

UTILISATION DE LA METHODE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE POUR LA RECHERCHE DE CARRIERES GRANITIQUES ET ESTIMATION DU TONNAGE ROCHEUX SUR TROIS SITES: AYAME, BOUAKE ET FERKESSEDOUGOU (COTE D'IVOIRE)

Alexis Kouamé KOUAKOU¹, Nicolas Loukou KOUAME², Simon Pierre DJROH³, Laurent Kouao KOUADIO⁴,
Célestin Boko SOMBO⁵

Etudiants, département de Géologie and Enseignants Chercheurs, département de Géologie Université Félix HOUPOUET-
BOIGNY, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Abidjan, Ivory Coast

¹kkouamealexis@gmail.com, ²moayek@gmail.com, ³djrohsp@gmail.com, ⁴ethenoyau@gmail.com, ⁵achouamou@yahoo.fr

Abstract—Geophysical campaigns based on measuring the electrical resistivity were conducted for determining the volume of massive rocks and usable concepts three separate sites (Ayame, Bouake and Ferkessedougou). The analysis of resistivity maps shows the areas Presence conducive to the exploitation of granite quarries. Have electrical surveys helped determine the Roof depth, power and geometry of exploitable rock.

And compared to other, Bouaké Is The Most Interesting site with 465349.862 t as the exploitable volume of rock, Follow That of Ayamé Who offers 352042.753 t. Finally, the site Ferkessedougou meanwhile Supplied 317245.202 t of solid rock.

Index Terms— Ayamé, Bouake, Ferkessedougou, electrical resistivity, Granit quarry.

I. INTRODUCTION

La route est un facteur essentiel pour le développement économique d'un pays. Son absence ou sa dégradation a toujours eu un impact négatif sur l'ensemble des activités économiques d'une région.

En Côte d'Ivoire, malgré les efforts accrus de l'Etat dans le domaine des infrastructures routières, on note encore des insuffisances relatives à la dégradation des voies et surtout l'inexistence de routes dans certaines localités du pays.

Cette étude vise à déterminer le tonnage de roches granitiques pouvant servir de granulats en vue de couvrir les travaux de bitumage des voies dans trois localités de la Côte d'Ivoire que sont Ayamé, Bouaké et Ferkessedougou.

A. Cadres géographique et géologique des zones étudiées

Ayamé est une ville du Sud-est de la Côte d'Ivoire dans la région du Sud-Comoé dont Aboisso est le chef-lieu. Elle est située à la jonction entre la latitude 5° 28' nord et la longitude 3° 14' ouest, avec une population estimée à environ 21 806 habitants (INS, 2010). La géologie de cette localité est dominée par les granitoïdes qui se sont mis en place autour de 2,1 Ga (Delor et al., 1992 ; Adou et al., 1995) (figure 1).

Bouaké, Chef-lieu de la région du Gbêkê, avec une population estimée à 727 674 habitants (INS, 2010), est située à la latitude 7°69' Nord et 5°03' de longitude ouest (fig 1). On y rencontre les formations protérozoïques qui sont majoritairement constituées de granitoïdes (Ouattara et al., 1998) (figure 1).

Ferkessedougou, située dans la région du Tchôlôgô dont elle est le chef-lieu, a une population estimée à 111 647 habitants (INS, 2010). Cette ville se trouve à 9°32' de latitude nord et 6°29' de longitude ouest. Les roches birimiennes principalement les volcanites, granitoïdes, et volcano-sédiments sont les différentes formations géologiques rencontrées dans cette région (Ouattara et al., 1998) (fig 1).

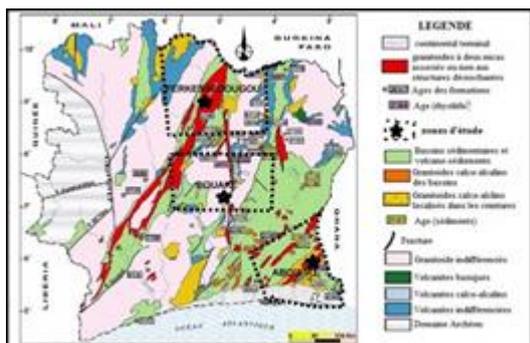


Fig 1: Schéma simplifié des ensembles géologiques en Côte d'Ivoire et localisation des sites d'étude (Tagini, 1972)



Fig 3: Accessoires du résistivimètre

Tableau I : différents logiciels utilisés

Logiciels	Objectifs
Ip2win et winsev	Interpréter les données des sondages électriques
Mapinfo	Numériser et modifier les cartes géoélectriques
Geosoft	Confectionner les cartes de résistivité
Proxys II	Transférer et dépouiller les données

Après l'acquisition, plusieurs logiciels spécifiques ont été utilisés pour le traitement des données au cours de cette étude (tableau 1).

2) Méthode de résistivité électrique

a) Principe

La méthode de résistivité électrique, mise en œuvre au cours de cette étude, est une méthode

classique pour la recherche de carrière granitique. Elle consiste à injecter du courant continu dans le sol à l'aide des électrodes A et B et à en mesurer la différence de potentiel entre deux autres électrodes M et N comprises entre A et B (fig 4). Pour cette étude, deux techniques de mesure de résistivité ont été utilisées ; le trainé et le sondage électriques.

B. Matériel et Méthode

1) Matériel d'acquisition et de traitement

Le matériel utilisé pour l'acquisition des données est composé principalement d'un résistivimètre de type Syscal Pro avec ses accessoires (fig 2 et 3). En outre, ce levé géophysique a nécessité l'usage de matériel annexe composé de boussole et de GPS qui ont respectivement permis de planifier l'ouverture des différents layons et de marquer les coordonnées des points de mesures.



Fig 2: Résistivimètre

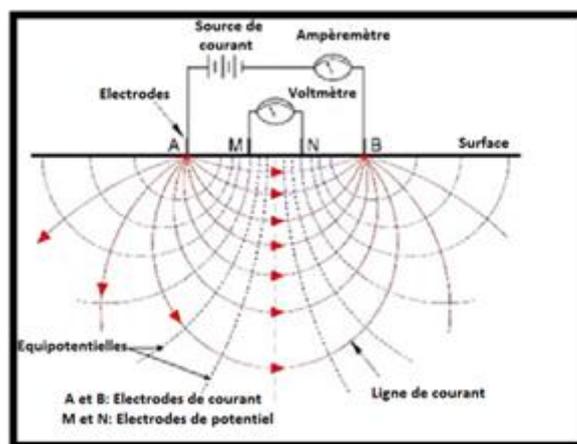


Fig 4: Principe de la méthode de résistivité

b) Trainé électrique

Le traîné électrique est conçu pour investiguer sur une épaisseur de terrain plus ou moins constante et fournir des informations qualitatives sur les variations latérales des propriétés électriques du sous-sol (Chapellier, 2000). Il met en évidence les contrastes de résistivité latérale (zone fracturée, contact lithologique), pour une épaisseur d'investigation constante.

Au cours de ce projet, les mesures ont été prises avec le dispositif gradient rectangle (figure 5) ; les électrodes A et B, distantes de 400 m, sont maintenues fixes aux extrémités du profil principal tandis que M et N, séparées de 10 m, sont déplacées de façon parallèle ou colinéaires à la ligne AB. La valeur de résistivité apparente obtenue est rapportée au centre des électrodes M et N avec un pas de mesure fixée à 10 mètres. Les traînés sont réalisés de sorte à recouper la direction des structures géologiques des sites étudiées. Aussi, sont-ils exécutés parallèlement et perpendiculairement ou sécants entre eux.

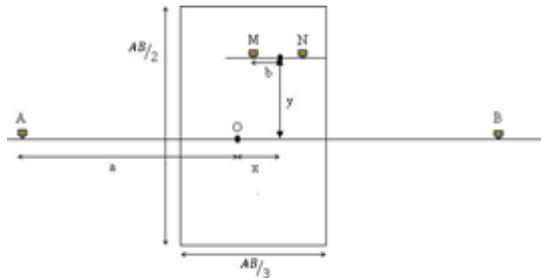


Fig 5 : Schema du dispositif gradient rectangle

c) *Sondage électrique*

La réalisation d'un sondage électrique consiste à prendre des mesures de résistivité apparente (ρ_a) en faisant varier l'écartement des électrodes de courant (A et B) et de potentiel (M et N) par rapport à un point central fixe (Fig 6).

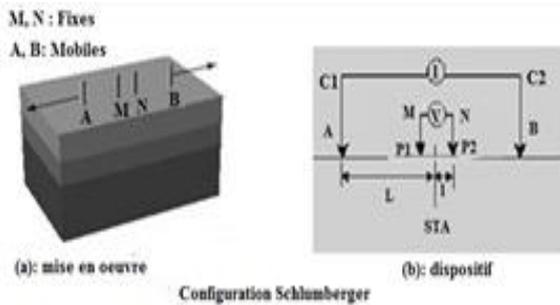


Fig 6 : Mise en œuvre d'un sondage (Chouteau M. et Giroux B. 2006)

Les différentes données permettent d'obtenir une courbe de résistivité apparente en fonction de la distance AB. Elle est ensuite interprétée pour fournir un modèle géologique 1D du sous-sol.

d) *Méthode de calcul du tonnage rocheux*

Généralement, le calcul du volume (V) d'un corps requière la connaissance de sa superficie (S) et sa hauteur (H). Pour ce travail, la superficie de la zone exploitable a été déterminée par le logiciel MapInfo (fig 7) ; la hauteur ou l'épaisseur, quant à elle, est donnée par l'interprétation des courbes de sondages électriques. Ensuite, le produit du volume par la densité permet d'obtenir le tonnage du matériau recherché.

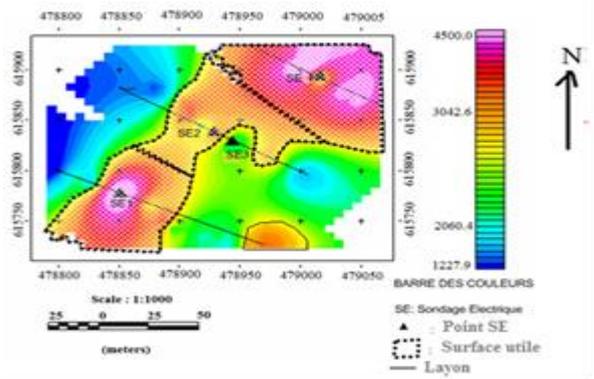


Fig 7 : Carte montrant la superficie exploitable déterminée par le logiciel Map Info, exemple du site d'Ayamé

3) *Résultats et interprétation*

a) *Site d'Ayamé*

Le traîné électrique a permis de faire une investigation latérale pour renseigner sur la répartition des formations de manière locale. La carte de résistivité apparente du site d'Ayamé (fig 8) révèle un ensemble de formations géologiques orientées préférentiellement NE-SW, composées de trois signatures électriques, correspondant à trois types de formations différentes. La formation à faible valeur de résistivité (colorée en bleu) qui évolue de 1200 à 2000 Ωm , correspond à une formation conductrice inintéressante pour un projet de carrière. La zone anormale recherchée est caractérisée par les couleurs rougeâtre et violette avec une résistivité comprise entre 2600 et 4500 Ωm . Elle peut être exploitée comme carrière de roche granitique en raison de sa résistivité élevée indiquent probablement une abondance de quartz dans la composition minéralogique de la roche locale. Une cartographie récente de cette zone (Delor et al., 1992 ; Adou et al., 1995) a révélé un ensemble de massifs circonscrits (granites à deux micas), d'orientation NE-SW. Les résistivités moyennes, caractérisées par la couleur verte indiquent, sans doute la zone de contact entre les domaines conducteurs et résistants. La carte de résistivité a permis de positionner plusieurs sondages électriques en vue de connaître le toit de la roche granitique.

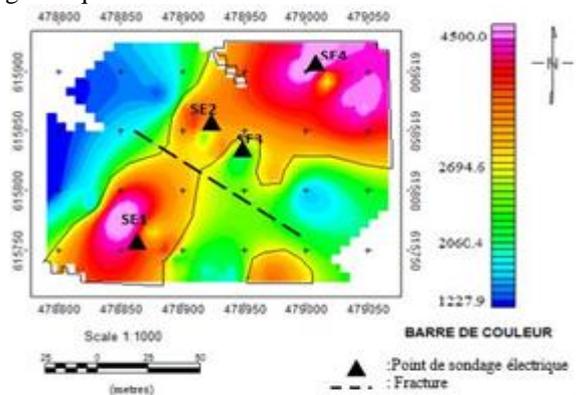


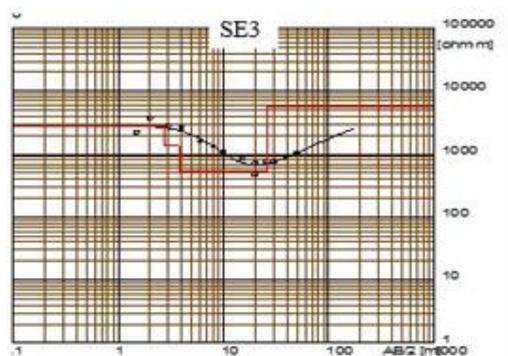
Fig 8 : Carte de la résistivité apparente d'Ayamé

➤ Sondage SE3

La courbe du sondage SE3 (fig 8) montre un modèle en « fond de bateau ». Elle révèle la présence de trois couches géologiques. La première couche correspond à la cuirasse latéritique avec 2869 Ωm , la seconde avec une résistivité de 755 Ωm , s'apparente à l'altérite argilo-sableuse humide, enfin le socle avec une résistivité de 5682 Ωm . Ici, le toit de la roche massive, profond de 26 m, ne permettra pas une bonne exploitation, car il faudra decaper 26 mètres de débris avant d'atteindre la partie intéressante.

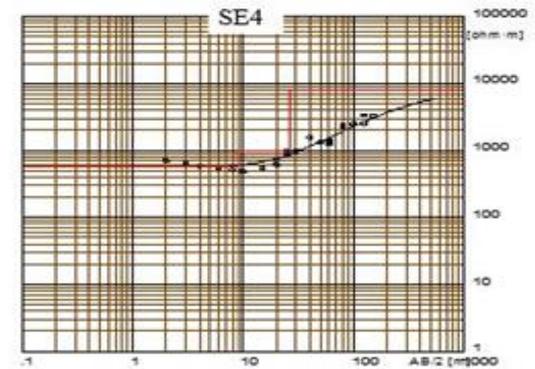
➤ Sondage SE4

La courbe du sondage SE4 (fig 9) est également du type « fond de bateau ». Elle indique la présence de trois formations ayant respectivement 795 ; 573 et 8019 Ωm comme valeurs de résistivité. La première couche correspond à la cuirasse latéritique (795 Ωm), ensuite l'altérite argilo-sableuse (573 Ωm) et enfin, le socle (8019 Ωm) dont le toit, situé à 26 m, pourrait également compromettre une exploitation aisée car il va falloir décaper une énorme épaisseur de couches sus-jacentes.



Résistivités (Ohm.m) :	2869 ; 755 ; 5682
Epaisseur (m) :	2.8 ; 22 ;
Profondeur (m) :	0.0 ; 2.8 ; 26

Fig 8 : Courbes du sondage électrique SE3



Résistivités (Ohm.m) :	795 ; 573 ; 8019
Epaisseur (m) :	9.2 ; 17 ;
Profondeur (m) :	0.0 ; 9.2 ; 26

Fig 9 : Courbes du sondage électrique SE4

b) Site de Bouaké

La carte de résistivité apparente (fig 10), du site de Bouaké révèle un ensemble de formations géologiques orientées préférentiellement E-W, composées également de trois signatures électriques correspondant à trois types de formations géologiques. On distingue une formation conductrice (coloration bleue) avec des résistivités inférieures à 1000 Ωm , située dans les parties nord et sud du site d'étude. Cette zone ne peut pas constituer une carrière de granite eu égard à la rareté des minéraux clairs (quartz, feldspath...) rendant donc la zone conductrice. Il y a également une zone résistante située au centre du site étudié avec des résistivités comprises entre 3000 et 9000 Ωm . Cette zone, correspondant aux granitoïdes selon (Ouattara et al., 1998), suscite un grand intérêt pour l'extraction de matériaux de construction (granulat de granite).

Des sondages électriques ont été réalisés en vue d'estimer le toit de la roche exploitable.

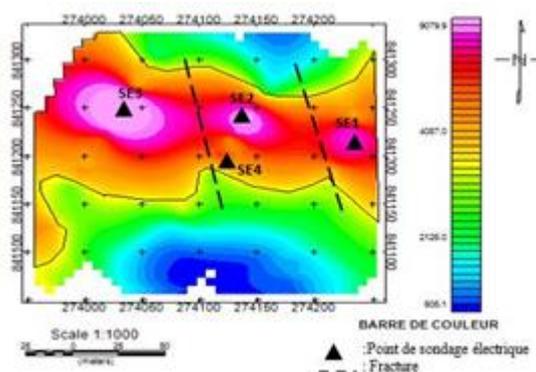


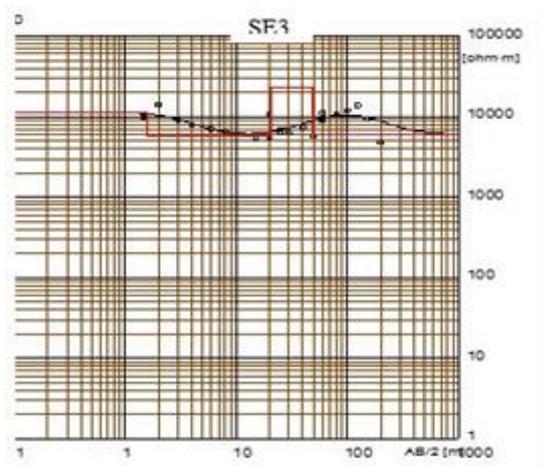
Fig 10 : Carte de résistivité apparente, site de Bouaké

➤ Sondage SE3

Le profil du sondage SE3 (fig 11) montre une succession de courbes en « fond de bateau » et en « cloche » ; indiquant la présence de quatre terrains. La première couche, avec une résistivité de 14475 Ωm , correspond à la cuirasse latéritique, suivie d'une couche probablement argilo-sableuse (5697 Ωm) ensuite vient l'altérite résistante (22705 Ωm) et enfin le substratum altéré (6000 Ωm). Ici, le toit de la roche saine n'a pas été atteint, ce qui peut constituer un obstacle pour l'exploitation de la carrière.

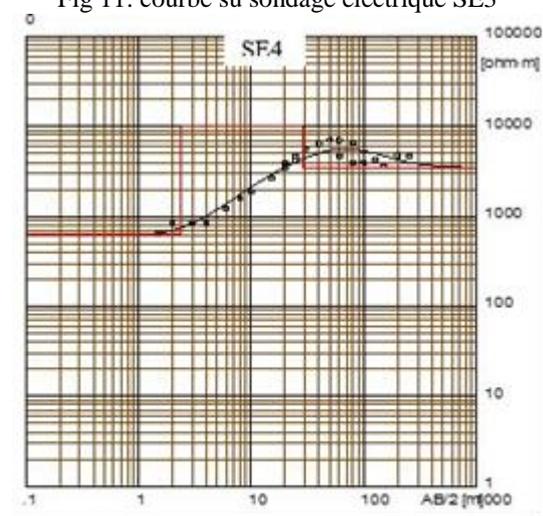
➤ Sondage SE4

La courbe du sondage SE4 (fig 12) est un modèle en « cloche » mettant en exergue trois formations. La première couche, de résistivité 629 Ωm , correspond aux produits issus de l'altération, suivie du socle (9961 Ωm) et enfin la frange fissurée (3501 Ωm). Ici, la roche massive est superficielle (2,4 m de profondeur), ce qui constituerait un atout pour l'exploitation de la carrière. Cependant, il y aurait une arrivée d'eau dans des fissures qui se situent à 28 mètres de profondeur.



Résistivités(Ohm.m) :14475;5697;22705 ; 6000
 Epaisseur (m) : 1,6 ; 19 ; 28 ;
 Profondeur (m): 0.0 ; 1,6 ; 21 ;

Fig 11: courbe su sondage électrique SE3



Résistivités (Ohm.m) : 629 ; 9961 ; 3501
 Epaisseur (m) : 2,4 ; 26 ;
 Profondeur (m): 0.0 ; 2,4 ; 28

Fig 12: Courbe du sondage électrique SE4

c) Sites de Ferkessédougou

La carte d'isorésistivité (fig 13), met en évidence deux principales formations géologiques orientées grossièrement NE-SW. La zone exploitable, avec des résistivités élevées, est localisée au centre du site étudié et offre une grande superficie de roche probablement granitique, ce qui constitue un atout. Elle correspond certainement aux granitoïdes d'âge protérozoïque qui se sont mis en place tardivement autour de 2094±6 Ma (Kouamélan, 1996). Les zones présentant les résistivités faibles (coloration bleue), moins intéressantes pour une exploitation forment une bande de roche conductrice qui ceinture la surface utile.

Quatre sondages électriques ont été exécutés pour la suite du travail.

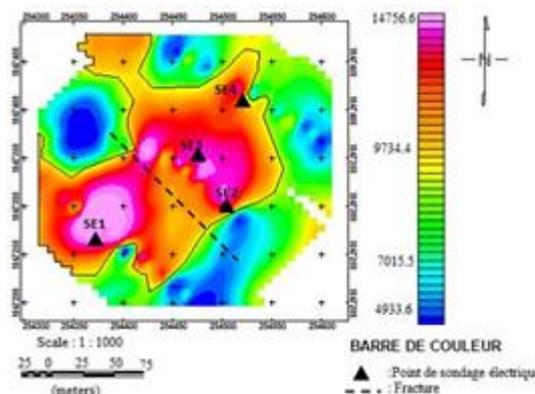


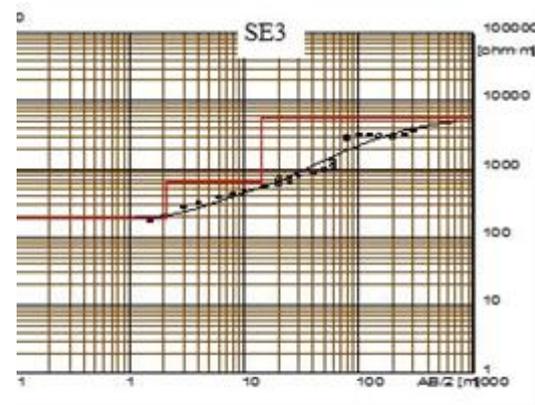
Fig 13: Carte de résistivité apparente (site de Ferkessédougou)

➤ Sondage SE3

La courbe du sondage (fig 14) montre une « seule branche montante ». Elle indique deux terrains de résistivité différente. La première couche, avec une résistivité de 631 Ωm, correspond à l'altérite argilo-sableuse suivie du socle (5591 Ωm) qui offre un endroit propice pour l'exploitation de carrière (granite) à cause de sa position très superficielle.

➤ Sondage SE4

La courbe du sondage (fig 15) est un type en « cloche » montrant une succession de trois terrains. La première couche correspondrait aux altérites suivies du socle sain (20668Ωm). Le dernier terrain est une zone fissurée probable (6361Ωm). La roche massive peut être exploitable comme carrière, cependant, la fracturation de cette roche en dessous pourrait limiter son exploitation.



Résistivités (Ohm.m) : 631 ; 5591
 Epaisseur (m) : 2.1
 Profondeur (m): 0.0 ; 2.1

Fig 14: courbe du sondage électrique SE3

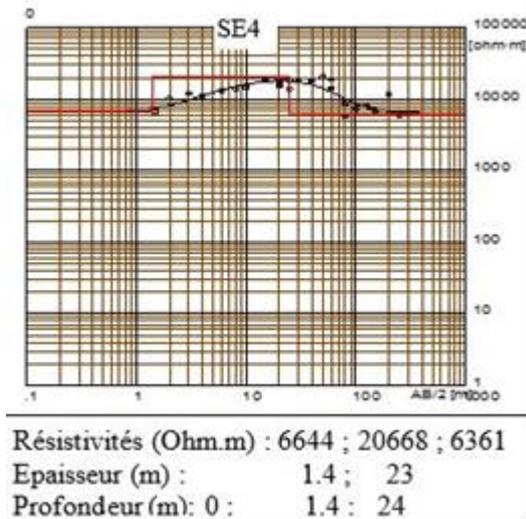


Fig 15: courbe des sondages SE4

d) Estimation du tonnage rocheux

Pour le calcul de volume rocheux, seuls les sondages situés sur les zones intéressantes et une épaisseur de 50 m de roche granitique ont été considérées, exceptés les sondages SE4 dans les sites de Bouaké et Ferkessédougou où il y aurait une arrivée d'eau autour de 26 m.

Site d'Ayamé

Le tonnage rocheux (Q1) : $Q1 = 130386.205 \times 2.7$
 $Q1 = 352042.754$ tonnes

Site de Bouaké

Le tonnage rocheux (Q2) : $Q2 = 172351.801 \times 2.7$
 $Q2 = 465349,863$ tonnes

Site Ferkessédougou

Le tonnage rocheux (Q3) : $Q3 = 117498.223 \times 2.7$
 $Q3 = 317245.202$ tonnes

e) Discussion

L'utilisation de la méthode de résistivité pour la recherche de carrière granitique est de plus en plus récurrente car elle donne des résultats satisfaisants pour la quantification de la masse rocheuse exploitable.

En effet, ADA H., (2006), a utilisé la méthode de la résistivité pour faire la modélisation à trois (3) dimension des massifs rocheux en vue d'une exploitation de carrière au Madagascar.

Cette même approche apparait dans plusieurs travaux scientifiques comme Sombo, (1978), qui a utilisé les sondages électriques couplés à la sismique réfraction pour la détermination d'un gîte d'ophite.

La plupart des sondages électriques ont révélé la présence de trois couches, l'une des caractéristiques du milieu cristallin,

ce qui concorde aux résultats de Sombo et al., (2011), obtenus dans le département de Sikensi, au sud de la Côte d'Ivoire.

Au cours de ce travail, la résistivité a mis en évidence, les structures conductrices et résistantes orientées NE-SW, ce qui permet de rattacher les différents sites étudiés au birrimien. Cette assertion est largement partagée par Tagini, (1971) qui attribue la direction NE-SW au birrimien.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce travail visait à utiliser la résistivité des roches dans la recherche des carrières de granitoïdes. Les techniques de mesure ont été exécutées en utilisant les dispositifs Schlumberger pour le sondage et gradient rectangle pour le trainé électrique.

Les cartes de résistivité et les courbes de sondage électrique ont permis de connaître respectivement la variation latérale lithologique et la profondeur d'enracinement de la roche massive qui fait l'objet d'une exploitation.

Les différents sites étudiés à savoir Ayamé, Bouaké et Ferkessédougou offrent des masses rocheuses exploitables estimées respectivement à 352042.753 tonnes ; 465349.862 tonnes et 317245.202 tonnes.

Sur l'ensemble des sites étudiés, il ressort que la formation recherché (roche saine) n'affleure pas et est fracturée par endroits. Cette fracturation du socle, pourrait constituer un obstacle majeur pour l'exploitation des différents « gisements » identifiés à cause d'une éventuelle présence d'eau souterraines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ADA H., (2006). Modélisation à trois dimensions des massifs rocheux, utilisant la technique d'imagerie électrique appliquée aux trois carrières d'andalamby, d'ankilibobo et d'ereheta de la rue numéro 13, Mémoire de Master, Université d'Antananarivo, Madagascar, 84 p.
- [2] ADOU M., DELOR C., SIMEON Y., ZAMBLE Z.B., KONAN G., YAO B.D., VIDAL M., DIABY I., CAUTRU J.P., CHIRON J.C., DOMMANGET A. et COCHERIE A. (1995). Carte géologique de la Côte-d'Ivoire à 1/200 000 ; feuille Abengourou, Direction des Mines et de la Géologie, Abidjan, Côte-d'Ivoire.
- [3] CHAPPELLIER D. (2000). Prospection électrique de surface ; cours de l'université de Lausanne-institut français du pétrole, Lausanne, Suisse, 99 P.
- [4] CHOUREAU M. et GIROUX B. (2006). Géophysique appliquée II GLQ 3202 Méthodes électriques notes de cours ; école polytechnique, Montréal, Canada, 81 P.
- [5] DELOR C., IBRAHIMA D., TASTET J.P., YAO B., SIMEON Y., VIDAL M. et DOMMANGET A. (1992). Carte géologique de la Côte-d'Ivoire à 1/200 000, feuille Abidjan, 1ère édition. Direction de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- [6] INS : Institut National de Statistique, Côte d'Ivoire.

- [7] KOUAMELAN A. N. (1996). Géochronologie et géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire, implication pour la transition archéen-protérozoïque. Thèse de Doctorat. Univ. Rennes, France, 227 p.
- [8] OUATTARA G., VIDAL M., POUCKET A. et DOUMBIA S. (1998). Interprétation structurale de l'ensemble granitique de Ferkessédougou (Côte-d'Ivoire). 17ème RST BREST-FRANCE, Poster.
- [9] SOMBO A. P.; SOMBO A. P., KOUAKOU K. E. G., SOMBO B. C., KEITA D., KOUADIO K. E. W. et KOUAME L. N., (2011). Contribution de la Prospection Électrique à l'identification et à la Caractérisation des Aquifères de Socle du Département de Sikensi (Sud de la Côte d'Ivoire), European Journal of Scientific Research, Vol. 64 No 2, pp. 206-219.
- [10] (10) SOMBO B. C. (1978). Etude sismique de subsurface avec essai d'obtention des ondes S.
- [11] Application de la réfraction légère et du sondage électrique à l'étude d'un gîte d'ophite. Thèse de Doctorat 3eme cycle, Univ. Bordeaux 1 (France), 126 p.
- [12] (11) TAGINI B. (1972). La carte géologique au 1/100000 de la Côte d'Ivoire.