

Contribution de la géophysique au choix du site d'une cimenterie. Cas de la cimenterie du Jebel Rouissat (Tunisie Central)

Asma HAMED FERJANI ^{1*}, Rihab GUELLALA ¹⁻², Mohamed Hédi INOUBLI ¹ et Farhat BEN M'BAREK ³

¹ Unité de Recherche de Géophysique Appliquée aux Minerais et aux Matériaux

² Centre de Recherches et Technologies des Eaux de Borj Cedria

³ Office National des Mines

Abstract. The upper Cretaceous limestones of Jebel Rouissat (Center of Tunisia) constitute an important source of raw material for cement production. However, these layers are characterized by karsts limited by various direction fractures.

To detect the zones at risk of karsts in view to determinate the adequate site for a future cement factory at Jebel Rouissat, three geophysical methods are used. In the first step five vertical electrical soundings and five horizontal profiles are performed. Any karst is highlighted from the data interpretation. In the second step, the geophysical prospection is extended towards the north; seven VLF profiles are realized. They show four zones at risk of karsts associated to different fractures.

Keywords: *Cement, Cretaceous, VLF profiles, karsts, Djebel Ruissat.*

Résumé. Les calcaires du Crétacé supérieur du Djebel Rouissat (Centre de la Tunisie) constituent une importante source de matière première pour la production de ciment. Cependant, ces couches sont caractérisées par des karsts limitées par des fractures de différentes directions.

Pour détecter les zones à risques de karsts en vue de déterminer le site adéquat pour une future cimenterie trois méthodes géophysiques sont utilisés. Dans la première étape cinq sondages électriques verticaux et cinq profils de traîné électrique sont réalisés. Aucun karst n'est mis en évidence à partir de l'interprétation des données. En seconde étape, la prospection géophysique a été étendue vers le nord; sept profils VLF sont exécutés. Ils montrent quatre zones à risque de karsts associées à différentes fractures.

Mots clés: *Ciment, Calcaire, Profils VLF, Karsts, Djebel Ruissat.*

1. Introduction

Les ciments constituent les matériaux de construction de base pour différents types d'ouvrages (routiers, hydrauliques, immobiliers...). Ainsi, l'installation d'une cimenterie est un excellent projet pour le développement économique et social d'une région. Le choix du site de la cimenterie est primordial pour garantir sa réussite. Il doit répondre à différents critères qui sont essentiellement la stabilité de terrain de construction, la proximité des carrières de matières premières et l'accès facile.

* Corresponding author.

E-mail: ferjaniasma2013@gmail.com (HAMED FERJANI A.).

Adresse: Unité de Recherche de Géophysique Appliquée aux Minerais et aux Matériaux, Tunisie

Les calcaires crétacés supérieurs du Jebel Ressay (Centre de la Tunisie) constituent une excellente matière première pour la fabrication du ciment. La construction d'une cimenterie à proximité de ce Jebel paraît ainsi un intéressant investissement.

Les calcaires de Jebel Rouissat sont caractérisés par leur karstification qui entraîne des mouvements dans le sol sus-jacent et favorise la circulation des eaux souterraines. Ainsi la construction de tout ouvrage aux alentours du Jebel Rouissat nécessite une bonne reconnaissance du sous sol.

En se basant sur les données géophysiques, cette étude vise à cerner la zone appropriée pour l'installation d'une future usine de ciment en détectant les zones à risques de karsts.

Dans le domaine de génie civil, la géophysique peut résoudre différents problèmes ; elle peut intervenir dans la détection de cavités souterraines (Frappa et Muraour, 1980 ; Beres et al., 2001 ; El Khammari et al., 2007) , l'étude de glissements de terrain (Schmutz et al., 1999 ; Grandjean et al., 2006) , la détermination de fissures et de fractures dans le sous sol (Djilali et al., 2009 ; Khaldaoui et al., 2009)....

2. Etude structurale

L'étude structurale d'un terrain situé à l'extrémité orientale du Jebel Rouissat montre que les karsts caractérisant les calcaires du Crétacé supérieur sont associés à des fractures ayant différentes directions.

Le réseau des fracturations (Fig.2) mis en évidence est composé

- Les fractures de direction N120 – N130 (NW-SE) : sont les plus représentées dans le terrain étudié. Elles sont généralement très peu ouvertes à complètement fermées.
- Les fractures de direction N160-N10 (N-S) : ne sont pas fréquentes dans le site, mais leur importance de point de vue mouvement et rôle est assez déterminante. En effet, ces fractures s'observent essentiellement au niveau des karsts où elles sont associées aux fractures E-W et N60.
- Les fractures de direction N90-N100 (E-W) : sont identifiées au niveau des karsts connus dans un réseau de fracturation N-S et N60.
- Les fractures de direction N50-N60 (NE-SW) : sont des failles normales. Ces failles ont des ouvertures assez larges dépassant parfois le 1 mètre.

3. Etude géophysique

Pour détecter les zones à karst, nous avons utilisé trois méthodes géophysiques : sondage électrique vertical, trainé électrique et VLF

3.1 Sondage électrique vertical

Le sondage électrique vertical (Meyer de Stadelhofen, 1991) permet d'avoir une idée sur les variations verticales de la résistivité. Le dispositif d'émission du courant AB a une longueur croissante afin d'atteindre des terrains de plus en plus profonds.

Cinq sondages électriques verticaux (SEV) le long d'un profil NE-SW sont réalisés (Fig.3). Le dispositif Schlumberger a été choisi et le maximum de la distance AB est 200 m.

Les modèles géoélectriques obtenus à partir de l'interprétation des sondages électriques exécutés sont corrélés sous forme d'une coupe (Fig.4). Cette coupe contrôlée par le forage mécanique S1 montre la succession de quatre couches à composition lithologique différente traduite par des variables résistivités.

La première couche, située près de la surface, des résistivités entre 55 et 240 Ohm.m. Elle correspond à la couverture sédimentaire. Dans la seconde couche, les réponses qui varient de 38 à 110 Ohm.m caractérisent les calcaires altérés. La troisième couche expose les valeurs les plus élevées de résistivité (180 à 240 Ohm.m) qui sont attribuées à des calcaires. La quatrième couche qui est la couche la plus profonde montre des valeurs relativement faibles (30 à 48 Ohm.m) qui traduisent des faciès marno-calcaires.

Les quatre couches mises en évidence ne sont pas affectées par des fractures et sont par conséquent dépourvues des karsts

3.2 Trainé électrique

Le traîné électrique s'intéresse aux variations latérales de la résistivité (Meyer de Stadelhofen, 1991). Il consiste à faire porter l'investigation sur une tranche de sous-sol d'épaisseur plus ou moins constante en gardant la même longueur du dispositif d'émission du courant AB.

Cinq profils de traînés électriques doubles en $AB/2 = 60\text{m}$ et $AB/2 = 30\text{m}$ avec une distance inter-profil $= 20\text{m}$ et un pas de mesure $= 10\text{m}$ sont réalisés de part et d'autre des sondages électriques verticaux (Fig. 3). Totalisant 556 mesures les profils ont une direction N60

Les valeurs de résistivité apparente obtenues de ces profils sont contournez sous forme de deux cartes respectivement pour $AB = 60\text{m}$ et $AB = 120\text{m}$. La première (Fig.5) représente la réponse des formations superficielles dont la profondeur maximale est 15 m (Selon l'école Schlumberger la profondeur investiguée (h) est comprise entre $AB/4$ et $AB/10$). La seconde (Fig.6) reflète la réponse des couches plus profondes (h est comprise entre 12 et 30 m).

Les deux cartes montrent une distribution semblable de résistivité et trois zones se distinguent : 1) zone Sud -Ouest qui expose des faibles résistivités (25 à 55 Ohm.m) indiquant des faciès essentiellement marneux ou argileux. 2) zone centrale qui révèle les plus fortes résistivités mesurées (105 à 150 Ohm.m). Ces réponses peuvent être attribuées à des couches calcaires. 3) zone Nord-Est qui exprime des valeurs variant de 75 à 95 Ohm.m.

La diminution de la résistivité en allant de la zone centrale vers la zone Nord-Est peut être expliquée par l'altération des calcaires ou par leur enrichissement en marnes.

Dans les deux cartes le changement latéral de résistivité est progressif. Ceci indique l'absence des fractures et par conséquent de karstification.

3.3 VLF " Very Low Frequency "

La méthode VLF (Very Low Frequency) mesure les variations spatiales de résistivité en se basant sur la propagation des ondes à très basse fréquence de 10 à 30 khz, émises par des émetteurs servant à la radio navigation (Petho, 2012).

Les sondages électriques verticaux ainsi que les traînées électriques n'ont pas décelés aucun karst ou zone à risque de karsts. Pour cette raison nous avons étendu l'investigation géophysique vers le Nord

en réalisant sept profils des mesures VLF (Fig. 3) avec une distance inter-profil =10 m à 30 m et un pas de mesure =10m et une fréquence =24000 HZ.

Les données obtenues sont représentées sous forme d'une carte d'isorésistivité apparente (Fig .7). L'analyse de cette carte révèle quatre zones à fortes résistivités (150 à 190 Ohm.m). La plus large occupe le centre, une autre de moindre importance est située dans la partie Sud-Ouest et les plus petites caractérisent l'extrémité Nord-Est. Les limites des quatre zones sont marquées par un resserrement des courbes indiquant des discontinuités. Ces discontinuités présentant des directions NE-SW, N-S, NW-SE et E-W peuvent être interprétées comme des fractures qui affectent les calcaires de la formation Abiod et par conséquent les quatre zones à haute résistivité comme des zones à risque de karsts.

4. Conclusion

L'étude géophysique entreprise dans la partie orientale du Jebel Rouissat pour détecter les zones à risques de karsts a fourni les résultats suivants :

- L'interprétation des sondages électriques verticaux a montré une stratification normale dépourvue de discontinuité.
- Les profils de trainés électriques n'ont également décelé aucun phénomène de fracturation et par conséquent de karstification.
- L'analyse de la carte de résistivité apparente résultante des mesures VLF a mis en évidence quatre zones à risques de karsts limitées par des fracturations de différentes directions. La plus importante occupe la partie centrale de la carte.

5. References

- [1] **Abbes C., 2004** : Structurations et Evolutions tectono-sédimentaires mésozoïques etcénozoïques associées aux accidents reghmatiques, à la jonction des margestéthysienne et Nord Africaine (Chaîne Nord-Sud-Tunisie Centrale).Thèse d'Etat, Univ Tunis Manar. p 437 .
- [2] **Bédir M ., 1995** : Mécanismes géodynamiques des bassins associés aux couloirs de coulissement de la marge atlasique de la Tunisie : Seismostratigraphie, seismotectonique et implications pétrolières. Thèse d'Etat. Fac. Sci. Tunis. p.315.
- [3] **Ben Ayed N ., 1986** : Evolution tectonique de l'avant-pays de la chaîne alpine de Tunisie du début du Mésozoïque à l'actuel, Thèse ès sciences, Univ. Paris Sud. 327p.
- [4] **Betho G ., 2012** : Geological applications of the VLF method ,Geosciences and Engineering, Vol. 1, No. 2 (2012), pp. 129–136.
- [5] **Beres M ., Luetscher M . and Olivier R . 2001**: Integration of ground-penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves. Journal of Applied Geophysics.p 249–262
- [6] **Boukadi N . 1985** : Evolution géométrique et cinématique de la zone d'interférence de l'axe N-S et de la chaîne de Gafsa (Maknassy-Mezzouna et Jebel Bou Hedma) Tunisie. Thèse 3ème cycle, Univ. Strasbourg, p155.
- [7] **Burrollet P-F. 1956** : Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale. Annales des Mines et de la Géologie 18, 352p.
- [8] **Castany G . 1951** : Etude géologique de l'Atlas tunisien oriental .Thèse Doct .Sci, Ann. Mines et Géol, Tunisie, n° 8 . p 632

- [9] **Castany G . 1952** : Notice explicative de la carte géologique de la Kairouanau 1/50.000. feuille N°63 ,Publication du Service Géologique de Tunisie
- [10] **Chih L .1995** : Les fossés Néogènes à quaternaires de la Tunisie et de la mer pélagienne : Leur étude structurale et leur signification dans le cadre de la Méditerranée centrale. Thèse d'état. Univ. Tunis. 400p.
- [11] **Dhahri F et Boukadi N .2007** :Chevauchements différentiels et décrochements dans la chaîne atlasique de Tunisie : exemple des jebels Ousselet, Bou Dabbous et Bou Hajar .C. R. Geoscience 339 (2007) 347–357
- [12] **El Ghali A .1993** : Neotectonique et évolution tectono – sédimentaire associées aux jeux de la faille de Sbiba – Kairouan du Crétacé supérieur à l'actuel (Tunisie Centrale) . Thèse 3ème cycle .Univ. Tunis.
- [13] **El Khammari K ., Najine A., Jaffal M ., Aïfa, T ., Himi M ., Vásquez D ., Casas, A . et Andrieux ,P .2007**: Imagerie combinée géoélectrique–radar géologique des cavités souterraines de la ville de Zaouit Ech Cheikh (Maroc). Comptes Rendus Geoscience, Vol.339, p460-467.
- [14] **Frappa M .et Muraour P . 1980** :A seismic method for the detection of subsurface cavities .Geoexploration, Vol.18, p177-185 .
- [15] **Grandjean G ., Penetier C ., Bitri A ., Meric O .et Malet J-P .2006**:Caractérisation de la structure interne et de l'état hydrique de glissements argilo-marneux par tomographie géophysique : l'exemple du glissement-coulée de Super-Sauze (Alpes du Sud, France))Comptes Rendus Geoscience .338 pp 587-595 .
- [16] **Louhaichi M- L .1981** : Etude géologique et géotechnique de la partie Nord- Occidentale du gouvernerat de Kairouan. Thèse de 3eme cycle.
- [17] **Meyer de Stadelhofen C.1991** : Applications de la geophysique aux recherches d'eau. Tech. Doc. Lavoisier, Paris, France
- [18] **Negra M-H. 1994** : Les dépôts de plate-forme à bassin du Crétacé Supérieur en Tunisie centro-septentrionale (formation Abiod et faciès associés). Stratigraphie, sédimentation, diagenèse et intérêts pétroliers. Thèses. Doct. d'Etat, Université de Tunis, 649p.
- [19] **Ouali J. 1984** : Structure et évolution géodynamique du chaînon de Nara-Sidi Khalif (Tunisie centrale). Thèse 3ème cycle, Université de Rennes I.
- [20] **Pervinquiére L.1903** : Etude géologique de la Tunisie centrale. Thèse es Sciences. 360p
- [21] **Rabhi M.,1999** : Contribution à l'étude stratigraphique et analyse de l'évolution géodynamique de l'axe Nord-Sud et des structures avoisinantes (Tunisie centrale),Thèse 3eme cycle Géologie, Univ Tunis, 217p.
- [22] **Saadi M . 1992** : Géodynamique du bassin tertiaire de Nebhana .Etude sédimentologique et structurale (Tunisie Centro- orientale).DEA, Univ. Tunis II, , 118p.
- [23] **Saadi M., Ben Salem H ., M'Hadhibi M ., Karray M-R .2000**: carte géologique de Ain Jelloula 1/50 000 (feuille N° 55) .Publication du Service géologique (Office National des Mines) .
- [24] **Schmutz M., Guérin R ., Maquaire O ., Descloîtres M ., Schott J-J, Albouy Y.1999**:Apport de l'association des méthodes TDEM (Time-Domain Electromagnetism) et électrique pour la connaissance de la structure du glissement-coulée de Super Sauze (bassin de Barcelonnette, Alpes-de-Haute-Provence, France). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Vol. 328. pp 797-800
- [25] **Turki M-M .1985** : Polycinématique et contrôle sédimentaire associé sur la cicatrice Zaghouan-Nebhana. Thèse d'Etat .Univ Tunis .p 252

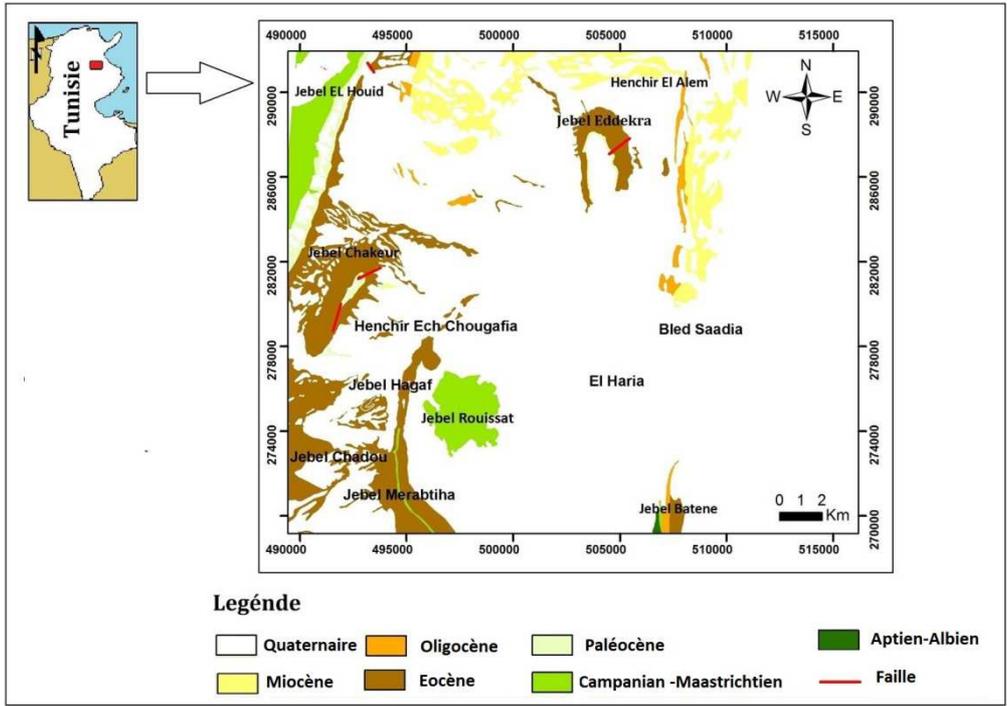


Figure .1 :Assemblage des cartes géologiques d’Ain Jelloula (Saadi et al., 2000) et Kairouan (Castany, 1952)

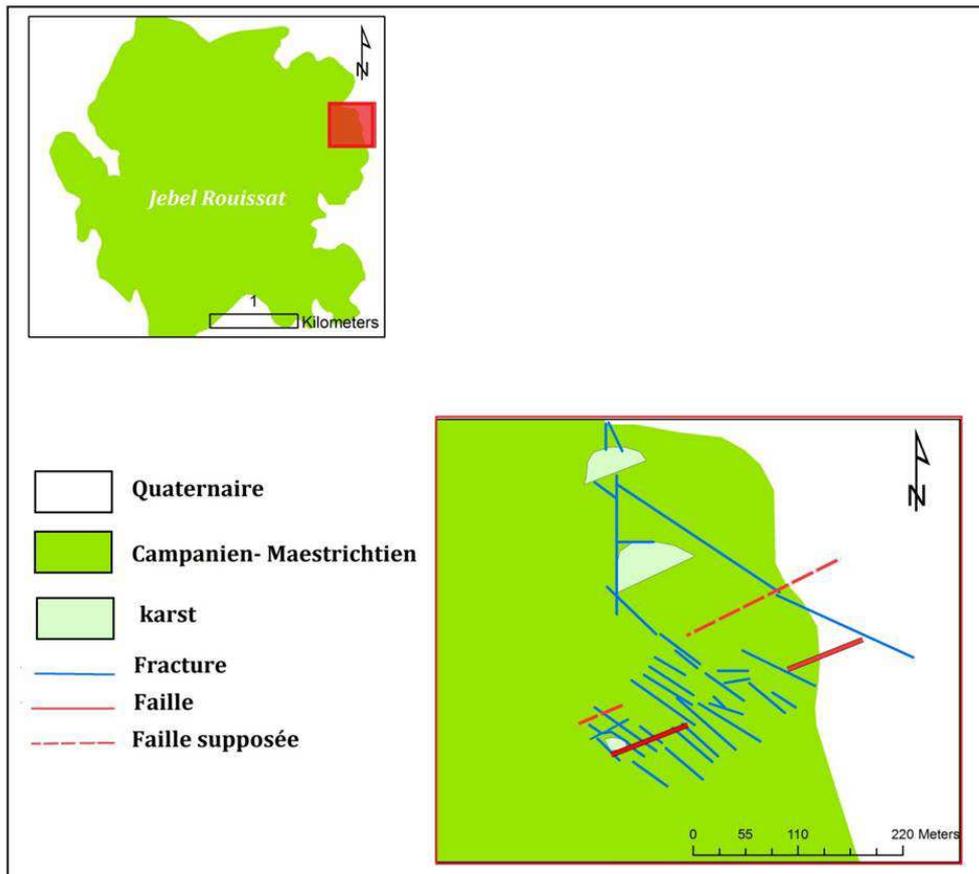


Figure. 2 : Réseau des fractures mis en évidence dans la partie orientale du Jebel Rouissat

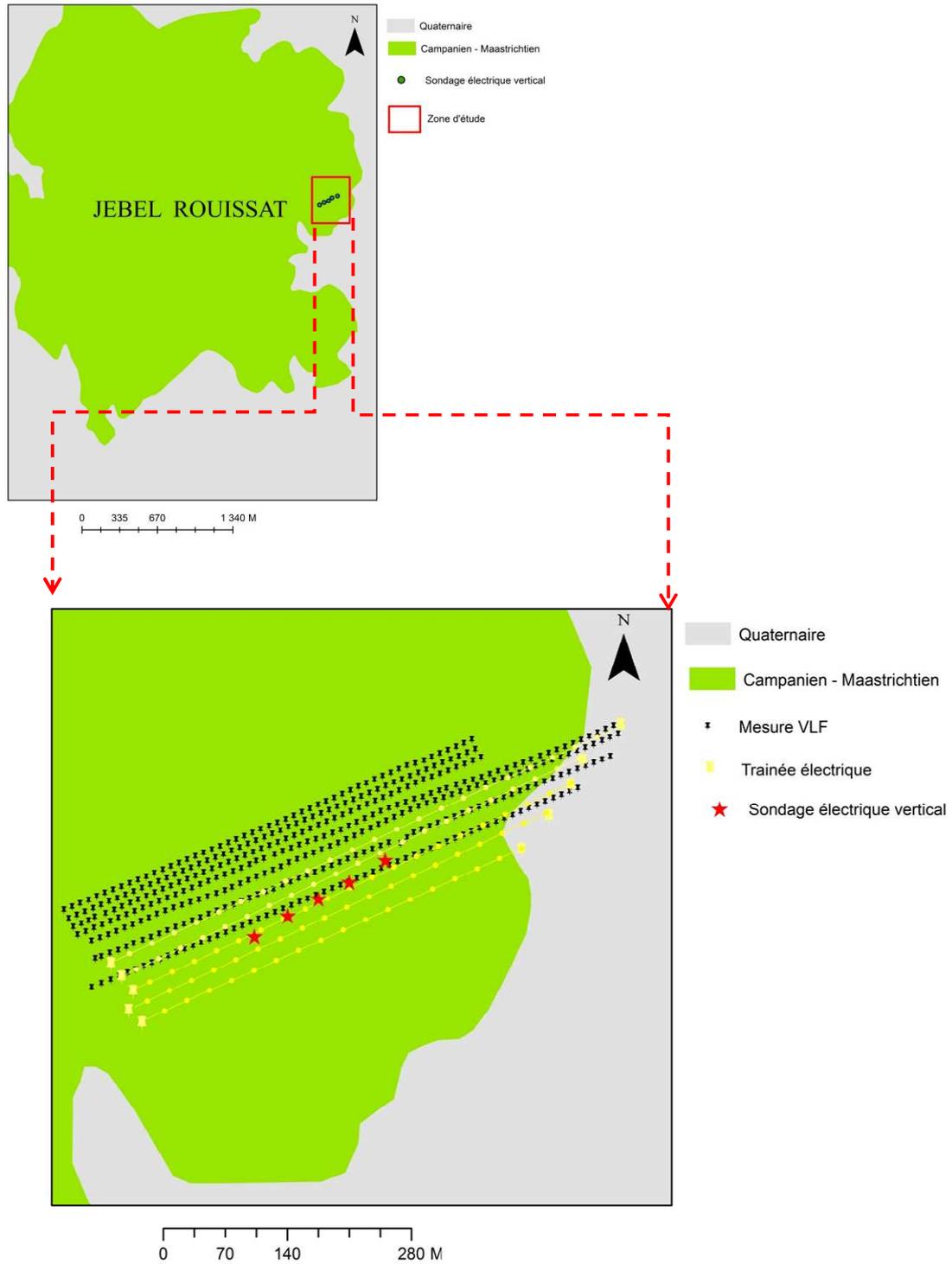


Figure. 3 : Répartition des données géophysiques

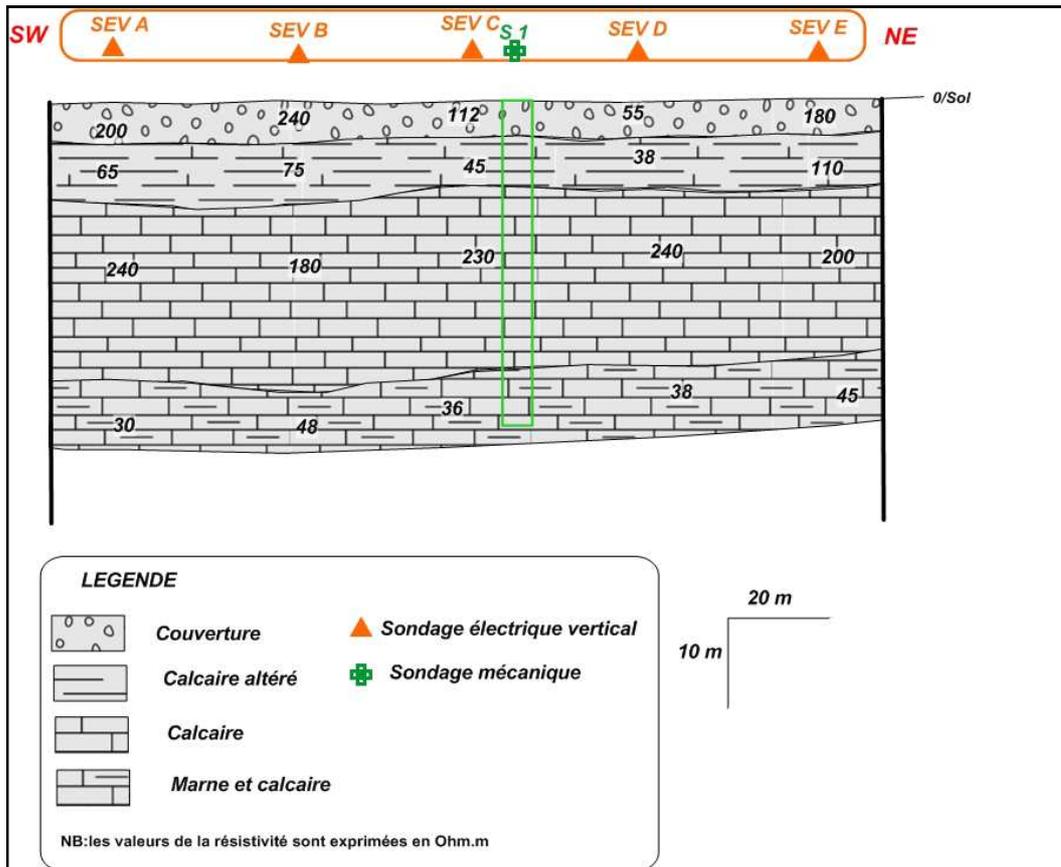


Figure.4 :Coupe géoélectrique

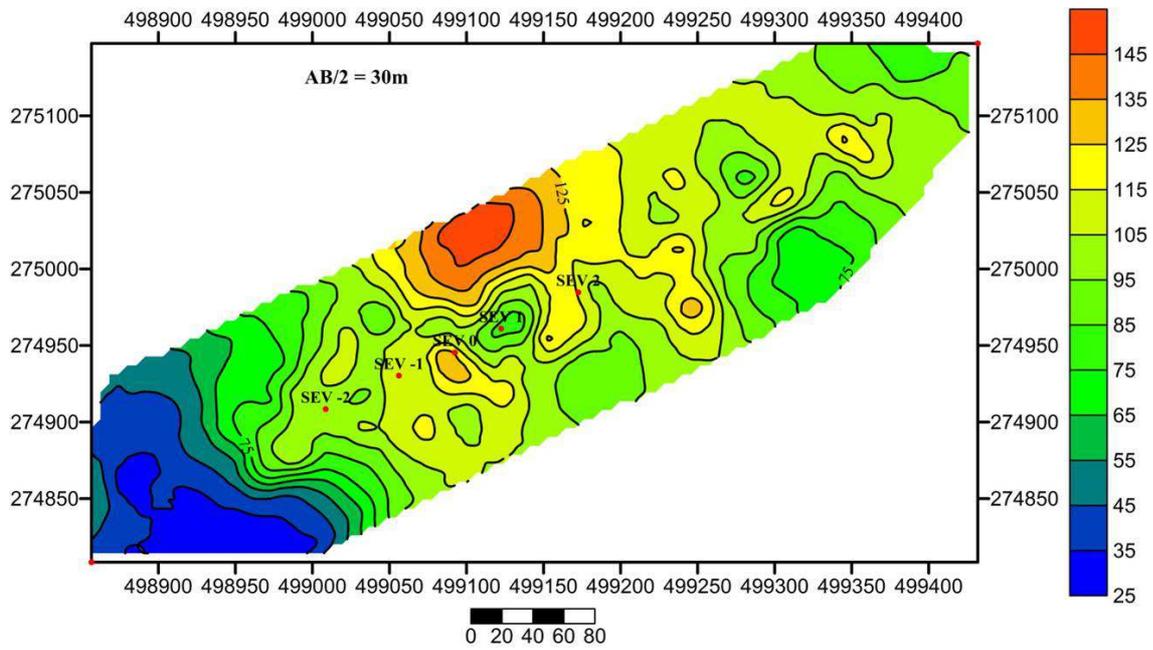


Figure.5 : Carte de résistivité apparente pour $AB/2= 30\text{ m}$

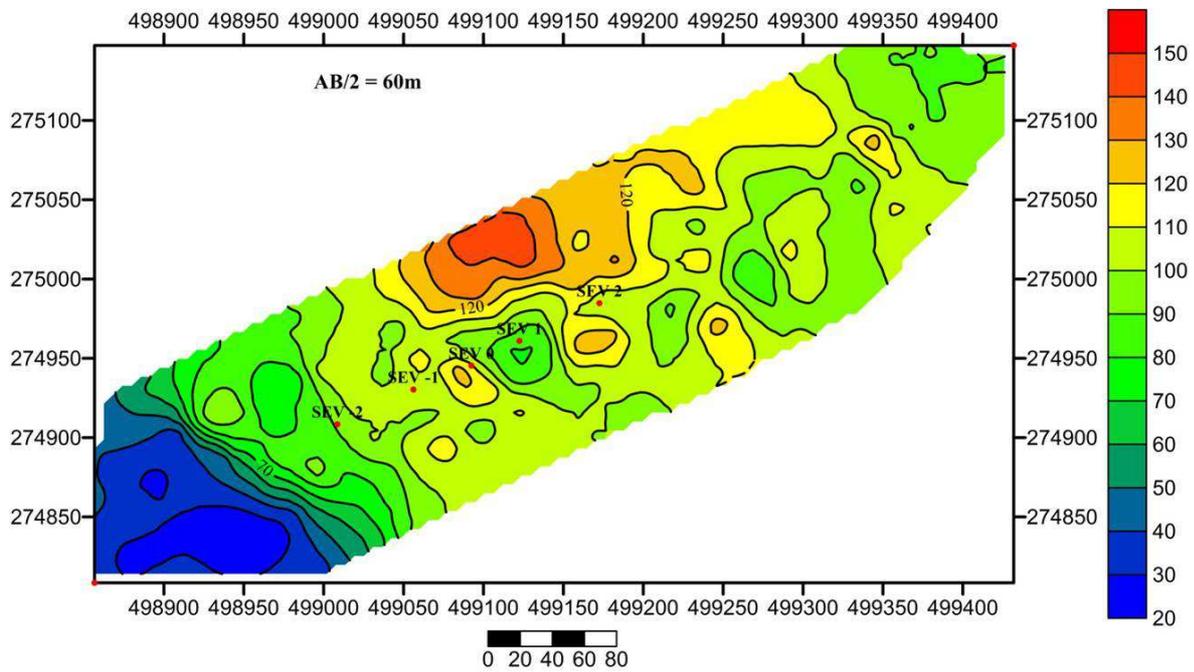


Figure.6 : Carte de résistivité apparente pour $AB/2= 60\text{ m}$

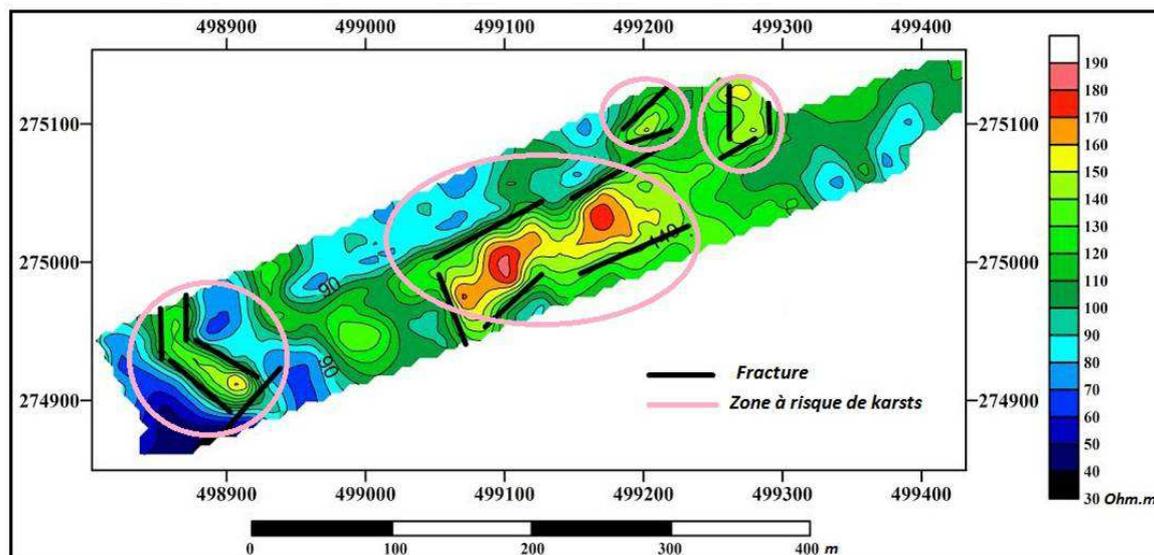


Figure.7 : Carte de resistivité apparente pour $F = 24000$ HZ