

Résolution spatio-temporelle des mesures de Tomographie de Résistivité Electrique sur un profil latéritique. Application à la prospection minière des massifs de Nouvelle Calédonie.

J.L. JOIN⁽¹⁾, X. LAURENCIN⁽¹⁾, C. SAVIN⁽²⁾, J.C. PARISOT⁽¹⁾, A. BEAUVAIS⁽¹⁾, Y. GERAUD⁽³⁾

⁽¹⁾ IRD, B.P. A 05, 98848 Nouméa

⁽²⁾ Geophysical, 48, avenue Maréchal FOCH, 98800 Nouméa

⁽³⁾ Université louis pasteur, 1 rue blessig 67084 STRASBOURG

Abstract

A thick regolith with supergene nickel ore deposits, developed from ultramafic rocks in New Caledonia (SW Pacific), is investigated using Electrical Resistivity Tomography (ERT). We present the results of an ERT monitoring of the lateritic weathering mantle of Tiebaghi plateau. Resistivity pseudosections, validated by many borehole logs, contribute to defining a geoelectric model corresponding to main weathering horizons. Seasonal monitoring of a selected ERT profile shows that the geoelectric structure is preserved through time. Forward modelling, using Res2DMod, is used to investigate the regolith/bedrock geometry. We suggest that boulder zone contributes to deeper bedrock in the geoelectrical model. Local resistivity variations occur in the mottled zone-fine saprolite layer and along a major fracture zone that are interpreted as resulting from water content variations in groundwater pathways.

Introduction

Profitant de l'opportunité d'un réseau dense de sondages carottés associés à des profils de Tomographie Electrique de Résistivité 2D (ERT), nous évaluons la résolution géométrique de la méthode ERT appliquée à la prospection minière. En Nouvelle Calédonie, le minerai de Nickel est exploité dans des mines à ciel ouvert. Il est concentré à la base d'un profil d'altération développé sur plusieurs dizaines de mètres dans les péridotites des massifs miniers calédoniens. Dans le détail, la géométrie du système latéritique est complexe. Elle est déterminée par une structure de seuils et de sillons d'origine tectonique affectant le socle de péridotites. Connaître cette géométrie est la question fondamentale du travail de prospection des sites miniers. L'ERT participe à y répondre, mais la complexité de l'interface avec le socle et le rôle de l'eau sont des éléments à prendre en compte pour améliorer le pouvoir de résolution de la méthode. Sur le massif minier de Tiebaghi, l'exhaustivité de l'information géologique et géophysique disponible est utilisée pour étudier la résolution spatio-temporelle des mesures ERT sur une section de référence particulièrement bien documentée.

Matériel et méthodes

Le massif de Tiebaghi est situé au nord ouest de la Nouvelle Calédonie. Il forme un plateau, à 500 m d'altitude, constitué par un socle de péridotite et son manteau d'altération latéritique (Figure 1.1). Le profil d'altération est décrit par Trescases [1975]. Il se décompose en plusieurs horizons du haut vers le bas : cuirasse ferrugineuse, grenaille, latérite rouge (allotérite), latérite jaune (saprolite fine), saprolite (saprolite grossière) et enfin le socle de péridotite.

Sur ce site prospecté par la société SLN, l'information géologique destinée à l'estimation de la richesse du gisement est très détaillée. Plusieurs campagnes successives de prospection géophysique ont été menées en complément des reconnaissances par sondages géologiques à la maille 56m. Utilisant ces données, nous proposons de caractériser la variabilité spatiotemporelle de la résistivité des formations. Les paramètres étudiés sont la structure de l'interface saprolite/socle et la stabilité

des mesures dans le temps. L'analyse est menée sur un profil de référence, de 630 m de long dont la structure géologique est définie initialement par 16 sondages carottés. Sur ce profil, 10 sections ERT ont été mesurées sur une période de 2ans.

L'appareil de type ABEM Terrameter est utilisé en configuration Wenner alpha avec un écartement des électrodes de 10m. Le logiciel d'inversion Res2Dinv [Loke and Barker, 1996] appliqué à l'ensemble des pseudos sections permet de proposer 10 modèles de distribution des résistivités « vraies ». Sur chaque maille nous pouvons calculer une résistivité moyenne (Figure 1.2) et un coefficient de variation (Figure 1.6).

A partir d'un modèle géoélectrique hypothétique, le logiciel Res2Dmod [Loke, 2002] est utilisé pour comparer les résistivités apparentes théoriques aux valeurs mesurées par ERT. La géométrie du modèle géologique est définie par les sondages définissant le modèle géologique (Figure 1.2). Une correction du profil topographique est réalisée pour créer une surface plane horizontale nécessaire dans Res2DMod (Figure 1.3 et 1.4). Compte tenu de la pente constante de la topographie, la correction est obtenue en effectuant une rotation pour l'ensemble des points du modèle géologique. Enfin une résistivité homogène pour chaque horizon est estimée sur la base de mesures directes sur affleurements. Ces mesures sont effectuées selon un protocole Wenner alpha avec un écartement de 0,25m. Les résultats obtenus permettent de caractériser la cuirasse : 1500-3000ohm.m (moyenne $R_m=2084$), la latérite rouge : 100-400 ($R_m=214$), la latérite jaune : 65-400 ($R_m=222$), la saprolite : 10-100 ($R_m=32$) et le socle rocheux: 150-1300 ($R_m:389$). Les résistivités apparentes simulées sont alors inversées et comparées à la distribution des résistivités moyennes issue des mesures ERT. Pour faciliter la comparaison objective de deux profils, nous définissons l'écart relatif (écart/moyenne) calculé entre deux points correspondant sur les deux sections à comparer. La moyenne de ces écarts relatifs sur un ensemble de points est utilisé comme indice de similitude des sections.

Résultats et discussion.

Seize sondages ont permis de définir une première coupe géologique. Ce profil est comparé à la distribution moyenne des résistivités définie à partir des dix profils ERT. Les horizons géologiques sont regroupés en 4 couches aux caractéristiques géoélectriques remarquables. La cuirasse ($\rho > 700$ ohm.m), les latérites rouges et latérites jaunes ($100 < \rho < 700$), les saprolites grossières ($\rho < 100$) et les péridotites de résistivité croissante ($\rho > 100$) en profondeur.

Les interfaces géologiques plaqués sur la distribution moyenne des résistivités montrent une bonne correspondance entre horizons géologiques et géophysiques (Figure 1.3). Les seuils et sillons d'altération dans le socle sont bien distingués par la géophysique sauf en un point où une discordance apparaît entre le profil géologique construit et l'horizon géoélectrique (< 100 ohm). Nous montrons ainsi que pour un jeu homogène de résistivités, la géométrie d'une pointe rocheuse plus résistive dans un sillon saprolitique conducteur est largement estompé. Son influence reste cependant identifiable par une constriction du niveau conducteur qui n'est pas observée sur la distribution moyenne des résistivités mesurées. Le modèle peut être amélioré si l'on tient compte d'une interface socle/saprolite plus réaliste. Nous avons essayé de prendre en compte l'existence possible de blocs rocheux décamétriques. Ils ne sont pas détectés par les sondages carottés qui localisent le toit du bedrock après 3m de pénétration en roche saine. Une géométrie de ce type, testée par simulation directe, montre une meilleure corrélation du modèle géoélectrique avec l'inversion moyenne (Figure 1.4) Cette hypothèse a été validée par la réalisation d'un forage profond atteignant la base du niveau conducteur géophysique. Après 20 m de roche saine, ce sondage a rencontré 10m de saprolite grossière correspondant la base du niveau géoélectrique conducteur. Ce nouveau forage permet donc de rendre compte de la structure plus complexe du substratum rocheux dans un sillon (Figure 1.5). En intégrant les discontinuités conductrices localisées plus profondément dans le bedrock en cours d'altération, la méthode ERT s'est avérée porteuse d'information pertinente non vue par les sondages. Par la répétition des profils ERT, le calcul d'une distribution moyenne des résistivités a permis de réduire la variabilité temporelle des

mesures et d'atteindre une précision remarquable. Pourtant, la variabilité du signal au cours du temps n'est pas négligeable. Le rôle de l'eau est suggéré dans l'évolution saisonnière des réponses électriques [Robineau and Ritz, 2003]. Sur l'ensemble des 10 profils réalisés, la forme générale des interfaces reste préservée mais des variations importantes apparaissent en bordure du sillon principal (Figure 1.5). Ce secteur, situé sous le niveau de la nappe, est identifié comme un axe de drainage préférentiel contrôlé par une fracture du socle [Join, et al., 2005]. Au voisinage de cette structure, la résistivité électrique de la formation varie selon la loi d'Archie et pourrait dépendre de la minéralisation des eaux de percolation. Des mesures piézométriques associées à des mesures de conductivités de la nappe confirment cette hypothèse et montrent de fortes variations de la minéralisation des eaux en fonction des conditions de drainage (Figure 1.6). L'utilisation de Res2DMod pour simuler ces variations est envisagée, mais son application nécessite une meilleure connaissance de la distribution des porosités des différents horizons.

Conclusion

L'utilisation de la simulation directe sur un profil latéritique particulièrement bien documenté a permis de tester la résolution spatiale de la méthode ERT. La variabilité temporelle des mesures est interprétée dans son contexte hydrogéologique. Dans ce cas le monitoring ERT constitue une méthode pertinente pour la caractérisation du drainage vertical.

Références bibliographiques

- Join, J.-L., et al. (2005), Systeme hydrogeologique d'un massif minier ultrabasique de Nouvelle-Caledonie, *Comptes Rendus Geosciences*, 337, 1500-1508.
- Loke, M. H. (2002), *Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite-difference and finite-element methods. Manuel RES2DMOD ver 3.01.*, 128 pp.
- Loke, M. H., and R. D. Barker (1996), Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi Newton method, *Geophysical Prospection*, 44, 131-152.
- Robineau, B., and M. Ritz (2003), Geophysical investigation of groundwater flows in Nickel mining environments of New Caledonia, some proposals., paper presented at Colloque International ERMINE : "Préservation et restauration écologique en environnement minier", IRD, Nouvelle-Calédonie, Nouméa.
- Trescases, J. J. (1975), L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale: formation des gisements nickélicifères de Nouvelle- Calédonie, 259 pp, ORSTOM.

Remerciements

Ce travail est soutenu par la Société SLN que nous remercions pour sa coopération.

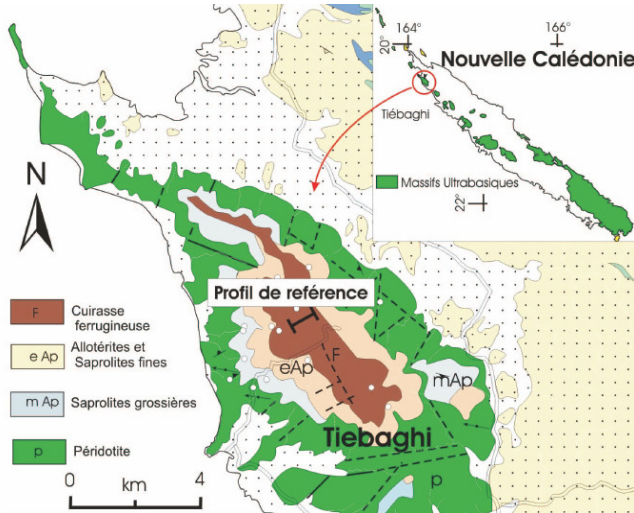


Fig. 1.1 - Situation géologique

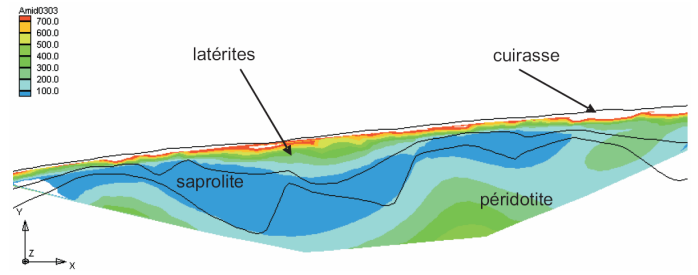


Fig.1.2 - Distribution moyenne des Résistivités (10 profils ERT) Modèle géologique (traits)

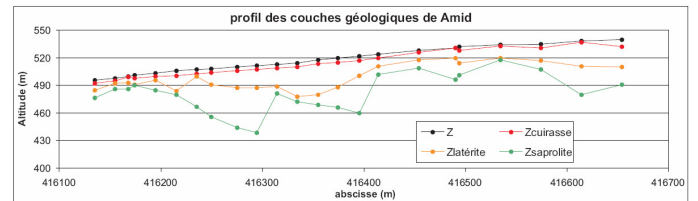


Fig.1.3 - Définition du modèle géoélectrique

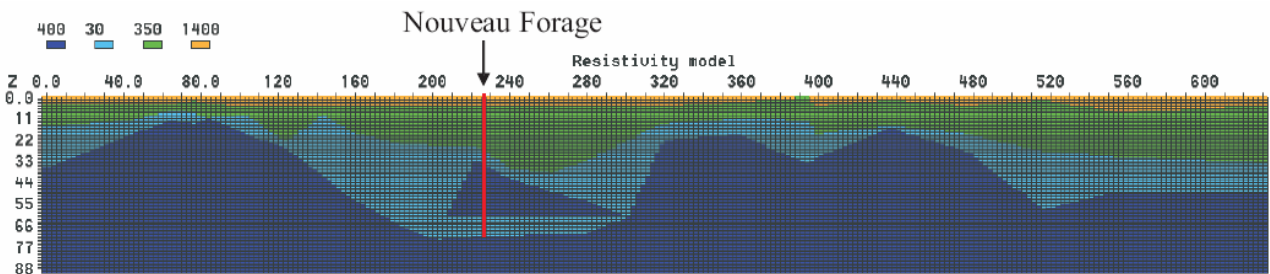


Fig. 1.4 - Modèle géoélectrique avec blocs rocheux testé sur Res2DMod

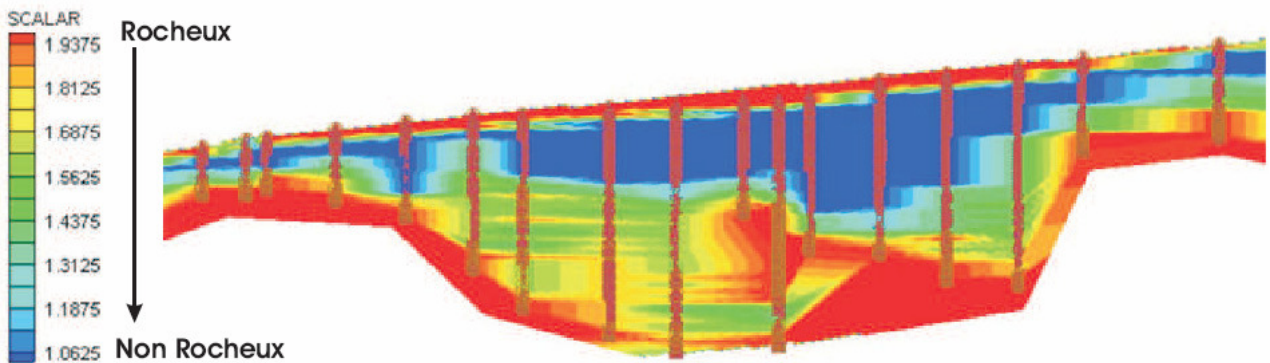


Fig. 1.5 - Nouveau modèle géologique après la réalisation du Forage

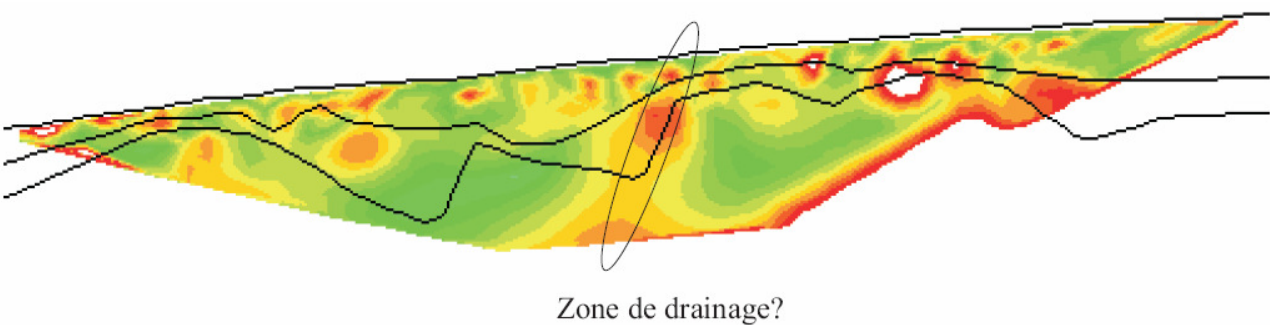


Fig. 1.6 - Distribution du coeficient de variation des Résistivités (rouge=max, vert=min)