

B. DIENG

Groupe des Ecoles EIER-ETSHER
03 BP 7023 Ouagadougou 03
Burkina Faso
babacar.dieng@eieretsher.org

A. H. KOUASSI

Groupe des Ecoles EIER-ETSHER
03 BP 7023 Ouagadougou 03
Burkina Faso

B. A. BAKYONO

Programme Eau et Environnement Région
Nord
B.P. 342 Ouahigouya
Burkina Faso

Optimisation de l'implantation géophysique des forages en zone de socle au Nord du Burkina Faso

RESUME

Cet article traite et analyse des données de prospections géophysiques et de forages recueillies par le projet Eau et Environnement dans la région Nord du Burkina Faso. A partir de ce traitement, nous avons essayé d'identifier des critères pertinents en vue d'optimiser les conditions d'implantation de forages dans des zones difficiles comme celles du projet PEEN. Ces critères ont été testés; ils ont permis d'améliorer le taux de succès de plus de 10% et particulièrement dans les zones difficiles. Ce travail a aussi permis de donner quelques explications à des incohérences observées entre les épaisseurs d'altérations calculées à partir des résultats de sondages électriques et celles identifiées après le forage.

Mots clefs : Burkina Faso, Yatenga, hydrogéologie, géophysique, socle cristallin, forages d'eau, taux de succès, granite, schiste

ABSTRACT

This article treats and analysis data concerning geophysical prospecting and water wells collected by "Projet Eau et Environnement " in the North region of Burkina. With this treatment, we have tried to identify applicable criteria in order to optimise the conditions of implantation of water wells in difficult areas as those of the PEEN project. These criteria have been tested; they permitted to improve the rate of success of more than 10% and especially in the difficult areas. This work also permitted to give some explanations to incoherencies observed between the thickness of layers above the bedrock calculated from the results of electric prospecting and those identified from the water wells .

Key words: Burkina, Yatenga, hydrogéology, geophysic, crystalline bedrock, water well, rate of success, granite, schist,

INTRODUCTION

Cet article présente les principaux résultats d'un travail de mémoire de fin d'étude d'ingénieur du Génie Rural à l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (EIER) de Ouagadougou. Ce travail a été réalisé avec la collaboration du Programme Eau et Environnement/ Région Nord (PEEN).

Le PEEN est un projet implanté dans la région nord du Burkina (provinces du Yatenga et du Loroum voir figure 1) avec l'appui de la Coopération Danoise (Danida). Il comporte plusieurs volets. Le volet eau de ce projet prévoit entre autre la réalisation de 340 forages positifs.

Le contexte géologique est marqué par des formations de schistes, granites et une bande de formation sédimentaire en bordure de la frontière avec le Mali (figure 2).

Pour le moment, 187 forages sont réalisés avec un taux de succès de 63 %. Les forages réalisés sont implantés en utilisant les techniques de photo-interprétation, la prospection géophysique (VLF et électrique).

Les principales difficultés rencontrées sont :

- Un taux de succès relativement faible malgré les techniques d'implantation utilisées,
- L'existence de quelques zones où le taux d'échec est particulièrement élevé,
- Quelques fois une non concordance entre les résultats des sondages électriques et ceux des forages.

L'objectif visé par cette étude est d'apporter des éléments de réponse aux difficultés ci-dessus évoquées afin de contribuer à l'amélioration des conditions d'implantation et du taux de succès des forages et en particulier dans les zones difficiles.

ZONE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Zone d'étude

La zone du projet appartient à une région dont le substratum est composé en majorité de roches précambriennes à l'exception d'une bande sédimentaire dans la partie Nord Ouest (Gansoré, 1975; CIEH-IWACO, 1990). La subdivision de la superficie du Yatenga et du Loroum en différentes formations géologiques nous montre qu'elle est composée de granites et roches associées, des migmatites et gneiss, un complexe schisteux birrimien, des roches vertes et des formations sédimentaires.

Méthodologie de travail

La méthodologie de travail adoptée a consisté à :

Pour ce qui concerne le taux de succès :

Une analyse comparée des résultats de prospection électrique et de forage a été menée en vue d'identifier des indicateurs pouvant justifier le fait qu'un forage soit positif ou négatif. Cette analyse s'est faite en regroupant les forages en deux familles qui sont : les forages en zone de granite et ceux en zone de schiste. Les indicateurs identifiés sont :

- le type et la forme des anomalies observées sur les profils électriques,
- l'indice de fracturation,
- les types de sondage électrique
- l'épaisseur d'altération.

Signalons que ces indicateurs sont couramment utilisés dans les différentes campagnes et études hydrogéologiques (Burgeap-CIEH, 1984; CIEH - IWACO, 1990; Nakolemousse, 1991).



Figure 1: Zone du projet PEEN

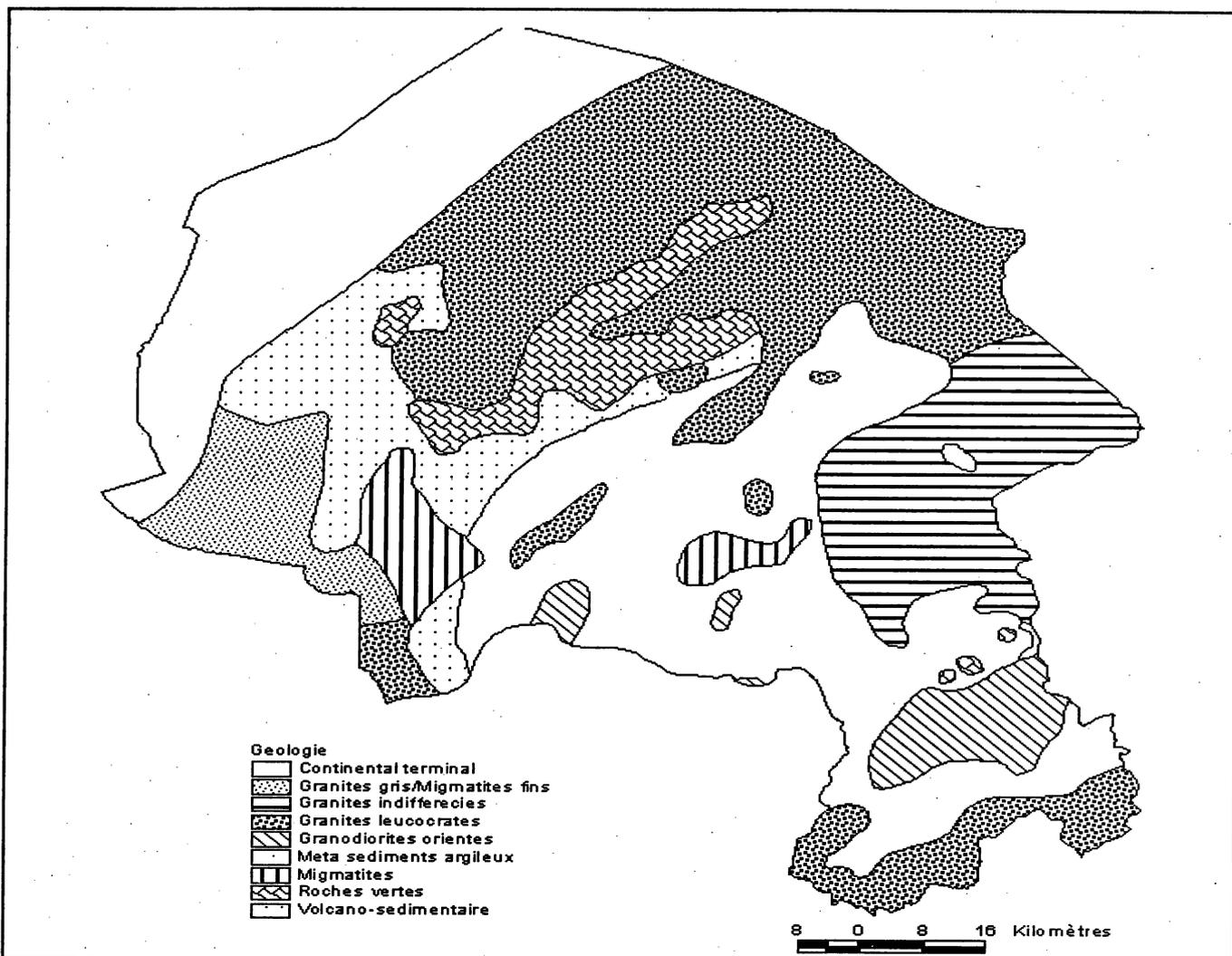


Fig 2: Géologie de la zone d'étude

A partir de ces indicateurs un algorithme d'implantation qui les combine a été mis au point et des simulations ont été réalisées en vue de tester la pertinence des indicateurs et de l'algorithme.

Pour ce qui concerne la mauvaise concordance entre certains résultats géophysiques et ceux de forage:

Une étude bibliographique et des entretiens avec quelques hydrogéologues ayant intervenu dans la zone ont été menés en vue de s'assurer que le phénomène a été noté dans le passé. Par ailleurs quelques sondages électriques ont été réinterprétés avec d'autres outils en vue de confirmer les

premiers résultats obtenus. Enfin une analyse plus fine des résultats a été faite pour rechercher d'autres explications possibles à ce phénomène.

PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS

Les indicateurs de succès d'implantation:

Type et forme d'anomalie:

Type d'anomalie:

Trois grands types d'anomalie électrique ont été identifiés :

- Anomalie de type "Compartiment Conducteur" large (quand la largeur de la zone conductrice

est comprise entre 30 et 80 m) étroit (quand la largeur de la zone conductrice est comprise entre 10 et 30 m),

- Anomalie de type "Palier Conducteur" où l'anomalie se présente sous forme de palier de faible résistivité apparente très large dont les bordures n'apparaissent pas nettement.

- Anomalie de type "Contact" entre deux paliers de résistivités différentes.

Dans la suite nous désignerons par: **CCL** et **CCE**, les Compartiments Conducteurs respectivement Large et Etroit **PC**, le Palier Conducteur

CEDP, le Contact entre deux paliers

Dans l'échantillon du PEEN, les anomalies de type PC et CEDP étant en nombre limité pour être représentatif, nous n'avons considéré dans le traitement que les anomalies de type Compartiment Conducteur. Ce constat (nombre limité d'anomalie de type PC et CEDP) est certainement dû au fait que les géophysiciens du PEEN ont une grande préférence pour les anomalies de type CCL ou CCE et qu'ils évitent dans la mesure du possible de faire des implantations sur des anomalies de PC ou CEDP.

L'analyse du taux de succès en fonction du type d'anomalie a donné les résultats suivants (figure 3). Il apparaît ainsi que:

- quel que soit le type d'anomalie, les taux de réussite les plus élevés se rencontrent en zone schisteuse,
- le Compartiment Conducteur Large (CCL) donne des résultats meilleurs que le Compartiment Conducteur Etroit (CCE) et cela quelle que soit la formation géologique.

Forme des anomalies

Les anomalies rencontrées en profil géoélectrique sont de diverses formes. On en comptabilise sept (7) au total :

- V anomalie pointue, isolée sur un profil,
- U anomalie arrondie, également isolée sur un profil,
- W anomalie en général large dont la partie conductrice est perturbée par un ou plusieurs résistants,
- M anomalie qui peut être en forme de V ou de U mais qui est encadrée par d'autres anomalies conductrices,

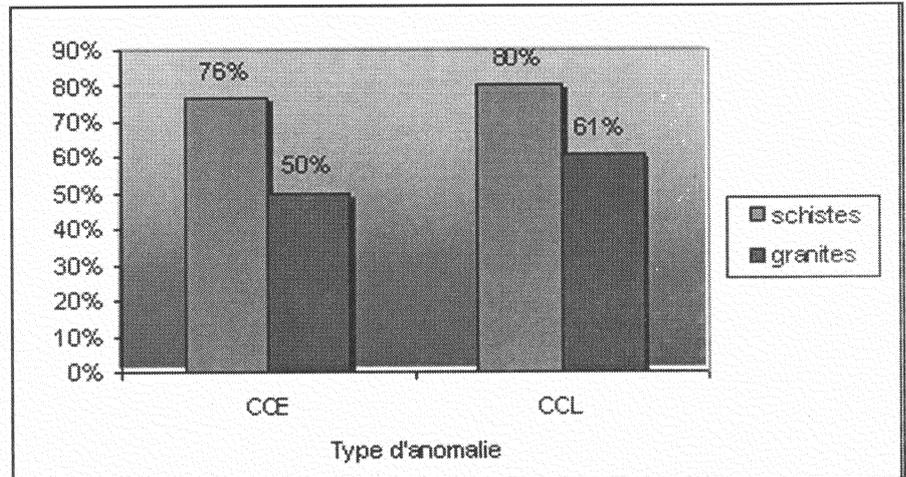


Figure 3 : Taux de succès par type d'anomalie suivant la géologie

- K anomalie de contact géologique montrant un ou plusieurs conducteurs au contact,
- C anomalie de contact ne montrant pas de conducteurs au contact,
- H anomalie à très fort contraste présentant un compartiment conducteur très tranché et de résistivité peu perturbée.

La figure 4 résume toutes les formes d'anomalie sur traîné électrique.

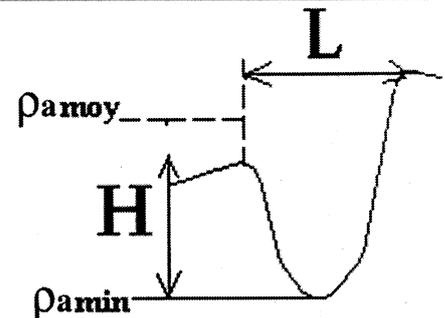
L'analyse du taux de succès en fonction de la forme des anomalies donne les résultats suivants (figure 5):

- les taux de réussite en zone schisteuse sont les plus élevés quelle que soit la forme de l'anomalie,
- la forme de l'anomalie qui donne les meilleurs résultats quel que soit le contexte géologique est celle en U. Les formes en V et H donnent des résultats moins bons ; la forme en H serait celle qui donne des résultats légèrement plus satisfaisants que celle en V.

L'indice de fracturation:

A partir d'un profil électrique donné, une anomalie se présente sous la forme suivante:

L'indice de fracturation IF est



alors défini par l'équation (1):

$$IF = \frac{\frac{H}{L} * 100}{\rho_{a \min}} \quad (1)$$

L'indice de fracturation est un paramètre qui renseigne sur le degré de fracture d'une roche. La manipulation de ce critère paraît plus délicate que pour les autres indicateurs mais d'une manière générale, nous conseillons de ne l'utiliser que quand sa valeur est supérieure à 2.

Dans ce cas les taux de succès sur formation géologique en fonction de l'indice de fracturation sont présentés ci-après :

- en zone de schiste, on a 100% de réussite pour $IF > 2$;
- en zone granitique, la réussite est moins élevée pour la même plage de valeurs de IF;

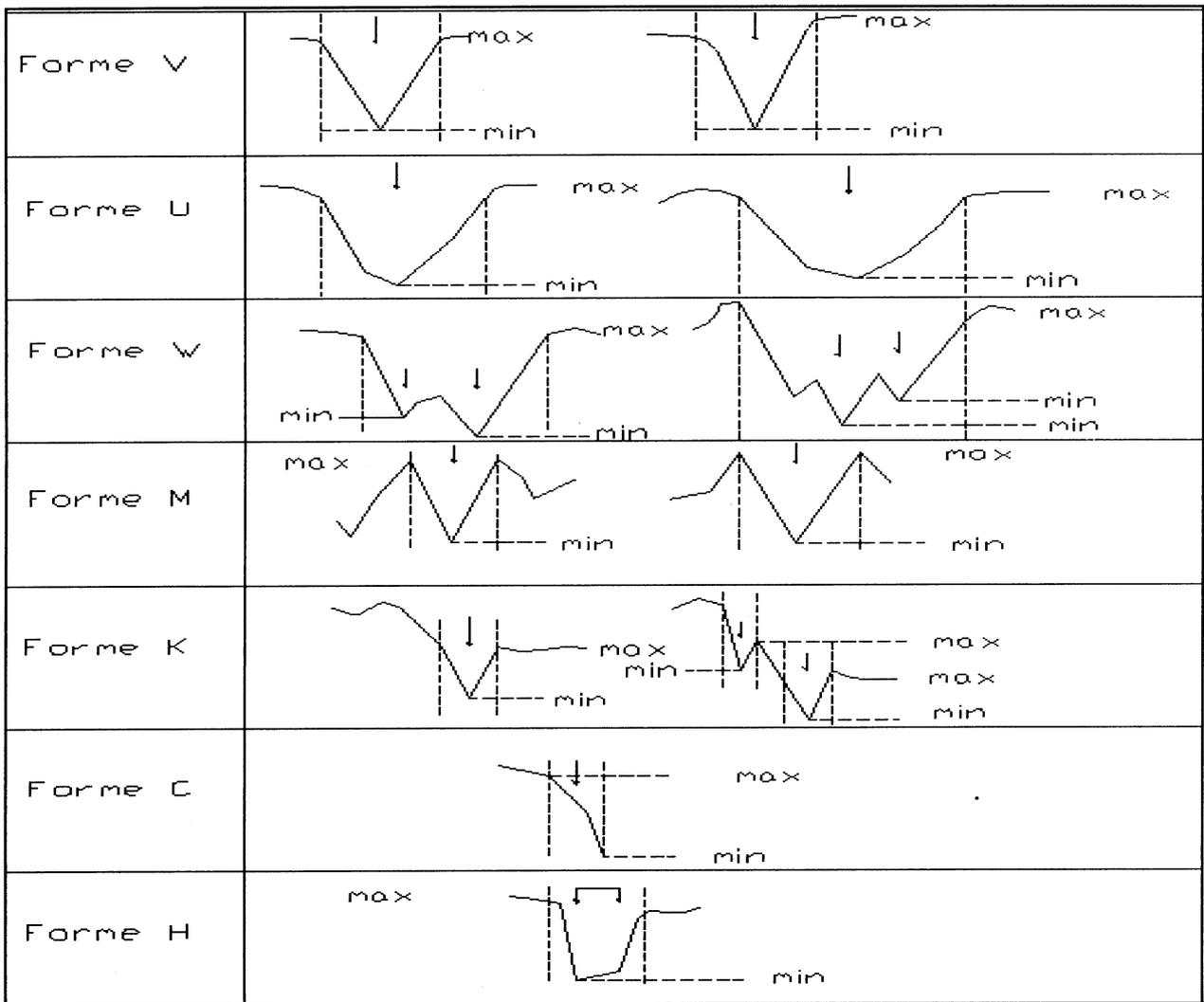


Figure 4 : Les différentes formes d'anomalie

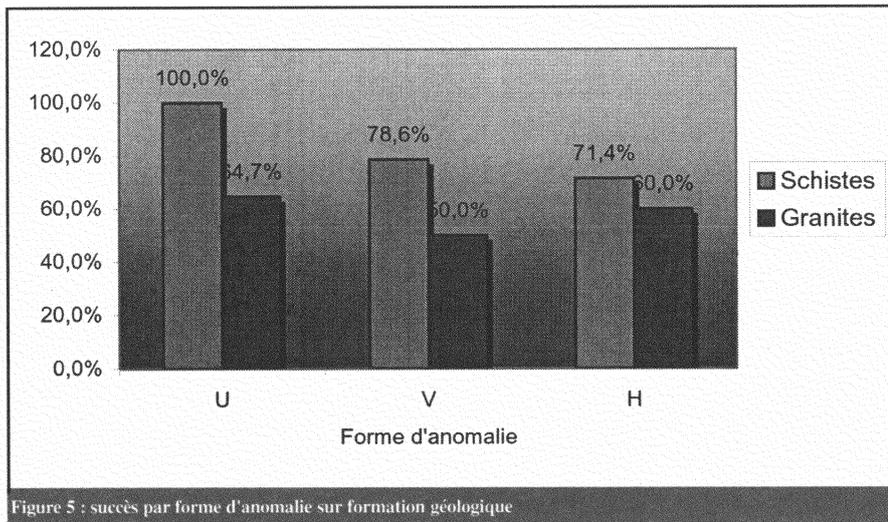


Figure 5 : succès par forme d'anomalie sur formation géologique

- en définitive, le taux de succès croît avec l'augmentation de l'indice de fracturation quelle que soit la formation géologique.

Type de sondage

Dans le cadre du projet PEEN, les types de sondages électriques

les plus rencontrés sont :

- le type A: sondage en escalier montant,
- le type H: sondage en fond de bateau,
- le type KH qui commence par une forme cloche et se termine en fond de bateau.

Les sondages de type H ont été les plus nombreux (40%), les sondages de type KH représentent 15% et les sondages de type A 7%.

La figure 7 représente en fonction du contexte géologique et du type de sondage la répartition du taux de succès.

L'analyse de la figure 7 montre que:
 - En zone de schiste: les types de sondage les plus intéressants sont dans l'ordre: le type A qui peut avoir des taux de succès proche de 100%

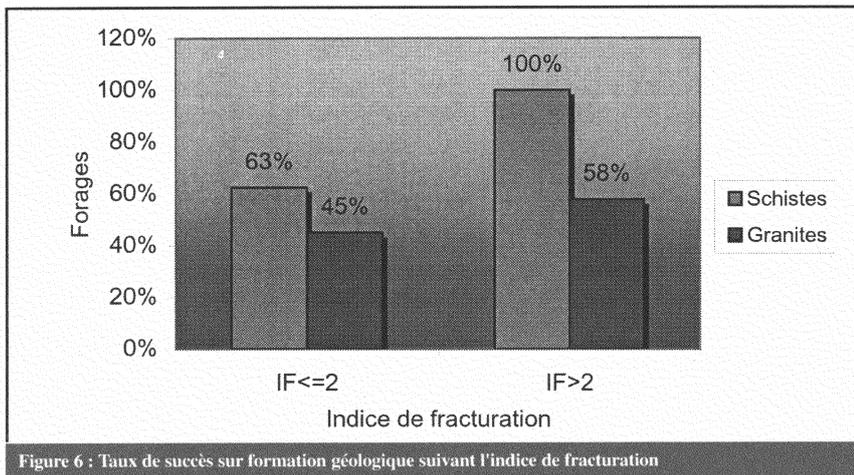


Figure 6 : Taux de succès sur formation géologique suivant l'indice de fracturation

ensuite le type H et le type KH. Signalons aussi que de manière générale en zone de schiste quel que soit le type de sondage, le taux de succès est relativement élevé par rapport à celui en zone de granite.

- En zone de granite, les sondages les plus intéressants sont dans l'ordre: le type KH ensuite les type H et A; ce qui correspond à une tendance inverse à celle qui était observée en zone de schiste.

Epaisseur d'altération

Elle doit être le critère le plus déterminant et on pourrait même considérer qu'il est la résultante des critères précédents. Ceci revient à considérer que plus les critères précédents sont vérifiés plus l'épaisseur d'altération a des chances d'être importante. D'une manière pratique pour analyser l'incidence de l'épaisseur d'altération, nous avons opté pour considérer 4 plages arbitraires d'épaisseurs. La figure 8 présente en fonction de la géologie et des plages d'épaisseur d'altération, l'évolution du taux de succès.

L'analyse de cette figure montre que:

- En zone de granite: les chances de succès croissent avec l'épaisseur d'altération jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 20 à 40 mètres. Au delà de cette plage de valeur, il semble

que cette tendance n'est plus vérifiée. Ce deuxième constat mérite d'être approfondi; en effet nous n'avons pas pu le faire avec pertinence compte tenu de la taille relativement faible de l'échantillon de forages de cette plage.

- En zone de schiste: quelle que soit la plage d'épaisseur d'altération, on enregistre de bons taux de réussite.

- Les taux de 85% et 50% atteints dans les plages de 0 à 20 mètres respectivement en zone de schiste et de granite peuvent ne pas être significatifs compte tenu de la taille moins représentative des échantillons de cette plage.

- En définitive, les épaisseurs d'altération comprises entre 20 et 40 mètres paraissent les plus favorables quelle que soit la nature de la formation géologique.

ALGORITHME D'IMPLANTATION

Une bonne démarche d'implantation de forages en zone de socle doit combiner de manière astucieuse les différents critères ci-dessus identifiés. La figure 9 présente une proposition d'algorithme que nous avons par la suite essayé de tester avec les données du PEEN pour voir son efficacité.

Pour tester cet algorithme ainsi que les critères retenus, nous avons pro-

céder de la manière suivante:

- un lot de 45 forages pour lesquels nous disposons d'une part des informations relatives aux critères géophysiques (épaisseur d'altération selon le sondage électrique, nature et forme de l'anomalie électrique sur laquelle le forage a été implanté, indice de fracturation et type de sondage électrique) et d'autre part des résultats de forage, a été choisi,

- l'algorithme d'implantation a été appliqué à ces forages en identifiant les forages qui selon les critères de l'algorithme devraient être positifs ou négatifs,

- les résultats obtenus sont par la suite comparés à la réalité pour être validés.

Cette démarche a permis d'aboutir à un taux de réussite de 76% alors que le taux actuel du PEEN est de 63% sur un ensemble de 187 forages.

En attendant que cette démarche puisse être utilisée sur des cas totalement réels, ces résultats confortent la pertinence des critères retenus et l'algorithme d'implantation proposé.

INCOHÉRENCE ENTRE RÉSULTATS DE SONDAGE ÉLECTRIQUE ET COUPE GÉOLOGIQUE DE FORAGE

Une des particularités de cette région Nord du Burkina est que dans certaines zones des discordances importantes entre l'épaisseur d'altération calculée à partir d'un sondage électrique et celle trouvée à la fin du forage, sont observées. Du fait que l'épaisseur d'altération est un critère déterminant dans l'implantation des forages, ces discordances rendent l'interprétation des résultats de prospection géophysique difficile et même aléatoire. Pour remédier à cette situation, nous avons tenté de mieux comprendre ce phénomène et

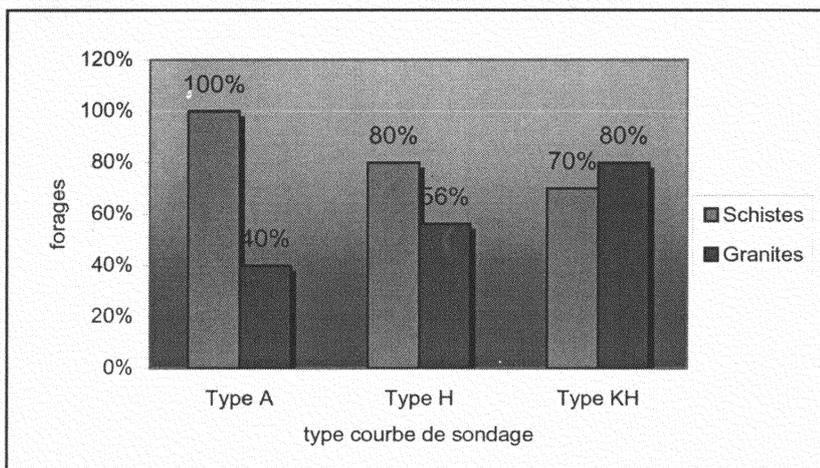


Figure 7 : Taux de succès des types de sondage par formation géologique

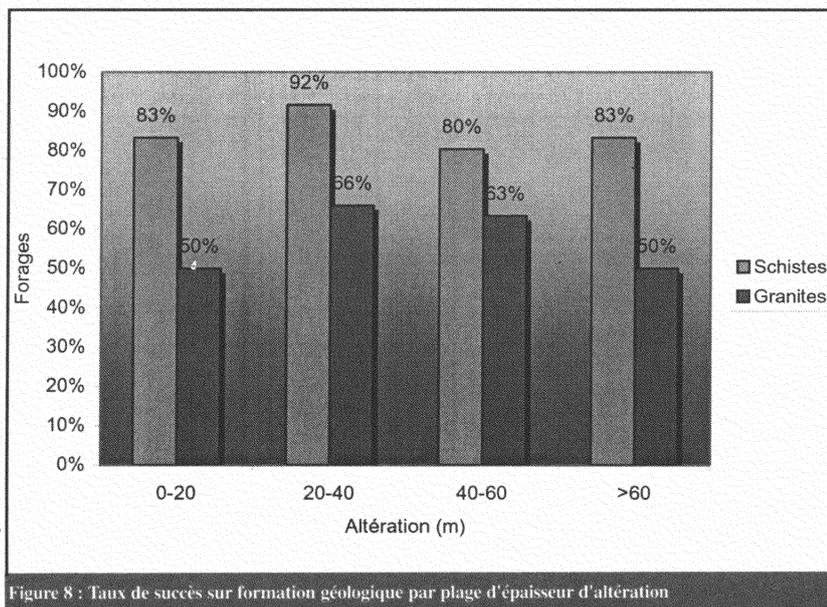


Figure 8 : Taux de succès sur formation géologique par plage d'épaisseur d'altération

de chercher des explications éventuelles. Signalons que ces discordances ont été aussi observées par d'autres intervenants dans cette région.

Pour bien illustrer ce phénomène, nous avons représenté dans les figures 10 et 11, pour deux lots d'échantillons de forages, l'épaisseur d'altération selon la coupe géologique d'une part et d'autre part l'écart relatif calculé de la façon suivante:

Ecart = (épaisseur selon sondage - épaisseur selon forage) / épaisseur selon forage.

Les écarts positifs correspondent à

des épaisseurs d'altération selon les sondages électriques surestimées par rapport à celles des forages. Ces figures montrent que:

- les discordances liées à des surestimations d'épaisseurs d'altération sont plus fréquentes et plus significatives aussi bien en zone de granite qu'en zone de schiste,
- l'écart sur l'épaisseur d'altération dépasse dès fois le double de cette épaisseur en zone de granite. En zone de schiste cet écart peut dépasser cinq fois l'épaisseur d'altération,
- les écarts liés à des sous-estimations restent dans des proportions relativement acceptables.

L'analyse par région administrative

et la représentation cartographique des forages présentant une anomalie relative surtout à une surestimation de l'épaisseur d'altération donnent les résultats du tableau 1.

De cette analyse, nous pouvons tirer les explications possibles suivantes:

- en zone de schiste: les incohérences sont plutôt notées dans des zones où les roches dominantes sont des méta sédiments argileux et des roches volcano-sédimentaires. Dans de tels contextes, on peut penser que la présence d'argile dans la roche jouant le rôle de substratum peut rendre ce dernier conducteur et donner au niveau du signal électrique du sondage une impression d'un substratum profond et donc une forte épaisseur d'altération. En définitive dans ces cas une partie du substratum qui est conducteur est considérée au niveau du sondage comme faisant partie de l'altération et c'est ce qui pourrait expliquer les fortes épaisseurs d'altération notées sur les sondages électriques. On note par ailleurs dans ces cas que la sur-estimation de l'épaisseur d'altération n'a pas une incidence significative sur le taux de succès des forages concernés. En effet ces forages sont pour la plupart positifs si l'implantation est menée en prenant en compte les critères pertinents.

- En zone dit de granite: les incohérences sont souvent notées à la frontière entre une zone de granite et une zone de schiste, dans des zones d'intrusion granitique ou de granite relativement jeune (figure 12). Dans ces cas l'incertitude liée à la sur-estimation de l'épaisseur d'altération à une incidence plus significative sur le taux de succès. L'implantation de forages dans de telles zones s'avère plus délicate.

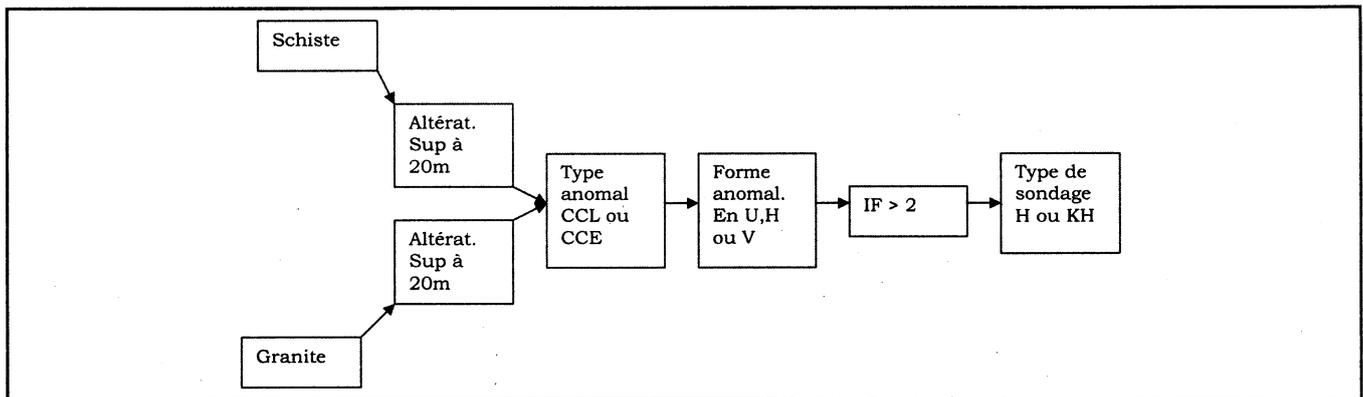


Figure 9 Algorithme d'implantation

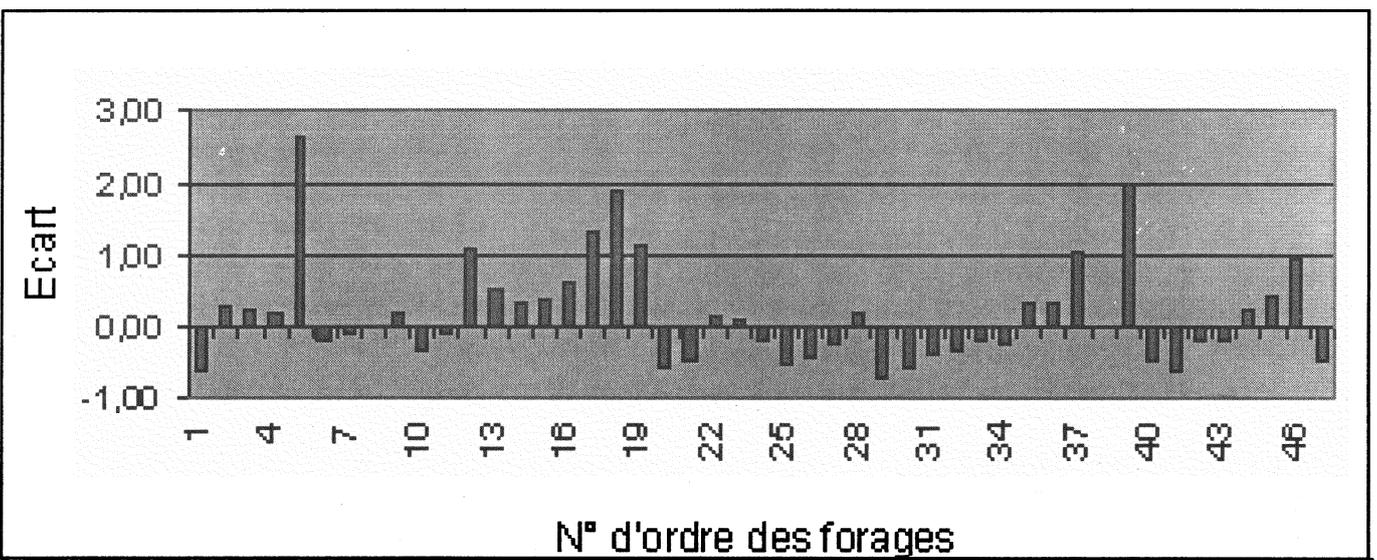
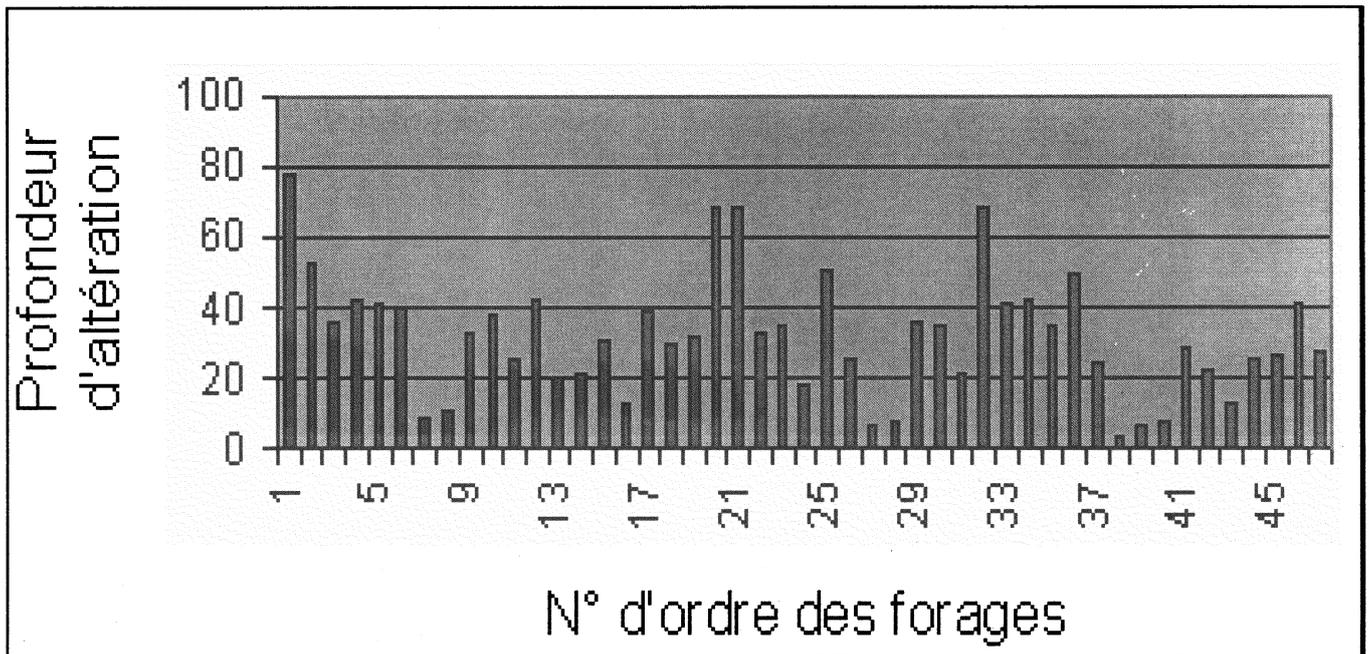


Figure 10: profondeur d'altération selon forage

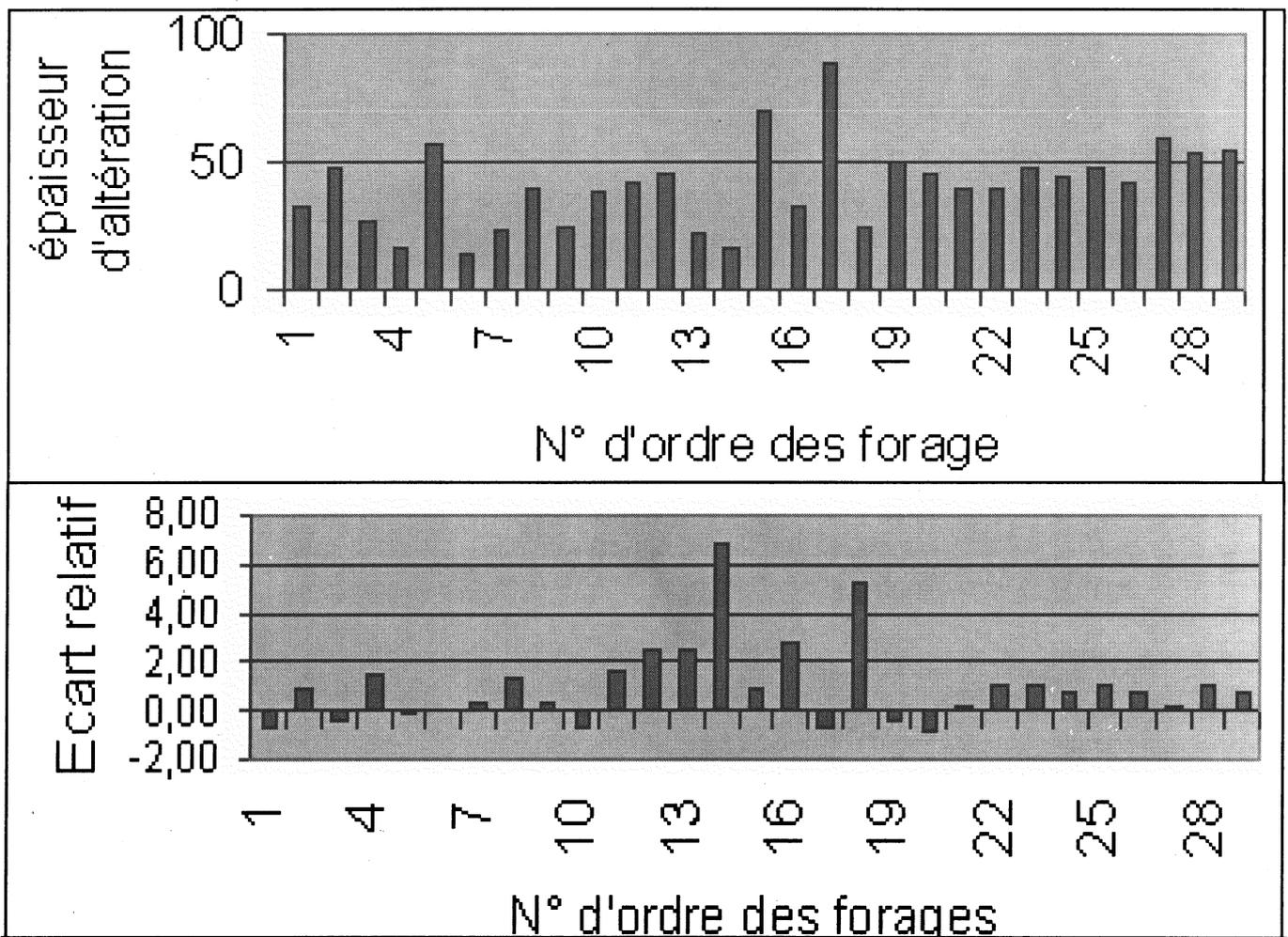


Figure 11: écart relatif entre l'épaisseur d'altération selon le sondage électrique et la foration

Département	Géologie Dominante	Principales incohérences observées sur les épaisseurs d'altérations
Barga		Pas d'observations d'incohérence
Banh	Sédimentaire et granite récent	Sur granite épaisseur correcte, sur schiste épaisseur légèrement sous estimée
Ouindigui	Granite ancien indifférencié	Sur granite épaisseur légèrement sous estimée, sur schiste correcte
Oula	Métasédiments argileux	Sur granite et sur schiste les épaisseurs sont généralement sur estimées
Sollé	Granite récent	Sur granite épaisseur sur estimée
Tangaye	Schiste et migmatite	Pas d'observations d'incohérence
Titao	Granite récent, métasédiments argileux et granite ancien indifférencié	Sur schiste épaisseur d'altération sur estimée, sur granite des sous estimations et sur estimations sont notées
Thiou	Sédimentaire, schiste, migmatites et îlot de roches vertes	Sur granite épaisseur sur estimée, sur schiste épaisseur sous estimée

Tableau 1: analyse par région administrative

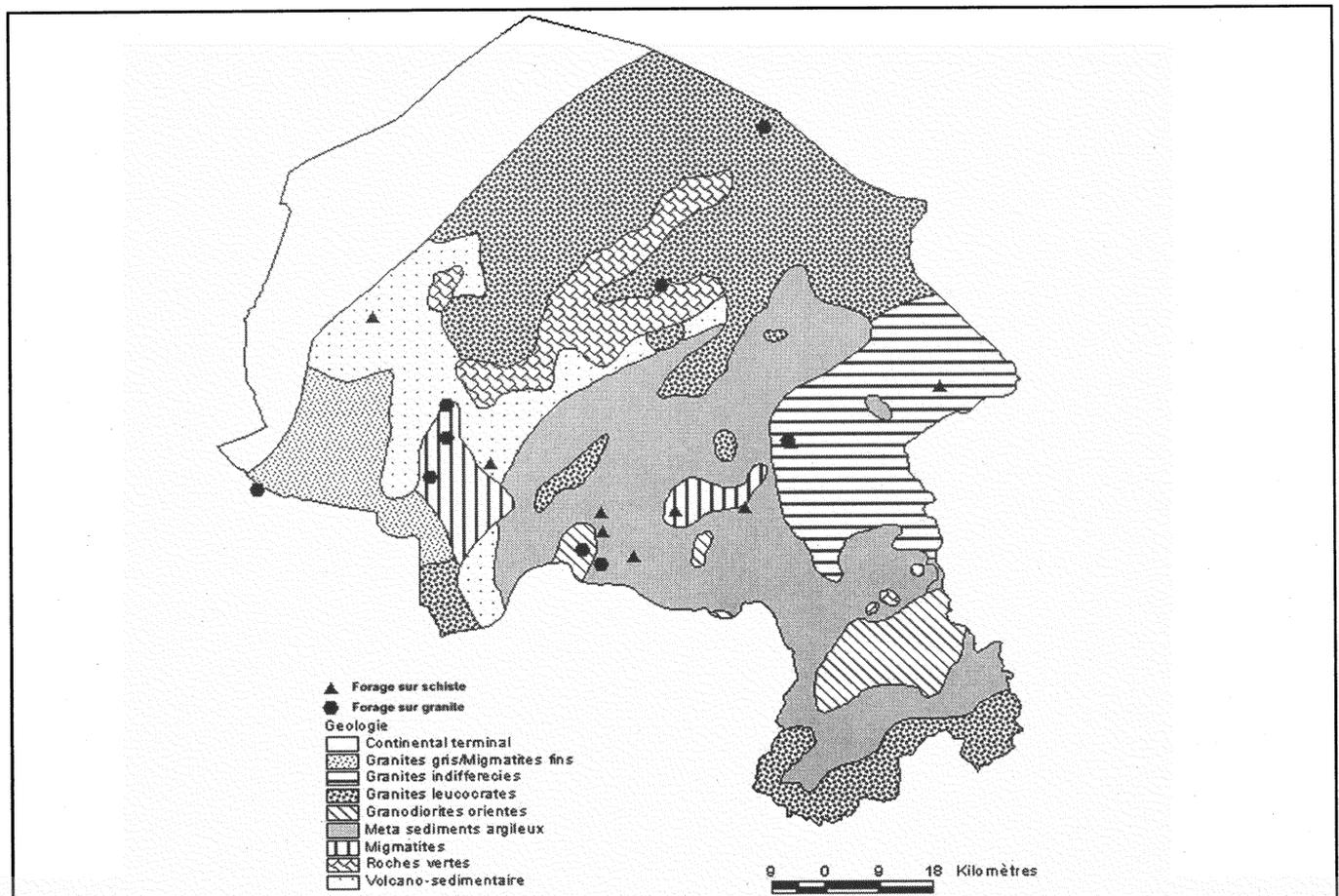


Fig 12: Forages à épaisseurs d'altération surestimée
 NB : Nous avons représenté sur cette figure les forages dont l'épaisseur d'altération est sensiblement surestimée.

La sur-estimation de l'épaisseur d'altération pourrait s'expliquer par la nature de ces granites d'intrusion ou jeunes ou par l'effet des zones schisteuses voisines.

CONCLUSIONS

Ce travail a permis à partir d'une part de données de prospection géophysique et d'autre part de résultats de forage, d'identifier des critères géophysiques qui peuvent assurer un meilleur taux de succès. A partir de ces critères un protocole d'implantation a été mis au point et testé. Il a permis d'améliorer le taux de succès global de plus de 10 % et surtout de donner plus d'outils pour aborder l'implantation de forage en zone relativement difficile.

Ce travail a aussi permis de donner quelques explications à des incohérences qui ont été observées entre les épaisseurs d'altération calculées à partir des résultats de sondages électriques et celles trouvées à l'issue du forage. Ces explications méritent d'être réconfortées par une analyse plus fouillée d'un échantillon plus représentatif d'ouvrages où ces incohérences seraient présentes ■

BIBLIOGRAPHIE

BURGEAP - CIEH 1984: Utilisation des méthodes géophysiques pour la recherche d'eau dans les aquifères discontinus, 164p

P.E. Gamsonré 1975. : Contribution à l'étude géologique des formations pré-

cambrienes de la région de Ouahigouya (Haute Volta) Thèse de doctorat de l'Université de Besançon

CIEH IWACO BV, 1990.: Etude des ressources en eau souterraine dans le Yatenga 131 p.

Nakolemdoussé S, 1991: Méthode d'évaluation de la productivité des sites aquifères au Burkina Faso géologie et géophysique, télédétection. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier Grenoble I, 200 p

Divers documents et fichiers informatiques du Projet Eau et Environnement dans la Région Nord du Burkina.