



CARACTERISATION DES PARAMETRES GEOPHYSIQUES EN RELATION AVEC LA PRODUCTIVITE DE LA CIBLE HYDROGEOLOGIQUE DANS LA BOUCLE DU MOUHOUN AU BURKINA FASO

Mémoire pour l'obtention du
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Abdoul-Laye DIABATE

Travaux dirigés par : Dr. Mahamadou KOITA, Enseignant Chercheur
Centre Commun de recherche Eau et Climat (CCREC)
M. Augustin TIENDREBEOGO, Chef de Projet à l'AGETEER
M. Moussa KONATE, Hydrogéologue à BERA

Jury d'évaluation du stage :

Président :

Membres et correcteurs :

Citation

« S'il y a quelque chose de pire dans la vie que de n'avoir réussi, c'est de ne pas avoir
essayé... »

Président Roosevelt

DEDICACE

Je dédie ce mémoire de fin d'étude à :

- ❖ Mon père Ahmadou DIABATE, qui m'a toujours soutenu devant les épreuves de la vie; merci pour tous les conseils
- ❖ Ma mère Fatimata DIABATE, qui m'a souvent fait couler des larmes à travers ses multiples sacrifices en mon endroit ; Maman, merci infiniment.
- ❖ Mes frère et sœur : Faouzi et Chaïda DIABATE
- ❖ Christian NIKIEMA, le grand frère que je n'ai jamais eu, merci pour le soutien
- ❖ Mes camarades de promotion
- ❖ Mes amis d'enfance

A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à ce que je sois à ce stade
aujourd'hui

REMERCIEMENTS

La mise en œuvre de ce travail de mémoire et la rédaction du présent document ont été rendues possible grâce au concours de plusieurs acteurs. C'est l'occasion pour nous de témoigner notre reconnaissance à toutes ces personnes qui n'ont ménager aucun effort pour la réussite de ce travail. Il faut dire que ce stage a été réalisé au sein de l'AGETEER. C'est la première et principale structure de Maîtrise d'Ouvrage Déléguée spécialisée dans la réalisation des infrastructures hydrauliques et d'équipement rural au Burkina Faso. Nous tenons donc à adresser nos sincères remerciements particulièrement à :

M. Joseph Martin KABORE le Directeur Général, M. Ousmane NACRO le Directeur Administratif Financier et Comptable et M. Mathieu KABORE le Directeur Technique qui ont tous contribué à la réalisation de ce stage dans cette structure.

Mon maitre de stage M. TIENDREBEOGO Augustin, Chef de projet pour ses conseils d'orientations, son expérience qu'il a voulu partagée avec nous, sa disponibilité et sa sociabilité qui nous a permis d'avoir toujours un bon cadre de travail, dans une atmosphère agréable. A M. KABRE Kouliga et M. HODONOU Albert, tous deux chef de projet et M. ZANGO Olivier, assistant chef de projet pour avoir accepté de suivre notre travail.

A tout le département technique de l'AGETEER, pour l'accueil chaleureux et l'ambiance agréable dans laquelle j'ai effectué mon stage.

Mon encadreur du 2^{ie} Dr. Mahamadou KOITA, pour ses conseils et orientations, sa disponibilité et les séances de travail pour la conception de ce travail.

M. Moussa KONATE, ingénieur hydrogéologue à BERA pour ses conseils et orientations, sa disponibilité et les séances de travail pour la conception de ce travail. Son expérience et sa maitrise dans le domaine m'ont beaucoup impressionné.

M. MONINO, statisticien à l'université Montpellier I, pour ses conseils et sa disponibilité malgré la distance.

Dr. Inoussa OUEDRAOGO pour avoir suivi ce travail malgré son emploi du temps chargé.

A tout le corps professoral et à tous les enseignants qui ont forgé celui que je suis aujourd'hui.

Enfin, je remercie une fois de plus ma famille, mes amis et camarades pour leur soutien et leur assistance.

RESUME

La région de la Boucle du Mouhoun, située au Nord Ouest du Burkina, est caractérisée par un taux d'échec important dans la réalisation de forages. Ce taux s'expliquent par sa géologie complexe ; regroupant le socle et le sédimentaire. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont le but est d'optimiser l'implantation des futurs forages. Pour y parvenir, la méthodologie adoptée a consisté à faire une statistique descriptive des variables géophysiques et celles de productivité, analyser les cas d'échecs et étudier les corrélations entre lesdits variables, à la fois dans les formations de socle que dans les formations sédimentaires de la région. L'étude de la corrélation s'est menée par les tableaux croisés et l'ACP. Ainsi, la statistique descriptive a montré que les meilleurs taux de réussite étaient enregistrés dans le socle. L'analyse des cas d'échecs a fait ressortir l'existence d'erreurs d'interprétation. Les tableaux croisés ont permis de constater que le granite est la formation qui offrait les meilleures chances de réussite. Aussi, a-t-il été noté que la forme M, le type compartiment conducteur et le type de sondage H constituaient les paramètres géophysiques qui offraient les meilleures chances de réussite dans le socle. Pour le sédimentaire composé majoritairement de grès, il a été relevé que la forme W, le type palier conducteur et le type de sondage A fournissaient les plus grands taux de réussite. Par ailleurs, même s'il existe des paramètres favorables, il serait important de noter que l'ACP, a démontré qu'il n'existait pas de corrélations véritables entre la productivité et les autres variables.

Mots clés :

- 1 - Productivité
- 2 - Résistivité
- 3 - Boucle du Mouhoun
- 4 - Formations de socle
- 5 - Formations sédimentaires

ABSTRACT

The “Boucle du Mouhoun”, located in the North West of Burkina Faso, is characterized by a low success rate of drilling. The low rate can be explained by the complexity of its geology made both of hard base and sedimentary. It is in this context that this study is done to improve the success rate of future drillings. To attain this, the methodology adopted was to make a descriptive statistics of geophysical and productivity variables, to analyze the cases of failures and to study the correlations between these variables, both in the hard base and sedimentary formations. The study of the correlation was conducted by cross-tabs and the ACP. Thus, the descriptive statistics showed that the highest success rates were recorded in the hard base. The analysis of failure cases has proved the mistake during the interpretation. Cross-tabs have found that granite is the geological formation that offered the best chance of success. Also, he has been noted that the anomaly form M, the type conducting compartment and the type of sampling H the geophysical parameters that offered the best chance of success in the hard base. For the sediment mainly composed of sandstone, it was noted that the form W, the type of conducting landing and the type of sampling A, provided the greatest success rate. Moreover, even if there are favourable factors, it is important to note that the ACP has demonstrated that there is no real correlation between productivity and other variables.

Key words:

- 1 - Productivity
- 2 - Resistivity
- 3 - Boucle du Mouhoun
- 4 - Hard base formation
- 5 – Sedimentary formation.

Table des matières

Liste des tableaux.....	9
Liste des figures.....	10
Sigles et abréviations.....	14
Introduction et problématique	15
GENERALITES	17
I. Présentation de la zone d'étude	18
I.1. Situation géographique	18
I.2. Milieu physique.....	18
I.3. Démographie et occupation socio-économique.....	24
II. Méthodes d'implantations géophysiques.....	24
II.1. Généralités	24
II.2. Présentation de la méthode électrique	26
MATERIELS ET METHODES.....	30
I. Source de données et critères d'analyse:	31
I.1. Source de données.....	31
I.2. Critères d'analyse.....	31
II. Méthodes utilisées	32
II.1. Methodologie explicative	32
II.2. Description des méthodes.....	32
III. Logiciels utilisés :	34
RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	36
I. Description et analyse des variables.....	37
I.1. Partie sédimentaire	37
Conclusion partielle	43
I.2. Partie du socle	43
Conclusion partielle	50
Conclusion générale sur la description des variables.....	50
II. Analyse critique	51
II.1. Analyse de la démarche de l'entreprise	51
II.2. Explication de la divergence avec l'entreprise	52
II.3. Explication de la divergence à la lumière des données de forages	52
Conclusion sur l'analyse critique.....	53

III.	Tableaux croisés.....	54
III.1.	Granite (Socle)	54
	Conclusion partielle sur les granites.....	59
III.2.	Schiste (Socle)	60
	Conclusion partielle sur les schistes	65
III.3.	Grès (Sédimentaire)	66
	Conclusion générale sur les tableaux croisés.....	72
IV.	Analyse en Composantes Principales.....	74
IV.1.	Socle	74
IV.2.	Sédimentaire.....	76
	Conclusion sur l'ACP	77
V.	Carte de transmissivité	78
	Conclusion générale et recommandation	78
	Conclusion.....	78
	Recommandation	79
	Références bibliographiques	80
	Recherche Web.....	81
	ANNEXES.....	82
I.	Généralités.....	82
II.	Description des données.....	86
II.1.	Partie sédimentaire.....	86
II.2.	Partie du socle	89
III.	Tableaux croisés.....	92
III.1.	Granite.....	94
III.2.	Schiste	95
III.3.	Grès	95
IV.	Analyse en Composante Principale.....	97

Liste des tableaux

Tableau 1 Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies/Sédimentaire.....	37
Tableau 2 Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies/Sédimentaire.....	38
Tableau 3: Proportion et Taux de réussite des types de sondage/Sédimentaire.....	38
Tableau 4: Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies/Socle	44
Tableau 5 : Proportion et Taux de réussite des types d'anomalies/Socle.....	44
Tableau 6: Proportion et Taux de réussite des types de sondage/Socle.....	45
Tableau 7 : Répartition des plages de résistivité selon les plages de débit (granite)	58
Tableau 8: Répartition des plages d'épaisseur d'altération selon les plages de débit (granite)	58
Tableau 9: Répartition des plages d'épaisseur d'aquifère selon les plages de débit (granite)	59
Tableau 10: Répartition des plages de résistivité selon les plages de débit (Schiste)	64
Tableau 11: Répartition des plages d'épaisseur d'altération selon les plages de débit (Schiste)	65
Tableau 14: Répartition des plages d'épaisseur d'altération selon les plages de débit (Grès)	71
Tableau 15: Répartition des plages d'épaisseur d'aquifère selon les plages de débit (Grès)	72
Tableau 16: Paramètres favorables à l'obtention d'un forage positif.....	73
Tableau 17: Matrice de corrélation entre variables (socle).....	74
Tableau 18: Tableau des valeurs propres (socle).....	75
Tableau 19: Récapitulatif des coordonnées, Cosinus carrés et la contribution des différentes variables (socle)	75
Tableau 21: Tableau des valeurs propres (sédimentaire)	76
Tableau 22: Récapitulatif des coordonnées, Cosinus carrés et la contribution des différentes variables (sédimentaire).....	77

Liste des figures

Figure 1: Présentation de la Boucle du Mouhoun	18
Figure 2: Carte des Sols de la Boucle du Mouhoun.....	19
Figure 3 : Carte Géologie de la Boucle du Mouhoun	21
Figure 4: Carte Hydrographique de la Boucle du Mouhoun.....	23
Figure 5 : Evolution de la Pluviométrie (mm) sur ces cinq dernières années.....	24
Figure 6: Principe de la méthode électrique.....	26
Figure 7 : Anomalie de type CCE Figure 8 : Anomalie de type CCL	28
Figure 9 : Anomalie de type PC Figure 10 : Anomalie de type CEDP	28
Figure 11 Illustration des différents types de sondage	29
Figure 12 Proportion des résistivités selon les classes dans le sédimentaire/FN.....	39
Figure 13 Proportion des résistivités selon les classes dans le sédimentaire/FP	39
Figure 14 Proportion des débits selon les classes dans le sédimentaire.....	40
Figure 15 Proportion des Niveaux statiques selon les classes dans le sédimentaire.....	40
Figure 16: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération (FN)/Sédimentaire.....	41
Figure17: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération (FP)/Sédimentaire.....	42
Figure 18: Répartition par classe de l'épaisseur des aquifères (FN)/Sédimentaire	42
Figure 19: Répartition par classe de l'épaisseur des aquifères (FP)/Sédimentaire	43
Figure 20: Proportion des résistivités selon les classes dans le socle/FN	45
Figure 21 : Proportion des résistivités selon les classes dans le socle/FN.....	46
Figure 22: Proportion des débits selon les plages.....	47
Figure 23: Fréquence des niveaux statiques selon les plages	47
Figure 24: Proportion des forages négatifs selon l'épaisseur d'altération (FN)/Socle.....	48
Figure 25: Proportion des forages positifs selon l'épaisseur d'altération (FN)/Socle.....	48
Figure 26: Proportion des forages positifs selon les épaisseurs des aquifères (FN)/Socle	49
Figure 27: Proportion des forages positifs selon les épaisseurs des aquifères/Socle.....	49
Figure 28: Proportion et taux de réussite des types d'anomalies (granite)	54
Figure 29: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (granite).....	54
Figure 30: Proportion et taux de réussite des types de sondage (granite)	55
Figure 31: Proportion et taux de réussite des plages de résistivités	55
Figure 32: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'altération	56
Figure 33: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'aquifère.....	56
Figure 34: Proportion des types d'anomalies selon les plages de débits (granite).....	57
Figure 35 : Proportion des formes d'anomalies selon les plages de débits (granite)	57
Figure 36 : Proportion des types de sondage selon les plages de débits (granite).....	58
Figure 37: Proportion et taux de réussite des types d'anomalies (schiste).....	60
Figure 38: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (schiste)	61
Figure 39: Proportion et taux de réussite des types de sondage (schiste).....	61
Figure 40: Proportion et Taux de réussite de résistivité (Schiste)	61
Figure 41 : Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'altération	62
Figure 42: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'aquifère (Schiste).....	62
Figure 43: Proportion des types d'anomalies selon les plages de débits (schiste).....	63
Figure 44: Proportion des formes d'anomalies selon les plages de débits (schiste)	63
Figure 45: Proportion des types de sondage selon les plages de débits (schiste).....	64

Figure 46: Proportion et taux de réussite des types d'anomalies (grès).....	66
Figure 47: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (grès)	67
Figure 48: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (grès)	67
Figure 49: Proportion et Taux de réussite des Plages de résistivité	68
Figure 60: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'altération	68
Figure 51: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'aquifère.....	69
Figure 52: Proportion des types de sondage selon les plages de débits (grès)	69
Figure 53: Proportion des formes d'anomalies selon les plages de débits (grès).....	70
Figure 54: Proportion des types de sondage selon les plages de débits (grès)	70
Figure 55: Carte de transmissivité dans le sédimentaire	78

Liste des annexes

Annexe 01: Situation de la Boucle du Mouhoun	82
Annexe 04 : Répartition de la Population selon les Provinces en 2006	84
Annexe 02: Séquence lithostratigraphique sédimentaire (in ELGUETA, 1983)	83
Annexe 05: Dispositif Schlumberger	84
Annexe 06: Différentes formes d'anomalies	84
Annexe 07: Procédé du sondage.....	85
Annexe 08: Répartition des forages sur la géologie.....	85
Annexe 09: Répartition des forages selon les provinces.....	86
Annexe 10 : Statut des forages dans le sédimentaire	86
Annexe 11: Répartition et Taux de réussite des formes d'anomalies.....	87
Annexe 12: Proportion et Taux de réussite des types d'anomalies.....	87
Annexe 13: Proportion et Taux de réussite des types de sondage.....	87
Annexe 14: Description des différentes variables/Sédimentaire	88
Annexe 15: Regroupement par classe des résistivités/FN	88
Annexe 16: Regroupement par classe de résistivité/ FP	88
Annexe 18: Regroupement par classe du débit	89
Annexe 19: Regroupement par classe du niveau statique	89
Annexe 20: Statut des forages dans le socle	89
Annexe 21: Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies	90
Annexe 22: Proportion et Taux de réussite des types d'anomalies dans le socle	90
Annexe 23: Proportion et Taux de réussite des types de sondage.....	90
Annexe 24: Description des variables/ Socle.....	91
Annexe 25: Lithologie dans le sédimentaire.....	91
Annexe 26: Regroupement par classe/Epaisseur Altération	91
Annexe 27: Répartition par classe du débit.....	91
Annexe 28: Répartition par classe du Niveau Statique	91
Annexe 29: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération/FN.....	92
Annexe 30: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération /FP	92
Annexe31: Répartition par classe de l'Epaisseur de l'Aquifère/FN.....	92
Annexe 32: Répartition par classe de l'Epaisseur de l'Aquifère/FN.....	92
Annexe 33: Récurrence et Taux de réussite des types d'anomalies selon la lithologie	92
Annexe 34: Récurrence et Taux de réussite des formes d'anomalies selon la lithologie	93
Annexe 35: Récurrence et Taux de réussite des types de sondage selon la lithologie.....	93
Annexe 36: Débit et type d'anomalies/Granite	94
Annexe 37: Débit et forme d'anomalie/ Granite	94
Annexe 38: Débit et type de sondage/ Granite	94
Annexe 39: Débit et type d'anomalie/Schiste	95
Annexe 40: Débit et Forme d'anomalie/ Schiste	95
Annexe 41: Débit et type de sondage/ Schiste	95
Annexe 42: Débit et type d'anomalies/ Grès.....	95
Annexe 43: Débit et forme d'anomalies/ Grès	96
Annexe 44: Débit et type de sondage/ Grès.....	96
Annexe 46: Représentation des variables dans le cercle de corrélation/Socle	97

Annexe47 : Représentation des variables dans le cercle de corrélation/Sédimentaire	97
--	----

Sigles et abréviations

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

A ; B: Electrodes de courant électrique

AGETEER : Agence d'Exécution des travaux Eau et Equipement Rural

CEDP: Contact Entre Deux Paliers

CCE: Compartiment Conducteur Etroit

CCL : Compartiment Conducteur Large

FN : forage négatif

FP : forage positif

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

M ; N: Electrodes de potentiel

PC: Palier Conducteur

PN-AEPA : Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement

SIG : Système d'information géographique

Introduction et problématique

Depuis plusieurs années, le Burkina Faso, à travers le programme PN-AEPA, s'est tourné vers une politique d'amélioration de l'accès à l'eau potable des populations. L'option de l'exploitation des ressources en eaux superficielles est souvent moins priorisée pour deux raisons essentielles. Ces raisons sont d'une part liées à son amenuisement à cause de la sécheresse persistante de ces dernières années, et d'autre part, liées aux coûts élevés des infrastructures à mettre en place. Pour pallier à cet état de fait, à travers la réalisation de forage en milieu rural, le pays s'est tourné résolument vers l'exploitation des ressources en eaux souterraines. La mise en œuvre de ces ouvrages n'est pas toujours facile, car se heurtant à une géologie composée de socle dans sa grande partie (80%), milieu hydraulique complexe et d'une bande sédimentaire dans sa partie Ouest. Cette difficulté est perceptible à travers des taux d'échec souvent élevé (60% sur le plan national) (*Galbané (2011)*).

Face à ce constat, plusieurs études géophysique et hydrogéologique ont été menées pour améliorer les taux de succès des forages. Ainsi, *Berger et al (1975)* et *Gombert (1988)* ont démontré que la productivité d'un forage était liée à des facteurs régionaux et locaux. Les facteurs régionaux se résument à la pluviosité, l'intensité de fracturation et à l'altitude du point et ceux locaux aux variables hydrogéologiques.

Ainsi, il ressort que le taux élevé d'échec s'explique en grande partie par la difficulté à déterminer les sites abritant des fractures pouvant aboutir aux forages positifs. Cette difficulté est attribuable aux moyens limités qui sont utilisés pour la prospection et à la mauvaise interprétation de ces résultats (*Galbané (2011)*). Les interprétations faites sur la base de l'expérience dans la plupart des cas, se heurtent à une indisponibilité de véritables critères favorables à la présence d'eau souterraine. Cette contrainte est d'autant plus accrue avec la discontinuité des aquifères dans le socle. Aussi, il conviendrait de noter l'existence de fractures non alimentées à raison de la nature souvent argileuse de l'altération (*Soro (2010)*); phénomène rendant encore plus délicat, l'interprétation des résultats.

La région de la Boucle du Mouhoun (annexe 01), notre zone d'étude, n'échappe pas à ces difficultés avec un taux d'échec de près de 40%. Pour y remédier, *Yanzon (1991)* et *Ouédraogo (1994)* ont essayé de caractériser le débit en fonction de la lithologie en déterminant les zones favorables et les facteurs influençant les débits des forages dans cette région. L'objectif global de cette étude de « **Caractérisation des paramètres hydro-géophysiques en relation avec la**

productivité de la cible hydrogéologique dans la Boucle du Mouhoun au Burkina Faso » est d'identifier et de comprendre les causes probables des mauvaises interprétations en vue d'optimiser l'implantation de futurs forages dans ladite zone. Il s'agira de :

- Déterminer les raisons des erreurs d'interprétation ;
- Déterminer la productivité des différents paramètres géophysiques en fonction de la lithologie;
- Etudier la corrélation entre les paramètres géométriques de la cible hydrogéologique et la productivité desdits forages ;
- Proposer une carte de transmissivité sur la partie sédimentaire de notre zone d'étude.

Pour ce faire, le travail sera mené selon le plan suivant :

- Une première partie Généralités portant essentiellement sur la présentation de la zone et sur celle des méthodes géophysiques pratiquées dans la zone ;
- Une seconde partie Matériels et Méthodes qui fera une description des données et critères d'analyse, du matériel et expliquera les différentes méthodologies que nous avons appliquées pour l'étude ;
- Une troisième partie sur les Résultats et Discussions, qui consistera à présenter et à analyser les résultats obtenus ;
- Une dernière partie qui conclura l'étude par un résumé des différents résultats suivi de quelques recommandations.

GENERALITES

I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique

La région de la boucle du Mouhoun est localisée entre les latitudes 13° 42' N et 11° 15' N et les longitudes 4° 15' W et 2° 30' W. Elle est située au Nord Ouest du Burkina Faso et est limitée au Nord et Nord-Ouest par la république du Mali et la région du Nord, à l'Ouest par la région des Hauts-Bassins, au Sud par la région du Sud-Ouest et à l'Est par la région du Centre-Ouest. Elle s'étend sur une superficie de 34 145 Km², soit 12,59% de la superficie du territoire national. Elle est subdivisée en collectivités territoriales qui sont les communes et en circonscriptions administratives (provinces et départements). En effet, elle compte six (6) provinces (figure 1) réparties en 6 communes urbaines, 41 communes rurales et 983 villages. Le chef-lieu de la région est Dédougou.

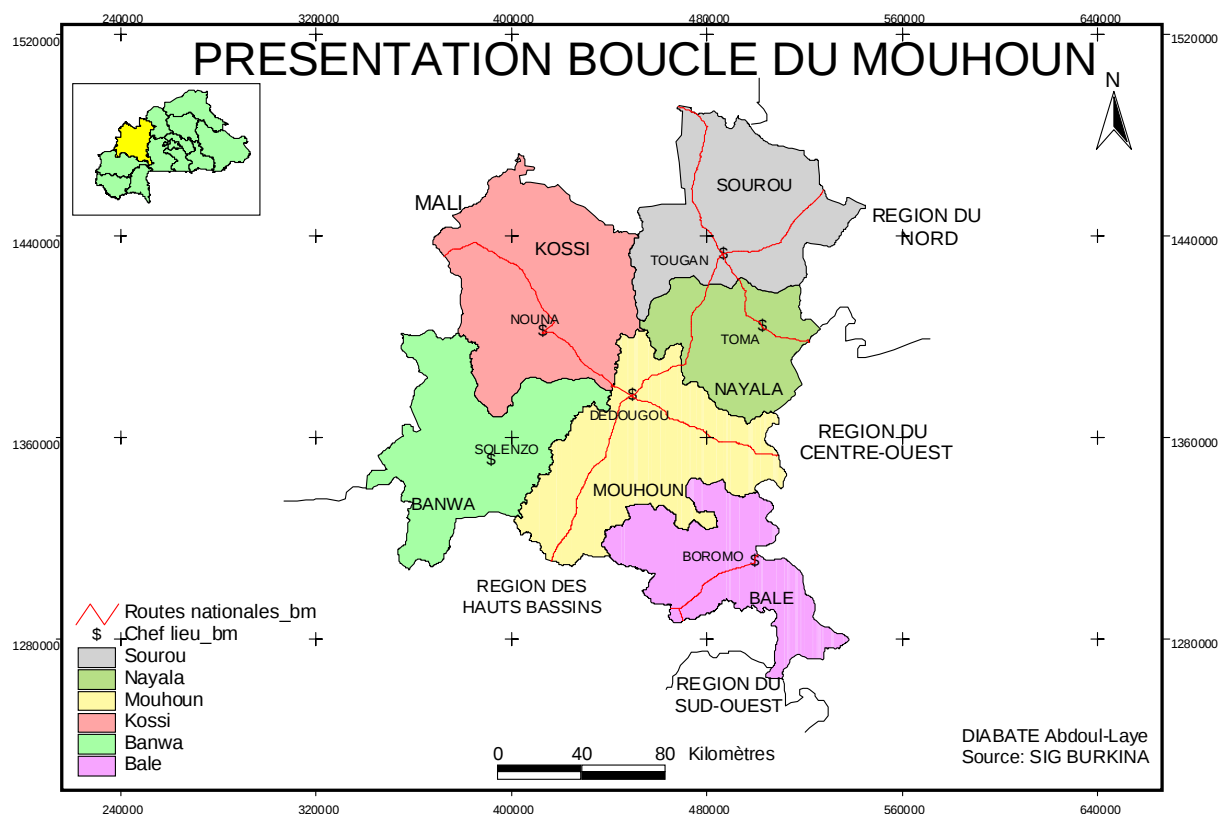


Figure 1: Présentation de la Boucle du Mouhoun

I.2. Milieu physique

I.2.1. Relief

La Boucle du Mouhoun, à l'instar du Burkina Faso, est une région peu accidentée. Les collines constituent les hauts ensembles de la région avec des altitudes variant généralement entre 340 et 458 m. Le pic de Konkoliko, dans les Balé est le plus haut sommet de la région et culmine à

621 m d'altitude. Les plaines couvrent plus de 70% de la superficie régionale et correspondent à la partie inférieure du glacis. Elles s'étendent au nord sur les deux rives du fleuve Sourou et au centre sur toute la haute vallée du fleuve Mouhoun.

I.2.2. Les sols et végétation

Au niveau des sols (figure 2), on distingue 04 types dans la région d'après Koussoubé (1996). Il s'agit des sols minéraux bruts associés aux sols peu évolués, des vertisols et les sols bruns eutrophes, des sols ferrugineux et des sols hydromorphes.

Sur le plan des formations végétales, la Boucle du Mouhoun enregistre des nuances du nord au sud. En effet, au nord dans le secteur sud-sahélien, la végétation évolue de la steppe arbustive à la steppe arborée et au sud, à la savane. Au centre dans le secteur nord soudanien, dominent les savanes arbustives et arborées, les formations mixtes des vallées associées aux cultures. Enfin, au Sud dans le secteur sud-soudanien, s'étend la savane arborée et boisée avec des forêts galeries le long des cours d'eau.

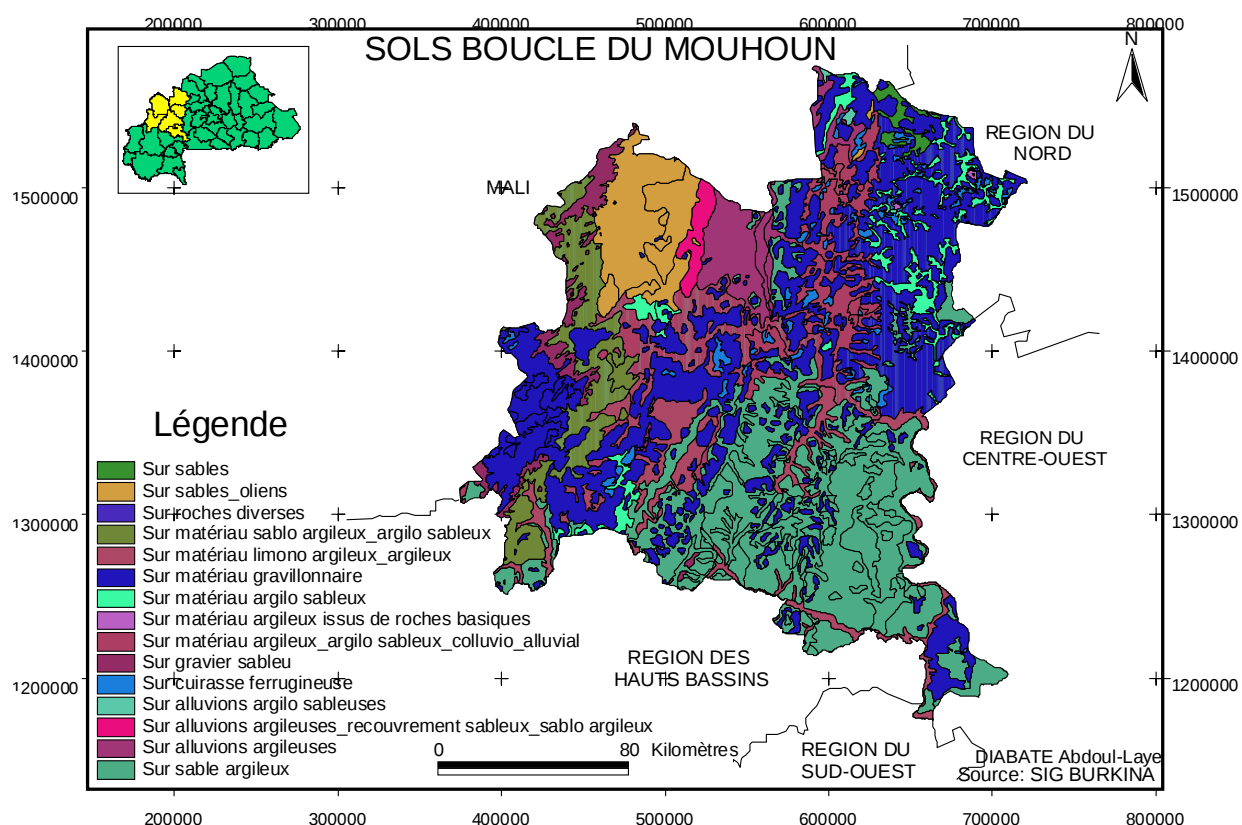


Figure 2: Carte des Sols de la Boucle du Mouhoun

I.2.3. Contexte géologique

Selon Coulibaly (1990), les caractéristiques géologiques de la région (figure 3), s'intègrent 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.

➤ **Socle cristallin**

Il 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**

Elles sont composées d'une séquence sédimentaire proprement dite et du continental terminal :

- La séquence sédimentaire : ces formations d'une épaisseur d'environ 1500m, proviennent d'une transgression marine du Nord et du Nord Ouest entre 1300 et 1000 M.A (précambrien A). Elles sont à prédominance schisteuse et gréseuse avec des intercalations schisteuses. Ces sédiments sont tabulaires et à pendage généralement très faible vers l'Ouest et le Nord-Ouest. On y note la présence d'intrusions de dolérites. D'après *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.

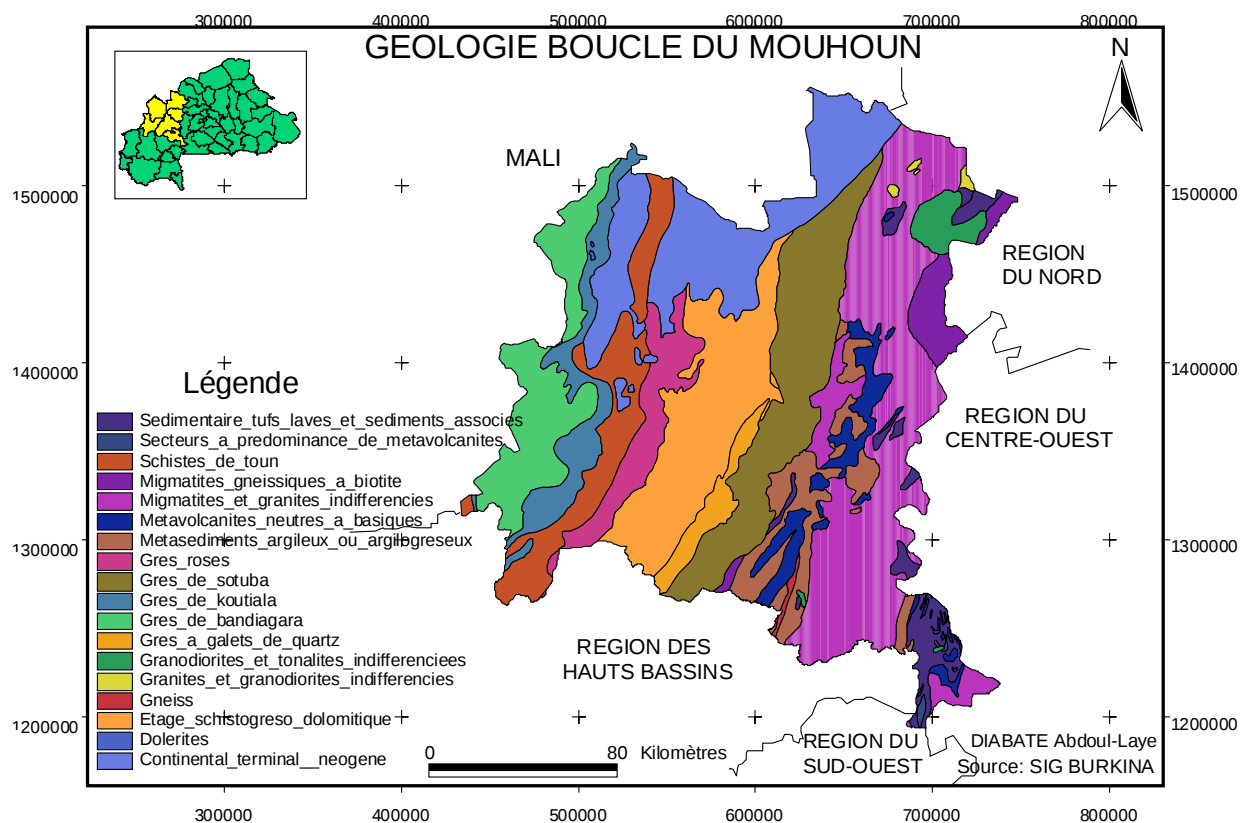


Figure 3 : Carte Géologie de la Boucle du Mouhoun

I.2.4. Contexte hydrogéologique

D'après *Coulibaly (1990)*, dans la région, on distingue deux unités 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 (exception faite des sables du continental terminal) se résume au fait que ce sont des roches dures, compactes, imperméables (la porosité primaire étant négligeable ($< 1\%$) sauf dans les grès purs comme les grès de Koutiala et les grès de Sotuba).

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 les systèmes aquifères caractéristiques de la région peuvent se subdiviser en 5 groupes :

- Les aquifères du milieu fissuré
- Les aquifères des altérites au-dessus de la roche dure
- les aquifères de latérites
- Les aquifères des sédiments alluviaux des marigots.
- Les aquifères du continental terminal

I.2.5. Hydrographie

Selon *Ouedraogo (1994)*, l'hydrographie de la Boucle du Mouhoun (figure 4) est essentiellement composée du fleuve Mouhoun. Ce fleuve débute à l'ouest de Bobo-Dioulasso et s'écoule vers le Nord-Est. Au nord de Dédougou, il change de direction dans la partie Nord de Dédougou (Sud-Est) ; décrivant ainsi une boucle.

Le Mouhoun et ses affluents constituent l'essentiel du réseau hydrographique qui est beaucoup plus dense au Sud, au Centre et au Nord. A l'Ouest le réseau hydrographique est temporaire, les eaux se perdent dans les formations sableuses au bas des falaises. Le Nord est drainé principalement par le Sourou et ses affluents.

Au Sud-Est, les roches cristallines imperméables favorisent un important écoulement superficiel des eaux de précipitation. Le réseau hydrographique joue un rôle très important sur le régime des eaux souterraines car il alimente certaines nappes souterraines et draine d'autres.

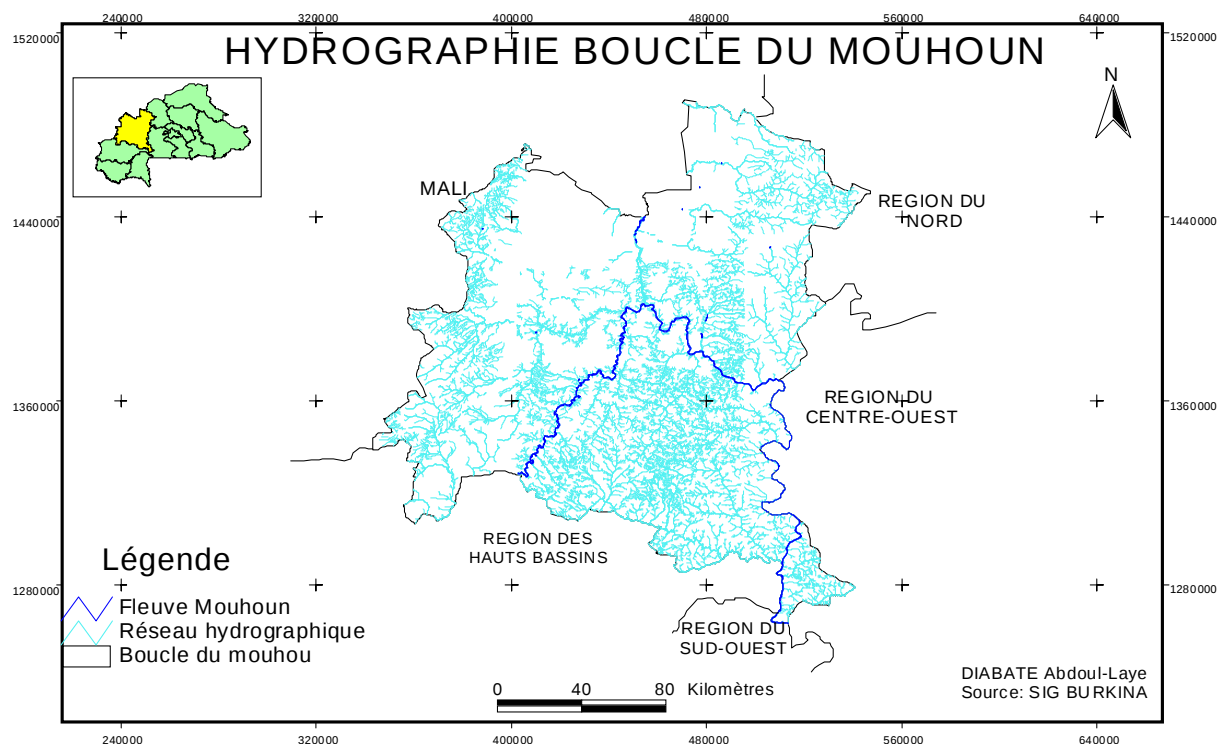


Figure 4: Carte Hydrographique de la Boucle du Mouhoun

I.2.6. Climat

La région de la Boucle du Mouhoun est située dans la zone soudano-sahélienne (Ouédraogo (1994)) avec cependant trois (3) variantes qui sont :

- au nord, le secteur sud-sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 500 à 700 mm. Il couvre la province du Sourou et la partie nord de la province de la Kossi ;
- au centre, le secteur soudanien : de 700 à 900 mm. Il s'étend sur la partie sud de la province de la Kossi, du Nayala.
- Au sud avec une pluviométrie annuelle de 900 à 1000 mm couvrant les provinces du Mouhoun, des Balé et des Banwa.

La figure 5 présente l'évolution moyenne de la pluviométrie de ces cinq dernières années.

La région connaît deux (2) saisons :

- Une saison sèche qui dure de 7 à 9 mois dans le nord de la région et de 4 à 6 mois dans le sud. 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 5 mois dans le nord et 6 à 8 mois dans le sud. Elle est annoncée par la Mousson, vent frais et humide avec des températures oscillant entre 24 et 28°C.

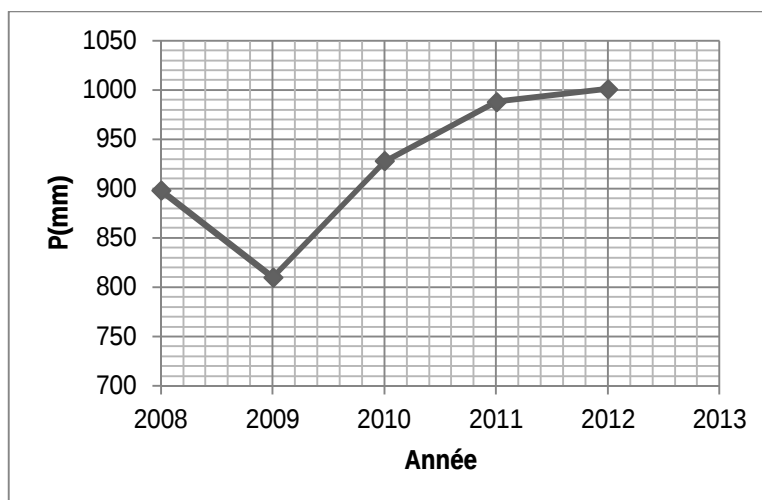


Figure 5 : Evolution de la Pluviométrie (mm) sur ces cinq dernières années

I.3. Démographie et occupation socio-économique

La région compte une population de 1 442 749 habitants (Annexe 04), soit 10,3% de la population du pays selon le recensement de 2006. Cette population était estimée en 2010 à 1 566 507 habitants et atteindra 1 736 239 habitants en 2015 selon le taux d'accroissement annuel moyen de 2,1% (INS, 2006). Trois grands groupes ethniques autochtones qui sont les Bwaba, les Samo et les Marka dominant. Mais l'on y rencontre des émigrants, venus principalement du Nord et de l'Est du pays ; ce sont les Moosé, les Peulhs, les Gourounsi, etc.

Les pratiques religieuses rencontrées sont l'Islam en premier lieu, le Christianisme et l'Animisme.

Au plan socio-économique, l'agriculture, l'élevage, l'artisanat, la pêche, le commerce et l'orpaillage constituent les principales sources de revenus des populations.

II. Méthodes d'implantations géophysiques

II.1. Généralités

Chapellier (2000) définit la géophysique comme étant essentiellement la mesure de **contrastes** dans les propriétés physiques de matériaux constituant le sous-sol et la tentative de déduire la nature et la distribution de ces matériaux responsables de ces observations. Ainsi, il existe plusieurs méthodes géophysiques selon les propriétés physiques que l'on veut mesurer en surface.

D'après *La géophysique pour les géologues Tome 1*, la géophysique appliquée à la prospection peut être subdivisée en deux branches distinctes:

- La géophysique de surface (Mesures en surface)
- La géophysique interne (Mesures dans les puits)

La première branche est la plus utilisée dans les prospections. Cette méthode permet, par des mesures paramétriques effectuées en surface, d'étudier la répartition dans le sous-sol d'un caractère physico-chimique donné. Ce caractère variant d'une couche ou série stratigraphique à l'autre, et d'en déduire par des méthodes d'interprétations directes et inverses la forme, la profondeur ainsi que la puissance de cette formation.

D'après *Chapellier (2000)*, les méthodes géophysiques peuvent être classées selon les caractères physico-chimiques des roches:

- La densité des roches : On mesure généralement les variations de l'accélération "G" de la pesanteur entre les différents points de la surface du sol: On utilise pour cela des appareils appelés "**gravimètre**"
- Les propriétés magnétiques des roches : Le contraste magnétique entre les roches, permet de localiser les gisements ferro-magnétiques, grâce à des appareils dits: **Magnétomètres**, permettant la mesure des variations du champ magnétique total.
- Vitesse de propagation d'ondes dans les roches : Ce sont les méthodes Sismiques qui étudient les temps de propagation des ondes élastiques entre un point d'explosion et un certain nombre de **sismographes** convenablement placés à la surface du sol.
- Propriétés électriques des roches : Les méthodes électriques étudient en surface les différences de potentiels créés par le passage d'un courant dans le sous-sol. Selon les procédés mis en œuvre, Nous distinguons les méthodes électriques et électromagnétiques.
- La radioactivité : C'est la propriété de certains éléments ou "roches" de se transformer avec émission de rayonnement ou particules. Les rayonnements émis produisent sur la matière des effets "d'ionisation, de perturbation du réseau cristallin, de luminescence, ou d'effet chimique ou calorifique.

Pour ce qui est de la géophysique appliquée à la recherche d'eau, la méthode des résistivités électriques et la méthode électromagnétique sont les plus utilisées. Ce sont des méthodes qui utilisent un matériel léger et offre une facilité dans la mise en œuvre.

La méthode utilisée par l'entreprise est la méthode électrique.

II.2. Présentation de la méthode électrique

II.2.1. Principe

La méthode électrique (méthode des résistivités) est le plus utilisé des techniques géophysiques pour la prospection hydrogéologique. On injecte du courant continu d'intensité I dans le sol à l'aide d'électrodes en acier A et B (figure 6). On mesure la différence de potentiel (V) entre les points M et N. La résistivité apparente du terrain (ρ_a) est donnée par la formule:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \times K \quad \text{Avec} \quad K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \quad \text{Où : } \rho_a \text{ est la résistivité apparente en } \Omega\text{m} ; \Delta V \text{ est la}$$

différence de potentiel mesurée entre M et N en Volt et I est l'intensité du courant électrique circulant de A à B. K étant le coefficient géométrique pour le dispositif Schlumberger.

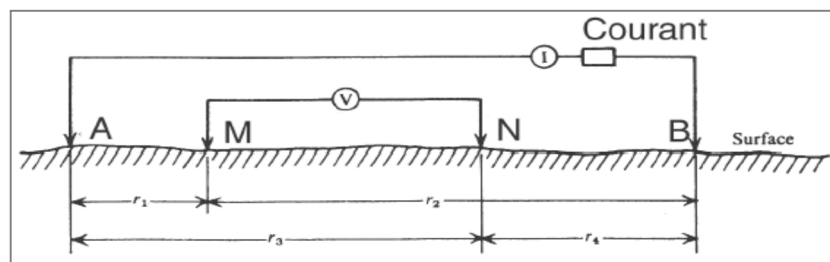


Figure 6: Principe de la méthode électrique (Chapellier, 2000)

Le but de cette méthode est la recherche d'anomalies électriques qui dans notre cas se traduirait par de faibles valeurs de résistivité dans un environnement de grandes valeurs de résistivité. Ces anomalies peuvent être considérées comme la matérialisation électrique de fractures dans le socle sain ; fractures pouvant renfermer de l'eau.

II.2.2. Dispositif de mesure

Plusieurs dispositifs de mesure peuvent être utilisés pour la méthode électrique. Il s'agit du dispositif Schlumberger, Wenner, Carré et Gradient du rectangle.

Le premier dispositif, est celui utilisé par l'entreprise. Il est constitué de quatre électrodes alignés et symétriques avec la distance MN, inférieure à celle de AB (voir annexe 05).

II.2.3. Méthode de prospection

Elle consiste à intercepter les fractures (prospection horizontale) et à déterminer les différentes couches géologiques présentes (prospection verticale).

a. Prospection horizontale

Pour l'interception des fractures, l'entreprise a utilisé le traîné électrique. C'est une technique qui permet l'exploration sur une épaisseur constante d'investigation par la fixation de la longueur AB de la ligne d'injection de courant. Le dispositif ayant ses distances fixes AB et

MN est entièrement traîné. Les différentes mesures de prospection ont été effectuées avec les distances suivantes :

- $AB = 140\text{m}$ $MN = 20\text{m}$ Pas de mesure = 10m $K = 754$
- Profondeur d'investigation environ 35 m car correspondant à $\frac{AB}{4}$

Les différentes anomalies obtenues dans les profils de ces prospections peuvent être interprétées selon le type et la forme :

➤ Les types d'anomalies

En fonction de l'allure que la courbe de résistivité peut avoir, Van Der Stricht (1988) en a dénombré trois types :

- **Le type A** qui se rapporte à une zone dépressionnaire de faibles résistivités entre 2 côtés résistants. La largeur de l'anomalie est généralement comprise entre 50 et 100m.
- **Le type B** qui se rapporte à une anomalie étroite et la largeur de l'anomalie est dans la majeure partie de ces cas inférieure à 30m.
- **Le type C** qui se rapporte à une anomalie de résistivité élevée, coincée entre 2 compartiments conducteurs ; la largeur de l'anomalie varie entre 10 à 100m.

D'autres auteurs comme *Dieng (2004)* et *Millon (1989)*, cités respectivement par *Koama (2009)* et *Nikiema (2012)*, considèrent par contre quatre types de courbes:

- Le type A comme étant une anomalie de type « **Compartiment Conducteur Large** » avec une largeur de zone conductrice plus faible (30 à 80m)
- Le type B comme étant une anomalie de type « **Compartiment Conducteur Etroit** » avec également une largeur de zone conductrice plus faible (inférieure à 30m)
- Le type C comme étant une anomalie de type « **Contacte Entre Deux Paliers** »
- Le type Anomalie de type « **Palier Conducteur** » : La zone d'anomalie se présente comme une zone à faible valeur de résistivité apparente très étendue.

Nos différentes interprétations sur les types d'anomalies rencontrés dans les différentes courbes seront faites à la base du dernier classement. Nous appellerons donc par la suite :

- **CCE**: Compartiment Conducteur Etroit (figure 7) et **CCL**: Compartiment Conducteur Large (figure 8) ;
- **PC** : Palier Conducteur (figure 9) et **CEDP** : Contacte Entre Deux Paliers (figure 10).

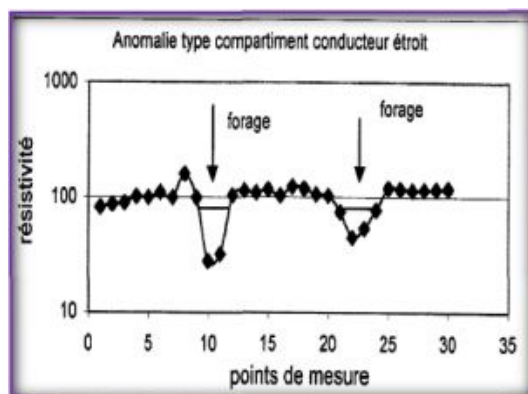


Figure 7 : Anomalie de type CCE

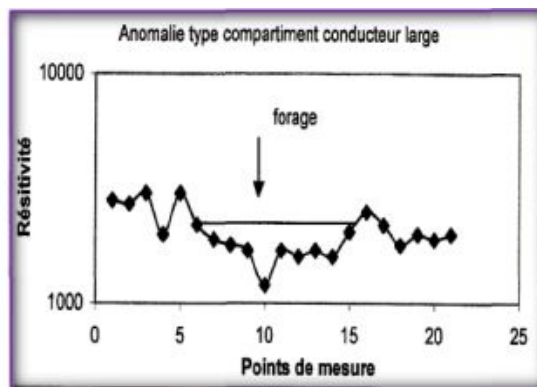


Figure 8 : Anomalie de type CCL

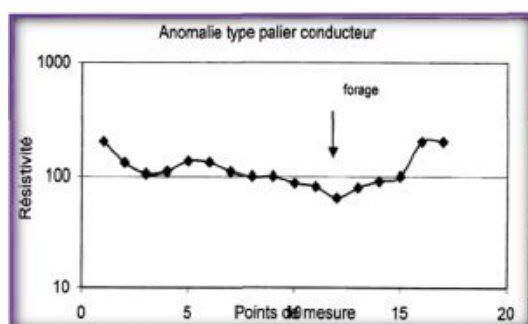


Figure 9 : Anomalie de type PC

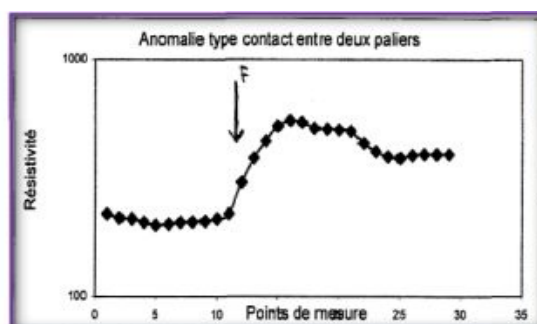


Figure 10 : Anomalie de type CEDP

➤ Formes d'anomalies :

Selon toujours, *Million (1989)* et *Dieng (2004)*, en fonction de leur forme, les anomalies peuvent être classées en 7 groupes (annexe 6):

- forme en **V** : anomalie pointue ;
- forme en **U** : anomalie arrondie ;
- forme en **W** : anomalie dont la partie conductrice est perturbée par un ou plusieurs résistants ;
- forme en **M** : anomalie qui peut être en V ou en U mais qui est encadrée par d'autres anomalies conductrices ;
- forme en **K** : anomalie qui est en W mais dont la dernière partie conductrice à une résistivité plus faible que les autres. Il arrive qu'elle soit très souvent confondue avec l'anomalie de forme W ;
- forme en **C** ;
- forme en **H**.

b. Prospection verticale ou sondage

Le sondage électrique vertical Schlumberger est une investigation ponctuelle en fonction de la profondeur d'un site. Elle s'obtient grâce à l'envoi de courant continu dans un dispositif

(identique à celui du trainé électrique) où on fait varier le paramètre **écartement** des électrodes: AB (distance entre les deux électrodes de courant) et MN (distance entre les deux électrodes de potentiel). Si pendant le processus le centre de AB et MN reste confondu, le sondage est de type Schlumberger. Le but est de déterminer la distribution de résistivité électrique d'un site en fonction de la profondeur en vue de l'établissement de la coupe géoélectrique du terrain en ce point.

➤ Les types de sondages

Les fiches de forage nous indiquent la présence de trois couches principales à savoir, la couche d'altération, celle du socle fracturé et celle du socle sain. Selon D. Chapellier (2000), en considérant trois couches de résistivité ρ_1 , ρ_2 et ρ_3 et d'épaisseur h_1, h_2 , il y a alors quatre combinaisons possibles (figure 11) :

- Résistivité qui diminue par palier, sondage de type Q
- Résistivité qui augmente par palier, sondage de type A
- Résistant compris entre deux conducteurs, sondage de type K
- Conducteur compris entre deux résistants, sondage de type H

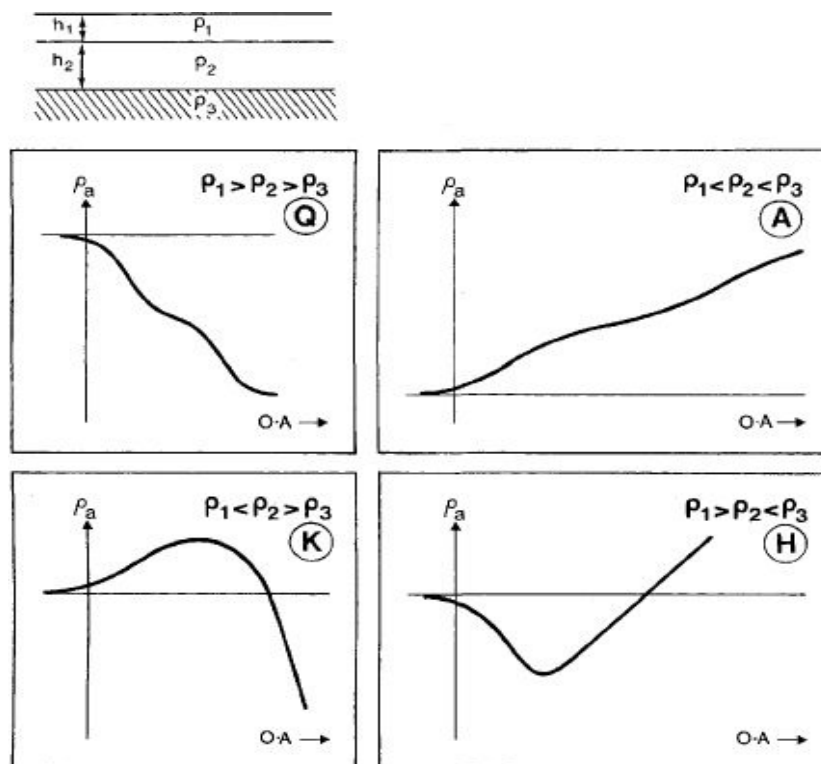


Figure 11 :Illustration des différents types de sondage

MATERIELS ET METHODES

I. Source de données et critères d'analyse:

I.1. Source de données

Les données ont été essentiellement obtenues auprès de l'entreprise SAIRA International, une entreprise qui œuvre principalement dans le domaine de la réalisation des forages. Elles se subdivisent en trois principaux types qui sont :

- les fiches d'implantation géophysique ;
- les fiches de forage ;
- les fiches d'essais de pompage.

I.2. Critères d'analyse

I.2.1. Les fiches d'implantation

Les valeurs de résistivités apparentes sont les données qui ont été recueillies de ces fiches d'implantation. Pour l'analyse de ces données, nous avons utilisé le **logiciel IPI2win** pour tracer les différentes courbes de trainés et de sondage électrique. Une interprétation de ces différentes courbes permettra ainsi de déterminer :

- **les types et formes d'anomalie** pour ce qui est du trainé ;
- **le type de sondage** pour ce qui est des sondages ;
- **la valeur moyenne de résistivité** de l'horizon fissuré ;
- **l'épaisseur d'altération** qui constitue la couche se trouvant au dessus du socle ;
- **l'épaisseur de l'aquifère** qui constitue la couche qui est susceptible d'abriter de l'eau.

I.2.2. Les fiches de forage

Elles ont permis d'avoir les informations sur les variables suivantes :

- **le statut du forage**: nous considérons qu'un forage est positif si celui ci a le débit minimum d'équipement soit $Q = 0.4\text{m}^3/\text{h}$; tous les forages ayant des débits inférieurs à ce débit sont déclarés négatifs ;
- **le débit du forage** : il constitue le critère principal de notre analyse, il est obtenu à la fin du développement du forage ;
- **la nature géologique de la couche aquifère** : elle renseigne sur la lithologie de l'horizon fissuré.

I.2.3. Les fiches d'essais de pompage

Elles ont renseigné sur :

- **le niveau statique de la nappe** : il définit la profondeur de la surface d'équilibre de l'eau libre au niveau de la nappe captée ; il est pris par rapport au terrain naturel.
- **Les rabattements par pallier** : ils ont permis de calculer la transmissivité de l'aquifère. Cette dernière se définit comme la quantité d'eau qui peut être transmise horizontalement par l'épaisseur saturée totale de la roche à travers une unité de largeur et sous l'effet d'un gradient égal à l'unité. Elle sera calculée par la méthode de Jacob à l'aide de la formule suivante :

$$T = \frac{0.183Q}{ax3600} \quad \text{avec} \quad a = \frac{s_2 - s_1}{\log t_2 - \log t_1}$$

où s_1 (m) représente le rabattement au temps t_1 (mn) et s_2 (m), celui au temps t_2 (mn)

T est obtenu en m^2/s .

II. Méthodes utilisées

II.1. Méthodologie explicative

L'étude proprement dite portera d'abord sur l'observation individuelle des variables géophysique et de productivité en faisant une **statistique descriptive** de chacune d'elles. Ensuite, il s'agira de faire **une analyse critique** de la démarche et des résultats de l'entreprise en vu d'identifier les raisons ayant conduit aux erreurs d'interprétation de la part de cette dernière. Puis, sera analysée la productivité des différents forages par rapport à leurs paramètres géophysiques selon la lithologie. Cette deuxième analyse sera faite en s'aidant de la méthode des **tableaux croisés**. Pour mettre en lumière les éventuelles corrélations entre paramètres de productivité et ceux géophysiques, nous procéderons par une **analyse des composantes principales (ACP)** de ces variables selon la géologie. Enfin, sera proposée une carte de transmissivité de la partie sédimentaire de la région d'étude.

II.2. Description des méthodes

➤ *La statistique descriptive*

C'est une méthode qui permet de résumer les données d'une variable statistique pour les rendre plus explicite. La première partie consiste à faire une illustration graphique des données, les histogrammes pour les variables quantitatives et les représentations de type angulaire pour les variables qualitatives.

Pour la deuxième partie, les paramètres suivants, seront utilisés pour les variables quantitatives:

- Moyenne arithmétique: $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^p n_i X_i$ avec $\sum_{i=1}^p n_i = n$

- Coefficient de variation : faisant partie des paramètres de dispersion, il nous permettra d'apprécier la pertinence de la moyenne calculée plus haut. Il nous permettra aussi de percevoir la distribution des valeurs autour de la moyenne.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad \text{Avec} \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^p n_i (X_i - \bar{X})^2} ;$$

- L'asymétrie : paramètre de forme, elle renseigne sur le degré d'une distribution par rapport à la moyenne. Elle permet aussi de savoir si une distribution obéit à la loi normale. Nous l'utiliserons pour avoir une idée de la répartition des valeurs. Une asymétrie positive indique la présence de grandes valeurs et une asymétrie négative indique par contre la présence de petites valeurs.

$$\gamma_1 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^3$$

Cette partie sera achevée par des regroupements appropriés par classe. Il s'agira de faire des regroupements par plage de variation pour les variables quantitatives et par type pour les variables qualitatives.

➤ *Analyse critique*

C'est une méthode qui permettra de déceler d'éventuelles erreurs commises de la part du géophysicien et de celles relevant de l'usage du logiciel IPI2win, dans l'interprétation des résultats. Il s'agira d'abord de traiter les valeurs de résistivités apparentes issues des fiches d'implantation à l'aide du logiciel d'interprétation et de donner l'avis favorable ou défavorable quand à la possibilité de forer. Ensuite, ces résultats seront confrontés avec ceux du géophysicien d'une part et avec ceux des fiches de forage d'autre part. Ainsi, seront inventoriées les divergences de résultats avec le géophysicien et avec les résultats des fiches de forage. Puis, il sera question de trouver les raisons de ces divergences en analysant la démarche du géophysicien d'une part et en étudiant le principe de fonctionnement du logiciel IPI2win. Cela permettra de trouver les cas d'erreurs possibles.

➤ *La méthode des tableaux croisés*

C'est une méthode de la statistique exploratoire. Elle analyse les variables quantitatives et qualitatives. Elle consiste à regrouper des individus ayant des valeurs semblables sur plusieurs variables. Ainsi, un tableau croisé permet d'examiner les effectifs appartenant aux différentes catégories de plusieurs variables. Ces effectifs indiquent les relations existant entre les variables croisées. Dans ce cas d'étude, les variables de regroupement seront : « le statut », « le débit », « le type d'anomalie », « la forme d'anomalie », « le type de sondage », « l'épaisseur

d'altération », « l'épaisseur d'aquifère » et « la lithologie ». Il serait important de noter ici que la variable transversale sera « la lithologie ». En clair, il s'agira d'étudier :

- le statut des formations géologiques selon le type de sondage, le type d'anomalies et la forme d'anomalie ;
- la productivité des mêmes formations géologiques selon le type de sondage, le type d'anomalie et la forme d'anomalie. La productivité des formations géologiques selon les valeurs de résistivité ;
- la productivité des formations géologiques selon la profondeur de l'horizon fissurée ;
- la productivité des formations géologiques selon l'épaisseur de l'altération saturée.

➤ **L'ACP**

Du point de vue des analystes de données, il s'agit d'une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques et que l'on utilise en général sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier (*Lebart, 2002*).

Plus concrètement, il s'agit de l'une des trois méthodes de la statistique exploratoire multivariée. Elle permet d'étudier l'existence de corrélations entre plusieurs individus d'une part et entre les variables quantitatives de ces individus d'autre part. En clair, elle met en évidence des relations particulières entre variables et des similitudes éventuelles de comportement entre les groupes d'individus. Une attention particulière sera portée aux relations entre variables. Aussi, en considérant un groupe de n individus ayant p propriétés (variables), représentés donc dans un plan à p dimensions, cette méthode permet de trouver un plan bidimensionnel représentant au mieux ces n individus.

Les variables étudiées seront : « la résistivité de la couche aquifère », « l'épaisseur d'altération », « l'épaisseur de la couche aquifère », « le débit » et « le statut ».

III. Logiciels utilisés :

Plusieurs logiciels ont été utilisés dans l'élaboration de ce travail, il s'agit entre autre de :

➤ **IPI2win :**

C'est un logiciel qui permet d'automatiser les interprétations du sondage électrique. Il trace dans un plan bi-log les courbes de sondage électrique. Les valeurs d'entrées dans le logiciel

seront essentiellement les espacements entre les différentes électrodes et la résistivité apparente.

➤ **Arc View :**

C'est un logiciel de visualisation, d'exploitation, de requêtes et d'analyses de données spatiales. Cet outil, avec son module "Spatial Analyst" permet une manipulation aisée des données spatiales et la réalisation des requêtes pour le SIG. Toutes les cartes ont été réalisées sur ce logiciel. Les fichiers d'entrée sont principalement issus de la base de données SIG Burkina.

➤ **Microsoft Office Excel :**

C'est un logiciel de tableur de la suite bureautique Microsoft Office, développée et distribuée par l'éditeur Microsoft. Il intègre Les fonctions de calcul numérique, de représentation graphique, d'analyse de données, de programmation, laquelle utilise les macros écrites dans le langage VBA (Visual Basic for Applications) qui est commun aux autres logiciels de Microsoft Office. Tous nos graphiques et courbes y ont été tracés.

➤ **XLSTAT :**

C'est un utilitaire du logiciel Excel. Il permet de faire des traitements statistiques performants. Spécialisé dans l'analyse de données, cet utilitaire permet de réduire le temps de traitement des données. Il sera plus utilisé dans notre cas pour montrer d'éventuelles corrélations entre variables

➤ **Surfer :**

Surfer est un logiciel de tracés de contours et de surfaces en 3D. Il convertit rapidement les données en cartes et surfaces et permet de contrôler toutes les options graphiques et d'obtenir un résultat très satisfaisant. Il sera utilisé pour la construction de la carte renseignant sur le sens des écoulements des eaux souterraines auquel sera confrontées les valeurs des résistivités.

➤ **Sphinx :**

C'est un logiciel d'enquête et d'analyse de données. Dans notre étude, il a été utilisé uniquement pour sa fonction analyse de données. Ainsi, ce logiciel nous a permis de faire le traitement des tableaux croisés.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Description et analyse des variables

Elle se fera en deux parties ; une première sur le sédimentaire et une autre sur le socle.

I.1. Partie sédimentaire

I.1.1. Statut des forages

Cette étude a été menée sur un échantillon total de 45 forages dont 27 positifs et 18 négatifs ; ce qui nous donne un taux d'échec d'environ 40% dans la partie sédimentaire.

I.1.2. Formes d'anomalie

Après analyse des différentes courbes de trainée électrique, il a été constaté l'existence des 7 formes d'anomalies (tableau 1). La forme la plus rencontrée est l'anomalie V avec une fréquence de 22.73%, puis viennent respectivement l'anomalie K avec 18.18%, les anomalies H et U avec chacun 15.91% de récurrence et les anomalies W et C avec un faible taux de 9.09% chacun.

Tableau 1 Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies/Sédimentaire

Forme d'Anomalies		
Modalité	Fréquence (%)	Taux de réussite (%)
C	9.09	75.0
H	15.91	71.4
K	18.18	75.0
M	9.09	50.0
U	15.91	28.6
V	22.73	63.6
W	9.09	75.0
Total	100	

En détaillant l'analyse, il est ressorti que les formes C, H et W ont les meilleurs taux de réussite avec des taux respectifs de 75%. Les formes H et V méritent aussi une attention particulière dans le sens qu'elles ont un taux de succès supérieur à 50% ; 71.4% pour H et 63.6% pour V. Les faibles taux sont ceux des anomalies M et U avec 50% pour M et 28.6% pour U.

I.1.3. Types d'anomalie

Le premier constat majeur se résume à l'absence des anomalies de type CEDP (Compartiment Entre Deux paliers). Il conviendrait de remarquer aussi que les trois autres types d'anomalies, ont sensiblement les mêmes degrés de récurrence avec cependant une légère domination des types CCL avec 35.56% (tableau 2). Les deux autres ont chacun 33.33% pour les types CCE et 31.11% pour les types PC.

Tableau 2 Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies/Sédimentaire

Type d'Anomalies		
Modalité	Fréquence (%)	Taux de réussite (%)
CCE	33.33	60.0
CCL	35.56	56.3
PC	31.11	71.4
Total	100	

Pour ce qui est de leur taux de succès, il est à remarquer que le meilleur taux de réussite est celui des types PC avec 71.4%, viennent ensuite les types CCE avec 60% et les CCL avec 56.3%.

I.1.4. Types de sondage

On remarque l'existence des quatre types de sondage (tableau 4). Toutefois, il conviendrait de remarquer que les types H et A sont les plus dominants avec une récurrence de près de 45% pour les H et près de 25% pour le Type A. les types Q et K sont les moins fréquents avec 17.78% pour les K et 13.33% pour les Q.

Tableau 3: Proportion et Taux de réussite des types de sondage/Sédimentaire

Type de Sondages		
Modalité	Fréquence (%)	Taux de réussite (%)
A	24.44	72.7
H	44.44	55.0
K	17.78	75.0
Q	13.33	50.0
Total	100	

Pour ce qui est de leur taux de succès, les types K et A offrent les meilleurs taux avec respectivement 75% et 72.7%. Les plus faibles taux sont enregistrés par les types H et Q avec 55% et 50% respectivement.

I.1.5. Valeurs de résistivité de la couche aquifère

Cette étude a été faite d'abord sur les forages négatifs et ensuite sur ceux positifs.

a. Forages négatifs

Avec une moyenne de 271.45 Ω m, il a pu être constaté que les forages négatifs avaient la résistivité de leur aquifère comprise entre 4.79 Ω m et 1087 Ω m (figure 12). La faible valeur du coefficient de variation (1.049), indique une concentration des différentes valeurs autour de la moyenne. Cependant, la valeur 1.24 de l'asymétrie nous indique une légère domination de valeurs qui se trouvent être supérieures à la moyenne.

En s'aidant de la figure 12, on a pu observer que plus de la moitié des forages avait la résistivité de leur aquifère inférieure à 200 Ω m. Aussi, on a pu noter que plus les valeurs de résistivité augmentaient, moins il y avait de forages dans les classes.

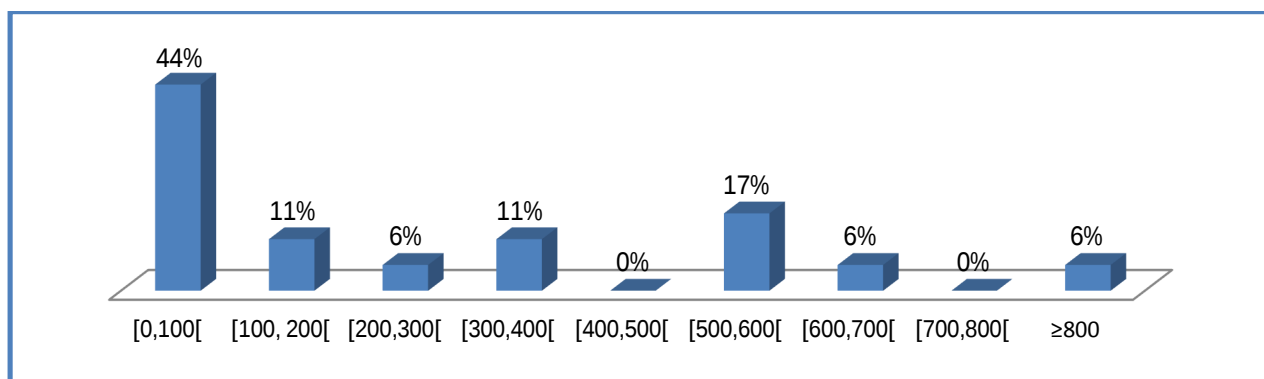


Figure 12 Proportion des résistivités selon les classes dans le sédimentaire/FN

b. Forages positifs

Au niveau des forages positifs, on a observé que les valeurs de résistivité ont une moyenne de 598.89 Ωm et que les valeurs s'étalaient entre 12 Ωm et 2608 Ωm . Le coefficient de variation, proche de 1 (annexe 14), montre une distribution légèrement concentrée autour de la moyenne. Par contre la valeur positive de l'asymétrie, nous montre une plus grande proportion des valeurs supérieures à la moyenne.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, il a été observé que les grandes valeurs de résistivité avaient une proportion assez importante avec 22% des valeurs qui sont supérieures à 800 Ωm (figure 13). Aussi, une proportion notable de 30%, a été enregistrée dans la plus petite classe.

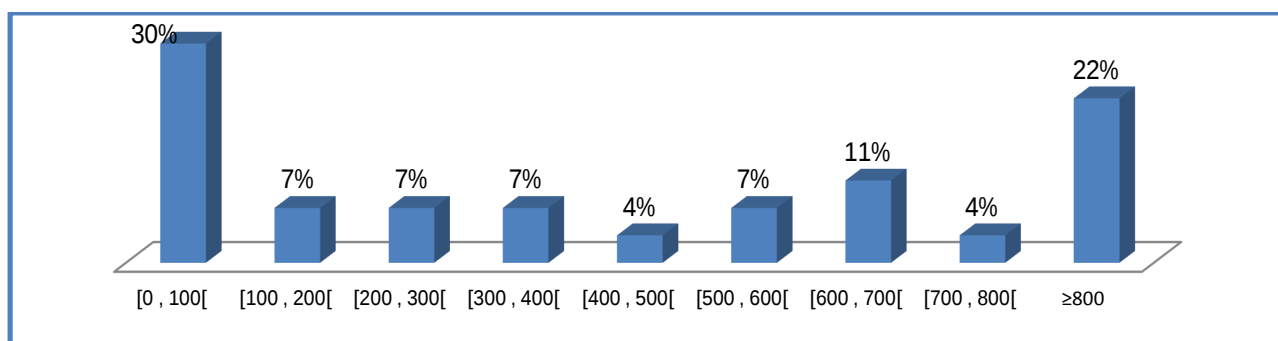


Figure 13 Proportion des résistivités selon les classes dans le sédimentaire/FP

I.1.6. Lithologie

La partie sédimentaire est essentiellement constituée de grès avec une récurrence de plus de 90%, on y note aussi la présence de sable argileux à quelques endroits, 8.9%. Les fiches de forages étudiés ne nous ont pas permis de différencier les différents types de grès (à savoir rose ou blanchâtre).

I.1.7. Débit

L'étude de cette partie a été menée sur des forages ayant un débit supérieur à 0.4m³/h. L'étude s'est donc portée sur 27 forages, nombre des forages positifs. La valeur minimale du débit

rencontrée dans la partie sédimentaire de la zone d'étude est de $0.61\text{m}^3/\text{h}$. Celle, maximale est de $20\text{ m}^3/\text{h}$ et la moyenne est de $3.485\text{ m}^3/\text{h}$. Le coefficient de variation s'élevant à 1.54%, largement inférieur à 15%, rend pertinent la valeur de la moyenne. Cependant la valeur positive de l'Asymétrie, renseigne sur l'existence de grandes valeurs par rapport à la moyenne.

Pour mieux percevoir les valeurs de débit, nous avons procédé à une étude par classe. Ainsi 4 classes ont été constituées (figure 14) ; celle des faibles débits $[0.4;5[$, celle des débits moyens $[5;10[$, celle des gros débits $[10;15[$ et celle des très gros débits ≥ 20 . Il ressort donc que 59% des forages ont des débits relativement faibles car appartenant à la 1^{ère} classe, 22% ont des débits moyens, 7% ont des gros débits et 11% ont des très gros débits.

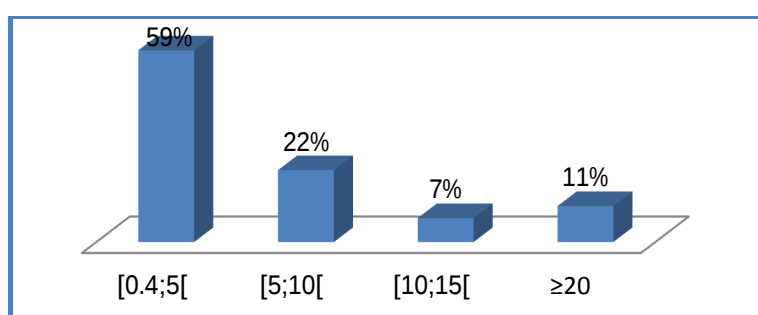


Figure 14 Proportion des débits selon les classes dans le sédimentaire

I.1.8. Niveau statique

Cette partie devant se porter sur les forages positifs, a été réalisée sur 27 forages. Avec une moyenne de 17.72m par rapport au TN, le niveau le plus proche du TN est de 5.15m. Par contre, le plus éloigné est de 47.55m. La valeur positive de 1.141 et supérieur à 1 de l'asymétrie, nous permet de constater la présence d'un grand nombre de valeurs supérieures à la moyenne.

Après regroupement par classe (figure 15), nous constatons que 67% des cas se trouvent dans la plage de $[5 ; 20[$ et 22% dans celle de $[20 ; 30[$. Les plus faibles proportions se retrouvent dans celles de $[20 ; 30[$ et $[40 ; 50[$ avec 7% et 4% respectivement.

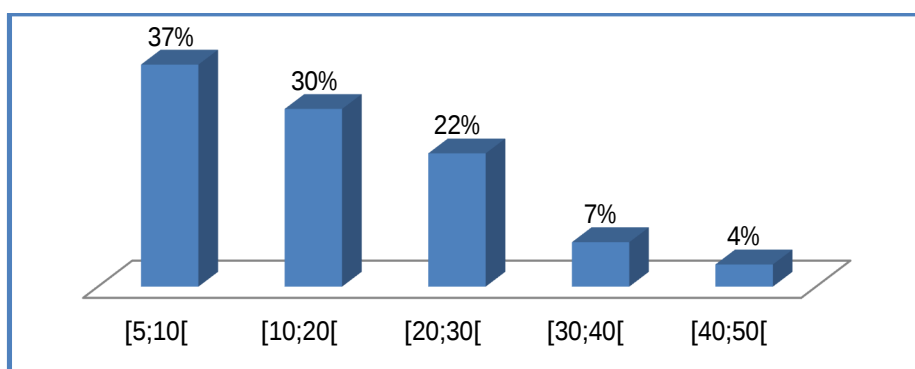


Figure 15 Proportion des Niveaux statiques selon les classes dans le sédimentaire

I.1.9. Epaisseur d'altération

Dans cette partie, nous avons jugé important de faire l'étude en deux parties ; à savoir sur les forages négatifs et sur les forages positifs.

a. Forages négatifs

Avec une profondeur moyenne de 67.89m, les forages négatifs ont des épaisseurs d'altération comprises entre 28.4 et 107.6m. La valeur négative de l'asymétrie permet de noter un grand nombre de valeurs inférieur à la moyenne ; ce qui voudrait dire que la majorité des forages négatifs ont une altération dont l'épaisseur est inférieure à 67.89m.

Les faibles proportions par classe (figure 16) ne nous permettent pas d'identifier une plage comme étant celle regroupant le plus de forages négatifs. Mais, il serait convenable de remarquer que les plus forte proportions se trouvent dans les plages [50; 60[et ≥ 90 m avec respectivement 22%.

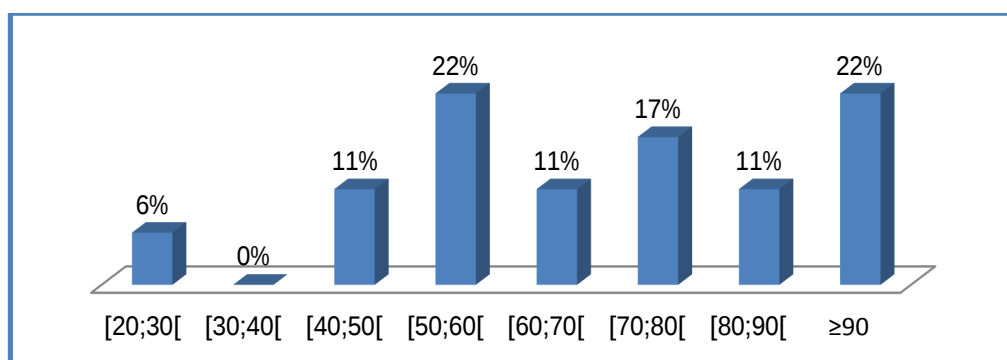


Figure 16: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération (FN)/Sédimentaire

b. Forages positifs

Pour ce qui est des forages positifs, on note que les épaisseurs d'altération varient entre 12 et 83 m. La moyenne est de 39.26m. Au vue de ce constat, on peut affirmer qu'au-delà de 83 m d'épaisseur d'altération, on a de faibles chances d'avoir un forage positif.

L'analyse par classe (figure 17) montre que plus de 75% des forages positifs, ont une couche d'altération inférieure à 50 m. La plage [50;60[, offre une proportion moins intéressante ; 19% qu'il conviendrait de prendre néanmoins en compte. Le plus important ici, serait de remarquer qu'au-delà de 80 m d'altération dans le sédimentaire, les chances d'avoir un forage positif s'amenuisent énormément.

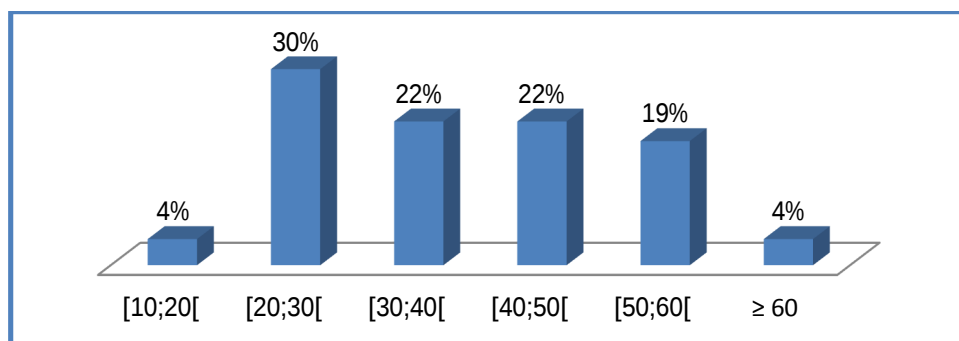


Figure17: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération (FP)/Sédimentaire

I.1.10. Epaisseur de l'aquifère

a. Forages négatifs

Avec une épaisseur moyenne de 29.31m, les différentes épaisseurs d'aquifère varient entre 16 et 48 m. Les faibles valeurs d'asymétrie, 0.595 et de coefficient de variation, 0.346 traduisent une distribution concentrée autour de la moyenne.

Ainsi, on a pu constater que 44% des forages négatifs ont l'épaisseur de leur aquifère comprise entre 20 et 30m (figure 18).

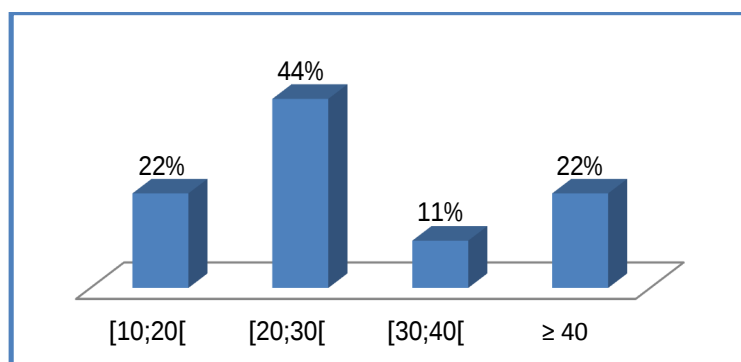


Figure 18: Répartition par classe de l'épaisseur des aquifères (FN)/Sédimentaire

b. Forages positifs

L'épaisseur de leur aquifère évolue entre 2.91m et 34.95m et la moyenne est de 18.96. On remarque une faiblesse des valeurs par rapport à la moyenne, compte tenu de la valeur négative de l'asymétrie (-0.014). La tendance en général est que l'épaisseur des aquifères des forages positifs est plus faible que celle des forages négatifs.

La figure 19 nous montre que 70% des forages positifs ont une épaisseur d'aquifère se trouvant dans la plage [10 ; 30[. On observe 15% dans la plage [0 ; 10[et dans celle de [30 ; 40[. Aussi, on pourrait noter qu'en comparaison avec les négatifs, la chance est quasi inexistante d'avoir un forage positif ayant une épaisseur d'aquifère supérieure à 40 pendant qu'elle n'est pas négligeable chez les forages non productifs.

On pourrait être amené à croire que l'épaisseur d'aquifère pouvant aboutir à des forages positifs se trouve dans la plage [10 ; 30[avec 70% de récurrence, il serait prudent de ne pas oublier que cette même plage abrite 62% des forages négatifs.

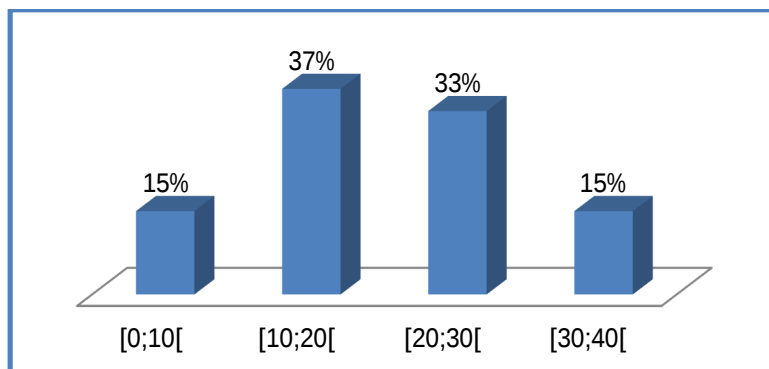


Figure 19: Répartition par classe de l'épaisseur des aquifères (FP)/Sédimentaire

Conclusion partielle

Avec un taux d'échecs de 40%, la zone sédimentaire a des aquifères qui sont essentiellement constitués de grès. Si les formes C et K ont les meilleurs taux de réussite, c'est la forme V par contre qui est la plus récurrente. Pour ce qui est des types d'anomalies, on observe un partage plus ou moins équitable des fréquences, même si les plus productifs sont les types PC. En ce qui concerne les types de sondage, le type H qui est l'un des moins productifs est le plus courant. Le plus productif des sondages en termes de capacité à fournir un forage positif, est le type Q. Les débits rencontrés, sont faibles en général avec cependant l'existence de gros débits et même de très gros parfois. Cependant, il existe des divergences entre certains de nos résultats et celui de l'étude réalisée par *Yanzon (1991)*. En exemple, nous avons l'épaisseur moyenne d'altération qui est de 24.86 m dans notre cas et de 42 m selon ce dernier. Cette divergence peut s'expliquer par la variabilité de l'épaisseur d'altération car selon le point géographique, l'aquifère a tendance à s'éloigner ou à se rapprocher de la surface du sol ; augmentant ou diminuant ainsi l'épaisseur d'altération.

I.2. Partie du socle

I.2.1. Statut des forages

Pour la partie du socle, nous avons pu mener cette étude sur un échantillon de 83 forages. Le taux d'échecs est moins élevé que dans celui du sédimentaire ; il est de 32.5%.

I.2.2. Formes d'anomalies

Les sept formes d'anomalies sont également présentes dans le socle (tableau 4). On ne note aucune grande domination de l'une de ces formes. Cependant, on observe une légère

domination des formes V et U avec 26% et 22% de récurrence, suivie des formes U, W et K avec respectivement 22%, 18% et 17% de fréquence. Les formes M, C et H sont les moins récurrentes même si la fréquence des formes M (10%) est plus grande que celle des deux autres soit 4% chacune.

Tableau 4: Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies/Socle

Forme d'Anomalies		
Modalité	Fréquence (%)	Taux de réussite (%)
C	4%	100%
H	4%	66.7%
K	17%	78.6%
M	10%	87.5%
U	22%	66.7%
V	27%	54.5%
W	18%	66.7%
Total	100%	

L'analyse de ces formes montre que de façon générale, ce sont les formes les moins récurrentes M et C qui ont les meilleurs taux de réussite 100% et 87.5%.

Le paradoxe est aussi constaté chez les anomalies les plus récurrentes, U et V qui se retrouvent avec les plus faibles taux de réussite, 66.7% et 54.5%.

I.2.3. Types d'anomalies

Pour les différents types d'anomalies (tableau 5), c'est le type PC qui est le plus dominant avec une proportion de plus de 40%. Les types CCE et CCL ont des proportions plus ou moins partagées avec 28.92% et 27.71%. Plus perceptible encore, on note une absence des CEDP.

Tableau 5 : Proportion et Taux de réussite des types d'anomalies/Socle

Type d'Anomalies		
Modalité	Fréquence (%)	Taux de réussite (%)
CCE	28.92	70.8%
CCL	27.71	78.3%
PC	43.37	61.1%
Total	100	

Un examen plus poussé a permis de constater que le type CCL est celui qui détient le plus fort taux de réussite (78.3%) suivi du type CCE avec 70.8%. Le type PC, plus fréquent que les deux autres, a le plus faible taux de réussite avec 61.1%.

I.2.4. Types de sondage

Des types de sondage, le type H est celui qui a la plus forte récurrence avec près de 50%. Il est suivi du type A, 30% et des types Q et K avec 12% et 10% respectivement.

Ainsi, il a été constaté que dans la partie du socle de la région d'étude, les formes les plus fréquentes sont celles qui ont les meilleurs taux de réussite et celles les moins fréquentes détiennent les plus faibles taux de réussite (tableau 6). En effet, pendant que les formes A et H ont des taux de plus de 76% et 72.5%, les formes Q et K par contre ont respectivement 60% et 37.5%.

Tableau 6: Proportion et Taux de réussite des types de sondage/Socle

Type de Sondages		
Modalité	Fréquence (%)	Taux de réussite (%)
A	30.12	76.0
H	48.19	72.5
K	9.64	37.5
Q	12.05	60.0
Total	100	

I.2.5. Valeurs de résistivité de la couche aquifère

a. Forages négatifs

Dans le socle, les valeurs de résistivité tournent, en moyenne, autour de $140\Omega m$ et que les valeurs dépassent parfois les $1000\Omega m$. Le coefficient de variation (1.617) montre une concentration plus ou moins étalée autour de la moyenne et l'asymétrie (4.522) révèle une quantité assez importante de valeurs supérieures à la moyenne.

L'étude par classe (figure 20) montre une grande concentration dans la plage $[0, 100[$.

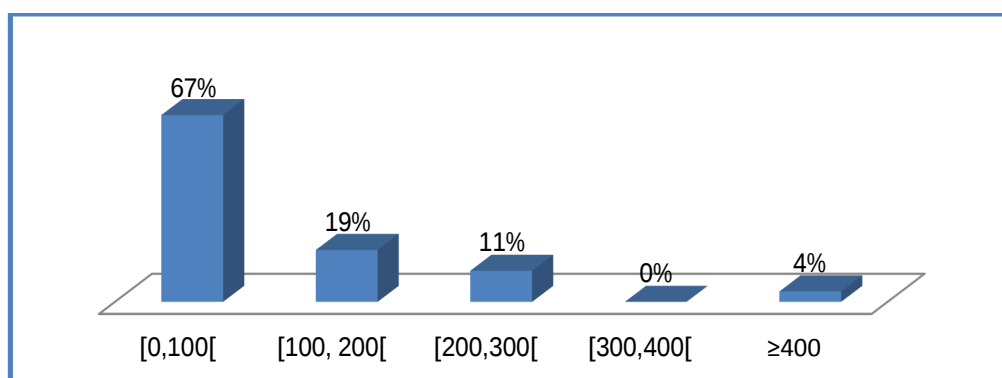


Figure 20: Proportion des résistivités selon les classes dans le socle/FN

b. Forages positifs

Pour ce qui est des forages positifs, les valeurs par contre sont plus grandes mais demeurent concentrées autour de la moyenne. En effet on constate que la moyenne avoisine les $160\Omega m$ et que les valeurs dépassent les $1500\Omega m$. L'asymétrie (3.718), moins élevée est restée positive, indiquant ainsi un plus grand nombre de valeurs supérieures à la moyenne. Le coefficient de

variation (1.652), légèrement plus élevé, est resté faible, montrant ainsi une répartition concentrée autour de la moyenne.

L'étude par classe (figure 21) montre également une grande concentration dans la plage [0, 100[.

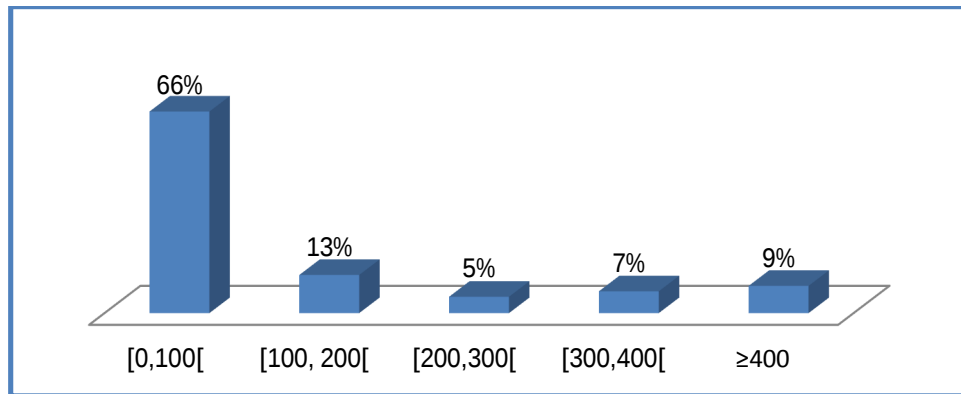


Figure 21 : Proportion des résistivités selon les classes dans le socle/FN

I.2.6. Lithologie

D'une manière générale, on note une grande domination des granites sur les schistes avec 65% pour les granites contre 35% pour les schistes. Il serait important de noter qu'on parle des types de roche comportant les fractures.

I.2.7. Débit

Avec une moyenne de 5.26 m³/h, les débits dans le socle oscillent entre 0.63m³/h et 16.4 m³/h. Comme le montre l'asymétrie et le coefficient de variation, nous sommes dans une distribution assez bien répartie autour de la moyenne avec cependant une légère domination de valeurs supérieures à la moyenne.

Le regroupement par classe (figure 22) a permis donc de découvrir que dans le contexte du socle, la grande majorité des débits, 61% se trouve dans la plage de [0.4;5[. Aussi, il ressort que 21% des débits sont supérieures à 5 m³/h tout en restant inférieure à 10m³/h et que moins de 20% ont des débits supérieurs à 10m³/h.

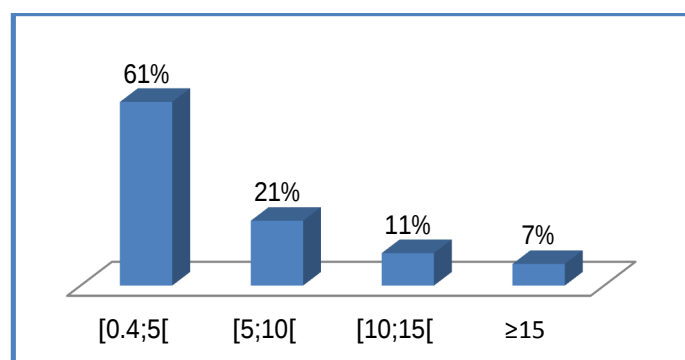


Figure 22: Proportion des débits selon les plages

I.2.8. Niveau statique

Pour l'analyse de cette variable, nous avons circonscrit l'étude aux forages positifs qui sont au nombre de 56. Il a donc été remarqué que le niveau statique qui a une moyenne de près de 15m, oscille entre 1.9m et 64m dans la partie du socle. Même si l'asymétrie nous montre l'existence de grandes valeurs par rapport à la moyenne, le coefficient de variation nous montre par contre une distribution assez homogène autour de la moyenne.

Pour une meilleure étude de la variation du niveau statique, nous avons aussi procédé à une étude par classe (figure 23). On a donc pu mettre en évidence que près de 80% des valeurs du niveau statique se trouvaient dans l'intervalle 0 à 20m et 13% ont des valeurs comprises entre 20 et 30m. De très faibles proportions ont été enregistrées dans les classes [30; 40[et celle ≥ 40 avec 4% et 5%.

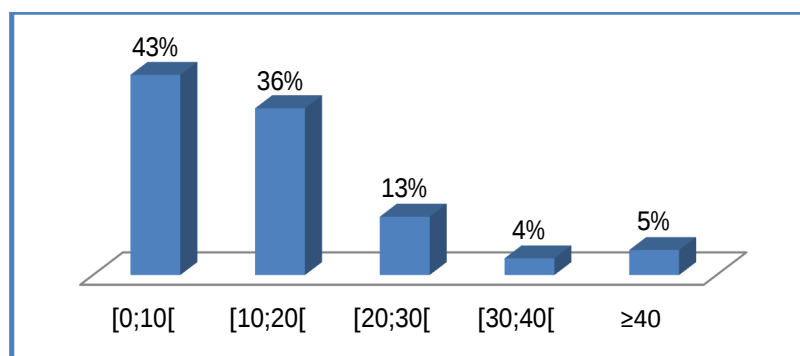


Figure 23: Fréquence des niveaux statiques selon les plages

I.2.9. Epaisseur d'altération

Pour rendre pertinente l'étude de cette variable, nous avons divisé l'étude en deux parties ; à savoir, une première partie sur les forages négatifs et une deuxième sur les forages positifs.

a. Forages négatifs

Après analyse, il ressort que l'épaisseur d'altération est assez importante dans la partie du socle. En effet, la plus petite épaisseur d'altération se trouve être 25.43 m pendant que la plus éloignée est à 94.22m. Avec une moyenne de 61.78m, c'est une variable qui contient beaucoup

de valeurs inférieures à la moyenne ; en témoigne la valeur négative de l'asymétrie qui est de -0.417. Cependant la distribution reste concentrée autour de la moyenne comme le montre, la faible valeur du coefficient de variation.

L'étude par plage de variation (figure 24) montre que près de la moitié des observations se trouve dans la plage [50 ; 70[. Si des faibles proportions ont été enregistrées dans les intervalles [30;40[, [70 ;80[et ≥ 80 avec 15%, 19% et 11%, c'est par contre de très faibles proportions qui sont enregistrées dans les plages [20 ; 30[et [40 ; 50[avec moins de 5% chacun.

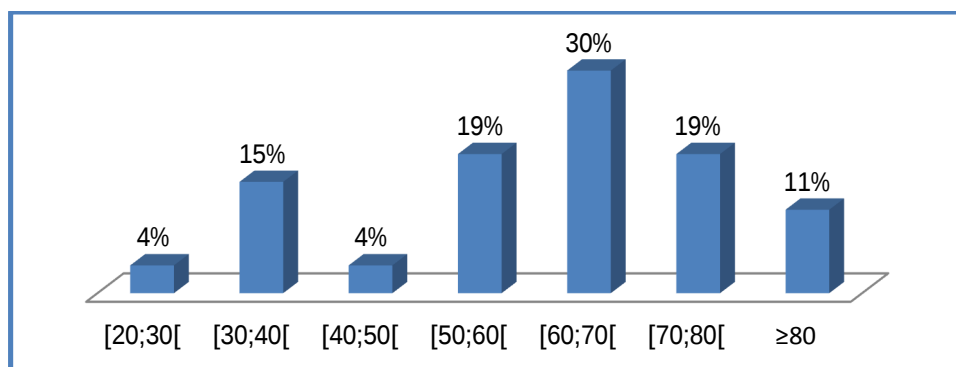


Figure 24: Proportion des forages négatifs selon l'épaisseur d'altération (FN)/Socle

b. Forages positifs

En ce qui concerne les forages positifs, on remarque clairement qu'ils ont d'une façon générale des épaisseurs d'altération moins faibles que celles des forages négatifs avec une moyenne de 41.23m et des valeurs s'étalant entre 8m et 77.06m.

L'étude par classe (figure 25) montre qu'une très grande majorité des valeurs est représentée dans la gamme [20 ; 50[avec une proportion de 70%, une petite partie, 27%, se trouve dans des profondeurs de plus de 50m et une minorité, 4%, dans des profondeurs inférieures à 20m.

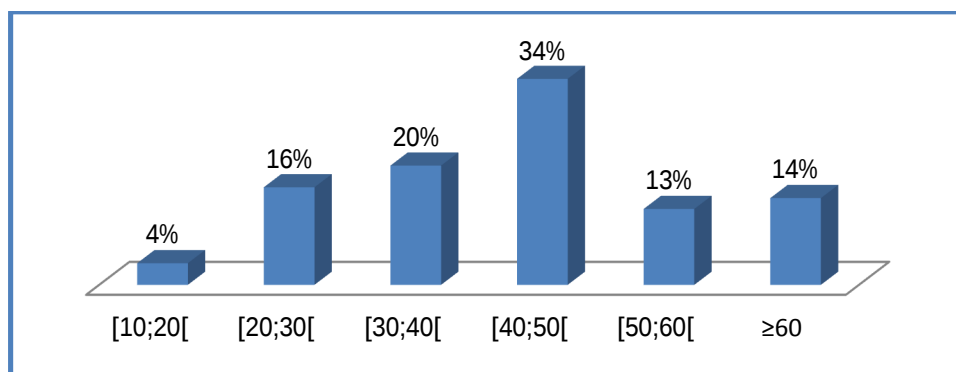


Figure 25: Proportion des forages positifs selon l'épaisseur d'altération (FN)/Socle

I.2.10. Epaisseur de l'aquifère

Egalement, pour cette variable, l'analyse s'est faite en deux parties ; à savoir, une sur les forages négatifs et une autre sur ceux, positifs.

a. Forages négatifs

Pour ce qui est des forages négatifs, on a pu remarquer que les épaisseurs des aquifères variaient entre 6m et 40m avec une moyenne de 22.45m. Les paramètres de dispersion et de forme calculés, nous indiquent une distribution assez concentrée autour le moyenne avec une proportion de 67% des valeurs fluctuant entre 10 et 30m (figure 26). Aussi, on a pu relever que 26% ont une épaisseur de plus de 30m et 7%, moins de 10m.

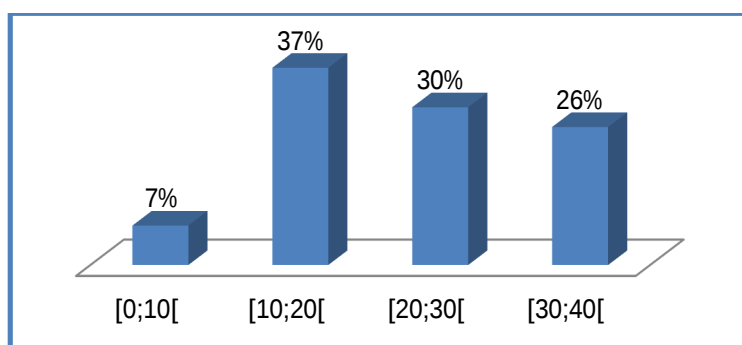


Figure 26: Proportion des forages positifs selon les épaisseurs des aquifères (FN)/Socle

b. Forages positifs

On serait tenté de dire que plus l'aquifère a une grande épaisseur, plus il y a de chance que le forage soit positif car les valeurs des épaisseurs des forages positifs sont plus grandes dans l'ensemble que celle des forages positifs. En effet, avec une moyenne de 41.23m contre 22m pour les forages négatifs, cette variable a des valeurs comprises entre 8m et 77.06m contre 6m et 40m pour les forages négatifs. Par ailleurs, les paramètres de forme et de dispersion nous indiquent une distribution assez concentrée autour de la moyenne.

Pour approfondir l'étude, nous avons procédé à une étude par classe (figure 27) et il en est ressorti que 66% des cas positifs ont des épaisseurs comprises entre 10m et 30m, 14% sont entre 30 et 40m, et 13% des cas ont des épaisseurs supérieures à 40m. Aussi, une très faible proportion non moins négligeable a été enregistrée dans la plage de 0 à 10m.

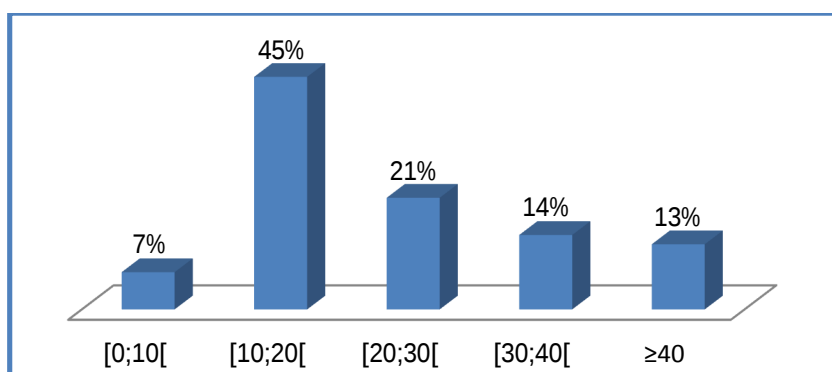


Figure 27: Proportion des forages positifs selon les épaisseurs des aquifères/Socle

Conclusion partielle

Pour un taux d'échec de 32.5%, les aquifères dans le socle sont majoritairement constitués de granite fissuré. Si les différentes formes d'anomalies ont des bons taux de réussite en général, il conviendrait de noter que ce sont les formes C et M qui ont les meilleurs taux de réussite. Cependant les formes U et V ont la récurrence la plus élevée. En ce qui concerne les types d'anomalies, on observe une plus grande présence du type PC sur les deux autres qui ont des proportions plus ou moins égales. Pour ce qui est des types de sondage, le type H se trouve être le plus rencontré et l'un des plus productifs. Le plus productif des sondages est cependant le type A. Les débits, faibles en générale, sont souvent gros et même très gros parfois. Dans notre cas d'étude, les aquifères sont plus épais que ceux des forages négatifs.

Conclusion générale sur la description des variables

A l'issue de l'analyse des différentes variables selon le contexte géologique, il est ressorti que le taux de réussite dans le socle est plus élevé que dans le sédimentaire. Aussi, il a pu être constaté que la forme V était l'anomalie la plus récurrente dans les différentes formations géologiques avec cependant une très grande productivité de la part des formes C. De même, une comparaison sur les types d'anomalies a permis de constater une absence totale des types CEDP de part et d'autre et que dans le sédimentaire les proportions sont plus ou moins égales pour les trois autres types pendant que dans le socle, on observe une nette domination du type PC sur les autres. Côté productivité dans le sédimentaire, c'est le type PC qui est le plus productif alors que dans le socle c'est le type CCL qui se trouve être le plus productif. Pareillement, l'observation sur les types de sondage a montré une nette domination du type H dans les deux cas à savoir le socle et le sédimentaire. On note par contre une discordance au niveau de la productivité, elle est encore remportée par le type H dans le socle tandis qu'elle est remportée par le type A au niveau des formations sédimentaire. Dans l'ensemble, on rencontre des débits faibles, gros et même très gros de temps à autre.

II. Analyse critique

II.1. Analyse de la démarche de l'entreprise

II.1.1. Démarche de l'entreprise

Un entretien avec l'entreprise a permis de résumer leur démarche:

Ainsi, l'interprétation de la photo aérienne n'est pas toujours utilisée mais elle dit se fier plus aux éléments visuels que sont l'alignement des arbres hydrophiles (diospyros et phicus) et des termitières. En cas d'absence d'éléments visuels, elle dit utiliser le dispositif carré pour connaître la direction des fractures dans la région.

Une fois la direction des fractures connus, elle dit procéder au trainé électrique en effectuant plusieurs profils perpendiculaires à la direction des fractures dans le but de déterminer l'emplacement exacte de ces dernières. Pour ce faire, l'entreprise utilise le *Syscal* comme appareil de mesure et *Schlumberger* comme dispositif. Elle dit utiliser fréquemment des pas de 10m mais dit souvent utiliser des pas de mesure de 40 m. Les résultats obtenus sont représentés sur du papier semi-log et ses critères de choix se résument à toute anomalie arrondie (vers le bas pour le cas du socle et vers le haut pour le sédimentaire) dont les remontées sont trainantes, et de préférence celles qui sont larges. Elle évite celles qui sont pointues et dont les remontées sont propres. Aussi, elle prétend rechercher des résistivités faibles dans le socle et élevées dans le sédimentaire. Selon son expérience, les résistivités faibles dans le sédimentaire et élevées dans le socle, ne sont pas productives.

Après la sélection de la meilleure fracture, elle cherche par le sondage électrique, à déterminer la profondeur à laquelle se trouve la fracture, l'épaisseur d'altération et la profondeur de désespoir. Pour ce faire, elle utilise toujours le *Syscal* comme appareil de mesure dans le sédimentaire et dans le socle et le même dispositif *Schlumberger*. Ces résultats obtenus sont représentés sur du papier bi-log. Ces interprétations sont directement faites sur le papier bi-log en privilégiant toujours les anomalies arrondies dont les remontées sont trainantes. La matérialisation des sites à forer est faite sur place.

II.1.2. Critiques de la démarche

Après analyse du procédé de l'entreprise, on peut noter entre autre les critiques suivantes :

- elle ne procède pas à la photo interprétation suivi de la reconnaissance sur le terrain ;
- elle ne recherche pas les intersections de fracture mais se contente de la présence de fractures ;

- elle interprète directement les valeurs de résistivité apparente et non celles de résistivité vraie.

A l'issue du traitement des fiches d'implantation sur IPI2win et après avoir procédé au rapprochement de nos résultats avec ceux de l'entreprise, il ressort les deux cas suivants :

- résultats concordants (55%);
- ***résultats divergents*** (45%).

Après confrontation des résultats obtenus à partir du traitement sur IPI2win avec les résultats des fiches de forages, il est ressortit quatre cas dont deux cas de divergence, à savoir :

- avis favorable et positif (45%) ;
- ***avis favorable et négatif*** (25%) ;
- ***avis défavorable et positif*** (20%) ;
- avis défavorable et négatif (10%).

II.2. Explication de la divergence avec l'entreprise

La contradiction avec le géophysicien peut s'expliquer en grande partie par le fait que ce dernier 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.

Aussi, cette contradiction pourrait être attribuée à certains indices naturels que le géophysicien a pu constater sur le terrain ; indices que nous n'avons pas pu voir. Ces indices peuvent être par exemple la présence d'un ancien forage, de grandes termitières et l'alignement de grands arbres dont les racines sont capables d'aller à de très grandes profondeurs.

II.3. Explication de la divergence à la lumière des données de forages

Les erreurs d'interprétations observées peuvent être attribuées aux divers phénomènes que sont :

- Le principe d'équivalence ;

- la notion de suppression ;
- les cas de débit insuffisant.

II.3.1. Le principe d'équivalence

D'après *Youcef (2006)*, un même diagramme expérimental peut être interprété par une infinité de solutions, qui constituent des " **équivalences**", ce qui justifierait les cas (avis favorable, forage négatif).

II.3.2. La notion de suppression

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).

II.3.3. Les cas de débit insuffisant

En notant que les forages négatifs ne sont pas tous des forages secs mais ayant des débits inférieurs à $0.4\text{m}^3/\text{h}$, on pourrait justifier le deuxième cas d'erreur, à savoir avis favorable, 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).

Conclusion sur l'analyse critique

Au terme de l'analyse de la méthode d'implantation de l'entreprise, il ressort que la géophysique est directement appliquée sans la phase préalable de reconnaissance de terrain et de l'interprétation des images satellitaires et des photographies aériennes. Pourtant, en principe, la géophysique est un outil complémentaire et non un outil de base, pour espérer augmenter les taux de succès. Cette façon de procéder de l'entreprise ne permet pas d'implanter sur les nœuds de fractures, chose qui leur aurait permis déjà d'augmenter leur taux de réussite. Cependant, il a été constaté que même les meilleurs 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.

III. Tableaux croisés

III.1. Granite (Socle)

III.1.1. Statut et type d'anomalies

Ce croisement pour le cas du granite (figure 28) nous montre une proportion assez étalée des types d'anomalies en termes de récurrence avec néanmoins une légère domination du type PC avec 37%. Le type CCL par contre, est celui qui offre le meilleur taux de réussite avec 83%. Les autres aussi offrent des taux assez intéressants.

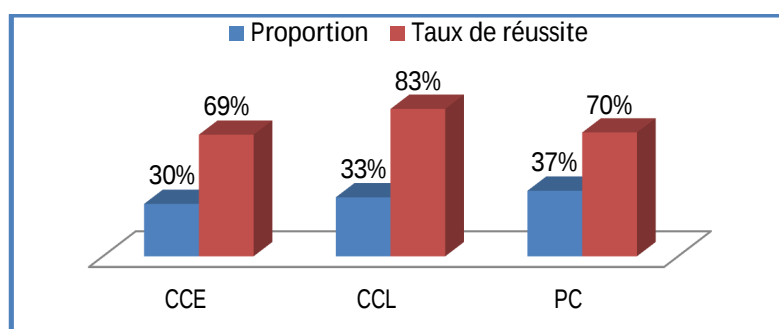


Figure 28: Proportion et taux de réussite des types d'anomalies (granite)

III.1.2. Statut et forme d'anomalies

La figure 29 nous montre que les formes U et V sont les plus fréquentes chez les granites avec une proportion de 24% chacun. Les formes M et K avec une plus faible récurrence, ont les meilleurs taux de réussite avec respectivement 83% et 80%. Les formes C et H, avec un taux de réussite nul pour C et moyen pour H, possèdent les plus faibles récurrences.

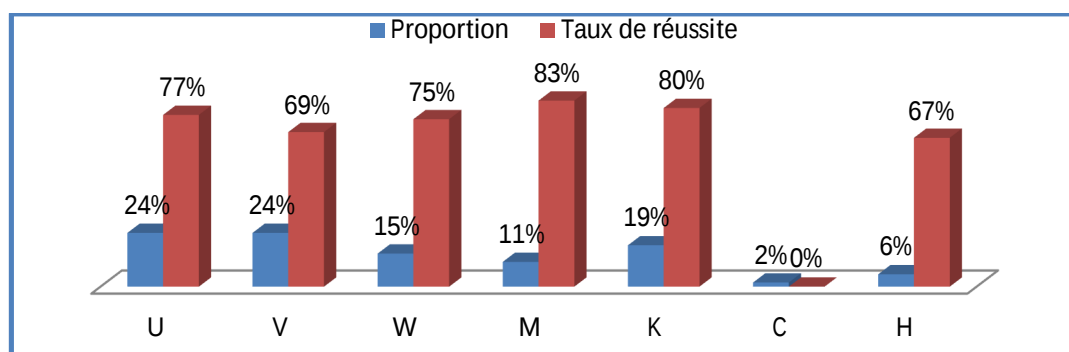


Figure 29: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (granite)

III.1.3. Statut et type de sondage

La figure 30 montre que le type de sondage H se trouve à la fois être le plus récurrent avec 50% et le plus productif pour le granite avec 81.5%. Les types Q et A, avec des proportions non moins négligeables, ont des taux de réussites assez acceptables ; supérieurs à 50%. Le type K se trouve être le moins récurrent et possède le plus faible taux de réussite.

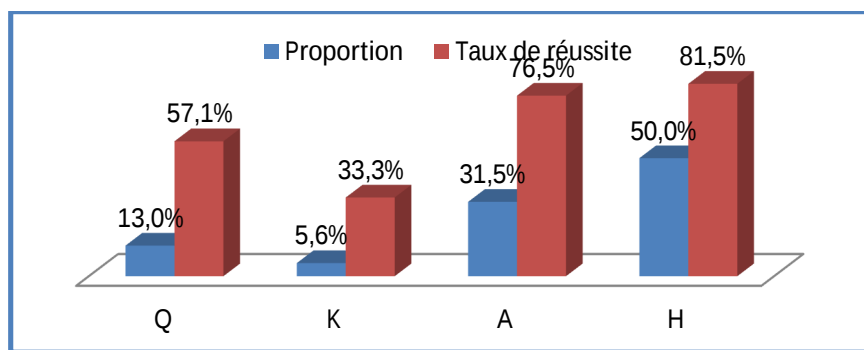


Figure 30: Proportion et taux de réussite des types de sondage (granite)

III.1.4. Statut et résistivité

Du croisement entre les variables statut et résistivité (figure 31), il est ressorti qu'une très grande partie des résistivités dans le granite se trouvait dans la plage [0 ; 100[. Aussi, il a pu être noté de faibles proportions dans les plages supérieures à 200Ωm. Pour ce qui est des chances de réussite, elles sont bonnes en général. En effet, on constate que les plus faibles chances de réussite dépassent les 60% et se situent dans la plage [100 ; 200[.

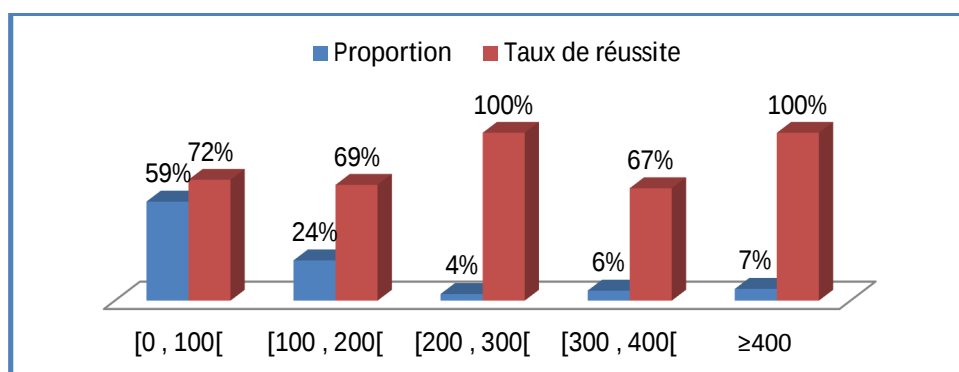


Figure 21: Proportion et taux de réussite des plages de résistivités

III.1.5. Statut et épaisseur d'altération

On observe d'une manière générale que pour la lithologie granite, les épaisseurs d'altération sont grandes. En effet plus de 75% des cas ont une épaisseur d'altération supérieure à 30m (figure 32). Pour ce qui est des taux de réussite, il ressort qu'à l'exception de la plage [40, 50[, les chances avaient tendance à diminuer avec la taille de l'altération.

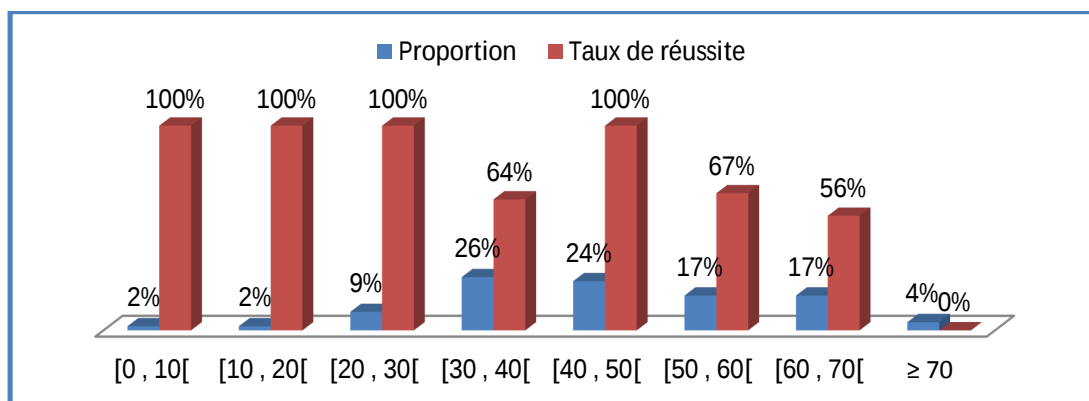


Figure 32: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'altération

III.1.6. Statut et épaisseur d'aquifère

Dans le cas du granite, dans la plupart des cas, les aquifères ont des épaisseurs comprises entre 10 et 30m avec plus de 70% de proportion (figure 33). On note cependant dans les autres plages, des proportions importantes allant de 2% à 11%. En termes de chance d'avoir de l'eau, il a été constaté que le taux de réussite évoluait dans le même sens que l'épaisseur d'aquifère.

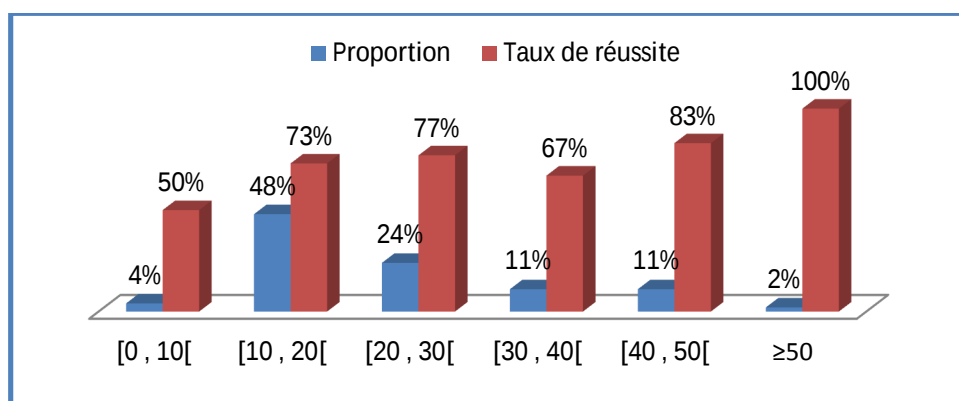


Figure 33: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'aquifère

III.1.7. Débit et type d'anomalies

Pour ce qui est du croisement entre les différentes plages de débit et les types d'anomalies, il ressort que sur le granite, les plus forts taux d'échec concernent les types CCE et PC avec 31% et 30% (figure 34). Une analyse plus approfondie montre que le type CCE dans le granite a tendance à donner des débits compris entre 1 et 3 m³/h ; ce qui représente un débit moyen. Plus loin, on remarque que le type CCL montre aussi une tendance à fournir des débits compris dans la même plage avec un taux d'échec cependant moindre que les autres. Le type PC par contre, indique une distribution essentiellement répartie sur les plages [1, 3[, [5, 10[et [10, ...[avec 20% dans chacune de ces classes. Son taux d'échec reste néanmoins élevé.

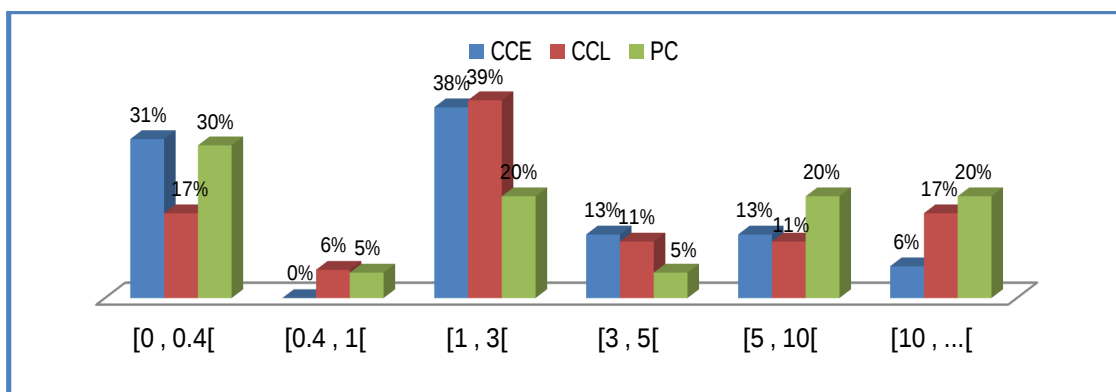


Figure 34: Proportion des types d'anomalies selon les plages de débits (granite)

III.1.8. Débit et forme d'anomalies

Le croisement entre débit et forme d'anomalie (figure 35) nous indique clairement un taux d'échecs assez élevé sur la forme d'anomalie C. Les autres formes montrent des taux d'échecs majoritairement inférieurs à 30%.

Une analyse plus détaillée montre que les formes U, V, K et H ont majoritairement leurs débits entre 1 et 3m³/h. La forme W par contre a une très bonne partie de ses débits supérieurs à 3m³/h. La forme M, reste de loin la plus productive avec le plus faible taux d'échec et une grande partie de débit supérieur à 5m³/h

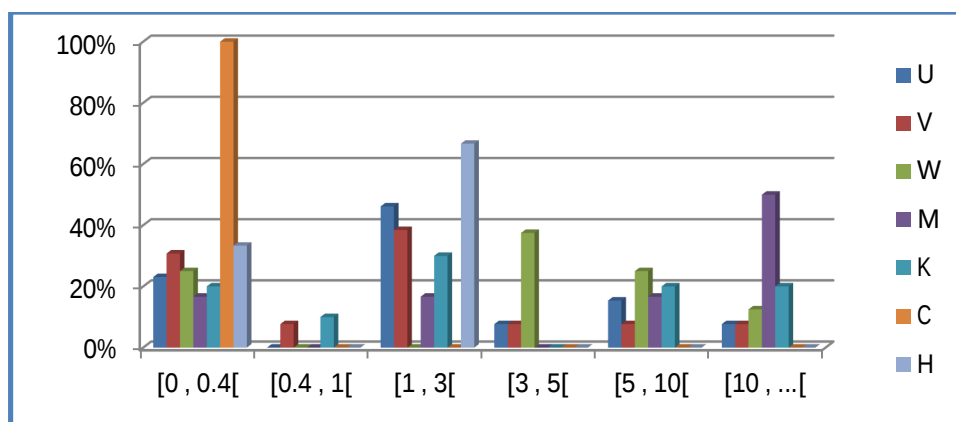


Figure 35 : Proportion des formes d'anomalies selon les plages de débits (granite)

III.1.9. Débit et type de sondage

Au vu de la figure 36, on remarque que les plus faibles débits sont enregistrés par le type K avec 67%. Toutefois, le type Q, offre un pourcentage d'échecs assez élevé même s'il reste inférieur à celui du K. En observant plus attentivement le type K, on se rend compte que même si son taux d'échec est élevé, il offre cependant les meilleurs débits ; supérieurs à 5m³/h. Par ailleurs, en regardant d'avantage les autres, il ressort qu'une bonne partie des types Q ont des débits inférieurs à 3m³/h. Les types H et A offrent des proportions plus ou moins étalées sur l'ensemble des intervalles avec néanmoins une légère concentration dans la plage [1, 3[.

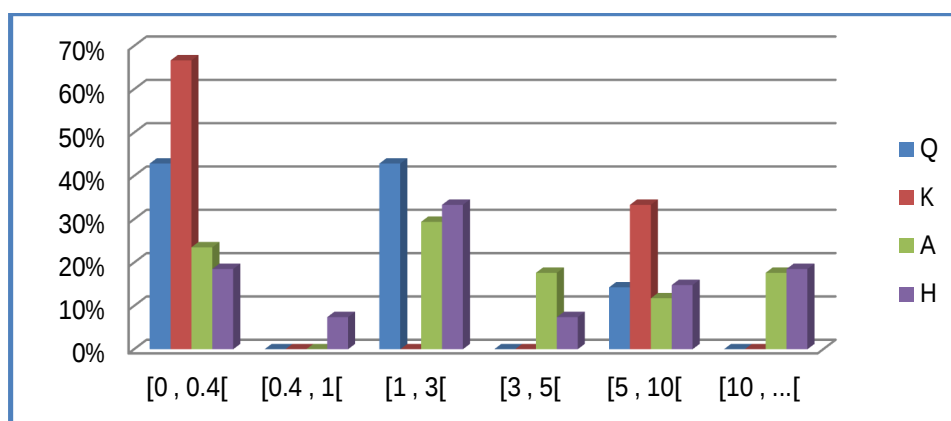


Figure 36 : Proportion des types de sondage selon les plages de débits (granite)

III.1.10. Débit et Résistivité

En analysant la productivité des différentes résistivités (tableau 7), il ressort que la plage [200 ,300[et les valeurs supérieures à 400Ωm sont celles qui offrent le plus de chance d'avoir de gros débits. Il serait prudent de noter également que la plage [200 ,300[offrait également de grandes chances d'avoir de faibles débits.

Tableau 7 : Répartition des plages de résistivité selon les plages de débit (granite)

		Résistivité				
		[0 , 100[	[100 , 200[	[200 , 300[	[300 , 400[	≥ 400
débit	[0 , 0.4[	28%	31%	0%	33%	0%
	[0.4 , 1[	3%	0%	50%	0%	0%
	[1 , 3[	31%	46%	0%	33%	0%
	[3 , 5[	9%	8%	0%	0%	25%
	[5 , 10[	13%	8%	50%	33%	25%
	[10 , ...[	16%	8%	0%	0%	50%
Total		100%	100%	100%	100%	100%

III.1.11. Débit et épaisseur d'altération

En croisant les variables débit et épaisseur d'altération (tableau 8), il a été constaté que les différentes plages offraient plus ou moins les chances d'avoir de gros débit, à l'exception de [10,20[et [40,50[qui offraient plus de chance. Toutefois, les plus faibles chances sont enregistrées dans la plage de [0,10[et pour les épaisseurs supérieures à 50m

Tableau 8: Répartition des plages d'épaisseur d'altération selon les plages de débit (granite)

		Epaisseur d'altération (m)							
		[0 , 10[	[10 , 20[	[20 , 30[	[30 , 40[	[40 , 50[	[50 , 60[	[60 , 70[	≥ 70
débit	[0 , 0.4[	0%	0%	0%	36%	0%	33%	44%	100%
	[0.4 , 1[	0%	0%	0%	0%	0%	22%	0%	0%

	[1 , 3[	100%	0%	60%	29%	46%	11%	22%	0%
	[3 , 5[	0%	100%	20%	14%	8%	0%	0%	0%
	[5 , 10[	0%	0%	0%	21%	23%	22%	0%	0%
	[10 , ...[	0%	0%	20%	0%	23%	11%	33%	0%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

III.1.12. Débit et épaisseur d'aquifère

Pour ce qui est de l'aquifère, il a été noté qu'à l'exception de la première plage, les chances de fournir de gros débits augmentaient avec la taille de l'aquifère (tableau 9). Ces chances sont énormément faibles dans la première plage [0 ; 10[. Il serait important de noter que les épaisseurs d'aquifère supérieures à 50m offrent les meilleures chances d'obtenir de gros débits et également de très gros.

Tableau 9: Répartition des plages d'épaisseur d'aquifère selon les plages de débit (granite)

		Epaisseur d'aquifère					
		[0 , 10[	[10 , 20[	[20 , 30[	[30 , 40[	[40 , 50[	≥50
débit	[0 , 0.4[	50%	27%	23%	33%	17%	0%
	[0.4 , 1[	0%	0%	8%	0%	17%	0%
	[1 , 3[	50%	38%	31%	33%	0%	0%
	[3 , 5[	0%	15%	8%	0%	0%	0%
	[5 , 10[	0%	12%	15%	0%	33%	100%
	[10 , ...[	0%	8%	15%	33%	33%	0%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%

Conclusion partielle sur les granites

Ce qu'il faut retenir du granite est qu'il possède un taux de réussite de 74%. Le type CCL dont la proportion est plus ou moins égale aux autres, offre les meilleures chances de réussite. Des formes d'anomalies, c'est la forme M avec sa faible récurrence qui présente les plus grandes probabilités de réussite. Pour ce qui est des types de sondage, c'est le type H qui est à la fois le plus récurrent et celui qui offre plus de chance de réussite. Ce dernier constat permet de dire que le granite dans notre région d'étude, la Boucle du Mouhoun, possède les mêmes propriétés que celle de sa région voisine, le Nord. En effet, *Dieng et al (2004)* sont arrivés à la conclusion que dans la région du Nord, le type de sondage H était aussi celui qui était le plus récurrent et l'un des plus productifs. On notera pour la variable résistivité que les meilleurs taux de réussite se rencontrent dans la plage [200 ; 300[et pour les valeurs qui sont supérieures à 400 Ωm . Pour ce qui est de l'altération, il a été constaté que le taux de réussite diminuait quand elle augmentait en taille. Par contre, pour l'épaisseur d'aquifère, les chances d'obtention d'eau, augmentaient avec la taille de celle-ci.

En ce qui concerne la productivité proprement dite, il a été constaté que le type d'anomalie PC était celui qui offrait plus de chance d'avoir de gros débit. Pour les formes d'anomalies, ce sont les moins récurrentes, M, K et W qui offrent les plus grandes chances de réussite. Pour ce qui est des types de sondage, ce sont les plus récurrentes, A et H qui se trouvent avoir les plus gros débits. Les analyses sur les différentes résistivités ont permis de constater que la plage [200 ; 300] et les valeurs supérieures à 400Ωm, offraient les meilleures chances d'avoir de gros débits. Quand à l'épaisseur d'altération, les meilleures chances d'avoir de gros débits se retrouvaient dans les plages de [10 ; 20] et de [40 ; 50]. Par contre pour l'épaisseur d'aquifère, il a été constaté qu'à partir de la valeur 10m, les chances augmentaient avec la taille de l'aquifère.

III.2. Schiste (Socle)

III.2.1. Statut et type d'anomalies

Au niveau des schistes, le type PC demeure le plus récurrent avec 52% de fréquence (figure 37). Cependant les meilleures chances de réussite sont remportées par le type CCE avec 67% de taux de réussite. Le type CCL offre aussi un taux de réussite assez intéressant mais le type PC offre un taux de réussite nettement faible par rapport aux deux autres.

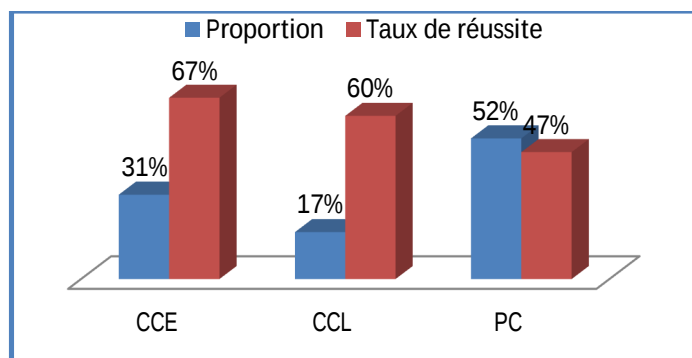


Figure 37: Proportion et taux de réussite des types d'anomalies (schiste)

III.2.2. Statut et forme d'anomalies

Pour ce qui est des formes d'anomalies, si la récurrence est obtenue par les types V et W avec respectivement 31% et 24%, les meilleurs taux de réussite par contre sont remportés par les formes M, C et K (figure 38). La forme U avec une récurrence de 17% a l'un des plus mauvais taux de réussite.

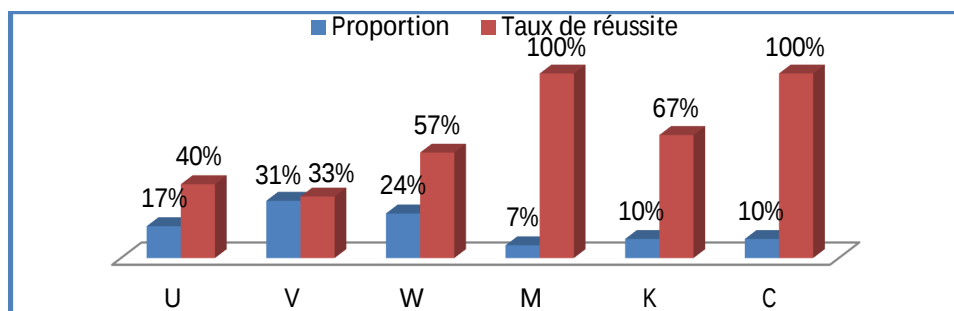


Figure 38: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (schiste)

III.2.3. Statut et type de sondage

En croisant le statut et les types de sondage (figure 39), il est ressortit que dans le cas des schistes, le type H a la plus grande récurrence avec 45%. Celui ayant le meilleur taux de réussite est le type A avec 71%, puis viennent respectivement les types H et Q avec 54% et 50%. Le type K se trouve avoir l'une des plus faibles récurrences et a le plus faible taux de succès, 40%.

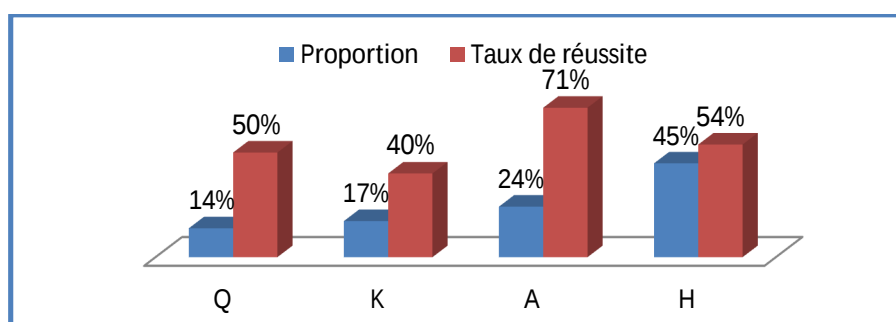


Figure 39: Proportion et taux de réussite des types de sondage (schiste)

III.2.4. Statut et résistivité

A l'issue de ce croisement (figure 40), il a été constaté que le taux de réussite a tendance à augmenter avec les valeurs de résistivité à l'exception de la plage [200 ; 300[où on a constaté une chute importante de taux de réussite. Cependant dans plus de 80% de cas, on remarque que les valeurs de résistivité sont inférieures à 200Ωm.

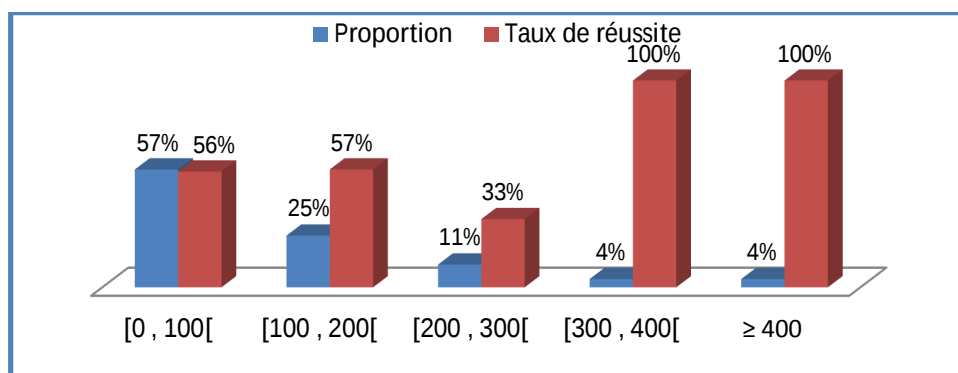


Figure 40: Proportion et Taux de réussite de résistivité (Schiste)

III.2.5. Statut et épaisseur d'altération

Dans la lithologie schiste, pour ce qui est de la répartition, il n'y a pas de forte proportion dans une plage donnée. Cependant les proportions les plus importantes étaient enregistrées dans les plages [20,30[, [40,50[et [60,70[avec respectivement 17%, 21% et 17% (figure 41). Par ailleurs, on a pu observer que le taux de réussite était très grand quand l'épaisseur d'altération était faible. Inversement, il avait tendance à diminuer quand l'altération augmentait en épaisseur.

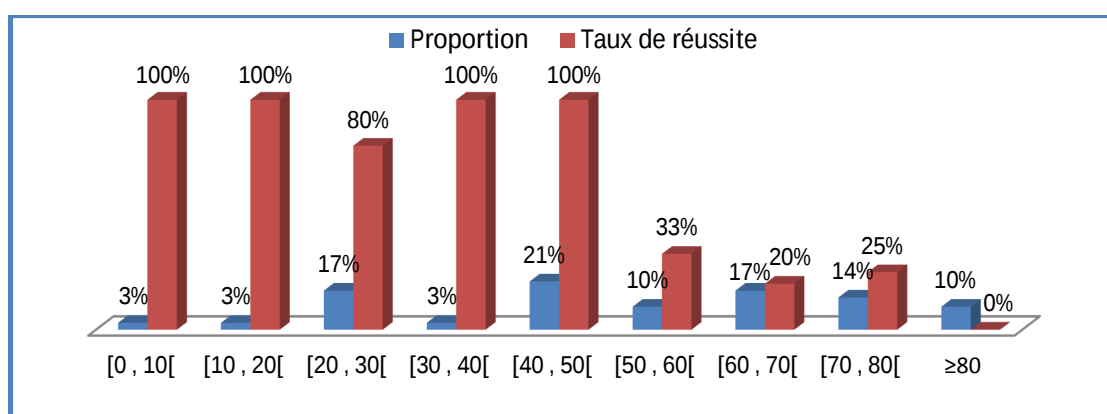


Figure 41 : Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'altération

III.2.6. Statut et épaisseur d'aquifère

Le constat fait après croisement des variables épaisseur d'aquifère et statut (figure 42), montre que les chances d'obtention d'eau évoluaient négativement avec l'épaisseur d'aquifère jusqu'à la valeur 30m, puis positivement avec celle-ci, pour les valeurs supérieures à 30m. Néanmoins, on pourrait noter que les meilleurs taux sont enregistrés pour les valeurs d'épaisseurs supérieures à 40m et inférieures à 10m.

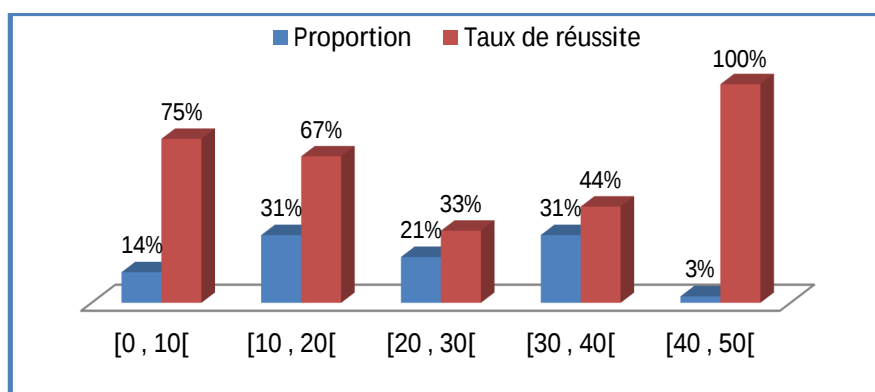


Figure 42: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'aquifère (Schiste)

III.2.7. Débit et type d'anomalies

Les plus faibles débits sont rencontrés au niveau du type d'anomalies PC avec 53% (figure 43). Les deux autres types ont des taux d'échec moins élevés mais quand même assez importants ;

33% pour CCE et 40% pour CCL. Pour ce qui est des aptitudes à fournir des gros débits, les trois types ont plus ou moins les mêmes chances avec une probabilité d'environ 20% chacun de fournir des débits supérieurs à 5m³/h. En revanche, les débits les plus faibles, [0.4 , 1[se retrouvent principalement au niveau du type CCE.

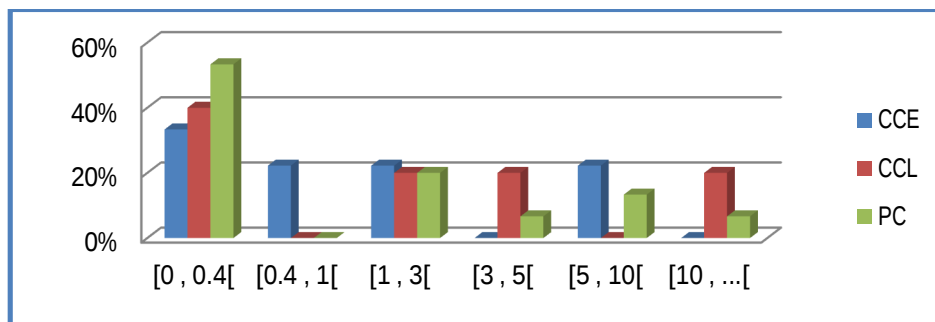


Figure 43: Proportion des types d'anomalies selon les plages de débits (schiste)

III.2.8. Débit et forme d'anomalies

Pour ce qui est des formes d'anomalies, il a été constaté que les formes U et V, ont un très fort taux d'échec au niveau des schistes avec 60% et 67% (figure 44). En terme de productivité, il a été relevé que les débits faibles, sont principalement rencontrées au niveau des formes V et W avec 11% et 14%. Les débits moyens par contre, se retrouvent majoritairement au niveau des formes U et M. Les débits moyens par contre, se retrouvent majoritairement au niveau des formes U et M. Les formes K et C en possèdent mais relativement plus faible en proportion. Les meilleurs débits par contre, se rencontrent au niveau des formes W, M, K et C.

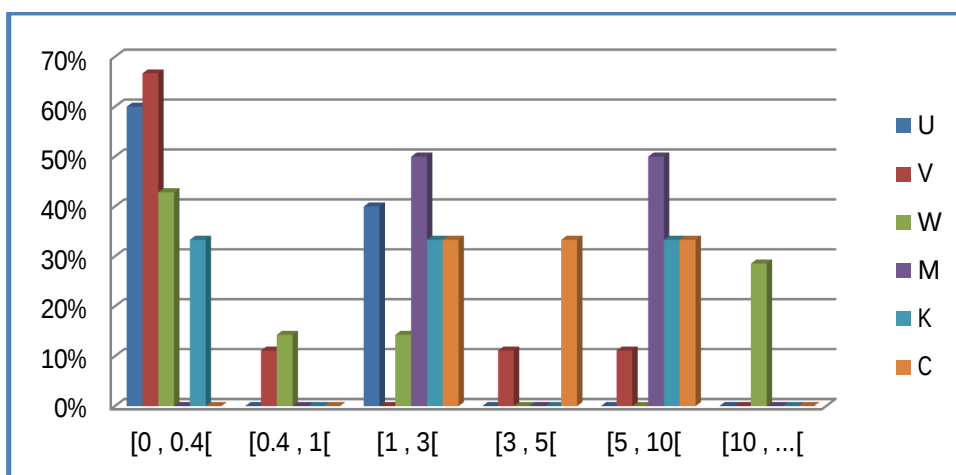


Figure 44: Proportion des formes d'anomalies selon les plages de débits (schiste)

III.2.9. Débit et type de sondage

Les types de sondage Q et K offrent d'une manière générale un fort taux d'échec avec 50% et 60%. Les types A et H offrent un taux d'échec moins élevé que les deux précédents. Les gros débits se retrouvent au niveau de chaque type mais sont essentiellement rencontrés chez les Q,

K et A. Nous remarquerons que le type H a plus ou moins les mêmes chances dans chaque plage de débit.

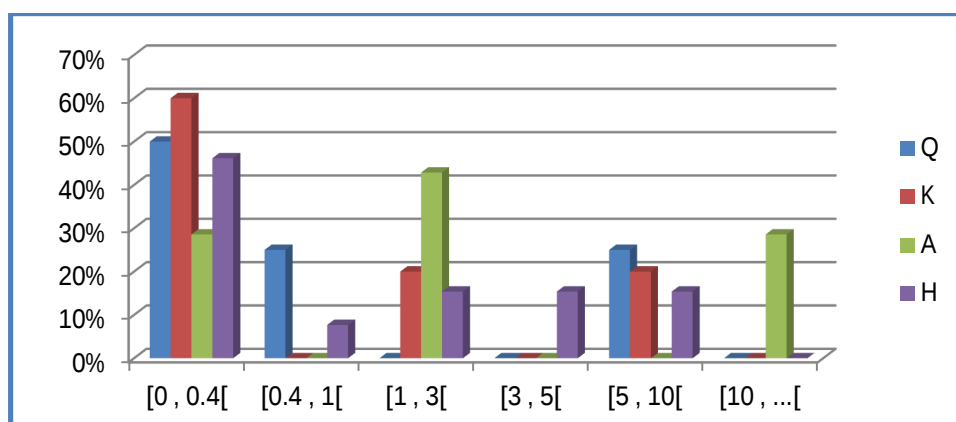


Figure 45: Proportion des types de sondage selon les plages de débits (schiste)

III.2.10. Débit et résistivité

Pour le croisement de ces deux variables dans le cas des schistes (tableau 10), il a été constaté que ce sont les plages de résistivité élevée qui fournissaient les plus gros débits. Celle de [200 ; 300[, n'offre quasiment pas de chances d'avoir de gros débits. Les autres par contre, même si elles offrent de grandes chances d'avoir de gros débits, offrent de faibles taux de réussite.

Tableau 10: Répartition des plages de résistivité selon les plages de débit (Schiste)

		Résistivité				
		[0 , 100[	[100 , 200[	[200 , 300[	[300 , 400[	≥400
débit	[0 , 0.4[	57%	50%	33%	33%	0%
	[0.4 , 1[	7%	0%	33%	0%	0%
	[1 , 3[	7%	33%	33%	0%	50%
	[3 , 5[	14%	0%	0%	0%	0%
	[5 , 10[	14%	17%	0%	33%	0%
	≥10	0%	0%	0%	33%	50%
Total		100%	100%	100%	100%	100%

III.2.11. Débit et épaisseur d'altération

En terme de capacité à fournir de gros débit, il a été noté que ce sont les plages de [10 ; 20[et de [20 ; 30[qui fournissaient les plus grandes chances (tableau 11). Toutefois, les plages [0 ; 10[, [30 ; 40[et [40 ; 50[offrent des chances assez acceptables. Les plages dont les valeurs sont supérieures à 50m offrent des chances aussi acceptables mais leur taux d'échec est assez important.

Tableau 11: Répartition des plages d'épaisseur d'altération selon les plages de débit (Schiste)

		Epaisseur d'altération								
		[0 , 10[	[10 , 20[	[20 , 30[	[30 , 40[	[40 , 50[	[50 , 60[	[60 , 70[	[70 , 80[	≥80
débit	[0 , 0.4[	0%	0%	20%	0%	0%	67%	80%	75%	100%
	[0.4 , 1[	0%	0%	0%	0%	17%	0%	0%	25%	0%
	[1 , 3[	100%	0%	20%	100%	50%	0%	0%	0%	0%
	[3 , 5[	0%	0%	20%	0%	17%	0%	0%	0%	0%
	[5 , 10[	0%	0%	40%	0%	0%	33%	20%	0%	0%
	[10 , ...[	0%	100%	0%	0%	17%	0%	0%	0%	0%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

III.2.12. Débit et épaisseur d'aquifère

Contrairement à la logique, il a été constaté ici que c'est la plus petite plage qui fournissait les plus grandes chances d'obtenir de gros débits (tableau 12). En effet, elle offre plus de 50% de chance d'obtenir des débits supérieurs à 3m³/h. Au-delà de 40m, les chances d'obtention de gros débits s'amenuisent grandement.

Tableau 12: Répartition des plages d'épaisseur d'aquifère selon les plages de débit (Schiste)

		Epaisseur d'aquifère				
		[0 , 10[	[10 , 20[	[20 , 30[	[30 , 40[	[40 , 50[
débit	[0 , 0.4[	25%	33%	67%	56%	0%
	[0.4 , 1[	0%	0%	17%	0%	100%
	[1 , 3[	25%	33%	17%	11%	0%
	[3 , 5[	25%	0%	0%	11%	0%
	[5 , 10[	25%	22%	0%	11%	0%
	[10 , ...[	0%	11%	0%	11%	0%
Total		100%	100%	100%	100%	100%

Conclusion partielle sur les schistes

On retiendra que les schistes ont un taux de réussite de 55%. Le type CCE est l'anomalie qui offre les plus grandes chances de réussite avec 67% de succès mais il est à noter que les différents types offrent les mêmes chances d'avoir de gros débits avec environ 20% chacun. Pour les différentes formes d'anomalies, la forme M qui se trouve être la moins récurrente, 7%, offre les plus grandes chances d'obtenir de gros débits avec 50% de ses débits qui sont supérieurs à 5m³/h. Le type A des sondages, qui n'est pas le plus récurrent offre à la fois les meilleurs taux de réussite avec 71% et les plus grandes chances d'obtenir de gros débits avec 29%. Ce dernier constat a été fait aussi dans la région du Nord qui se trouve être voisine à notre zone d'étude par *DIENG et al (2004)*.

Concernant les résistivités, il a été noté que les résistivités supérieures à 300Ωm, offraient les meilleurs chances de réussite et celles supérieures à 400Ωm, les plus gros débits. Pour la variable altération, il est ressorti que sa grande taille diminuait considérablement les chances d’obtenir de l’eau. Cependant, les valeurs comprises entre 10m et 30m, offraient les meilleures chances d’obtenir de gros débits. Pour ce qui est de l’aquifère, pendant que les chances de trouver de l’eau sont élevées pour des épaisseurs inférieures à 20m et supérieures à 40m, les plus gros débits par contre sont rencontrés par contre dans la plage de [0 ; 10[.

III.3. Grès (Sédimentaire)

III.3.1. Statut et type d'anomalies

La figure 46 nous montre que le type PC est l’anomalie qui offre le meilleur taux de réussite avec 64% chez les Grès même s’il partage plus ou moins la même récurrence avec les deux autres types. Le type CCE offre un taux de réussite assez acceptable devant le type CCL qui offre le plus bas taux de réussite, 46%.

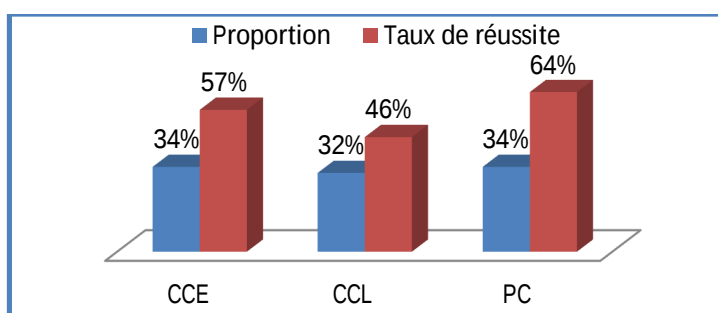


Figure 46: Proportion et taux de réussite des types d'anomalies (grès)

III.3.2. Statut et formes d'anomalie

La figure 47 montre que la forme W a le meilleur taux de réussite avec 75% tout en ayant l’une des plus faibles représentativités par rapport aux six autres (10%). Pendant que les formes C et H offrent des chances relativement importantes de trouver de l’eau, 67% chacun, la forme U offre le plus bas taux de réussite avec 38%. De même, les formes V et K offrent sensiblement les mêmes taux de réussite, 56% et 57%. Par ailleurs, la forme M offre exactement les mêmes taux de réussite et d’échecs par rapport à l’obtention d’eau.

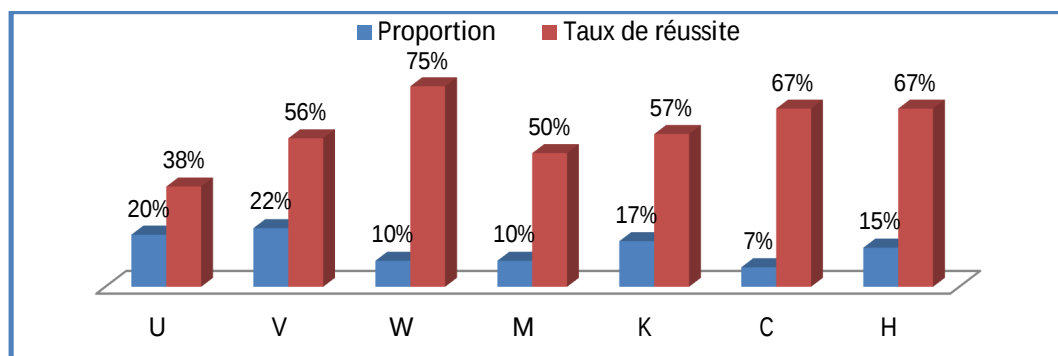


Figure 47: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (grès)

III.3.3. Statut et type de sondage

Pour ce qui est des types de sondages, on remarque qu'au niveau des grès, les types K et A offrent les meilleurs taux de réussite ; proche de 70% même s'ils ne sont pas les plus récurrents (figure 48). La récurrence par contre, 46%, revient de loin à la forme H qui offre l'un des plus bas taux de réussite soit 47%. La forme Q, la plus faiblement représentée par rapport aux autres, a le plus faible taux de réussite avec 40%.

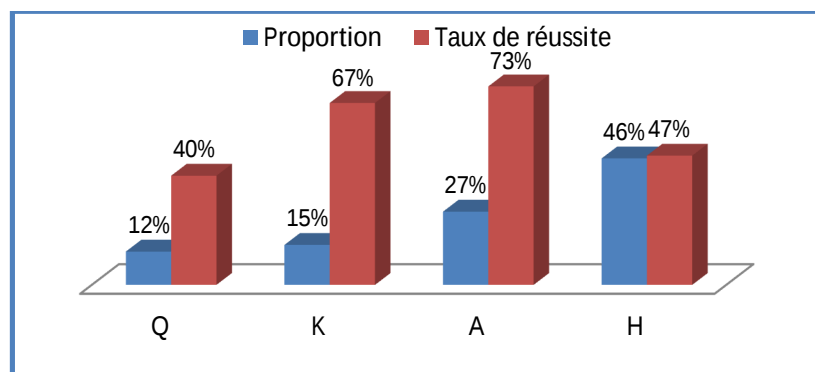


Figure 48: Proportion et taux de réussite des formes d'anomalies (grès)

III.3.4. Statut et résistivité

La figure 49 montre que plus du tiers des couches aquifères dans les grès ont une résistivité inférieure à 100Ωm. Près de 30% ont des aquifères dont les résistivités se situent entre 100 Ωm et 400 Ωm. Une dernière partie (37%), aussi importante que les deux autres ont des résistivités supérieures à 500 Ωm.

Pour ce qui est des taux de réussite, on a pu noter que le taux de réussite avait tendance à augmenter avec les plages de résistivité à l'exception de la plage [500, 600[; confortant ainsi le discours du géophysicien qui dit privilégier les résistivités élevés dans le sédimentaire.

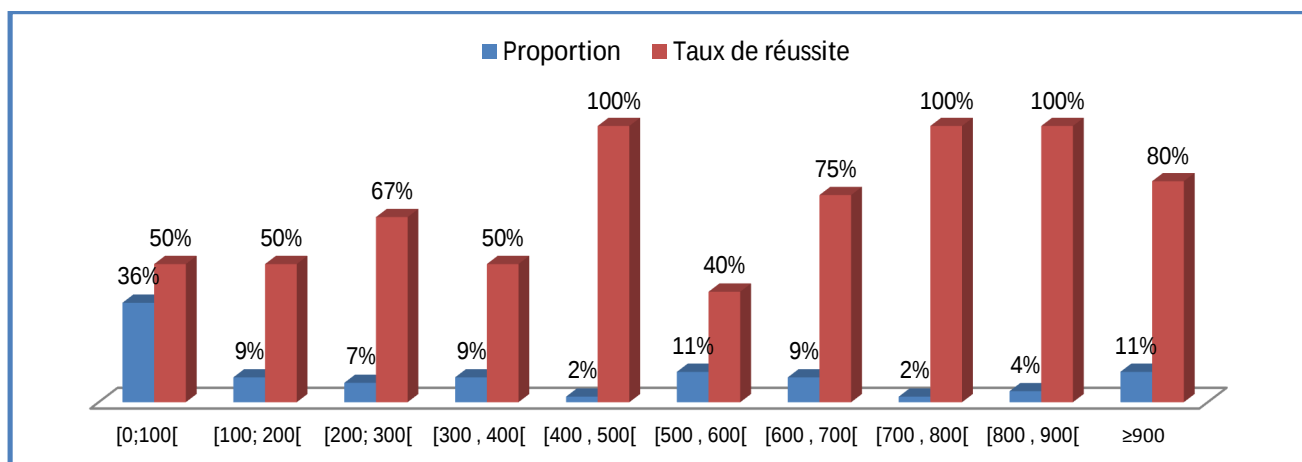


Figure 49: Proportion et Taux de réussite des Plages de résistivité

III.3.5. Statut et épaisseur d'altération

Pour ce qui est du croisement de l'épaisseur d'altération et du statut (figure 60), on a pu constater que le statut avait tendance à être négatif pour des épaisseurs d'altération élevées. En effet, on constate que les taux de réussite sont nuls à partir de l'épaisseur 60m et augmentent légèrement à partir de 80m. Aussi, on a pu noter que la quasi-totalité avait une épaisseur d'altération supérieure à 20m ; 3% ont des épaisseurs d'altération inférieures à 20m.

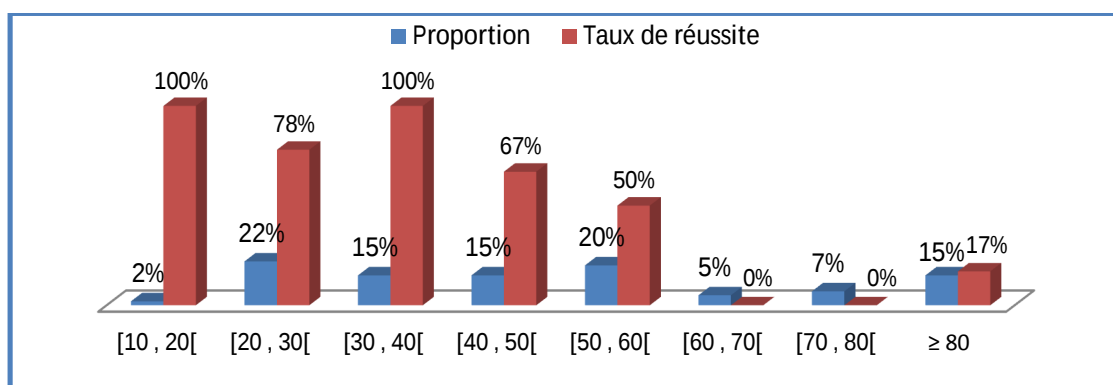


Figure 30: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'altération

III.3.6. Statut et épaisseur d'aquifère

Pour ce qui est des épaisseurs d'aquifères, contrairement à la logique, il est ressorti que la taille de l'aquifère ne jouait pas dans la possibilité d'avoir de l'eau (figure 61). Les chances d'avoir de l'eau évoluaient plutôt inversement à la taille de l'aquifère. En effet, les plus bons taux de réussite sont engrangés par des aquifères qui ont une épaisseur inférieures à 20m.

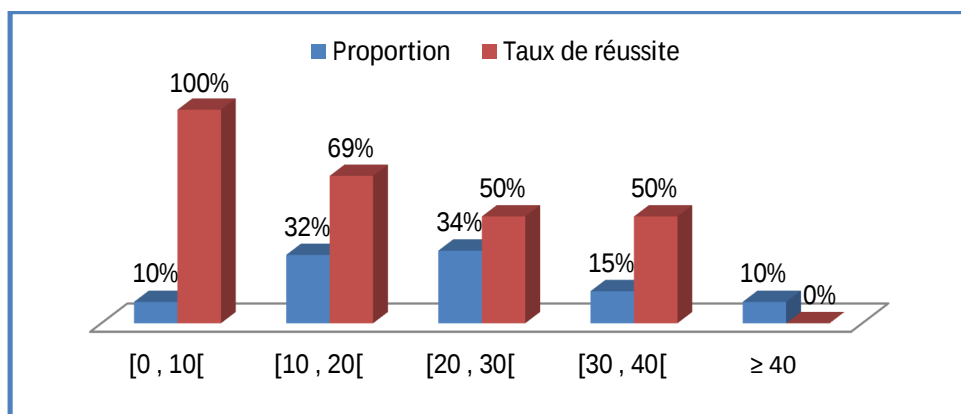


Figure 51: Proportion et Taux de réussite des Plages d'épaisseur d'aquifère

III.3.7. Débit et type d'anomalies

En termes de potentialité par rapport à la l'importance du débit, les trois types d'anomalies offrent plus ou moins les mêmes chances, 20% environ, par rapport à la possibilité d'avoir des débits supérieurs à 5 m³/h. Aussi, il serait bien de noter que pour les débits inférieurs à 3m³/h, les types PC et CCE, ont tendance à en fournir plus (figure 52).

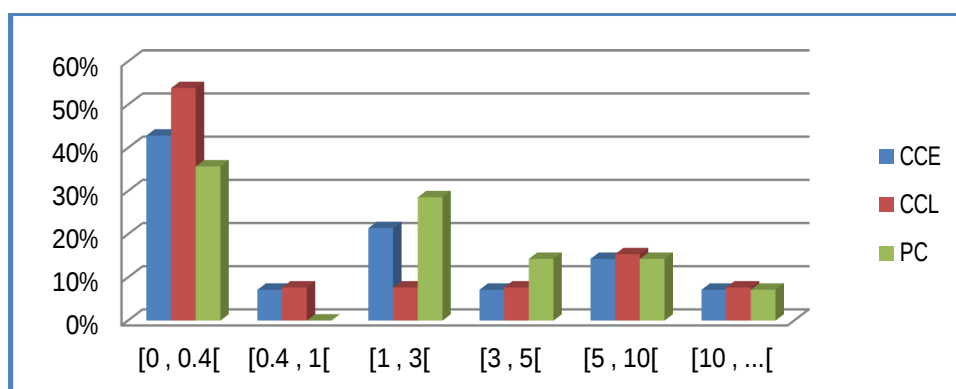


Figure 52: Proportion des types de sondage selon les plages de débits (grès)

III.3.8. Débit et forme d'anomalies

Le croisement des plages de débit et des formes d'anomalies (figure 53), a permis de constater que les formes U et M offrent de grands taux d'échecs avec 63% et 50%. Les formes K et V ont des taux d'échec plus ou moins égaux, 44%. Les formes W, C et H ont les plus faibles taux d'échecs. La capacité à fournir de gros débits, supérieurs à 5m³/h, est surtout l'œuvre des formes H avec 50% de chance d'avoir de gros débits. Pour ce qui est des débits inférieurs à 3m³/h, il est à noter qu'il est essentiellement l'œuvre de la forme W.

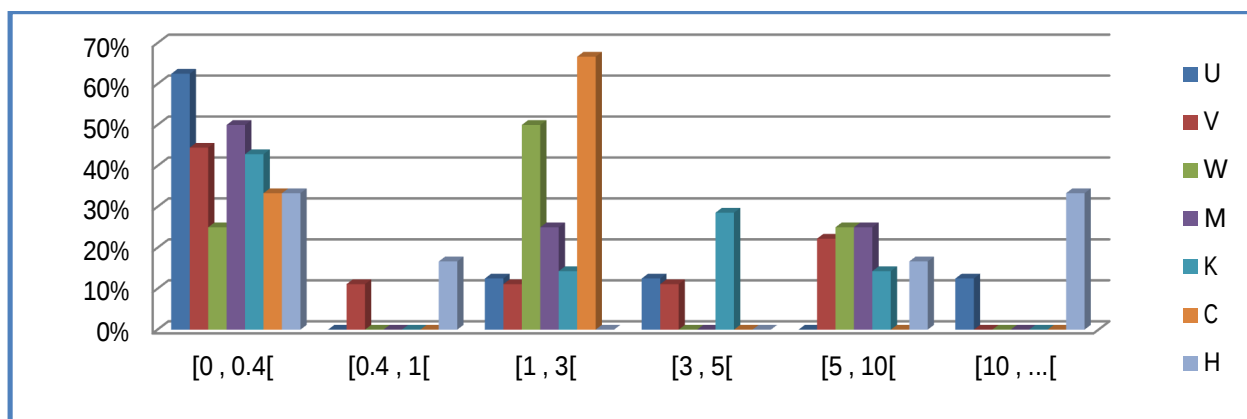


Figure 53: Proportion des formes d'anomalies selon les plages de débits (grès)

III.3.9. Débit et type de sondage

En ce qui concerne, les types de sondage, pendant que les types Q et H offrent des taux d'échecs assez importants car dépassant 50%, le type A par contre offre le plus faible taux d'échecs avec seulement 27% (figure 54). Pour ce qui est de la productivité proprement dite, le type Q offre en général des débits moyens ; inférieurs à 3 m³/h. Les trois autres types offrent plus ou moins les mêmes chances d'avoir des gros ou moyens débits avec cependant une tendance plus grande pour le type A de fournir des débits importants.

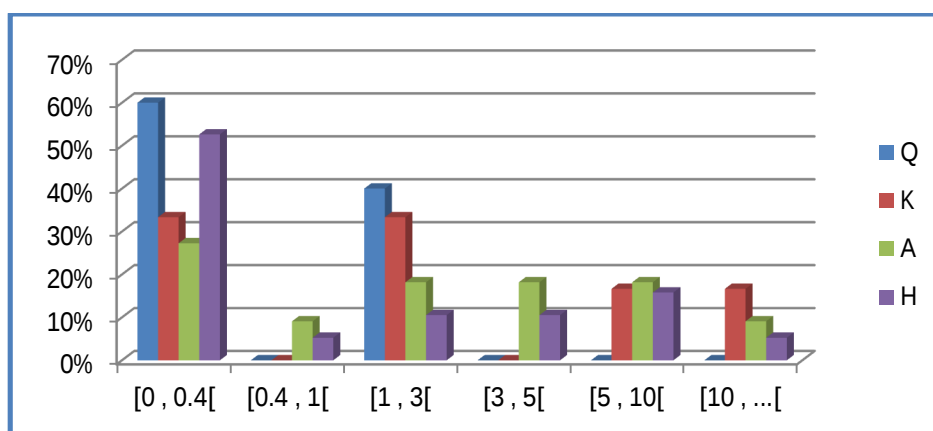


Figure 54: Proportion des types de sondage selon les plages de débits (grès)

III.3.10. Débit et résistivité

En analysant la productivité des différentes plages de résistivité (tableau 13), il ressort que les plages [200 ,300[, [400 ,500[et [700 , 800[et [800 ;900[sont celles qui offrent le plus de chance d'avoir de gros débits. En effet ces plages de résistivité ont au moins 50% de leur débit supérieur à 3m³/h. Il conviendrait de noter aussi que même si les résistivités supérieures à 900Ωm ne fournissaient pas de gros débits, il est à noter qu'elle offre les plus grandes chances de réussite.

Tableau 13: Répartition des plages de résistivité selon les plages de débit (Grès)

Débit	Résistivité (Ωm)									
	[0 , 100[	[100,200[	[200,300[	[300,400[	[400,500[	[500,600[	[600,700[	[700,800[	[800,900[	≥ 900
[0 ,0.4[	50%	50%	33%	50%	0%	60%	25%	0%	0%	20%
[0.4 ,1[	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%
[1 , 3[	25%	0%	0%	25%	0%	20%	25%	0%	50%	40%
[3 , 5[	0%	25%	33%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
[5 , 10[	19%	0%	0%	25%	100%	20%	0%	0%	0%	20%
≥ 10	6%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	100%	50%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

III.3.11. Débit et épaisseur d'altération

Pour ce qui est de l'altération, il est ressortit que les plus faibles épaisseurs d'altération étaient celles qui étaient capables de fournir de gros débits (tableau 14). Les grandes épaisseurs par contre, offraient moins de chances d'avoir de gros débit et même moins de taux de réussite. Toutefois, les épaisseurs [40,50[et [50,60[offrent des chances non négligeables d'avoir de gros débits avec respectivement 50% et 38% de leur débit supérieur à 3 m³/h.

Tableau 124: Répartition des plages d'épaisseur d'altération selon les plages de débit (Grès)

		Epaisseur d'Altération							≥ 80
		[10 , 20[	[20 , 30[	[30 , 40[	[40 , 50[	[50 , 60[	[60 , 70[	[70 , 80[	
débit	[0 , 0.4[	0%	22%	0%	33%	50%	100%	100%	100%
	[0.4 , 1[	0%	11%	17%	0%	0%	0%	0%	0%
	[1 , 3[	0%	22%	50%	17%	13%	0%	0%	0%
	[3 , 5[	0%	33%	0%	17%	0%	0%	0%	0%
	[5 , 10[	100%	0%	17%	33%	25%	0%	0%	0%
	≥ 10	0%	11%	17%	0%	13%	0%	0%	0%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

III.3.12. Débit et épaisseur d'aquifère

Pour ce qui est de l'aquifère, il a été noté qu'à l'exception de la première plage, les chances de fournir de gros débits (supérieurs à 3m³/h) augmentaient avec la taille de l'aquifère jusqu'à la valeur 40m. Ces chances s'amenuisent énormément dans la plage [40,50[. Ainsi donc, contrairement à ce que l'on pourrait penser, c'est la plage abritant les plus petites épaisseurs d'aquifère qui offre les meilleures chances (50%) d'avoir des débits supérieurs à 3 m³/h (tableau 15).

Tableau 135: Répartition des plages d'épaisseur d'aquifère selon les plages de débit (Grès)

		Epaisseur d'aquifère				
		[0 , 10[	[10 , 20[	[20 , 30[	[30 , 40[	≥ 40
débit	[0 , 0.4[	0%	31%	50%	50%	100%
	[0.4 , 1[	0%	8%	7%	0%	0%
	[1 , 3[	50%	38%	7%	0%	0%
	[3 , 5[	25%	0%	14%	17%	0%
	[5 , 10[	25%	15%	14%	17%	0%
	[10 , ...[	0%	8%	7%	17%	0%
Total		100%	100%	100%	100%	100%

Conclusion partielle sur le sédimentaire (grès)

On notera que le taux de réussite n'est pas très élevé (56%). Les paramètres géophysiques offrant les meilleures chances de réussite sont le type PC pour les types d'anomalies, la forme W pour les formes d'anomalies et le type A pour les types de sondage. Les meilleurs taux de réussite sont observés pour des résistivités élevés (à partir de 600Ωm). En ce qui concerne l'épaisseur d'altération, il est ressortit que les plus grandes chances d'obtenir de l'eau étaient dans les cas de faibles épaisseurs d'altération. De même, les épaisseurs faibles d'aquifères conduisent également à de grandes chances d'obtenir de l'eau.

Pour ce qui est de la capacité à fournir de gros débits, les différents types d'anomalies se trouvent avoir les mêmes aptitudes même si le type CCL, détient le plus fort taux d'échec. Chez les formes d'anomalies, la forme H est celle qui offre les plus grandes chances d'avoir de gros débit tandis que c'est la forme U qui a le plus fort taux d'échec. En ce qui concerne les sondages, il est ressortit que le type K offrait les plus gros débits pendant que les types Q et H offraient les plus forts taux d'échec. Les plages de résistivités susceptibles de fournir gros débits sont celles de [200 ; 300[; [400 ; 500[et [700 ; 800[. Les épaisseurs d'altération inférieures à 30m conduisent très souvent à de gros débits. Par contre, il a été noté que dans le cas de la taille de l'aquifère, les chances d'obtenir de gros débits augmentaient avec la taille.

Conclusion générale sur les tableaux croisés

D'une manière générale, on a pu constater que le taux de réussite était plus élevé dans le socle que dans le sédimentaire. Les paramètres produisant les meilleurs taux de réussite selon la lithologie sont résumés dans le tableau 16.

Tableau 14: Paramètres favorables à l'obtention d'un forage positif

Paramètres géophysiques	Paramètres favorables	Lithologie		
		Granite	Schiste	Grès
Forme d'anomalies	Meilleurs taux de réussite	M	M, K et C	W
	Plus productif	M, K et W	M	H
Type d'anomalie	Meilleurs taux de réussite	CCL	CCE	PC
	Plus productif	PC	CC	CC
Type de sondage	Meilleurs taux de réussite	H	A	A
	Plus productif	A et H	A	K
Valeurs de résistivité	Meilleurs taux de réussite	[200 ; 300[et ≥ 400	≥ 300	≥ 600
	Les plus productives	[200 ; 300[et ≥ 400	≥ 400	[200 ; 300[, [700 ; 900[
Epaisseur d'altération	Les meilleurs taux de réussite	Faibles valeurs	Faibles valeurs	Faibles valeurs
	Les plus productives	[10 ; 20[et [40 ; 50[	[10 ; 30[	≤ 30
Epaisseur de la cible	Les meilleurs taux de réussite	Grandes valeurs	≤ 20 et ≥ 40	Faibles valeurs
	Les plus productives	Valeurs élevées	[0 ; 10[	Grandes valeurs
Taux de réussite		74%	55%	56%
Appréciation générale		Bon	Assez bon	Assez bon

IV. Analyse en Composantes Principales

Dans cette partie, il s'agira de constater les éventuelles corrélations entre les caractéristiques de la cible et la productivité de l'aquifère. Les caractéristiques de la cible sont issues du traitement des fiches d'implantation sur le logiciel IPI2WIN. Ils regroupent l'épaisseur, la profondeur et la valeur de résistivité vraie de la cible hydrogéologique. Les paramètres sur la productivité de l'aquifère, issus des fiches de forage sont le statut et le débit du forage. Pour la pertinence des résultats, l'étude sera menée sur le socle dans un premier temps et sur le sédimentaire dans un second temps.

IV.1. Socle

IV.1.1. Matrice de corrélation

Au vue de la matrice de corrélation (tableau 17), 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 de l'eau dans le socle.

Pour ce qui est du débit, le paramètre de la cible le plus fortement corrélé à ce dernier, est la résistivité vraie. Il a été aussi noté que l'épaisseur d'altération, était la seule variable géophysique à être corrélée négativement au débit.

Au niveau du statut, il est ressortit que la variable géophysique la plus fortement corrélée était l'épaisseur d'altération et cette corrélation était négative. L'épaisseur de la cible, moins bien corrélée au statut, était aussi corrélée négativement. La résistivité vraie de la cible est le seul paramètre géophysique à avoir une corrélation positive avec le statut.

Tableau 15: Matrice de corrélation entre variables (socle)

	Statut	Débit	Résistivité vraie de la cible	Epaisseur d'altération	Epaisseur de la cible
Statut	1	0.541	0.038	-0.288	-0.092
Débit	0.541	1	0.299	-0.193	0.084
Résistivité vraie de la cible	0.038	0.299	1	0.058	-0.049
Epaisseur d'altération	-0.288	-0.193	0.058	1	0.044
Epaisseur de la cible	-0.092	0.084	-0.049	0.044	1
<i>En gras, valeurs significatives</i>					

Dans le souci de faire la meilleure représentation de ces variables dans un plan bidimensionnel, nous avons porté notre attention sur le tableau 18 qui constitue un résumé des différentes valeurs propres.

On s'est donc aperçu que les deux premiers plans permettaient de conserver près de 60% de la variance entre variables, ce qui signifie la préservation d'environ 60% de la variabilité totale.

Tableau 16: Tableau des valeurs propres (socle)

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	1.756	1.115	1.025	0.735	0.369
% variance	35.118	22.305	20.501	14.691	7.385
% cumulé	35.118	57.422	77.924	92.615	100.000

Les deux axes choisis, il sera question maintenant d'étudier la contribution de chaque variable à la réalisation de chaque axe (tableau 19). L'analyse montre assez clairement que les variables « statut » et « débit » sont celles qui contribuent majoritairement à l'élaboration du premier axe factoriel. En effet, avec une contribution totale de 78.72%, chacune de ces variables a une contribution supérieure à la moyenne qui est de 20%. Pour ce qui est du deuxième axe factoriel, il a été constaté que ce sont les variables « résistivité de la cible » et « épaisseur d'altération » qui ont des contributions supérieures à 20%. Cela nous permet d'affirmer que ces dernières sont les principales artisanes de cet axe.

Tableau 17: Récapitulatif des coordonnées, Cosinus carrés et la contribution des différentes variables (socle)

Axes Variables	Contribution des variables (%)		Coordonnées des variables		Cosinus carrés	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Statut	38.243	3.863	0.819	-0.208	0.672	0.043
Débit	40.478	5.749	0.843	0.253	0.711	0.064
Résistivité vraie de la cible	6.566	54.596	0.340	0.780	0.115	0.609
Epaisseur d'altération	14.526	30.456	-0.505	0.583	0.255	0.340
Epaisseur de la cible	0.187	5.336	-0.057	0.244	0.003	0.060

A travers les différents cosinus carrés, on s'aperçoit que les variables les mieux représentées sont, la résistivité vraie de la cible, le débit et le statut. Les moins bien représentées par contre sont l'épaisseur de la cible et l'épaisseur d'altération.

Le graphe (annexe 46) présente les variables dans le plan factoriel. Son observation vient appuyer nos différents commentaires produits plus haut à savoir les légères corrélations entre l'épaisseur d'altération et le statut ; et entre la résistivité vraie de la cible et le débit. Il permet aussi de visualiser la bonne qualité de représentation des variables que sont le statut, le débit et

a résistivité vraie de la cible. En effet on constate que ces variables sont très proches du cercle de corrélation.

IV.2. Sédimentaire

IV.2.1. Matrice de corrélation

Le tableau 20 montre une absence de grandes relations entre la productivité et les variables géophysiques. En effet, aucune corrélation n'atteint le seuil de 0.3. Les différentes corrélations, négligeables en général, sont souvent négatives. C'est les cas du « débit et de l'épaisseur d'altération », du « statut et de l'épaisseur d'altération » et du « statut et de l'épaisseur de la cible ». La corrélation la plus importante est positive et est enregistrée entre le statut et la résistivité vraie de la cible.

Tableau 20: Matrice de corrélation entre variables (sédimentaire)

	Statut	Débit	Résistivité vraie de la cible	Epaisseur d'altération	Epaisseur de la cible
Statut	1	0.534	0.258	-0.186	-0.006
Débit	0.534	1	0.043	-0.112	0.013
Résistivité vraie de la cible	0.258	0.043	1	0.180	0.258
Epaisseur d'altération	-0.186	-0.112	0.180	1	0.368
Epaisseur de la cible	-0.006	0.013	0.258	0.368	1
<i>En gras, valeurs significatives</i>					

Dans l'optique d'obtenir la meilleure représentation possible de ces variables dans un plan bidimensionnel, nous avons étudié les valeurs propres ci-dessous (tableau 21). Le plan formé par les deux premiers axes factoriels sera choisi pour la représentation des différentes variables car permettant de conserver le plus grand nombre de variance entre variable (63%).

Tableau 218: Tableau des valeurs propres (sédimentaire)

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	1.647	1.544	0.804	0.607	0.397
% variance	32.940	30.882	16.087	12.146	7.944
% cumulé	32.940	63.823	79.910	92.056	100.000

En ce qui concerne la contribution de chacune des variables à la construction des deux axes choisis, on constate que pour le premier axe, les variables, statut et débit sont celles qui ont des contributions supérieures à la moyenne (25%) ; faisant d'elles des composantes majoritaires. Leur contribution totale s'élève à 86.39%. Le deuxième axe par contre est constitué

majoritairement des apports de la résistivité vraie, de l'épaisseur et de l'épaisseur d'altération, avec un apport total de 98.37%.

Tableau 19: Récapitulatif des coordonnées, Cosinus carrés et la contribution des différentes variables (sédimentaire)

	Contribution des variables (%)		Coordonnées des variables		Cosinus carrés	
Axes Variable	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Statut	46.872	1.314	0.879	0.142	0.772	0.020
Débit	39.523	0.309	0.807	0.069	0.651	0.005
Résistivité vraie de la cible	3.867	28.847	0.252	0.667	0.064	0.445
Epaisseur d'altération	8.996	30.294	-0.385	0.684	0.148	0.468
Epaisseur de la cible	0.742	39.236	-0.111	0.778	0.012	0.606

Pour ce qui est de la qualité de la représentation des variables dans le plan choisi, les cosinus carrés des différentes variables nous indiquent une assez bonne représentation en générale. On note que les mieux représentés sont le statut, le débit et l'épaisseur de la cible. La profondeur et la résistivité vraie de la cible sont moins bien représentées.

Le graphe (annexe 47) présente pour le cas du sédimentaire, les variables dans le plan factoriel. Son observation vient appuyer nos commentaires produits plus haut à savoir les faibles corrélations entre la productivité et les paramètres géophysiques de la cible. Aussi, il permet d'apprécier la qualité de représentation des différentes variables.

Conclusion sur l'ACP

On retiendra dans cette partie qu'il n'existe pas de corrélations véritables entre paramètres géophysiques et productivité d'une manière générale. Les différentes corrélations, dans le sédimentaire tout comme dans le socle, sont à 50% positives. Si dans le socle, la variable la plus corrélée au débit est la résistivité vraie, dans le sédimentaire par contre, elle se trouve être l'épaisseur d'altération, même si elle est négative. Pour ce qui est du statut, il est ressorti que les plus fortes corrélations étaient constatées avec l'épaisseur d'altération dans le socle et la résistivité vraie dans le sédimentaire. Les différentes représentations à deux dimensions dans chacun des cas, a permis la conservation d'au moins 60% de la variabilité. En ce qui concerne la qualité de représentation des différentes variables, on a noté que les mieux représentés sont la résistivité vraie de la cible, le débit et le statut le statut dans le socle et le débit et l'épaisseur de la cible dans le sédimentaire.

V. Carte de transmissivité

La figure 55 montre que les faibles valeurs de transmissivité sont rencontrées essentiellement dans le continental terminal. Les fortes valeurs par contre sont essentiellement concentrées dans les parties centrales des grès de Sotuba et des grès de Koutiala. L'étage Schisto-grésodolimitique possède des fortes valeurs mais à ses extrémités inférieures et supérieures.

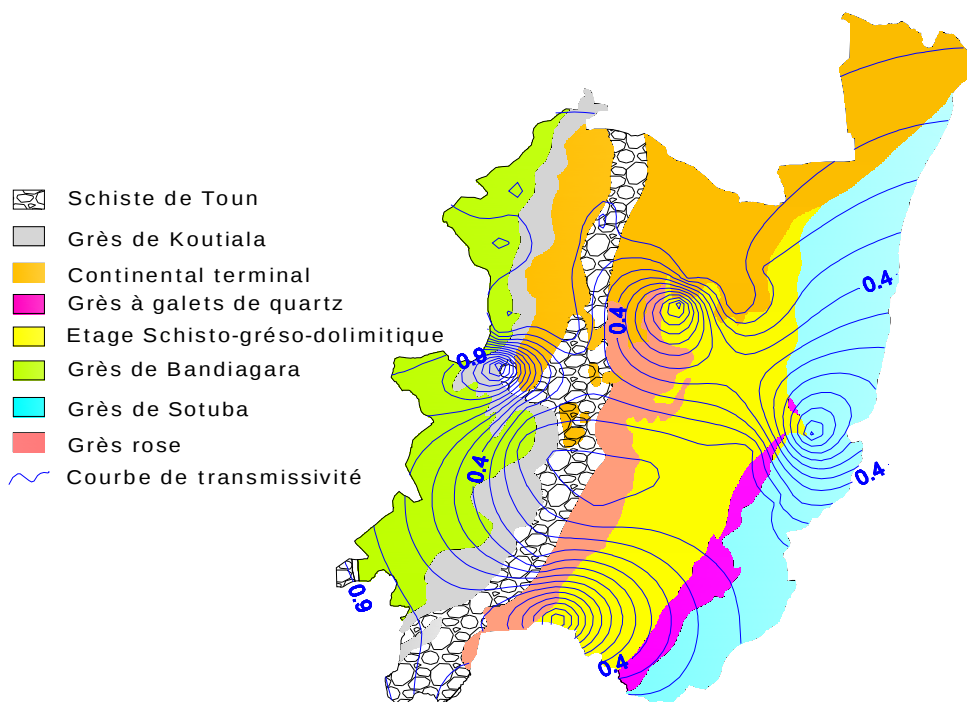


Figure 55: Carte de transmissivité dans le sédimentaire

Conclusion générale et recommandation

Conclusion

Au terme de ce travail, il ressort que la Boucle du Mouhoun présente un taux d'échec relativement élevé soit près de 40%. Face à ce constat, cette étude dont le but est d'optimiser l'implantation de futurs forages, fut menée.

Ainsi, les différents traitements ont permis de constater que le socle offre de meilleurs taux de réussite comparativement au sédimentaire. La forme d'anomalie V est la plus récurrente dans les différentes formations géologiques avec cependant, une très grande productivité des formes C. Pour ce qui est des types d'anomalie, il n'existe pas de domination véritable d'un type sur les autres, on note cependant l'absence des types CEDP. Côté productivité, on observe de grandes chances pour le type PC dans le sédimentaire et pour le type CCL dans le socle. Quant aux types de sondage, on observe la domination des types H dans le socle et des types A dans le sédimentaire. Les différents types offrent plus ou moins les mêmes chances de réussite.

L'analyse des cas d'échec a permis de constater que l'inutilisation de la photo-interprétation et des logiciels d'interprétation étaient les principales sources d'erreurs d'interprétation. Toutefois, il est ressortit 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. L'étude de la productivité selon la lithologie a permis de constater que le granite est la formation qui offre les meilleures chances de réussite. En dépit, des critères favorables selon la lithologie, résumés dans le tableau 14, l'ACP a révélé une absence de corrélation entre paramètres de productivité et ceux géophysiques.

Recommandation

Comme recommandation nous préconisons la prise en compte des critères favorables (tableau 14), couplée à une application 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 préconisons 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

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.

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

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.

Gombert, P. (1997) : Variabilité spatiale de la productivité aquifère du socle sahélien en hydraulique rurale, recherche, paru dans IAHS Publ. no. 241, pp 1-2.

Berger, J., Engalenc, M. (1975) : Hydrogéologie et Géophysique appliquées à la recherche d'eau souterraine dans les roches cristallines fracturées, livre, pp 1.

Koama, F. (2009) : Indices de productivité des aquifères en zone de socle : cas de la région du nord du Burkina Faso, mémoire, 105 p.

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.

Lebart, L. (2007) : Nouvelles techniques de traitement statistique de données d'enquêtes, cours, 13 p.

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

Nikiéma, D. G. C. (2012) : Essai d'optimisation de l'implantation géophysique des forages en zone de socle : Cas de la province de Séno, Nord Est du Burkina Faso, mémoire, 89 p.

N'Go, Y. A., Goné, D. L., Savané, I., Goblé, M. M. (2005) : Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud Ouest de la Côte d'Ivoire) : Caractérisation hydroclimatique et physique, article paru dans la revue Afrique science, 18 p.

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 p.

Soro, G., Soro, N., Ahoussi, K. E., Lasm, T., Kouamé, F. K., Soro, T. D., Biémi, J., (2010) : Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique dans la région des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire), pp 11.

Van Der Stricht, M. (1988) : Bulletin de liaison du CIEH, 58 p.

Yanzon, Y. L. (1991) : Etude des Variables Hydrogéologiques des Formations Sédimentaires et Cristallines de la Boucle du Mouhoun, mémoire, pp 16.

Youcef, H. (2006) : Application des méthodes géophysiques à l'étude de deux sites (Kappelen et Grenchen) de l'aquifère poreux complexe du Seeland, thèse de doctorat de l'Université de Lausanne, pp 25.

Zéphir De Lasme, O., Lasm, T., Oga, M. S., Youan, M. T., Baka, D., Boni, F. E. (2012) : Analyse des propriétés hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région de San-Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), recherche, article paru en 2012 dans la revue Estudios Geológicos, pp 10.

Recherche Web

www.erudit.org

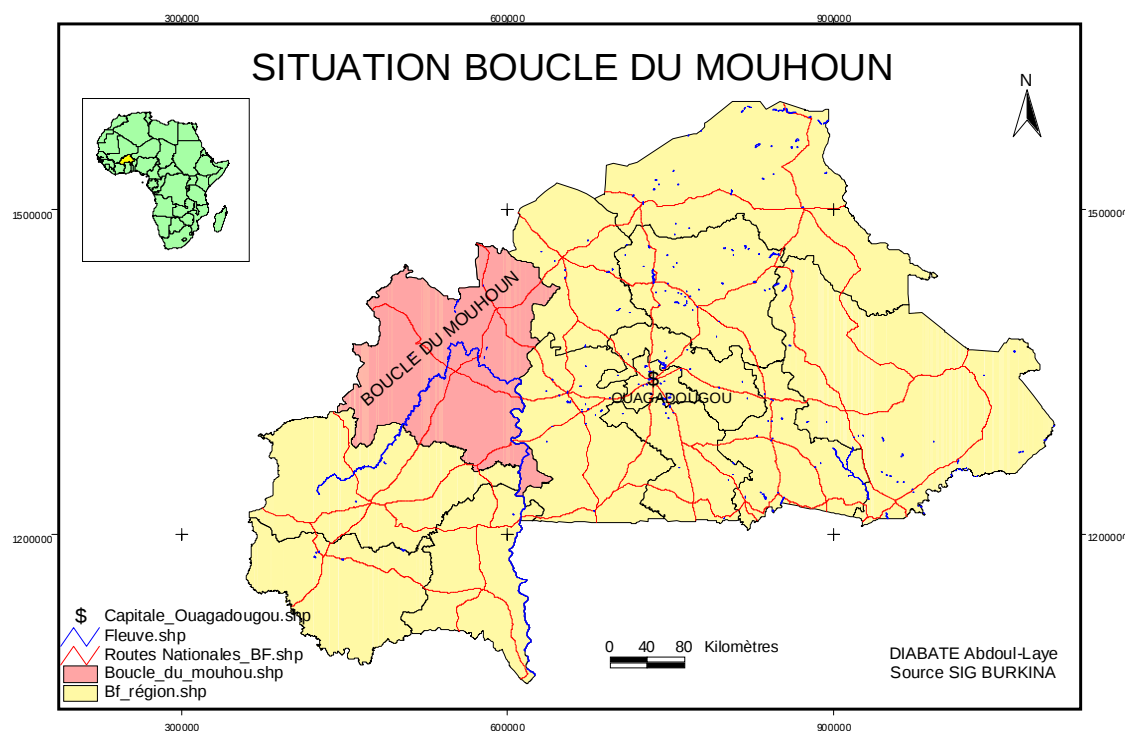
<http://www.umc.edu.dz/vf/index.php/cours-en-ligne/868-la-geophysique-pour-les-geologues-qles-methodes-electriques-q->: la géophysique pour les géologues Tome 3.

Bibliothèque Numérique du 2iE

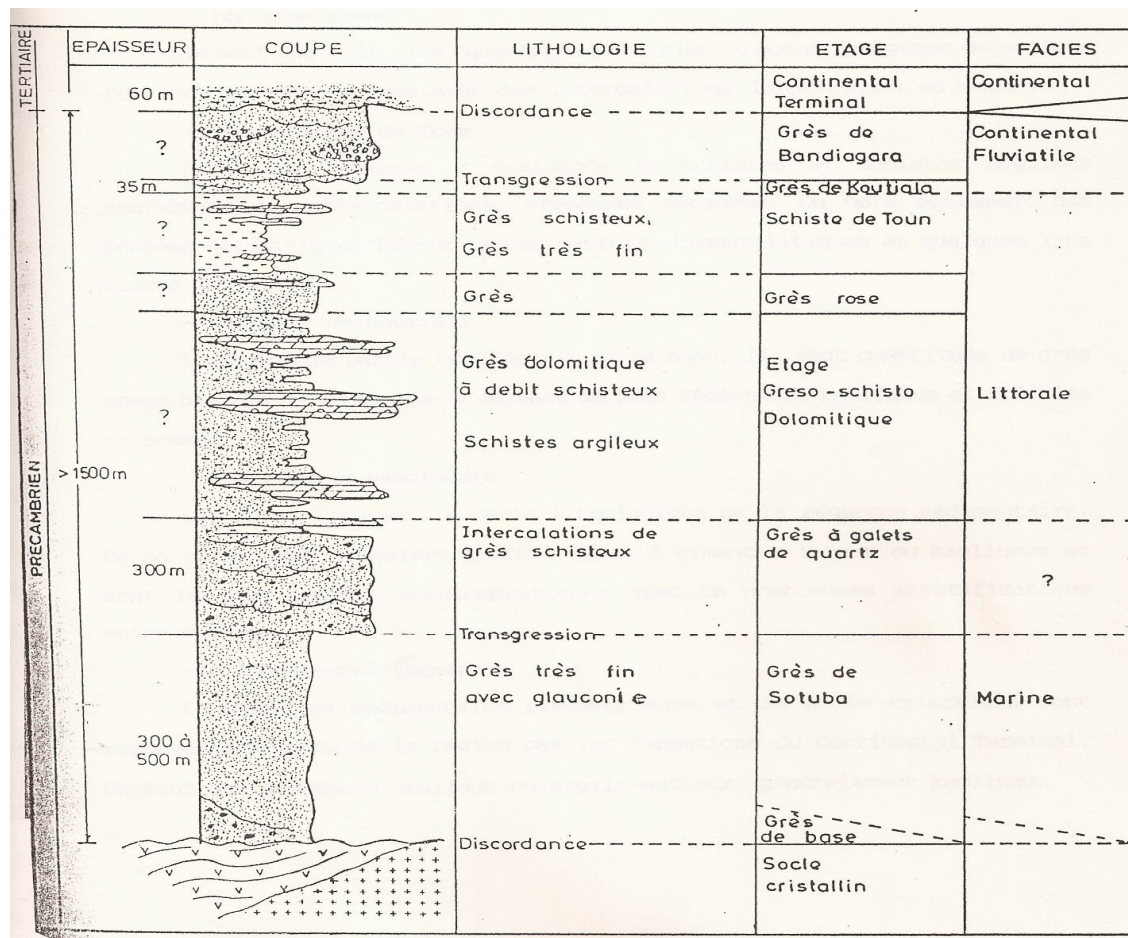
ANNEXES

I. Généralités

Annexe 01: Situation de la Boucle du Mouhoun



Annexe 02: Séquence lithostratigraphique sédimentaire (in ELGUETA, 1983)



Annexe 03: Pluviométrie des cinq dernières années

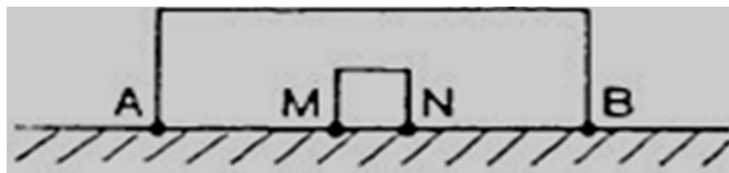
Villes	Ht (2008)	Ht (2009)	Ht (2010)	Ht (2011)	Ht (2012)	Moyenne
Boromo	881,9	1020,7	822,7	1038,2	1008,8	954,46
Solenzo	984,8	842,1	996,9	1144,8	906,4	975
Nouna	868,5	775,5	952	848	1136,3	916,06
Dédougou	842,6	758,2	944,1	1022,3	960,7	905,58
Toma	954,3	814,7	1043	1058,9	1011,1	976,4
Tougan	856,4	650	807,3	812,8	980,5	821,4
Moy. Région	898,1	810,2	928	988	1001	924,986

Ht= hauteur d'eau enregistrée en mm

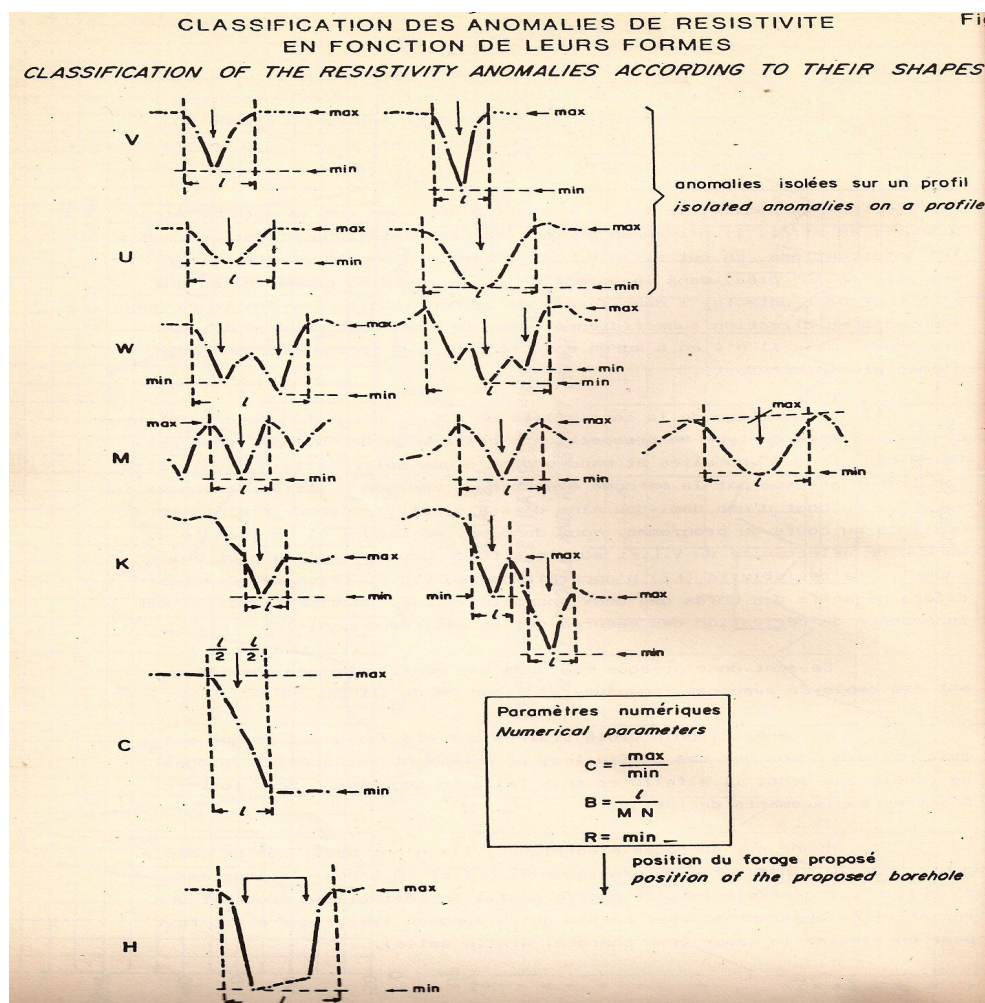
Annexe 04 : Répartition de la Population selon les Provinces en 2006

Provinces/Régions	Population	Superficie (km²)	Densité (nbre hbt/km²)
Bale	213 423	4 596	46,4
Banwa	269 375	5 888	45,7
Kossi	278 546	7 328	38,0
Mouhoun	297 350	6 659	44,7
Nayala	163 433	3 923	41,7
Sourou	220 622	5 768	38,2
Total	1 442 749	34 162	42,2

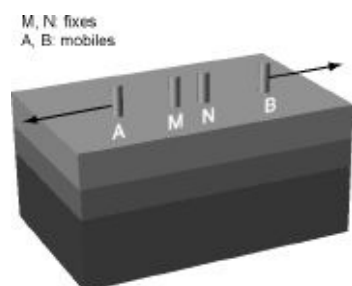
Annexe 05: Dispositif Schlumberger



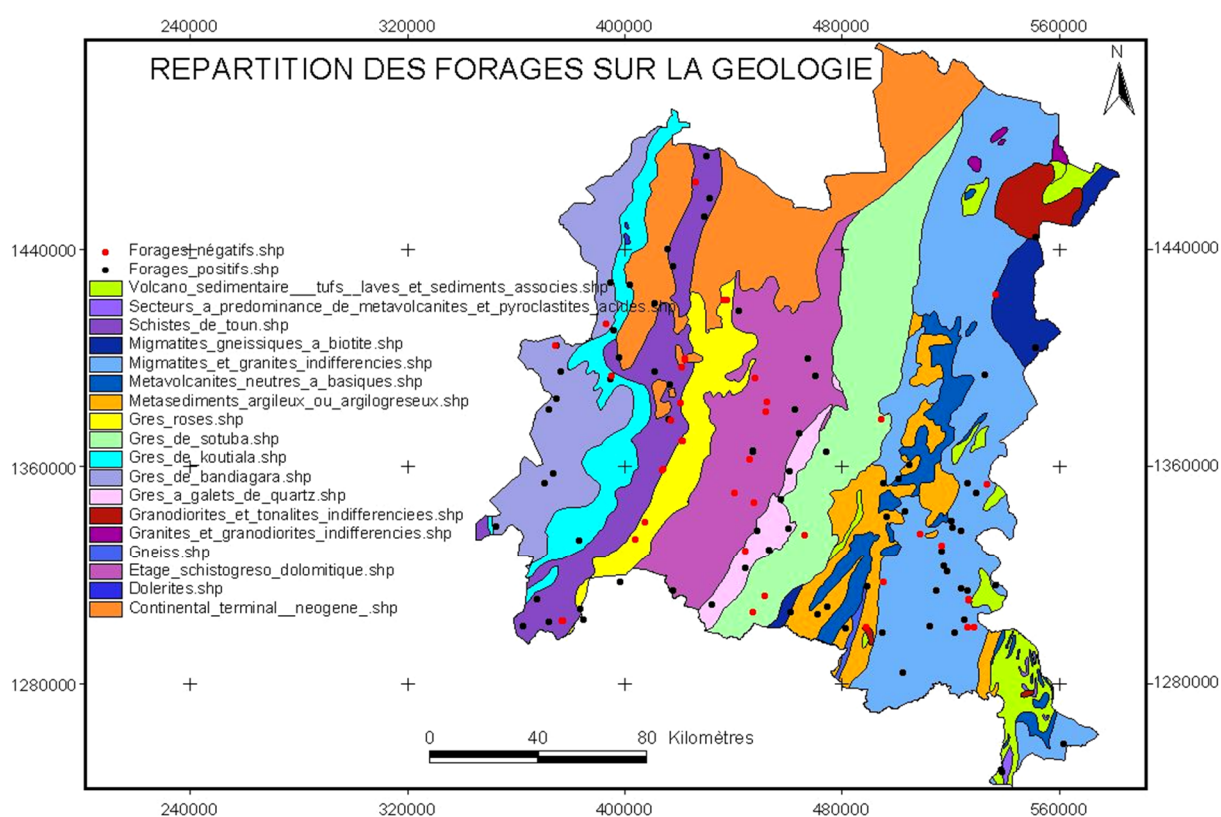
Annexe 06: Différentes formes d'anomalies



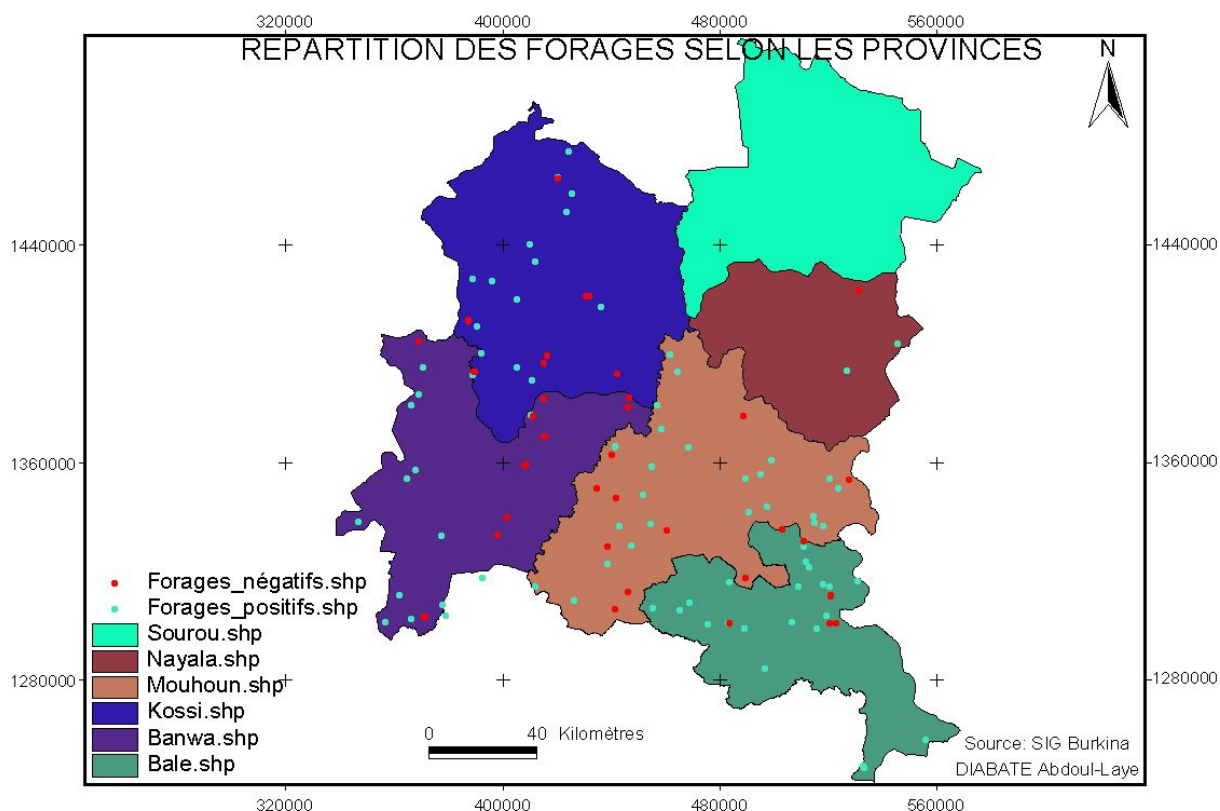
Annexe 07: Procédé du sondage



Annexe 08: Répartition des forages sur la géologie



Annexe 09: Répartition des forages selon les provinces

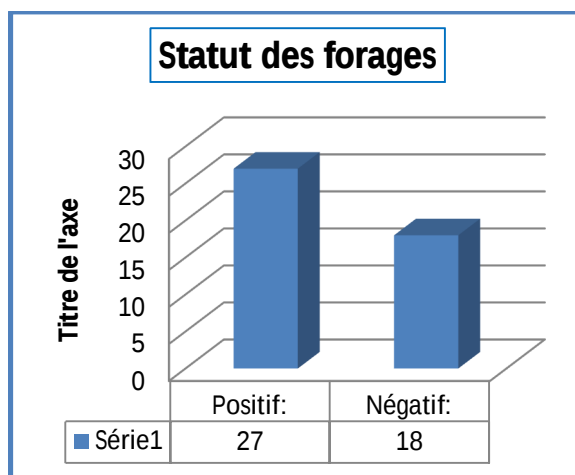


II. Description des données

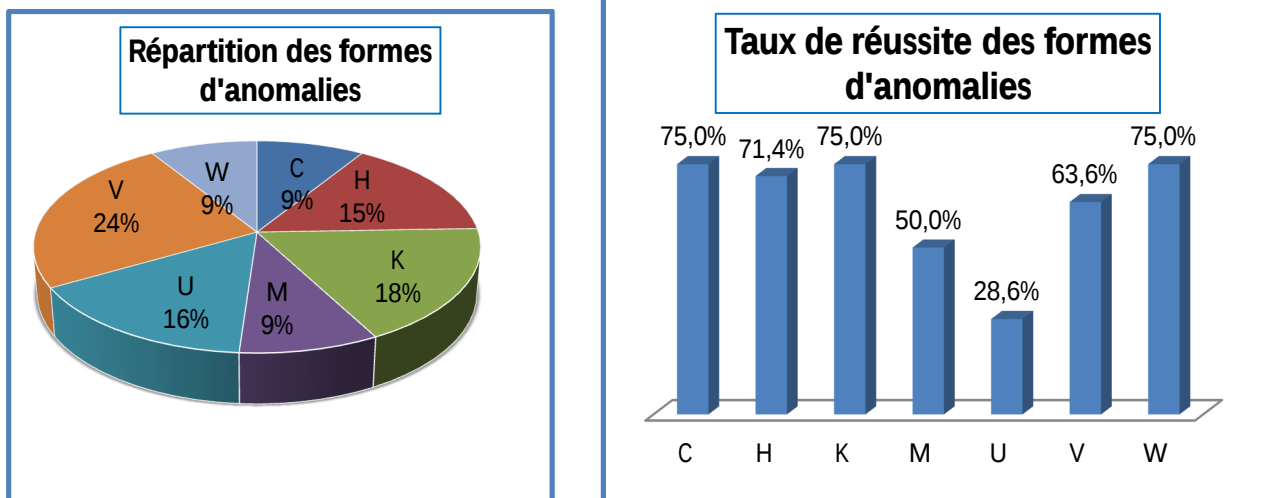
II.1. Partie sédimentaire

Annexe 10 : Statut des forages dans le sédimentaire

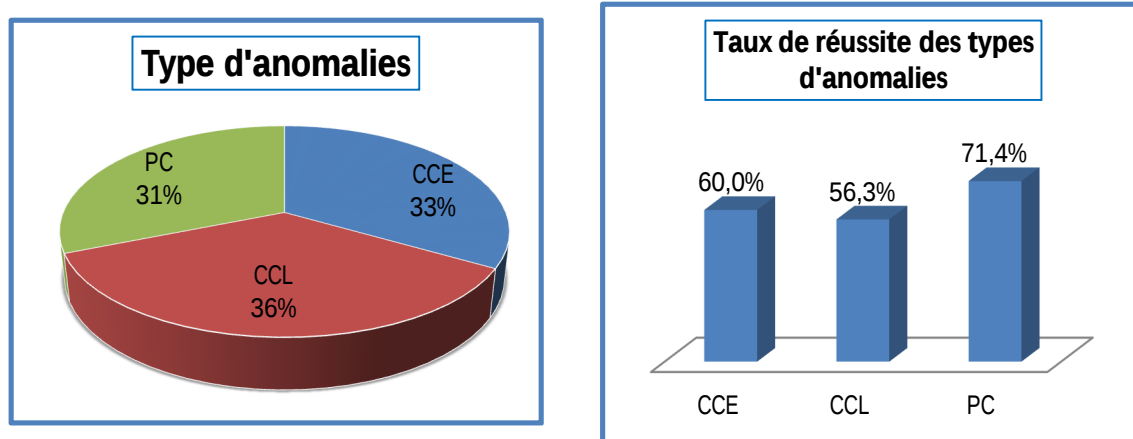
Taille échantillon:	45
Positif:	27
Négatif:	18
Taux d'échec:	40%



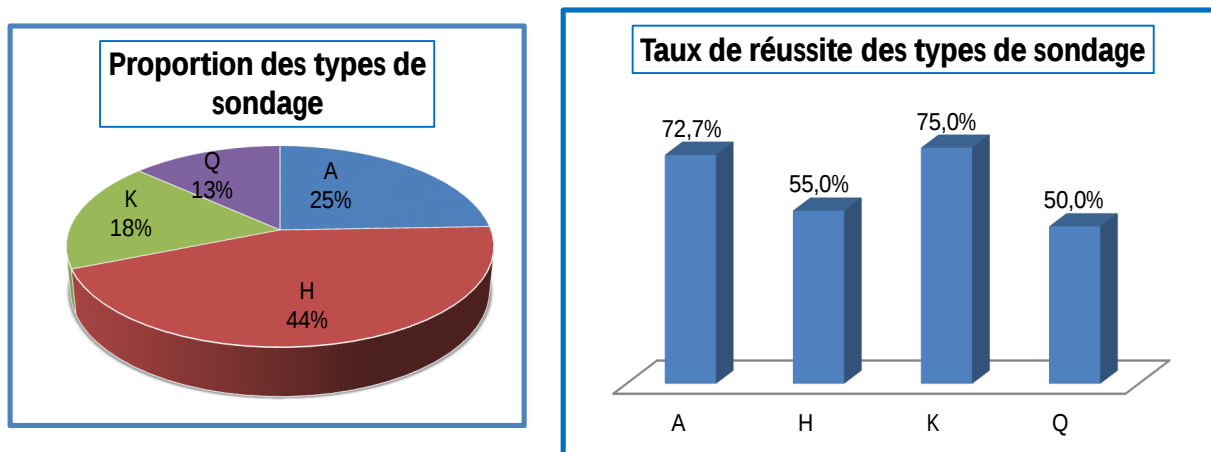
Annexe 11: Répartition et Taux de réussite des formes d'anomalies



Annexe 12: Proportion et Taux de réussite des types d'anomalies



Annexe 13: Proportion et Taux de réussite des types de sondage



Annexe 14: Description des différentes variables/Sédimentaire

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Asymétrie	CV (écart-type/moyenne)
Valeurs de résistivités/FN					
Valeurs de résistivités/FP					
Débit (m3/h)	0.61	20	3.48	2.02	1.54
Niveau Statique (m)	5.15	47.55	16.729	1.141	0.661
Epaisseur d'altération/négatif (m)	28.4	107.6	67.829	-0.06	0.349
Epaisseur d'altération /positif (m)	12	83.04	39.264	0.754	0.38
Epaisseur Aquifère/négatif (m)	16	48	29.315	0.595	0.346
Epaisseur Aquifère/ positif (m)	2.91	34.95	18.969	-0.014	0.451

Annexe 15: Regroupement par classe des résistivités/FN

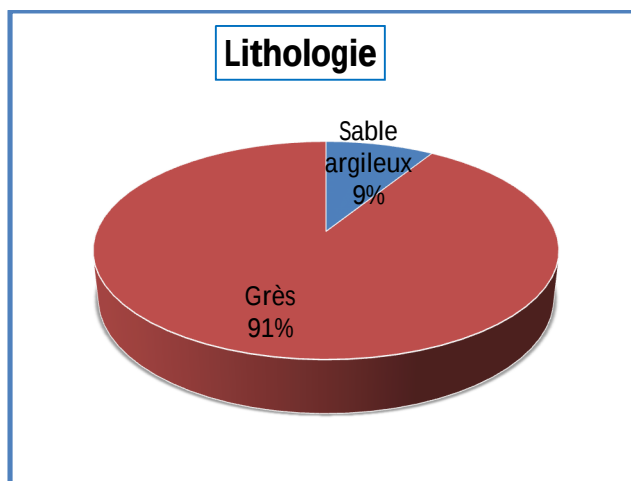
Résistivité/FN										
Classe résist	[0,100[	[100,200[	[200,300[	[300,400[	[400,500[	[500,600[	[600,700[	[700,800[	≥800	Total
Fréquence	44%	11%	6%	11%	0%	17%	6%	0%	6%	100%

Annexe 16: Regroupement par classe de résistivité/ FP

Résistivité/FP										
Classe résist	[0 , 100[	[100 , 200[	[200 , 300[	[300 , 400[	[400 , 500[	[500 , 600[	[600 , 700[	[700 , 800[	≥800	Total
Fréquence	30%	7%	7%	7%	4%	7%	11%	4%	22%	100%

Annexe 17 : Lithologie dans le sédimentaire

Lithologie	Nombre	Fréquence
Sable argileux	4	8.9%
Grès	41	91.1%
Total	45	100.0%



Annexe 18: Regroupement par classe du débit

Débit (m3/h)					
Classe	[0.4;5[	[5;10[	[10;15[	≥20	Total
Fréquence	59%	22%	7%	11%	100%

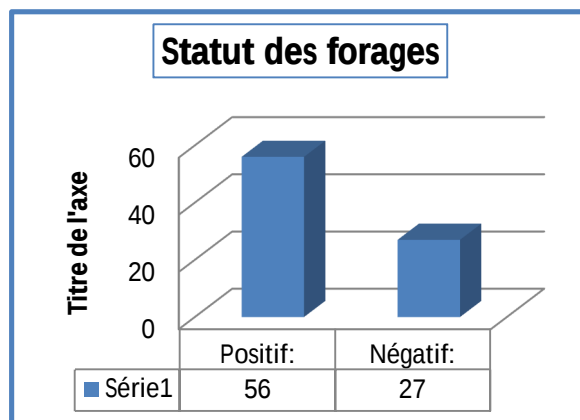
Annexe 19: Regroupement par classe du niveau statique

Niveau Statique (m)						
Classe (épaisseur)	[5;10[	[10;20[	[20;30[	[30;40[	[40;50[	Total
Fréquence	37%	30%	22%	7%	4%	100%

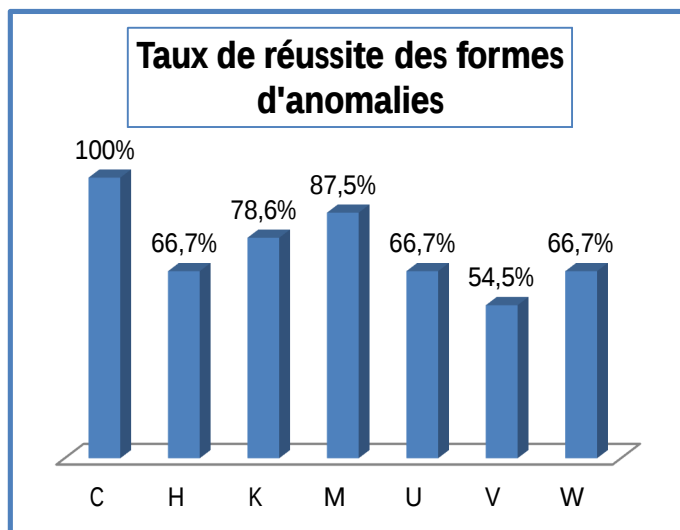
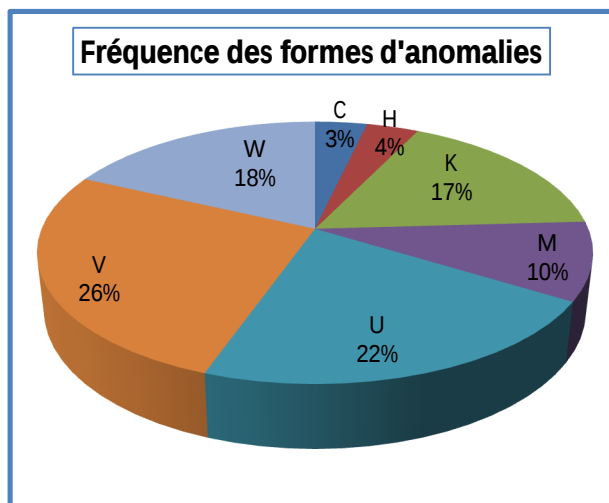
II.2. Partie du socle

Annexe 20: Statut des forages dans le socle

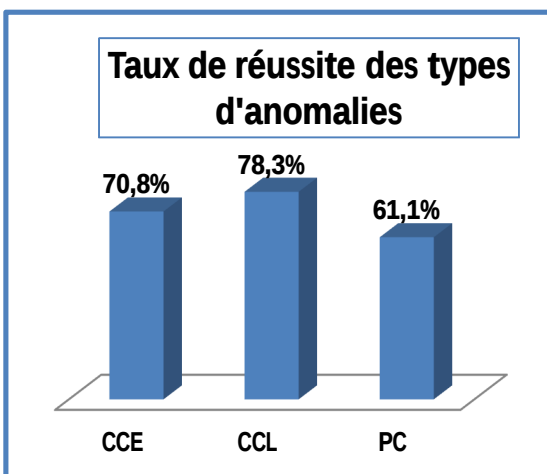
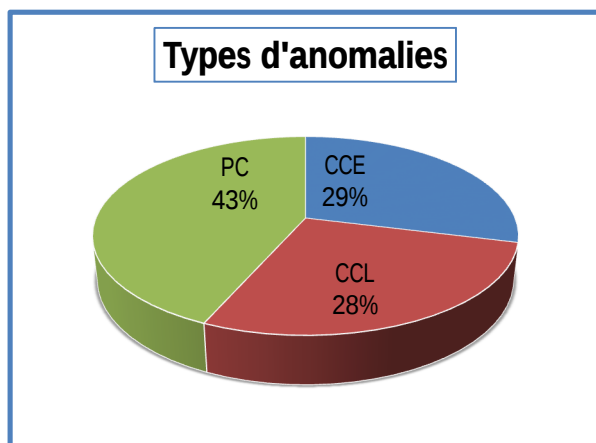
Taille échantillon:	83
Positif:	56
Négatif:	27
Taux d'échec:	32.5%



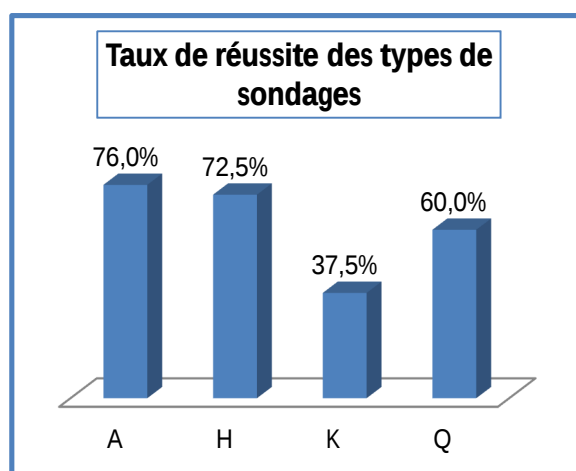
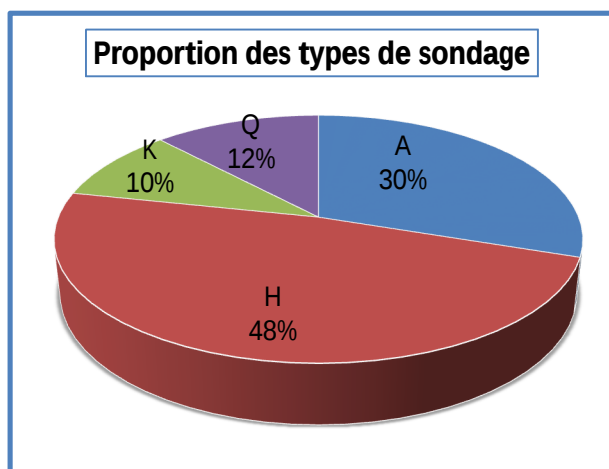
Annexe 21: Proportion et Taux de réussite des formes d'anomalies



Annexe 22: Proportion et Taux de réussite des types d'anomalies dans le socle



Annexe 23: Proportion et Taux de réussite des types de sondage

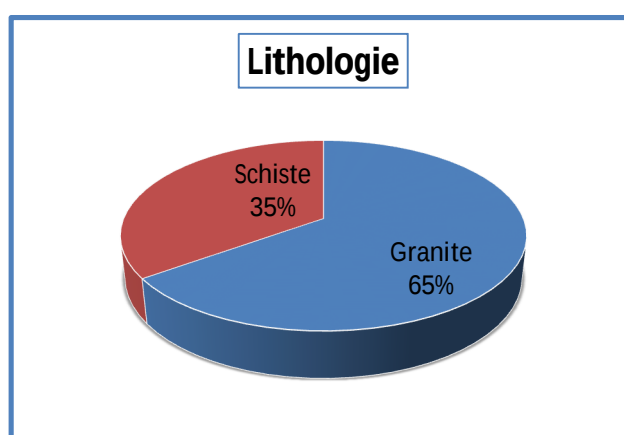


Annexe 24: Description des variables/ Socle

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Asymétrie	CV (écart-type/moyenne)
Valeurs de résistivités/FN	32.000	350.000	111.000	2.113	0.622
Valeurs de résistivités/FP	28.000	900.000	185.736	2.190	1.122
Débit (m3/h)	0.63	16.4	5.263	1.148	0.89
Niveau Statique (m)	1.9	64	15.099	1.963	0.81
Epaisseur d'altération/négatif (m)	25.43	94.22	61.785	-0.417	0.276
Epaisseur d'altération/positif (m)	8	77.06	41.233	0.111	0.331
Epaisseur Aquifère/ négatif (m)	6	40	22.457	0.083	0.417
Epaisseur Aquifère/ positif (m)	8	77.06	41.233	0.111	0.331

Annexe 25: Lithologie dans le sédimentaire

Lithologie	Nombre	Fréquence
Granite	54	65.1%
Schiste	29	34.9%
Total	83	100.0%



Annexe 26: Regroupement par classe/Epaisseur Altération

Epaisseur d'Altération (m)							
Classe (profondeur)	[0;10[	[10 ; 20[	[20 ; 30[	[30 ; 40[	[40 ; 50]	≥50	Total
Nombre	9.00	22.00	17.00	21.00	11.00	3.00	83.00
Fréquence	11%	27%	20%	25%	13%	4%	100%

Annexe 27: Répartition par classe du débit

Débit (m3/h)					
Classe	[0.4;5[	[5;10[	[10;15[	≥15	Total
Nombre	34.00	12.00	6.00	4.00	56.00
Fréquence	61%	21%	11%	7%	100%

Annexe 28: Répartition par classe du Niveau Statique

Niveau Statique (m)						
Classe (épaisseur)	[0;10[	[10;20[	[20;30[	[30;40[	≥40	Total
Nombre	24.00	20.00	7.00	2.00	3.00	56.00
Fréquence	43%	36%	13%	4%	5%	100%

Annexe 29: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération/FN

Profondeur de l'aquifère/négatif (m)								
Classe (épaisseur)	[20;30[	[30;40[	[40;50[	[50;60[	[60;70[	[70;80[	≥80	Total
Nombre	1.00	4.00	1.00	5.00	8.00	5.00	3.00	27.00
Fréquence	4%	15%	4%	19%	30%	19%	11%	100%

Annexe 30: Répartition par classe de l'épaisseur d'altération /FP

Profondeur de l'aquifère/positif (m)							
Classe (épaisseur)	[10;20[	[20;30[	[30;40[	[40;50[	[50;60[	≥60	Total
Nombre	2.00	9.00	11.00	19.00	7.00	8.00	56.00
Fréquence	4%	16%	20%	34%	13%	14%	100%

Annexe31: Répartition par classe de l'Epaisseur de l'Aquifère/FN

Epaisseur aquifère/négatif (m)					
Classe (épaisseur)	[0;10[	[10;20[	[20;30[	[30;40[	Total
Nombre	2.00	10.00	8.00	7.00	27.00
Fréquence	7%	37%	30%	26%	100%

Annexe 32: Répartition par classe de l'Epaisseur de l'Aquifère/FN

Epaisseur Aquifère/ positif (m)						
Classe (épaisseur)	[0;10[	[10;20[	[20;30[	[30;40[	≥40	Total
Nombre	4	25.00	12.00	8.00	7.00	56.00
Fréquence	7%	45%	21%	14%	13%	100%

III. Tableaux croisés

Annexe 33: Réurrence et Taux de réussite des types d'anomalies selon la lithologie

Lithologie	Paramètres		Type d'anomalies			Total
			CCE	CCL	PC	
Granite	Statut	Positif	11	15	14	40
		Négatif	5	3	6	14
	Taux de réussite		69%	83%	70%	74%
	Total		16	18	20	54
	Réurrence		30%	33%	37%	100%
Schiste	Statut	Positif	6	3	7	16
		Négatif	3	2	8	13
	Taux de réussite		67%	60%	47%	55%
	Total		9	5	15	29
	Réurrence		31%	17%	52%	
Grès	Statut	Positif	8	6	9	23

CARACTERISATION DES PARAMETRES GEOPHYSIQUES EN RELATION AVEC LA PRODUCTIVITE DE LA CIBLE HYDROGEOLOGIQUE DANS LA BOUCLE DU MOUHOUN AU BURKINA FASO

	Négatif	6	7	5	18
	Taux de réussite	57%	46%	64%	56%
	Total	14	13	14	41
	Récurrence	34%	32%	34%	100%

Annexe 34: Récurrence et Taux de réussite des formes d'anomalies selon la lithologie

Lithologie	Paramètres		Forme d'anomalies							Total
			U	V	W	M	K	C	H	
Granite	Statut	Positif	10	9	6	5	8	0	2	40
		Négatif	3	4	2	1	2	1	1	14
	Taux de réussite		77%	69%	75%	83%	80%	0%	67%	74%
	Total		13	13	8	6	10	1	3	54
	Récurrence		24%	24%	15%	11%	19%	2%	6%	100%
Schiste	Statut	Positif	2	3	4	2	2	3	0	16
		Négatif	3	6	3	0	1	0	0	13
	Taux de réussite		40%	33%	57%	100%	67%	100%	0	55%
	Total		5	9	7	2	3	3	0	29
	Récurrence		17%	31%	24%	7%	10%	10%	0	100%
Grès	Statut	Positif	3	5	3	2	4	2	4	23
		Négatif	5	4	1	2	3	1	2	18
	Taux de réussite		38%	56%	75%	50%	57%	67%	67%	56%
	Total		8	9	4	4	7	3	6	41
	Récurrence		20%	22%	10%	10%	17%	7%	15%	100%

Annexe 35: Récurrence et Taux de réussite des types de sondage selon la lithologie

Lithologie	Paramètres		Type de sondage				Total
			Q	K	A	H	
Granite	Statut	Positif	4	1	13	22	40
		Négatif	3	2	4	5	14
	Taux de réussite		57.10%	33.30%	76.50%	81.50%	
	Total		7	3	17	27	54
	Recurrence		13.00%	5.60%	31.50%	50.00%	100%
Schiste	Statut	Positif	2	2	5	7	16
		Négatif	2	3	2	6	13
	Taux de réussite		50%	40%	71%	54%	55%
	Total		4	5	7	13	29
	Recurrence		14%	17%	24%	45%	
Grès	Statut	Positif	2	4	8	9	23
		Négatif	3	2	3	10	18
	Taux de réussite		40%	67%	73%	47%	56%

	Total	5	6	11	19	41
	Recurrence	12%	15%	27%	46%	100%

III.1. Granite

Annexe 36: Débit et type d'anomalies/Granite

Plage de débit	CCE	CCL	PC
[0 , 0.4[	31%	17%	30%
[0.4 , 1[	0%	6%	5%
[1 , 3[	38%	39%	20%
[3 , 5[	13%	11%	5%
[5 , 10[	13%	11%	20%
[10 , ...[	6%	17%	20%
Total	100%	100%	100%

Annexe 37: Débit et forme d'anomalie/ Granite

Plage de débit	U	V	W	M	K	C	H
[0 , 0.4[	23%	31%	25%	17%	20%	100%	33%
[0.4 , 1[	0%	8%	0%	0%	10%	0%	0%
[1 , 3[	46%	38%	0%	17%	30%	0%	67%
[3 , 5[	8%	8%	38%	0%	0%	0%	0%
[5 , 10[	15%	8%	25%	17%	20%	0%	0%
[10 , ...[	8%	8%	13%	50%	20%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Annexe 38: Débit et type de sondage/ Granite

Plage de débit	Q	K	A	H
[0 , 0.4[	43%	67%	24%	19%
[0.4 , 1[	0%	0%	0%	7%
[1 , 3[	43%	0%	29%	33%
[3 , 5[	0%	0%	18%	7%
[5 , 10[	14%	33%	12%	15%
[10 , ...[	0%	0%	18%	19%
Total	100%	100%	100%	100%

III.2. Schiste

Annexe 39: Débit et type d'anomalie/Schiste

Plage de débit	CCE	CCL	PC
[0 , 0.4[	33%	40%	53%
[0.4 , 1[	22%	0%	0%
[1 , 3[	22%	20%	20%
[3 , 5[	0%	20%	7%
[5 , 10[	22%	0%	13%
[10 , ...[	0%	20%	7%
Total	100%	100%	100%

Annexe 40: Débit et Forme d'anomalie/ Schiste

Plage de débit	U	V	W	M	K	C
[0 , 0.4[	60%	67%	43%	0%	33%	0%
[0.4 , 1[	0%	11%	14%	0%	0%	0%
[1 , 3[	40%	0%	14%	50%	33%	33%
[3 , 5[	0%	11%	0%	0%	0%	33%
[5 , 10[	0%	11%	0%	50%	33%	33%
[10 , ...[	0%	0%	29%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Annexe 41: Débit et type de sondage/ Schiste

Plage de débit	Q	K	A	H
[0 , 0.4[	50%	60%	29%	46%
[0.4 , 1[	25%	0%	0%	8%
[1 , 3[	0%	20%	43%	15%
[3 , 5[	0%	0%	0%	15%
[5 , 10[	25%	20%	0%	15%
[10 , ...[	0%	0%	29%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

III.3. Grès

Annexe 42: Débit et type d'anomalies/ Grès

Plage de débit	CCE	CCL	PC
[0 , 0.4[	43%	54%	36%
[0.4 , 1[	7%	8%	0%

[1 , 3[	21%	8%	29%
[3 , 5[	7%	8%	14%
[5 , 10[	14%	15%	14%
[10 , ...[	7%	8%	7%
Total	100%	100%	100%

Annexe 43: Débit et forme d'anomalies/ Grès

Plage de débit	U	V	W	M	K	C	H
[0 , 0.4[	63%	44%	25%	50%	43%	33%	33%
[0.4 , 1[	0%	11%	0%	0%	0%	0%	17%
[1 , 3[	13%	11%	50%	25%	14%	67%	0%
[3 , 5[	13%	11%	0%	0%	29%	0%	0%
[5 , 10[	0%	22%	25%	25%	14%	0%	17%
[10 , ...[	13%	0%	0%	0%	0%	0%	33%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Annexe 44: Débit et type de sondage/ Grès

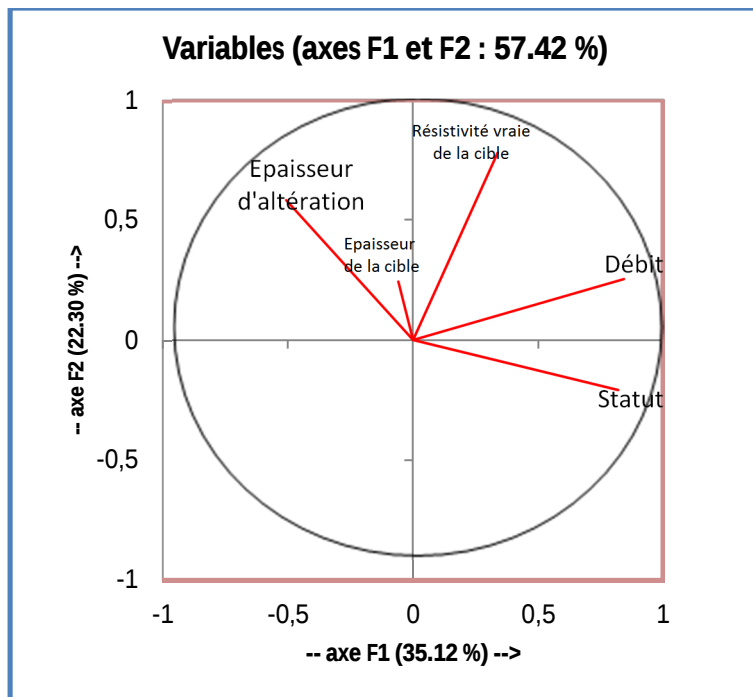
Plage de débit	Q	K	A	H
[0 , 0.4[	60%	33%	27%	53%
[0.4 , 1[	0%	0%	9%	5%
[1 , 3[	40%	33%	18%	11%
[3 , 5[	0%	0%	18%	11%
[5 , 10[	0%	17%	18%	16%
[10 , ...[	0%	17%	9%	5%
Total	100%	100%	100%	100%

Annexe 45 : paramètres défavorables

Paramètres géophysiques	Paramètres défavorables	Lithologie		
		Granite	Schiste	Grès
Forme d'anomalies	Mauvais taux de réussite	C	V	U
	Moins productif	C et H	U	C
Type d'anomalie	Mauvais taux de réussite	CCE	PC	CCL
	Moins productif	CCE	PC	PC
Type de sondage	Mauvais taux de réussite	A	K	Q
	Moins productif	Q	H	Q
Taux d'échecs		26%	45%	44%
Appréciation générale		bas	assez élevé	assez élevé

IV. Analyse en Composante Principale

Annexe 46: Représentation des variables dans le cercle de corrélation/Socle



Annexe47 : Représentation des variables dans le cercle de corrélation/Sédimentaire

