

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA.

Messaoud MEDKOUR*, Kamel BADDARI, Salah CHAAB* et Rabah LAOUAR***

RÉSUMÉ

Les cibles courantes en méthodes électriques et en polarisation provoquée sont les gisements de minerais métalliques, qu'ils soient massifs ou disséminés. Ces cibles sont généralement conductrices et ont des propriétés physiques caractéristiques permettant de les détecter dans les conditions in situ à l'aide de mesures faites en surface. A ce propos, L'analyse et l'interprétation des documents graphiques élaborés à partir des données de base acquises par l'O.R.G.M au cours de la campagne de prospection géophysique de détail de 1999-2001 sur les secteurs limitrophes de Djebel Zitouna et Kef Zoukrane a permis de relever quelques anomalies de polarisation provoquée appréciables en extension et en amplitude. Ces anomalies semblent traduire l'effet des zones minéralisées en pyrite, galène et sphalérite. Les corps perturbateurs ayant généré les anomalies observées peuvent se définir de par leurs caractères géoélectriques comme des corps résistants chargeables. Les forages implantés à posteriori aux épices des anomalies PP ont recoupé des niveaux minéralisés dans les grès numidiens fissurés et bréchifiés, confortant ainsi les interprétations antérieures.

Mots clés - Polarisation provoquée - Géoélectricité - Résistivité électrique - Dispositif d'électrodes- Pseudo section - Minéralisation polymétallique.

THE CONTRIBUTION OF GEOELECTRICITY AND LOGGING FOR EXPLORATION OF POLYMETALLIC MINERALIZATION IN THE EL-TAREF REGION – ZITOUNA PROSPECT.

ABSTRACT

Electric and induced polarization methods are commonly used in the fields of polymetallic mineralization whether the ore-bodies are massive or disseminated. Base-metals are often conductors and have physical properties that can be detected in situ by measuring at the surface. The analysis and interpretation of graphical representations from the ORGM data-base during the detailed geophysical prospecting of 1999-2001 on Djebel Zitouna and Kef Zoukrane sectors revealed some interesting induced polarization anomalies in extension and amplitude. These

*Laboratoire de Géologie, Département de Géologie- Université d'Annaba B.P. 12, 23000 Annaba.
E-mail : m_medkourdz@yahoo.fr.

**Faculté des Sciences, Université M'hamed Bouguerra, Boumerdes, 35000.

- *Manuscrit déposé le 25 Décembre 2007, accepté après révision le 30 Novembre 2008.*

anomalies might reflect the effect of pyrite- galena- and sphalerite-mineralized zones. The ore bodies that gave the observed anomalies can also be defined by their geoelectrical properties as resistant and chargeable bodies. The boreholes drilled later in the epicentre of the induced polarization anomalies have cross cut some mineralized horizons within the fissured and brecciated sandstones, thus confirming the earlier interpretations.

Key words - Induced polarization - Geoelectricity - Electric resistivity - Electrode array - Pseudo section- Polymetallic mineralization.

INTRODUCTION

Le territoire national a fait l'objet en 1971-1974 d'une couverture aéro-magnétique et aéro-spectrométrique, réalisée par la firme américaine Aéro Service Limited pour le compte de l'ex SONAREM* en vue de l'évaluation des potentialités minières d'une part et la cartographie géologique et structurale d'autre part. Cette opération a duré quatre ans et a concerné une surface d'environ 2 400 000 km². Les données de cette campagne de grande reconnaissance ont abouti à l'établissement des cartes au 1/500000 sur les quelles ont été répertoriées les anomalies magnétiques et spectrométriques ayant servi postérieurement d'appui aux différents levés géophysiques de prospection systématique et de détail menés par les entreprises à vocation minière (SONAREM, EREM** et ORGM***) à travers le pays et à quelque travaux universitaires de préparation de thèses (Zerdazi, 1990; Djeddou, 1991).

La mise en évidence de l'anomalie aéro magnétique décelée par le levé précité, les guides géologiques et les métallotectes sont les principaux arguments ayant suscité l'intérêt des géologues de l'E.R.E.M à entreprendre en 1980-1983 une campagne géophysique de reconnaissance au 1/50000 dans la région d'El Tarf (feuilles 18, 34, 35, 55, 56) dans le but de la vérification au sol de l'anomalie aéromagnétique régionale et de déceler d'éventuels indices de minéralisations polymétalliques. A la suite des résultats prometteurs obtenus à l'échelle régionale au cours de la campagne de recherche sys-

tématique (Tchoulanov, 1983), l'O.R.G.M. a effectué de 1999 à 2001 une campagne géophysique de détail au 1/10 000 sur le prospect de Zitouna (feuille géologique n°35). Ce levé s'était articulé autour de la prospection électrique par courant continu combinant les méthodes de résistivité et de polarisation provoquée dans le domaine temporel. L'objectif principal assigné à la géophysique de surface vise à localiser les anomalies PP décelées antérieurement et à les détailler en vue de détecter la présence possible de structures favorables ou d'horizons minéralisés pouvant être porteurs de métaux de base Pb, Zn, Cu et d'implanter les forages.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Géologie régionale

Le prospect d'étude appartient à la wilaya d'El Tarf (fig. 1), il comprend deux secteurs limitrophes : Zitouna et Kef Zoukrane. La structure géologique de la région est caractérisée par la présence de trois complexes allochtones tectoniquement indépendants (fig. 2) :

1. Complexe des roches crétacées : Les dépôts du Crétacé sont peu répandus en affleurements, ils s'observent sous forme de fenêtre d'érosion au sein du complexe oligo-miocène. Le complexe tellien occupe l'intervalle stratigraphique depuis l'Hauterivien jusqu'à l'Albien, alors que les flyschs à microbrèches correspondent aux étages campaniens du Crétacé supérieur jusqu'au Lutétien de l'Eocène moyen.

*Société Nationale de la Recherche et d'Exploitation Minière.

**Entreprise Nationale de la Recherche et d'Exploitation Minière.

***Office National de la Recherche Géologique et Minière.

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

* La série des flyschs à microbrèches est représentée par les formations suivantes :

- le Barrémien et Turonien sont représentés par des marnes noires, grès quartzeux rouges et marnes grises, localisés dans les confins orientaux de la région;

- le Sénonien est composé de calcaires à Inocérames et de marnes grises qui affleurent à l'Est de Hammam Sidi Trad;

- l'Eocène inférieur est représenté par les marnes et marno-calcaires à silex.

2. Complexe oligo-miocène : Il est charrié sur les roches du complexe crétacé et est composé d'argiles gréseuses et de grès massifs.

* La série de la nappe numidienne est représentée par :

- les argiles du Numidien qui affleurent dans les pentes et les fonds de vallées. Ce sont des argiles de couleur verdâtre ou brunâtre avec des passées de grès, elles peuvent atteindre jusqu'à 300 m d'épaisseur;

- les grès du Numidien (Oligocène) qui forment la masse principale des reliefs de la presque totalité de la région forestière. Leur puissance peut atteindre 150 m.

3. La série miocène : Elle est représentée par des dépôts argilo-conglomératiques formant une molasse type. Ils se trouvent en amont de l'oued Chaffia et au bord droit de la vallée de l'oued

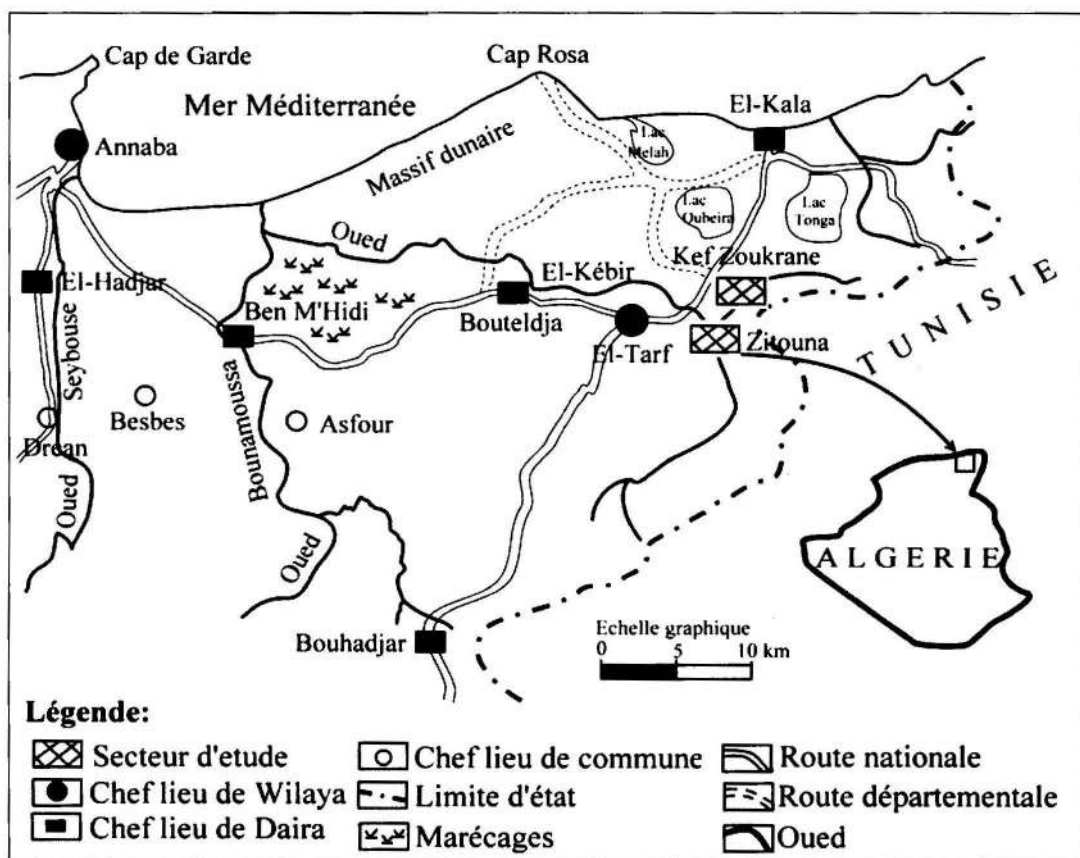


Fig. 1 - Carte schématique de situation de la zone d'étude.

Schematic map of the study area.

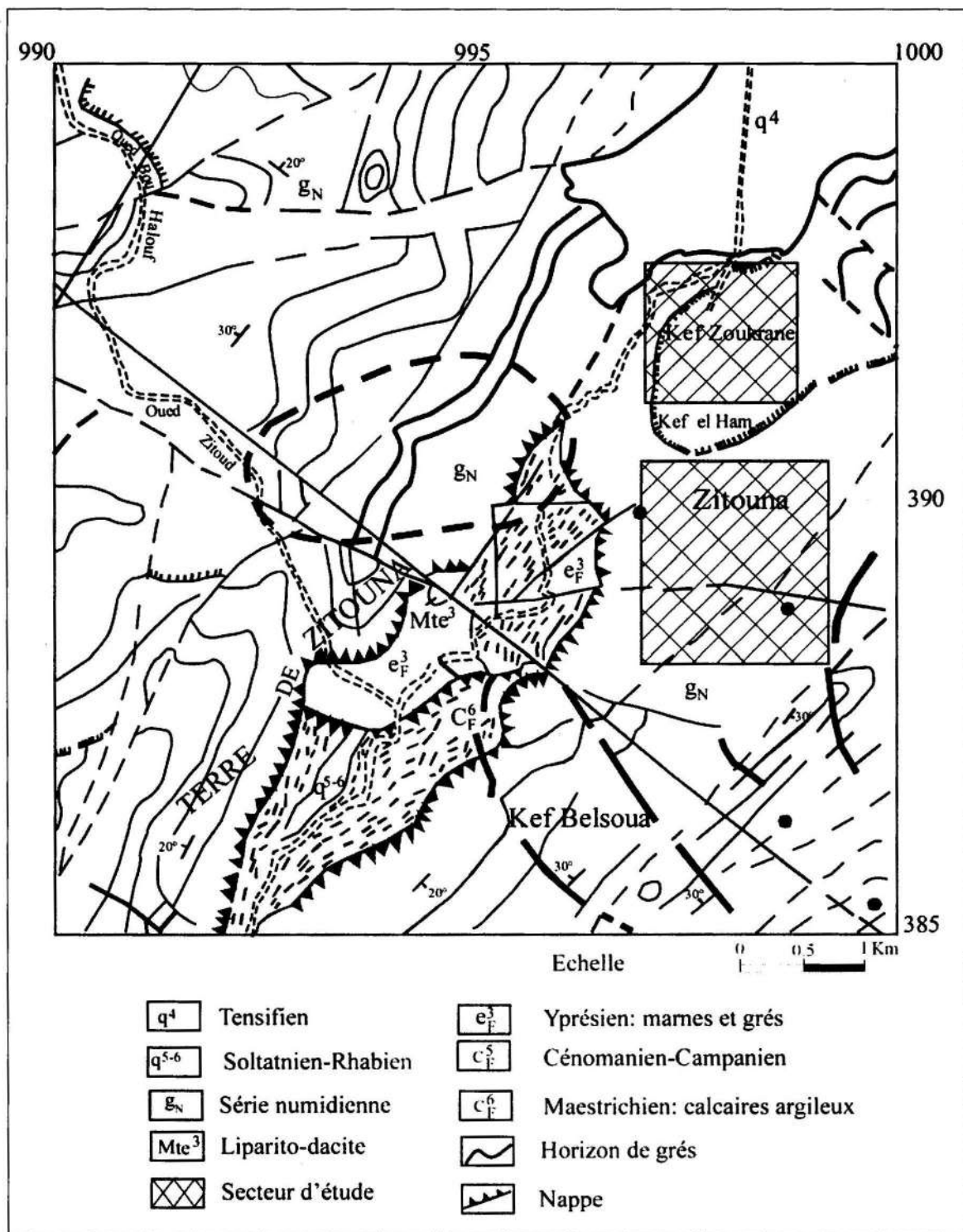


Fig. 2 - Carte géologique schématique du prospect de Zitouna et Kef Zoukrane.
Schematic geological map of Zitouna and Kef Zoukrane prospect.

Bougous. La coupe est constituée de conglomérats gravelo-blocageux à lentilles de grès quartzueux et argileux. Ces complexes sont partiellement couverts par le Quaternaire.

Le Quaternaire est représenté par des dépôts alluviaux et d'éboulement (limons, sables, galets et graviers)

Géologie du prospect

Lithostratigraphie

Le secteur de Zitouna, qui couvre une superficie de 22,5 km², est situé dans la partie centrale de la feuille n°35 de Aïn Kerma à proximité du village de Zitouna. Sur ce secteur se développent des formations terrigènes allochtones du Crétacé supérieur, de l'Eocène et du Numidien (Tchoulanov, 1983). La puissance de ce dernier diminue d'est en ouest.

Le terrain d'étude est constitué par :

- (1) les formations du Crétacé supérieur (Maestrichtien) : Elles sont représentées par des marnes grises à bleuâtres et de calcaires clairs;
- (2) les formations de l'Eocène : Elles affleurent dans la partie NW du secteur et sont représentées par des grès, des marnes et des argiles;
- (3) les formations de l'Oligo-Miocène (Numidien) : elles sont composées d'une assise inférieure constituée d'argiles grises, verdâtres et de grès blanchâtres, durs, compacts, vacuolaires et fissurés et d'une assise supérieure composée par des horizons (10–20 m) de grès quartzueux massifs, stratifiés, à grains fins, alternant avec des niveaux de grès argileux. La puissance des formations allochtones diminue d'est en ouest;
- (4) les formations du Quaternaire : elles sont représentées par des dépôts alluviaux et des éboulements (limons, sables, galets et graviers).

Tectonique

La partie NW du secteur englobe le périclinal de l'anticlinal de Zitouna qui est formé de marnes et de calcaires du Crétacé supérieur (Maestrichtien) et des dépôts de grès, marnes et argiles de l'Yprésien. La structure principale est marquée par le chevauchement numidien, qui est lui-même affecté par deux systèmes de failles de directions NW-SE et NE-SW qui ont compartimenté le secteur en blocs. Ces failles sont accompagnées par des zones puissantes de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres de bréchification dans les grès et de limonitisation intense dans les argiles.

Minéralisation

L'indice de Zitouna comporte deux types morphologiques de minéralisation :

- a) type veinulé : la minéralisation sulfurée se présente en veinules le long des fissures et en zones d'imprégnation dans toute la colonne lithologique des sondages réalisés. Elle est présente dans les argiles noires et dans les grès numidiens. Ces minéralisations sont constituées de pyrite, galène, sphalérite et chalcopryrite. La gangue est formée de quartz en gros cristaux et rarement de calcite;
- b) type stratoïde : la minéralisation se trouve dans des niveaux de grès d'épaisseur variant de 0,30 à 22 m (tabl. 1), séparant l'assise supérieure de l'Eocène de l'assise inférieure des grès numidiens (Oligocène). Ces derniers sont caverneux, fissurés et renferment des filonnets chargés d'une minéralisation polymétallique de galène, sphalérite, pyrite et chalcopryrite. Cette minéralisation est présente dans la majorité des sondages réalisés (SZ1, SZ3, SZ4, SZ5, SZ6 et SZ7) et est disséminée dans les pores, cavités des grès et parfois reste massive. La minéralisation est bien exprimée et se localise sous une assise assez épaisse (150 m) d'argiles noires.

Trois zones minéralisées dans les grès précités totalisent une épaisseur cumulée de 30 m.

été effectués à l'aide de la station du constructeur américain Mount Sopris.

CADRE GÉOPHYSIQUE

Méthodologie

L'O.R.G.M a entrepris de 1999 à 2001 une campagne géophysique de détail sur le prospect de Zitouna, combinant les méthodes électriques de résistivité (Keller et Frischnecht, 1966; Telford et al., 1976; Dubois et Diament, 2001) et de polarisation provoquée (PP) dans le domaine temporel (Roussel et Tournier, 1969; Bertin et Loeb, 1976; Summer, 1976). A ce propos, trois configurations d'électrodes (le gradient moyen, le dipôle-dipôle polaire et le Schlumberger), convenant chacune respectivement pour les techniques de profilage électrique horizontal, les pseudo-sections et le sondage électrique vertical ont été utilisés pour l'exécution des mesures combinées de chargeabilité et de résistivité apparentes. Ces techniques sont complétées par les enregistrements de diagraphies électriques conventionnelles de polarisation spontanée (PS), de petite et grande normale (Chapelier, 1987; Serra, et Serra, 2000; Sheriff, 1989; Straub, 1988) effectuées dans le sondage SZ3 à titre qualitatif, afin de vérifier la lithologie et de pallier l'insuffisance de la récupération des carottes. Les travaux géophysiques de surface réalisés avaient pour but de localiser les anomalies PP détectées antérieurement (Tchoulanov, 1983) et de les affiner en vue de déceler la présence possible de structures ou d'horizons perspectifs pouvant être porteurs de métaux de base (Pb, Zn et Cu).

L'appareillage de prospection électrique utilisé pour l'acquisition des mesures de résistivité (ρ_a) et de chargeabilité (m_a) apparentes est fabriqué par le constructeur canadien SCINTREX, il se compose d'une génératrice (2.5 KVA) et d'un émetteur (TSQ3) et un récepteur (IPR10) convenant à la fois pour les mesures de résistivité et de polarisation provoquée. Les enregistrements de diagraphies ont

Analyse et discussion

1- Corrélation des cartes de chargeabilité et de résistivité apparente

Le secteur a été couvert selon une maille régulière de 100 x 25 m par 20 profils électriques d'orientation SW-NE combinant des mesures de chargeabilité et de résistivité électrique réalisées à l'aide d'une configuration de gradient moyen avec la géométrie :

$$AB = 900 \text{ m}, MN = 50 \text{ m}, \text{ pas} = 25 \text{ m}.$$

Les données acquises ont permis l'élaboration de deux cartes destinées à localiser les anomalies PP et à leur attribuer un faciès géologique (Daskovitz et Samon, 1992), elles se rapportent à une tranche de terrain d'une profondeur maximale de 225 m. Les courbes d'iso - chargeabilité sont orientées NW- SE, ce qui va de paire avec la direction des structures géologiques de la région. Interprétée avec une valeur de fond de 12 mV/V, la carte de chargeabilité (fig. 3) montre les épïcêtres de deux anomalies significatives d'importance inégale en intensité et en extension dont les axes sont allongés dans la direction NW-SE :

* l'anomalie (A1) a une intensité de 30 mV/V, elle est localisée dans la partie SW du secteur et s'étire sur 500 m environ pour une largeur moyenne de 300 m. Elle est corrélable avec la plage de forte résistivité fermée par l'isocontour de 80 $\Omega.m$ (fig.4);

* de forme oblongue, l'anomalie (A2) occupe la partie centrale du secteur, elle s'étend sur plus de 800 m de long pour une largeur moyenne de 200 m, ces deux anomalies présentent des axes orientés sensiblement NW-SE. Compte tenu du

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

fond de chargeabilité élevé de 12 mV/V qui ne peut être expliqué que par la présence de sulfures métalliques disséminés, les anomalies PP semblent être liées aux minéralisations sulfurées circonscrites dans les dépôts oligocènes représentés par les grès numidiens de l'assise supérieure qui sont en contact anormal avec les argiles de l'Eocène supérieur.

Dans l'ensemble, la carte de résistivité (fig. 4) fait ressortir les mêmes grandes lignes de forme, elle présente des courbes d'isorésistivité orientées NW-SE conformes à la direction des structures géologiques et des anomalies PP. Elle montre deux plages fermées de forte résistivité dont les axes résistants sont figurés par R1 et R2 selon leur distribution spatiale. Les zones de fort gradient et les discontinuités électriques

observées sur cette carte (passage de fortes résistivités 100 Ωm aux faibles résistivités 20 Ωm) soulignent la présence d'un accident tectonique majeur de direction NW-SE (faille principale I-I') et une faille de décrochement (faille II- II') qui semble avoir décalé l'axe R2 dans la direction SSW-NNE. Excepté les zones de gradient, la majorité de l'aire investiguée est occupée par des formations de faible résistivité (20 à 40 Ωm) pouvant être attribuées aux argiles de l'Eocène. La partie SE de la carte, montre une plage de résistivité modérée de forme presque arrondie, marquée par une zone de gradient qui signale le passage vraisemblable de la faille III-III'. Les plages anormales de résistivité ont des extensions limitées, cependant elles semblent se superposer aux formations oligocènes susceptibles de receler la miné-

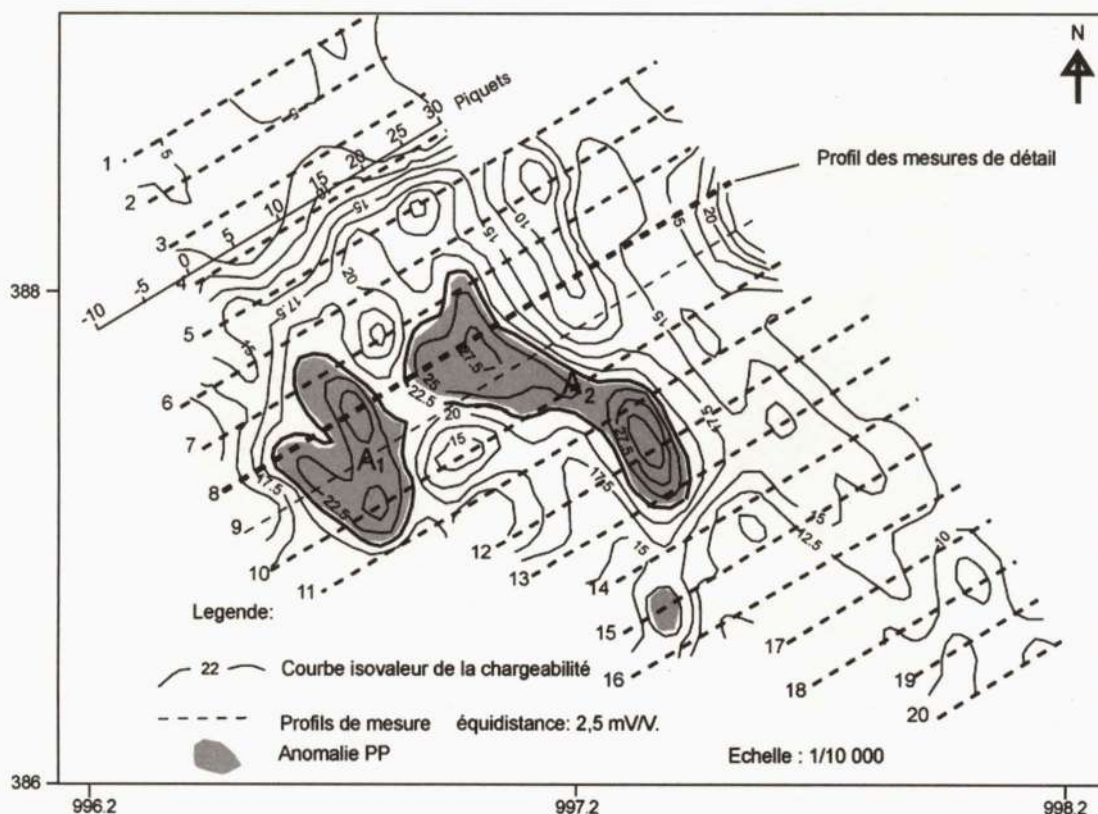


Fig. 3 - Carte de chargeabilité du secteur de Zitouna (gradient moyen AB=900 m)
Chargeability map of the Zitouna sector (middle gradient; AB=900 m).

ralisation polymétallique ciblée. Cela est confirmé par les forages SZ1, SZ3, SZ4, SZ5, SZ6 et SZ7 qui ont intersecté des horizons de grès minéralisés en pyrite, galène et sphalérite à des profondeurs relativement importantes (tabl. I).

Afin de vérifier l'extension latérale des anomalies PP et de les suivre en profondeur, des mesures de résistivité électrique combinées à la chargeabilité ont été réalisées le long du profil 8, elles ont permis de représenter et d'étudier qualitativement les variations des paramètres précités dans l'espace mono et bidimensionnel.

2- Diagrammes de chargeabilité et de résistivité apparente

D'orientation SW-NE, les diagrammes de chargeabilité et de résistivité apparente (fig. 5) établis à partir de mesures acquises à l'aide d'une configuration de gradient moyen de longueur AB = 900 m, ce qui correspond à une profondeur d'investigation maximale de 225m, ont permis de localiser les anomalies PP mises à jour précédemment et de suivre spatialement leur extension latérale (Quick, 1974). Ces diagrammes révèlent des réponses cohérentes. En effet, la courbe de chargeabilité montre deux pics anomaux de forte intensité de 32 et 36 mV/V à l'aplomb des piquets Pq3 +10m (soit une

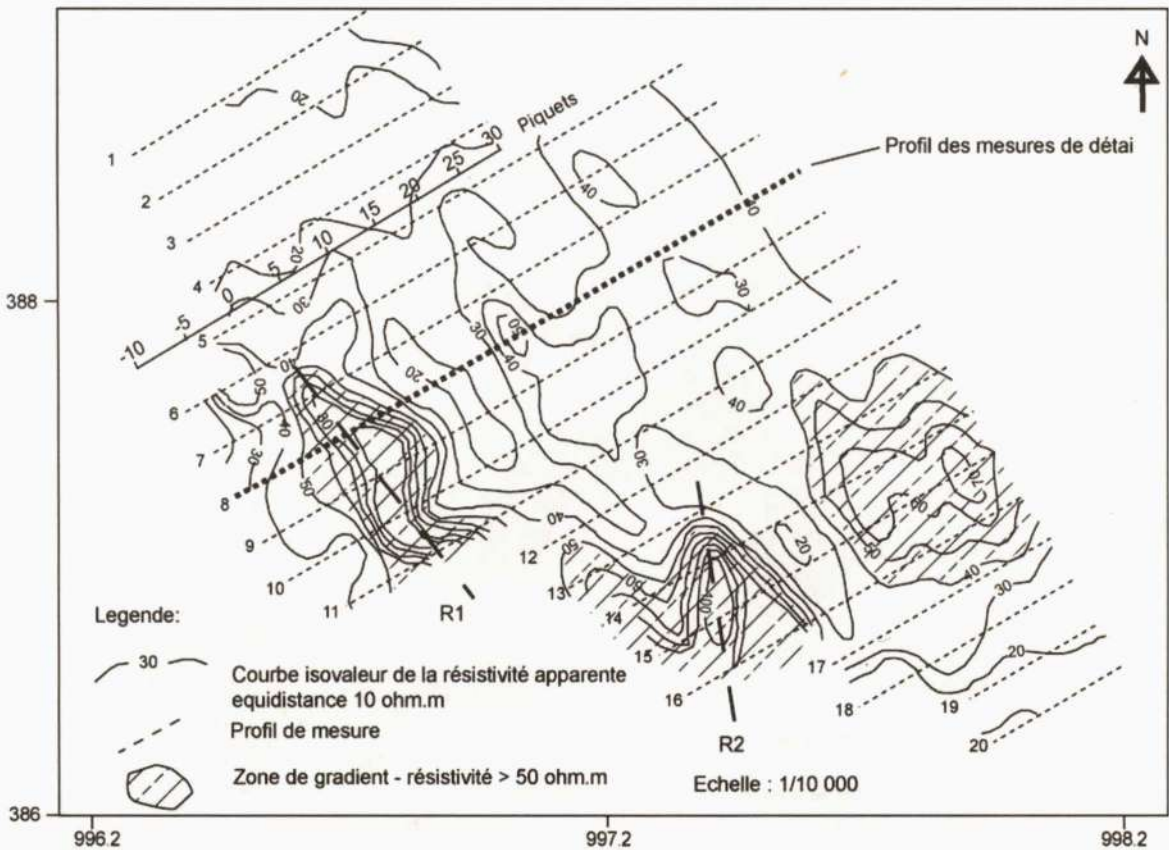


Fig. 4 - Carte de résistivité apparente du secteur de Zitouna (gradient moyen; AB = 900 m)

Apparent resistivity map at Zitouna sector (middle gradient; AB= 900 m)

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

distance de 85m) et Pq 2 +10 m (soit une distance de 60m) séparés par un palier conducteur de polarisabilité moyenne qui s'expliquerait par la présence d'une zone de broyage liée à la faille principale, riche en sulfures disséminés. Les pics homologues de résistivité apparente de par leur résistivité élevée indiquent la présence de structures géométriques simples pouvant être assimilés à des stratoïdes de faible puissance coffrant une minéralisation polymétallique sulfurée. La présence des argiles peut être la cause des anomalies à forte chargeabilité et faible résistivité détectées. Le léger décalage des pics de chargeabilité et de résistivité est lié semble-t-il à l'effet du dispositif d'électrodes utilisé (Edwards, 1970; Coggon, 1973).

3- Pseudo-sections de chargeabilité et de résistivité apparente dipôle-dipôle

Les pseudo-sections (fig. 6 et fig. 7) ont été établies à partir de données acquises avec une configuration de dipôle-dipôle polaire de longueur $l=50$ m et de multiples séparations de $n = 1, 2, 3, 4$ et 5 en vue d'étudier les variations des paramètres précités dans l'espace bidimensionnel (Edwards, 1977; Medkour, 1984). Sur ces pseudo

sections l'ordre n détermine la profondeur d'investigation.

La pseudo-section de chargeabilité montre une anomalie principale en forme de croissant typique (Dey et Morisson, 1979), limitée en extension par les piquets Pq1 +10 m (soit une distance de 35 m) et Pq 2 (soit 50 m) et en profondeur par les niveaux $n = 2,5$ et $n = 5$. Cette anomalie reflète vraisemblablement l'effet PP généré par la zone de broyage liée à la faille principale et deux anomalies lenticulaires de faible extension circonscrites dans les blocs NE et SW porteurs de la minéralisation polymétallique attribuable aux deux pics anomaux de chargeabilité décelés précédemment par les diagrammes de la figure 5.

La corrélation latérale de la pseudo-section (fig.7) et de la carte d'isorésistivité (fig.4), suivant la ligne du profil 8, montre une bonne cohérence des variations de la résistivité apparente. En effet, bien que le contraste de résistivité ne soit pas très net, la pseudo-section de résistivité a permis d'identifier une structure compartimentée en blocs distincts, corrélables avec les formations mises en évidence le long du profil 8 par la carte d'isorésistivité. Du NE au SW on distingue successivement :

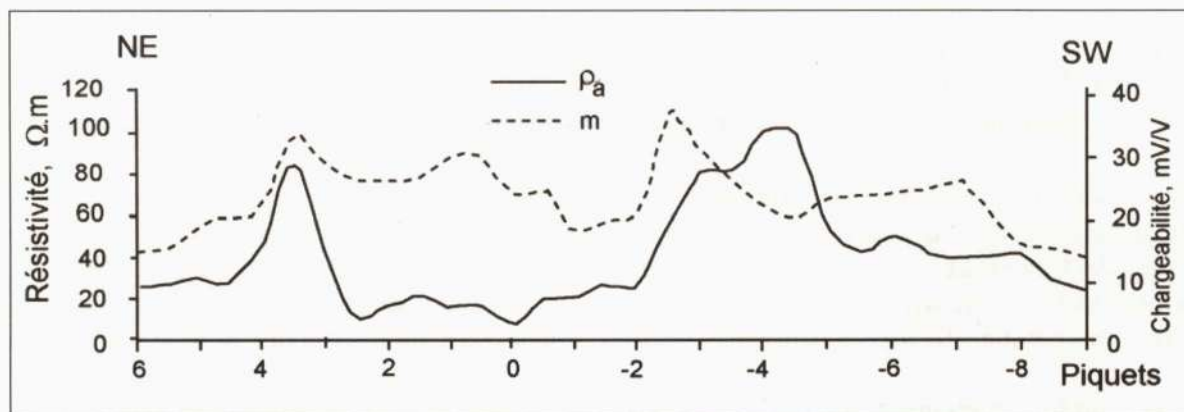


Fig. 5 - Diagramme de chargeabilité et de résistivité apparente – profil 8 –
(Gradient moyen AB = 900 m, MN = 50 m, Pas = 25 m)

Chargeability and apparent resistivity diagrams – profile 8
(Middle Gradient AB = 900 m, MN = 50 m, Step = 25 m)

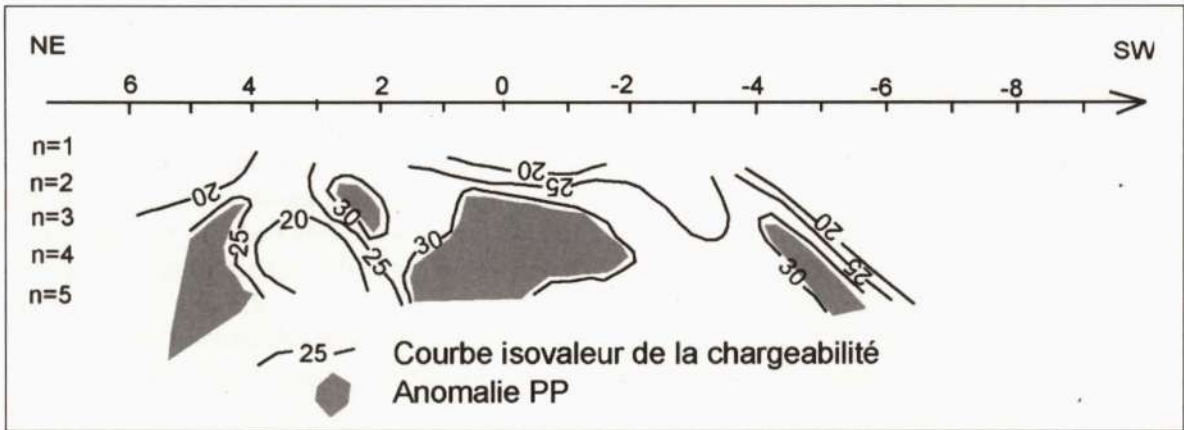


Fig. 6 - Pseudo-section de chargeabilité dipôle dipôle polaire $l = 50$ m - profil 8
Polar dipole-dipole $l = 50$ m, Pseudo section of chargeability - profile 8

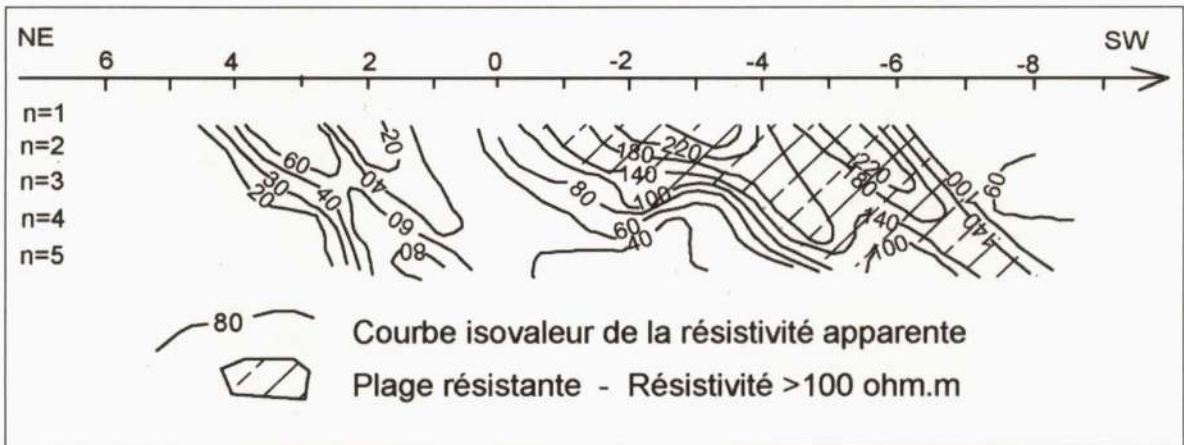


Fig. 7 - Pseudo-section de résistivité apparente dipôle - dipôle polaire ($l = 50$ m) - profil 8
Polar dipôle-dipôle ($l = 50$ m) Apparent resistivity Pseudo-section - profile 8

- le premier bloc limité par les piquets 5 et 3, est caractérisé par une résistivité modérée variant de 40 à 60 Ω m, ce bloc est surélevé et semble encaisser le niveau de grès numidien porteur de la minéralisation sulfurée;

- le second bloc s'étend du Pq3 jusqu'au Pq0, il est affaissé et caractérisé par une faible résistivité (20-40 Ω m), il semble correspondre à la zone de broyage liée à la faille principale (fig.4).

- le 3^{ème} bloc s'étend du Pq 0 au Pq 4, il est circonscrit dans le bloc affaissé, il semble s'apparenter au niveau de grès oligocène de l'assise inférieure riches en sphalérite, c'est-à-dire un minéral non conducteur qui justifie que la zone soit résistante.

- le dernier bloc commence au Pq 4 et se termine au Pq 7, il est caractérisé par une forte résistivité, il est corrélable avec la zone de gradient SW de la carte d'isoresistivité (fig.4).

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

**4- Coupes verticales partielles
de chargeabilité et de résistivité apparente
Schlumberger**

A cause de la nature accidentée du terrain, seuls deux sondages de résistivité électrique combinée à la polarisation provoquée ont pu être exécutés à Zitouna le long du profil 8 aux Pq2 et Pq5 afin de suivre la minéralisation en profondeur. Ces sondages ont été réalisés à l'aide d'un dispositif Schlumberger de longueur $AB = 1000$ m.

La coupe verticale partielle de chargeabilité établie (fig. 8), fait ressortir une anomalie de 30 mV/V centrée sur la longueur de ligne

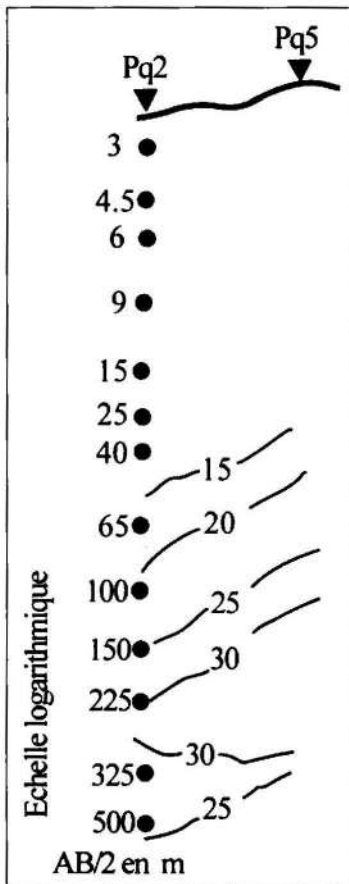


Fig. 8 - Coupe verticale partielle de Chargeabilité Schlumberger $AB = 1000$ m

Partial vertical cross section of Schlumberger Chargeability $AB = 1000$ m

$AB/2 = 225$ m correspondant à une profondeur d'investigation qui se situerait entre 45 et 112 m. Cette profondeur semble être en concordance avec les données du sondage SZ1 foré sur le bloc surélevé à proximité des Pq2 et Pq5. Ce sondage a recoupé un niveau de grès minéralisé en pyrite, galène et sphalérite.

**5- Interprétation qualitative du log
composite du sondage SZ3**

Le sondage SZ3 implanté sur le secteur d'étude à proximité du profil 8 au point de coordonnées Lambert : $X = 996\ 310$ et $Y = 387\ 562$, a atteint la profondeur 155,7 m. Il est composé

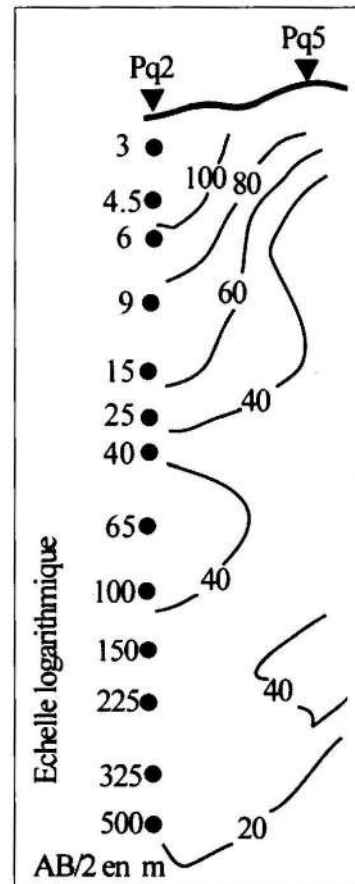


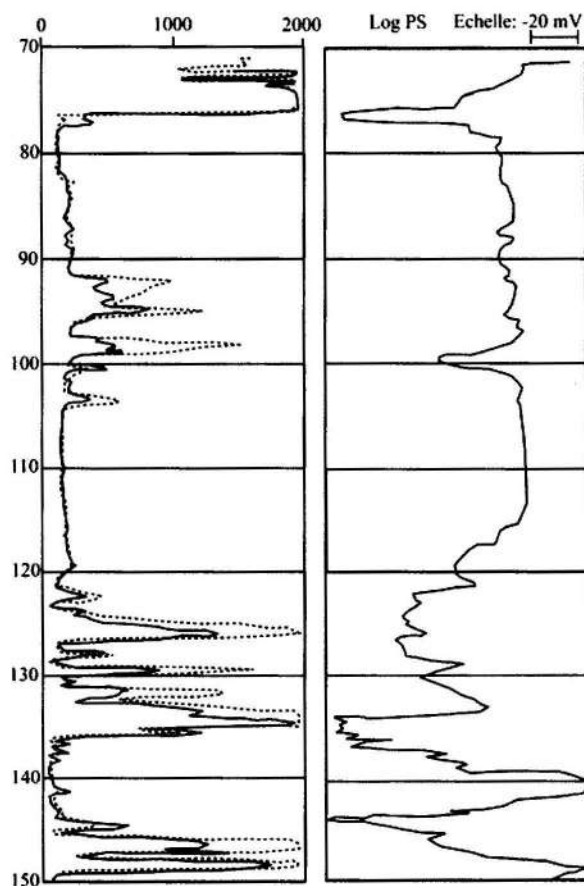
Fig 9 - Coupe verticale partielle de résistivité apparente Schlumberger $AB = 1000$ m

Partial vertical cross section of Schlumberger apparent resistivity $AB = 1000$ m

essentiellement d'une alternance de grès et d'argiles. Le log composite (Douglas, 1982) de ce sondage comporte les diagrammes électriques conventionnels de PS, Petite normale (PN) et grande normale (GN). La partie diagraphiée s'étend de la profondeur 70 m jusqu'à 150 m.

Les enregistrements nous paraissent d'une qualité acceptable. En effet, le log composite (fig. 10) montre une bonne corrélation entre la courbe de PS et les diagrammes de PN et GN. L'interprétation qualitative de ces diagraphies a permis de déterminer la colonne lithologique du forage. Les argiles et les marnes se manifestent par une diminution de la déflexion PS qui est

d'autant plus importante que les formations sont épaisses. Le log de PS est dans sa majorité plat, ce qui rend difficile la discrimination des argiles et des grès. Les diagrammes de PN et GN divergent dans les intervalles 135 - 120 et 100 - 90 mettant en évidence des zones poreuses et perméables. Ces logs de résistivité se superposent dans les intervalles 145 - 137, 120 - 113 et 90 - 83 montrant une allure plate et une déflexion de faible résistivité. Il s'agit vraisemblablement de formations argileuses. La ligne de base des argiles a été tracée en face du banc argileux le plus épais possible car au droit de cet électro-banc, on observe la superposition des déflexions de PN et GN qui indiquent une zone non envahie



Sondage SZ3

Coordonnées : x = 996 693
y = 387 729
z = 270 m

Profondeur de sondage = 155.7 m
Profondeurs interval diagraphies = 70 - 150 m

Log de résistivité ----- PN : AM = 0.4 m
————— GN : AM = 1.60 m

Fig. 10 - Log composite du sondage SZ3 – Secteur de Zitouna
Composit log of drilling SZ3 – Zitouna sector

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGNOSTICS À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

et de faible résistivité, donc imperméable. La colonne lithologique déduite du log composite de SZ3 montre, de bas en haut, les successions lithologiques suivantes:

* intervalle 146-144 m : la PS indique une déflexion maximale négative correspondant à une formation gréseuse contenant une forte proportion d'argile;

* intervalle 144-138 m : la PS montre une déflexion maximale vers la droite indiquant un électro-banc argileux;

* intervalle 127-120 m : il s'agit d'une formation propre qui semble justifier la présence d'un banc poreux et perméable. En effet, la séparation des courbes de PN et GN est un critère justificatif traduisant la présence d'une zone envahie, donc perméable;

* intervalle 120-100 m : dans cet intervalle, on observe la superposition des courbes de résistivité de PN et de GN, elles lisent presque la même valeur de résistivité, ce qui semble exclure l'existence de l'invasion. Il s'agit vraisemblablement d'un banc argileux épais retenu comme ligne de base ou de zéro relatif pour les lectures des déflexions de PS;

* intervalle 100-98 m : il représente un banc mince de grès argileux;

* intervalle 98-75 m : il s'agit d'un électro-banc argileux, il est caractérisé par une faible résistivité par la coïncidence des courbes de PN et GN et une déflexion de PS presque plate.

**ANALYSE DE LA CARTE
DE SYNTHÈSE ET DES RÉSULTATS
DE FORAGE**

La carte élaborée (fig. 11) vise à représenter conjointement les informations géologiques, géo-

physiques et de forages acquises, dans le but d'élucider l'aspect structural du secteur d'étude et d'évaluer son potentiel minéral. Il ressort de cette approche que l'indice de Zitouna est caractérisé par une tectonique complexe qui a compartimenté le secteur en blocs. Les failles principales (I-I', II-II' et III-III') sont représentées sur la figure 11. Il est à noter, que la minéralisation la plus importante est contrôlée par la faille II-II', elle est localisée dans les grès vacuolaires, fissurés et bréchifiés de l'assise supérieure. Ces failles constituent sans doute le chemin des solutions hydrothermales minéralisatrices.

Afin de vérifier les zones de fort gradient et de tester les anomalies PP mises en évidence par le levé PP- Résistivité, sept sondages totalisant une longueur de 1290,30 m ont été forés durant les années 2001-2002 sur le secteur de Zitouna. A l'exception du sondage SZ2 qui n'a pas donné de résultats significatifs, tous les autres forages (tabl. I) ont intersecté la minéralisation polymétallique ciblée dans des horizons de grès profonds, d'épaisseurs appréciables (SZ5). En effet, le sondage SZ5 implanté dans la partie NE du secteur à l'épicentre de l'anomalie A2, a recoupé une alternance de grès et d'argiles avec trois zones minéralisées en pyrite, galène et sphalérite d'une épaisseur cumulée de 30 m. Ces sondages ont révélé une zonalité verticale de la minéralisation polymétallique. Cette zonalité est bien exprimée dans le sondage SZ5 où l'on observe dans la première zone la prédominance de la galène et dans la troisième zone prédomine que de la sphalérite. La minéralisation se trouve dans les grès vacuolaires, poreux, cavernaux et fissurés sous une assise assez épaisse d'argiles noires de 150 m de puissance. Le sondage SZ7 avait pour objectif de recouper la faille I-I', il l'a intersecté dans l'intervalle situé entre 60 et 70 m, il s'agit d'une faille fortement minéralisée en pyrite avec de la galène et la sphalérite.

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

Tableau I - Tableau récapitulatif des données de sondages réalisés sur le secteur de Zitouna
Summary table of the drilling data carried out on the Zitouna sector

Code du sondage	Coordonnées	Longueur totale forée en mètre	Intervalle minéralisé		Description géologique de l'encastant et du potentiel en minéralisation
			Cotes (m)	Epaisseur (m)	
SZ1 Vertical	X = 996 310 Y = 387 562 Z = 215 m	194,6	55,90-56,9	1	- Grès silicifiés vacuolaires minéralisés en pyrite, galène et sphalérite - Grès compacts avec pyrite et Chalcopyrite
			178,3-179,0	0.70	
SZ2	X = 997 034 Y = 387 532 Z = 310 m	146,40	30,8-31,8	1,0	Ce sondage n'a pas intersecté de minéralisation significative
SZ3 Vertical	X = 996 693 Y = 387 729 Z = 270 m	155,70	46-51,0	5,0	Ce sondage a recoupé deux zones minéralisées en galène et sphalérite dans les grès vacuolaires.
			54,0-55,0	1,0	
SZ4 Incliné à 70°	X= 996 755 Y= 387 473 Z = 260 m	236,40	203,4-203,7	0,3	Ce sondage a recoupé une alternance de grès et d'argiles noires où sont encaissées deux paquets de fissures minéralisées en pyrite, galène et sphalérite - Grès minéralisés en pyrite, galène et sphalérite.
			205,7-206,0	0,3	
			220,0-230,0	10	
SZ5 Vertical	X = 997 028 Y= 387 400 Z = 280	239,4 m	192,6-214,6	22	Ce sondage a recoupé trois niveaux minéralisés en pyrite, galène et sphalérite dans les grès fissurés et bréchifiés. .
			222,3-226,6	4,3	
			231,0-233,8	2,8	
SZ6 Incliné à 70°	X=996 416 Y=387 275 Z = 124 m	199,0	157-159.1	2,1	Ce sondage a intersecté une minéralisation polymétallique à quartz, pyrite, galène, sphalérite encaissée dans les grès bréchifiés, poreux et caverneux.
SZ7 Incliné à 70°	X = 996 811 Y= 387 572 Z= 276	118,8	60,4 -70,4	10,0	- Cet horizon s'apparente à une faille minéralisée en pyrite abondante, galène et sphalérite - Il s'agit d'une zone de grès caverneux et fissurés minéralisés en galène et sphalérite
			203- 205,7	2,5	

CONCLUSION

La campagne géophysique de détail menée par l'O.R.G.M. en 1999 - 2001 dans la région d'El-Tarf a consisté à utiliser un complexe de méthodes PP - Résistivité visant à localiser et affiner les anomalies de chargeabilité détectées antérieurement. Bien que le contraste des résistivités électriques des formations géologiques en présence soit faible, le levé PP-Résistivité mis en œuvre sur le prospect de Zitouna a révélé des informations intéressantes sur la structure géologique du terrain d'étude et de son potentiel en minéralisation. En effet, le levé géophysique a permis d'identifier deux anomalies PP de fortes chargeabilités dont les intensités maximales se trouvent sur des axes orientés sensiblement NW-SE. C'est-à-dire concordantes avec la direction des structures régionales. Ces anomalies sont corrélables avec les plages de résistivité modérée pouvant être attribuées aux grès numidiens recelant la minéralisation sulfurée. Les techniques de résistivité utilisées ont permis de cartographier les différentes unités géologiques et structurales, de préciser leur extension spatiale et de dégager l'ensemble des failles ayant affecté l'indice de Zitouna et notamment le contact anormal entre l'Eocène, représenté par les argiles de l'assise inférieure, et l'Oligocène, représenté par les grès numidiens de l'assise supérieure. Il convient également de signaler que le levé géophysique a été déterminant dans le choix de l'emplacement des forages, puisque la presque totalité des sondages implantés aux épices des zones anormales ont recoupé une minéralisation sulfurée dans des niveaux de grès relativement profonds. Il est utile de noter que l'anomalie A2, mise en évidence sur l'indice de Zitouna, est remarquable du point de vue morphologique puisqu'elle semble traduire l'effet d'une structure cylindrique paraissant se prêter à une modélisation numérique. En effet, la référence à un catalogue de réponses théoriques obtenues par modélisation 2D et ou 3D, est un préalable indispensable à toute interprétation même qualitative.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTIN, J. AND LOEB, J. 1976.** Experimental and theoretical aspects of induced polarization. *Edition Geoexploration monographs*, vol.1, n°7, 250 p.
- CHAPELIER, D. 1987.** Diagraphies appliquées à l'hydrogéologie. *Edition Techniques et Documentation*, 176 p.
- COGGON, J. H., 1973.** A comparison of IP electrode arrays. *Geophysics*, vol. 38, NO4, pp. 737-761.
- DEY, A. AND MORISSON, H. 1979.** Resistivity modeling for arbitrarily shaped two dimensional Structures, *Geophysical prospecting*, 27, pp. 106-136.
- DJEDDOU, A. 1991.** Recherche des minéralisations, de cuivre et de chromite dans la région du Coin (Hoggar sud oriental, Algérie) par les méthodes géophysiques. *Thèse Université de Lausanne*.
- DOUGLAS, W.H. 1982.** Applied open hole log interpretation. Department of Petroleum Engineering, *Colorado School of mines*.
- DRASKOVITZ, P. AND SAMON, A. 1992.** Application of geoelectric methods using buried electrodes in exploration and mining. *Geophysical prospecting*, 40, pp. 573-586.
- DUBOIS, J. AND DIAMENT, M. 2001.** Géophysique, *Edition Dunod*, 211 p.
- EDWARDS, L.S. 1977.** A modified pseudo section for resistivity and induced polarization. *Geophysics*, 42, 5, pp. 1020-1036.
- EDWARDS, S. 1970.** Interprétation directe des courbes de sondage électrique et le problème des différents dispositifs de mesure. *Geophysical prospecting*. vol.13, pp. 1-13.
- FRASER, D. 1981.** Contour map presentation of dipole-dipole Induced polarization data. *Geophysical. Prospecting*, 29, pp. 639-651.
- KELLER, G. AND FRISCHNECHT, F.C. 1966.** Electrical methods of geophysical prospecting. *Edition Pergamon Press*, 519 p.

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

- MEDKOUR, M. 1984.** Prospection électrique par la Technique dipôle - dipôle - Interprétation quantitative et application à la géophysique structurale et minière. *Thèse de 3^{ième} cycle Institut national Polytechnique de Lorraine Nancy*, 179 p.
- NEMLI, A., BEDROUNE, O. ET DOUHA, D. 2001.** Rapport annuel sur la prospection des polymétaux dans la région d'El Tarf, *Rapport ORGM inédit*.
- QUICK, D.H. 1974.** The interpretation of gradient array chargeability anomalies. *Geophysical prospecting*, 22, NO 4, pp. 736-746.
- ROUSSEL, J. ET TOURNIER, 1969.** Exemples d'application des phénomènes transitoires de polarisation provoquée du sous-sol à la recherche des gîtes métallifères. *Comptes. Rendus Académie des sciences*. T. 253, série B.
- SEIGEL, H.O. 1959a.** A theory for induced polarization effects for step fonction excitation. Overvoltage Research and Geophysical Application. *Pergamon Press, London*.
- SEIGEL, H.O. 1959b.** Mathematical formulation and types curves for Induced Polirization. *Geophysics*, 24, n° 3, pp. 547-567.
- SERRA, O. ET SERRA, L. 2000.** Diagraphies: Acquisition- Applications. *Edition Serra Log*, 586 p.
- SHERIFF, R.E. 1989.** Geophysical methods, *Edition Prentice Hall*, 592 p.
- STRAUB, A., 1988.** Diagraphies différées en exploration minière en terrains sédimentaires. *Thèse université de Strasbourg*, 460 p.
- SUMMER, J. S., 1976.** Principles of induced polarization for geophysical exploration. Edition: *Elsevier Scientific Publishing Company*, 277 p.
- TCHOULANOV, E. 1982.** Rapport annuel sur les résultats des travaux de prospection des polymétaux dans la région d'El Kala. *Rapport ORGM inédit*.
- TCHOULANOV, E. 1983.** Rapport final sur les travaux géologiques de recherche systématique et de levé au 1/50 000 du NE Algérien dans le périmètre de la feuille n°18, 34, 35, 36, 55 et 56 en 1980-1982 tome I et II. *Rapport EREM inédit*.
- TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E. ET KEYS, D.A. 1976.** Applied Geophysics. *Cambridge University Press*, 860 p.
- VILA, J-M., 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse es-Science, Université Paris VI*, 2 tomes, 665 p.
- ZERDAZI, A., 1990.** Etude gravimétrique du môle d'Aïn-M'lila et de l'Atlas saharien septentrional oriental. (NE de l'Algérie). *Thèse Université de Lausanne*, 213p. Inédit.

ANNEXE

Rappels fondamentaux sur la méthode de polarisation provoquée (PP)

Au cours des dernières décennies, la méthode de polarisation provoquée PP est devenue un outil presque systématique en exploration minière visant à localiser les minerais disséminés, ces derniers sont généralement constitués de minéraux conducteurs dispersés dans un volume de la roche qui possède sa propre résistivité. Les minéralisations disséminées ne forment pas une masse électriquement conductrice et ne pourront pas le plus souvent être détectées par les méthodes électriques classiques de résistivité, de polarisation spontanée (PS) et d'électromagnétisme. A ce propos, la PP semble l'outil le mieux adapté pour leur détection. A ce propos, le phénomène de polarisation provoquée se perçoit mieux dans la comparaison de la PP à une décharge de condensateurs. Dans ce cas, le minerai disséminé sera composé de plusieurs condensateurs, alors que le minerai massif ne constituera qu'un condensateur unique dont la décharge sera bien moindre que celle de plusieurs condensateurs si petits soient-ils.

Principe de la PP

Le principe de la PP consiste à injecter dans le sol à l'aide d'une paire d'électrodes A et B un courant carré ou en créneau (fig. 12) pendant un laps de temps T (cycle de charge) et à mesurer le potentiel V_c à l'aide d'une autre paire d'électrodes M et N dans l'intervalle d'arrêt pendant le même laps de temps t (cycle de décharge). Dans le cas de milieux polarisables (cas de sulfures disséminés), on constate après la coupure de cette émission (cycle de décharge) qu'il subsiste un potentiel transitoire qui se dissipe lentement et ne disparaît complètement qu'après plusieurs secondes. Si la durée d'injection est suffisamment longue, il existe une relation linéaire entre le potentiel à la charge $V_c(t)$ et le potentiel à la décharge (Summer, 1976) tel que :

$$V_d(t) = V_0 - V_c(t)$$

La méthode PP a pour objectif l'étude de ce phénomène dans les domaines temporel et fréquentiel.

Mesure de la chargeabilité

Dans le domaine temporel, le paramètre couramment mesuré est la chargeabilité, elle a été définie par Seigel en 1959 par le rapport :

$$m = \frac{V_d}{V_c}$$

V_c = voltage mesuré au cours de la circulation du courant (cycle de charge).

V_d = voltage mesuré immédiatement après la coupure du courant (cycle de décharge).

La chargeabilité «m» exprime alors l'effet capacitif de sol (Sheriff, 1989), elle se traduit par un effet de dissipation progressif du courant dans le sol au cours du temps. Il s'agit d'un paramètre sans dimension exprimé en % ou en mV/V.

Dans un milieu inhomogène, la chargeabilité dépend d'une manière complexe de la polarisation volumétrique et superficielle des gîtes minéraux et des formations géologiques entrant dans la composition du milieu environnant; on mesure alors une chargeabilité apparente (m_a) qui est fonction des chargeabilités et des résistivités vraies des matériaux sondés. Elle a été définie par Keller et Frischnecht (1966) par l'intégral de décroissance

$$m_a = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V_d(t).dt$$

Dans ce cas la chargeabilité est exprimée en milliseconde (ms).

APPORT DE LA GÉOÉLECTRICITÉ ET DES DIAGRAPHIES À LA RECONNAISSANCE DES MINÉRALISATIONS
POLYMÉTALLIQUES DANS LA RÉGION D'EL TARF - PROSPECT DE ZITOUNA

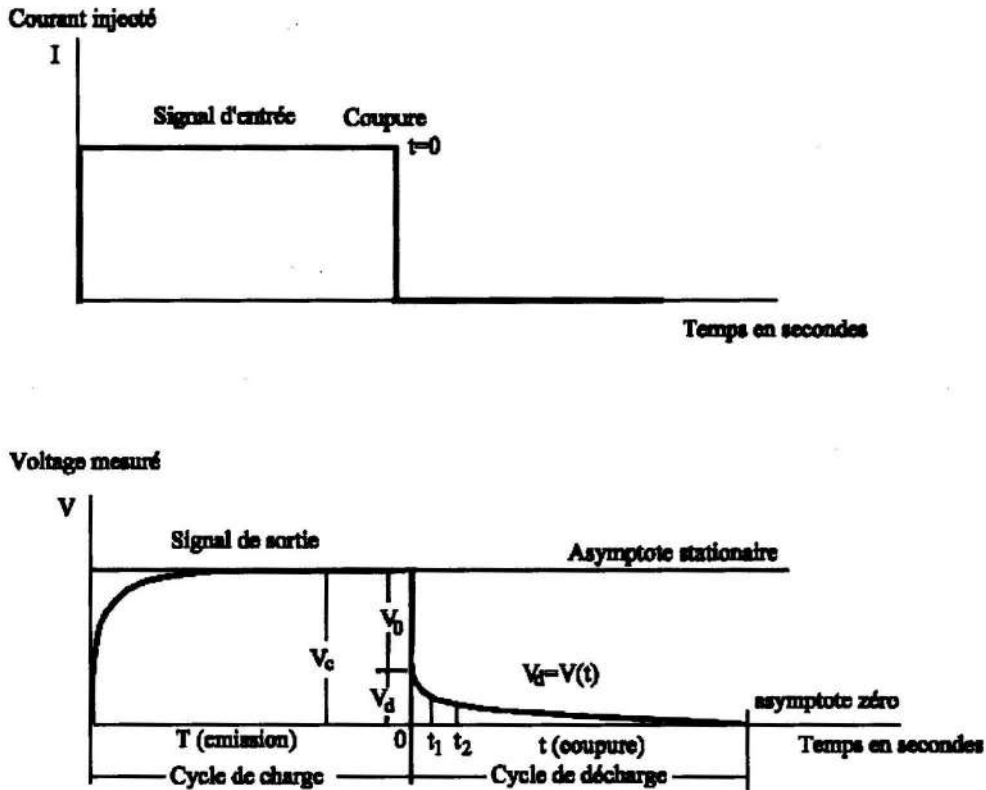


Fig. 12 - Schémas de principe de la Polarisation provoquée
Schematic representation of induced polarization

Profilage électrique utilisant le dispositif de gradient moyen

La mise en oeuvre sur terrain consiste à mesurer simultanément, la chargeabilité et la résistivité apparente en plusieurs stations régulièrement espacées le long d'un profil rectiligne piqueté au préalable à l'aide du dispositif de gradient moyen (fig.13 b) avec la géométrie suivante : longueur AB=900m, MN=50m, PAS=25m

Le mode opératoire, consiste à maintenir les électrodes d'injection de courant (A et B) fixes en grandeur et en orientation et à faire déplacer les électrodes de mesure de potentiel (M et N) sur une distance égale au 1/3 de AB avec un pas constant de 25m, la couverture de l'ensemble des profils PP- Résistivité à l'aide du quadripôle précité selon la maille (100x25) a permis l'éla-

boration des diagrammes et cartes de chargeabilité et de résistivité du prospect de Zitouna. Il y a lieu de noter que la détermination de la résistivité apparente nécessite l'application des formules suivantes pour le calcul du coefficient géométrique K :

- pour un dipôle de réception (M et N) aligné avec le dipôle d'injection (A et B) on utilise :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

- pour un dipôle de réception non aligné avec les électrodes d'injection on utilise :

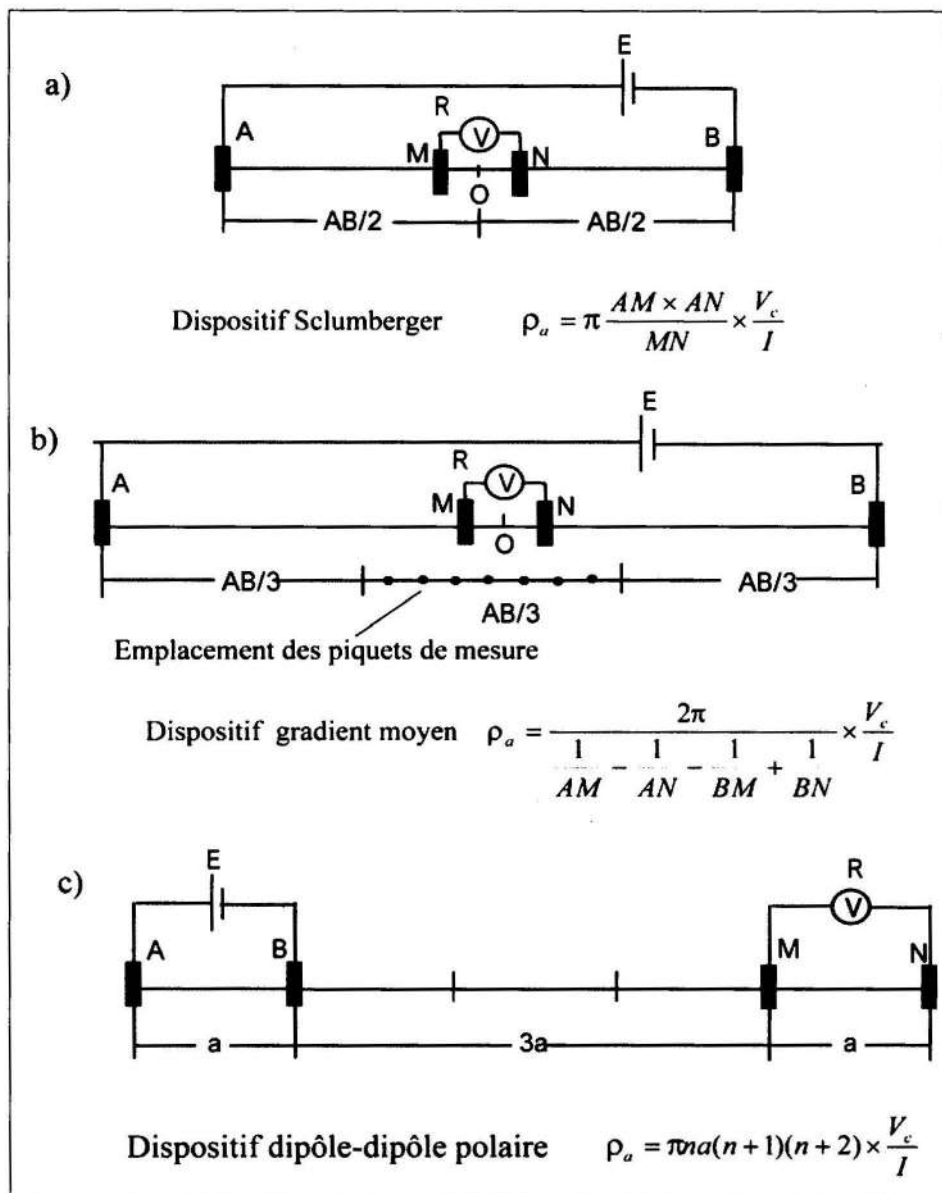


Fig.13 - Configurations d'électrodes mises en œuvre sur le prospect de Zitouna
Electrodes arrays used at Zitouna prospect