21: illustration des débits en fonction des épaisseurs d'altération

Le graphe nous montre que la plupart des forages ayant des débits supérieur ou égale à $5m^3$ se trouvent dans des épaisseurs d'altération comprises entre 20 et 50 m nous constatons que les

débits croient avec les fortes épaisseurs d'altération ; nous voyons aussi qu'il ya quelques débits compris entre 20 et 57m^3 qui se trouvent à des épaisseurs d'altération de 20m. Concernant la relation entre les épaisseurs d'altérations et les débits plusieurs travaux ont été réalisés et on conclut que dans le domaine des roches granitiques il existe une relation positive entre l'épaisseur d'altération et les débits. Pour l'hydrogéologue il y'a donc lieu de rechercher des zones à forte épaisseur d'altération dans un domaine granitique.

Relation entre débits et profondeur totale

La figure ci-dessous nous montre l'évolution des débits en fonction de la profondeur totale ;

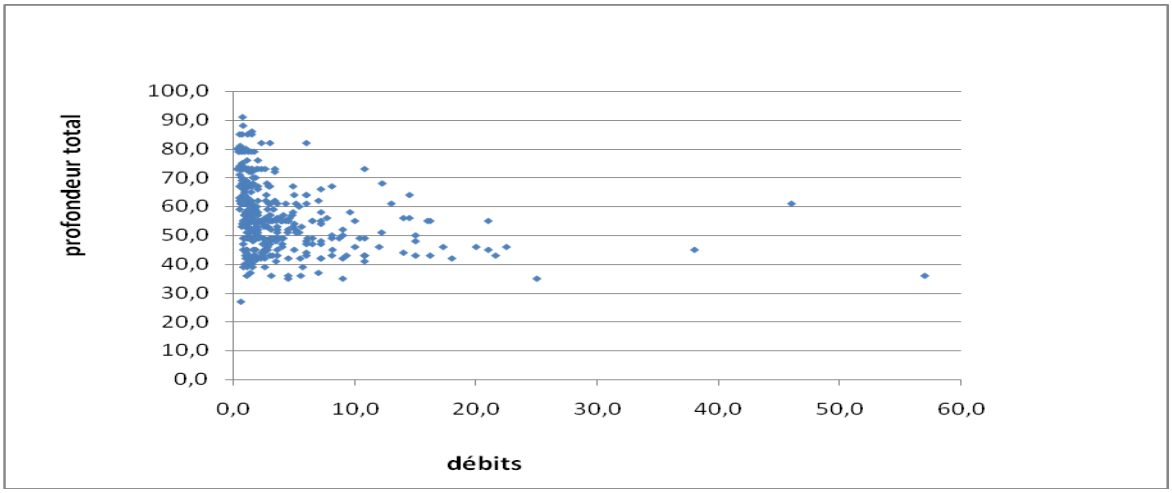


Figure 22: illustration des débits en fonction des profondeurs totale

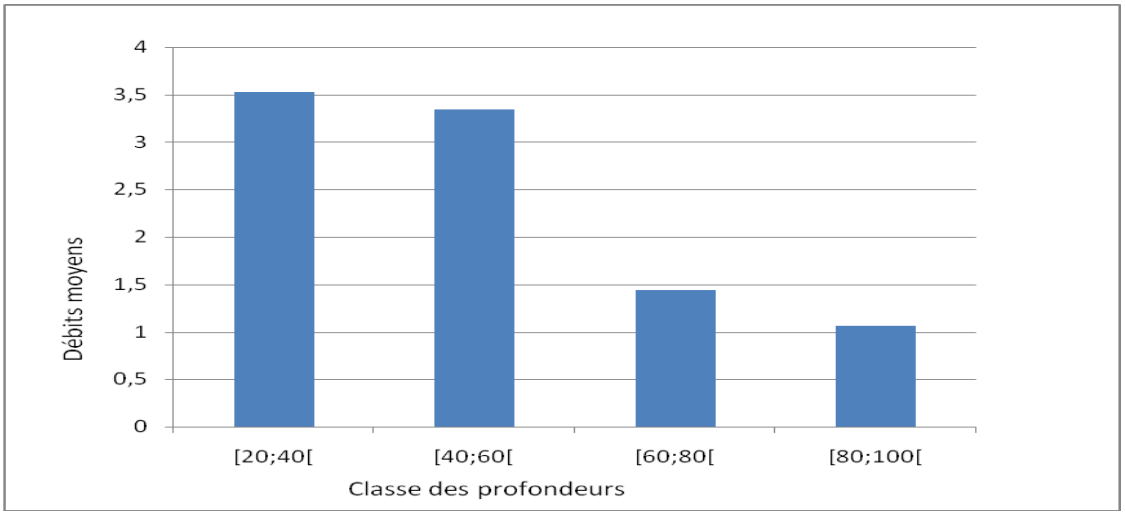


Figure 23: illustration des débits moyens en fonction des classes des profondeurs totales

Nous constatons ici que la productivité de l'ouvrage dépends de la profondeur totale car les plus forts débits sont obtenus à des profondeurs relativement faibles. Le graphe nous montre

que les débits obtenus dans les domaines granitique se trouve à des profondeurs de 20 à 40 m passé cette profondeur les débits baisse légèrement de 40 à 60 m puis on assiste à chute brutale de 60 à 100 m ce qui nous amène à conclure que plus la profondeur est grande plus on a de forte chances de trouver des débits faibles. Des études ont étés faites par beaucoups d'auteurs mais les résultats obtenus par(Brou Dibi) disent que la productivité des forages tend à baisser après une profondeur de 50 à 60m.

Relation entre débit et niveau statique

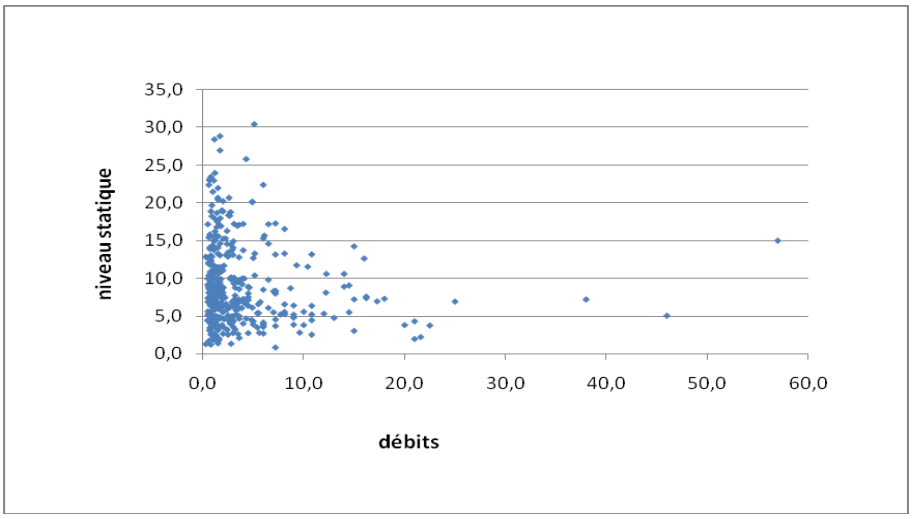


Figure 24: illustration des débits en fonction du niveau statique

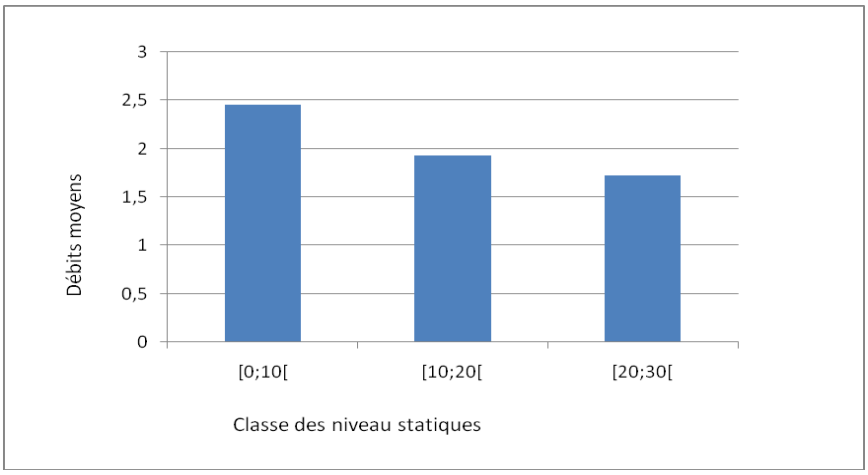


Figure 25: illustration des débits moyens en fonction des classes des niveau statique

Le niveau statique permet de nous renseigner s'il ya bien de l'eau dans la fracture ; il nous renseigne déjà sur la quantité d'eau que l'on peut obtenir dans le forage ; Ici nous voyons que nous avons une décroissance en fonctions des classes ; la première classe à des débits moyens

élevées tandis que la seconde classe et la troisième classe voient leurs débit baisser ce qui s'explique que plus le niveau statique est haut plus on aura des forages à gros débits.

2. Analyse en composante principale normée

L'analyse ACPN considère toutes les variables prises individuellement dans l'analyse précédente. Elle permet donc d'étudier simultanément les relations entre l'ensemble de ces variables et de déceler éventuellement les variables influencés par plusieurs paramètres.

Tableau 1: valeurs propres pourcentages et pourcentages cumulées

	F1	F2
Valeur propre	1,435	1,029
% variance	35,875	25,735
% cumulé	35,875	61,610

Les facteurs F1et F2 expliquent à eux seuls 61 % des variables. Ils peuvent donc permettre d'interpréter les résultats obtenus.

Matrice de corrélation des variables :

Tableau 2: matrice de corrélation entre les variables

	Débit	EA	profondeur	NS
Débit	1	0,016	**-0,273**	**-0,107**
EA		1	**0,273**	0,055
Longueur			1	**0,107**
NS				1

L'analyse de la matrice de corrélation des plans factoriels ne fait pas ressortir une relation intéressante entre les différents paramètres. Par contre par rapport aux autres coefficients de la matrice, il existerait une faible corrélation entre la profondeur totale de l'ouvrage et le débit (-0,273). Cette corrélation signifierait que plus la profondeur de l'ouvrage augmente, moins le débit attendu est important.

DISCUSSION

La mobilisation des ressources en eau en zone de socle reste l'une des difficultés majeures car la forte évapotranspiration entraine un tarissement prématuré des puits dans les réservoirs d'altérites. Les faibles débits observés pourraient être imputés au manque de connaissance des paramètres tels que la géologie, et les paramètres pouvant influencer la productivité des ouvrages de la zone lors de sa mise en œuvre. La concordance entre alignements de forages et certains linéaments cartographiés montrent que ces linéaments sont des fractures. Ce qui confirme qu'en zone de socle, seules les fractures sont les véritables couloirs d'eau souterraine. Les nœuds de fractures et les fractures de tailles kilométriques sont des zones favorables pour les gros débits.

Pour cette étude les données de terrain ont confirmé l'existence des linéaments qui étaient recherchées les résultats des résistivités apparentes faites au niveau des sondages fait apparaitre de façon claire les types de courbes rencontrés.

L'analyse statistique des paramètres pouvant influencer la productivité montrent que le débit varie en fonction de la profondeur totale ceci dit nous pouvons dire que plus on va en profondeur plus la densité de la fracturation diminue et même qu'elle peut se refermer.

Pour ce qui est du débit et de l'épaisseur d'altération nous pouvons noter qu'il croit dans le même sens car la plupart des débits supérieurs à 5m3 ont été rencontrés dans des épaisseurs d'altération comprises entre 20 et 50 m.

L'ACPN montre que la corrélation entre les différents paramètres est très faible En effet, deux variables sont corrélées lorsque leur coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 0,7. Alors que l'analyse par classe montrent qu'il ya une corrélation entre l'épaisseur d'altération et le débit puis entre la profondeur et le débit ensuite entre le niveau statique et le débit.

V. CONCLUSION

Les différentes techniques de traitement des images dans la région du Boulkiemdé ont permis d'extraire un réseau de linéaments. La superposition des forages productifs à celle du tracé des linéaments a permis l'identification des différents types de fractures susceptibles de constituer des réservoirs d'eau. La validation de ces linéaments sur le terrain à montré l'existence de ces linéaments. Ceux les plus productifs sont essentiellement les réservoirs formés par les réseaux de fractures de grandes tailles. Certain linéaments ont pu être validé par des trainées et sondages électriques sur le terrain.

L'analyse statistique des paramètres influençant la productivité des forages a permis de montrer que les paramètres tels que la profondeur totale, à une influence négative sur les débits car plus on va en profondeur plus la densité de la fracturation diminue. Le niveau statique aussi à une influence positive sur les débits car plus il est élevé plus le débit rencontré est fort. L'épaisseur d'altération à une influence positive sur les débits de par sa capacité à être perméable on voit que les forts débits ont été rencontrés à des grandes épaisseurs d'altération.

Les limites de cette étude vont à l'endroit des photos aériennes car elles ne couvraient pas toute la région du Boulkiemdé mais seulement la ville de Koudougou.

VI. Bibliographie

Buczynski, S. (2011). effects of cristalline massif tectonics on ground water origin and catchment size of a large spring area in zieleniec sudety mountain. pp. 1087-1101.

COURTOIS N. (2010). Large scale mapping of hard-rock aquifer poperties applied to Burkina Faso. pp. 269-283.

DIBI, & B. (2004). Analyse statistique des paramètres influencant la productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboiso. pp. 22-31.

DICKENS A, . (2005). *Détermination des sites potentiels à 'implantation de forage par télédétection et SIHRS: cas de Dimbokro*

DUBOIS J.,. (1999). *Identification des linéaments dans les images satellitaires par ajustement et suii de segments.*

HOAREAU J. (2009). *Utilisation d'une approche couplée hydrogéophysique pour l'étude des acquifères: application aux contexte de socle et cotier sableu.*

KOUSSOUBE Y(1996). *L'hydrogéoloie en milieu de socle cristllin du BURKINA FASO.*

KOITA M.; JOURDE H. ; RUELAND D. ; KOFFI K. ; PISTRE S. ; SAVANE I. (2010). Cartograpie desaccidents régionnaux et identification de leurs role dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. pp. 805-819.

N'GO A. Y. ; LASM T. ;KOITA M. ;SAVANE I. (2008). extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbokro. pp. 33-42.

Sander, P. (2007). lineaments in groundwater exploration a review of application and limitation.

SOMBO.P.A. (2011). Contribution de la prospection électrique à l'identification et à la caractérisation des aquifères de socle du département de Sikensi. pp. 207-219.

TA M, L. T. (s.d.).

TOE. *Apport de nouvelles techniques géophysique à la connaissance des aquifères de socle.*

YAMEOGO.S. (2008). *Ressources en eau souterraine du centre urbain de ouagadougou au Burkina Faso.*