



**LA REUSITE DES CAMPAGNES
D'IMPLANTATIONS DE FORAGE :
CAS DU BUREAU D'ETUDES SIGEM SARL
AU BENIN**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES
OPTION : EAUX SOUTERRAINES ET AEP

Présenté et soutenu publiquement le 24 juin 2014 par

Mamadou Konimba OUATTARA

Travaux dirigés par : Koffi Sewa Da SILVEIRA
Enseignant LEAH

Pamphile **ADJISSO**
Directeur Général
SIGEM Sarl

Jury d'évaluation du stage :

Président : Angelbert BIAOU

Membres et correcteurs : Sewa DA SILVIERA
Marie Justine TIROGO
Dimitri SORO

Promotion [2013/2014]

DEDICACE

Ce présent rapport est dédié à la mémoire de mon père, lui qui avait toujours voulu l'atteinte des objectifs quelques soient les difficultés. PAPA, j'aurai bien voulu que tu sois là le jour de la présentation de ce document, mais impossible. Tu as été pour moi un grand père, le grand frère, le confident que je n'aurai plus jamais .Je garderais de toi toujours ces vertus que tu t'es efforcé à m'inculquer à savoir ne jamais perdre la dignité, la loyauté, la compassion pour les plus faibles et être reconnaissant envers ses bienfaiteurs. Si ton absence auprès de moi depuis quatorze années a été douloureuse, chaque jour qui passe, je pense à tes propos d'alors auxquels je comprenais rien et à tes conseils.

Merci et à très bientôt.

RESUME

L'approvisionnement des populations en eau potable, à partir des ressources en eau souterraine est une réponse adéquate au manque d'eau en milieu rural dans les pays subsahariens.

Les structures chargées de l'implantation et la réalisation des ouvrages de captages se trouvent confronter à des difficultés dues à la méconnaissance des différentes unités géologiques rencontrées et aux manques de méthodologies adéquates. Ce qui se traduit par les taux élevés d'échec enregistré lors des campagnes d'implantations et de réalisations. Afin de remédier à la situation, il est important d'y apporter une amélioration à la conduite des travaux d'implantation de forage.

L'étude débutera par l'analyse statistique de données de forage réalisées dans la région de Borgou au nord du Bénin afin de comprendre les paramètres hydrogéologiques qui pourraient influencer la productivité d'un forage. Et l'établissement de la carte de linéament de la zone d'étude.

On achèvera par l'analyse de la procédure de préparation et d'exécution des campagnes d'implantation. Cette partie de l'étude est réalisée en deux parties, la première présente le diagnostic de la méthode d'implantation de forage par l'entreprise. La seconde partie traite des propositions dans la méthode de travail. Ces éléments serviront sur le plan technique à mieux atteindre les objectifs de dépôts, dans des délais raisonnables et de manière efficiente.

Mots clés :

- Sondage électrique
- Trainée électrique
- Télédétection passive
- milieux fissurés
- Bénin

ABSTRACT

The provision in drinking water for the urban populations, from underground water is an adequate response to the lack of waters in sub-Saharan countries.

The implantation company and the directors of drilling are confront to difficulties due to the ignorance of the geological units met and to the lacks of adequate methodologies. It results in the raised rates of failure during the campaigns of implantations and realizations. In order to remedy the situation, it is important to bring an improvement to the management skill of drilling works.

The thesis work will start by the statistical and spatial analysis of an implantation campaign data achieved in the north Benin in order to understand the hydrogeological parameters that could contribute to the productivity of the drilling and the establishment of the outline map of the survey zone.

Finally, this thesis will bring elements to the preparation and execution procedures of the implantation campaigns. This part of the work is achieved in two parts. The first part presents the diagnosis of drilling implantation method used by the enterprise. The second part treats about the propositions in the method of work. These elements will serve on the technical plan to reach the objectives in reasonable delays and efficient manner.

Keywords

- Electric poll
- Dragged electric
- Passive remote detection
- Surroundings fissured
- Benin

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT.....	iii
SOMMAIRE.....	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	vi
Liste des annexes.....	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vii
INTRODUCTION.....	1
PROBLEMATIQUE.....	3
I OBJECTIFS.....	4
I.1 Objectif global.....	4
I.2 Objectifs spécifiques.....	4
II PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	4
II.1 Situation géographique de la zone d’étude.....	4
II.2 Le contexte géologique et hydrogéologique.....	6
III. MATERIELS ET OUTILS.....	7
IV. METHODE.....	7
RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	12
IV ANALYSE STATISTIQUE DE CERTAINS PARAMETRES DE PRODUCTIVITE DE FORAGE DANS LA REGION DE BORGOU.....	12
IV.1 L’analyse de l’ensemble des 108 forages.....	12
IV.2 L’analyse des forages positifs.....	13
IV.2.1 La classification des débits en classe de débit.....	13
IV.2.2 L’analyse descriptive.....	14
IV.2.2.1 Etude de la corrélation entre le débit et la profondeur du forage.....	14
IV.2.2.2 Etude de la corrélation entre le débit et l’épaisseur d’altération.....	16
IV.3 Analyse en composante principale normée (ACPN).....	18
V ANALYSE SPATIALE DE LA PRODUCTIVITE DE 83 FORAGES POSSITIFS DE BORGOU.....	20
VI L’ETABLISSEMENT DE LA CARTE DE LINEAMENT.....	25
VI.1 L’analyse des composantes principales ACP.....	25
VI.2 La composition colorée.....	25

II.1	L'application de filtre	26
VI.4	La carte de linéament.....	26
VII	ANALYSE DE LA PROCEDURE DE PREPARATION ET D'EXECUTION DES CAMPAGNES D'IMPLANTATION.	28
VII.1	Diagnostic de la méthode de travail du bureau d'étude.	28
VII.1.1	L'état des lieux sur la méthodologie de travail	28
VII.1.2	Propositions d'éléments en vue une amélioration des résultats.	28
VII.1.2.1	L'étude documentaire.....	28
VII.1.2.2	Etude Hydrogéologique.....	29
VII.1.2.3	La Prospection Géophysique.....	31
VII.1.2.3.1	La prospection électrique.....	31
VII.1.2.3.1.1	Le profil ou trainé électrique.....	31
VII.1.2.3.1.2	Le sondage électrique	35
VII.1.2.3.2	La prospection électromagnétique.....	36
VII.1.2.4	Contrôle de forage.....	37
VII.1.2.4.1	L'analyse des cuttings de forage	38
VII.1.2.4.2	Equipements	39
VII.1.2.4.3	Le développement.....	40
	CONCLUSION GENERALE	41
	RECOMMANDATIONS.....	42
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	43
	ANNEXES	46

Liste des figures

Figure 1: La zone d'étude	6
Figure 2: Distribution de classes de débits.....	13
Figure 3 : La représentation de la profondeur en fonction du Débit.	15
Figure 4 : Classe de débit en fonction de profondeur moyen.....	16
Figure 5 : La représentation du débit en fonction de la profondeur d'altération.....	17
Figure 6 Variation de débit par classe d'épaisseurs d'altération	18
Figure 7 La carte des épaisseurs d'altérations et classe de débits.....	22
Figure 8 La carte de niveaux et des classes de débits.	22
Figure 9 Profondeur de forage et classes de débit.....	24
Figure 10 L'image après la composition colorée.....	25
Figure 11 Les linéaments identifiés après la composition colorée.....	25
Figure 12 L'image après l'application le filtre de Sobel.....	26
Figure 13 L'image des linéaments après l'application le filtre de Sobel	26
Figure 14 La carte de linéaments	27
Figure 15 La direction des linéaments	27
Figure 16 Exemple de trainée	33
Figure 17: Trainée électrique à multiple position	34
Figure 18: Mode de mise en œuvre de l'EM34-3 avec le câble de 20m.....	37

Liste des tableaux

Tableau 1: Résultat de la statistique descriptive	12
Tableau 2: Résultats de la statistique descriptive de quatre paramètre hydrogéologiques	14

Liste des annexes

Annexe 1: Procédure d'établissement de la carte de fracturation	A
Annexe 2: Les différentes formes d'anomalies	B
Annexe 3: Téléchargement d'image : étape 1.....	C
Annexe 4: Téléchargement d'image étape 2.....	D

SIGLES ET ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AEV : Adduction en Eau Villageoise

ACF : Action Contre la Faim

ACP : Analyse des Composantes Principales

BID : Banque Islamique de Développement

BSC : Bassin Sédimentaire Côtier

BRGM : Bureau de Recherche de Géologique et Minière

CEDP: Contact Entre Deux Paliers

CCE: Compartiment Conducteur Etroit

CCL : Compartiment Conducteur Large

CIEH : Comité Interafricains d'Etudes Hydrauliques

CV : Coefficient de Variation

FN : forage négatif

FP : forage positif

FPM : Forage équipé de Pompe Manuel

GRIBA: Groundwater Ressources In Basement rocks of Africa

IRD: Institute de Recherche pour le Development

M ; N: Electrodes de potentiel

OMD : Objectifs du millénaire pour le Développement

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PC: Palier Conducteur

PN-AEP : Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable

RWSN : Rural Supply NetWork

SIG : Système d'information géographique

SIGEM : Société d'Ingénierie de Géophysique des Eaux et Mines

INTRODUCTION

Face à l'augmentation rapide des populations urbaines et rurales et le désir ou l'obligation de l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), les Etats et leurs partenaires sociaux aux développements ont mis sur pied des Programmes Nationaux d'Approvisionnement en Eau Potable (PN-AEP), car l'accès à l'eau est un droit pour les populations (livre bleu du Bénin, 2007).

Les ressources disponibles sont de deux ordres, ce sont les eaux de surface et souterraines. Les eaux de surface tributaires des aléas climatiques, exposées à la pollution, le coût élevé des ouvrages (barrages) et de traitements des eaux avant consommations font que la priorité n'est pas mise sur cette alternative. La ressource souterraine, elle est caractérisée par des aquifères dont l'exploitation est susceptible de contribuer au développement économique des régions de socle. Dans les pays arides et semi-arides, ces eaux contribuent ainsi à l'émergence d'une agriculture irriguée à forte valeur ajoutée, alors que dans d'autres régions l'objectif est de produire une eau de bonne qualité sanitaire Lachassagne et Wyns, (2006). Ces eaux se trouvant dans divers unités géologiques, ce qui pose d'énormes difficultés quant à la réalisation des ouvrages de captages. Le milieu de socle caractérisé par des aquifères discontinus, lié à l'altération et à la fracturation, le taux d'échec dans cette formation peut atteindre souvent 45% selon les campagnes d'implantations (livre bleu du Bénin, 2008). Le milieu sédimentaire des formations tendres et perméables et les aquifères sont généralement continues, le taux d'échec dans cette formation est souvent de 10 à 20%.

Des recherches sont entreprises dans différentes disciplines qui pourraient apporter des informations qui contribueraient à la réduction des taux d'échec, on peut citer les travaux du Comité Interafricains d'Etudes Hydrauliques (CIEH) depuis 1975 et du Bureau de Recherche de Géologie et Minière (BRGM) en 1990 et récemment le projet Groundwater Resources In Basement rocks of Africa (GRIBA) de l'Institute de Recherche pour le Development (IRD) dans trois pays africains Bénin, Burkina Faso et l'Ouganda dont un des objectifs vise à améliorer la connaissance des aquifères de socle à travers la quantification des propriétés hydrogéologiques des différentes roches de socle grâce au développement d'une nouvelle approche qui s'appuie sur des outils complémentaires. Pour la réalisation des ouvrages les commanditaires (maître d'ouvrages : Les Etats, les

collectivités locales et les ONG) sollicitent des bureaux d'ingénieurs conseils, ses derniers sont tenues de résultats dans l'exécution des contrats définis dans les clauses techniques des dossiers d'appel d'offres. Cette présente étude vise la production d'outils qui permettront de mieux mener les études et contrôles en exploitants les résultats des différentes recherches entreprises dans la connaissance à l'accessibilité des eaux souterraines. Selon Lachassagne et Wyns, (2006) la mise en application des nouvelles connaissances permettent de mieux comprendre le fonctionnement des aquifères de socle. Ceux-ci peuvent représenter une solution importante pour l'alimentation des régions en eaux potables, mais aussi arides ou semi arides. Les nouveaux outils mis au point doivent favoriser une gestion de proximité des eaux, afin de préserver ou de restaurer leur qualité et les protéger de la surexploitation. Pour Koita, (2010) qui cite certains auteurs (Savané et al. 1995 ; Kouamé et al. 1999 ; Lasm et al. 2004 ; Saley et al. 2005) qui ont eu recours à l'utilisation de la télédétection passive (par utilisation des images Landsat et SPOT) pour le relevé de linéaments (alignements morpho-structuraux) en relation avec la fracturation dans différentes régions de la Côte d'Ivoire. Répondant ainsi à l'épineux problème de manque d'études permettant de mieux caractériser le comportement hydrodynamique de ces aquifères de socle fracturé, étape primordiale à toute gestion durable de ces hydro systèmes (Foster, 1984 ; Maréchal et al. 2004 ; Giau et al. 2008) toujours selon lui .A cela il faut ajouter l'apport des nombreuses méthodes géophysiques qui pour ACF,(2007) sont des outils utilisés dans une étape donnée de la procédure hydrogéologique pour tenter de répondre à des questions d'ordre géologique. Engalenc, (1978) quant à lui affirme qu'à travers ses différentes méthodes la géophysique a un double rôle à savoir confirmation de l'existence des poches altérées et la localisation topographique des fractures. Les fractures sont décelées indirectement par l'étude des altérites. Une bonne exploitation de tous ces techniques pourraient conduire à la résolution des diverses difficultés auxquels sont soumis les bureaux d'ingénieurs conseils. C'est dans ce contexte que cette étude a été entreprise dont le thème est : La réussite des campagnes d'implantations de forage.

L'objectif principal de cette étude est de l'amélioration du taux de succès d'implantation de forage par l'adoption de méthodologies d'exécution des charges définies dans les dossiers d'appels d'offres. Les objectifs spécifiques sont :

- L'analyse statistique et spatiale de certains paramètres de productivités des forages de la région de Borgou au nord Bénin.
- Etablissement de la carte de linéament de la région de borgou.

- L'analyse des procédures de préparation et d'exécution des campagnes d'implantation.

Le travail se présente en trois grandes parties :

- La première partie traite la présentation de la zone d'étude, suivie d'une synthèse bibliographique de la démarche à adopter pour l'exécution d'une campagne d'implantation.
- La deuxième partie présente les matériels et méthodes choisis pour effectuer cette étude. Elle donne une explication sur le choix des données.
- Et la dernière partie fait la synthèse des résultats. Et leur analyse, interprétation et discussion.

L'étude se termine par une conclusion générale et des suggestions.

PROBLEMATIQUE

Le Bénin est un pays côtier, il bénéficie d'une bonne pluviométrie 700mm à 1300mm mais il a été observé ces dernières années une perturbation du cycle global de l'eau liée à une réduction d'amplitude annuelle moyenne des hauteurs totales de pluies et à une intensification des sécheresses (Azonsi et Maliki, 2009). Le réseau hydrographique est assez dense, constitué par plusieurs cours d'eau à régime d'écoulement saisonnier. Les eaux souterraines sont abondantes mais mal réparties sur l'espace territoriale. On estime que dans les régions de socle situées au centre et au nord du pays, le potentiel en eau souterraine ne suffira pas à couvrir les besoins à long terme (Houesson, 1999). Pour atteindre les OMD dans le domaine de l'accès en Eau Potable, le Bénin doit réaliser un taux moyen de desserte en eau des populations urbaines de 75% et un taux moyen de desserte des populations rurales et semi urbaines de 67,3% à l'horizon 2015. En termes d'infrastructures pour le milieu rural et semi urbain, le pays devra s'équiper de 6.475 nouveaux forages équipés de pompe à motricité humaine (FPM), 537 nouveaux ouvrages d'adduction en eau villageoise (AEV) et 287 nouveaux postes d'eau autonome (PEA) (Houesson, 2008).

Ces objectifs ne pourront être atteints qu'avec l'adoption d'une stratégie permettant une gestion intégrée de cette ressource. La recharge est estimée à 10% de la pluie que reçoit

le Bénin par an (IGIP, 2011). La ressources en eau souterraine pourra être d'un grand apport, car elle est utilisé pour l' alimentation des population en eau potable dans les programmes d'hydraulique villageoise, si elle est en quantité suffisante au sud du pays, cela n'est pas le cas dans le centre et le nord (Houesson, 2008) .Dans le socle du Bénin, 34% sont secs et seulement 10% ont un débit instantané suffisant pour l'alimentation d'une petite collectivité (Allé,2012) et un taux d'échec qui varie de 30 à 40% (Azonsi et Maliki, 2009). Les autorités Béninoises et leurs partenaires au développement sont devenus plus exigeants en ce qui concerne l'implantation de forage en fixant des taux de succès que doivent atteindre les prestataires. Les charges qui leurs sont confiées sont de nature à engager la capacité et la crédibilité de ces derniers.

Donc il est nécessaire de se doter de techniques, méthodes et d'outils permettant de mieux remplir sa part de contrat dans l'exécution des marchés, afin d'être crédible auprès de ses partenaires.

I OBJECTIFS

I.1 Objectif global

Amélioration du taux de succès d'implantation de forage par l'adoption d'une méthodologie adéquate d'exécution des charges définies dans les dossiers d'appels d'offres.

I.2 Objectifs spécifiques

- L'analyse statistique et spatiale de certains paramètres de productivité des forages dans la région de Borgou.
- L'établissement de la carte de linéament de la région de Borgou.
- L'analyse des procédures de préparation et d'exécution des campagnes d'implantation.

II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1 Situation géographique de la zone d'étude

Le Département du Borgou est situé au Nord-Est du Bénin. Le département de Borgou s'étend sur 400 Km (entre 8,5° et 12,5° de latitude) et de l'Ouest à l'Est sur 180 Km (entre 2,15° et 3,45° de longitude). La population estimée environ à 900.000 habitants selon le recensement de 2013. La région est composée de huit (8) communes dont trois constituent notre zone d'étude (Bembèrèkè, Nikki, Kakalé). La figure suivante présente la zone d'étude.

Avec une pluviométrie estimée à 1200 mm pour une saison de pluie qui s'étend sur cinq mois. La température moyenne estimée à 26°C.

Le paysage est un ensemble varié de forêts claires aux différents types de savanes entrecoupées de galeries forestières. Celles-ci sont faiblement infestées par *Glossina tachinoides* et *G. palpalis gambiensis*. Les essences dominantes sont *Khaya senegalensis* (cédrat), *Adansonia digitata* (baobab), *Vitellaria biglobosa* (karité), *Parkia biglobosa* (nééré). La zone soudanienne abrite une strate herbacée à dominance de graminées qui brûle chaque année (J. Dehou et al, 1993). La figure suivante indique la localisation du département de Borgou.

Le réseau hydrographique de la région de Borgou est constitué de deux bassins qui sont :

- Le bassin du Niger couvre 38.000 km² (soit 74,5 % de la superficie du Borgou). Il est alimenté par les affluents du fleuve Niger qui sont le Mékrou, l'Alibori et la Sota.
- Le bassin de l'Ouémé qui a ses 80 km de cours dans le Borgou, il est appelé l'Ouémé supérieur et alimenté par le Yérou-Marou, Alpona, le Wêwê, le Beffo et l'Okpara.

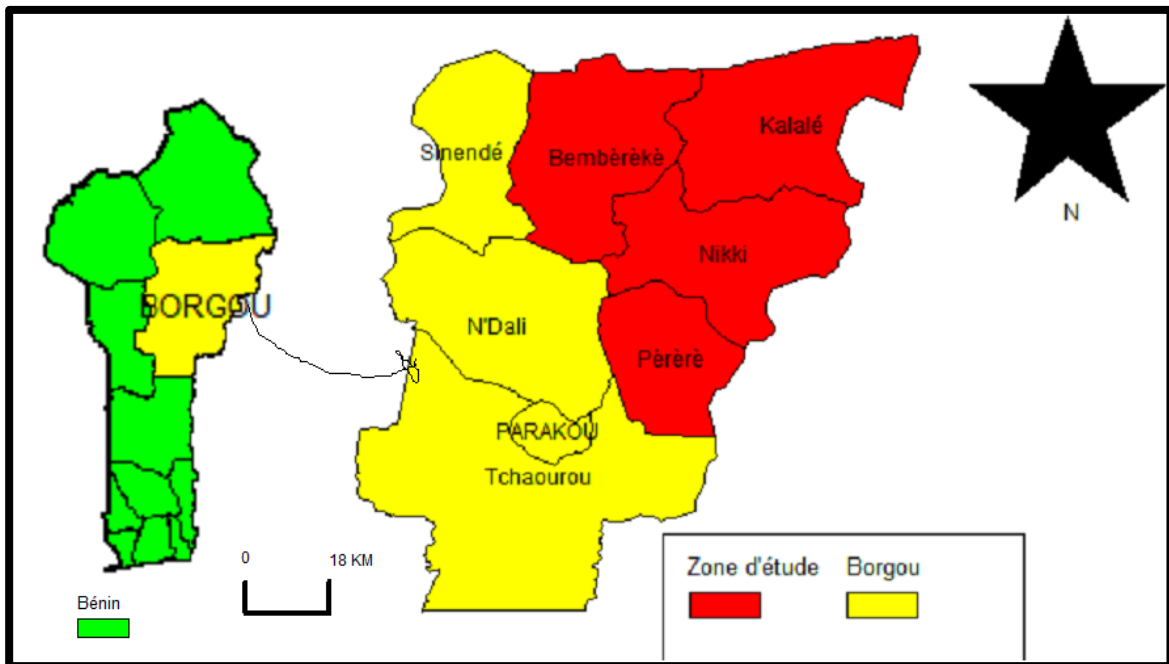


Figure 1: La zone d'étude

II.2 Le contexte géologique et hydrogéologique

La lecture de la carte hydrogéologique montre que les unités géologiques de la région de Borgou datent du Dayhomeyen et du Protérozoïque indifférencié. Le département fait partie intégrante de la pénéplaine cristalline située sur le socle granito-gneissique du centre du pays, qui est contigu au bassin sédimentaire côtier du Bas- Bénin. Trois grandes unités géologiques dominant le milieu d'étude. Il s'agit des migmatites granitiques de Nikki-Péréré, des gneiss à biotites et du granite.

Dans les formations cristallines, les potentialités hydrogéologiques et hydrauliques sont faibles avec des débits au forage dépassant rarement $6\text{m}^3/\text{h}$. Ce débit atteint exceptionnellement 10 ; 20 voire $30\text{m}^3/\text{h}$ sur certains forages. Le niveau statique moyen est inférieur à 10 m. Les profondeurs en forage sont en moyenne de 45 m ; ces profondeurs atteignent quelques fois 65m voire 75m. L'épaisseur d'altérite mouillée varie de 10 à 15 m. Le taux de réussite varie de 50 à 60% en ce qui concerne les forages qui un débit supérieur à $0,7\text{m}^3/\text{h}$ (IGIP, 2011).

III. MATERIELS ET OUTILS

Pour bien mener ce travail, divers outils ont été utilisés :

- Les rapports d'activités : Ces rapports décrivent la démarche adoptée pour la réalisation de la campagne d'implantation.
- les dossiers de fin d'activités : Ils font la synthèse des travaux d'implantation et de réalisation de forage.
- Les fiches techniques de forage : Elles sont permises de faire le choix des paramètres de forage en vue de l'analyse des paramètres de productivité.

- ENVI 4.4 : Ce logiciel est utilisé pour le traitement des images satellitaire après téléchargement des images spots des missions Landsat 7 couvrant les zones d'études, dont l'aboutissement est l'établissement de la carte linéamentaire de la zone. Cette carte sera importée sur un logiciel de SIG pour la représentation des linéaments.
- ARCVIEW ET MAP INFO : Ce sont ces deux logiciels d'analyses des données spatiales qui seront utilisés pour l'établissement des cartes comportant les linéaments, les forages existants et indications des forages futurs.
- EXCEL : Ce tableur de Microsoft Office qui intègre les fonctions de calcul numérique, de représentation graphique, d'analyse de données, de programmation, laquelle utilise le langage VBA (Visual Basic for Applications) permettra de tracer les graphiques et courbes éventuelles.

Un appareil GPS est utilisé pour lever les coordonnées des futurs probables forages.

IV. METHODE

L'étude sera conduite en trois parties afin d'apporter une réponse aux problèmes, qui sont :

- **L'analyse statistique de certains paramètres de productivités des forages de la région de Borgou au nord du Bénin**

Pour cette partie il s'agit de l'étude des corrélations qui peuvent exister entre les forages. Les données ont été obtenues partir des fiches de forage.

Le statut du forage: le forage est déclaré positif si le débit de foration est supérieur ou égal à $Q = 0.7\text{m}^3/\text{h}$. Cette valeur est relative, elle varie selon les exigences des clauses techniques des marchés. Tous les forages ayant des débits inférieurs à ce débit sont déclarés négatifs.

Le débit du forage : C'est un paramètre qui permet de définir le statut de l'ouvrage. Il donne une idée sur la quantité d'eau que le forage peut fournir.

La profondeur de fin foration : C'est un paramètre qui renseigne sur la cible hydrogéologique (horizon fissurée). Par l'identification des venues d'eau pour la pose des crépines.

L'épaisseur d'altération : C'est un paramètre important dans la recharge de l'horizon fissurée. Lorsqu'elle présente une bonne perméabilité.

Ces paramètres constituent les éléments de l'analyse, car nous n'avons pas eu les informations suffisantes pour le calcul de la transmissivité et le débit spécifique.

L'analyse se fera en premier par une analyse statistique descriptive des données après traitement en les regroupant en classe de forage selon la classification du CIEH par classe de débit.

Sur la base des principes du CIEH qui a proposé une classification (Lasm.2000)

- $] 0 ; 1\text{m}^3/\text{h} [$: débits très faibles
- $[1 ; 2,5\text{m}^3/\text{h} [$: débits faibles
- $[2,5 ; 5\text{m}^3/\text{h} [$; débits moyens
- $> 5\text{m}^3/\text{h}$: débits forts

L'analyse portera sur les éléments suivant :

- Moyenne arithmétique : qui est le rapport entre la somme d'une distribution d'un caractère statistique quantitatif discret et le nombre de valeurs dans la distribution.

Le coefficient de variation : permettra d'apprécier la pertinence de la moyenne calculer et percevoir la distribution des valeurs autour de la moyenne. Selon les valeurs du coefficient de variation (CV), trois groupes d'ensembles sont considérés (Lasm, 2000) :

Si $CV < 0,2$, la série est très homogène.

Si $0,2 < CV < 0,25$, la série est homogène.

Si $CV > 0,25$, la série est hétérogène.

- L'écart type : permet d'apprécier la dispersion de la valeur autour de leur moyenne.

Ensuite le calcul de la corrélation entre les paramètres pris deux à deux afin de voir la relation entre eux, ainsi les paramètres qui pourraient influencer la productivité seront identifiés et pris en compte lors des implantations ou de la réalisation.

En vue de mettre en évidence d'éventuelles corrélations entre ensembles paramètres hydrogéologies, l'analyse des composantes principales (ACP) qui est une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques et que l'on utilise en général sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier (*Lebart, 2002*) a été réalisé dans le même que précédemment.

➤ **L'étude spatiale des forages :**

A l'aide du logiciel ArcView, on a procédé à la réalisation de la cartographie des forages en fonction de leur débit, de leur épaisseur d'altération et de leur profondeur. Il sera produit des cartes obtenues à la suite d'interpolation des données fournies sur la zone d'intervention.

➤ **L'établissement de la carte de linéament**

Pour notre illustration ce sont les images Land Sat-7 ETM+ dont la scène 191/053 datant du 05-11-2006 qui couvre la zone d'intervention, car à cette période de l'année le ciel n'est pas couvert de nuage. Il faut à cela la disponibilité, la qualité et la gratuité de ces images.

Divers étapes de traitement d'images ont été réalisées à l'aide du logiciel ENVI 4.4 et le logiciel Arcview a permis l'extraction manuel des linéaments qui pour Saley,(2003) doivent :

- Apparaître comme un ensemble d'alignement rectiligne sur une image ou photographie aérienne ;
- être d'une longueur appréciable à l'image ;
- représenter dans plusieurs cas un alignement d'un cours d'eau ;
- être réplétif dans une direction donnée et si possible l'ensemble de l'image ;
- permettre la comparaison (apport de la géophysique par exemple) des linéaments obtenus avec la carte de fracturation existante, obtenus par d'autres techniques (géophysique par exemple) ;
- être enfin confirmé lors d'une mission de terrain.
-

Le traitement a consisté à la réalisation de :

✓ L'Analyse des Composantes Principales (ACP)

Selon Kanohin et al, (2012) qui cite H.Ranjbar et al, (2004) définissent L'ACP comme étant une opération effectuée sur plusieurs canaux, dans le but d'améliorer la qualité des images, de supprimer les redondances de l'information et de compiler les données. Le résultat prend la forme de plusieurs nouveaux canaux présentant un intérêt explicatif décroissant, elle permet d'obtenir l'état de corrélation entre les différentes bandes, dont on choisira ceux contenant plus d'information sur la zone.

✓ La composition colorée

Selon Koita,(2010) l'objectif est d'optimiser l'analyse visuelle et d'adapter les variations de tonalités au système visuel humain. Des compositions colorées sont réalisés à partir des bandes de l'image landsat soit respectivement les bandes du proche infrarouge (PIR) et moyen infrarouge (MIR1 et MIR2). Ces bandes apportent plus information, (PIR et MIR2) sont sensible à la vigueur de la végétation et MIR1 sensible à l'humidité du sol. Il fait ressortir le plus précisément possible les structurales et texturales entre la végétation et les accidents géologiques en améliorant les difficultés visuelles liées à la reconnaissance de linéaments. Selon Dickens, (2005) et N'Go et al.,(2010) les composition suivantes : (TM4,TM5,TM7) ;(TM7,TM5,TM2) ;(TM5,TM4,TM3) facilitent la discrimination visuelles de linéaments.

✓ La combinaison d'image

la combinaison des images Selon Kanohin et al.,(2012), est basée sur les opérations mathématiques qui permettent de générer de rapports de bandes ($ETM5/ETM4$) et des indices normalisés ($(ETM6-ETM4)/(ETM6+ETM4)$) et des additions des bandes ($PC1+ETM7+ETM4$). D'autres auteurs tels que (Koita,2010) qui citent (Kouamé et al,1999) affirment que plusieurs linéaments ont été mis en évidences par les combinaison additives des canaux ($ETM7+ETM6$) ; ($ETM4+ETM6$) et le rapport de ($(ETM6-ETM7)/(ETM6+ETM7)$). Toujours selon lui l'utilisation de la bande 6 permet de rehausser les subtiles différences entre les radiations caractéristiques au niveau des roches et des sols en tenant compte de leur inertie thermique et l'utilisation de l'indice ($(ETM-ETM7) / (ETM+ETM7)$) permet l'atténuation de l'effet de relief, d'une part et

l'accentuation des données complémentaire provenant de la bande ETM7, d'autre part. Les différentes combinaisons ne sont possibles qu'après le ré échantillonnage de la bande ETM6 selon la même résolution spatiale que les autres bandes.

A cela il faudra ajouter le filtrage spatial qui permet d'améliorer l'aspect d'une image en éliminant les éléments non importants afin de rendre l'image plus nette. Ils existent plusieurs types de filtre, mais les plus utilisées pour la détermination (identification) des linéaments sont les filtres de convolution de type Sobel, Gradient et Laplacien.

✓ L'extraction manuelle des linéaments

Pour Kanohin et al, (2012) la démarche a consisté à identifier et à répertorier toutes les failles parallèles aux segments de cours d'eau rectilignes, à prendre en compte les linéaments identiques sur les différentes cartes et ceux proches des forages à haut débits. En effet, les auteurs suivants J. Biemi et al, (1991), A. N. Sawadogo, (1984), P. Jourda et al, (2006) ont révélé que les forages les plus productifs sont situés sur les accidents majeurs et peuvent donc être un outil essentiel à la validation des linéaments.

➤ **L'analyse des procédures de préparation et d'exécution des campagnes d'implantation**

Cette partie de l'étude a été faite en deux parties dont la première intitulée :

✓ Diagnostic de la méthode de travail du bureau d'étude.

Cette partie explique la procédure travail de la structure en matière d'implantation. Elle va de la constitution des équipes de mission, des travaux de reconnaissance de terrain, la conduite des missions.

✓ Propositions de solutions en vue une amélioration des résultats.

Cette partie présente les propositions dans la méthode de travail de l'entreprise, dans la conduite des activités d'avant implantation, dans le choix de la méthode de prospection géophysique et dans le contrôle lors des réalisations de forages. En se basant sur le retour d'expériences des Organisations Non Gouvernementales (ONG), et des acteurs techniques et financiers qui interviennent dans la réalisation de forages.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV ANALYSE STATISTIQUE DE CERTAINS PARAMETRES DE PRODUCTIVITE DE FORAGE DANS LA REGION DE BORGOU

Plusieurs travaux réalisés en Afrique de l'ouest Biémi, (1992) ; KOÏTA, (2010) et Kouassi et al, (2008) qui ont cités N'go et al, (2005) et Ahoussi, (2008) qui avait cité Guiraud et al,(1992) ont montrés qu'ils existent des liens entre les paramètres hydrogéologiques et la productivité du forage. La détermination de ces liens permettra de définir les conditions de foration, par la définition de la profondeur d'espoir pour l'obtention des débits souhaités, ou la profondeur d'espoir, c'est –à-dire la profondeur au-delà de laquelle le débit souhaité ne pourra être atteint et le forage sera déclaré négatif. Pour Gnamba et al , (2014) l'exploitation optimale des hydro-systèmes passe au préalable par une meilleure connaissance de leurs caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques. Car certains paramètres peuvent avoir une influence sur la productivité des ouvrages à savoir : l'épaisseur d'altération, la profondeur des forages, la nature pétrographique des formations.

Cette analyse a porté sur 108 forages, réalisés par la structure d'accueil dans la région de Borgou, dont vingt-cinq (25) sont négatifs.

IV.1 L'analyse de l'ensemble des 108 forages

Pour cette partie, analyse porte sur la profondeur du forage et l'épaisseur d'altération, car le niveau statique et le débit sont fournis seulement pour les ouvrages positifs le résultat de l'analyse est consigné dans le tableau suivant :

Tableau 1: Résultat de la statistique descriptive

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	CV
Profondeur du forage(m)	43,3	85,8	57,61	13,59	0,24
Epaisseur d'altération (m)	1,28	45	25,59	17,45	0,68

A l'observation de ces valeurs, il ressort qu'il y a une certaine homogénéité des profondeurs. Mais on note également une certaine tendance à la dispersion par rapport à la profondeur moyenne qui est 57,61 m, comprise entre [40-70 m]. Ce que préconisent certains auteurs pour la réalisation des forages dans le socle, (Biémi, 1992), confirme les études réalisées pour l'établissement de la carte hydrogéologique édition 2011 dont les indications pour la zone quant au taux de succès d'avoir un forage de profondeur de moins de 45 m est entre [25-50%] (IGIP, 2011). La zone est réputée pour avoir des forages de grande profondeur [50-75%].

L'hétérogénéité de la profondeur d'altération est aussi remarquable, car ayant une valeur moyenne de 25.59 m. Des études réalisées dans la zone par la fondation Pratica en 2008 classe cette zone comme ayant une couche d'altération relativement assez épaisse.

IV.2 L'analyse des forages positifs

IV.2.1 La classification des débits en classe de débit

C'est le débit du forage en fin de foration, il détermine le point de comparaison pour la classification du forage. Le forage est considéré positif si ce débit est supérieur $0.7\text{m}^3/\text{h}$.

On obtient la distribution des classes de débits suivant :

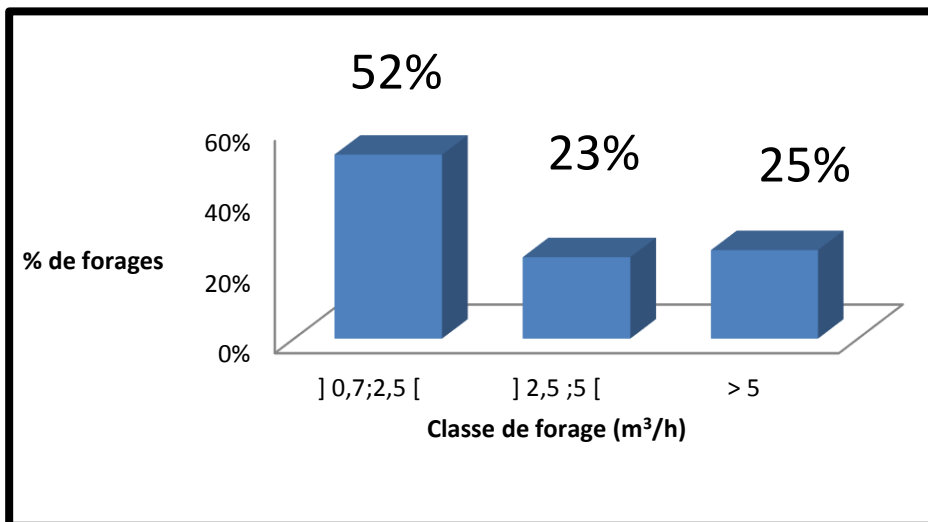


Figure 2: Distribution de classes de débits

Il ressort de la figure 4 que :

- 52% des forages ont un débit faible, l'explication qui peut être donnée à l'analyse de ces valeurs est que les forages sont équipés de pompes à motricités, la recherche de débit instantané est fixé supérieur ou égal à 0,7m³/h.
- 23% ont un débit moyen
- 25% sont de la classe de débit fort, ils sont utilisés pour l'alimentation des programmes de l'adduction en eau villageoise (AEV).

IV.2.2 L'analyse descriptive

Les forages positifs sont aux nombres de quatre-vingt-trois (83), le résultat est présenté dans le tableau suivant

Tableau 2: Résultats de la statistique descriptive de quatre paramètres hydrogéologiques

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	CV
Débit	0,72	25,00	4,20	4,54	1,08
Profondeur	30	85,8	55,36	12,89	0,23
Niveau statique	0,66	29,19	7,41	4,99	0,67
Epaisseur d'altération	1,28	43,20	15,72	9,39	0,60

La profondeur moyenne des forages positifs est 55,36m. Les profondeurs semblent être hétérogènes car le CV est de 0,6, quant au débit sa moyenne est de 4,2 et un écart type de 4,54 élevé, ce qui traduit une variété de débit dont plus de la moitié est faible, le CV qui est de 1,08 indique ce lien d'éventuel hétérogénéité.

IV.2.2.1 Etude de la corrélation entre le débit et la profondeur du forage

La figure 3 traduit la représentation de la profondeur en fonction du débit. L'analyse de cette figure montre qu'aucun forage n'a une profondeur en deçà de 30m, les ouvrages qui ont une profondeur variant de [25 ;55] ont des débits forts pouvant atteindre 15m³/h ;ceux dont la profondeur dépasse 50m ont des débits oscillants entre [0,7 ; 5m³/h], l'observation de fiches techniques de forage indique que le milieu est granitique et fissuré à partir de 40 m en moyenne, ce qui confirme le résultat de Biémi,(1992) qui préconise qu'en Afrique de

l'ouest en zone humide il est aisé de trouver un débit de l'ordre de $1\text{ m}^3/\text{h}$ en implantant un forage dans le granite ou 55m dans le schiste sur une fracture secondaire ou kilométrique généralement ouverte par le phénomène de la décompression superficielle des roches.

Le signe négatif (-0.6) du coefficient de corrélation indique que le débit diminue avec la profondeur. La figure 3 montre bien, les forages ayant un débit compris entre 0.7 et 2.5 m^3/h ont les plus grandes profondeurs environ 70 m. Une fois de plus les dires de Biémi, (1992) sont encore mis en évidence qui stipule qu'en Afrique de l'ouest les fractures hydrauliquement actives se referment à la profondeur. Il a conseillé des profondeurs de foration à ne pas excéder dans le socle 80m du granite et 100 m dans les schistes pour des raisons économiques. Il a même préconisé d'arrêter la foration après 3m après la dernière venue d'eau importante.

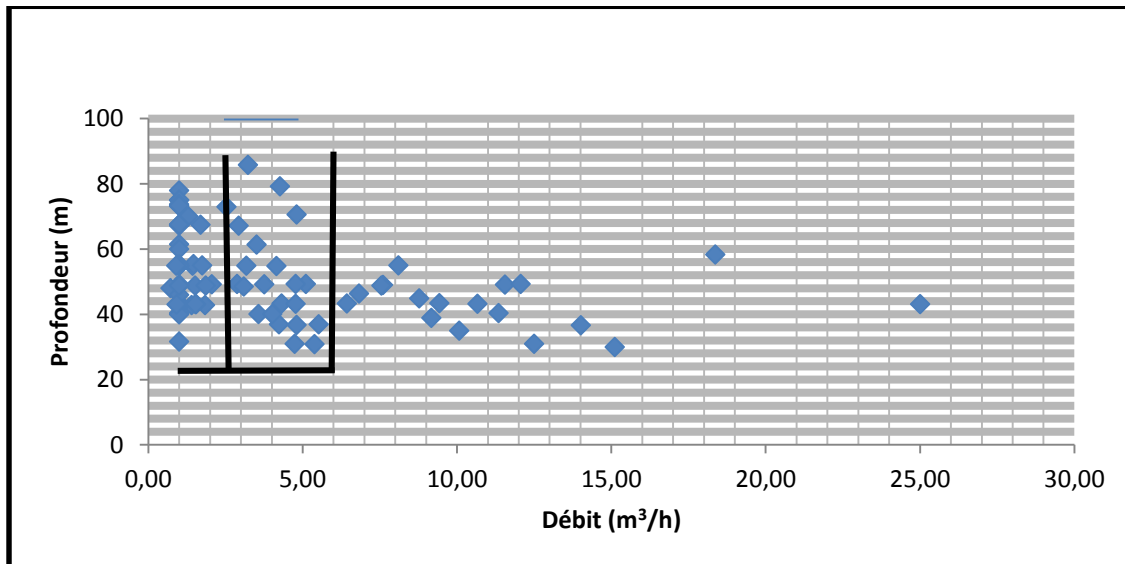


Figure 3 : La représentation de la profondeur en fonction du Débit.

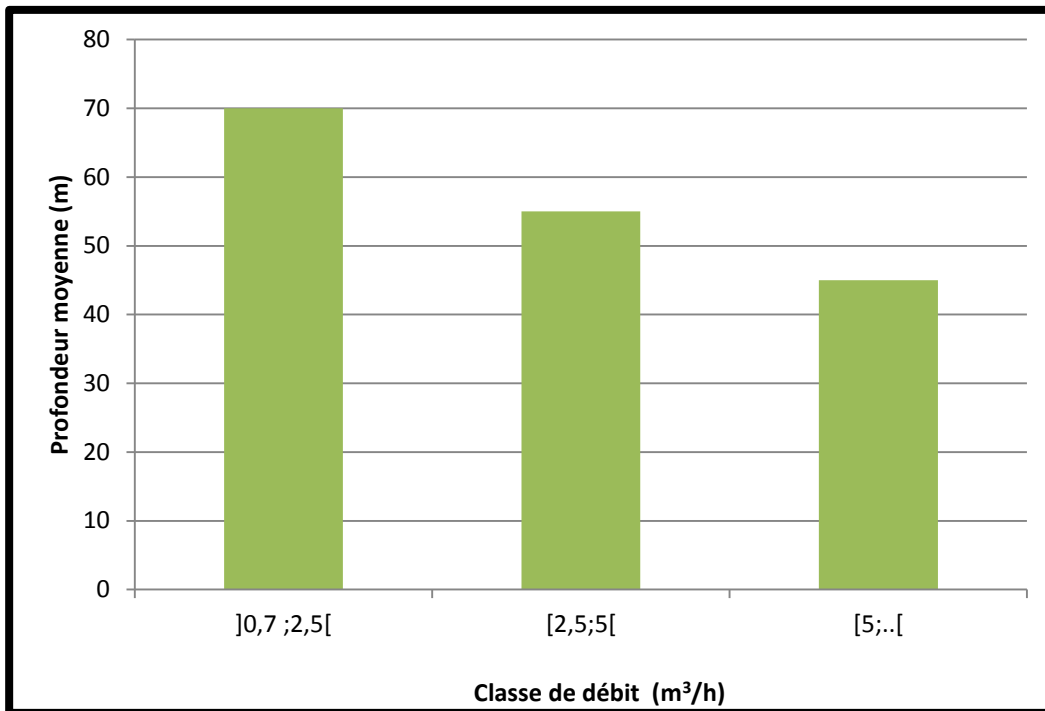


Figure 4 : Classe de débit en fonction de profondeur moyen

Pour G. Soro et al. (2010) les forages les plus profonds correspondent généralement au moins productifs. La profondeur d'un forage donné est donc sous l'influence du débit recherché et ne repose sur aucune considération technique et scientifique. Or, selon l'environnement géologique et hydrogéologique, il existe une profondeur au-delà de laquelle les chances de trouver un horizon aquifère s'amenuisent, notamment au sein des roches de socle altéré, du fait de la diminution de la fréquence puis de la disparition des fissures perméables. Toujours selon eux en citant Faillat, (1986) des études statistiques entre la productivité et la profondeur d'un puit ont montré que la probabilité de rencontrer des fractures ouvertes au-delà d'une profondeur comprise entre 90-100 mètres est négligeable. On pourrait conclure que dans la région de Borgou pour les futurs ouvrages on pourrait prendre en considération comme profondeur d'espoir [45 ; 75m] et de désespoir au-delà de 95 m, sauf dans les villes de Kakale, Bembéréké ou la profondeur d'espoir peut atteindre 130 mètres selon IGIP,(2011).

IV.2.2.2 Etude de la corrélation entre le débit et l'épaisseur d'altération

La figure 5 traduit la représentation du débit en fonction de l'épaisseur d'altération. Sur cette figure le lien entre l'épaisseur d'altération et le débit n'est pas perceptible. Car des forages classe de débit faible ont des épaisseurs altération importants et ceux de classe de débit fort et de débit très fort ont des épaisseurs d'altération qui varient de 6 m à 30 m.

Le coefficient de corrélation est de 0,17 qui traduit le lien entre les deux paramètres semble faible. Sur la figure 5, les classes d'épaisseurs d'altération qui fournissent des débits supérieurs à 2.5m³/h en moyenne sont compris entre 10 et 30m. Et l'importance du débit diminue lorsque l'épaisseur d'altération est inférieure à 10m et supérieure 30 m. Mais Sur la figure, il y a plus de forages qui ont un débit inférieur à 1m³/h et leur épaisseur d'altération varie entre 1 m et 20 m.

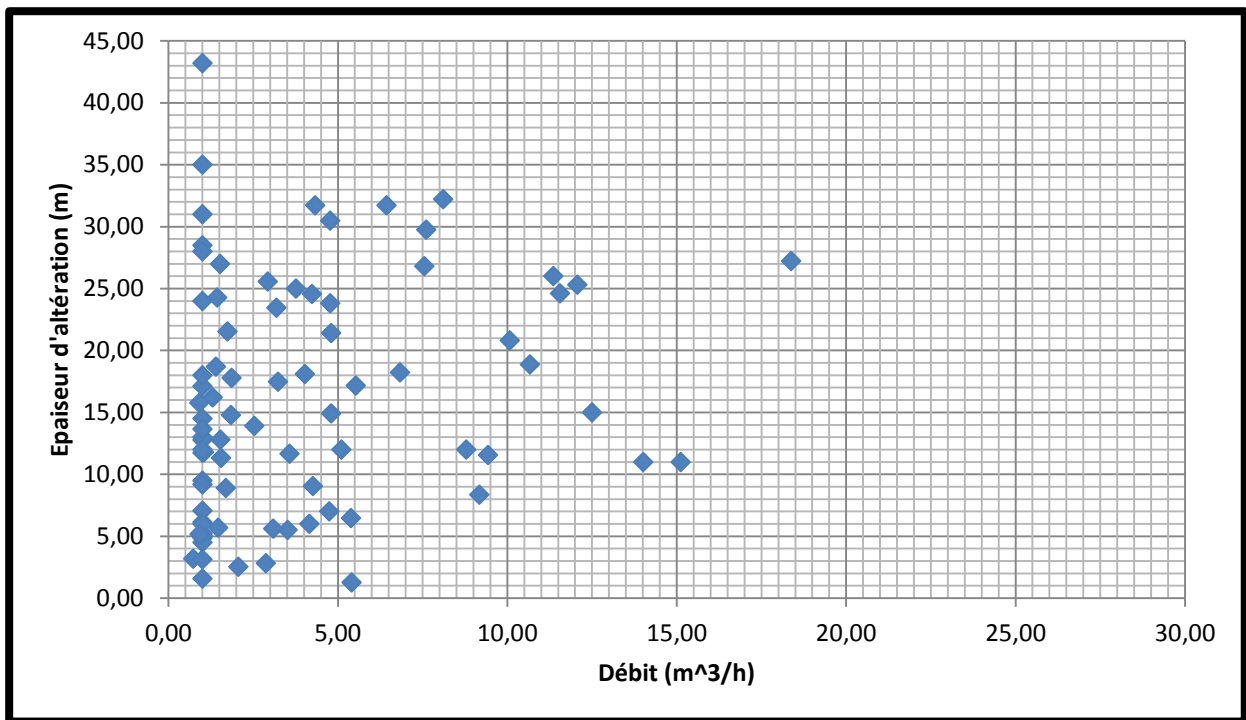


Figure 5 : La représentation du débit en fonction de la profondeur d'altération.

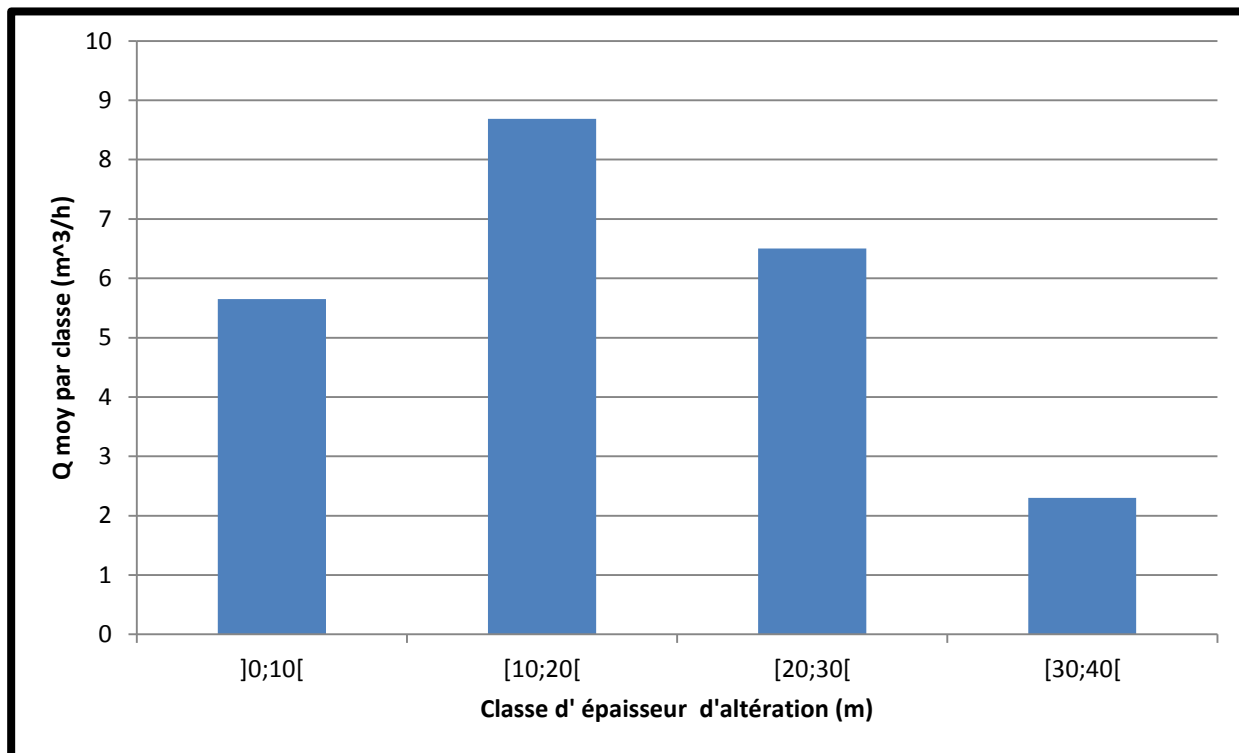


Figure 6 Variation de débit par classe d'épaisseurs d'altération

IV.3 Analyse en composante principale normée (ACPN)

Elle a servi à l'étude des liens qui peuvent exister entre tous les paramètres concernés par l'étude. Ce sont : le débit de fin de foration, l'épaisseur d'altération, le niveau statique et la profondeur du forage. Cette méthode permet de mettre en évidence les liens éventuels que présenterait deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution (Dibi et *al.*, 2004).

Tableau IV: Valeur propre, pourcentage cumulé des principaux facteurs

	F1	F2
Valeur propre	1,684743	1,101402
%Total	42	28
%Cumulé	42	70

Tableau V : Coordonnées des variables sur les axes principaux

	F1	F2
Profondeur	-0,755908	-0,037362
Hauteur d'altération	-0,072242	-0,937915
Niveau statique	-0,784791	-0,238888
Débit de fin de foration	0,701591	-0,404048

Les facteurs F1 et F2 sont associés aux valeurs propres supérieures à 1, ils constituent les axes principaux, car ceux sont les plus significatifs.

Le facteur (F1) est déterminé par la profondeur, le niveau statique et le débit de fin de foration, entre ces trois paramètres il existe une corrélation. La corrélation entre la profondeur et le niveau statique est la plus grande, le coefficient de corrélation (voir tableau VI sous dessous) montre que le débit évolue inversement par rapport au deux autres paramètres, le signe du coefficient de corrélation du débit avec ces paramètres est négatif. On pourrait expliquer cette relation par l'arrêt de la foration après l'obtention d'un débit important ; plus la profondeur est grande moins le débit est important et plus le niveau statique est grand.

Le facteur (F2) quant à lui est déterminé par l'épaisseur d'altération, qui n'a pas lien significatif avec les autres variables. Mais un lien infime semble existé entre l'épaisseur d'altération, le débit de fin de foration et le niveau statique. Ce lien avait été remarquer avec l'étude de la corrélation des paramètres pris deux à deux.

Tableau VI : Matrice de corrélation

	Profondeur	Epaisseur d'altération	Niveau statique	Débit de fin de foration
Profondeur	1			
Epaisseur d'altération	0,035874	1		
Niveau statique	0,386101	0,154357	1	
Débit de fin de foration	-0,302174	0,140806	-0,334058	1

La productivité d'un forage n'est pas liée à la profondeur, plus elle sera grande le débit sera faible. Les paramètres qui ont généralement un lien avec la productivité sont l'épaisseur d'altération et la taille de l'ouverture des fractures qui conditionne l'obtention de débit important. Lorsque la profondeur d'un forage atteint 80m et sans avoir le débit escompté,

il faudra arrêter la foration et qualifier le forage de négatif. De même lorsqu'on obtient un débit important et qu'on est dans le socle, il faudra arrêter la foration après 5m, car au-delà de 5m ceux qui seront ajoutés, sont inutiles des points de vue techniques et économiques, préconisé par Biémi, (1992). Il est important après chaque campagne de procéder à un traitement statistique des données, afin de connaître les paramètres qui influent sur la productivité des forages dans cette zone. Et les informations obtenues devront être pris en compte lors d'une prochaine intervention dans cette zone.

Cette étude a mis l'accent sur la détermination des paramètres de productivité en considérant quatre paramètres qui sont : la profondeur, le débit de fin de foration, le niveau statique et l'épaisseur d'altération. L'ajout d'autres indicateurs de productivités tels que le débit spécifique et la transmissivité pourront contribuer à une meilleure détermination des paramètres de productivité.

V ANALYSE SPATIALE DE LA PRODUCTIVITE DE 83 FORAGES POSSITIFS DE BORGOU

L'établissement de la cartographie des zones favorables à l'implantation de forage permet une meilleure connaissance de la zone d'intervention. Cela conduira à la réduction du taux d'échec d'une part et d'autre part à un gain de temps d'intervention. Diverses cartes sont établies, leurs combinaisons entre elles d'une part et d'autre part avec les images satellitaires couvrant la zone d'intervention permettent d'avoir la carte des futurs points d'eaux. Les critères de référence pour l'établissement des cartes thématiques sont nombreux. Pour Saley (2003) les critères qui servent à l'élaboration de ces cartes sont :

- La profondeur de l'ouvrage pour donner un débit optimum.
- Le débit d'exploitation de l'ouvrage.
- La densité des fractures sur la zone concernée par l'étude qui permet d'estimer le taux d'infiltration, le niveau statique.
- L'épaisseur d'altération qui peut jouer un rôle sur le débit et le coût de l'ouvrage.

Le critère de classification quant à lui sert à une meilleure interprétation. Ces classes sont :

- Très faible, faible, moyenne, forte, très forte.

Tableau VII : Classification des critères selon le CIEH

classes paramètres	très faible	faible	moyenne	forte	Très forte
Débit (m³/h)	0 - 1	1 - 2,5	2,5 - 5	> 5	—
épaisseur d'altération (m)	< 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	> 25
profondeur d'ouvrage (m)	< 20	20 - 30	30 - 40	40 - 70	> 70

Ces divers critères conduiront à l'établissement des cartes suivantes :

- La carte d'épaisseur.
- La carte de niveau statique.
- La carte de débit d'exploitation.
- La carte des profondeurs des ouvrages.

La carte d'épaisseur ci-dessous confirme la présence de lien existant entre l'épaisseur d'altération et le débit de fin de foration. L'analyse de la carte indique que les forages qui ont un débit supérieur à 2,5 m³/h ont une épaisseur d'altération comprise entre 15 et 25 m.

La corrélation mise en évidence et le débit de fin de foration et le niveau statique est aussi confirmé par l'analyse de la figure ci-dessous. Car l'espace est dominé par les forages qui ont un débit supérieur à 2.5m³/h et ont des niveaux statiques inférieurs à 15 m.

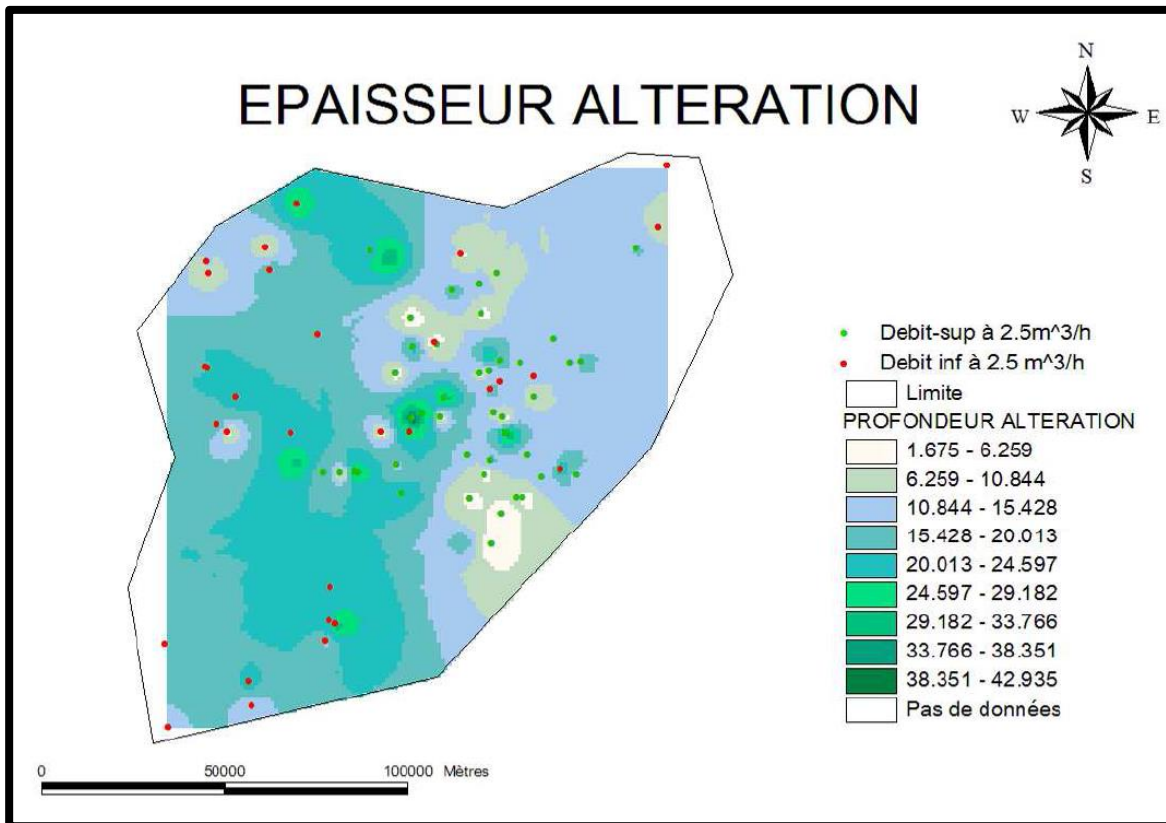


Figure 7 La carte des épaisseurs d'altérations et classe de débits.

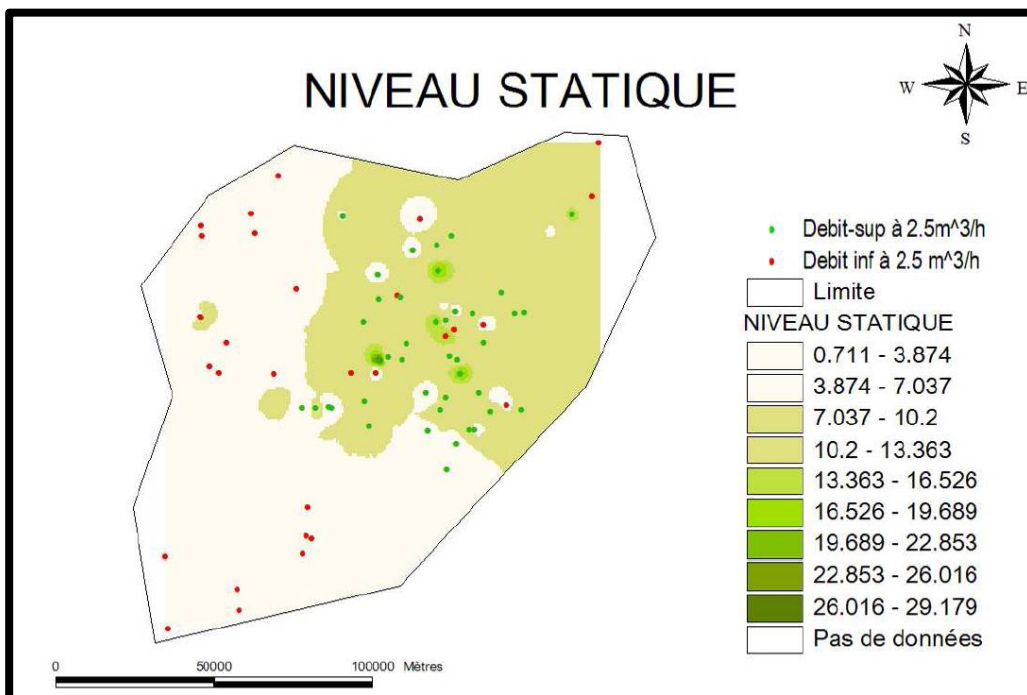


Figure 8 La carte de niveaux et des classes de débits.

L'arrêt de la foration étant lié à l'obtention du débit souhaité généralement de 0,7m³/h pour les forages équipés de pompe à motricité humaine et de 5m³/h pour les forages motorisés.

L'observation de la carte ci-dessous fait remarquer que les forages ayant un débit supérieur à 2,5 m³/h ont des profondeurs en majorité inférieures à 50 m, ceci semble avoir été mis en évidence par l'étude statistique menée. Pour Waidhet et al. (2013) de façon générale, lorsque la profondeur d'altération est importante, la probabilité d'obtenir un débit important est très grande.

L'étude spatiale a fait ressortir les liens mis en évidence par l'analyse statistique effectuée. En mettant en évidence l'importance de la cartographie de ressources en eau, afin de pouvoir identifier les zones hydrogéologiquement difficiles, avoir une idée sur la répartition de la ressource. La cartographie des ressources souterraines pourraient être un outil de décision. Pour Konahin et al, (2012) la cartographie des réservoirs d'eau de la région de Dimbokro en Côte d'Ivoire a permis d'identifier des zones convenables à l'implantation de forage à gros débit et aussi plus de 150 sites favorables aux futures implantations. Et ils affirment que l'utilisation de cet outil pourrait en effet, limiter l'obtention des faibles débits et réduire fortement le taux d'échec. La technique de la cartographie pourrait être un outil pour le rapprochement des points d'eau des populations car pour Konan et al. (2013), la prise en compte des populations dans l'étude de la productivité pourrait se justifier par le fait qu'elles soient la cible à laquelle cette eau est destinée.

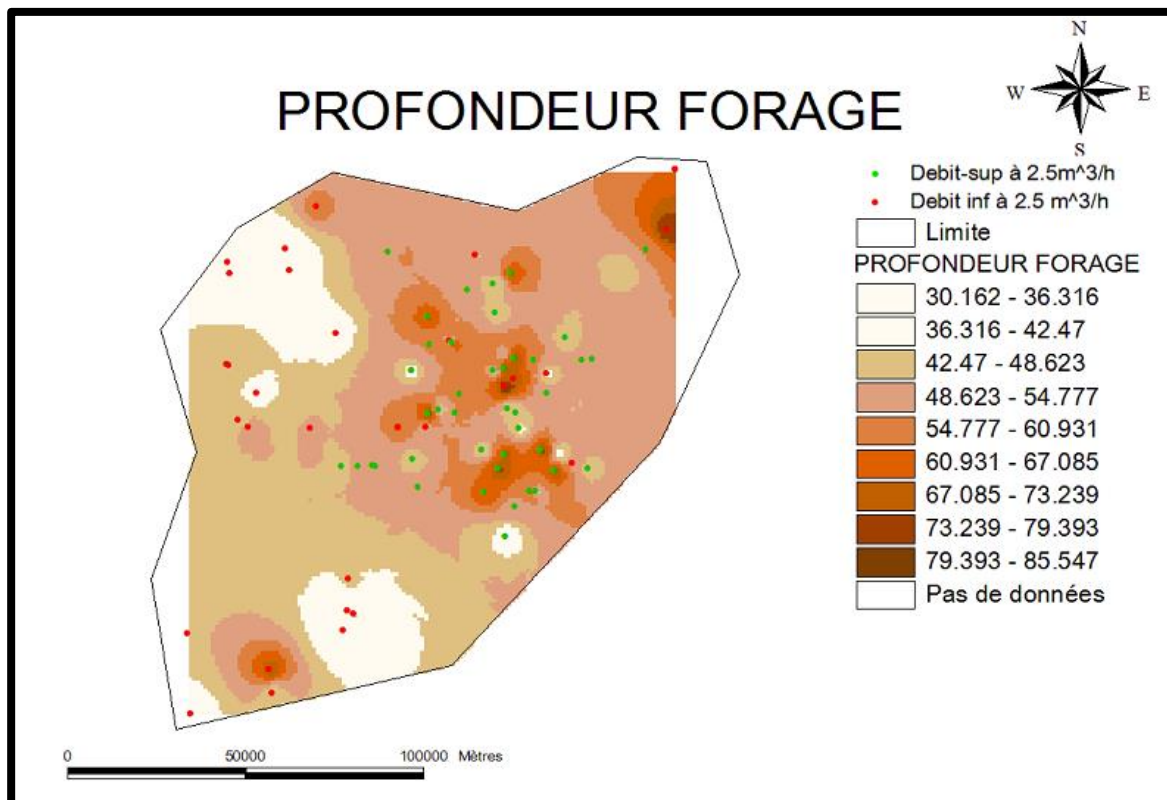


Figure 9 Profondeur de forage et classes de débit

Pour Konahin et al. (2012), les cartes des futurs points d'eau qui pourront être déterminées par le rapprochement des populations et des zones favorables à l'implantation de forage permettront aux opérateurs d'optimiser le temps et les ressources financières pour réaliser des ouvrages qui ont beaucoup de chance d'être productifs.

Ces cartes auront une plus grande lisibilité lorsque les zones non recommandés et l'occupation réelle des terres seront prises en comptes. Et l'association des différents linéaments à ces cartes est nécessaire avoir une grande fiabilité.

VI L'ETABLISSEMENT DE LA CARTE DE LINEAMENT

Les annexes 3 et 4 indiquent les différentes étapes dans l'acquisition des images satellitaires sur un site qui permet le téléchargement de ces images.

VI.1 L'analyse des composantes principales ACP

Elle a permis d'avoir trois bandes qui regroupent les informations sur trois canaux de l'ACP. Ces néo-canaux ACP1, ACP2, ACP3 contiennent 96% des informations.

VI.2 La composition colorée

La composition colorée des TM7, TM4, TM3 a permis d'identifier un certain nombre de linéaments. La figure 10 ci-dessous présente la composition colorée réalisée avant le repérage des linéaments. La figure 11 présente les linéaments identifiés à la suite de la composition colorée

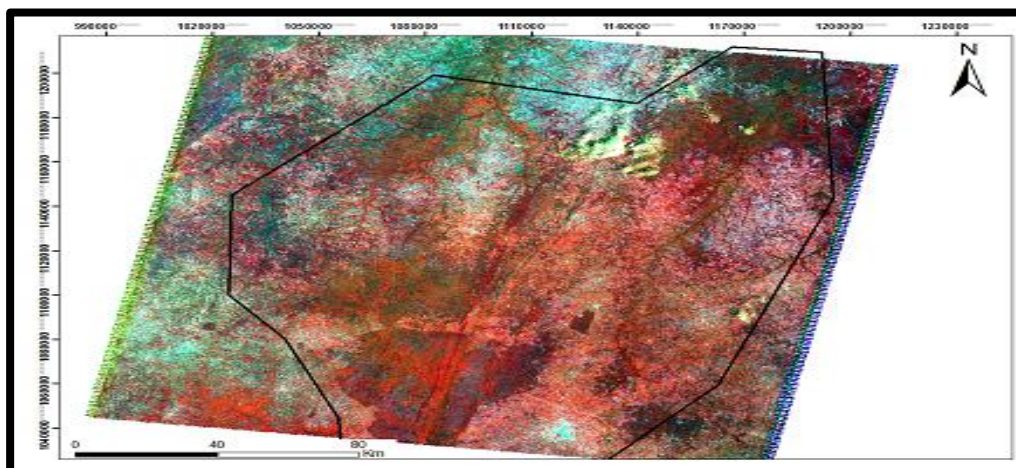


Figure 10 L'image après la composition colorée

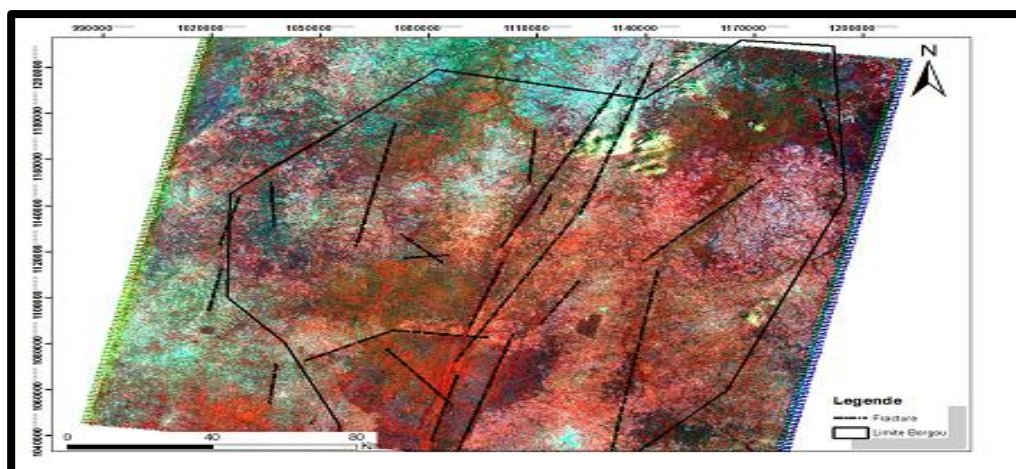


Figure 11 Les linéaments identifiés après la composition colorée

II.1 L'application de filtre

La réalisation du filtre de Sobel 7 x 7 a permis le repérage des linéaments.

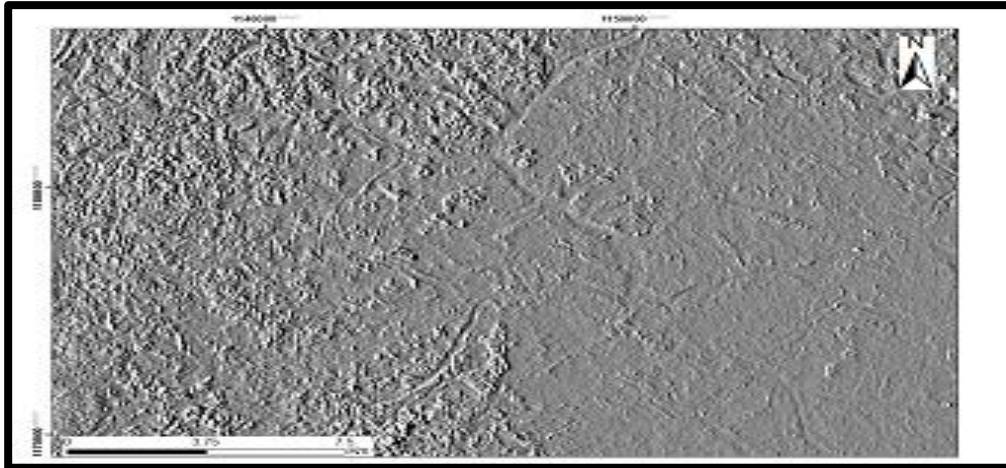


Figure 12 L'image après l'application le filtre de Sobel

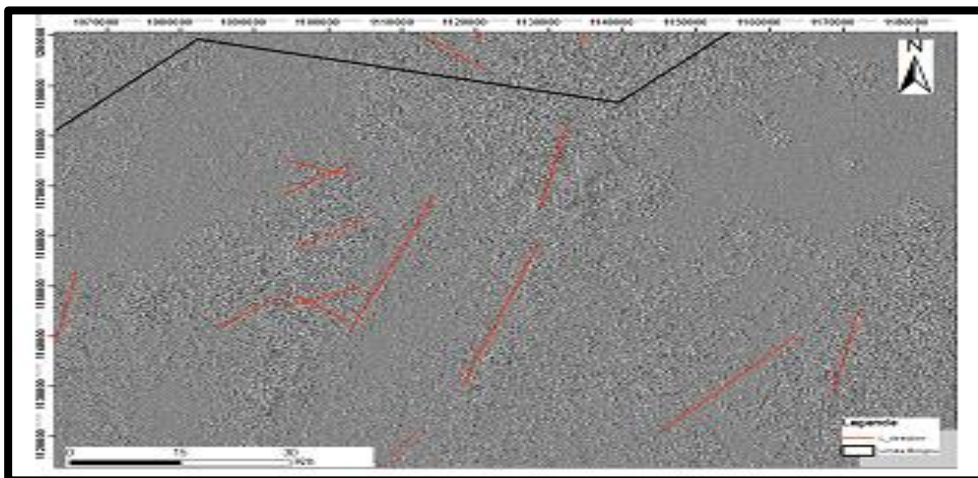


Figure 13 L'image des linéaments après l'application le filtre de Sobel

VI.4 La carte de linéament

Le regroupement des linéaments obtenus à la suite de différentes techniques de traitements est sur la figure suivante. Les linéaments sont de longueur variable.

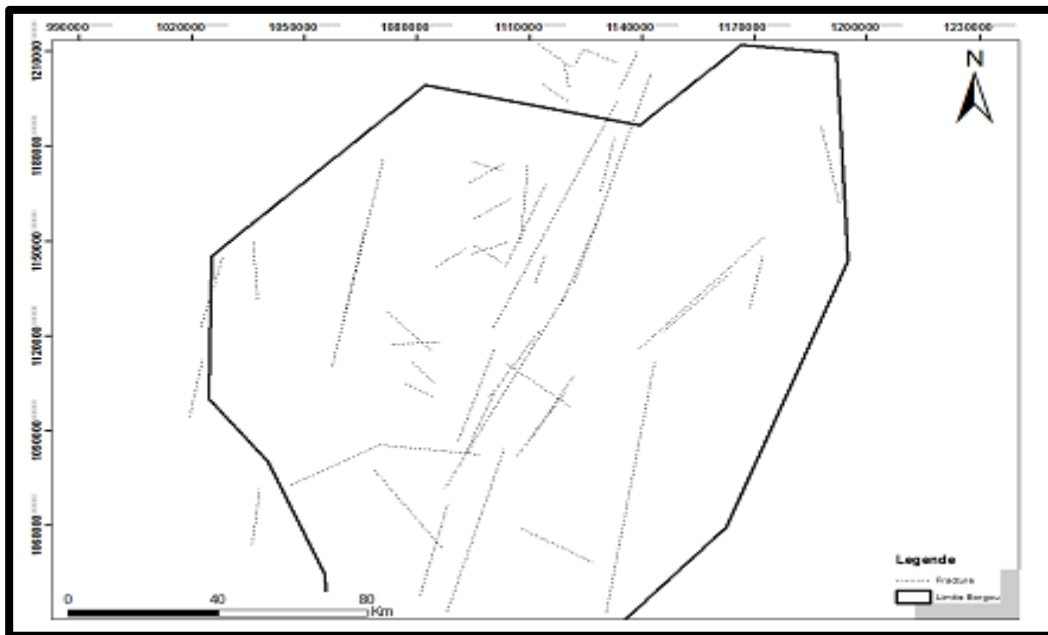


Figure 14 La carte de linéaments

La carte de linéaments obtenue devient un outil important dans la détermination de la direction des profils géophysiques. Les ouvrages de grand débit une fois représenté sur cette carte permettent la classification des linéaments à savoir les linéaments majeurs et les linéaments secondaires. Les directions des linéaments sont regroupées dans la figure 14. Les directions majeures sont de deux ordres : N 20-65 et N 200-230. Ces directions sont sensiblement proche de ceux que Engelac (1978), proposait pour les directions des linéaments pour le Bénin qui sont N30-60 et N210-235. Ainsi donc les directions profiles géophysiques devront être définies perpendiculairement selon ces directions.

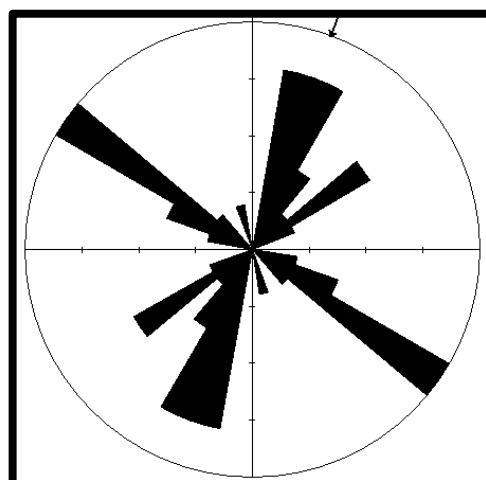


Figure 15 La direction des linéaments

VII ANALYSE DE LA PROCEDURE DE PREPARATION ET D'EXECUTION DES CAMPAGNES D'IMPLANTATION.

L'obtention des marchés d'implantation de forage après soumission des offres, est le début de la mise en œuvre de l'offre technique proposée en vue d'atteindre des objectifs fixés par les clauses techniques particulières. Ainsi le taux généralement exigé (65%) pourra être atteint avec efficacité et efficience.

VII.1 Diagnostic de la méthode de travail du bureau d'étude.

VII.1.1 L'état des lieux sur la méthodologie de travail

La participation à 6 missions d'implantations, le contrôle et suivi des travaux de forage du projet de réalisation de 18 forages et la réhabilitation de 25 forages dans le Ouémé au Bénin. La participation au montage d'une demi-douzaine d'appels d'offres, surtout à la proposition des offres techniques. Nous trouvons qu'il faut revoir certaines dispositions et mettre un accent plus particulier sur certaine pratique, à savoir sur :

- Les études avant forage, afin d'être en accord avec les offres techniques proposées.
- Le choix de la méthode d'investigation géophysique.
- Le contrôle des travaux doit être revu, les entreprises de réalisation semblent être légères quant aux normes de réalisation.
- Si possible sur la composition des équipes de mission.

VII.1.2 Propositions d'éléments en vue une amélioration des résultats.

VII.1.2.1 L'étude documentaire

Cette étude oriente la suite des travaux, donc elle doit se faire avec beaucoup de soins par les membres de l'équipe prévue pour l'implantation. Pour le Rwsn (Rural Supply NetWork), 2012, elle devra permettre :

- L'acquisition d'informations relatives aux résultats des travaux déjà entrepris dans la zone d'intervention à savoir les rapports dossiers village ,d'implantations et finaux .Ces documents renseigneront sur les difficultés auxquelles les prédécesseurs ont été confrontés ;
- La consultation des documents scientifiques, c'est –à-dire les publications et/ou résultats des travaux de recherche dans le domaine de la géoscience surtout, ces documents renseigneront sur la géologie, la morphologie, l'hydrographie ;
- De fournir des informations sur les populations qui vivent sur la zone d'intervention, connaître leur pratiques, croyances et les organisations sociales, ceci permettra lors des rencontres avec elles d'aborder les sujets qui fâchent, afin d'éviter la violation des lieux sacrés ;
- L'acquisition auprès des administrations, des collectivités territoriales, des bases de données des ouvrages existants à jour ou non, les cartes hydrogéologiques et géologiques et photographies aériennes ;
- Le téléchargement des images satellitaires couvant la zone d'intervention.

Or le mode d'exécution actuel ne permet pas d'acquérir ces informations importantes pour la suite des travaux. Elle consiste en la reconnaissance des zones pour les futures zones d'implantations. Cette méthode ne semble pas être rentable du point de vue technique et temporel .Cette activité devra être conduite par l'hydrogéologue pour une bonne reconnaissance des zones d'interventions.

VII.1.2.2 Etude Hydrogéologique

Apport des informations pour la reconnaissance de la zone d'intervention afin d'identifier des indices physico-morphologiques, biologiques et à lever leurs coordonnées géographiques .Si la base de données ne fournit pas d'informations nécessaires sur les caractéristiques des ouvrages hydrauliques existants, il faudra procéder à la mesure des niveaux statiques de ces ouvrages.

Selon l'ACF, (2007) la détermination et la localisation des zones préférentielles de réalimentation, sont généralement déterminées à partir des cartes piézométriques, donc l'établissement de la carte s'avère nécessaire, sur ces cartes piézométriques (les courbes fermées traduisent des dômes sommes) caractérisent ces zones de recharge et l'analyse des

fluctuations temporelles de la piézométrie des nappes libres donne des informations sur la recharge par l'infiltration, sur la réserve disponible.

Cette étude abouti à :

La connaissance de la nature des aquifères présente sur la zone d'intervention en zone sédimentaire, la consultation des données statiques hydrogéologiques dont le but est d'avoir une idée sur les profondeurs qu'on pourrait atteindre, afin de définir les profondeurs d'espoir et de désespoir.

A partir des ouvrages existant élaborer des coupes lithologiques qui serviront lors des interprétations des résultats de la géophysique de faire la différence entre les diverses formations géologiques existantes, car elles ont des gammes de résistivités qui se chevauchent, Dieng et al,(2004).

La localisation des zones de forte potentialités d'épaisseur d'altération, car pour plusieurs auteurs l'épaisseur d'altération joue un rôle capital dans l'alimentation des zones fissurées. Pour Konihian et al. (2013), les produits issus de l'altération du substratum peuvent receler des nappes d'eau importantes.

En zone de socle un accent particulier devra être mis sur la détermination des fissures, car les aquifères de fractures permettent d'assurer la pérennité des ouvrages. Kouassi et al. (2012), prétendent que ces aquifères peuvent fournir des débits assez importants quand ils sont captés par les forages. Les débits obtenus dans ces aquifères de quelque m^3/h à $10m^3/h$. Cependant des débits relativement élevés peuvent être obtenus dans les zones de fractures broyées (plus de $10m^3/h$).

Pendant la phase de l'étude (acquisition des informations) sur les forages à gros débits de la zone d'intervention, avoir les coupes lithologiques. Ces éléments sont important à la validation de carte linéamentaire qui sera établie. Cette phase permettra l'élaboration des cartes thématique. Ces cartes seront des outils qui orienteront le choix de l'emplacement des futurs points d'eau. En milieux sédimentaires avec le principe de continuité des couches stratigraphies, l'établissement de ces cartes pourrait remplacer l'implantation au GPS.

VII.1.2.3 La Prospection Géophysique

C'est la plus importante dans le processus d'implantation des forages en zone de socle. C'est-à-dire d'arriver à bien identifier et localiser les fractures qui sont les couloirs de circulation d'eau dans le milieu fissuré. Pour Youan et al. (2008), le nombre de fractures et le nombre d'intersections de fractures sont des mesures de la perméabilité secondaire moyenne de l'aquifère de roche cristalline et, par conséquent, de la grandeur d'écoulement d'eau souterraine autour du puit. Lorsqu'elle est bien menée, ses résultats contribuent à l'augmentation des taux de succès. La structure d'accueil possède deux appareils qui lui permettent lors des campagnes d'effectuer la méthode électrique ou électromagnétique. Les directions des profils doivent être perpendiculaires aux directions majeures obtenues du traitement des images satellitaires couvrant la zone d'intervention.

VII.1.2.3.1 La prospection électrique

VII.1.2.3.1.1 Le profil ou trainé électrique

Pour Kouassi et al. (2013), les traînées électriques sont effectuées de façon horizontale, et font ressortir les zones plus conductrices qui sont de faible résistivité et les zones moins conductrices de fortes résistivités. Ainsi, les fractures pouvant contenir de l'eau, seront mises en évidence par les traînées électriques à travers des résistivités faibles. La traînée électrique permet de mettre en évidence des types et formes d'anomalies. La longueur de la ligne AB doit être prise de manière à ce que la profondeur d'investigation du courant puisse atteindre les horizons fissurés ; la relation suivante, permettra de pouvoir définir la longueur de la ligne AB où P_{moy} est la profondeur moyenne en mètre de l'horizon fissuré. Selon J.M.Vouamoz, la longueur de la ligne doit être $AB = 5.27 * P_{moy}$ pour un dispositif Schlumberger.

Or la méthode hérite du C.G.G qui veut que $AB = 180$ m, $MN = 20$ m et avec des pas de mesure de 20 m. Selon A.N.Savadogo (1984), pourrait avoir des insuffisances quant à l'atteinte de la cible hydrogéologique (l'horizon fissuré). Car les milieux de socle sont caractérisés par une hétérogénéité faisant que les cibles hydrogéologiques varient considérablement.

Pour Kouassi et al. (2013), dans la prospection d'eaux souterraines en milieu cristallin, lorsque ces anomalies sont déviées, on assiste à de nombreux échecs pendant la phase d'exécution du forage (forage négatif) ou encore à plusieurs problèmes liés au fonctionnement du forage (intermittence, dépérissement et tarissement).

Il faudra donc bien représenter les résultats des prospections sur du papier semi-log afin de mieux voir l'allure de la courbe et identifier les types ou formes d'anomalies qu'on peut avoir. Dieng et al, (2004) affirment que les types ou formes d'anomalies sont des facteurs qui permettent d'augmenter le taux de succès pour une zone donnée et lorsqu'on doit faire le choix entre ces types d'anomalie sur différente formation lithologique, le choix devra se porté sur le schiste, car quel que soit le type d'anomalie, le taux de réussite le plus élevés se rencontrent en zone schisteuse. Lorsqu'on devra choisir entre le compartiment conducteur large et celui du compartiment conducteur étroit, il faut faire le choix du compartiment conducteur large, car il offre des résultats meilleurs. La forme d'anomalie qui donne les meilleurs résultats, quel que soit le contexte géologique est celle en U. Les formes en V et H donnent des résultats moins bons ; la forme en H serait celle qui donne des résultats largement plus satisfaisants que celle en V. Pour Kouassi et al, (2013) qui citent Kouadio, (2005) et Kouadio et al, (2008) les formes V, W et U du point de vue géophysique traduisent des zones de faibles résistivités qui peuvent être assignées à des fractures ou des fissures pouvant servir de cadre pour une retenue d'eau dans le socle cristallin.

Lorsqu'on identifie mal la forme ou le type d'anomalie le forage sera mal implanté, donc sera négatif. Kouassi et al. (2013) citant Savané. (1997) prétendent que la mauvaise implantation d'un forage s'explique par le fait que le forage n'est pas positionné au niveau des zones favorables c'est-à-dire sur les fractures productives. Le cas des forages bien implantés mais qui connaissent un problème de ravitaillement en eau serait dû à un problème d'équipement ou de communication entre les fractures.

La trainée lorsqu'il est représenté permet aussi d'avoir une idée sur l'indice de fracturation d'une roche noté IF. Lorsque plusieurs fractures sont mises en évidence il faudra choisir celles dont $IF > 2$ et ne retenir que ceux qui possèdent IF le plus grand, car pour Dieng et al. (2004) le taux de succès croit avec l'augmentation de l'indice de fracturation quelque soit la formation géologique. Les directions retenues pour la prospection doivent tenir compte des orientations obtenues lors du traitement des images satellitaires couvrant la zone. Plusieurs profils devront être réalisé afin d'avoir une large gamme de choix pour l'implantation. La réalisation de deux profils s'avère délicate si elles ne fournissent pas de bons résultats. Les membres de l'équipe de la prospection devront comprendre l'importance des actes. L'un des problèmes qui survient très généralement lorsque la

longueur de la ligne AB est très grande, est le sabotage soit de la part des humaines ou des animaux. Il faudra en tenir compte lors de la prospection.

Une des limites de la méthode que pratique la structure, qui est de ne pas procéder par un traitement. C'est à dire de ne pas représenter les résistivités apparentes en fonction de la ligne AB. Cette méthode à des limites sur le positionnement véritable ; la figure ci-dessous est une illustration. L'observation d'une valeur de résistivité faible ne traduit forcément pas la présence une anomalie, conductrice d'eau. Ce point peut aussi être une couche d'argile. Une fois de plus la représentation conduit à la confirmation de la nature de cette couche qui semble être conductrice.

Sur la figure ci-dessous le forage implanté est situé à deux mètres avant l'origine. Or la courbes de résistivité semble mettre en évidence une zone d'anomalie dont la forme associée à cette l'anomalie est de forme « V ». Le forage n'est pas sur cette anomalie. Ceci pourrait réduire la durée de vie de l'ouvrage.

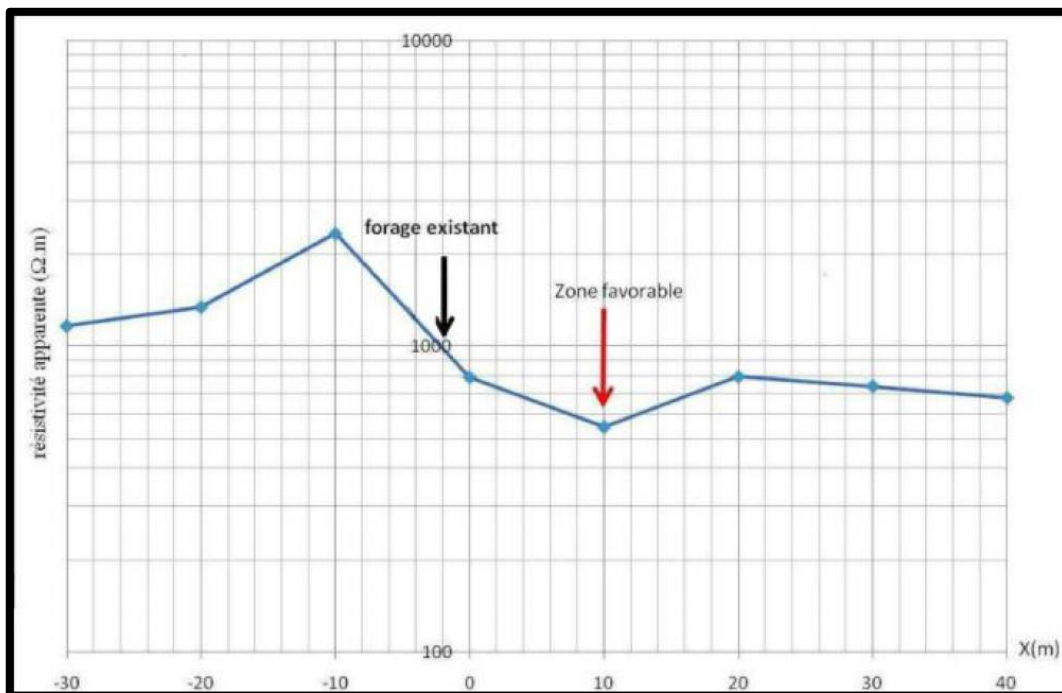


Figure 16 Exemple de trainée

Au-delà de la détermination de la position précise d'implantation la trainée permet de déterminer l'orientation d'une fracture. En faisant trois profils parallèles entre eux et suivant une direction commune :

- Position initiale sera notée L1_0+00 et la direction de référence est N170°.
- La seconde position peut être notée : L1_0+40 Ouest, c'est-à-dire à 40m du premier profil et à l'ouest de la direction choisie.
- Le troisième profil sera noté : L1_0+80 Est, c'est-à-dire à 80m du premier profil et en allant vers l'Est de la direction choisie.

Les profils étant parallèles entre eux, l'orientation se calcul par l'utilisation de la formule trigonométrique suivante.

$$\text{On a : } \operatorname{tg}\alpha = \frac{L1+L2}{X} \quad \Longrightarrow \quad \alpha = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{L1+L2}{X}\right)$$

L'orientation de la fracture avec l'horizontale est alors : $N(170+\alpha)^\circ$

Les avantages que présente cette méthode sont nombreux à savoir :

- L'identification de plusieurs anomalies ;
- L'obtention de l'orientation précise de la fracture

Lors de foration sur l'anomalie de forme M sur la position L1_0+40 Est à fournie un débit de $14\text{m}^3/\text{h}$. Les deux autres formes peuvent être répertoriées pour d'éventuelles prospections dans la zone. La variation de la longueur AB permet d'apprécier la qualité de la fracture observée.

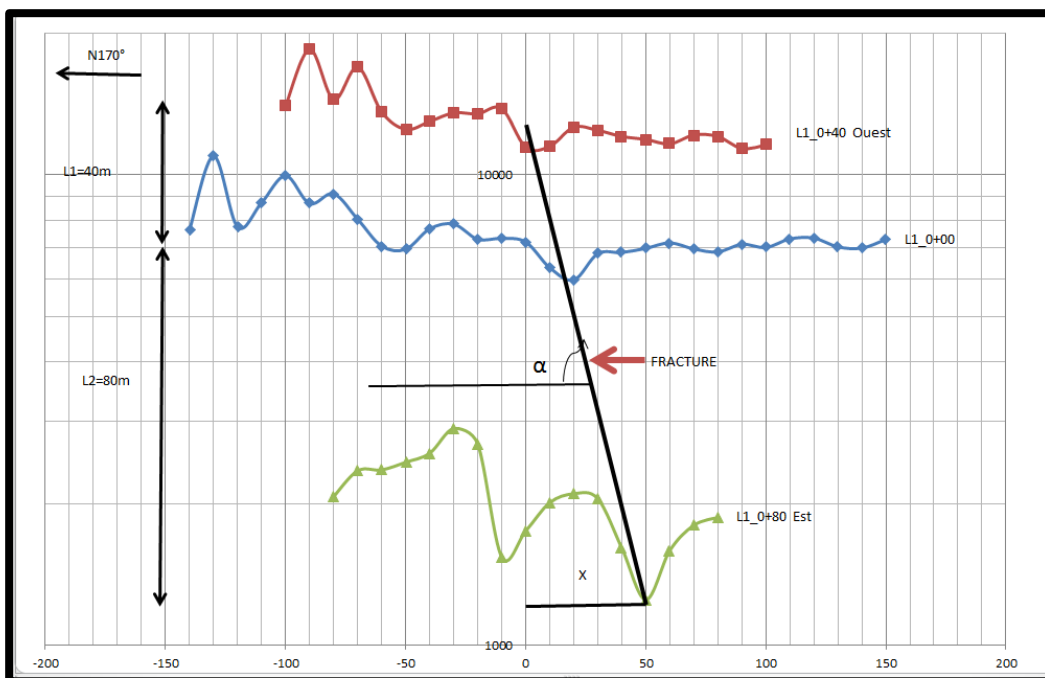


Figure 17: Trainée électrique à multiple position

VII.1.2.3.1.2 Le sondage électrique

Le sondage électrique apporte des informations quantitatives à la verticale du point de mesure. Comme la trainée la longueur de la ligne AB devra être prise de manière que $AB/2$ puisse permettre la représentation de la cible hydrogéologie.

Pour Same, (1995) l'interprétation des sondages électriques doit permettre d'obtenir l'épaisseur et la résistivité spécifique de chacune des couches à l'aplomb du centre du sondage, les grandes différences de résistivité observées au sein d'une même roche s'expliquent en partie par une saturation ou non d'eau ; par une fracturation plus ou moins intense ; par les variations de salinité des eaux connées (pour les sédiments), par la présence d'argiles (dans les grès et les roches carbonatées), ces variations peuvent entraîner des confusions ; ainsi des sables et des calcaires peuvent très bien présenter des résistivités identiques . La connaissance de la géologie est nécessaire pour l'établissement de la coupe lithologie avant la foration afin de définir la cible hydrogéologique, ainsi les profondeurs d'espoirs et de désespoirs pourront être définies. Ces paramètres sont importants lors de la foration. Pour Mathiez et Huot, (1996) le sondage fournit le critère le plus sensible à la présence ou à l'absence de l'eau. L'eau abaisse la résistivité des aquifères et les tranches humides sont toujours très conductrices de 6 à 20 Ohm-mètre et ce critère a été vérifié pas de nombreux puits et forages. Pour juger qu'un point est favorable, il faut que le diagramme du sondage électrique indique un horizon très conducteur de recouvrement, il faut vérifier que l'horizon conducteur n'est pas une couche d'argile. Cette identification peut se faire par l'utilisation de la formule d'Archie pour Same, (1999) La formule d'Archie permet dans les cas favorables (en supposant que le taux d'argile reste constant dans une roche donnée). Pour Same, (1997), Lorsque $F < 2,5$, ceci note la présence d'argiles dans la formation aquifère.

Lors de l'interprétation il faut éviter les modèles mathématiques lorsque les logiciels d'interprétation sont utilisés, car l'interprétation de l'ensemble des résultats nécessite une inversion des mesures pour obtenir un modèle. La phase d'inversion des mesures nécessite de vérifier un ensemble d'hypothèses pour l'interprétation des résultats. En fonction des paramètres de l'inversion, un ensemble de modèles peuvent correspondre aux données

mesurées. Le résultat obtenu par l'inversion des mesures n'est donc pas unique. Pour Dieng et al. , (2004) on assiste généralement à une incohérence entre les résultats de sondage et couple géologique de forage, cela est dû à la non considération de la géologie lors de l'interprétation de sondage, or elle doit faire l'objet d'une attention particulière. Car lorsque l'incohérence va dans le sens de la sous-estimation, ceci pourra conduire à définir des profondeurs d'espoirs et de désespoirs minimisés et conduire à déclarer des forages négatif, or la cible hydrogéologique n'est pas atteinte.

Pendant l'interprétation, Savadogo , (1984) affirme, qu'en outre de la mise en évidence des terrains conducteurs notamment une arène grenue et une frange fissurée caractérisées par une gamme de résistivités, elle peut se faire par l'observation de certaines caractéristiques de la courbe de sondage :

- La remontée trainante qui met en évidence la frange fissurée : plus elle est importante la frange fissurée est étendue.
- L'embrayage : il consiste lors du sondage, a mesuré pour une longueur AB constante, deux valeurs de résistivités en variant la longueur MN ; il est généralement réalisé que les lectures de ΔV deviennent très difficiles à cause d'une longueur de ligne MN très petite. Lorsqu'on a un embrayage négatif cela signifie qu'on passe de l'arène grenue, à un noyau argileux ; par contre un embrayage positif indique qu'on quitte l'arène pour s'intéresser à la frange fissurée.

VII.1.2.3.2 La prospection électromagnétique

L'appareil utilisé pour cette prospection est EM34-3 de GEONICS, c'est un instrument simple à mettre à œuvre pour toute étude géologique et hydrogéologique. Les applications de l'EM34-3 les plus courantes sont la cartographie des sols pour la recherche de nouvelles nappes phréatiques mais également la recherche de zones aquifères contaminées. Les bobines disposent de 3 écartements différents (10, 20 et 40 m) de manière à atteindre des profondeurs d'investigations de 60 m. En mode dipôle vertical, l'EM34-3 est très sensible aux anomalies géologiques verticales. Il est largement utilisé pour la recherche d'eau à des profondeurs de 30 m environ dans des milieux fracturés.

➤ La mise en œuvre

Les conditions qui doivent être remplies pour la réalisation des prospections électromagnétiques selon Chalikakis, (2006), elles sont aux nombres de trois à savoir :

- Le magnétique primaire issu de l'émetteur doit pénétrer suffisamment dans le sous-sol.
- Ces formations du sous-sol doivent présenter des conductivités suffisantes pour que les courants électriques induits soient non négligeables et puissent y prendre naissance.
- Le champ prenant naissance dans les formations conductrices du sous-sol doit pouvoir être perçu en surface.

Une bonne connaissance de la géologie est impérative pour l'emploi de l'EM34-3, car les milieux très conducteurs limiteront la profondeur d'investigation. En zone très conductrice, l'utilisation, l'écartement de 40 m est le plus recommandé, car cet écartement peut atteindre théoriquement 60 m. En zone moins conductrice où en zone d'affleurement rocheux la profondeur de venues majeures doit être le critère de sélection pour l'emploi des écartements de 40m et 20m. Les pas de mesures sont effectués de 10m, vue la rapidité de la méthode, les pas de mesures devront être réduits à 5m après chaque point de mesure, ceci permettra que les anomalies dont les largeurs sont inférieures à 10m seront identifiés.

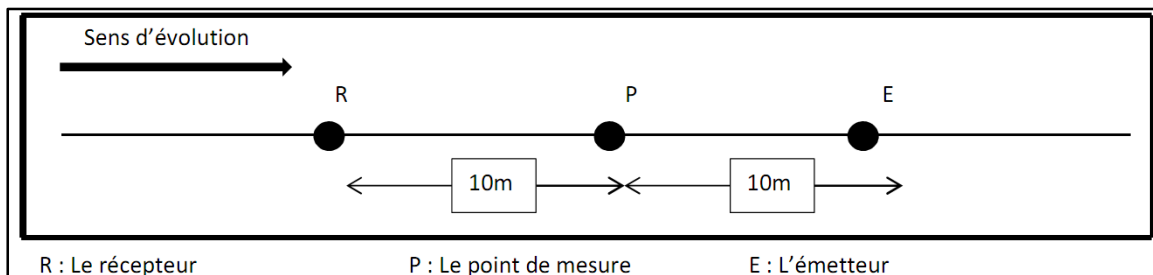


Figure 18: Mode de mise en œuvre de l'EM34-3 avec le câble de 20m

L'utilisation de cette méthode géophysique en zone moins conductrice est beaucoup délicate, car selon Chalikakis, (2006) qui cite Spies and Frischknecht, (1991), les techniques électromagnétiques (EM) sont en général plus sensibles à l'épaisseur h d'un résistif qu'à sa résistivité ρ . Pour les conducteurs, elles sont plus sensibles à la conductivité σ qu'à son épaisseur h . Donc les techniques EM ne peuvent pas être les techniques de choix, comme il l'est actuellement. Il faut d'autres techniques complémentaires afin d'éviter assez d'échec.

VII.1.2.4 Contrôle de forage

Pendant la réalisation des forations les entreprises ne font toujours pas preuve de respect des prescriptions des clauses techniques énoncées dans les dossiers techniques. Divers problèmes sont survenus pour des raisons de négligences ou de façon délibérée. Ce qui est confirmé par les dires de Savadogo,(1984) qui stipule que : devant les difficultés représentées par la traversée des arènes et des argiles fluents pour des ateliers non équipés en conséquence, certains entrepreneurs n'hésitent pas à mettre en cause la fiabilité des études d'avant forage. D'autres vont jusqu'à frauder sur la profondeur recommandée des qu'ils sont obligés d'interrompre techniquement la foration.

Lors de la foration un accent particulier devra être mis sur les points suivants :

VII.1.2.4.1 L'analyse des cuttings de forage

Le fluide utilisé étant de l'air les cuttings sont propres et non mélangés à une boue. Leur analyse en est donc facilitée. En règle général, plus ils sont gros plus le terrain traversé est friable et plus ils sont fins (poussière), plus la roche forée est dure. L'ACF, (2007) soutient qu'en forage à l'air, les venues d'eau sont dans la majorité des cas visibles et quantifiables, par la remontée d'un mélange eau et cuttings au soufflage. Toutefois, des venues d'eau peuvent être ignorées car colmatées par les cuttings qui forment un cake sur les parois du forage.

Il est facile d'estimer le débit en cours de forage, pour décider de son arrêt et de son équipement :

- Une mesure de débit est prise à chaque venue d'eau importante et sur un temps assez long (soufflage). Toute l'eau sortie du forage est canalisée vers un exutoire équipé par un bout de tube de forage pour faciliter la mesure prise au seau.
- La venue d'eau doit être régulière et ne pas s'épuiser. Le débit mesuré est minimisé puisque les cuttings colmatent certaines zones d'alimentation et le forage n'est pas encore développé correctement.
- Les venues d'eau sont en général progressives, elles apparaissent sous forme de traces d'humidité puis au fur et à mesure de l'avancement du forage par un débit cumulé provenant des diverses fissures ou fractures.

Dans certains cas, la traversée d'une fracture majeure bien alimentée entraîne l'augmentation radicale du débit.

Ces phénomènes indiquent que le forage traverse des horizons perméables. Les traces d'oxydation et d'altérations visibles sur les grains de quartz et de feldspath (aspect

ocre/rouille) sont signes d'une circulation d'eau souterraine. Celle-ci peut être ancienne et ne plus correspondre aujourd'hui à une circulation d'eau (ACF, 2007).

Pour les forages profonds (plus 90m) traversant ou non deux aquifères sédimentaires, il est judicieux de procéder à la réalisation de la diaggraphie électrique. Elle conduit à la détermination de la stratigraphie des couches traversées, afin d'établir le plan de tubage. Il a été constaté que de nombreuses difficultés sont observées lors des forations en ceux qui concerne le prélèvement des cuttings, surtout lorsque le fluide de forage est réalisé à base de bentonite.

VII.1.2.4.2 Equipements

Selon AFD, (2011), Le plan de tubage s'établit en fonction de la coupe hydrogéologique du forage obtenu après analyse des cuttings de forage.

Le bas des tubages doit être constitué en tube plein sur une hauteur de trois mètres pour constituer de sabot et de décanteur. Toute la colonne sauf au toit de l'aquifère (les venues d'eau retenues) devra être équipé de tube plein. Les crépines sont ensuite placées au droit des venues d'eau. Ces crépines doivent remplir des conditions, afin de pouvoir recueillir le débit souhaité, les crépines doivent être choisies selon : la nature des matériaux qui constitue l'aquifère, la nature de matière dont il est fait, sa longueur doit être au minimum de 3m, la taille et forme de ses ouvertures et son coefficient d'ouverture en tenant compte de la granulométrie de l'aquifère. Pour une nappe captive il faudra que la longueur des crépines soit de 80 à 90% de la longueur de l'aquifère. Pour une nappe libre dont l'aquifère à une granulométrie homogène il faudra équiper 50 à 80% de la longueur utile de l'aquifère, lorsque celui-ci est hétérogène on positionne l'aquifère dans les couches les plus perméables ; la longueur totale doit être de l'ordre du tiers de la longueur de l'aquifère.

Une fois le tubage mis en place, il faudra procéder à la descente des granulats (massif filtrant. Selon l'ONG ACF. (2007), le gravier filtre doit être assez uniforme, calibré, propre, rond et siliceux de préférence pour garantir une bonne porosité et augmenter sa durée de vie. Il ne doit pas être calcaire, latéritique ou concassé. Le gravier peut rester bloqué et former un pont qui obstrue l'espace annulaire. Dans ce cas, la mise en route d'une circulation d'eau peut favoriser sa descente. Une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint le haut des crépines, la boue ne remonte plus par le tube de forage mais par l'espace annulaire : le massif de gravier doit dépasser le haut des crépines sur quelques mètres (ACF, 2004).

Avant la descente des tout-venants de forage, il est important de placer des packer entre le massif filtrant et de ces éléments.

VII.1.2.4.3 Le développement

Selon David dans la revue technique de Comité International de la Croix Rouge après l'installation du tubage définitif, des crépines et du massif filtrant (le cas échéant), le trou contiendra de l'eau sale, de la boue, de la roche broyée, de l'huile (des machines de forage) et peut-être d'autres débris. Le développement peut aussi réparer les dommages que le processus de forage a causé à l'aquifère adjacent, développer l'aquifère (accroître la transmissivité) et améliorer le rendement du forage.

Comme l'explique Driscoll dans son ouvrage « Groundwater and wells », le développement a deux objectifs principaux :

- Réparer les dommages causés à la formation durant l'opération de forage afin que ses caractéristiques hydrodynamiques naturelles soient restaurées.
- Modifier les caractéristiques physiques essentielles de l'aquifère près du forage afin que l'eau s'écoule plus librement vers un puit.

Il doit être effectué et complet avant que l'entrepreneur ne se déplace sur le site suivant. Si la formation autour de la zone de la crépine du massif filtrant n'est pas bien rincée, l'efficacité du forage peut baisser et la crépine risque de se colmater avec le temps. Lorsque c'est possible, le développement naturel des forages doit être adopté. Le développement des forages est mieux entrepris en appliquant consciencieusement de l'air comprimé ou de l'eau sous pression à toute la longueur équipée de crépine. La mise en pression avec un système de soupape est aussi acceptable. Le forage doit être développé jusqu'à disparition des particules fines et de la turbidité. Du chlore peut également être introduit avant le développement du forage pour faciliter la décomposition du polymère de forage. Une fois que l'eau remontée est claire, le volume d'eau extrait du forage par l'air lift doit être quantifié et le débit pompé «air-lift» noté dans les archives (ACF, 2004).

CONCLUSION GENERALE

La réussite des campagnes d'implantation nécessite le respect strict des clauses techniques particulières. La connaissance de la géologie et l'estimation de la profondeur de l'horizon fissuré sont des outils importants lors des campagnes d'implantation. L'utilisation des outils informatiques (logiciels) pourrait contribuer de façon considérable à l'augmentation du taux réussite d'implantation de forage. Les méthodes géophysiques doivent être utilisées simultanément, à cause des insuffisances qu'elles présentent aux différentes formations géologiques. Une meilleure organisation des travaux du bureau pourraient faciliter les missions de terrain, qui devront être accomplies avec soins. Les résultats des travaux de terrain sont conditionnés par les qualités techniques, physiques et le nombre des membres qui composent l'équipe. Le chef de mission se doit d'être un exemple dans la mise en œuvre des directives de travail. Lors du contrôle des travaux de réalisation de forage, le respect des directives techniques doit faire l'objet d'attention particulière.

RECOMMANDATIONS

- Une réorganisation des différents services s'impose pour le bon fonctionnement du bureau.
- Elaborer le programme des missions ce qui évitera les pertes de temps sur le terrain.
- Procéder à la géophysique 2D, car elle permet de mieux voir les formations, les diverses anomalies.
- Reconstruire une base de données uniquement pour les forages négatifs lors des campagnes en vue de l'interprétation pour la détermination des différentes causes des échecs.
- Exiger lors de la réalisation des forages la présence de toutes les parties composantes de l'atelier de foration .Ceci permettra d'éviter les pertes de temps et la pratique d'action qui pourrait endommager l'ouvrage.
- Acquérir les données SIG des zones d'interventions, afin de faciliter le traitement des informations. Les informations concernant la géologie, l'hydrogéologie, les cours d'eaux, les routes sont importantes pour le traitement d'image satellitaire et les acquittions d'information à l'échelle locale.
- L'acquisition du logiciel d'interprétations de sondage géophysique IPI2WIN, car il fait une bonne représentation des couches traversées par le courant électrique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Rural Supply NetWork (RWSN). «Code de bonne pratiques pour la réalisation de forage
» 2012.
- Samuel NAKOLENDOUSE. Méthodes d'évaluation de la productivité des aquifères au
Burkina Faso Géologie-Géophysique-Télé-détection. Thèse de doctorat, Grenoble
I, 1991.
- Amani Michel KOUASSI, Drissa COULIBALY, Blaise YAO, and Jean BIEMI.
«Application de méthodes géophysiques à l'étude la productivité des forages d'eau
en milieu cristallin: cas de la région de Toumodi» *International journal of
Innovation and Appied Studies ISSN 2028-9324 vol.2 No 3* , Mars 2013 : 324-334.
- Jean BIEMI. «Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique et par télé-détection
des bassins versant subsahiens du socle précambrien d'Afrique de l'ouest :
hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie, et isotopie des aquifères
discontinus» Thèse de doctorat, Abidjan , 1992.
- Brou DIBI, Inza DOUMOUYA, B.T.Albert GOULA, Issiaka SAVANE, and Jean
BIEMI. «Analyse statistique des paramètres influençant la productivité des
forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboisso
(sud-est de la Côte d'Ivoire)» *Sud Sciences et Technologies N° 13*, Décembre
2004: 21-31.
- Konstantinos CHALIKAKIS. «Application de méthodes géophysiques pour la
reconnaissance et prtection de la ressources en eau dans le karistique.» Thèse de
doctorat , Paris , 2006.
- Cyrille FAUCHARD, Patrice MERIAUX. «Les méthodes de reconnaissance à grand
rendement adaptées aux digues de protection contre les inondations» *Ingénieries
Spécial*, 2007: 239-253.
- Cyrille FAUCHARD, Patrice MERIAUX. «Mise en oeuvre des méthodes géophysiques à
grand rendements pour diagnostic des digues de protection contre les inondations»
Ingénieries Spécial, 2005: 83-90.
- Same DIOUF. «HYDROGEOLOGIE EN ZONE DE SOCLE CRISTALLIN ET
CRISTALLOPHYLLIEN DU SENEGAL ORIENTAL : Application de la
méthode électrique ID et 2D à la localisation et à la caractérisation des aquifères
du batholite de Saraya et ses environs» Thèse de doctorat 3 ème cycle, Dakar,
1999.
- Action contre la faim (ACF). *Eau-Assainissement-Hygiène pour les populations à
risque*. Edition HERMANN, 2007.
- Aurélien HOUÉSSON. «Livre Bleu Benin» *L'eau ,l'assainissement, la vie et le
developpement humain*. 2008.

IGIP. *Note explicative de la carte du bassin sédimentaire côtier à l'échelle du 1/200 000°*.
Octobre 2011.

Issiaka SAVANE, Bénie GOZE, and Jean BIEMI. «Evaluation des ressources en eau dans le socle par l'étude des fractures à l'aide des Landsat (bassin d'Odienné, Côte d'Ivoire)» *Evaluation des ressources en eau (Côte d'Ivoire)*, 2006: 127-136.

Kanohin Fulvie épouse OTCHOUMOU, Mahaman Bachir SALEY, Gabriel Etienne AKE, and Issiaka SAVANE. «Apport de la télédétection et des SIG dans l'identification des ressources en eau souterraine dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)» *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol.1 N° 1*, Novembre 2012: 35-53.

Mahamadou KOITA. «Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimlbokoro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)» Thèse de doctorat, Montpellier II, 2010.

Koussi Ernest AHOUSSE, Yao Blaise KOFFI, and Jean BIEMI. «Fonctionnement hydrodynamique des aquifères discontinus de la région d'Abidjan -Agboville (sud de la Côte d'Ivoire)» *International Journal of Geography and Geology*, 2013 2(5): 52-69.

M.J. MANGOUE, S.TOURE, B.T.A.GOULA, K B.YAO, I.SAVANE, et J.BIEMI. «Evaluation des caractéristiques des aquifères fissurés du bassin versant de la baya ou bâ (Est de la Côte d'Ivoire)» *Revue Ivoire Science Technologie 16 ISSN 1813-3290*, 2010: 243-259.

Marc DESCLOITRES, Anatoly LEGCHENKO. «La caractérisation géophysique des aquifères par tomographie de résistivité électrique et sondage de résonance magnétique» *Journées GEMME*. Grenoble, 2007.

Marc Youan TA, Théophile LASM, Jean Patrice JOURDA, Koffi Frenand KOUAME, and Mountaz RAZACK. «Cartographie des accidents géologiques par satellite Landsat -7 ETM+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (nord-est de la Côte d'Ivoire)» *Revue Télédétection Vol. 8 N° 2*, 2008: 119-135.

Babacar NDIAYE. «Contribution à la définition et l'estimation des potentialités hydrauliques en milieu fissuré » Thèse de doctorat, Dakar, 2004.

Patrick LACHASSAGNE, and Robert WYNS. «Aquifères de socles: nouveaux concepts . Application à la prospection et la gestion de la ressource en eau » *Géosciences N°2*, Septembre 2005: 32-37.

Same DIOUF. «Application de la géophysique (électrique et sismique à l'étude de la géométrie du réservoir de l'aquifère du littoral nord Sénégal (de taïba à rao)»
Thèse de doctorat, Dakar, 1995.

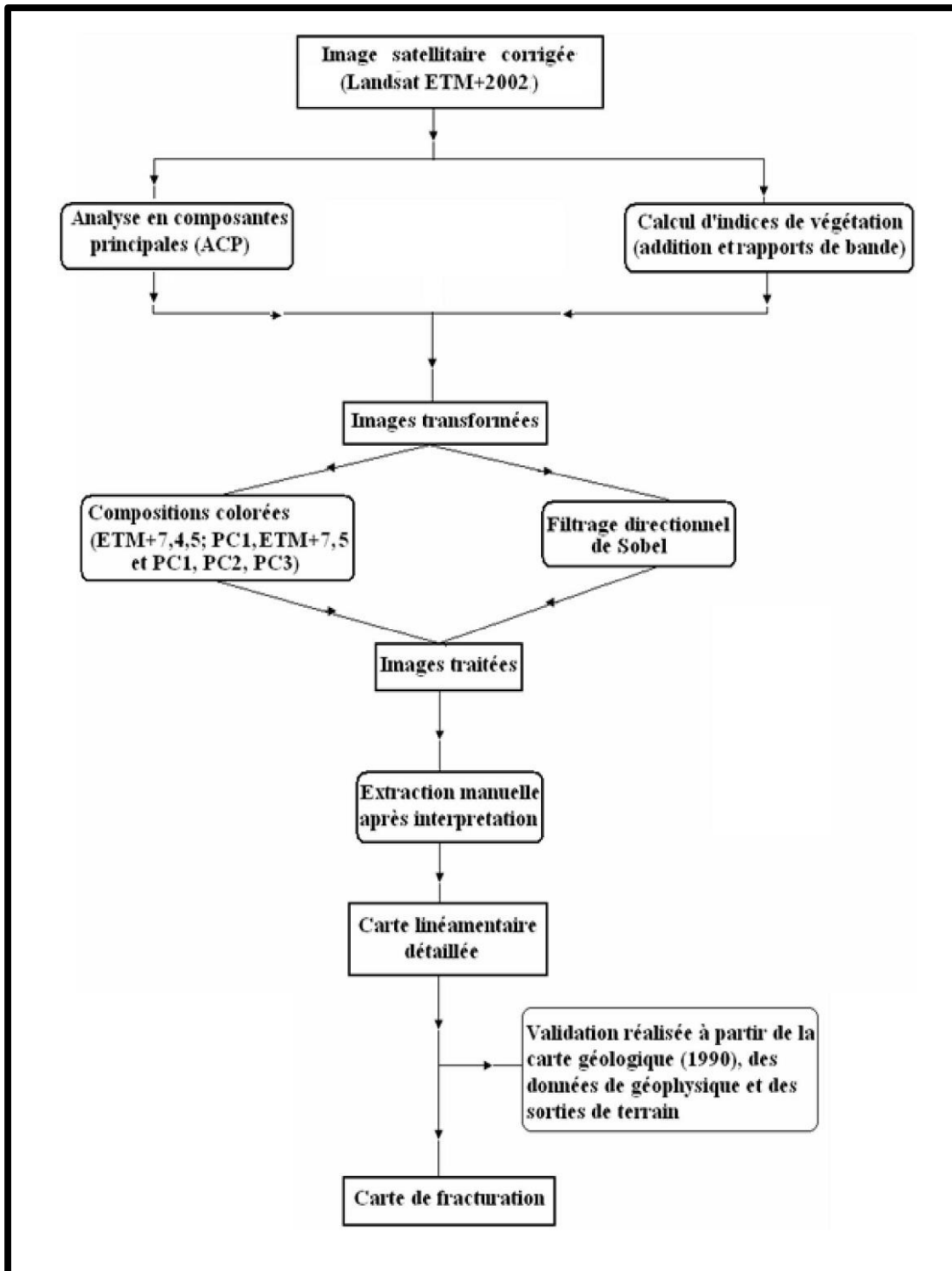
Alian Nindaoua SAVADOGO. «Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta: étude régionale du bassin versant de la Sissili» Thèse de doctorat,
Grenoble, 1984.

Youssef KOUSSOUBE, Alain. N.SAVADOGO, Samuel NAKOLENDOUSSE.
«Efficence de trois méthodes géophysiques d'investigation latérales dans la mise des contacts entre des formations géologiques du protérozoï inférieur du Burkina Faso» *PANGEA*, Décembre 2000: 49-60.

ANNEXES

Annexe 1: Procédure d'établissement de la carte de fracturation	A
Annexe 2: Les différentes formes d'anomalies	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 3: Téléchargement d'image : étape 1	C
Annexe 4: Téléchargement d'image étape 2	D

Annexe 1: Procédure d'établissement de la carte de fracturation

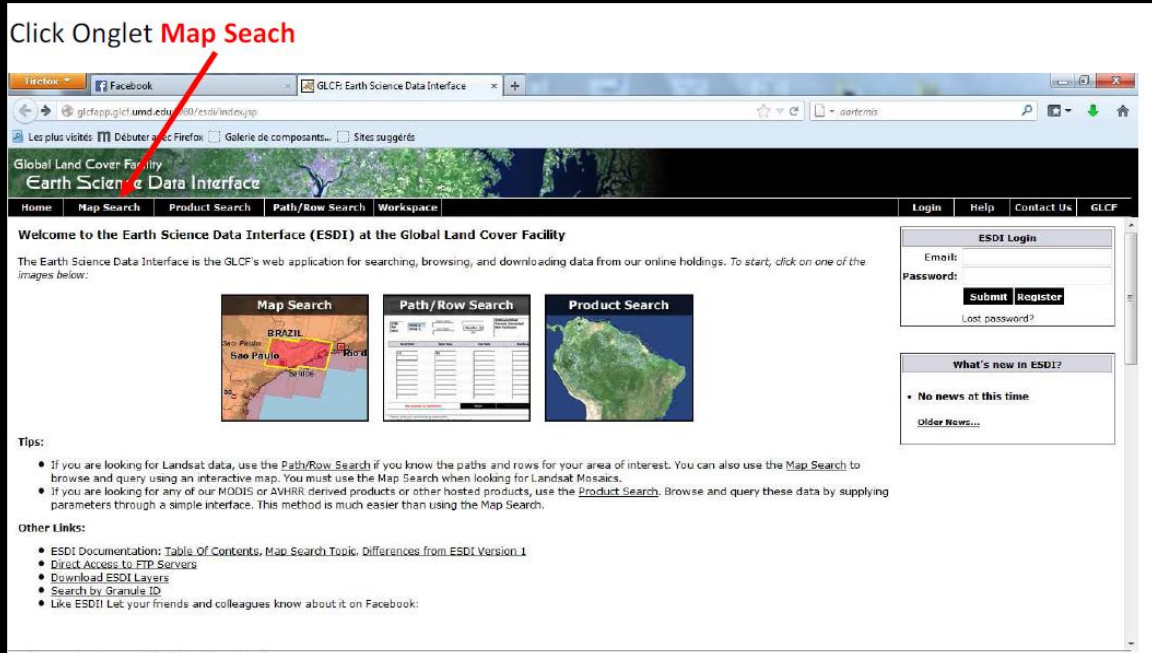


Annexe 2: Les différentes formes d'anomalies

Forme V	
Forme U	
Forme W	
Forme M	
Forme K	
Forme C	
Forme H	

Annexe 3: Téléchargement d'image : étape 1

Click Onglet **Map Search**



Welcome to the Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility

The Earth Science Data Interface is the GLCF's web application for searching, browsing, and downloading data from our online holdings. To start, click on one of the images below:

- Map Search
- Path/Row Search
- Product Search

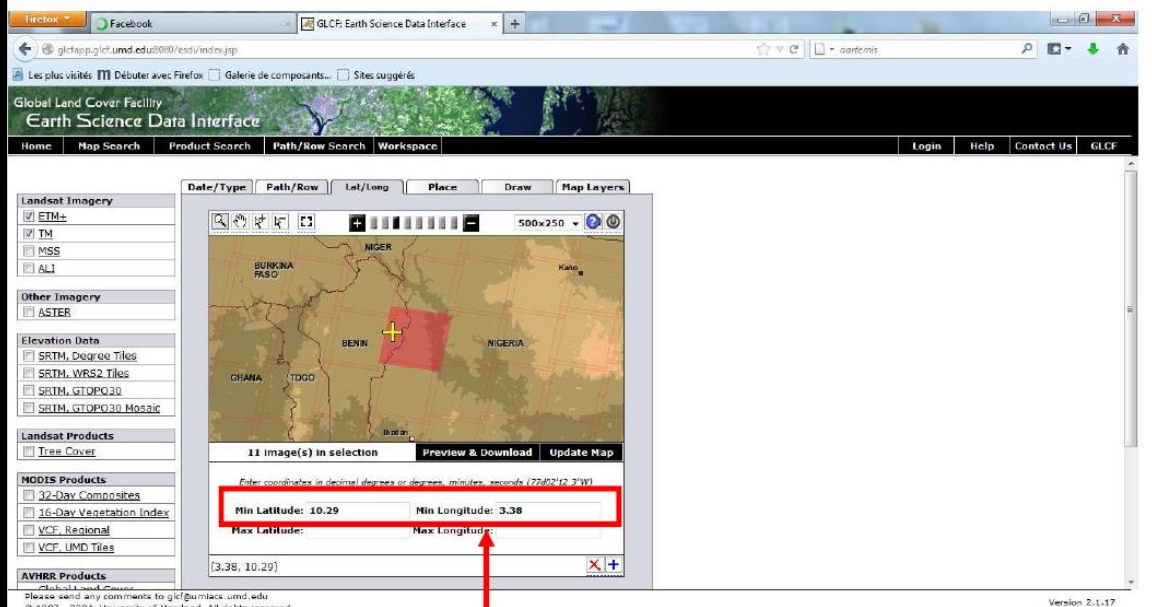
Tips:

- If you are looking for Landsat data, use the Path/Row Search if you know the paths and rows for your area of interest. You can also use the Map Search to browse and query using an interactive map. You must use the Map Search when looking for Landsat Mosaics.
- If you are looking for any of our MODIS or AVHRR derived products or other hosted products, use the Product Search. Browse and query these data by supplying parameters through a simple interface. This method is much easier than using the Map Search.

Other Links:

- ESDI Documentation: Table Of Contents, Map Search Topic, Differences from ESDI Version 1
- Direct Access to FTP Servers
- Download ESDI Layers
- Search by Granule ID
- Like ESDI! Let your friends and colleagues know about it on Facebook!

Please send any comments to gkl@umiac.umd.edu
© 1997 - 2004, University of Maryland. All rights reserved. Version 2.1.17



Global Land Cover Facility
Earth Science Data Interface

Home Map Search Product Search Path/Row Search Workspace Login Help Contact Us GLCF

Landsat Imagery

- ETM+
- TM
- MSS
- ALI

Other Imagery

- ASTER

Elevation Data

- SRIM, Degree Tiles
- SRIM, WRS2 Tiles
- SRIM, GTOP30
- SRIM, GTOP30 Mosaic

Landsat Products

- Tree Cover

MODIS Products

- 32-Day Composites
- 16-Day Vegetation Index
- VCF, Regional
- VCF, UMD Tiles

AVHRR Products

Global Land Cover Facility
Please send any comments to gkl@umiac.umd.edu
© 1997 - 2004, University of Maryland. All rights reserved. Version 2.1.17

Enter coordinates in decimal degrees or degrees, minutes, seconds (22°02'12.3"W)

Min Latitude: 10.29 Min Longitude: 3.38

Max Latitude: Max Longitude:

[3.38, 10.29]

11 image(s) in selection Preview & Download Update Map

Entre les Coordonnées LAT et LONG de la zone d'étude en degré Decimal – Appuyer sur ENTREE

Une fois que l'image affiche la scene (bande ou rectangle en rouge au milieu de l'image)

Click sur **Preview & Download**

Annexe 4: Téléchargement d'image étape 2

Preview & Download

Click sur download pour voir les liens de téléchargement

Global Land Cover Facility
Earth Science Data Interface

Home Map Search Product Search Path/Row Search Workspace Login Help Contact Us GLCF

Landset Imagery
 ETM+
 TM
 MSS
 ALI

Other Imagery
 ASTER

Elevation Data
 SRTM, Degree Tiles
 SRTM, WRS2 Tiles
 SRTM, GTOPO30
 SRTM, GTOPO30 Mosaic

Landset Products
 Topo Cover

NODIS Products
 32-Day Composites
 16-Day Vegetation Index
 VCF, Regional
 VCF, LMD Tiles

AVHRR Products

11 image(s) in selection **Preview & Download** Update Map

Enter coordinates in decimal degree or degrees, minutes, seconds (74°12'30")

Min Latitude: 10.29 Min Longitude: 3.38
 Max Latitude: Max Longitude:
 (3.38, 10.29)

Please send any comments to glcf@umiacs.umd.edu.
 © 1997 - 2004, University of Maryland. All rights reserved. Version 2.1.17

TM
 WRS-2, Path 191, Row 053
 1986-10-21
 EarthSat
 Ortho, GeoCover
 Benin, Nigeria
 Online: 013-766
 Compressed Size: 137 MB; Actual Size: 380 MB

Info **Download**

Click on an ID below to Preview and Download. Click on the preview above to see a larger browse image.

<< First < Previous Page 1 of 1 Next > Last >>

show/hide columns

[ID]	Status	[WRS: P/R]	[Acq. Date]	Dataset	Producer	Attr.	Type	Location
013-766	Online	2: 191/053	1986-10-21	TM	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Benin, Nigeria
017-791	Online	2: 191/053	1986-10-21	TM	USGS	LIG	BSQ	Benin, Nigeria
036-408	Online	2: 191/053	2001-10-22	ETM+	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Benin, Nigeria
205-437	Online	2: 191/053	1986-10-21	TM	USGS	Ortho, GLS1990	GeoTIFF	Benin, Nigeria
214-175	Online	2: 191/053	2001-10-22	ETM+	USGS	Ortho, GLS2000	GeoTIFF	Benin, Nigeria
220-693	Online	2: 191/053	2006-11-05	ETM+	USGS	Ortho, GLS2005	GeoTIFF	Benin, Nigeria
236-223	Online	2: 191/053	1986-10-21	TM	USGS	LIT	GeoTIFF	Benin, Nigeria
245-194	Replaced	2: 191/053	2001-10-22	ETM+	GLCF	Surface Reflectance	GeoTIFF	Benin, Nigeria
254-494	Replaced	2: 191/053	2006-11-05	ETM+	GLCF	Surface Reflectance	GeoTIFF	Benin, Nigeria
271-143	Online	2: 191/053	2001-10-22	ETM+	GLCF	Surface Reflectance	GeoTIFF	Benin, Nigeria
280-433	Online	2: 191/053	2006-11-05	ETM+	GLCF	Surface Reflectance	GeoTIFF	Benin, Nigeria

Please send any comments to glcf@umiacs.umd.edu.
 © 1997 - 2004, University of Maryland. All rights reserved. Version 2.1.17