

ANCIEN MONDE VERSUS NOUVEAU MONDE EN METHODE ELECTRIQUE – CAS D’ETUDE EN HYDROGEOPHYSIQUE EN INDONESIE

GUERIN R.¹, MOHAMAD F.², DUMONT M.¹, ALFADLI K.², NUGAGRAHA B.², MUHAMMAD A.S.³, FADILLAH A.³, DORFLIGER N.⁴, PLAGNES V.¹

¹ Sorbonne Université, CNRS, EPHE, UMR 7619 METIS, 75005 Paris, France, roger.guerin@sorbonne-universite.fr

² Faculty of Geology, Universitas Padjadjaran, Indonesia, febriwan@unpad.ac.id

³ Danone Aqua group, Department of Water Resources, Jakarta, Indonesia

⁴ Water Institute by Evian, Water Resources and Sustainability Division, Danone Waters, Evian-les-Bains, France

RESUME

Les méthodes électriques utilisées classiquement pour l’hydrogéologie apportent des informations et des incertitudes sur les couches aquifères et aquitardes. Les avantages et les limites des différentes techniques sont ici illustrées sur un cas d’étude en Indonésie.

Mots clés : sondage électrique, tomographie de résistivité électrique, profondeur d’investigation, extension latérale

OLD WORLD VERSUS NEW WORLD IN ELECTRICAL METHOD - HYDROGEOPHYSICS STUDY CASE IN INDONESIA

ABSTRACT

The electrical methods conventionally used for hydrogeology provide information and uncertainties on aquifers and aquitards. The advantages and limitations of the different techniques are illustrated here on a case study from Indonesia.

Key words: electrical sounding, electrical resistivity tomography, depth of investigation, lateral extension

INTRODUCTION

Dans le cadre d’une étude pluridisciplinaire pour l’alimentation en eau potable de l’île de Java en Indonésie, plusieurs campagnes de géophysique électrique ont été menées sur le flanc ouest d’un volcan andésitique. Ce volcan est majoritairement composé de l’empilement de coulées de laves (zone centrale), et de formation pyroclastiques aériennes et de lahars dans les zones externes (Selles et al. 2015). Cette stratification géologique ainsi que l’altération des roches silicatées induit une organisation spatialement et verticalement hétérogène des aquifères (Lachassagne et al. 2014). Cette étude présente l’analyse et la comparaison de plusieurs campagnes géophysiques ayant pour but de définir les géométries et extension des réservoirs aquifères. Pour ce faire, une première campagne a permis de couvrir l’ensemble du versant à l’aide de 100 sondages électriques (ES). La seconde campagne se focalise sur un secteur particulier marqué par l’émergence de sources artésiennes. Afin d’obtenir une meilleure résolution et cohérence spatiale, 12 tomographies de résistivités électriques (ERT) ont été utilisées.

MATERIEL ET METHODES

Les méthodes électriques sont bien adaptées à la recherche d’eau car les résistivités électriques imagées sont sensibles à la présence d’eau et d’argile. Les sondages électriques (ES) partent d’une hypothèse de sous-sol 1D. Les 100 ES réalisés couvrent une surface d’environ 41.5 km². Ils renseignent sur les variations à l’échelle régionale. Ces sondages électriques ont été réalisés avec le dispositif

Schlumberger avec des écartements AB allant de 3 à 600 m, et 3 embrayages. Les tomographies de résistivité électrique (ERT) 2D partent d'une hypothèse d'une géométrie 2D. Elles ont été acquises sur une surface plus restreinte (4.5 km²), en « roll-along » avec un dispositif Wenner-Schlumberger, 96 électrodes (64 électrodes pour les 2 acquisitions avec la moitié du dispositif déplacé lors du « roll-along ») avec 3 embrayages, et une distance inter-électrodes minimale de 10 m (avec des écartements AB allant de 30 à 520 m). Le nombre de mesures est de 25 par ES, et 1091 par ERT (soit 1884 pour le « roll-along »). Les embrayages sont traités manuellement pour les ES et automatiquement pour les ERT.

RESULTATS

A partir des 100 ES, des cartes de résistivité apparente pour des pseudo-profondeurs données (i.e. écartement entre les électrodes d'injections et de mesures), renseignent sur les variations qualitatives et régionales de la résistivité en fonction de la profondeur (Figure 1) : les cartes pour les écartements AB/2=6 m (125 m) donnent une information respectivement sur les 2.3 (48) premiers mètres.

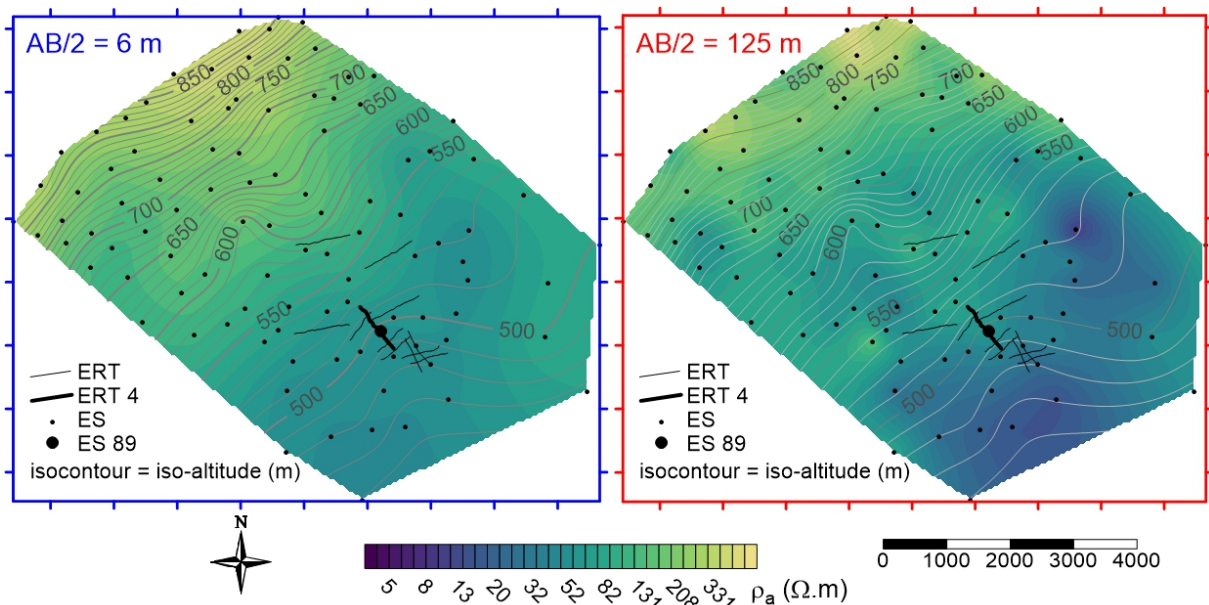


Figure 1 - Cartographies de résistivité apparente obtenues par krigeage des sondages électriques pour respectivement les écartements AB/2= 6 et 125 m. Les altitudes sont représentées par des isocontours gris clairs (10 m d'écartement)

Les cartes montrent une augmentation de la résistivité avec l'altitude, ainsi que des résistivités plus fortes en surface qu'en profondeur.

Les données du ES n°89, présentent (Figure 2) une ondulation caractéristique d'un sous-sol constitué de 4 couches (dans le cas d'une interprétation « simple » en minimum de couches), correspondant globalement/approximativement à une moyenne glissante de l'interprétation multi-couche (Zohdy 1989).

A partir de ces différentes interprétations, on peut déduire que la profondeur d'investigation correspond à la profondeur de la dernière couche atteinte, soit de 25 m avec le modèle « 4 terrains » et plus de 200 m avec le modèle multi-couche. Cette dernière valeur est cohérente avec la profondeur minimale d'une 5^{ème} couche qui se situerait sous le modèle « 4 terrains ».

Après une comparaison avec les forages disponibles dans le secteur, il ressort que les deux premières couches du modèle « 4 terrains » correspondent au sol plus altéré/humide en surface. Dessous, la 3^{ème} couche conductrice (résistivité de 28 Ω.m et épaisseur de 23.8 m) correspond à des lahars et autres produits détritiques altérés. Cet horizon constitue un toit hydrogéologique pour l'aquifère, i.e. la 4^{ème}

couche de résistivité 67 Ω.m, correspondant à des formations pyroclastiques et bréchiques faiblement altérées.

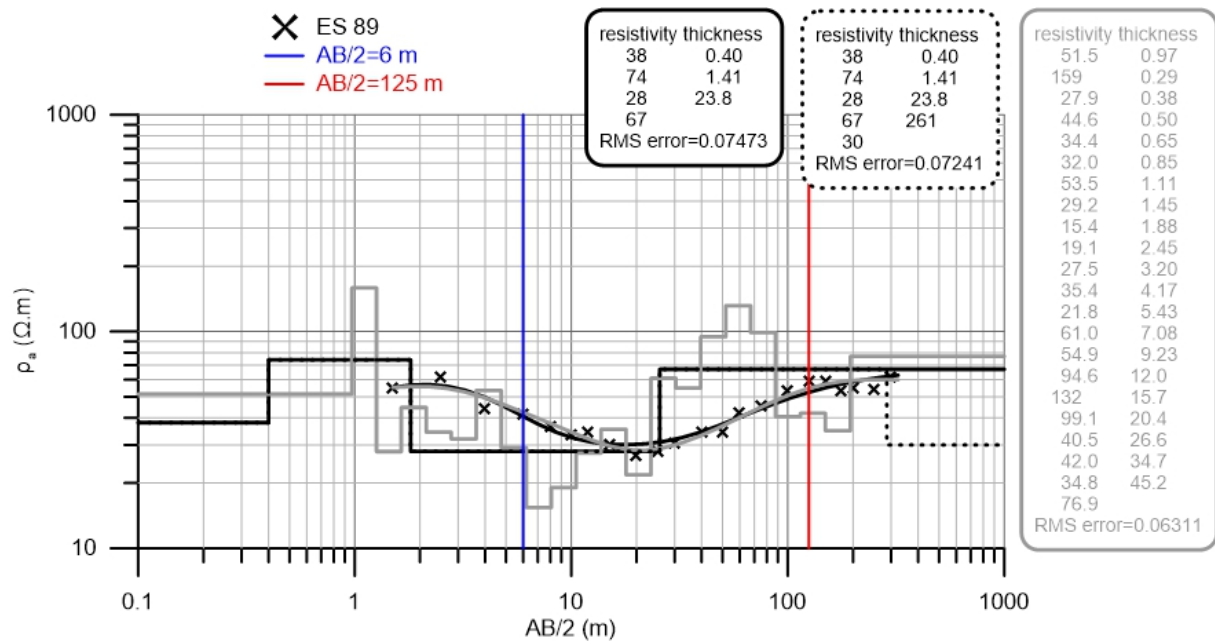


Figure 2 - Sondage électrique (ES) n°89 avec interprétations « simple » (à « 4 terrains » en trait plein et « 5 terrains » en pointillé) et en multi-couches

Les données de l'ERT n°4 (Figure 3) montrent globalement une structure tabulaire en 3 couches, dont la profondeur d'investigation (d'environ 100 m) est donnée de façon uniforme sur l'ensemble de la section géo-électrique en suivant les calculs proposés par Edwards (1977). Le sous-sol est composé par une partie superficielle résistante, environ 300 Ω.m, principalement présente sur les reliefs. Le sous-sol présente ensuite une couche conductrice (<20 Ω.m) d'environ 20-35 m d'épaisseur, avant un substratum plus résistant (150-300 Ω.m). L'imagerie produite par la tomographie diverge légèrement des résultats des ES. Les deux premières couches très fines (< 2 m d'épaisseur) ne sont pas visibles sur la section 2D. Dessous, la stratification d'un conducteur sur un résistant est cohérente pour les deux méthodes. On retrouve ainsi la même organisation verticale avec un aquifère captif recouvert d'un horizon argileux continu. On met également en évidence des horizons résistants sur les bourellets topographiques qui correspondent à des formations pyroclastiques aériennes.

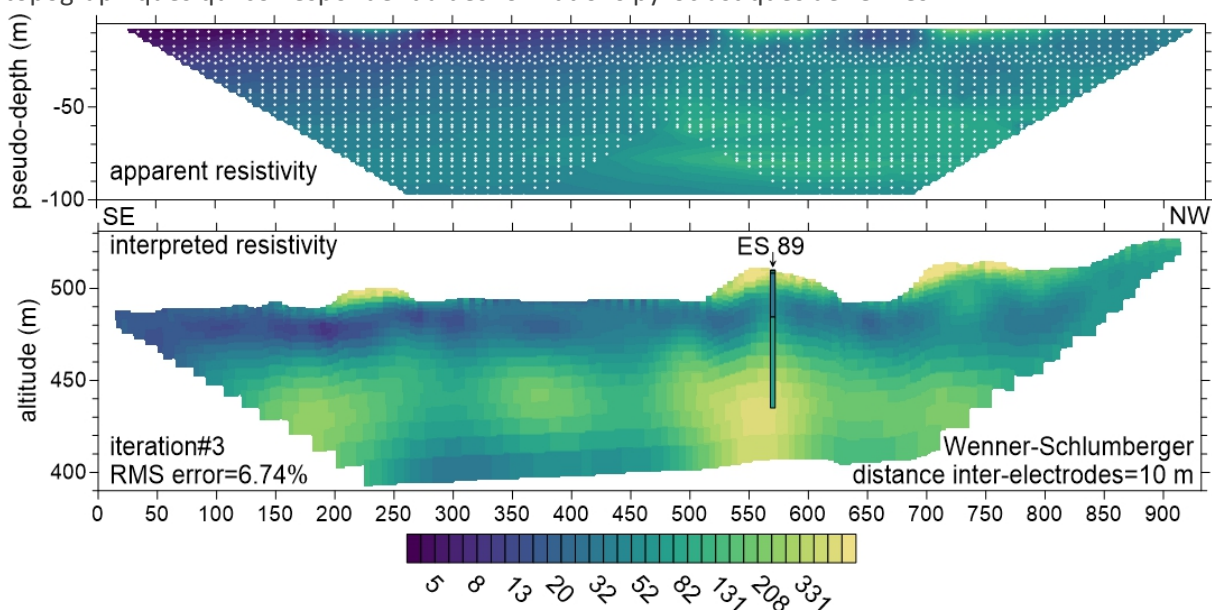


Figure 3 - Tomographie de résistivité électrique (ERT) n°4

DISCUSSIONS

Ces données illustrent la différence de résolution et de profondeur d'investigation des 2 techniques : (i) l'ERT ne permet pas de décrire la partie superficielle du sous-sol comme le ES, (ii) la profondeur maximale est calculée automatiquement avec l'ERT et expérimentalement avec le ES (les terrains conducteurs ont tendance à masquer les couches sous-jacentes).

Les variations latérales (morphologiques, géologiques) ne sont pas prises en compte dans les ES, et limitées à du 2D avec les ERT. Ces limites sembleraient importantes dans un environnement aussi complexe que les volcans andésitiques. Or, les deux méthodes imagent une structure tabulaire de 3 à 4 couches, avec seulement des ondulations-variations d'épaisseur pour les différentes couches détectées. La 1^{ère} couche imagée en surface par les ES n'est pas identifiée en ERT car elle est trop fine pour l'écartement inter-électrodes de 10 m (et donc la taille minimale de AB=30 m) en ERT.

L'imagerie géophysique a permis de définir la structuration du sous-sol. Les ES mettent en évidence la présence d'un sol recouvrant l'horizon argileux toit de l'aquifère captif émergent en bas du versant du volcan. De plus, la densité des ES permet de clairement définir l'extension latérale du toit de l'aquifère. L'ERT permet d'apporter des informations complémentaires en imageant précisément les variations latérales dans les secteurs d'émergence de l'aquifère captif. De plus il met en évidence la présence ponctuelle de formations aériennes sur les hauts topographiques.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le site d'étude bénéficie d'un grand nombre de données géophysiques, auxquelles s'ajoutent des données de forage, qui permettent la compréhension/description et la gestion des ressources en eau de la zone.

Ces deux mondes/époques des méthodes électriques sont complémentaires. Alors que le ES semble être une méthode désuète de nos jours, elle permet : (i) d'apporter une meilleure résolution verticale ponctuellement, ainsi que (ii) de couvrir des secteurs étendus afin d'apporter une estimation des variations régionales de la structure du sous-sol. L'ERT permet une description détaillée des hétérogénéités latérales (et notamment des variations au sein de l'aquifère).

Des évolutions sont apparues dernièrement avec les systèmes avec une connexion sans fil entre la partie d'injection de courant et la partie de mesure de la différence de potentiel, permettant des prospections 3D et de grandes profondeurs d'investigation. Cette nouvelle approche permet de combiner les avantages des ES et des ERT.

Remerciements

Ce projet a été réalisé dans le cadre d'une convention de collaboration entre Sorbonne Université (laboratoire METIS), Danone, Aqua et l'Universitas Padjajaran (UNPAD).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

EDWARDS L.S., 1977 – A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, 42 (5), 1020–1036.

LACHASSAGNE P., AUNAY B., FRISSANT N., GUILBERT M., MALARD A., 2014 – High-resolution conceptual hydrogeological model of complex basaltic volcanic islands: a Mayotte, Comoros, case study. *Terra Nova*, 26 (4), 307-321.

SELLES A., DEFFONTAINES B., HENDRAYANA H., VIOLETTE S., 2015 – The eastern flank of the Merapi volcano (Central Java, Indonesia): Architecture and implications of volcanoclastic deposits. *Journal of Asian Earth Sciences*, 108, 33–47.

ZOHDY A.A., 1989 – A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. *Geophysics*, 54 (2), 245-253.