



B.E.E.S.T.H

LES TYPES DE SONDAGES ELECTRIQUES ET LA PREVISION DES DEBITS DE FORAGE : CAS DES FORAGES A GROS DEBIT DANS LES PROVINCES DES BALE ET DU MOUHOUN.

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIEURIE DEL'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES /EAUX SOUTERRAINNES

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Ahmed ZEBA

Travaux dirigés par : Dr Mahamadou KOITA
Enseignant chercheur
Département Hydraulique et Assainissement (DHA)
Et
M .Justin LOMPO
Ingénieur hydrogéologue au BEESTH-Sarl

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prénom NOM

Membres et correcteurs : Prénom NOM
Prénom NOM
Prénom NOM

Promotion [2013/2014]



Résumé

Les provinces du Mouhoun et des Balés sont situées dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. La zone climatique qui y règne est soudanienne et reçoit en moyenne entre 900 et 1100mm de pluie par an.

Les formations géologiques rencontrées dans ces provinces sont essentiellement des roches cristallines et sédimentaires (granites, schistes et le grès) d'âges Birimien à Antébirimien. Pour déterminer et quantifier l'influence des facteurs géophysiques et hydrogéologiques conditionnant la productivité des ouvrages dans ces deux provinces, une analyse des paramètres géophysiques tels que, les formes et les types d'anomalies de résistivités électriques et la productivité d'une part, et les paramètres de forages tels que l'épaisseur d'altération, l'horizon fissuré, le niveau saturé et la productivité des ouvrages d'autre part a été conduite.

Ces paramètres ont tous été analysés avec des méthodes statistiques telles que l'analyse factorielle à composante multiple, l'analyse en composante factorielle et les tableaux croisés dynamiques.

Les résultats issus de ces différentes analyses révèlent que, les formes d'anomalies susceptibles de fournir de gros débits sont respectivement W, U et V. Les types d'anomalies les ayant les plus grands potentiels de fournir des gros débits sont le CCE et CCL. Les types de sondages donnant lieu aux gros débits sont H et KH. Les épaisseurs d'altérations (EA) comprises entre 25-55 m sont les plus favorables aux débits forts car ces classes induisent les taux d'échec les plus bas (26% et 18%). La tranche de l'épaisseur saturée ayant permis d'obtenir des débits élevés est l'intervalle 45-55m et l'intervalle de la transmissivité la plus propice pour les gros débits est $[10^{-4} - 5.5 \cdot 10^{-4}]$. Du point de vue lithologique, le granite offre plus de chance d'obtenir des forages à gros débits.

Mots clés : granites, schistes, grès, productivité, forage, épaisseur d'altération, horizon fissuré, transmissivité, débits, statut, formes d'anomalies, types d'anomalies.

Citation

« Malheur à celui qui est seul et qui tombe, sans avoir un second pour le relever ».

Proverbe de la bible ; l'ecclésiaste, IV.10- II^e s av. J.-C.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

- ✓ A ma mère qui se sacrifie sur tous les plans pour mon bien-être et ma réussite.
- ✓ A mon père qui m'a forgé un caractère d'homme par sa rigueur.
- ✓ A mes deux petites sœurs qui malgré leurs jeunes âges m'ont toujours soutenues et encouragées.
- ✓ A mes deux grand-mères pour toutes leurs prières et leurs bénédictions
 - ✓ A mes camarades de promotion
- ✓ A tout le personnel du BEESTH-Sarl qui m'a accueilli comme leur propre enfant.
- ✓ A tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu matériellement, moralement et spirituellement depuis ma tendre enfance.

REMERCIEMENTS

Je remercie M. Alfred ZANZE, directeur général du Bureau d'Etude des Eaux souterraines et des Travaux Hydrauliques (BEESTH-Sarl), pour m'avoir accepté au sein de son entreprise durant la période de notre stage.

Mes sincères remerciement à mon maitre de stage M. Justin LOMPO ingénieur hydrogéologue et chef de service technique au BEESTH-Sarl pour tout le savoir-faire qui m'a fait acquérir.

Infiniment merci à mon encadreur Dr Mahamadou KOITA de 2IE pour ses conseils, ses orientations pour la réussite de ce travail.

Merci à tous le personnel du BEESTH-Sarl allant des cadres aux ouvriers pour leur disponibilité, leur gentillesse et leur ardeur au travail tant au bureau que sur le terrain.

TABLE DES MATIERES

Résumé	2
Citation	3
DEDICACE	4
REMERCIEMENTS	5
Listes des figures.....	9
Liste des tableaux.....	11
SIGLES ET ABREVIATIONS	12
INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE.....	13
Objectif global de l'étude.....	14
Objectifs spécifiques	14
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE.....	15
I : Généralités	16
I.1 Présentation de la zone d'étude.....	16
I.1.1 Situation géographique.....	16
I.1.2 : Climat et pluviométrie	17
I.1.3 : Végétation	17
I.1.4 : Géomorphologie et sols.....	18
I.1.5 : Géologie	19
I.1.6 : Hydrographie	21
I.1.7 : Hydrogéologie	21
I.1.8 : Modèle conceptuel en milieu de socle	22
CHAPITRE II: DONNES ET METHODES.....	24
.....	24
II.1 : Données	25
II.1.1: Données géophysiques	25
II.1.2: Données hydrogéologiques.....	26
II.2 : Méthodes.....	26
II.2.1 : Identification des types et formes d'anomalies	26
A : Les types d'anomalies.....	26
B : Les formes d'anomalies	27
C : Les types de sondages.....	28
II.2.2 : Méthode d'analyse des données de forages	29
A : Détermination de la transmissivité	29
B : Détermination du niveau saturée	29
C : Les débits.....	29
D : Epaisseurs d'altérations.....	29
E : Epaisseur fissurée.....	29
F : Statut	30
II.3 : méthodes d'analyses statistiques retenues.....	30
II.3.1 : Méthodes d'analyses.....	30

II.3.1.1 : Analyse factorielle à correspondances multiples(AFCM).....	30
II.3.1.2 : Analyse en composante principale (ACP).....	30
II.3.1.3 : Description de l'analyse des tableaux croisés dynamiques (TCD)	31
II.4 : Méthode d'interprétation des données et incidence sur le statut des forages.	32
II.4.1 : Bureaux d'étude	32
II.4.1.2 : Cette étude	32
II.4.1.3 Comparaison	32
CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	33
III.1 : Description statistiques des paramètres	34
III.1.1 : Les formes d'anomalies des profils de résistivités	34
III.1.2 : Les types d'anomalies des profils de résistivité	34
III.1.3 : Les types de sondages.....	34
III.1.4 : Lithologie	35
III.1.5 : Epaisseur d'altération	35
III.1.6 : Niveau saturé	35
III.1.7 : Débits.....	36
III.1.8 : Horizon fissuré.....	36
III.1.9 : Statut des forages.....	37
III.2 : Paramètres géophysiques en fonction de la lithologie.....	37
III.2.1: Granite	37
a- Statut et type d'anomalies	37
b- Statut et formes d'anomalies	38
c- Statut et types de sondages	39
d - Statut et épaisseur d'altération	39
d- Statut et horizon fissuré	40
e- Statut et épaisseur saturée	40
f- Débit et formes d'anomalies.....	41
g- Débit et types de sondages	41
h- Débit et épaisseur d'altération	41
i- Débit et horizon fissuré.....	42
j- Débit et épaisseur saturée.....	42
Conclusion sur le granite	43
III.2.2 : sur le grès	43
a- Statut et types d'anomalies.....	43
b- Statut et formes d'anomalies	44
c- Statut et types de sondages	45
d- Statut et épaisseur d'altération	45
e- Statut et cible hydrogéologique.....	46
f- Statut et épaisseur saturée	46
g- Débit et types d'anomalies	47
h- Débit et formes d'anomalies.....	47

i-	Débit et types de sondages	47
j-	Débit et épaisseur d'altération	48
k-	Débit et horizon fissuré.....	48
l-	Débit et épaisseur saturée.....	49
	Conclusion sur le grès	49
	III.2.3 : Schiste.....	50
a-	Statut et types d'anomalies.....	50
b-	Statut et formes d'anomalies	51
c-	Statut et types de sondages.....	51
d-	Statut et épaisseur d'altération.....	52
e-	Statut et épaisseur d'horizon fissuré.....	53
f-	Statut et épaisseur saturée	53
g-	Débit et types d'anomalies	54
h-	Débit et formes d'anomalies.....	54
i-	Débit et types de sondages	55
j-	Débit et épaisseur d'altération	56
k-	Débit et horizon fissuré.....	56
	Conclusion sur le schiste.....	57
	III.3 : Analyse à composante principale.....	59
	III.3.1 La matrice de corrélation	59
	III. 3.2 Conclusion pour l'ACP.....	61
	IV : Convergences et divergences sur l'interprétation.....	61
	IV.1 : Explication des divergences avec les données de l'entreprise.....	62
	IV.2 : Conclusion partielle.....	63
	CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	64
	Conclusion.....	64
	Recommandations.....	64
	Références bibliographiques	65
	REFERENCES DES SITES WEB.....	66
	ANNEXES	67
	Annexe 01 : situation de la zone d'étude	67
	Annexe 02 : Données pluviométriques de (03) trois départements de la zone d'étude de 2000 à 2014	67
	Annexe 03 : Données brutes	68
	Annexe 04 : Vecteurs propres	79
	Annexe 05 : Coordonnées des variables	80
	Annexe 06 : Corrélations entre les variables.....	80
	Annexe 07 : Cosinus carrés des variables	80
	Annexe 08 : Scree plot	81

Listes des figures

Figure 1: Présentation de la zone d'étude	16
Figure 2 : Evolution de la pluviométrie de 2000 à 2013.....	17
Figure 3: Répartition du type de végétation dans la zone d'étude.	18
Figure 4: différents types de sols dans la zone d'étude.....	19
Figure 5: Répartition des formations géologiques de la zone d'étude.	20
Figure 6: carte du réseau hydrographique	21
Figure 7 : Schéma conceptuel moderne d'un système aquifère de socle (Wyns et al. 2004)...	23
Figure 8 : Répartition des forages dans la zone d'étude	25
Figure 9 : Illustration des anomalies type compartiment conducteur large et étroit (Million, 1989).....	27
Figure 10: Illustration des anomalies de types contact entre deux paliers et palier conducteur (Million, 1989)	27
Figure 12: Diagramme circulaire du statut des forages.....	37
Figure 13: Statut et types d'anomalies.....	38
Figure 14: Statut et formes d'anomalies	38
Figure 15: Statut et types de sondages	39
Figure 16: Statut et épaisseurs d'altérations	39
Figure 17: Statut et horizon fissuré	40
Figure 18: Proportion des plages des épaisseurs d'altération en fonction du statut.....	40
Figure 19: Croisement débits et formes d'anomalies	41
Figure 20: Débits et types de sondages	41
Figure 21: Statut et types d'anomalies.....	44
Figure 22: Histogramme statut/formes d'anomalies.....	44
Figure 23 : Histogramme statut/types de sondages	45
Figure 24: Histogramme statut/épaisseur d'altération	45
Figure 25Histogramme statut/cible hydrogéologique	46
Figure 26: histogramme statut/épaisseur saturée	46
Figure 27: Histogramme débit/types d'anomalies	47
Figure 28: Histogramme débit/formes d'anomalies	47
Figure 29: Histogramme débit/types de sondages.....	48
Figure 30: Histogramme statut/types d'anomalies	50

Figure 31: Histogramme Statut/formes d'anomalies	51
Figure 32: Histogramme statut/types de sondages	52
Figure 33: Histogramme statut/épaisseur d'altération	52
Figure 34 : Histogramme statut/épaisseur saturée.....	53
Figure 35: Histogramme statut/épaisseur saturée.....	54
Figure 36: Histogramme débit/types d'anomalies	54
Figure 37: Histogramme débits/formes d'anomalies.....	55
Figure 38: Histogramme débit/types de sondages.....	55
Figure 39: Cercle de corrélation.....	59

Liste des tableaux

Tableau I : les sept formes d'anomalies.....	28
Tableau II: Analyse des formes d'anomalies.....	34
Tableau III: Analyse des types d'anomalies	34
Tableau IV: Analyse types de sondages.....	35
Tableau V: Répartition des plages d'épaisseur d'altération	35
Tableau VI : Répartition des plages d'épaisseur saturée	36
Tableau VII : Répartition des plages de débits	36
Tableau VIII : Répartition des plages l'horizon fissuré.....	36
Tableau IX: Tableau croisé entre débits et épaisseurs d'altérations	42
Tableau X: Tableau croisé entre débits et cible hydrogéologique	42
Tableau XI: Tableau croisé débits et épaisseurs saturées.....	43
Tableau XII: Tableau croisé débit/épaisseurs d'altérations	48
Tableau XIII: Tableau croisé débit/ cible hydrogéologique.....	49
Tableau XIV: Tableau de croisement Débit/épaisseur saturée	49
Tableau XV: Tableau de croisement débit/épaisseur d'altération	56
Tableau XVI: Tableau croisé débit/cible hydrogéologique	56
Tableau XVII: Tableau récapitulatif	58
Tableau XVIII: Matrice de corrélation.....	60
Tableau XIX: Tableau des valeurs propres	60
Tableau XX: Tableau de formation des axes factoriels	61
Tableau XXI: Tableau récapitulatif des discordances.....	62

SIGLES ET ABREVIATIONS

A: Courbe de Sondage à une seule branche montante

ACP : Analyse en composante factorielle

AFCM : Analyse factorielle à composante multiple

B: Electrodes de courant électrique

BEESTH: Bureau d'Etudes et des Eaux souterraines et des Travaux Hydrauliques

CCE: Compartiment Conducteur Etroit

CCL : Compartiment Conducteur Large

CEDP: Contraste Entre Deux Paliers

CIEH : Comité Inter – Etats d'Etudes Hydrauliques

DC : Courant Continu

DDP : Différence De Potentiel

DMS : Degré Minute Seconde

EA : Epaisseur d'altération

GPS : Global Positioning System

H : Courbe de sondage en fond de bateau

IBG : Institut Géographique du Burkina

IRD : Institut de recherche pour le développement

KH : Courbe de sondage qui commence par une forme en cloche et se termine en fond de bateau

Km : kilomètre

M ; N: Electrodes de potentiel

m : mètre

OMD: Objectifs du Millénaire pour le Développement

PC: Palier Conducteur

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

SIG : Système d'information Géographique

V : Volt

INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE

Dans la plupart des pays de l'Afrique occidentale, un des problèmes majeurs et récurrents est celui d'approvisionner en eau potable les populations surtout en milieu rural. Dans ces pays, en particulier pour ceux qui sont enclavés comme le Burkina Faso, les eaux de surfaces ne sont pas pérennes à cause de la valeur élevée de l'évapotranspiration due à une augmentation de la durée de la saison sèche et une tendance à la baisse en intensité et en fréquence de la pluviométrie durant la saison humide (*Ouédraogo*, 1994). Les conditions pluviométriques rendent difficile la recharge des aquifères posant ainsi un problème de renouvellement des eaux souterraines ; ce qui pourrait influencer indirectement sur le taux de succès des forages selon *Galbané* (2011).

D'après *Savado* (2012) la seule source d'eau potable de qualité et pérenne qui puisse être exploitée est l'eau souterraine. Cependant, la disponibilité et la mobilisation cette ressource en vue de la satisfaction des besoins des populations constituent une problématique majeure pour les autorités en charge des programmes d'hydraulique surtout en milieu de socle.

Au Burkina Faso en général et dans la région de la boucle du Mouhoun en particulier, les forages réalisés en vue de capter les eaux souterraines sont loin de satisfaire les besoins des populations. Ces dernières sont obligées de parcourir de nombreux kilomètres pour des corvées d'eau, souvent dans des points d'eau insalubres (les mares, les boullis, les rivières) qui tarissent en saison sèche entraînant ainsi des pénuries d'eau cruciales.

Pour essayer d'atténuer ce problème d'eau, les autorités en charge de l'hydraulique du Burkina Faso en collaboration avec le projet Allemand KSW ont mis sur pied le Programme Hydraulique Villageoise Mouhoun-Balé (PHV-MB) en 2006. Ce programme avait pour objectif, la réalisation de 200 forages positifs dans la province du Mouhoun et des Balé dans un contexte géologique dominé par les granites, les schistes et les grès.

Pour l'exécution de ce projet, la méthode d'implantation des forages retenue est la prospection géophysique électrique (Trainés et sondages) qui semble la mieux adaptée dans de tel contexte hydrogéologique.

Malgré l'utilisation de la prospection géophysique comme technique d'implantation des forages, le taux de forages négatifs s'est avéré important dans plusieurs localités du Burkina. Ces forages négatifs sont non seulement coûteux pour les bailleurs de fonds, mais réduit aussi les chances d'atteindre les objectifs fixés en terme de nombre de forages prévu par les projets.

Ce fort taux d'échec pourrait être probablement lié à une mauvaise interprétation, car une interprétation qui ne synchronise pas à la fois les paramètres géologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques pourrait être lacunaire.

C'est dans ce sens que cette étude portant sur « *LES TYPES DE SONDAGES ELECTRIQUES ET LA PREVISION DES DEBITS DE FORAGE : CAS DES FORAGES A GROS DEBIT DANS LES PROVINCES DES BALE ET DU MOUHOUN* » est menée sur la province du Mouhoun et des Balé dans le Sud-Ouest du Burkina Faso.

Objectif global de l'étude

Cette étude a pour but global de rechercher d'améliorer le taux succès des forages dans les provinces des Balés et du Mouhoun.

Objectifs spécifiques

De manière spécifique, il s'agira de :

- Identifier les types et les formes d'anomalies à partir des données de résistivités électriques en fonction de la lithologie.
- Analyser les données de forages (débits, transmissivité, niveau statique et dynamique, les différentes profondeurs, la lithologie etc....).
- Déterminer les corrélations entre la cible hydrogéologique et la lithologie.
- Identifier les corrélations entre les paramètres de productivité des forages et les formes et types d'anomalies et de sondages.

Le travail sera structuré suivant le plan ci-dessous :

- ✓ Une première partie : Généralités ; qui abordera la présentation, les caractéristiques physiques de la zone d'étude, et la définition des paramètres à étudier.
- ✓ Une deuxième partie : « Données et Méthodes » consacrée à la description de l'acquisition des paramètres géophysiques, hydrogéologiques et lithologiques. Elle traitera aussi du décompte de toutes les variables quantitatives et qualitatives à utiliser pour l'étude statistique puis nous décrira les méthodes statistiques d'analyses qui seront utilisées en fonction des variables pris en compte pour chaque méthode.
- ✓ La troisième partie : « Résultats et interprétations » présentera les résultats de l'analyse et les interprétations en ayant pour but de répondre aux objectifs spécifiques tout en restant dans le cadre du d'étude.

Ce travail prendra sa fin par une conclusion générale suivie des recommandations et des perspectives.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE

I : Généralités

I.1 Présentation de la zone d'étude

I.1.1 Situation géographique

La zone d'étude est située dans le sud-ouest du Burkina Faso à environ 270 Km de Ouagadougou. Elle est composée de deux (02) provinces : la province du Mouhoun et la province des Balés, toutes dans la région de la boucle du Mouhoun. Géographiquement, la zone d'étude est localisée entre les latitudes 11°44'00 N et 12°27'00 N et les longitudes 3°10'00 W et 3°28'00 W. La province du Mouhoun comporte (07) sept départements (Bondokuy, Dédougou, Dourola, Kona, Ouarkoye, Safané et Tchériba) et celle des Balés (10) dix départements à savoir Poura, Fara, Bagassi, Bana, Boromo, Oury, Pa, Pompoi, Siby et Yaho (figure 1). La superficie de la zone d'étude est d'environ 11.263 Km².

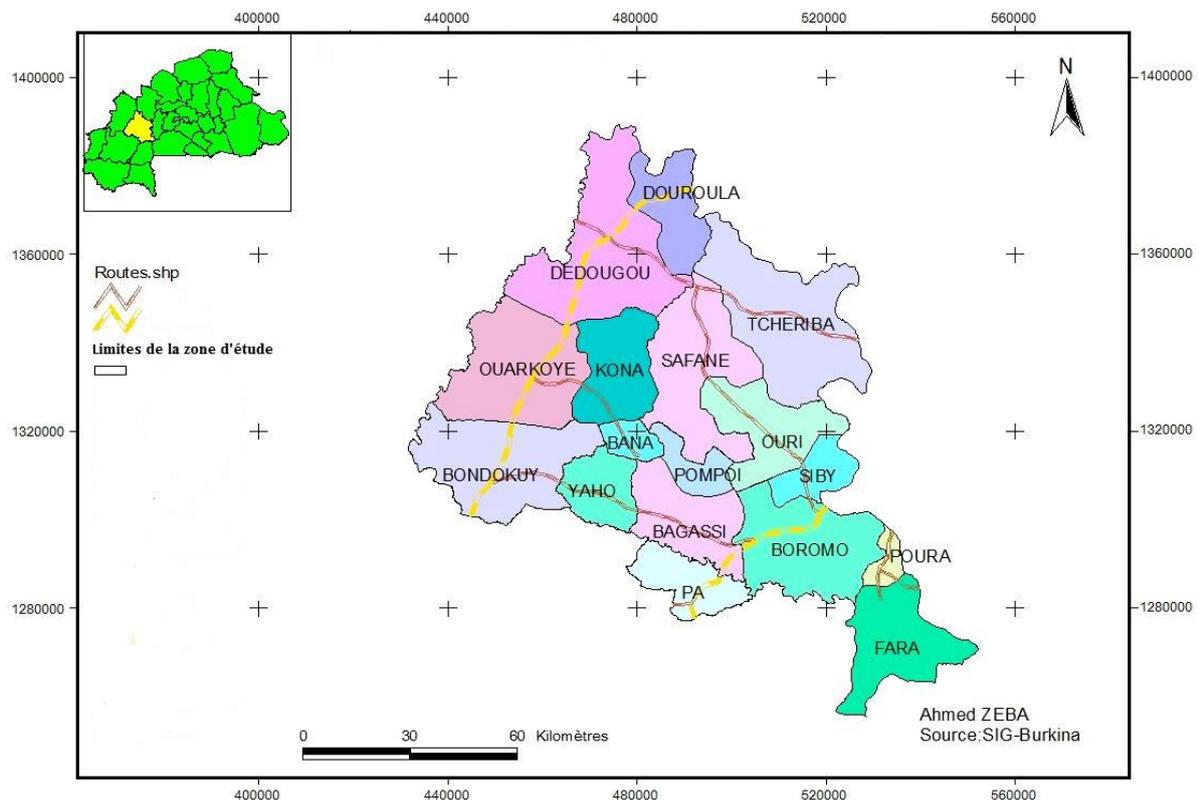


Figure 1: Présentation de la zone d'étude

I.1.2 : Climat et pluviométrie

Selon *Ouédraogo*, (1994), la pluviométrie annuelle dans les provinces du Mouhoun et des Balés varie entre 900 et 1000 mm . La figure 2 illustre l'évolution moyenne des pluviométries entre 2000 et 2013.

La région connaît (02) deux saisons à l'instar du pays :

- Une saison sèche qui dure de 8 à 9 mois. Elle est marquée par l'harmattan, vent frais et sec qui dure de décembre à fin janvier avec des températures douces autour de 27°C, chaud et sec de février à avril avec de fortes températures dépassant souvent 40°C.
- Une saison pluvieuse qui s'étale sur 3 à 4 mois. Elle est annoncée par la mousson, vent frais et humide avec des températures oscillant entre 21 et 28°C.

La pluviométrie est uniformément répartie dans le temps et dans l'espace. De 2000 à 2008, on remarque que la pluviométrie est croissante puis décroît brusquement (poches de sécheresses) en 2009 avant de reprendre sa croissance (figure 2).

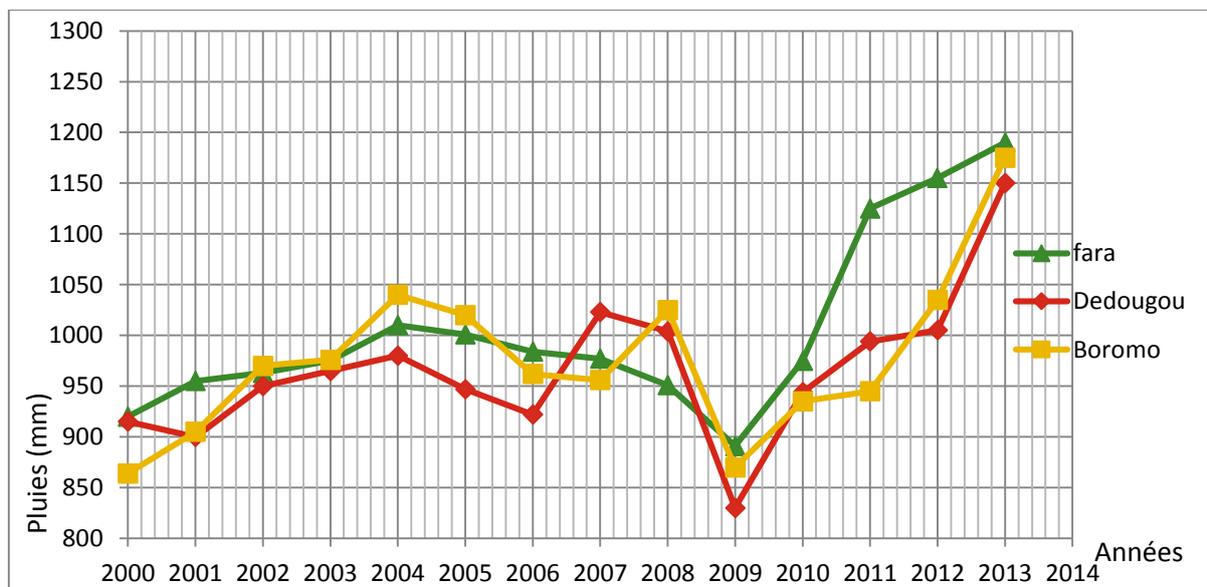


Figure 2 : Evolution de la pluviométrie de 2000 à 2013.

I.1.3 : Végétation

La pluviométrie et la végétation étant liées, dans la zone d'étude nous avons une végétation constituée essentiellement d'une savane arbustive (43.7%), d'une savane arborée et boisée (*Parkia Bigloboza*), d'une formation mixte des vallées au niveau des cours d'eaux (*Acacia albida*) et d'une forêt galerie (*Berlinia grandifolia*) (figure 3). A ces différentes espèces viennent s'ajouter les peuplements de rôniers et les différents vergers ainsi que plusieurs forêts classées.

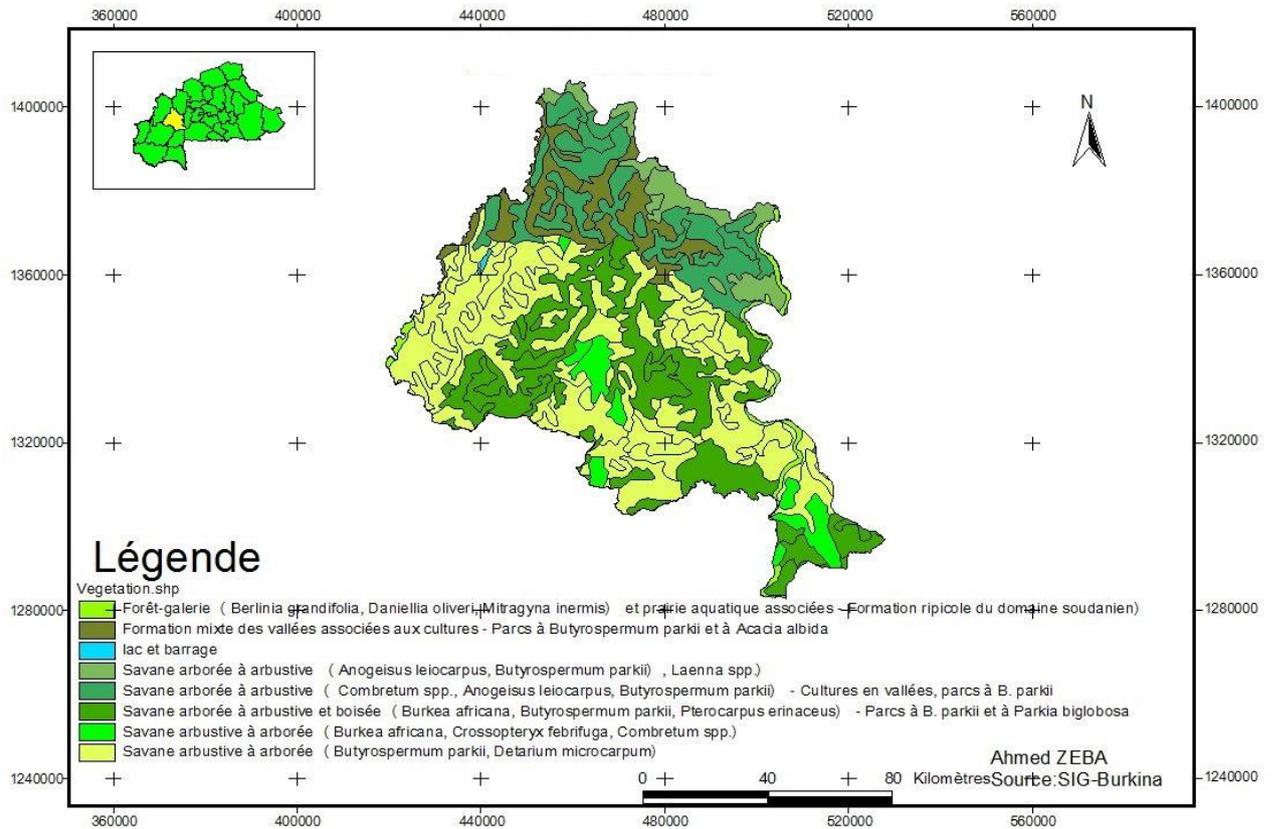


Figure 3: Répartition du type de végétation dans la zone d'étude.

I.1.4 : Géomorphologie et sols

D'après Koussoubé (1996), on distingue (04) quatre types de sols (figure 4) à savoir : des sols bruts associés aux sols peu évolués (caractérisés par un humus à très forte activité biologique et sont très profonds >120 cm avec des textures argilo-limoneux), des vertisols, des sols bruns eutrophes, des sols ferrugineux et des sols hydromorphes (sols de couleur gris à gris clair avec fine texture argilo-limoneux dont le taux de ferro-manganique est faible. Ces sols sont en majorité légers et sensibles à l'érosion qui est accélérée par l'action anthropique (les systèmes de productions extensifs, la coupe abusive du bois de chauffe, l'occupation anarchique des terres).en outre on note une carence de ces sols en matières organiques. Ces sols sont très riches en argile donc une forte capacité de rétention faisant d'eux des sols lourds et idéals pour la riziculture.

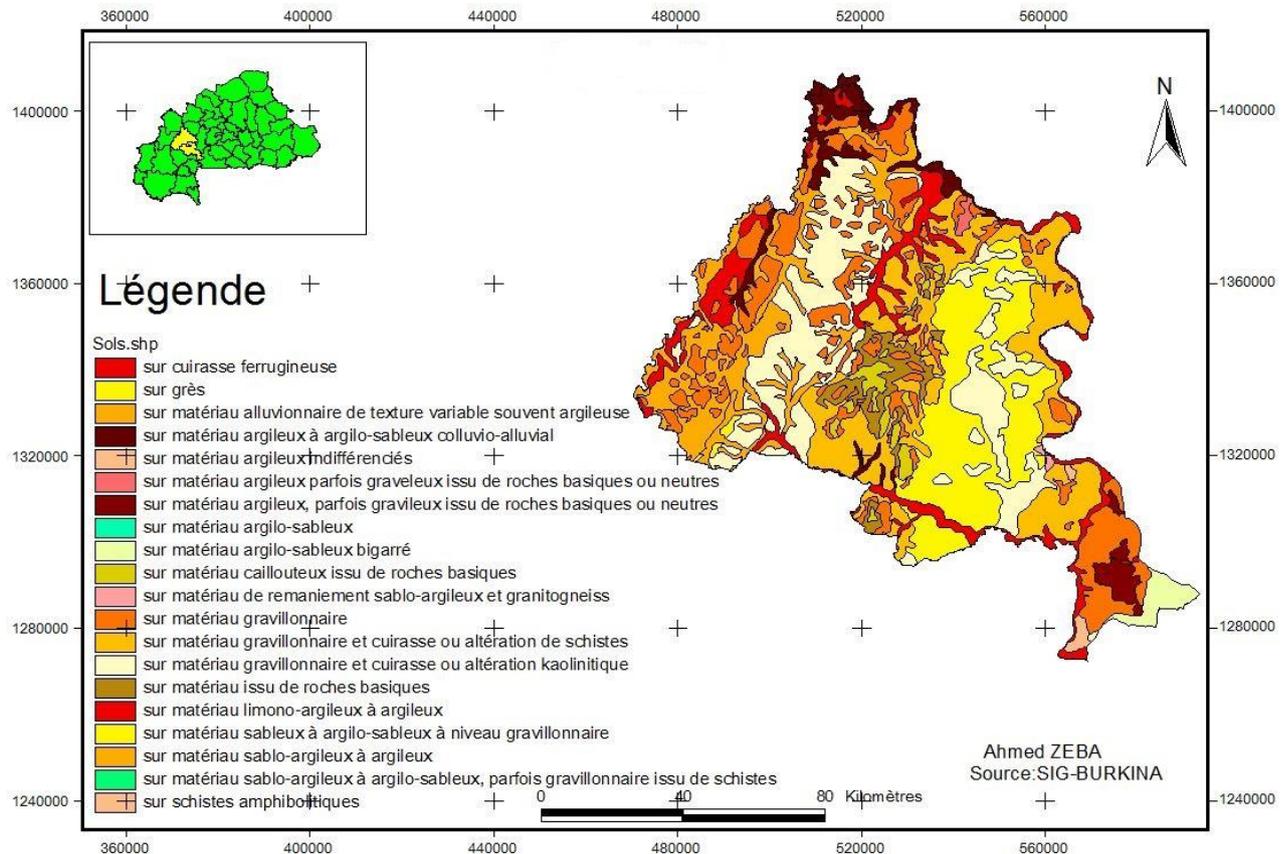


Figure 4: différents types de sols dans la zone d'étude

I.1.5 : Géologie

Les caractéristiques géologiques de la zone d'étude (figure 5), s'intègrent parfaitement dans celles de l'ensemble du socle précambrien Ouest Africain. La géologie de la région s'étend sur deux grands ensembles à savoir un socle cristallin à l'Est et une séquence sédimentaire à l'Ouest (Coulibaly, 1990).

Le Socle cristallin est composé de roches granitoïdes acides et de roches métavolcano-sédimentaires basiques.

- Roches acides : *granite et migmatitique* indifférenciés
- Roches neutres à basiques : *formations volcano-sédimentaires*, constituées principalement de schistes.

Les formations sédimentaires sont des formations d'une épaisseur d'environ 1500m, provenant d'une transgression marine du Nord et du Nord-Ouest entre 1300 et 1000 M.A (précambrien A) qui sont à prédominance schisteuse et gréseuse avec des mixages schisteux (Coulibaly, 1990).

Selon Ouédraogo (1994), Cette séquence se présente de bas en haut de la façon suivante :

- ✓ Le plus souvent et directement sur le socle cristallin, reposent les grès de Sotuba ;

- ✓ Les grès à galets de quartz, mieux représentés au Sud tendent à disparaître vers le Nord;
- ✓ L'étage schisto-gréso-dolomitique;
- ✓ Les grès roses, essentiellement des grès fins quartzitiques, homogènes, de couleur rose;
- ✓ Les schistes de Toum, séquence à prédominance de schistes et schistes argileux renfermant des intercalations gréseuses micacées;
- ✓ Les grès de Koutiala, micacées à la base, légèrement kaolineux et friables au sommet;
- ✓ Les grès de Bandiagara, grossiers, quartzitiques à ciment siliceux ou kaolineux et sont le plus souvent conglomératiques.
- ✓ Le continental terminal tertiaire: s'étendant plus largement sur le territoire du Mali, le continental terminal couvre la plus grande partie du nord de la région d'étude (la plaine de Gondo). Il se compose de sédiments argileux ou argilo-sableux et d'argile essentiellement kaoliniques, qui à certains endroits dépassent 60m d'épaisseur sur les séries gréseuses, schisteuses et dolomitiques

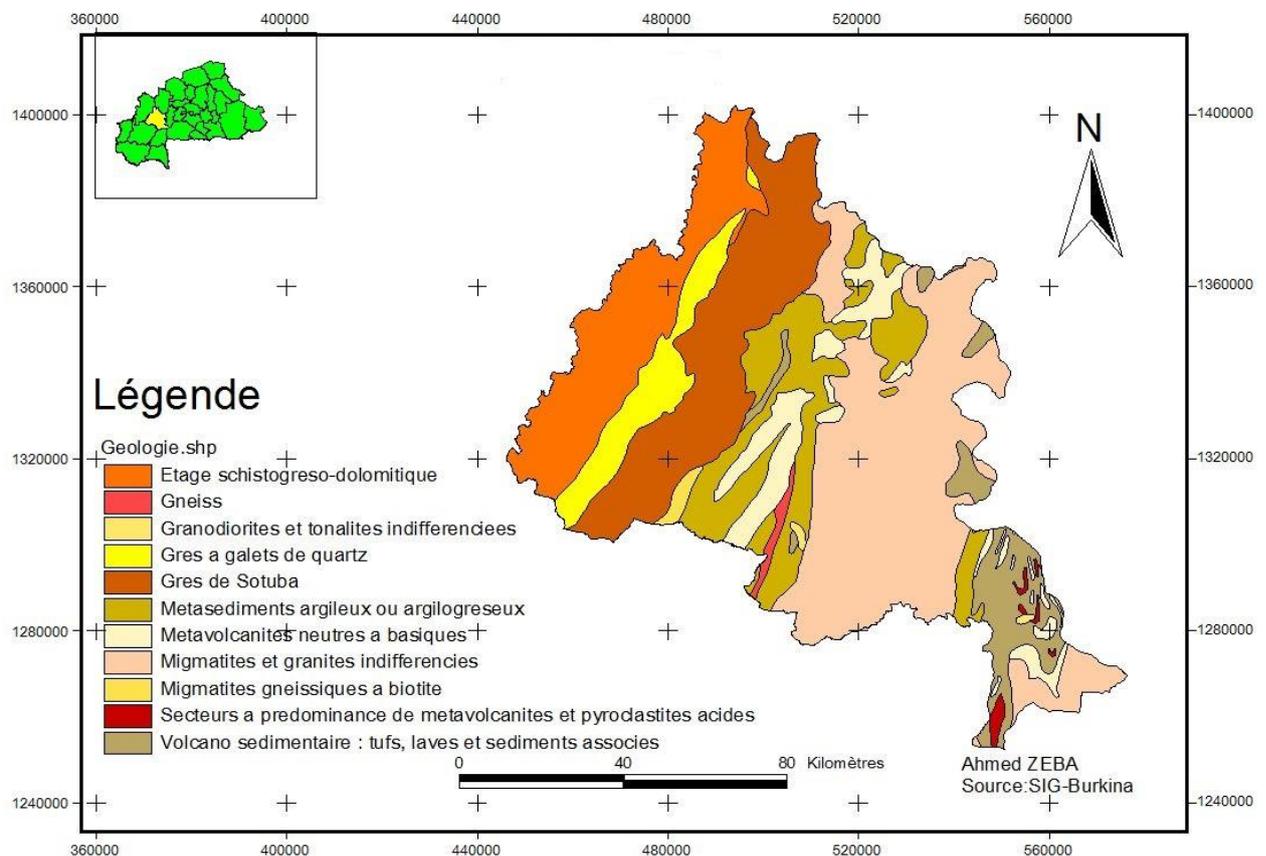


Figure 5: Répartition des formations géologiques de la zone d'étude.

I.1.6 : Hydrographie

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est très bien développé. La zone est quasiment délimitée de l'Est à l'Ouest par le fleuve Mouhoun (*volta noire*) qui est l'un des cours d'eau permanent du pays. Ce cours d'eau a un bassin versant de 92.000 Km² et offre un débit de pointe qui vaut 383.51 m³/s et s'étend sur environ 750 km. A l'intérieur de la zone il Ya aussi plusieurs détachements ou embranchements qui alimentent les différents départements (*figure 6*).

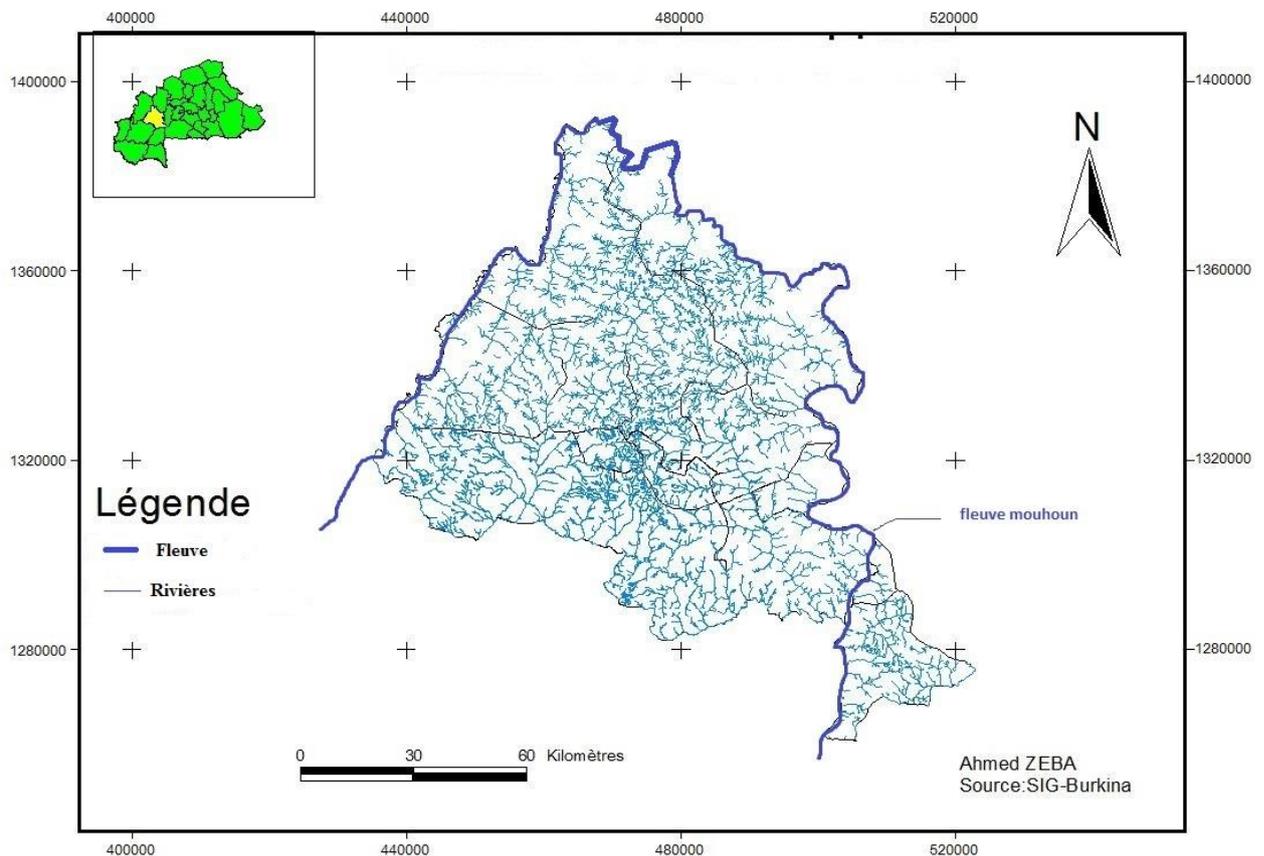


Figure 6: carte du réseau hydrographique

I.1.7 : Hydrogéologie

On distingue deux entités hydrogéologiques principales correspondant aux deux familles lithologiques déjà citées, à savoir le socle cristallin et les formations sédimentaires composées essentiellement de grès, de schistes et de formations argilo-sableuses. Du point de vue hydrogéologique, il convient de noter tout d'abord, que la caractéristique principale des différentes formations se résume au fait que ce sont des roches dures, compactes, imperméables (*Coulibaly, 1990*).

Ces formations sont donc stériles à l'état intact et l'eau ne peut s'y accumuler que si elles sont altérées, fissurées ou fracturées. En général, les ressources en eaux souterraines sont emmagasinées, pour l'essentiel dans la partie supérieure altérée. Mais, elles sont drainées préférentiellement par les fissures et les fractures sous-jacentes ouvertes parfois sur de grandes

profondeurs. En principe, dans le socle, on distingue une même superposition des principaux niveaux aquifères que sont les aquifères du milieu fissuré, les aquifères de la zone altérée et les aquifères de latérites.

Cependant on peut découper les systèmes aquifères caractéristiques de la région en 3 grandes couches à savoir (*Collectif*, 1990):

- ✓ Les aquifères du milieu fissuré
- ✓ les aquifères de latérites
- ✓ Les aquifères du continental terminal

I.1.8 : Modèle conceptuel en milieu de socle

Cette description du concept hydrogéologique est faite à partir d'une synthèse des résultats de travaux de Wyns et Nathalie (2010).

En l'état actuel des connaissances, un système aquifère en domaine de socle est à la fois un réservoir capable d'emmagasiner de l'eau provenant des pluies infiltrées, et un système conducteur permettant à cette eau de s'écouler en profondeur et de vidanger progressivement ce réservoir vers ses exutoires naturels que sont les rivières.

La conceptualisation moderne du fonctionnement des aquifères de socle conjugue donc ces deux fonctions, qui sont le plus souvent séparées :

- le rôle de réservoir est assuré principalement par les produits de l'altération de la roche en place, développée depuis le niveau du sol jusqu'à parfois plusieurs dizaines de mètres de profondeur (ce qu'on appelle les altérites, composées de matériaux argileux et sableux) ;
- le rôle de système conducteur est assuré surtout par le réseau de fissures et de fractures existant plus bas que les altérites, dans la roche « saine », ou moins dégradée par l'altération. En domaine de socle les eaux souterraines sont donc situées au sein de deux unités aquifères superposées en contact permanent : celui des altérites et celui du milieu fissuré. Dans les socles anciens (comme par exemple le Massif armoricain), les roches généralement métamorphiques ou intrusives, sont massives et imperméables. La présence éventuelle d'eau souterraine dépend des modifications physiques subies par ces roches postérieurement à leur formation, et notamment des phénomènes de fracturation et d'altération.

La fracturation favorise la circulation des eaux lorsque ces fractures sont ouvertes. L'altération par les précipitations a eu pour effet de développer une couverture meuble (les altérites) plus ou moins poreuse et, sous cette couverture meuble, une fissuration intense permettant le drainage de ces formations meubles

Les zones où préexistaient des réseaux de fracture d'origine tectonique permettant la circulation de l'eau ont constitué des lieux privilégiés où l'action de l'altération a été décuplée. L'addition de la fracturation tectonique, de l'altération et de la fissuration a conduit à la formation de couloirs fracturés et fissurés où l'altération a pénétré plus profondément.

Ces couloirs constituent des drains privilégiés pour l'eau souterraine. Comme ils constituent des zones de faiblesse, ils ont été fréquemment empruntés par l'érosion lors du creusement des vallées, et se présentent dans le paysage actuel sous la forme de dépressions allongées gouvernant souvent les écoulements visibles en surface (thalwegs, vallées).

De ce fait, le modèle conceptuel (*figure 7*) qui sera adopté pour cette étude a la stratigraphie suivante (de haut en bas) :

- ✓ Sol ;
- ✓ Altérites ;
- ✓ Horizon fissuré ;
- ✓ Roche saine.

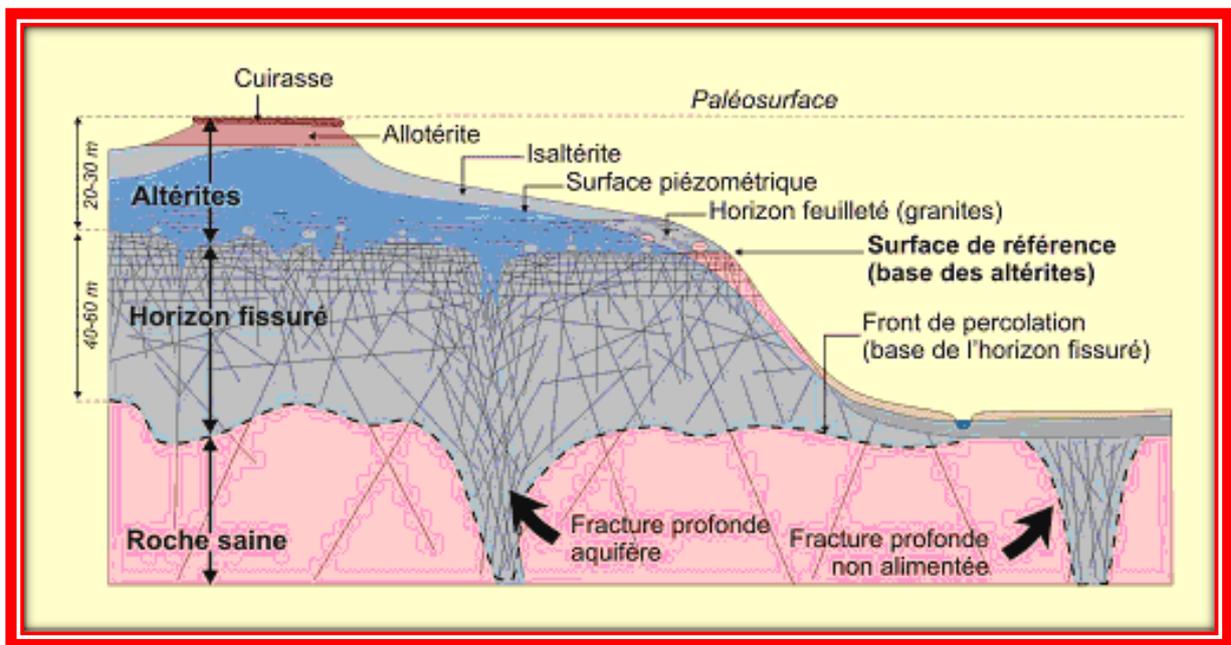


Figure 7 : Schéma conceptuel moderne d'un système aquifère de socle (Wyns et al. 2004)

CHAPITRE II: DONNES ET METHODES

II.1 : Données

Pour cette étude, deux types de données seront utilisés à savoir les données géophysiques et les données hydrogéologiques issues des forages réalisés dans la zone d'étude (figure 8). Les données géophysiques sont issues des fiches d'implantations (profils et sondages) et les données hydrogéologiques proviennent des fiches de forations et des fiches de pompages.

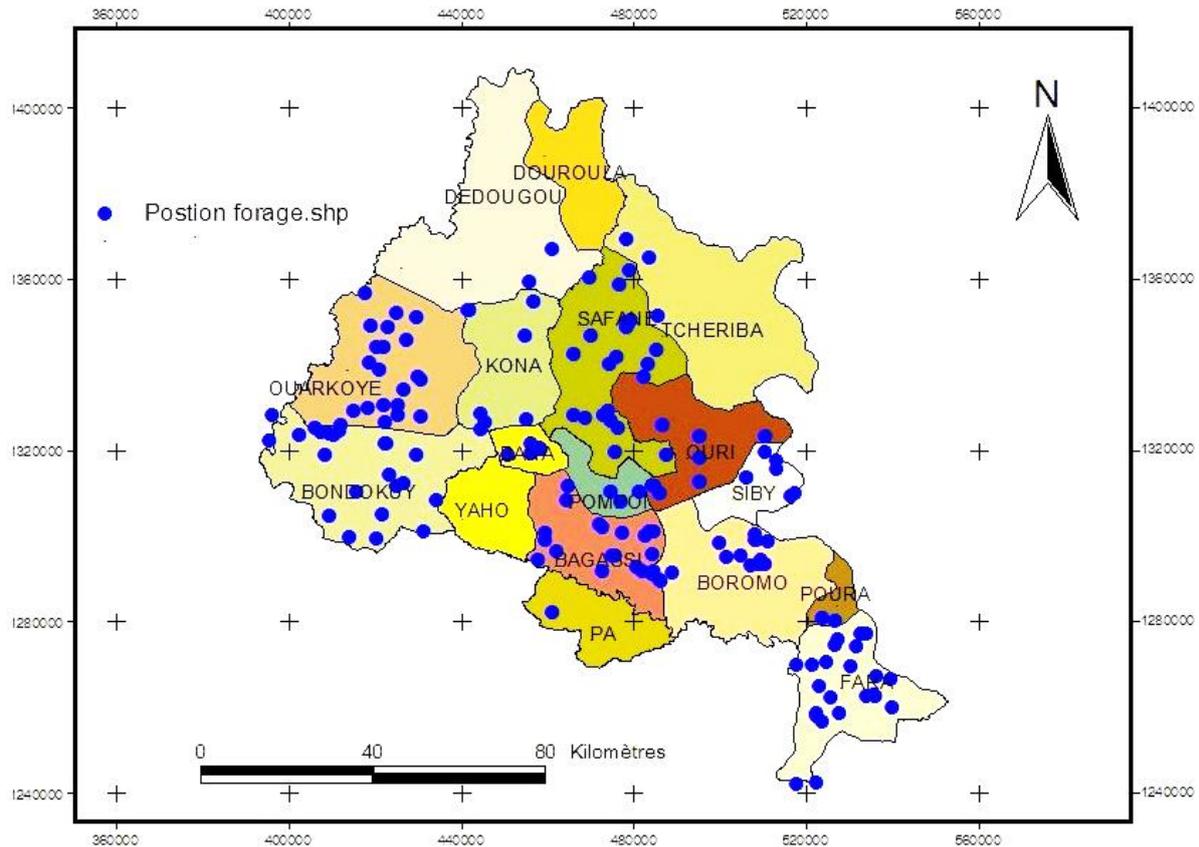


Figure 8 : Répartition des forages dans la zone d'étude

II.1.1: Données géophysiques

Elles proviennent des fiches d'implantations de forages (tableaux et graphiques). Sur ces fiches, il Ya les renseignements sur :

- Les valeurs de résistivités apparentes pour les profils
- Les valeurs de résistivités apparentes pour les sondages
- Les courbes de profils de résistivités
- Les courbes de sondages
- Les valeurs des épaisseurs d'altérations, des profondeurs conseillées et de désespoirs.

II.1.2: Données hydrogéologiques

Ces données sont extraites des fiches techniques des forages et des fiches de pompages réalisées par d'autres entreprises ou bureaux d'études qui assurent le contrôle des travaux de foration. Les fiches techniques de forages renseignent sur :

- Les épaisseurs réelles d'altérations forées
- Les profondeurs des venues d'eaux et totales
- Les différents débits (débits des venues d'eaux, débits de fin de forage)
- La lithologie

Sur les fiches de pompages figurent les différents paliers de débits et aussi l'évolution du niveau dynamique en fonction du temps, le niveau statique, et les débits de fin de développements.

II.2 : Méthodes

La méthodologie utilisées dans un premier temps est d'identifier les formes et les types d'anomalies, et dans un second temps, de déterminer les classes d'épaisseurs d'altérations, de niveau saturé, de l'épaisseur de la cible hydrogéologique en fonction du débit et enfin de pouvoir dégager des corrélations.

II.2.1 : Identification des types et formes d'anomalies

Une anomalie est un phénomène anormal qui se manifeste sur les profils de résistivités (trainé électrique) dû à une faible résistivité dans un environnement beaucoup plus des résistante.

Les courbes de profils géophysiques sont obtenues par une représentation spatiale des valeurs de résistivités apparente sur un graphique du type semi-log. Ces profils peuvent comporter un ou plusieurs creux variables et multiformes appelés anomalies.

Selon la nomenclature du CIEH, en fonction des variations de l'allure des courbes de résistivités, on peut mettre en exergue plusieurs types de d'anomalie.

A : Les types d'anomalies

Dans le cadre de cette étude, la nomenclature qui sera adoptée pour définir les formes et les types de sondages fera référence à celle proposée par *Millon* (1989). Les différents graphiques (résistivités apparente en fonction de la position spatiale) ont été classés en fonction des grands types d'anomalie ci-dessous.

- **Anomalie de type « Compartiment Conducteur » ;**

On y distingue deux types à savoir : les compartiments conducteurs larges (quand la largeur de la zone conductrices est comprise entre 30 et 80 m) et les compartiments conducteurs étroits lorsque la largeur de la zone conductrices est comprise entre 10 à 30m (figure 9).

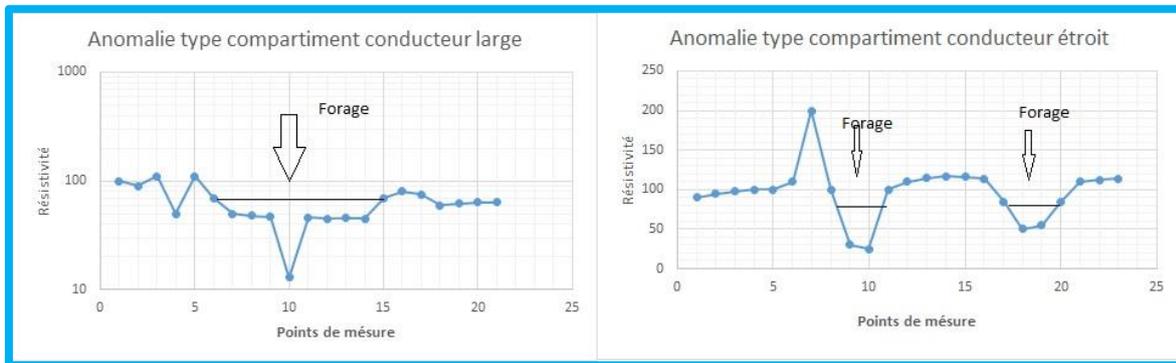


Figure 9 : Illustration des anomalies type compartiment conducteur large et étroit (Million, 1989)

- **Anomalie de type « Palier Conducteur »** : Elle se présente sous forme de paliers de faible résistivités apparente très large et dont les bords n'apparaissent pas nettement.
- **Anomalie de type « Contact Entre Deux Paliers »** : Il s'agit d'un contact entre deux paliers de résistivités différentes (voir figure 10)

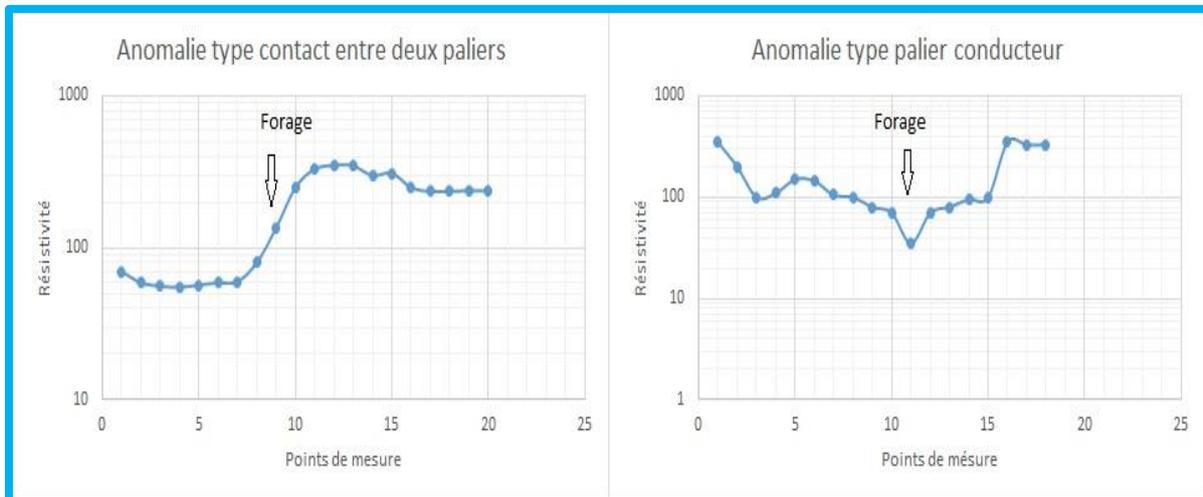
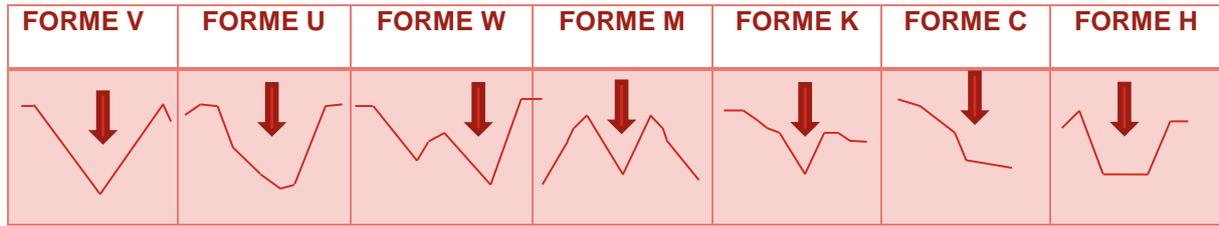


Figure 10: Illustration des anomalies de types contact entre deux paliers et palier conducteur (Million, 1989)

B : Les formes d'anomalies

Selon *Dieng et al*, (2004), il ressort que les anomalies rencontrées en profil géoélectrique sont de diverses formes et on peut en comptabiliser sept (7) au total (tableau 1). Les différents graphiques (résistivités apparente en fonction de la position profondeur) ont été classés en fonction des formes d'anomalies ci-dessous.

Tableau I : les sept formes d'anomalies



C : Les types de sondages

Un sondage est une représentation spatiale des valeurs des résistivités apparentes obtenues par des mesures verticales au-dessus des anomalies et représenté sur un graphique de type bi-log. En se référant toujours à la nomenclature du CIEH, nous pouvons rencontrer (03) trois types de sondage (figure 12) à partir des allures possibles des courbes de sondage (03) trois terrains à savoir :

- ✓ Le type A : courbe à une « seule branche montante » ;
- ✓ Le type H : courbe en « fond de bateau » ;
- ✓ Le type KH : courbe qui commence par une « forme de cloche et se termine en fond de bateau »

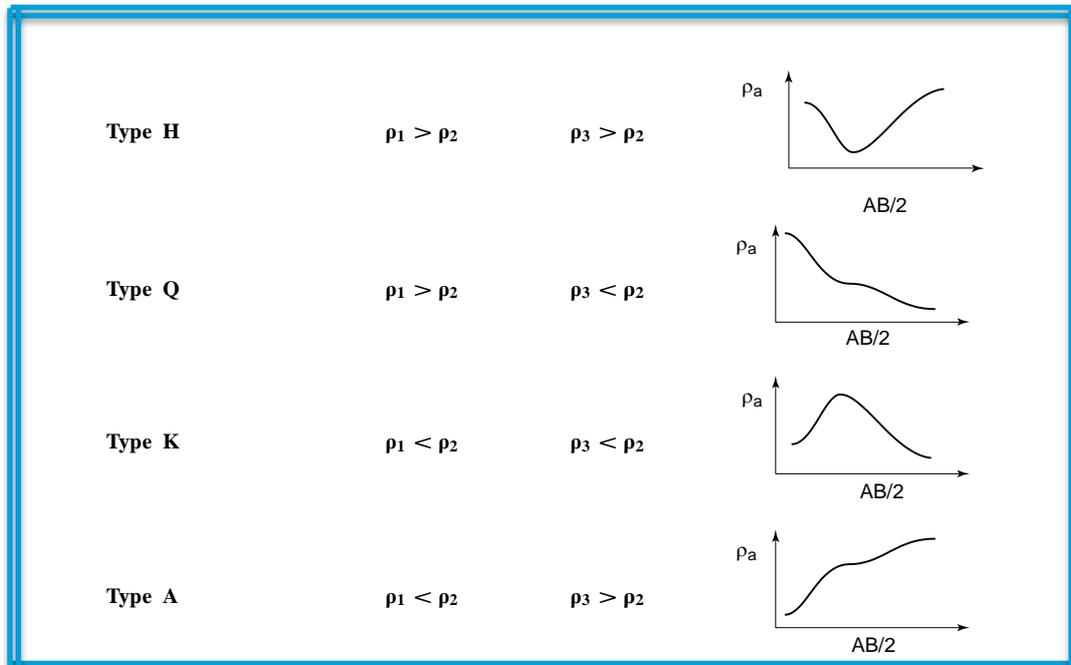


Figure 11: Courbe de sondage (03) terrains

II.2.2 : Méthode d'analyse des données de forages

A : Détermination de la transmissivité

Selon Detay, (1989), la transmissivité est un paramètre qui correspond au débit d'une couche aquifère, sur toute son épaisseur par unité de largeur et sous l'effet d'un gradient hydraulique égal à l'unité; la productivité d'un captage peut être estimée à l'aide du paramètre T qui est la transmissivité qui s'exprime en m²/s.

Les valeurs de Transmissivité ont été calculées à l'aide des essais de pompages de 2 heures sur le 1^{er} pallier à partir de la méthode de Cooper & Jacob (Avec Q (m³/h) : Q max et i : pente de la ligne droite de Cooper & Jacob).

$$T = \left(\frac{0.183Q}{i*3600} \right) (1)$$

B : Détermination du niveau saturée

Le niveau saturé a été obtenu après soustraction du niveau statique de la profondeur totale forée. Ces valeurs traduisent la hauteur d'eau dans les forages.

C : Les débits

Les débits utilisés pour cette étude seront des débits obtenus en fin de développement (soufflage) du forage. Les débits de moins de 0.7 m³/h sont considérés comme négatifs car pour cette étude il a été retenu la valeur de 0.7 m³/h comme débit d'équipement.

D : Epaisseurs d'altérations

Elles ont été obtenues à partir des fiches de foration issues de la réalisation des forages. Pour cette étude, toutes les épaisseurs d'altération ont été prises en compte sur chaque forage sec ou productif.

E : Epaisseur fissurée

C'est la cible hydrogéologique recherchée par les foreurs. C'est couche comprise entre l'altération et le socle sain, elle est légèrement altérée on sent la présence de la roche mère originel.

L'horizon fissuré est constitué de roche dure affectée, sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, par la présence de fissures, de fréquence décroissante avec la profondeur. Il est maintenant démontré que ces fissures, dont l'origine a longtemps été associée à la « décompression superficielle », résultent elles aussi du processus d'altération c'est la zone qui se situe entre le socle sain et les altérites.

Les épaisseurs de l'horizon fissuré ont été obtenues sur les graphiques de modélisation par inversion des valeurs de résistivités apparentes pour obtenir des résistivités vraies avec le

logiciel IP2WIN en se basant que les valeurs de résistivités correspondant à cet horizon sont comprises entre 300 et 800 Ω .m.

F : Statut

Ce paramètre a un rôle de pile ou face et il nous renseigne sur la positivité ou la négativité d'un forage. Il sera d'une grande importance pour le reste de l'étude.

II .3 : méthodes d'analyses statistiques retenues

Pour une meilleure analyse des variables statistiques quantitatives et qualitatives de cette étude, il sera retenu la méthode des tableaux croisés (pour les analyses faisant intervenir des variables qualitatives et quantitatives), l'analyse en composante principale(ACP) pour les variables qualitatives et l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) pour les variables qualitatives.

II.3.1 : Méthodes d'analyses

II.3.1.1 : Analyse factorielle à correspondances multiples(AFCM)

Selon *Benzecri* (1982), L'AFCM qu'il a lui mis au point est utilisée essentiellement pour de grand tableaux de données toutes comparables entre elles. L'AFCM peut en particulier étudier les tableaux de contingence et à déterminer et hiérarchiser toutes les dépendances entre les lignes et les colonnes du tableau. Elle permet d'analyser simultanément plusieurs variables en vue de mettre en évidence les modalités des différentes variables et de regrouper les individus présentant de fortes similitudes. Pour cette analyse, La base comporte 6 variables nominales qui sont : « la commune», «le statut», « le type d'anomalie», « la forme d'anomalie», «la lithologie», et «le type de sondage». L'ensemble de ces six variables comporte au total 19 modalités. Cette méthode a été retenue pour d'analyser et de dégager d'éventuels liens entre les types et les formes d'anomalies en fonction de la lithologie en vue réponse au deuxième objectif spécifique de cette étude.

II.3.1.2 : Analyse en composante principale (ACP)

D'après *Vogt* (1993) l'analyse en composantes principales est un ensemble de méthodes permettant de procéder à des transformations linéaires d'un grand nombre de variables inter-corrélées de manière à obtenir un nombre relativement limité de composantes non corrélées. En effet, cette méthode permet de traiter simultanément un nombre quelconque de variables, toutes quantitatives.

La méthode ACP est un outil analytique qui consiste à chercher des combinaisons linéaires des variables quantitatives qui permettent de former des axes factoriels en vue de : détecter les individus ressemblants, mettre en évidence une typologie d'individus, détecter les relations linéaires entre les différentes variables mettre en évidence une typologie de variables. Pour cette analyse, la base comporte 4 variables continues. Les libellés de ces variables sont : «

niveau saturé», « transmissivité», «débit», et «épaisseur d'altération». Le nombre total d'observations est 175 qui correspond au nombre de forages pour l'étude. Le choix de cette méthode et de ses variables se justifie par le fait que l'objectif visé est de trouver des réponses secondes objectives spécifiques de cette étude.

II.3.1.3 : Description de l'analyse des tableaux croisés dynamiques (TCD)

Le tableau croisé permet de générer une synthèse d'une table de données brut. Il permet de regrouper des données selon une ou plusieurs de ses propres catégories et faire les opérations nécessaires entre les valeurs correspondantes. On ajoute le terme dynamique parce dans le tableau croisé on peut y faire des changements soit de positions, soit à la table des données brutes et le rafraichir pour que le tableau soit actualisé.

Le tableau croisé peut être considéré aussi comme une table de contingence (permet de représenter les données issues d'un comptage et d'estimer leurs dépendances).qui est l'une des formes de structuration des données les plus courantes dans l'analyse des variables qualitatives. En confrontant deux partitions d'une même population ou d'un même échantillon, le tableau croisé permet en effet de travailler sur des variations par catégorie, éléments indispensables en vue d'une première interprétation des résultats. Les analyses et descriptions de tableaux croisés sont d'ailleurs à la base du traitement statistique des données d'enquêtes (Carpentier, 2011). Dans notre analyse par TCD, la base comportera 9 variables à savoir : «le statut», « le type d'anomalie», « la forme d'anomalie», «la lithologie», «le type de sondage», «le niveau saturé», « la transmissivité», « le débit», et « l'épaisseur d'altération». Le nombre total d'observations est 175. Par cette méthode il s'agira de déterminer les fréquences des différentes modalités des variables par corrélation des modalités des variables «statut», «type d'anomalie», «forme d'anomalie» et «type de sondage» en fonction des modalités des variables «débit» et «lithologie», et d'autres parts à déterminer les fréquences des différentes modalités des variables par corrélation des modalités des variables «niveau saturé», «transmissivité», «épaisseur d'altération» en fonction des modalités des variables «débit» et «lithologie». Il s'agira aussi par la suite cette analyse de déterminer les fréquences des différentes modalités des variables par corrélation des modalités des variables «type d'anomalie», «forme d'anomalie» et «type de sondage» en fonction des modalités des variables «niveau saturé», «transmissivité», «épaisseur d'altération». La première approche consiste à déterminer les paramètres géophysiques induisant sur la productivité des forages, la deuxième consiste à identifier les plages optimales d'épaisseur d'altération, de niveau saturé, et de transmissivité induisant des débits élevés à partir des résultats de l'ACP, Quant à la dernière approche, elle consiste à déterminer les paramètres géophysiques régissant ces plages optimales qui induisent les débits élevés. Il est à noter qu'une mise en phase des résultats issus de la première approche avec l'ACM sera effectuée, suivie d'une mise en phase des résultats issus de la deuxième approche avec l'ACP.

II.4 : Méthode d'interprétation des données et incidence sur le statut des forages.

II.4.1 : Bureaux d'étude

Au bureau d'étude, les interprétations des données géophysiques se font sur la base de résistivités apparentes mesurées sur terrain.

II.4.1.2 : Cette étude

Dans le cadre de cette étude, l'interprétation des données géophysiques a été faite avec les valeurs de résistivités vraies obtenues par inversion avec IP2win en essayant de superposer les deux courbes de couleurs différentes (théorique et pratique) le plus possible enfin d'avoir un pourcentage d'erreur minimum.

II.4.1.3 Comparaison

Les valeurs de résistivités vraies sont plus fiable que ceux apparentes pour l'interprétation des données géophysiques. De plus avec Ip2win il est possible de visualiser et d'observer après inversion, les différentes profondeurs et épaisseurs des paramètres à étudier.

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 : Description statistiques des paramètres

III.1.1 : Les formes d'anomalies des profils de résistivités

En observant les profils de résistivités issus des fiches de trainés électriques, il ressort que les formes C, H, et M n'apparaissent pas. Donc cette étude sera menée avec les proportions de formes " V, W, U et K" (tableau 3). De ce tableau, il résulte que les formes dominantes sont respectivement « V avec 37,71% » et « W avec 36,51% ».

Tableau II: Analyse des formes d'anomalies

Formes	Nombre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
K	3	1,71%	1,71%
U	42	24,07%	25,78%
W	64	36,51%	62,29%
V	66	37,71%	100,00%
TOTAUX	175	100,00%	100,00%

III.1.2 : Les types d'anomalies des profils de résistivité

Seuls les types CCE, CCL et PC dont les proportions sont consignées sur le tableau 4 feront objet d'analyse car le type CEDP n'existe pas sur la zone d'étude. De ce tableau, il ressort que le type CCE est le plus dominant suivi du type CCL.

Tableau III: Analyse des types d'anomalies

Type	Nombre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
CCE	84	48,00%	48,00%
CCL	75	42,86%	90,86%
PC	16	9,14%	100,00%
CEDP	0	0,00%	100,00%
TOTAUX	175	100,00%	100,00%

III.1.3 : Les types de sondages

Comme l'indique le tableau 5, le type KH prédomine avec 60% suivi du type H avec 33.15%.

Tableau IV: Analyse types de sondages

Type	Nombre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
A	12	6,85%	6,85%
H	58	33,15%	40,00%
KH	105	60,00%	100,00%
TOTAUX	175	100,00%	100,00%

III.1.4 : Lithologie

Elle représente la nature du substratum. Ces données sont issues des fiches de forage. Dans toute la zone d'étude, nous avons rencontrés trois types de lithologies (répertoriés sur les forages positifs comme négatifs) à savoir : Le Granite 40% suivis de 31% de schistes, 29% et de grès.

III.1.5 : Epaisseur d'altération

Elle doit être le critère le plus déterminant et on pourrait même considérer qu'il est la résultante des critères précédents. Ceci revient à considérer que plus les critères précédents sont vérifiés plus l'épaisseur d'altération a des chances d'être importante. D'une manière pratique pour analyser l'incidence de l'épaisseur d'altération, nous avons opté pour cette étude (07) sept intervalles qui sont dans le tableau ci-dessous. La plage la plus intéressante est l'intervalle [20-35 [avec 33% suivi de plage [15-25[24% et de la plage [5-15[. Ce constat laisse voir que 77% des épaisseurs d'altérations sont sur ces (03) plages.

Tableau V: Répartition des plages d'épaisseur d'altération

Intervalle	[0-5[	[5-15[	[15-25[	[25-35[	[35-45[	[45-55[	≥55
nombre	2	35	42	57	22	10	7
Pourcentage	1%	20%	24%	33%	13%	6%	4%
% Cumulé	1%	21%	45%	78%	90%	96%	100%

III.1.6 : Niveau saturé

Pour cette étude les classes de milieu saturé considérées sont : [32,8-45[; [45-65[et [65-96,8[.la deuxième classe est la plus intéressante car elle contient le plus fort taux comme nous l'illustre le tableau 7.

Tableau VI : Répartition des plages d'épaisseur saturée

Intervalle (m)	[32,8-45[	[45-65[	[65-96,8[
nombre	34	55	46
pourcentage	25%	41%	34%
cumul %	25%	66%	100%

III.1.7 : Débits

Les débits (en m³/h, débit de fin de développement) rencontrés après analyses des données sont dans leurs ensembles satisfaisants car bon nombre de ces débits dépassent la classe moyenne des débits donnée par la méthode CIEH. Cependant tout débit compris entre la classe d'intervalle [0 à 0,7 m³/h] a été considéré comme forage à débit nul (0 m³/h) pour mieux rendre l'étude plus réaliste. Pour notre étude nous avons considéré (04) quatre classes [0 à 1[; [1 à 2,5[; [2,5 à 5 [; [5 à 10[; [10 à 15[; [15 à 20[; [20 à 25[et > 25 m³/h conformément aux consignes de la méthode CIEH. Le tableau 8 nous donne les valeurs des débits sur ces intervalles.

Il est à noter aussi que la proportion des forages à **gros débits** (≥ 5 m³/h) est de 53% et la proportion des **forages négatifs qui ne sont pas sec** (0,1 à 0,69 m³/h) est de 10,84%. La plage des débits sur laquelle se situe le plus nombre de forages positifs est [5-10[suivie de [2,5-5[.

Tableau VII : Répartition des plages de débits

Classes	Très faible	faible	moyen	fort	total
	[0-1[	[1-2,5[	[2,5-5[	> 5	
Proportions	43	10	29	92	175
	25%	6%	17%	52%	100%
	25%	30%	47%	70%	100%

III.1.8 : Horizon fissuré

Dans cet horizon, les résistivités peuvent varier entre 301,78 et 1000 Ω .m. Pour cette étude, la classe la plus dominante est la troisième classe avec 36% comme l'indique le tableau ci-dessous. Il est à noter que les épaisseurs de cet horizon varient en fonction de lithologie ; par ex pour cette étude, elle plus grande sur le granite, et moins important sur le grès. Les profondeurs varient aussi de 75 à 100 m selon les localités.

Tableau VIII : Répartition des plages l'horizon fissuré

Intervalle	[300-365[	[365-430[	[430-499]
Nombre	58	54	63
Pourcentage	33,14%	30,86%	36,00%
% cumulé	33,14%	64,00%	100,00%

III.1.9 : Statut des forages

Sur 175 forages, il Ya 135 positifs et 40 forages négatifs donc 77,14% de positifs et 22,87% de négatifs .Il est à noter que ces pourcentages sont faibles car le taux d'échec au Burkina varie entre 40 et 65%.

Du point de vue statut et lithologie, 40% des forages sont sur du granite, 31% sur le schiste et 29% sur le grès.

Sur le granite, 76% des forages sont positifs et 24% négatifs.

Sur le grès, 86% des forages sont positifs contre 14 % de négatifs.

Sur le schiste, 70% de forages positifs et 30% de forages négatifs

De ce fait, il résulte que le granite et le grès offrent plus de chance de faire un forage positif.

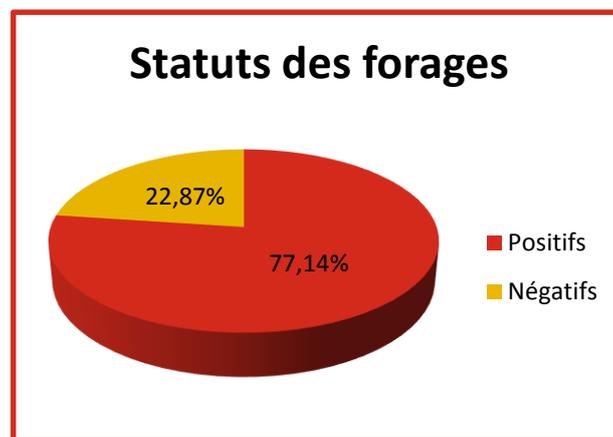


Figure 11: Diagramme circulaire du statut des forages

III.2 : Paramètres géophysiques en fonction de la lithologie

III.2.1: Granite

a- Statut et type d'anomalies

Sur le granite, il a été dénombré :

- 33 types d'anomalies de Types CCL dont 29 à statuts positifs et 4 négatifs.
- 32 types d'anomalies de Types CCE dont 21 à statuts positifs et 11 négatifs.
- 5 types d'anomalies de Types PC dont 3 à statuts positifs et 2 négatifs.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction du type d'anomalie révèle une nette dominance type compartiment conducteur large (CCL) qui a un taux de succès de 87,88% suivi des types compartiment conducteur étroit (CCE) avec 63,65% et enfin le type pallier conducteur (PC) avec 60%.

De ce faite, l'on peut dire que sur le granite, le type d'anomalie CCL offre plus d'opportunités de faire un forage positif.

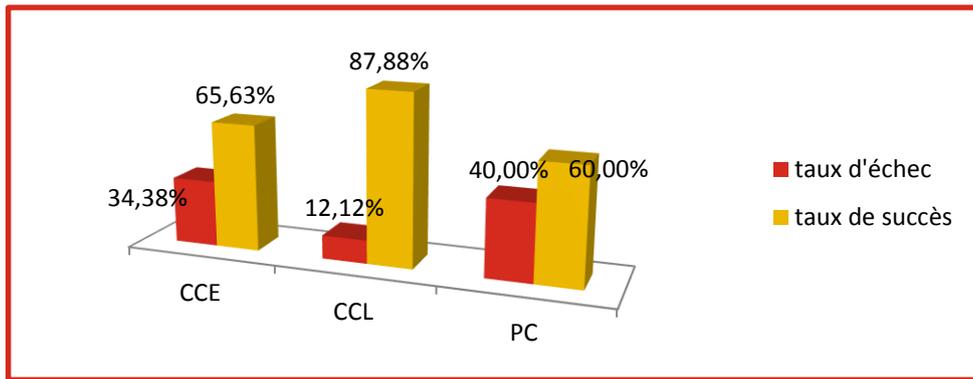


Figure 12: Statut et types d'anomalies

b- Statut et formes d'anomalies

Sur le granite, il a été dénombré :

- 02 formes d'anomalies K dont 1 à statuts positifs et 1 négatif.
- 15 formes d'anomalies U dont 15 à statuts positifs et 3 négatifs.
- 31 formes d'anomalies V dont 22 à statuts positifs et 9 négatifs.
- 19 formes d'anomalies W dont 15 à statuts positifs et 4 négatifs.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction de la forme d'anomalie montre que la forme d'anomalie « U » est la plus dominante (83,33%) secondée par la forme « W » 78,95%, la troisième place revient à la forme « V » et enfin la forme « K » avec 50%.

Il faut noter que la forme « K » à un taux d'échec qui est égal au taux de réussite.

De ce précède, il résulte que les formes « U et V » sont les idéales pour un forage positif sur le granite.

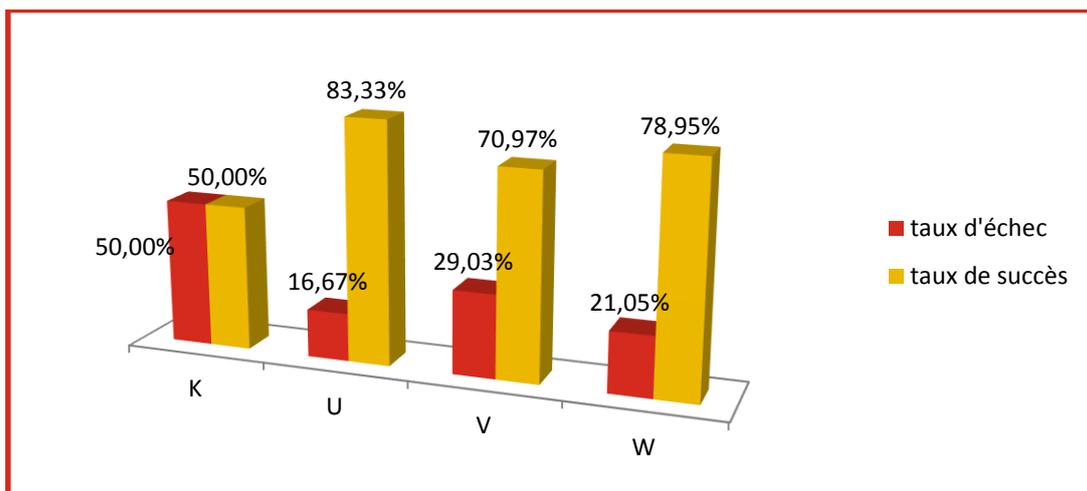


Figure 13: Statut et formes d'anomalies

c- Statut et types de sondages

Sur le granite, il a été dénombré :

- 03 types de sondages de Types A dont 1 à statut positif et 2 négatifs.
- 24 types de sondages de Types K dont 17 à statuts positifs et 7 négatifs.
- 43 types de sondages de Types KH dont 35 à statuts positifs et 8 négatifs.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction des types d'anomalies laisse voir une dominance du type « KH » avec 81,40% suivi du type « H » avec 70,83% et enfin la forme 33,33% (taux d'échec trop élevé). Donc les types « KH et H » sont plus susceptibles de donner un forage positif sur le granite.

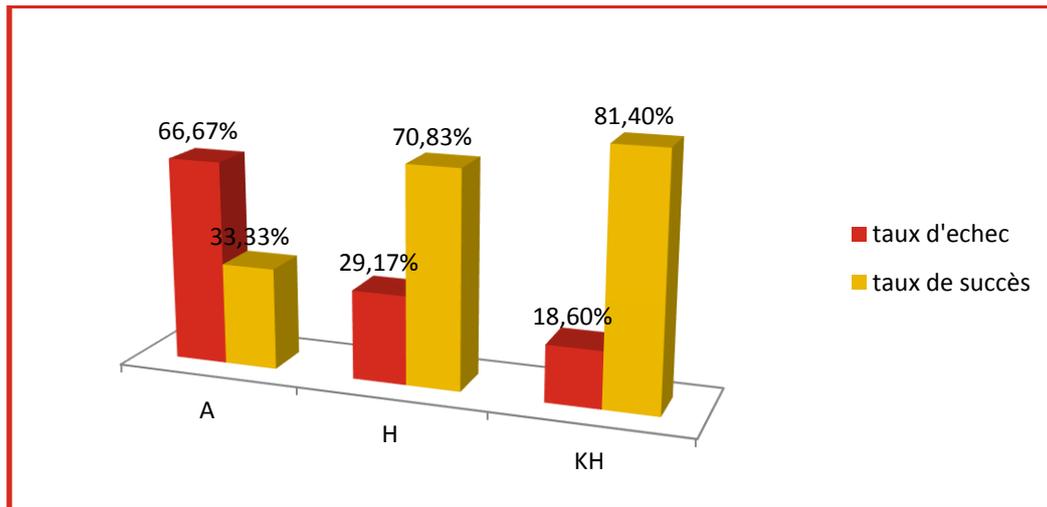


Figure 14: Statut et types de sondages

d - Statut et épaisseur d'altération

De cette analyse, il ressort d'une manière générale que sur le granite, les épaisseurs d'altération sont grandes (en moyenne 28 m). Pour ce qui est des taux de réussite, il ressort que toutes les classes dépassent 65% mais la meilleure classe est ≥ 55 avec un taux de 100%.

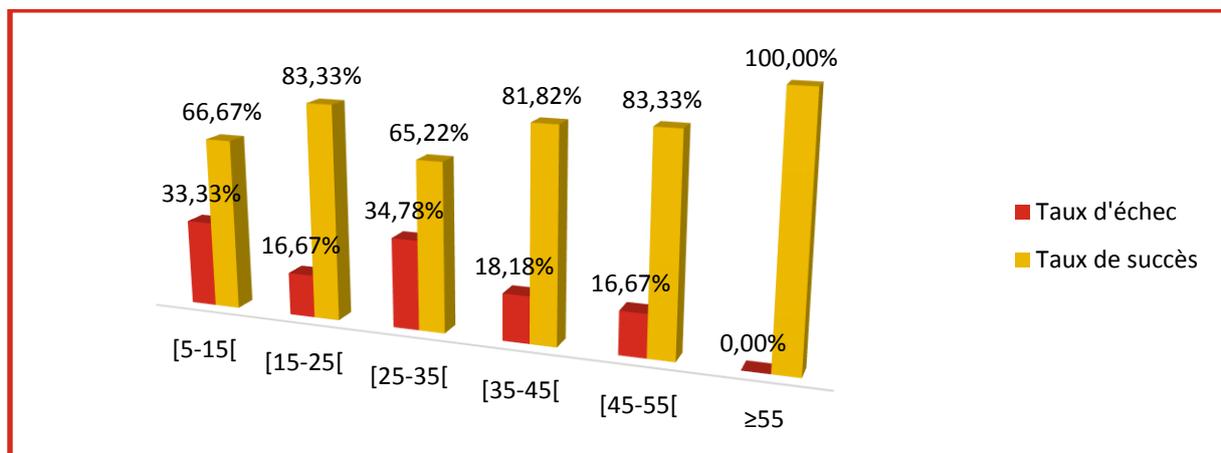


Figure 15: Statut et épaisseurs d'altérations

d- Statut et horizon fissuré

Après une classification, les effectifs de l'horizon fissuré ont été répartis selon les classes suivantes :

- La classe [300 – 365[a un effectif de 21 dont 14 à statuts positifs et 7 négatifs.
- La classe [365 – 430[a un effectif de 27 dont 20 à statuts positifs et 7 négatifs.
- La classe [430 – 499[a un effectif de 22 dont 19 à statuts positifs et 4 négatifs.

Pour cette analyse, il résulte que le taux de réussite globale par classe dépasse 65 %, donc bon dans l'ensemble. Le meilleur taux revient à la classe de résistivité [433 – 499[avec 86,36%.

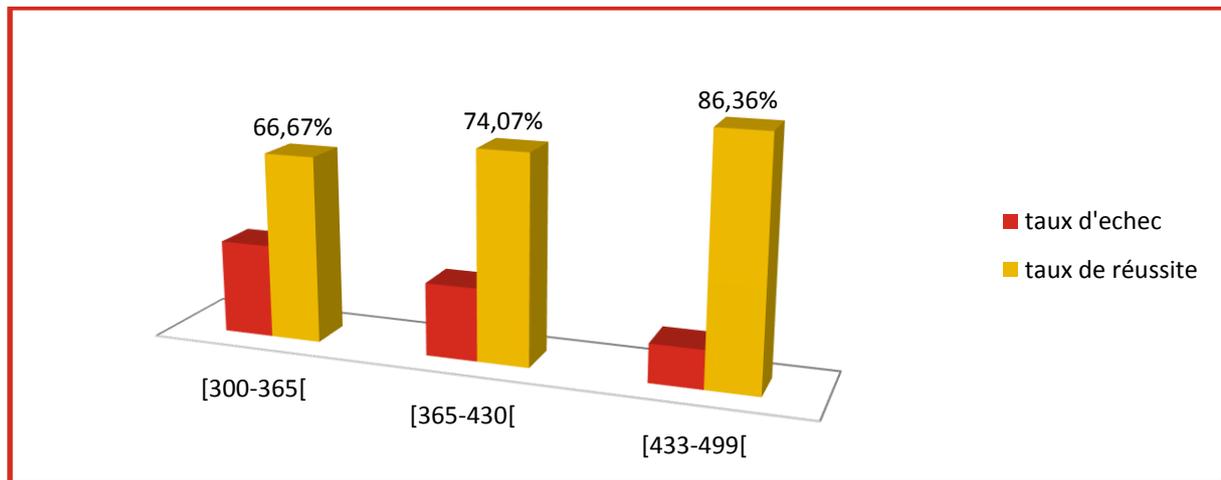


Figure 16: Statut et horizon fissuré

e- Statut et épaisseur saturée

Après une classification, les effectifs de l'épaisseur saturée ont été répartis selon les classes suivantes :

- La classe [32,8 – 45[a un effectif de 7 dont 5 statuts positifs et 2 négatifs.
- La classe [45 – 65[a un effectif de 9 dont 8 statuts positifs et 1 négatifs.
- La classe [65 – 96,9[a un effectif de 6 dont 6 à statuts positifs et 0 négatifs.

De cette analyse entre statut et épaisseur saturée, il ressort 100% du taux de réussite l'intervalle [65-96,9[. Le second qui est aussi bon avec 86,67% sur l'intervalle [45-65[et le faible avec 40,91% est sur l'intervalle [32,8–45[.

Donc sur le granite, la plage [65 – 96,9[est la plus propice pour aboutir à un forage positif.

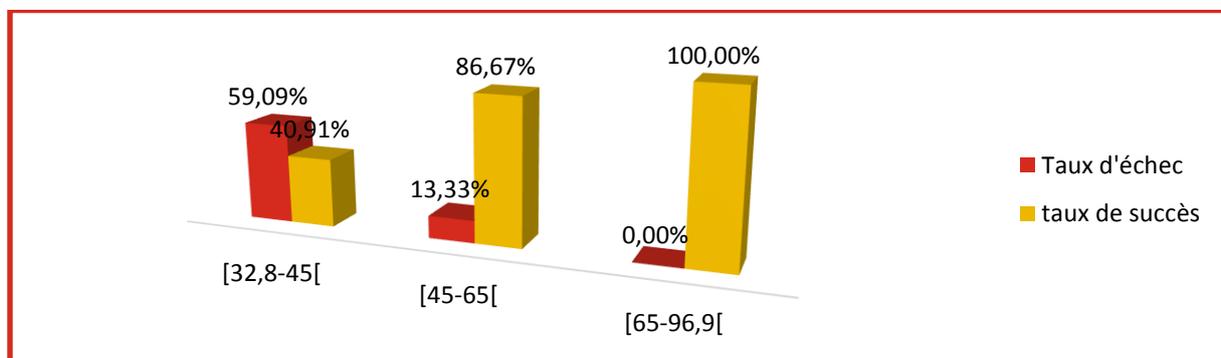


Figure 17: Proportion des plages des épaisseurs d'altération en fonction du statut

f- Débit et formes d'anomalies

L'analyse des classes des débits en fonction des formes d'anomalies montre que les formes d'anomalies « U » sont majoritaire pour les forages de 0,7 à 5 m³/h. Sur la plage [5-10[, les formes « U, V, W » sont majoritaires ainsi que pour autres plages. Il est à noter que la forme « K » est quasiment nulle sur toutes les plages.

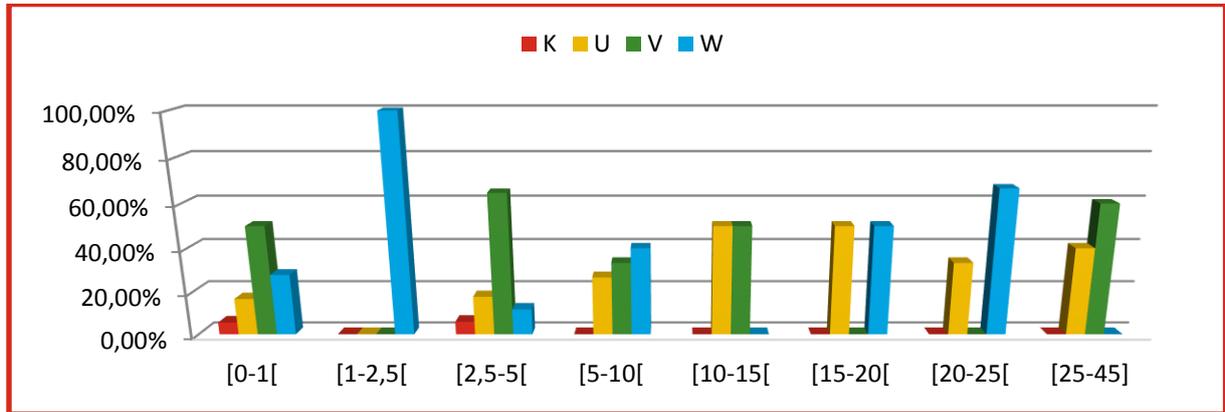


Figure 18: Croisement débits et formes d'anomalies

g- Débit et types de sondages

Cette analyse montre une intéressante fréquence et de domination du type « KH » pour les débits de 5 à 25 m³/h. Aussi le type « A » n'existe faiblement que pour les débits de 2.5 à 5 m³/h sinon, il est nul sur les autres plages.

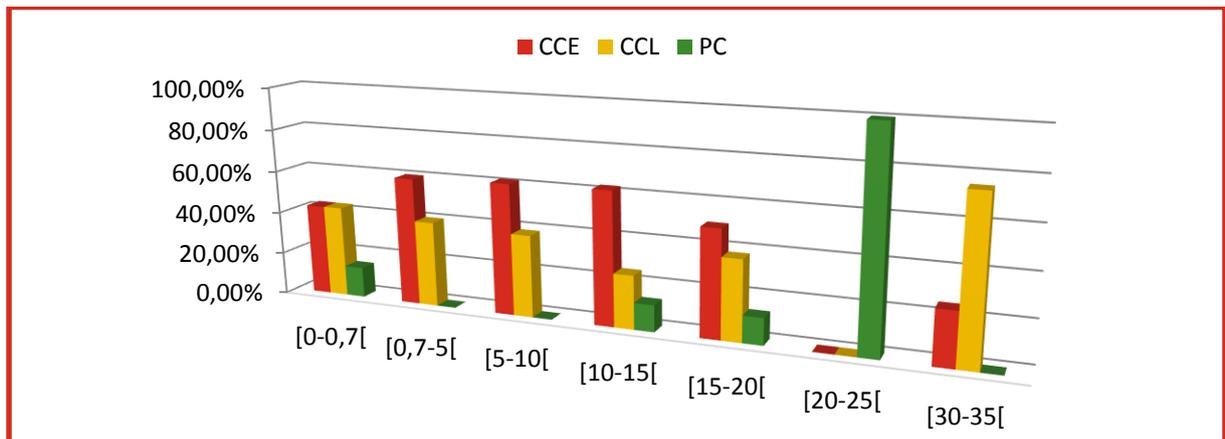


Figure 19: Débits et types de sondages

h- Débit et épaisseur d'altération

De cette analyse il ressort que les plages d'épaisseurs d'altérations favorables au gros débit sont : [5-15 et ≥ 55 offrent des chances acceptables.

Tableau IX: Tableau croisé entre débits et épaisseurs d'altérations

		[0-5[	[5-15[	15-25[	[25-35[	[35-45[	[45-55[≥ 55	Total
Débits	[0-1[	100,00%	14,68%	27,00%	32,70%	20,97%	18,66%	12,71%	24,88%
	[1-2,5[	0,00%	37,60%	17,54%	14,39%	38,91%	18,70%	13,29%	3,49%
	[2,5-5[	0,00%	12,16%	23,42%	32,90%	10,21%	32,31%	45,07%	17,27%
	[5-10[	0,00%	22,73%	10,53%	0,00%	0,00%	11,83%	28,93%	24,59%
	[10-15[	0,00%	8,97%	11,79%	9,51%	0,00%	0,00%	0,00%	11,52%
	[15-20[	0,00%	1,93%	1,69%	0,00%	10,17%	4,85%	0,00%	7,41%
	[20-25[	0,00%	0,00%	0,00%	10,51%	9,83%	1,21%	0,00%	2,45%
	[25-45]	0,00%	0,00%	4,26%	0,00%	0,00%	9,53%	0,00%	8,38%
Total général	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

i- Débit et horizon fissuré

De l'analyse entre les plages de débits et les plages de résistivités de la cible hydrogéologique, il résulte que pour les débits inférieurs au débit d'équipement, nous avons un faible taux ; ce qui signifie que ces forages ne sont pas dans la cible hydrogéologique d'où leur négativité. Pour les intervalles de débits compris entre 2.5 et 10 m³/h, la valeur moyenne de la résistivité tend vers 360 Ω .m tandis que pour les plages de débits supérieurs à 10 m³/h, ces valeurs tendent vers 499 Ω .m. Donc plus le débit du forage est élevé, plus la valeur des résistivités de l'horizon fissuré augmente.

Tableau X: Tableau croisé entre débits et cible hydrogéologique

		[300-365[	[365-430[	[433-499[	Total
Débits	[0-1[	37,98%	25,98%	13,68%	24,44%
	[1-2,5[	0,00%	3,78%	4,82%	3,22%
	[2,5-5[	23,99%	26,09%	22,73%	24,34%
	[5-10[	33,34%	10,87%	22,35%	20,66%
	[10-15[	0,00%	7,55%	18,25%	9,61%
	[15-20[	0,00%	10,82%	4,37%	5,77%
	[20-25[	0,00%	11,11%	0,00%	4,27%
	[25-45]	4,69%	3,81%	13,81%	7,70%
Total général	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

j- Débit et épaisseur saturée

De l'analyse entre la plage d'épaisseur saturée et les plages de débits, l'on remarque que pour les plages d'épaisseurs saturées [32.8 à 45[et [45 à 65[, le débit moyen correspondant est 10

m3/h, donc l'on dire que pour les forages à gros débit, la valeur de l'épaisseur saturée est comprise entre [45 à75].

Tableau XI: Tableau croisé débits et épaisseurs saturées

		[32,8-45[	[45-65[	[65-96,9[	Total
Débits	[0-1[	10,00%	16,67%	0,00%	10,34%
	[1-2,5[	0,00%	3,33%	5,56%	10,34%
	[2,5-5[	40,00%	23,33%	33,33%	3,45%
	[5-10[	20,00%	23,33%	33,33%	6,90%
	[10-15[	30,00%	6,67%	5,56%	29,31%
	[15-20[	0,00%	3,33%	16,67%	5,17%
	[20-25[	0,00%	10,00%	0,00%	8,62%
	[25-45]	0,00%	13,33%	5,56%	25,86%
Total général		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Conclusion sur le granite

En somme, on peut retenir que le granite possède un taux de réussite de 82%. Le type d'anomalie CCL offre les meilleures chances de réussite. Pour ce qui est des anomalies, la forme « U » a un meilleur taux de réussite. Concernant les types de sondages, c'est le type « KH » qui est à la fois le plus récurrent et celui qui offre plus de chance de réussite. Le meilleur taux de réussite pour les épaisseurs d'altérations revient à la tranche qui est supérieure ou égale à 55 m. L'intervalle de la valeur de résistivité de la cible hydrogéologique ayant un meilleur taux de réussite est [433-499] avec 66 m d'épaisseur. L'épaisseur saturée ayant le taux de succès dominant entre 45 et 65 m.

Du point de vue productivité, les formes d'anomalies « U, V et W » l'emportent tandis que pour les types, « KH et H » sont les plus productives. Les intervalles les plus productifs en terme d'épaisseur d'altération sont entre [2.5 -5[et [15-25[tandis que pour l'épaisseur saturée, l'intervalle [45-65[l'emporte. Pour la cible hydrogéologique, c'est la tranche [365-499[qui est la plus productives.

III.2.2 : sur le grès

a- Statut et types d'anomalies

Sur le grès, il a été dénombré :

- 20 types d'anomalies de Types CCL dont 17 à statuts positifs et 3 négatifs.
- 27 types d'anomalies de Types CCE dont 24 à statuts positifs et 3 négatifs.
- 4 types d'anomalies de Types PC dont 3 à statuts positifs et 1 négatif.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction du type d'anomalie révèle une nette dominance type compartiment conducteur large (CCE) qui a un taux de succès de 88,89% suivi des types compartiment conducteur étroit (CCL) avec 85% et enfin le type pallier conducteur (PC) avec 75%.

De ce faite, l'on peut dire que sur le granite, le type d'anomalie CCE offre plus d'opportunités de faire un forage positif

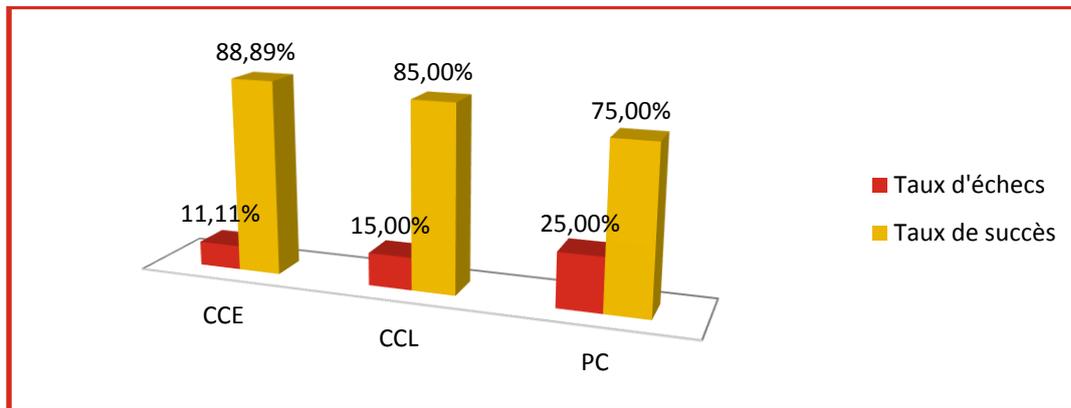


Figure 20: Statut et types d'anomalies

b- Statut et formes d'anomalies

Sur le grès, il a été dénombré :

- 0 forme d'anomalie K, cela signifie que la forme K n'existe pas sur le grès dans la zone d'étude.
- 14 formes d'anomalies U dont 12 à statuts positifs et 2 négatifs.
- 14 formes d'anomalies V dont 10 à statuts positifs et 4 négatifs.
- 23 formes d'anomalies W dont 22 à statuts positifs et 1 négatif.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction de la forme d'anomalie montre que la forme d'anomalie «W» est la plus dominante (95.65%) secondée par la forme « U » 85.71%, et enfin la troisième place revient à la forme « V » avec 71.43%. De ce qui précède, il résulte que les formes « W et U » sont idéales pour un forage positif sur le grès.

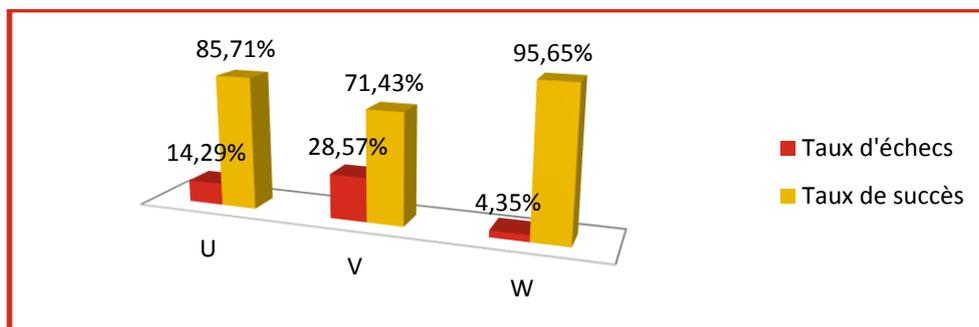


Figure 21: Histogramme statut/formes d'anomalies

c- Statut et types de sondages

Sur le grès, il a été dénombré :

06 types de sondages de Types A (dont 3 à statut positif et 3 négatifs).

13 types de sondages de Types K (dont 12 à statuts positifs et 1 négatif).

32 types de sondages de Types KH (dont 29 à statuts positifs et 3 négatifs).

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction des types d'anomalies laisse voir une dominance du type « H » avec 92,31% suivi du type « KH » avec 90,63% et enfin la forme « A » 50%. Donc les types « H et KH » sont plus susceptibles de donner un forage positif sur le grès.

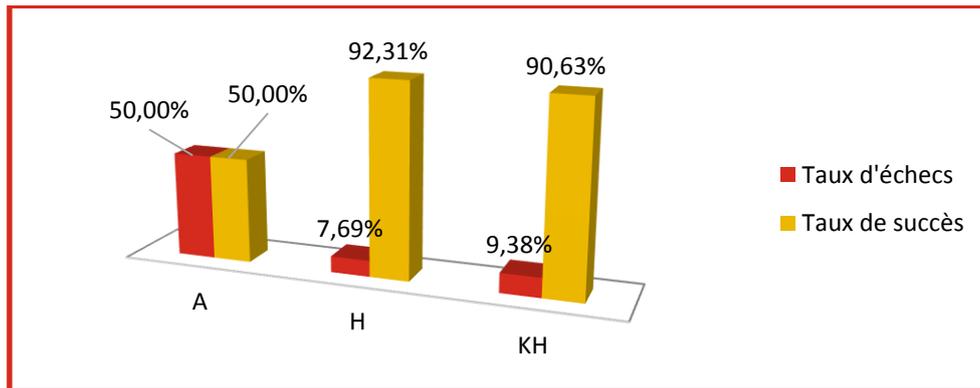


Figure 22 : Histogramme statut/types de sondages

d- Statut et épaisseur d'altération

De l'analyse du croisement en fonction de l'altération, On observe d'une manière générale que pour la lithologie grès, les épaisseurs d'altération sont profondes et dépassent toutes 65% de réussite sauf sur la tranche comprise entre 0 et 5 m.

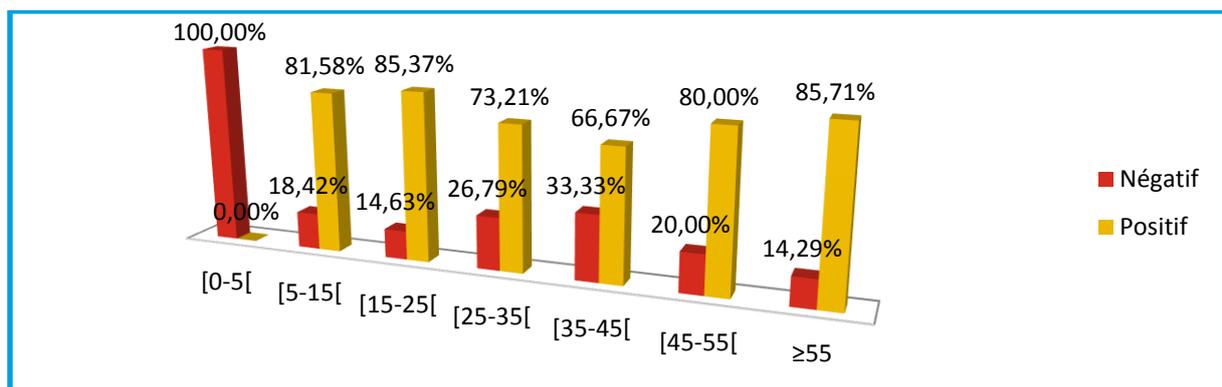


Figure 23: Histogramme statut/épaisseur d'altération

e- Statut et cible hydrogéologique

Après une classification, les effectifs de l'horizon fissuré ont été répartis selon les classes suivantes :

La classe [300 – 365[a un effectif de 17 dont 14 à statuts positifs et 3 négatifs.

La classe [365 – 430[a un effectif de 16 dont 14 à statuts positifs et 2 négatifs.

La classe [430 – 499[a un effectif de 18 dont 16 à statuts positifs et 2 négatifs.

Pour cette analyse, il résulte que le taux de réussite globale par classe dépasse 80 %, donc bon dans l'ensemble, mais le meilleur taux revient à la classe de résistivité [433 – 499[avec 88,89%.

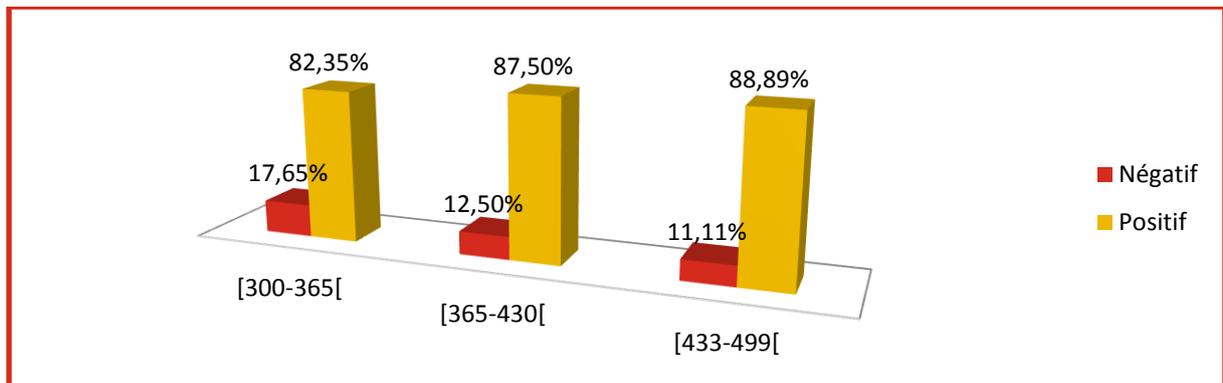


Figure 24 Histogramme statut/cible hydrogéologique

f- Statut et épaisseur saturée

Après une classification, les effectifs de l'épaisseur saturée ont été répartis selon les classes suivantes :

La classe [32.8 – 45[a un effectif de 7 dont à 5 statuts positifs et 2 négatifs.

La classe [45 – 65[a un effectif de 9 dont à 7 statuts positifs et 2 négatifs.

La classe [65 – 96.9[a un effectif de 9 dont 8 à statuts positifs et 1 négatif.

De cette analyse entre statut et épaisseur saturée, il ressort que 92,86% du taux de réussite pour [65-96,9[, 92,31% est sur l'intervalle [45-65[, et 79,17% pour l'intervalle [32,8–45[. Donc sur le grès, la plage [65 – 96.9[est la plus propice pour aboutir à un forage positif.

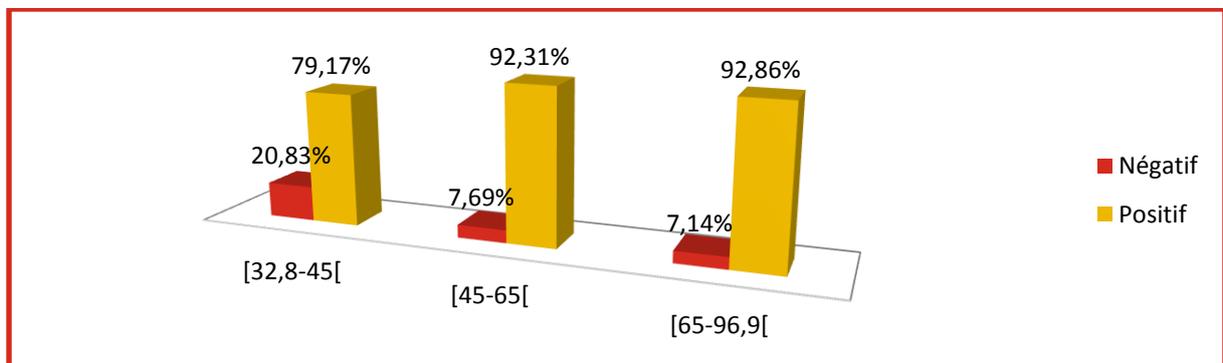


Figure 25: histogramme statut/épaisseur saturée

g- Débit et types d'anomalies

De cette analyse, entre le débit et les types d'anomalies sur le grès, il ressort que les plus grand taux d'échec concernent les types CCE et CCL avec 42,86%. Le meilleur taux de réussite revient au type PC sur la plage [20-25[avec 100%. Après analyse profonde le type le représentatif en terme de taux de réussite et de fréquence revient au le type CCL.

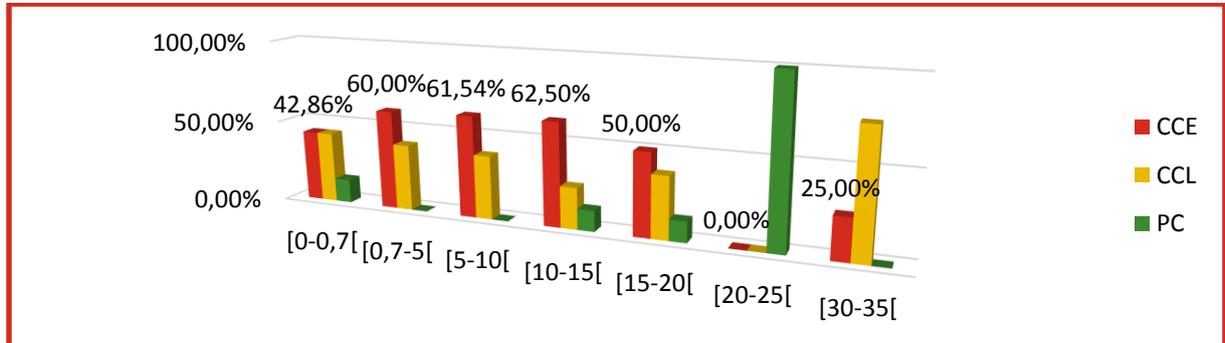


Figure 26: Histogramme débit/types d'anomalies

h- Débit et formes d'anomalies

Le croisement montre que les formes d'anomalies « U » sont majoritaires pour les forages de 20 à 25 m³/h. Sur la plage [5-10[, les formes « U et W » sont majoritaires ainsi que pour autres plages.

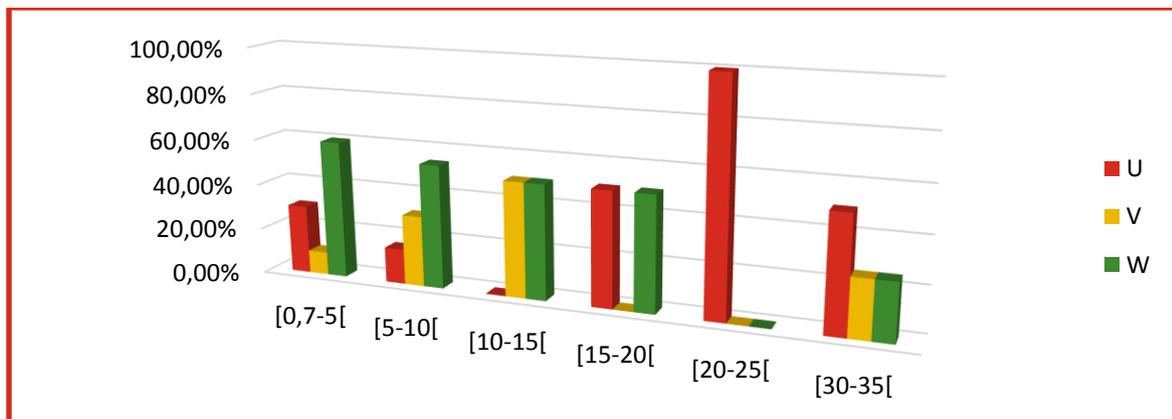


Figure 27: Histogramme débit/formes d'anomalies

i- Débit et types de sondages

La figure ci-dessous montre une intéressante fréquence et de domination du type « KH » pour la plupart des classes sauf qu'il est nul pour des débits compris entre 20 à 25 m³/h. Nous

remarquons aussi le type « A » a un taux de succès de 100% sur le même intervalle mais est très faible pour les autres.

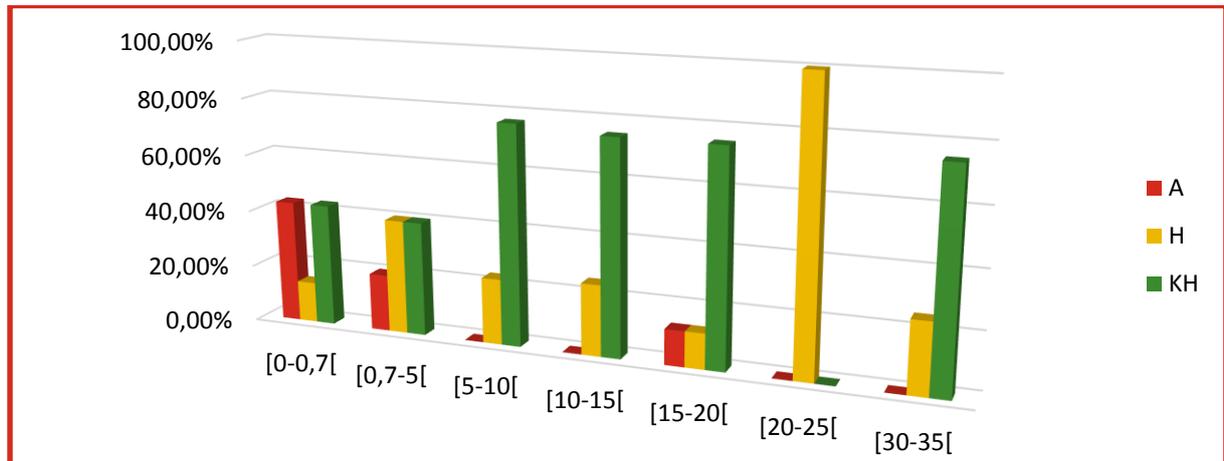


Figure 28: Histogramme débit/types de sondages

j- Débit et épaisseur d'altération

A partir du tableau ci-dessous, il apparaît que la plage de débit [0.7-5[offre de meilleur change de taux de réussite pour l'intervalle d'épaisseur d'altération [15-25[. Pour les gros débits, les intervalles de débits [15-20[et [30-35[sont plus propices pour des intervalles respectifs d'épaisseurs d'altérations de [15-25[et [5-15[.

Tableau XII: Tableau croisé débit/épaisseurs d'altérations

Epaisseur altération		[0-5[	[15-25[	[25-35[	[35-45[	[45-55[	[5-15[	≥55	Total général
Débits	[0-1[	14,29%	14,29%	28,57%	14,29%	0,00%	28,57%	0,00%	100%
	[1-2,5[	0,00%	40,00%	10,00%	0,00%	0,00%	50,00%	0,00%	100%
	[2,5-5[	0,00%	15,38%	23,08%	15,38%	7,69%	38,46%	0,00%	100%
	[5-10[	0,00%	25,00%	37,50%	0,00%	0,00%	12,50%	25,00%	100%
	[10-15[	0,00%	37,50%	62,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
	[15-20[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100%
	[20-25[	0,00%	0,00%	25,00%	0,00%	0,00%	75,00%	0,00%	100%
Total		1,96%	23,53%	29,41%	5,88%	3,92%	31,37%	3,92%	100%

k- Débit et horizon fissuré

Il s'agit ici d'un croisement entre les plages de débits et des plages d'épaisseur de la cible hydrogéologique. De ce croisement, on remarque que pour les débits inférieurs au débit d'équipement, nous avons un faible taux ; ce qui signifie que ces forages ne sont pas dans la cible hydrogéologique d'où leur négativité.

Pour les débits compris entre 0,7 et 5 m³/h, les taux sont acceptables mais légèrement faibles. Pour les tranches de 10 à 20 m³/h, les taux deviennent intéressants et assez bon. Cette tranche

fait partir des gros débits ce qui signifie que le captage de ces forages a lieu dans la cible hydrogéologique.

Tableau XIII: Tableau croisé débit/ cible hydrogéologique

Cible		[300-365[	[365-430[	[433-499[	Total général
Débits	[0-1[	1,00%	0,00%	0,67%	0,43%
	[1-2,5[	14,59%	3,41%	4,36%	6,12%
	[2,5-5[	31,97%	3,46%	28,51%	17,56%
	[5-10[	9,75%	21,54%	24,76%	20,03%
	[10-15[	14,23%	21,14%	41,69%	26,19%
	[15-20[	0,00%	9,96%	0,00%	4,65%
	[20-25[	28,46%	40,49%	0,00%	25,03%
Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

1- Débit et épaisseur saturée

De ce croisement, la plage d'épaisseur saturée [45-65[se distingue des autres en ayant des taux de réussite de 100% sur les plages allant de 25 à 30 m³/h qui sont des gros débits. En seconde position vient la plage d'épaisseur saturée [32,8-45[qui a un succès de 86,45% pour les débits de 20 à 25 m³/h qui sont aussi des gros débits. Enfin, la plage [65-96,9[avec le taux de réussite de 40,58% chacun pour l'intervalle de débit allant de 10 à 15 m³/h qui fait partir des gros débits aussi.

Tableau XIV: Tableau de croisement Débit/épaisseur saturée

Niveau saturé		[32,8-45[	[45-65[	[65-96,9[	Total
Débits	[0-1[	49,95%	18,08%	31,97%	100,00%
	[1-2,5[	46,78%	9,34%	43,88%	100,00%
	[2,5-5[	52,10%	7,32%	40,58%	100,00%
	[5-10[	11,20%	76,57%	12,22%	100,00%
	[10-15[	86,45%	0,00%	13,55%	100,00%
	[15-20[	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%
	[20-25[	24,45%	75,55%	0,00%	100,00%
Total général		43,23%	40,83%	15,94%	100,00%

Conclusion sur le grès

En somme, on peut retenir que le grès possède un taux de réussite de 74%. Le type d'anomalie « CCE » offre les meilleures chances de réussite. Pour ce qui est des formes d'anomalies, la forme « W » à un meilleur taux de réussite. Concernant les types de sondages, c'est le type « H » qui est à la fois le plus récurrent et celui qui offre plus de chance de réussite. Le meilleur taux de réussite pour les épaisseurs d'altérations revient à la tranche qui est

supérieure ou égale à 55 m. L'intervalle de la cible hydrogéologique ayant un meilleur taux de réussite est [433-499[avec 59 m d'épaisseur. L'épaisseur saturée ayant le taux de succès dominant entre 65 et 96,9 m et enfin la tranche des transmissivités la plus propice est celle comprise entre 10^{-4} et $5,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

Du point de vue productivité, les formes d'anomalies « U et W » l'emportent tandis que pour les types, « KH et H » sont les plus productives. Les intervalles les plus productifs en terme d'épaisseur d'altération sont entre [15-55 [tandis que pour l'épaisseur saturée, l'intervalle [45-96,9[l'emporte. Pour la cible hydrogéologique, c'est la tranche [365-499[qui est la plus productives. La transmissivité la plus productive est sur la portion comprise entre 10^{-4} et $5,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s

III.2.3 : Schiste

a- Statut et types d'anomalies

Sur le schiste, il a été dénombré :

- 22 types d'anomalies de Types CCL dont 14 à statuts positifs et 8 négatifs.
- 25 types d'anomalies de Types CCE dont 17 à statuts positifs et 8 négatifs.
- 4 types d'anomalies de Types PC dont 4 à statuts positifs et 0 négatifs.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction du type d'anomalie révèle une nette dominance du type PC qui a un taux de succès de 100% suivi des types compartiment conducteur étroit (CCL) avec 63,64% et enfin CCE avec 60%.

De ce faite, l'on peut dire que sur le schiste, le type d'anomalie PC offre plus d'opportunités de faire un forage positif.

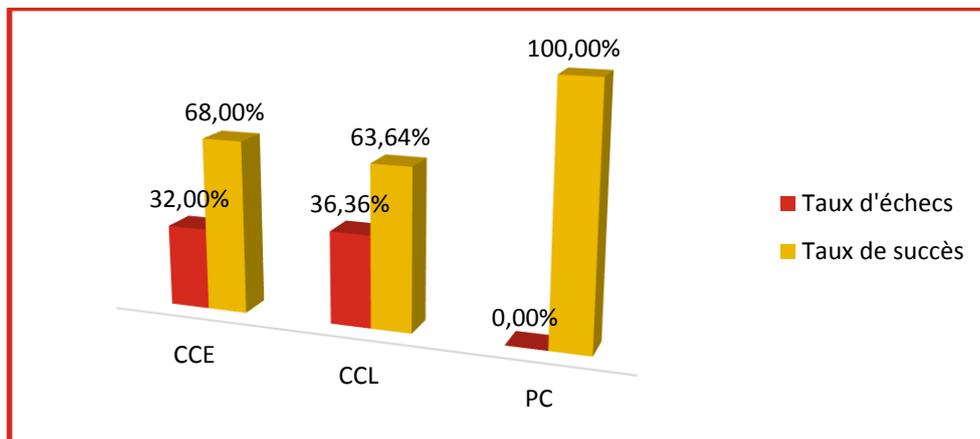


Figure 29: Histogramme statut/types d'anomalies

b- Statut et formes d'anomalies

Sur le schiste, il a été dénombré :

- 1 forme d'anomalie K positive
- 10 formes d'anomalies U dont 19 à statuts positifs et 1 négatif.
- 21 formes d'anomalies V dont 11 à statuts positifs et 10 négatifs.
- 22 formes d'anomalies W dont 17 à statuts positifs et 5 négatifs.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatifs » des proportions en fonction de la forme d'anomalie montre que la forme d'anomalie «K» est la plus dominante (100%), secondée par la forme « U » 90%, ensuite « W » avec 77.27 % et enfin la forme « V » avec 52.38%.

De ce qui précède, il résulte que les formes « K et U » sont idéales pour un forage positif sur le schiste.

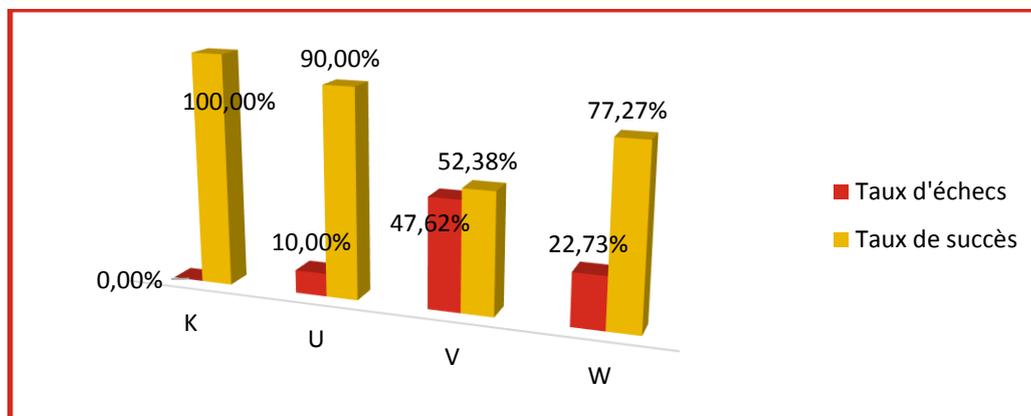


Figure 30: Histogramme Statut/formes d'anomalies

c- Statut et types de sondages

Sur le schiste, il a été dénombré :

- 03 types de sondages de Types A dont 2 à statut positif et 1 négatif.
- 21 types de sondages de Types K dont 14 à statuts positifs et 7 négatifs.
- 30 types de sondages de Types KH dont 22 à statuts positifs et 8 négatifs.

L'analyse des fréquences du statut « positif ou négatif » des proportions en fonction des types d'anomalies laisse voir une dominance du type « KH » avec 73,33% suivi du type « H et A » avec 66,67% .Donc les types «KH » est le plus propice pour donner un forage positif sur le schiste.

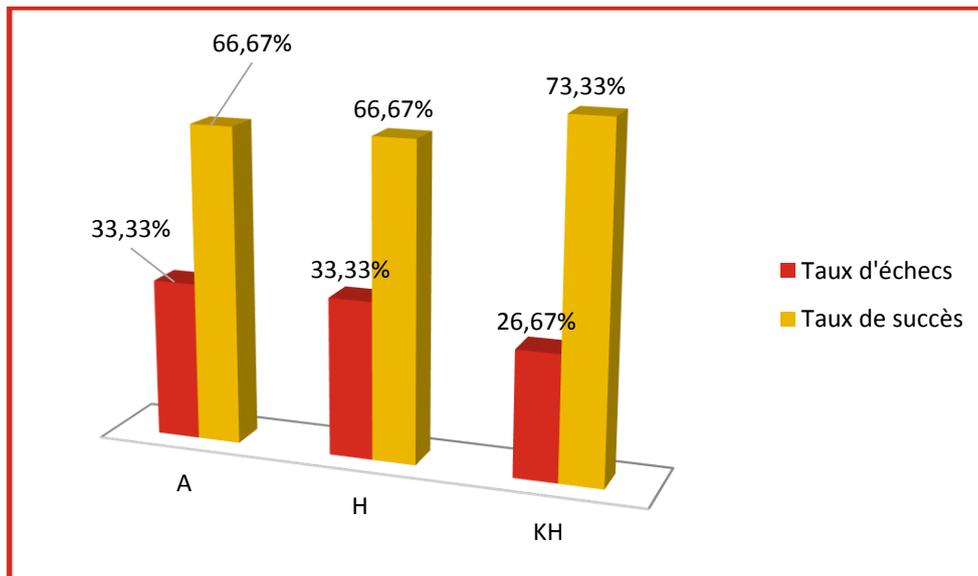


Figure 31: Histogramme statut/types de sondages

d- Statut et épaisseur d'altération

On observe d'une manière générale que pour la lithologie schiste, les épaisseurs d'altération sont grandes et dépassent toutes 65% taux de réussite.

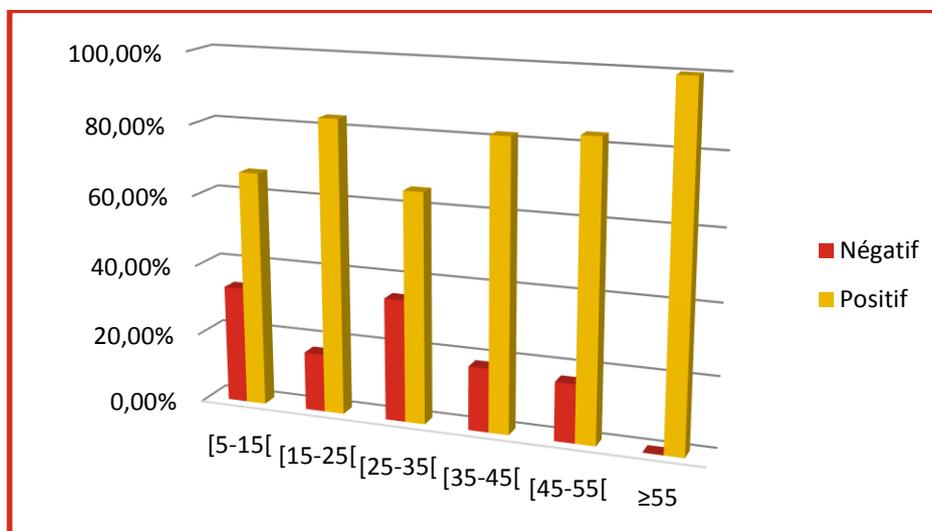


Figure 32: Histogramme statut/épaisseur d'altération

e- Statut et épaisseur d'horizon fissuré

Après une classification, les effectifs de l'horizon fissuré ont été répartis selon les classes suivantes :

- La classe [300 – 365[a un effectif de 20 dont 15 à statuts positifs et 5 négatifs.
- La classe [365 – 430[a un effectif de 20 dont 13 à statuts positifs et 7 négatifs.
- La classe [430 – 499[a un effectif de 14 dont 10 à statuts positifs et 4 négatifs.

Pour cette analyse, il résulte que le taux de réussite globale par classe dépasse 65 %, donc bon dans l'ensemble, mais le meilleur taux revient à la classe de résistivité [300-365[. avec 75%.

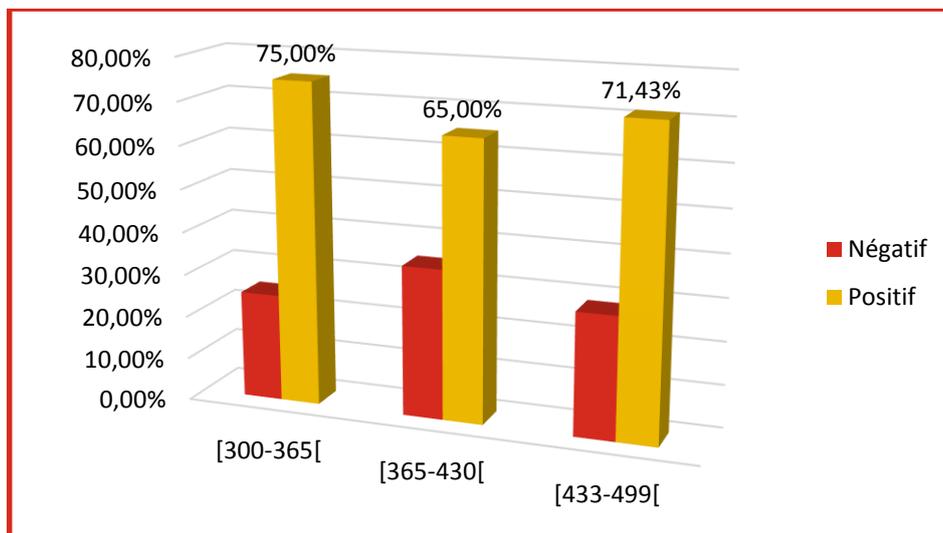


Figure 33 : Histogramme statut/épaisseur saturée

f- Statut et épaisseur saturée

De cette analyse entre statut et épaisseur saturée, il ressort 88,24% du taux de réussite l'intervalle [65-96,9[. Le second qui est aussi bon avec 80,95% sur l'intervalle [45-65[et le faible avec 40% est sur l'intervalle [32,8-45[.

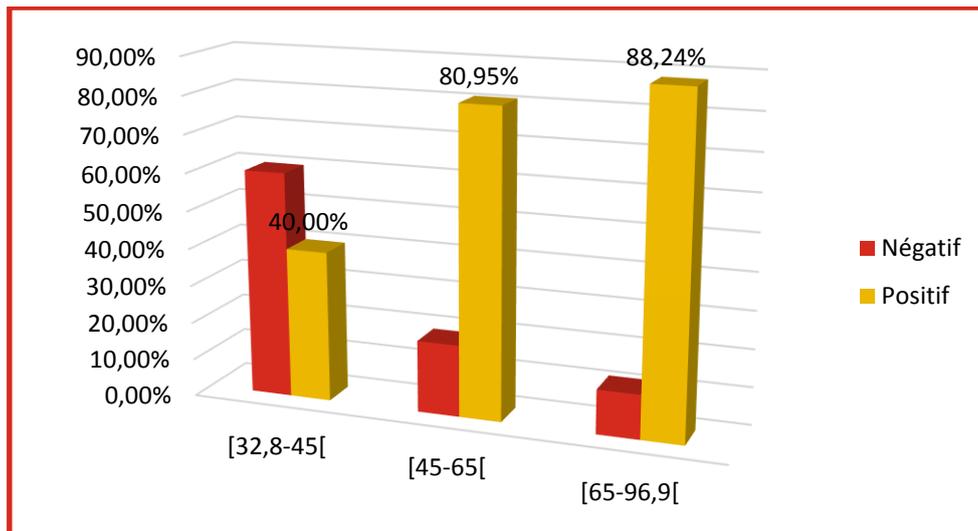


Figure 34: Histogramme statut/épaisseur saturée

g- Débit et types d'anomalies

De cette analyse entre le débit et les types d'anomalies sur le schiste, il ressort que les plus grand taux d'échec concernent les types CCE et CCL avec 41,67%. Le meilleur taux de réussite revient au type CCL sur les plage [15-20[, [35-40[et [40-45[avec 100%. Après analyse profonde le type le représentatif en terme de taux de réussite et de fréquence revient au le type CCL.

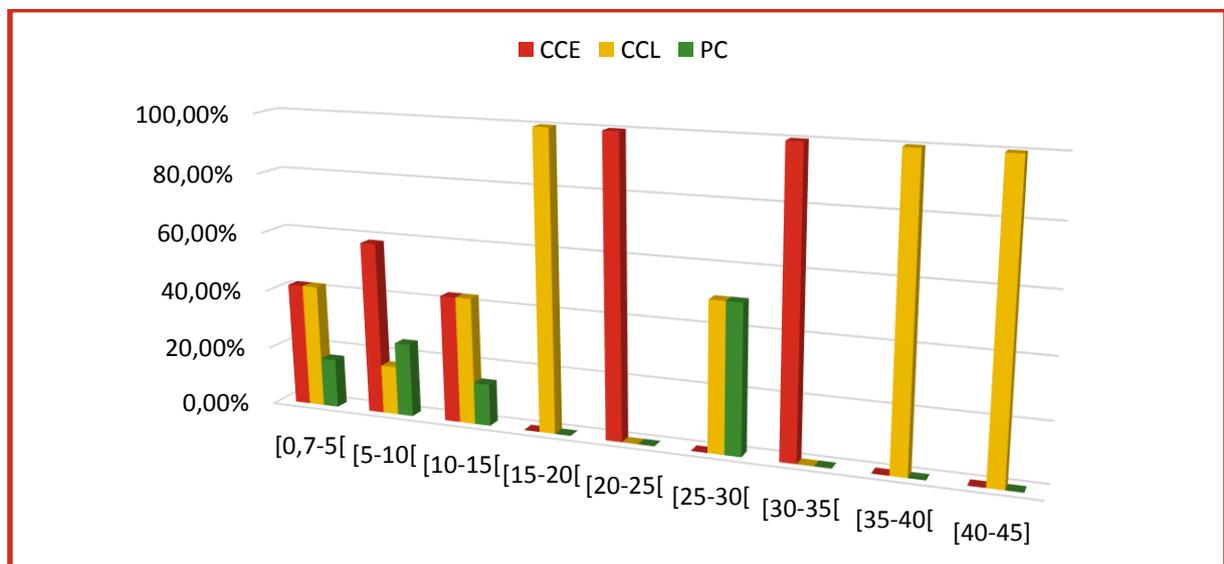


Figure 35: Histogramme débit/types d'anomalies

h- Débit et formes d'anomalies

L'analyse montre que les formes d'anomalies « U et V » sont majoritaires pour les forages de 25 à 30 et de 40 à 45 m³/h. Il faut noter que la forme « W » est aussi importante.

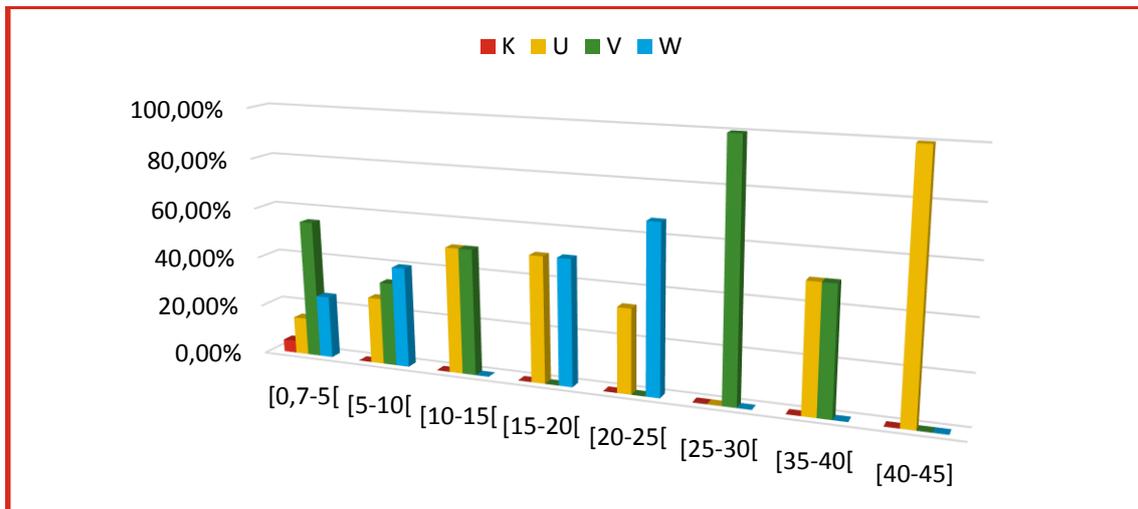


Figure 36: Histogramme débits/formes d'anomalies

i- Débit et types de sondages

L'analyse entre les débits et les types de sondages révèlent que es Types « KH et H » sont majoritaires mais le type « KH » est le plus récurrent.

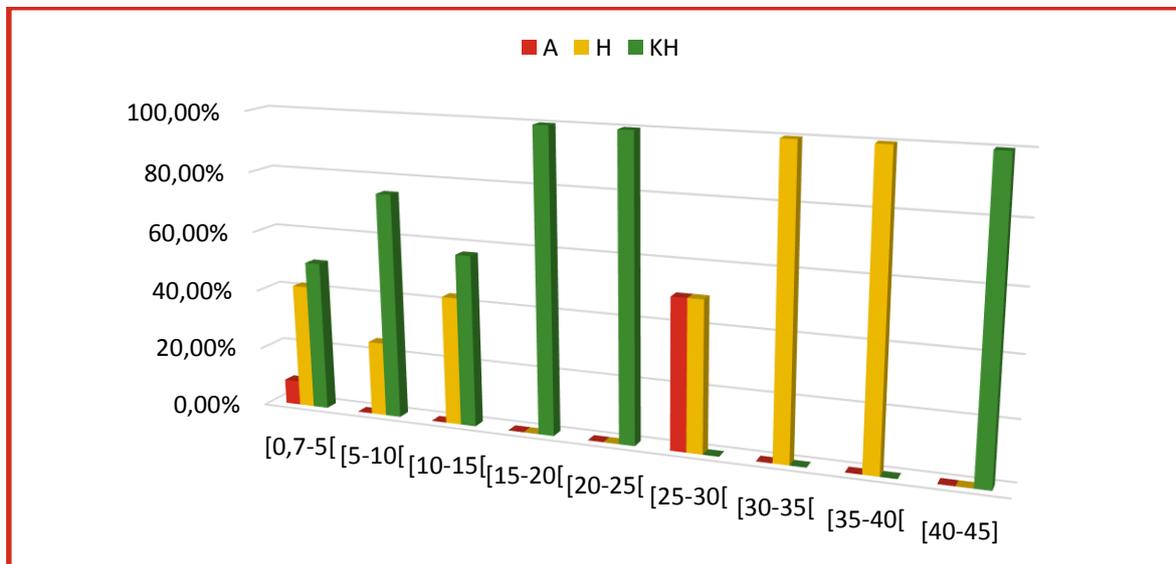


Figure 37: Histogramme débit/types de sondages

j- Débit et épaisseur d'altération

A partir du tableau ci-dessous, il apparaît que la plage de débit [5-10[offre de meilleure chance de taux de réussite pour l'intervalle d'épaisseur d'altération supérieure à 55 m. Les deux intervalles de débits les plus intéressants sont [0,7-5[et [5-10[qui totalisent 63,16%.

Tableau XV: Tableau de croisement débit/épaisseur d'altération

épaisseur d'altération		[15-25[	[25-35[	[35-45[	[45-55[	[5-15[	≥55	Total
Débits	[0-1[	44,44%	30,77%	0,00%	100,00%	27,27%	0,00%	31,58%
	[1-2,5[	11,11%	30,77%	33,33%	0,00%	45,45%	100,00%	31,58%
	[2,5-5[	44,44%	15,38%	0,00%	0,00%	9,09%	0,00%	18,42%
	[5-10[	0,00%	0,00%	33,33%	0,00%	0,00%	0,00%	2,63%
	[10-15[	0,00%	7,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,63%
	[15-20[	0,00%	0,00%	33,33%	0,00%	9,09%	0,00%	5,26%
	[20-25[	0,00%	7,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,63%
	[25-45]	0,00%	7,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,63%
Total général		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

k- Débit et horizon fissuré

Du tableau ci-dessous, on remarque que les deux premiers intervalles de débits totalisent 64,44% du taux de succès donc sont les plus intéressants.

Tableau XVI: Tableau croisé débit/cible hydrogéologique

cible		[300-365[	[365-430[	[433-499[	Total
Débits	[0-1[	32,85%	31,41%	30,83%	31,71%
	[1-2,5[	26,83%	22,82%	49,78%	32,73%
	[2,5-5[	20,12%	15,50%	19,39%	18,28%
	[5-10[	7,07%	0,00%	0,00%	2,36%
	[10-15[	0,00%	8,37%	0,00%	2,91%
	[15-20[	0,00%	14,52%	0,00%	5,05%
	[20-25[	6,49%	0,00%	0,00%	2,17%
	[25-45]	0,00%	7,36%	0,00%	2,56%
Total général		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Conclusion sur le schiste

En somme, on peut retenir que le grès possède un taux de réussite de 67%. Le type d'anomalie « PC » offre les meilleures chances de réussite. Pour ce qui est des formes d'anomalies, la forme « K » à un meilleur taux de réussite. Concernant les types de sondages, c'est le type « H » qui est à la fois le plus récurrent et celui qui offre plus de chance de réussite. Le meilleur taux de réussite pour les épaisseurs d'altérations revient à la tranche qui est supérieure ou égale à 55 m. L'intervalle de la cible hydrogéologique ayant un meilleur taux de réussite est [433-499[avec 51 m d'épaisseur. L'épaisseur saturée ayant le taux de succès dominant entre 65 et 96,9 m et enfin la tranche des transmissivités la plus propice est celle comprise entre 10^{-4} et $5,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

Du point de vue productivité, les formes d'anomalies « K, U et W » l'emportent tandis que pour les types, « KH et H » sont les plus productives. Les intervalles les plus productifs en terme d'épaisseur d'altération sont entre [0,7-5[et [5-10[[tandis que pour l'épaisseur saturée, l'intervalle [45-96,9[l'emporte. Pour la cible hydrogéologique, c'est la tranche [365-499[qui est la plus productive. La transmissivité la plus productive est sur la portion comprise entre 10^{-4} et $5,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

Tableau XVII: Tableau récapitulatif

Paramètres géophysiques	Paramètres favorables	Lithologie		
		Granite	Schiste	Grès
Formes d'anomalies	Meilleur taux de réussite	U	K	W
	Plus productif	U,V,W	K, U,W	W, U
Types d'anomalies	Meilleur taux de réussite	CCL	PC	CCE
	Plus productif	CCL	CCL, CCE	CCE, CCL
types de sondage	Meilleur taux de réussite	KH	KH	H
	Plus productif	KH et H	KH et H	KH et H
Epaisseur d'altération	Meilleur taux de réussite	≥55	≥55	≥55
	Plus productif	[0,7-5[[15-25[	[15-25[[45-55[≥55	[15-25[[45-55[≥55
horizon fissuré	Meilleur taux de réussite	[433-499[	[433-499[	[433-499[
	Plus productif	[365-433[[433-499[	[365-433[[433-499[	[365-433[[433-499[
Epaisseur saturée	Meilleur taux de réussite	[65-96,9[	[65-96,9[	[65-96,9[
	Plus productif	[45-65[[65-96,9[	[45-65[[65-96,9[	[45-65[[65-96,9[
Taux de réussite		82,00%	74%	67%
Appréciation générale		Bon	Assez bon	Assez bon

III.3 : Analyse à composante principale

Il sera question ici de constater les éventuelles corrélations entre les débits, l'horizon fissuré, l'épaisseur d'altération forée, la profondeur forée et le niveau saturé. Les caractéristiques de la cible hydrogéologique sont issues du traitement des fiches d'implantation sur le logiciel IPI2WIN. A cela l'on a ajouté les trois composantes de la lithologie pour mieux apprécier les corrélations selon la lithologie.

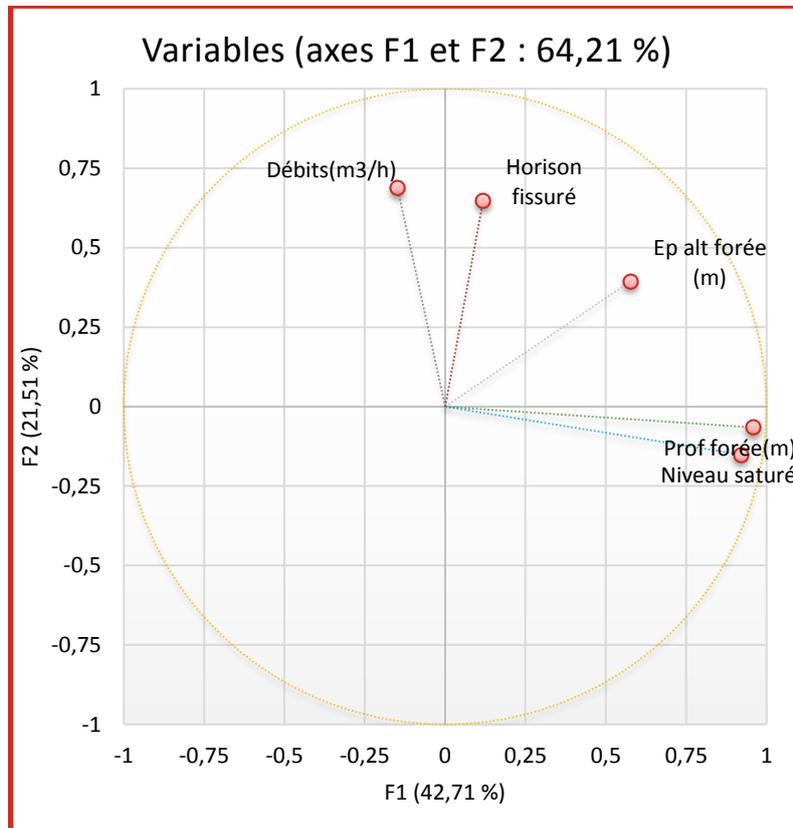


Figure 38: Cercle de corrélation

III.3.1 La matrice de corrélation

Avec cette matrice de corrélation, il a été constaté qu'il n'existe pas de grandes relations entre la productivité et les variables géophysiques ; ce qui vient conforter l'hypothèse sur la difficulté d'avoir l'eau en milieu de socle car les paramètres ne sont pas forcément liés. Pour la profondeur forée, elle est plus fortement corrélée et positivement avec l'épaisseur d'altération tandis qu'il est corrélé négativement avec les variables débits, statuts et grès. La variable niveau statique est la mieux corrélée avec le débit. Ce dernier est corrélé négativement avec les variables profondeur, niveau statique et le schiste. L'épaisseur d'altération est fortement corrélée avec les variables profondeur, niveau statique et avec le granite. Quant à l'horizon fissuré, elle est faiblement corrélée négativement avec les variables statuts et le schiste mais n'a aucune corrélation forte avec les autres variables.

La variable statut est corrélée négativement avec les variables profondeur, niveau statique, l'horizon fissuré et le schiste.

Du côté de la lithologie, le granite est mieux corrélé avec profondeur et épaisseur d'altération, il est aussi corrélé fortement et négativement avec le grès et le schiste. Quant au grès, il est corrélé fortement et négativement avec les variables profondeur, niveau statique, schiste le granite.

Le schiste est corrélé fortement et négativement avec le grès et le granite.

Tableau XVIII: Matrice de corrélation

Variabiles	Prof forée	N.S	Débits	Ep alt	Horizon fissuré	Statut	Granite	Grès	Schiste
Prof forée	1	0,903	-0,091	0,412	0,049	-0,058	0,164	-0,312	0,142
Niveau saturé	0,903	1	-0,115	0,275	0,029	-0,026	0,066	-0,194	0,127
Débits	-0,091	-0,115	1	0,040	0,019	0,344	0,008	0,055	-0,064
Ep alt	0,412	0,275	0,040	1	0,109	0,054	0,176	-0,128	-0,056
Cible	0,049	0,029	0,019	0,109	1	-0,018	0,008	0,069	-0,078
Statut	-0,058	-0,026	0,344	0,054	-0,018	1	0,064	0,061	-0,130
Granite	0,164	0,066	0,008	0,176	0,008	0,064	1	-0,534	-0,517
Grès	-0,312	-0,194	0,055	-0,128	0,069	0,061	-0,534	1	-0,448
Schiste	0,142	0,127	-0,064	-0,056	-0,078	-0,130	-0,517	-0,448	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Pour une meilleure représentation sur le plan bidimensionnel, on a pensé à regarder le tableau des valeurs propres. De ce tableau on remarque qu'avec les deux premiers plans, on peut conserver environ 45% de la variance entre variables, donc la préservation est de 45% sur la variabilité totale.

Tableau XIX: Tableau des valeurs propres

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valeur propre	2,386	1,648	1,315	1,234	0,963	0,737	0,640	0,076
Variabilité (%)	26,514	18,310	14,613	13,711	10,702	8,193	7,111	0,847
% cumulé	26,514	44,824	59,437	73,148	83,850	92,043	99,153	100,00

Etant donné que les deux plans ont été choisis, on a pensé à étudier la contribution de chaque variable à la réalisation de chaque axe. Cette analyse montre que les variables profondeur et niveau statique ont contribué majoritairement à la formation du premier axe factoriel avec 64,77%. Chacune de ces deux variables a une contribution supérieure à 45%

Pour ce qui est du deuxième axe factoriel, il a été constaté que ce sont les variables « granite » et « schistes » qui ont des contributions supérieures à 20%. Cela nous permet d'affirmer que ces dernières sont les principales artisanes de cet axe.

A travers les différents cosinus carrés, on s'aperçoit que les variables les mieux représentés sont, la profondeur et le niveau saturé. Les moins bien représentées par contre sont les variables « granite » et « schistes ». Pour la visualisation du graphe factoriel, du tableau descriptif, des vecteurs propres, et corrélation entre variables, voir annexe.

Tableau XX: Tableau de formation des axes factoriels

Axes Variables	Coordonnées des variables		Contributions des variables (%)		Cosinus carrés des variables	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Prof forée	0,917	0,031	35,269	0,059	0,842	0,001
Niveau saturé	0,839	0,091	29,506	0,502	0,704	0,008
Débits(m3/h)	-0,173	-0,379	1,254	8,730	0,030	0,144
Ep alt forée	0,524	-0,291	11,503	5,133	0,274	0,085
cible	0,051	-0,149	0,108	1,349	0,003	0,022
Statut	-0,108	-0,463	0,492	13,017	0,012	0,215
Granite	0,352	-0,729	5,207	32,273	0,124	0,532
Grès	-0,589	-0,029	14,563	0,051	0,347	0,001
Schiste	0,224	0,801	2,098	38,886	0,050	0,641

III. 3.2 Conclusion pour l'ACP

On retiendra dans cette partie qu'il n'existe pas de corrélations véritables entre paramètres géophysiques et productivité d'une manière générale. La variable la plus corrélée au débit est le statut. Le granite est mieux corrélé avec profondeur et l'épaisseur d'altération. Le grès est corrélé fortement et négativement avec les variables « profondeur, niveau statique, schiste et le granite. ». Le schiste est corrélé fortement et négativement avec le grès et le granite.

IV : Convergences et divergences sur l'interprétation

Après un traitement des fiches d'implantation sur IPI2WIN (logiciel conçu pour automatiser et semi-automatiser les interprétations des sondages électriques et /ou introduire des tableaux issus des données obtenues dans la prospection électrique) et après avoir procédé une confrontation de nos résultats avec ceux de l'entreprise, il ressort les conclusions suivantes (tableau 2) :

- Il est totalisé 23 divergences et 100 similitudes entre le résultat de cette étude et ceux du bureau d'étude pour les « avis favorables », 23 divergences et 75 similitudes pour les « avis défavorables ».
- Pour les « avis favorables et positifs » il est compté 3 divergences et 95 similitudes.
- Pour les « avis défavorables et négatifs » il est compté 25 divergences et 6 similitudes.

Tableau XXI: Tableau récapitulatif des discordances

Avis	Interprétations		Similitudes	Divergences
	Entreprise	Cette étude		
Avis favorable	123	100	100	23
Avis défavorable	52	75	75	
Avis favorable et positif	92	95	95	3
Avis favorable et négatif	31	6	6	25

IV.1 : Explication des divergences avec les données de l'entreprise

La contradiction avec le géophysicien peut s'expliquer en grande partie par le fait que ce celui-ci a mené ses interprétations sur la base des résistivités apparentes et non sur les résistivités vraies. Pourtant les résistivités apparentes constituent une sorte de moyenne des résistivités des différentes couches rencontrées dans le sol. Par exemple une couche très conductrice (argile humide) et une couche très résistante (gravier sec) peuvent donner une moyenne de résistivité s'apparentant à celle d'une couche regorgeant d'eau. Aussi, ces résistivités apparentes dépendent du dispositif de mesure. Le géophysicien se basant uniquement sur les résistivités apparentes, ferait dans ce cas, une fausse interprétation.

On peut ajouter aussi l'absence d'interprétation des données géophysiques à l'aide de logiciels adéquats en la matière avant choix des sites à forer. L'interprétation avec les logiciels appropriés permettent souvent de mieux déceler et corriger des vecteurs d'erreur tel que :

- Le principe d'équivalence :

D'après Hacini (2006), un même diagramme peut être interprété par une infinité de solutions qui constituent des « équivalences » ; ce qui justifierait les cas (avis favorable, forage négatifs).

- La notion de surpression :

D'après *Chapellier (2000)*, une fine couche conductrice, se trouvant entre deux couches très résistantes, aura tendance à être assimilé à l'une des couches ; ce qui expliquerait par exemple le cas (avis défavorable, forage positif).

- Cas des débits insuffisants

En notant que les forages négatifs ne sont pas tous des forages secs mais ayant des débits inférieurs à 0.7m³/h, on pourrait justifier le deuxième cas d'erreur, à savoir avis favorable, forage positif. En effet la présence d'eau aussi faible soit-elle dans un environnement très résistant, est suffisante pour provoquer une baisse de résistivité ; créant ainsi une anomalie. Cela permet de justifier le cas (avis favorable, forage négatif).

L'interprétation par des logiciels comme IP2WIN peut permettre de déceler d'autres sources d'erreur comme :

- Les effets d'objet métallique enfouis en profondeur (un objet métallique infiniment conducteur enterré dans le sol agit sur les électrodes d'injection A et B si le dispositif est parallèle par rapport à l'objet enfoui. Donc par conséquent agit sur les valeurs des résistivités apparentes mesurées).
- Les effets de contact vertical. (à coups de prise qui entraîne une oscillation brusque des résistivités)
- Les effets de couches minces L'effet des couches minces dépend du pendage. L'effet d'une couche mince conductrice est maximum si elle est horizontale, presque nul si cette couche est verticale (fracture conductrice). C'est l'inverse pour les couches minces résistantes, l'effet est alors maximum quand elles sont verticales.

IV.2 : Conclusion partielle

A la fin de l'analyse de la méthode d'implantation de l'entreprise, il ressort que la géophysique est directement appliquée sans une interprétation des images satellitaires et des photographies aériennes. Pourtant, la géophysique est un outil complémentaire et non un outil de base, pour espérer augmenter les taux de succès. Cette manière de procéder de l'entreprise ne permet pas totalement d'implanter sur les jonctions de fractures, chose qui leur aurait permis déjà d'augmenter leur taux de réussite. Cependant, il a été constaté que même certains résultats géophysiques sont souvent faussés à cause de certains phénomènes tels que le principe d'équivalence, la notion de suppression et l'insuffisance de débit. Si la notion de suppression peut être évitée en procédant à des pas plus fins lors des sondages, il n'existe par contre pas de moyens d'anticiper sur les deux autres sources d'erreurs.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion

Au terme de ce travail, il ressort que la zone d'étude présente un taux d'échec peu élevé soit près de 23% en le comparant au taux d'échec national qui est compris entre 40 et 65%. Les différentes analyses et traitement ont permis de constater que :

- Les formes d'anomalies « U et W » sont les plus récurrentes et productives.
- Les types d'anomalies CCL et CCE ont les meilleurs taux de réussite et sont productives.
- Les types de sondage KH et H sont les ont les plus dominants et sont productifs.
- Le granite offre un meilleur taux de réussite par rapport au schiste et au grès.
- L'épaisseur d'altération ≥ 55 m offre les meilleurs taux de réussite. mais les plus productive sont sur les intervalles [15- 25[; [25-45[et ≥ 55 .
- L'intervalle [433-499[donne le meilleur taux de réussites de l'horizon fissuré et les intervalles [365-433[[433-499[sont plus productives.
- Pour l'épaisseur saturée, c'est [65-96,9[qui offre un meilleur taux de succès et [45-65[; [65-96,9[sont plus productives.

L'analyse des taux d'échec a permis de constater que la non utilisation de la photo-interprétation et des logiciels d'interprétation étaient les principales sources d'erreurs d'interprétation.

Cependant, il est ressorti que l'utilisation de ces logiciels pouvait aussi conduire à des erreurs d'interprétations dues au phénomène d'équivalence, à la notion de suppression et des cas de débit insuffisant.

Hormis ces critères favorables, l'ACP a révélé une absence de corrélation entre paramètres de productivité et ceux géophysiques.

Recommandations

Comme recommandations nous souhaiterions la prise en compte des critères favorables (tableau 18), jumelée à une utilisation rigoureuse de la photo-interprétation. Ces différentes étapes ne devraient pas se faire sans la phase préalable de reconnaissance de terrain. En effet, la phase de reconnaissance de terrain devrait permettre l'identification d'indices visuels favorables à la présence d'eau. Ces indices devront être matérialisés sur la photographie aérienne. Le traitement de cette photographie tenant compte des différents indices favorables, permettrait d'avoir les directions des fractures les plus prometteuses. Aussi, tant que possible, nous souhaiterions l'implantation des forages sur les intersections de fractures.

En complément à l'étude réalisée, il serait bien de mener une étude qualitative sur l'eau rencontrée dans la région car une chose est de fournir de l'eau et une autre est de fournir de l'eau *potable* surtout quand elle est destinée aux populations.

Références bibliographiques

Benzecri J.P. (1982) : Histoire et préhistoire de l'analyse des données, 159 p.

Collectif (1990) : l'hydrogéologie de l'Afrique de l'ouest, socle cristallin, cristallophyllien et sédimentaire ancien. Collection maîtrise de l'eau. Ministère français du développement et de la coopération, Paris, 147 p.

Coulibaly, S. (1990) : Hydrogéologie statistique des formations sédimentaires et cristallines de la Boucle du Mouhoun, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des sciences et techniques de l'eau de l'Institut Du Développement Rural, 77 p.

Courtois N., Lachassagne P., Wyns R., Blanchi R., Bougaïré F.D., Somé S., Tapsoba A., 2010 - Large-scale mapping of hard-rock aquifer properties applied to Burkina Faso. Ground Water, vol 48, issue 2, pp 269-283.

Chapellier, D. (2000): Prospection électrique de surface, livre, pp 1-2.

Detay M., Poyet P., Emsellem Y, Bernardi A, Aubrac G., 1989. «Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages». C.R. Acad. Sciences Paris, 309, série II, p. 429-436.

Dieng, B., Kouassi, A. H., Bakyono, B. A. (2004) : Optimisation de l'implantation géophysique des forages en zone de socle au Nord du Burkina Faso, recherche, article paru dans Sud Sciences et Technologies, 10 p.

Galbané, H. A. (2011) : Conception et exécution optimales et valorisation des forages au Burkina Faso, présentation au IVe forum eau et assainissement rural, pp 6.

Koussoubé, Y. (1996) : Hydrogéologie en milieu de socle cristallin du Burkina Faso: Cas du bassin versant du bas-fond de Bidi (province du Yatenga), thèse de doctorat 3ème cycle de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 263 p.

Millon, R. (1989) : CIEH bulletin de liaison n°74 -75, pp 23-46.

Ouédraogo, I. (1994) : Géologie et hydrogéologie des formations sédimentaires de la Boucle du Mouhoun (Burkina Faso), thèse de doctorat 3ème cycle de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 159

Vogt, W.P. (1993) : Dictionnaire de statistiques et méthodologie ; un guide pour les sciences sociales, vewbury park, 215 p.

Youcef, H. (2006) : Application des méthodes géophysiques à l'étude des deux sites (Kappelen et Grenchen) de l'aquifère poreux complexe de Seeland, thèse de doctorat de l'université de Lausanne, pp25.

REFERENCES DES SITES WEB

Bibliothèque en ligne du 2IE: http://documentation.2ieedu.org/cdi2ie/opac_css/

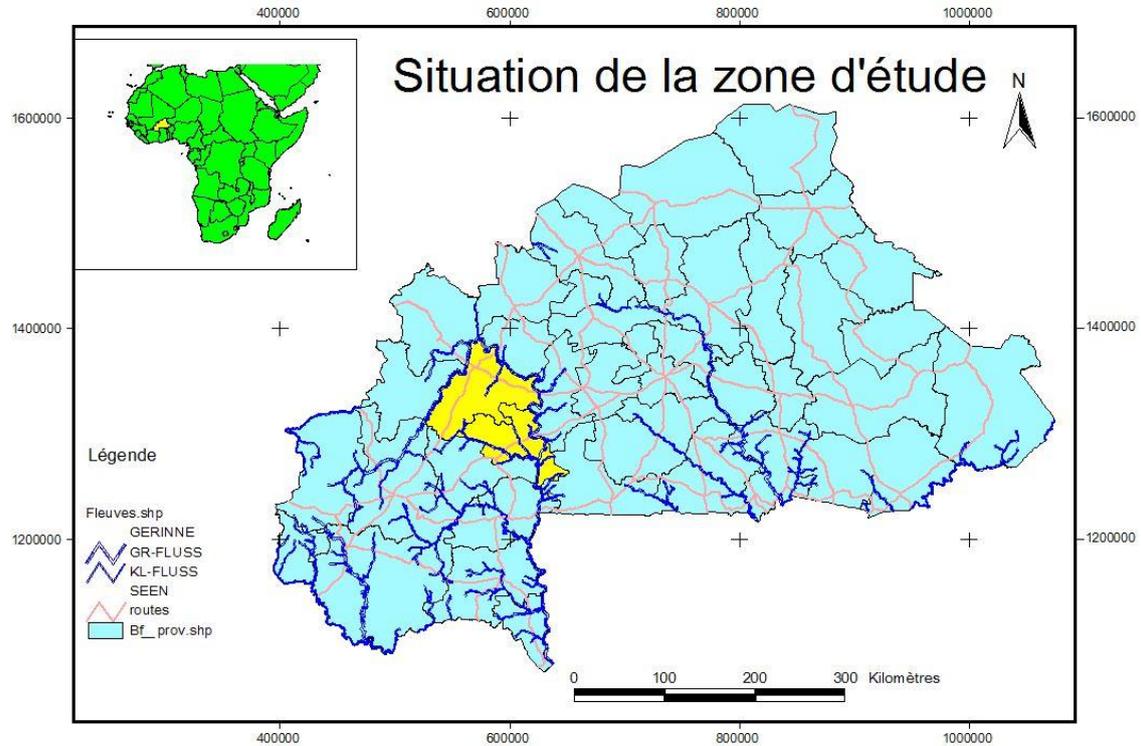
Site de mémoires en ligne : <http://www.memoireonline.com/>

Site IRD: [https:// www.documentation.ird.fr](https://www.documentation.ird.fr)

Site d'hydrogéologie : www.hydrogéologie.com

ANNEXES

Annexe 01 : situation de la zone d'étude



Annexe 02 : Données pluviométriques de (03) trois départements de la zone d'étude de 2000 à 2014

Années	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Dédougou	915	900	950	965	980	947	922	1023	1004	830	944	994	1005	1150
Boromo	864	905	970	976	1040	1020	962	956	1025	870	935	945	1035	1175
Fara	920	955	963	975	1010	1001	984	977	951	891	975	1125	1155	1190

Annexe 03 : Données brutes

villages	Ep alt pré vu (m)	Ep alt foré e (m)	Prof conseillée (m)	Prof forée(m)	Débits(m ³ /h)	Statu t	1ère venue d'eau(m)	Venue d'eau pricip ale	Nivea u statiq ue	Lithologie
assio/école	35	34	75	87	9	Positi f	39.3	48.7	11.6	Granite fract
badié	50	55	85	99	0	Néga tif				Schiste
balloa	20	25	75	82	0,65	Néga tif	27.1	33.7	22.3	Granite fract
bana /csps	20	18	75	76.28	12	Positi f	56	59	10.7	Granite fract
bandio	40	38	80	95	16,3	Positi f	34	46	11.6	Granite fract
barsana 2	30	32	65	62	5,4	Positi f	40.7	45	13,6	Granite fract
benafakakia	32	27	70	77	0,274	Néga tif	35	52	17.1	Granite
béniéyo	15	22	70	92	0	Néga tif				Granite rose
biennuyo	18	15	70	72.51	1,72	Positi f	51	55	5.68	Granite fract
bobokin 1	27	25	67	75	8,7	Positi f	51	58	11.5	Granite fract
bobokin 2	27	23	65	69	5,1	Positi f	29,8	52.1	18.7	Schiste fract
bondio/écol e	45	47	85	90	2,7	Positi f	52.1	56	10,2	Granite fract
bonou/écol e	55	60	110	120	6	Positi f	72.4	83.4	27.4	Granite fract
boromissi	13	15	75	80	0,647	Néga tif	20	32.7	19.1	Granite rose
boromo/lyc ée	27	18	67	85	3,8	Positi f	56	59	4.7	Granite fract
bounou 1	50	40	110	108	8,5	Positi f	72	76	11.19	Granite
bounou 2	50	41	100	90	7	Positi f	70	78	9	Granite
daho	20	29	65	99	0	Néga tif				Granite rose
dahobila	15	13	55	65	13	Positi f	34	42	10	Granite

darsalam	32	57.5	75	92	3,9	Positif	32	35	15	Granite fract
dindebe 1	55	32	85	99	0	Négatif				Granite rose
dindebe 2	54	36	87	99	0	Négatif				Granite fract
dongoni	23	30	90	93	4,235	Positif	33.4	65	2.9	Schiste fract
fitien	19	21	75	60	2,7	Positif	26	35	17	Granite
flatchie	25	28.4	65	80	0,5	Négatif	29	34	24.8	Granite rose
foulio	35	32	75	86	35	Positif	37.1	54.2	17.8	Granite fract
ganiebon	30	28	95	59	36	Positif	37.4	42.6	20.6	Schiste
gargass	28	30	80	79	7	Positif	43.9	54.2	16.8	Granite
gnissiabé	45	49	75	90	3,3	Positif	55,2	66.4	25.6	Granite fract
hamdalaye	30	34	70	69	3,75	Positif	32	41	13.33	Granite rose
kabourou	17	31	80	58	3,27	Positif	36	42	17	Granite alt
kama	27	22	69	67	4,5	Positif	36	36	9.5	Schiste fract
kamsara	20	23	75	81.48	0,293	Négatif	42.11	45	5	Schiste
kangrin	20	22	50	62	13	Positif	42	48	17.6	Granite fract
kapa/ecole	30	11	60	90	0,3	Négatif				Granite rose
karaba 3	15	19	70	55	3,4	Positif	21	24	1.9	Granite fract
kayio/école	45	47.4	85	95	39,45	Positif	67.5	77.3	30.6	Granite fract
kokobé	7	12	53	50.38	6,54	Positif	27	32	3	Granite fract
kootchi	18	15	55	65	24	Positif	46.8	56	12	Granite alt
kouéna	12	15	75	72	16	Positif	17.3	46.1	16.2	Granite fract
kourasso	45	47	75	90	27,3	Positif	54.6	81.7	32.6	Granite fract
labeniéyo	10	26	80	99	0	Négatif				Granite alt
landéniyo	40	38	75	85	18,7	Positif	30.5	57.4	12.9	Schiste

lari 2	17	25	60	54	3,2	Positif	32	37	16	Granite fract
likiniyo	45	43	85	89	27,6	Positif	20.2	52.3	18.2	schiste
madialé	30	27	75	82	3,7	Positif	37.5	61.1	15.4	Granite
madou	40	45	110	99.53	2,768	Positif	76	78.8	6.62	Schiste
maka/csps	25	26	85	90.93	6	Positif	46	48	4	Granite fract
mana	25	22	70	72.88	4,2	Positif	47	58	15	Granite fract
massala	28	25	89	81.53	7,2	Positif	50	58	7.76	schiste vert
massatrokoro 1	45	50	85	98	0	Négatif				Granite
massatrokoro 2	42	45	75	80	3,4	Positif	47.3	54.6	8.7	Granite
méssinahio	10	12	70	82	2,8	Positif	47.5	64.8	15.46	Granite fract
mouhoun 3	39	40	80	87	0,55	Négatif	62.4	76.8	28.9	schiste vert
nalia	15	25	65	72	6	Positif	34.5	62.8	14.7	schiste vert
nékalia	20	22.7	55	65	10	Positif	33.7	58.6	11.6	Schiste
niakongo	23	26	80	72.78	1,058	Positif	51	58	19.8	Schiste
niakongo/écrole	20	17	75	83	4	Positif	40.6	77.5	25.6	schiste vert
nimatoulaye	20	12	55	59	5	Positif	24	32.21	9.63	schiste
n'payio	30	35	75	82	5,7	Positif	38.4	57.6	13.8	Granite fract
ouahabou	27	30	75	85	10,285	Positif	37.6	73.6	9.5	Schiste
ouroubono	25	22	75	82	0,489	Négatif	42.3	70.5	19.8	Schiste
oury	38	35	70	73	1,7	Positif	56.4	68.7	27.4	Granite fiss
oury/csps	35	37	70	75	0,8	Positif	49.7	64.8	26.5	Granite fract
piéniéyié	20	17	75	77	10,5	Positif	38.6	55.2	11.4	Schiste fract
piény	35	33	80	95	5,5	Positif	64.5	84.9	18.6	schiste vert
pissi	30	25	70	110	0	Négatif				Granite fract

poéssin	17	15	55	73	11	Positif	36	42	17	Schiste fract
pomin	14	18	55	61	2,7	Positif	26	30	17.2	Granite fract
pompoi/peuhl	30	22	75	85	4,1	Positif	39.4	64.7	20.4	Granite
poura	48	75	85	87	8,57	Positif	81.4	85.4	21.6	Schiste
poura/signohin	37	40	70	86	6,4	Positif	68.5	87.4	27.9	Granite fract
relwendé	15	15	75	110	0	Négatif				Granite
saniabé	19	26	74	63.78	5,14	Positif	34	41	14	Granite fract
sect 3	10	13	55	59	22,6	Positif	34.7	56.4	7.6	Granite
sect 3/école B	7	5	60	75	28,6	Positif	29	32	6	Schiste fract
sect 3/école C	30	27	70	78	6,8	Positif	43.2	68.6	24.1	Schiste
sect 3/école D	14	15	57	62	9,7	Positif	40.5	43.53	20.3	Granite rose
sect 3/kdg	25	23	55	60	14,5	Positif	45.6	58.9	16.4	Granite fiss
signonguin	17	11	60	61	0,9	Positif	29	46	10.5	Schiste fract
silmissin	25	27	75	99	0	Négatif				Granite fract
sombou	20	25	77	85	17,4	Positif	45	58	12	Granite rose
soubouy	28	30	60	62	14,6	Positif	35.8	57.6	17.8	Granite
sougniébon	20	25	70	95	15,85	Positif	40.5	60.8	14.4	Granite fract
Soukouroulay1	7	6	55	54	0,5	Négatif	25	35	12	Granite fiss
Soukouroulay2	15	25	45	66	3	Positif	31	29	16.6	Granite fract
Soukouroulay3	10	11.21	50	102	0	Négatif				Granite fract
tangzoukou	15	25	80	72.53	0,9	Positif	42.35	48	15.96	Schiste
tialla	15	12	65	70	11,2	Positif	25.8	58.4	24.1	Granite rose
tienpalogo	45	60	67	70	8,51	Positif	62.6	68.1	28.4	Granite rose
ton 2	20	17	55	65	13	Positif	22.8	46.2	11.75	Schiste fract

ton 3	30	23	70	77	8	Positif	29.5	37.8	12.4	Granite fract
ton	20	15	47	57	40	Positif	15	32	10.20	Granite fract
wanga	35	40	70	97	0	Négatif				Granite rose
yona peulh	50	43	90	81.93	3	Positif	49.4	56	17	Granite fract
Yona/école	20	27	80	68.26	2,4	Positif	43.3	53.43	5.03	Schiste
zamsin	16	7	55	65	24,6	Positif	26	30	17.2	Granite
zinakonré	35	27	70	79	22,4	Positif	29.4	45.6	19.5	Schiste fract
koré/école	30	41	95	62	26	Positif	42	48	14.2	Calcaire
bankporé	30	32.14	60	59.14	0,65	Négatif	41	50	26.4	Schiste
banwela	20	25.6	40	42.8	16	Positif	26	33	10	Grès
basnééré	7	4.83	85	90.7	0	Négatif				Schiste
bayabé	25	26	85	90.93	6	Positif	46	48	4	Grès
bazawaky	10	7.96	80	77.13	1,6	Positif	60	64	9.42	Grès
bédolia	15	18	55	55	15	Positif	27	42	16.66	Grès
bekuy/école	20	25.75	60	63.62	12	Positif	36	50	16.29	Grès
beyekonoua	7	10	55	60	32,7	Positif	23.5	29.4	4.76	Grès+Schiste
biforo/école	20	17.35	70	72.12	2,8	Positif	31	55	17.35	Schiste
biko	15	18.9	50	45.75	19	Positif	27	33	7	Grès
bolomakoté	20	17.4	55	56.7	12,6	Positif	28.5	38.8	7.64	Grès
bona/école	10	7.51	55	54.8	4	Positif	21	36	12	Grès
dampan	10	12.3	55	56.7	7,4	Positif	27.2	34.5	9.7	Schiste
danouna/école	30	37	75	81.59	0,3	Négatif	37	44		Schiste
darabé	35	25	85	82	12	Positif	42	48	7	Schiste
darou 1	30	37	75	81.59	0,3	Négatif	37	44		Schiste

darou 2	10	11.42	75	77.2	6	Positif	63	69	33	Schiste
datomo/csp s	10	7.83	75	78.8	1,8	Positif	56	68	11	Grès
flakin 1	15	13.31	85	86.16	0,672	Négatif	63	66	14.14	Grès
flakin 2	35	25	85	82	12	Positif	42	48	7	Grès+Schiste
flakina	25	23.39	60	54.66	4,225	Positif	30	37	16.7	Schiste
flankan	20	25.6	40	42.8	16	Positif	26	33	10	Grès
forowakuy	25	24.96	60	59.12	10,28	Positif	27	49	11.64	Grès+Quartz
gargaboukin	25	27.46	55	50.2	15	Positif	42	46	6.7	Grès
kamako	15	14.45	60	54.68	8	Positif	27	42	14.45	Schiste
kera /école	5	7.55	50	51.8	1,8	Positif	29	38	10	Grès
kera /peulh	15	16.88	60	51.8	6,6	Positif	26	31	8	Grès
kiedin	25	29.45	100	85.75	0	Négatif				Schiste
kienséré/école	30	32.14	60	59.14	0,65	Négatif	41	50	26.4	Grès+Schiste
kinabé	25	27.46	55	50.2	15	Positif	42	46	6.7	Grès
kinimou	5	12.1	55	62.3	10,85	Positif	40.5	54	5.6	Schiste
konabè	7	4.83	85	90.7	0	Négatif				Grès
kossira A	30	36.43	60	69.68	0,1	Négatif	43.5	61	9.45	Schiste
Kossira B	30	33.45	110	114.8	0	Négatif				Schiste
kossira C	25	26.36	110	120	0	Négatif				Schiste
kosso/école	15	11.72	50	50.15	11	Positif	23	41	12.15	Grès+Schiste
koumana	10	7.83	75	78.8	1,8	Positif	56	68	11	Schiste
lah/école	10	7.96	80	77.13	1,6	Positif	60	64	9.42	Schiste
lakindé	10	12.6	55	54.85	7,9	Positif	24	36	11.88	Grès
libouré	35	48.6	60	63.87	22,8	Positif	54	50	17.4	Grès+Quartz

lilbouré	50	50.25	110	108.62	0	Néga tif				Schiste
madina	10	13.7	80	88.6	5,3	Positi f	24	31	6.4	Grès+Quartz
mairougou	45	48.8	70	66.8	6,3	Positi f	56	60	13.75	Grès+Schiste
mbonsani	10	7.51	55	54.8	4	Positi f	21	36	12	Grès
mogombouli	30	35	105	82	5	Positi f	40	47	12	Calcaire
monkuy	20	22.5	90	92.5	3,8	Positi f	25.1	34	10.8	Grès
mossiki	35	32.7	90	86	7,4	Positi f	35.3	40.8	12.1	Grès
mossikin	10	11.42	75	77.2	6	Positi f	63	69	33	Schiste
napalga	55	62.53	75	66.82	12	Positi f	58	63	13	Grès
nematoulay	35	32.8	100	110	0	Néga tif				Grès
nounou/csp s	20	32	65	90	5	Positi f	61	72	7	Grès
nounou/é cole	30	35	105	85	5	Positi f	53	57	11	Grès
ouambata	25	35	90	105	0	Néga tif				Grès
ouarkoy/CS PS 1	20	17.35	70	72.12	2,8	Positi f	31	55	17.35	Grès
ouarkoy/CS PS 2	25	23.39	60	54.66	4,225	Positi f	30	37	16.7	Grès+Schiste
ouarkoy/éc ole A	15	14.66	70	59.23	30	Positi f	32	54	13	Grès
pié/école	5	7.55	50	51.8	0,4	Néga tif	29	38	10	Grès
roudoulga	20	25.2	1	50.16	0	Néga tif				Schiste
sibiri	10	12.6	55	54.85	7,9	Positi f	24	36	11.88	Grès+Schiste
sirakobé	35	37	100	93.5	6,23	Positi f	72.1	80.3	21.4	Grès
sodien	18	15	70	72.51	1,72	Positi f	51	55	5.68	Grès
sokongo	55	62.65	75	72.8	14	Positi f	65	69	13.65	Grès
sokongo/éc ole	30	34	55	54.65	30	Positi f	32	46	16	Grès
souambé	15	16.88	60	51.8	6,6	Positi f	26	31	8	Grès

suy	15	18	55	55	15	Positif	27	42	16.66	Grès
syn	10	12	160	110	42,2	Positif	74.8	89.7	18.2	Schiste
tisso-mossi	35	32. 3	85	81.8	14,3	Positif	38.3	40.8	17.5	Grès+Schiste
tokobé	10	10. 4	55	54.75	7,92	Positif	21	45	10.8	Grès
touabé	30	34	55	54.65	30	Positif	32	46	16	Schiste
wondokuy	10	10. 4	55	54.75	7,92	Positif	21	45	10.8	Grès
yabé	23	30	90	93	4,235	Positif	33.4	65	2.9	Grès
yamiabé	15	14. 6	70	90	0,24	Négatif				Schiste
yankassa/école	15	14. 66	70	59.23	30	Positif	32	54	13	Grès
zinabé	15	13. 31	85	86.16	0,672	Négatif	63	66	14.14	Schiste
zanzanka	15	17. 4	65	72.4	0,38	Négatif	32.4	62.2	11.2	Grès
zoromtenga	35	32. 1	65	75	17,4	Positif	47.4	64.2	9.6	Grès

villages	Type de sondage	Types d'anomalie(trainé)	Formes d'anomalies(trainé)	Transmissivité	Latitude N	Long W
assio/école	KH	CCE	V	4,25E-03	003°07'44"	11°40'09"
badié	KH	CCL	W		003°15'00"	11°41'11"
balloa	KH	CCE	W		002°54'17"	11°56'10"
bana /csps	KH	CCE	V	1,00E-04	003°47'22"	11°24'16"
bandio	KH	CCL	U	2,00E-03	003°10'41"	11°41'39.6"
barsana 2	KH	CCL	V	4,30E-03	002°48'19"	11°29'16"
benafakakia	H	CCE	U		003°08'27"	11°51'55"
béniéyo	A	CCE	W		003°12'01"	11°40'14.5"
biennuyo	H	CCE	W	1,70E-03	002°48'72"	11°54'69"
bobokin 1	KH	CCL	W	5,40E-03	003°08'31"	11°41'11"
bobokin 2	KH	PC	W	1,20E-04	003°08'32"	11°41'06"
bondio/école	KH	CCL	U	2,79E-04	003°09'59.6"	11°41'07.8"
bonou/école	H	CCL	W	2,80E-04	003°47'32"	11°41'35"
boromissi	A	CCE	W		002°50'58"	11°50'37"
boromo/lycée	KH	CCL	V	2,00E-03	003°08'29"	11°41'11"
bounou 1	H	CCE	W	4,70E-03	003°22'24.5"	11°45'58"
bounou 2	KH	CCL	W	1,74E-03	003°22'16"	11°45'11"

daho	H	CCE	V		002°46'22"	11°29'35"
dahobila	KH	CCL	V	2,28E-03	003°46'24"	11°30'55"
darsalam	H	CCL	U		002°50'28"	11°51'00"
dindebe 1	H	PC	W		002°47'59"	11°22'02"
dindebe 2	H	PC	K		002°46'32"	11°24'52"
dongoni	H	CCL	W	3,36E-03	003°47'22"	11°44'86"
fitien	H	CCL	K	3,63E-03	002°40'06"	11°27'46"
flatchie	H	CCE	V		003°11'37"	12°04'17"
foulio	KH	CCL	U	4,17E-03	003°09'33"	11°45'37.2"
ganiebon	H	CCL	U	4,44E-03	003°02'10"	11°58'11"
gargass	KH	CCL	U	4,71E-03	002°52'52"	11°54'02"
gnissiabé	H	CCE	V	4,98E-03	003°13'56.4"	11°51'09"
hamdalaye	KH	CCL	V	4,25E-03	002°46'57"	11°22'02"
kabourou	KH	CCE	V	0,00402	002°45'58"	11°24'72"
kama	KH	CCE	W	1,79E-03	002°50'15"	11°14'09"
kamsara	KH	CCE	V		002°41'14"	11°25'16"
kangrin	KH	PC	U	2,33E-03	002°59'16"	11°42'57"
kapa/ecole	KH	CCL	V		002°38'10"	11°27'33"
karaba 3	KH	CCE	W	1,87E-03	002°47'37"	11°22'45"
kayio/école	H	CCL	V	2,14E-03	003°08'27"	11°46'11.3"
kokobé	H	PC	V	2,41E-03	003°49'68"	11°44'05"
kootchi	KH	CCL	U	0,00268	003°00'10"	11°44'41"
kouéna	KH	CCL	W	3,95E-03	003°02'42"	11°52'27"
kourasso	KH	CCE	V	1,22E-03	003°14'59.1"	11°46'40.7"
labeniéyo	KH	CCL	U		003°08'27"	11°51'55"
landéneiyo	KH	CCL	W	6,76E-03	003°08'43"	11°40'48.5"
lari 2	H	CCE	V	9,03E-03	002°47'39"	11°14'19"
likiniyo	H	PC	W	7,30E-03	003°09'02"	11°46'15"
madialé	KH	CCL	V	9,57E-03	003°12'43.3"	11°49'53.7"
madou	KH	CCE	V	9,84E-03	003°40'75"	11°22'86"
maka/csps	KH	CCE	W	1,11E-03	003°44'52"	11°22'94"
mana	KH	CCL	U	2,38E-03	003°23'17"	11°42'31"
massala	H	CCE	K	5,50E-04	003°45'10"	11°32'29"
massatrokoro 1	KH	CCL	U		003°09'01"	12°02'05"
massatrokoro 2	KH	CCE	V	5,07E-04	003°09'01"	12°02'15"
méssinahio	A	PC	W	2,27E-04	003°13'44.6"	11°43'12"
mouhoun 3	KH	CCL	V		002°47'47"	11°35'59"
nalia	KH	PC	W	3,33E-04	003°04'33"	12°03'41"
nékalia	H	CCE	U	6,13E-04	003°04'37"	12°03'29"
niakongo	KH	PC	W	8,93E-03	003°49'26"	11°27'51"
niakongo/école	H	CCL	U	1,17E-03	002°19'41.5"	11°50'08.8"
nimatoulaye	H	CCE	W	1,45E-04	003°44'44"	11°23'12"

n'payio	KH	CCL	U	1,73E-03	003°13'27.9"	11°43'03"
ouahabou	KH	CCL	U	2,01E-04	003°06'08"	11°40'58"
ouroubono	KH	CCE	V		002°56'00"	11°41'55"
oury	KH	CCL	W	2,57E-03	003°02'42"	11°55'27"
oury/csps	H	CCE	W	5,07E-03	003°02'34"	11°58'15"
piéniéyié	KH	PC	U	6,49E-04	003°08'44.9"	11°43'16.8"
piény	KH	CCE	V	8,73E-03	003°07'32"	11°39'49"
pissi	KH	CCE	V		002°57'21"	11°43'11"
poéssin	H	CCE	W	3,24E-03	002°54'56"	11°41'59"
pomin	H	CCE	V	3,42E-04	002°47'25"	11°26'39"
pompoi/peulh	H	CCE	V	3,61E-03	002°56'33"	11°53'06"
poura	KH	CCE	W	3,79E-04	002°45'17"	11°34'54"
poura/signohin	KH	CCL	U	3,97E-04	002°46'58"	11°35'09"
relwendé	KH	CCE	V		003°10'21"	11°51'17"
saniabé	KH	CCE	U	7,34E-04	003°47'32"	11°41'35"
sect 3	KH	CCE	W	5,20E-04	002°45'20"	11°31'52"
sect 3/école B	A	CCL	W	4,70E-03	002°55'34"	11°45'47"
sect 3/école C	KH	CCL	V	8,86E-03	002°44'56"	11°32'07"
sect 3/école D	KH	CCE	W	3,07E-03	002°55'21"	11°45'08"
sect 3/kdg	KH	CCL	U	5,25E-03	002°44'54"	11°32'36"
signonguin	H	CCL	W	4,35E-04	002°50'12"	11°29'15"
silmissin	KH	CCL	V		002°54'43"	11°42'33"
sombou	KH	CCL	W	8,01E-03	002°53'50"	11°44'54"
soubouy	KH	CCL	V	5,98E-03	003°07'43"	11°51'06"
sougniébon	KH	CCE	U	6,17E-03	002°56'33"	11°53'06"
Soukouroulay1	H	CCE	V		002°40'13"	11°25'17"
Soukouroulay2	H	CCE	V	6,53E-04	002°40'15"	11°25'15"
Soukouroulay3	H	CCE	V		002°40'29"	11°25'27"
tangzoukou	KH	CCE	W	6,90E-03	002°38'07"	11°23'55"
tialla	KH	CCL	U	7,08E-03	002°43'17"	11°29'07"
tienpalogo	H	CCE	V	3,27E-03	002°55'34"	11°45'07"
ton 2	KH	CCL	V	8,45E-03	002°41'23"	11°33'17"
ton 3	H	CCL	V	9,63E-03	002°42'05"	11°33'15"
ton	H	CCL	U	7,81E-03	002°46'98"	11°23'12"
wanga	KH	CCE	V		003°08'27"	11°51'55"
yona peulh	H	CCL	V	4,18E-04	003°22'54"	11°44'38"
Yona/école	H	CCL	U	3,36E-04	003°47'01"	11°30'43"
zamsin	KH	CCL	W	5,55E-04	002°54'16"	11°42'01"
zinakonré	KH	CCE	W	8,73E-04	003°07'25"	11°59'43"
koré/école	KH	CCE	V	8,91E-04	003°21'33"	12°22'01"
bankporé	KH	CCE	W		003°49'51"	11°58'34"
banwela	KH	CCE	U	9,28E-04	003°46'54"	12°05'14"
basnééré	H	CCE	V		003°53'44"	12°02'22"

bayabé	KH	CCE	W	5,64E-03	003°32'05"	12°14'16"
bazawaky	H	CCE	W	4,51E-04	003°34'49"	12°11'22"
bédolia	KH	CCE	U	5,34E-03	003°11'55"	12°12'45"
bekuy/école	KH	CCE	V	6,17E-04	003°38'37"	12°08'04"
beyekonoua	H	CCL	V	6,79E-03	003°40'12"	12°05'28"
biforo/école	H	CCL	U	7,83E-03	003°08'13"	12°55'21"
biko	KH	CCL	W	8,66E-04	003°45'06"	11°01'09"
bolomakoté	KH	CCE	W	4,86E-04	003°57'29"	11°53'22"
bona/école	H	CCE	U	1,03E-01	003°14'54"	12°00'52"
dampan	KH	CCE	W	4,33E-03	003°46'36"	11°49'46"
danouna/école	H	CCL	U		003°24'42"	12°00'22"
darabé	KH	CCE	V	8,01E-03	003°12'48"	12°59'29"
darou 1	H	CCL	V		003°38'14"	12°00'38"
darou 2	KH	PC	V	4,46E-04	003°38'16"	12°20'23"
datomo/csps	KH	CCL	W	5,29E-03	003°14'08"	12°55'26"
flakin 1	KH	CCE	V		003°35'06"	12°11'10"
flakin 2	KH	CCE	V	6,94E-04	003°06'51"	11°55'54.8"
flakina	KH	PC	W	7,77E-03	003°07'55"	12°54'59"
flankan	KH	CCL	W	8,60E-03	003°11'35"	12°19'21"
forowakuy	KH	CCL	V	1,94E-04	003°38'51"	12°07'55"
gargaboukin	KH	PC	U	5,91E-04	003°51'50"	11°59'14"
kamako	KH	CCE	V	6,11E-04	003°42'56"	12°09'25"
kera /école	KH	CCE	W	2,19E-03	003°57'32"	11°57'32"
kera /peulh	H	CCE	U	2,27E-03	003°42'51"	11°57'22"
kiedin	KH	CCL	V		003°38'53"	12°13'12"
kienséré/école	A	CCL	U		003°18'43"	12°01'10"
kinabé	H	CCE	U	4,40E-04	003°14'52"	12°00'59"
kinimou	H	CCL	U	1,46E-04	003°57'23"	11°50'14"
konabè	KH	PC	W		003°18'39"	12°00'57"
kossira A	H	CCL	V		003°44'56"	12°13'48"
Kossira B	H	CCE	V		003°45'00"	12°13'55"
kossira C	H	CCE	V		003°44'57"	12°13'48"
kosso/école	H	PC	W	3,55E-04	003°42'12"	12°01'22"
koumana	KH	CCE	U	5,68E-03	003°57'17"	12°00'52"
lah/école	A	CCE	V	8,87E-03	003°30'31"	12°04'04"
lakindé	KH	CCE	W	6,05E-04	003°41'25"	12°03'20"
libouré	H	PC	U	8,23E-03	003°43'57"	12°09'25"
lilbouré	A	CCE	W		003°43'31"	12°06'35"
madina	KH	CCL	W	6,60E-03	003°40'23"	12°04'56"
mairougou	H	CCL	W	5,78E-03	003°43'37"	12°08'33"
mbonsani	H	CCE	W	6,96E-04	003°42'41"	11°57'12"
mogombouli	KH	CCL	V	7,15E-04	003°37'13"	12°20'23"
monkuy	KH	CCE	V	3,30E-03	003°44'56"	12°13'48"

mossiki	KH	CCL	U	5,13E-04	003°22'51"	12°03'23"
mossikin	H	CCE	V	6,96E-04	003°23'49"	12°15'21"
napalga	KH	CCE	W	7,88E-04	003°42'56"	12°09'25"
nematoulay	KH	CCL	V		003°44'40"	12°12'12"
nounou/csps	KH	CCL	V	8,25E-04	003°37'13"	12°20'23"
nounou/école	KH	CCL	W	8,43E-04	003°37'13"	12°20'23"
ouambata	A	CCE	V		003°56'21"	11°55'17"
ouarkoy/CSPS 1	KH	CCL	W	1,88E-03	003°05'15"	12°11'38"
ouarkoy/CSPS 2	A	CCL	U	1,90E-03	003°05'12"	12°11'38"
ouarkoy/école A	KH	CCE	U	1,92E-03	003°40'07"	12°05'14"
pié/école	H	CCE	V		003°24'53.6"	12°10'56.1"
roudoulga	KH	CCL	V		003°51'04"	11°58'40"
sibiri	KH	CCE	V	9,71E-03	003°11'21"	12°13'02"
sirakobé	KH	CCE	V	8,92E-04	003°29'12"	12°00'34"
sodien	H	CCE	W	7,50E-03	003°16'30"	12°11'02"
sokongo	KH	CCL	W	5,80E-04	003°44'54"	12°07'30"
sokongo/école	KH	CCL	U	4,41E-04	003°34'17"	11°06'36"
souambé	KH	CCE	W	6,24E-04	003°14'21"	12°05'08"
suy	A	CCL	W	8,07E-04	003°40'31"	12°04'09"
syn	KH	CCL	W	9,09E-04	003°40'31"	12°04'09"
tisso-mossi	H	CCE	V	7,30E-03	003°29'59"	12°00'00"
tokobé	KH	CCE	W	3,56E-03	003°11'49"	12°12'23"
touabé	H	CCE	V	3,90E-03	003°13'18"	12°08'21"
wondokuy	H	CCE	V	7,22E-03	003°41'25"	12°03'55"
yabé	A	CCL	U	2,19E-04	003°32'14"	12°14'14"
yamiabé	H	CCL	W		003°22'30"	12°08'48"
yankassa/école	KH	CCL	W	7,10E-04	003°11'57"	12°12'06"
zinabé	KH	CCE	W		003°13'08"	11°59'20"
zanzanka	A	CCL	U		003°53'19"	11°57'45"
zoromtenga	KH	CCE	W	2,82E-03	003°58'49"	11°50'52"

Annexe 04 : Vecteurs propres

	F1	F2	F3	F4	F5
Prof forée(m)	0,656	-0,064	-0,080	-0,187	0,724
Niveau saturé	0,630	-0,146	-0,065	-0,341	-0,679
Débits(m3/h)	-0,101	0,663	-0,665	-0,328	-0,008
Ep alt forée (m)	0,395	0,380	-0,086	0,823	-0,121

Horizon fissuré	0,081	0,625	0,734	-0,251	-0,003
-----------------	-------	-------	-------	--------	--------

Annexe 05 : Coordonnées des variables

	F1	F2	F3	F4	F5
Prof forée(m)	0,959	-0,066	-0,078	-0,161	0,211
Niveau saturé	0,921	-0,151	-0,063	-0,294	-0,198
Débits(m3/h)	-0,148	0,687	-0,652	-0,283	-0,002
Ep alt forée (m)	0,577	0,394	-0,085	0,709	-0,035
Horizon fissuré	0,118	0,648	0,720	-0,216	-0,001

Annexe 06 : Corrélations entre les variables

	F1	F2	F3	F4	F5
Prof forée(m)	0,959	-0,066	-0,078	-0,161	0,211
Niveau saturé	0,921	-0,151	-0,063	-0,294	-0,198
Débits(m3/h)	-0,148	0,687	-0,652	-0,283	-0,002
Ep alt forée (m)	0,577	0,394	-0,085	0,709	-0,035
Horizon fissuré	0,118	0,648	0,720	-0,216	-0,001

Annexe 07 : Cosinus carrés des variables

	F1	F2	F3	F4	F5
Prof forée(m)	0,919	0,004	0,006	0,026	0,044
Niveau saturé	0,847	0,023	0,004	0,087	0,039
Débits(m3/h)	0,022	0,472	0,426	0,080	0,000
Ep alt forée (m)	0,333	0,155	0,007	0,503	0,001
horizon fissuré	0,014	0,420	0,519	0,047	0,000

Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

Annexe 08 : Scree plot

