

Variations saisonnières de la résistivité des sols au niveau d'une ravine sur un versant sahélien.

II. Interprétation des panneaux électriques 2D.

Marc Descloitres¹, Olivier Ribolzi², Yann Le Troquer¹

¹Unité de Recherche 027 GEOVAST, IRD Ouagadougou, Burkina Faso

²Unité de recherche 049 ECU, IRD Ouagadougou

Abstract: In the sahelian zone of Burkina Faso, several studies have been made in order to characterize the erosion processes at the Katchari catchment. Geophysics has been considered here to evaluate the possibilities to use the temporal variations of the resistivity in order to i) give qualitative and quantitative information which could be related to hydrogeochemical data and ii) intent to image the infiltration of the rainwater into the alterite clayey zone and the possible links to the fractured aquifer. The first results point out the necessity to use resistivity data obtained from bore hole when trying to interpret 2D pseudo section.

Problématique

Les études hydrologiques et hydrogéochimiques menées sur le bassin versant de Katchari au Burkina Faso ont pour but de quantifier l'érosion actuelle en zone sahélienne fortement dégradée par le surpâturage. Sur les versants on mesure des fortes intensités de ruissellement lors des événements pluvieux qui se répartissent de mi-juin à mi-septembre. Lors de ces événements, l'eau est un agent majeur pour l'érosion et le transport de matières dissoutes et solides. Le ruissellement se concentre dans des ravines qui pourraient être le siège d'infiltrations préférentielles, à l'image des observations faites au Niger sur substrat gréseux. L'objectif de cette étude est de vérifier cette hypothèse dans notre contexte de socle cristallin.

Pour réaliser cette étude, nous nous sommes placés à l'exutoire d'un petit bassin versant d'une ravine. Ce secteur réunit trois états de surface pouvant favoriser les infiltrations: i) la ravine elle-même qui possède un fond très sableux, ii) des horizons gravillonnaires grossiers et iii) un filon de quartz affleurant et fracturé.

Un suivi hydrologique et hydrogéochimique ainsi que des mesures géophysiques ont été réalisées entre juin 2000 et mars 2001. Pour les mesures géophysiques, ce sont les variations saisonnières de résistivité qui sont étudiées afin de localiser les infiltrations préférentielles au droit de la ravine. En effet, la résistivité est un paramètre très sensible à la présence et la qualité de l'eau dans les sols. Les saisons contrastées du Sahel constituent pour cela un cas idéal où des sols s'assèchent pendant plusieurs mois avant d'être brusquement humidifiés.

Les conclusions exposées dans la partie I de cette étude s'appuient sur l'interprétation qualitative de cartes de différence de résistivité apparentes constatées entre la saison sèche et la saison des pluies.

Elles peuvent être résumées ainsi :

- les infiltrations restent très superficielles lors des événements pluvieux (quelques décimètres). Au niveau d'un des tubes neutroniques, un suivi prouve cependant que des infiltrations profondes latérales peuvent néanmoins se produire localement à la faveur d'un filon de quartz fracturé.
- les terrains de surface ont des résistivités qui peuvent chuter de 400 à moins de 5 Ohm.m dans certaines zones suite aux pluies.
- D'un point de vue méthodologique, lorsqu'on utilise des traînées avec des longueurs de ligne de 5 m, ce phénomène de surface a pour conséquence de rendre les interprétations qualitatives des différences de résistivité assez difficile : on assiste en effet dans certaines zones à des augmentations importantes des résistivités apparentes après les pluies.

Cette difficulté devrait pouvoir être contournée par une approche quantitative 2D. Lors de la saison des pluies 2000 et en saison sèche, nous avons réalisé un profil électrique 2D Wenner traversant la ravine, avec des électrodes espacées de 50 cm. Ce profil est aussi équipé avec des tubes de sonde à neutron et de deux petits forages d'une profondeur de 5 mètres, espacés de 6 mètres, ont été équipés d'électrodes afin de réaliser des mesures au sein même des sols.

Les résultats présentés dans ce résumé sont surtout méthodologiques : nous évaluons les possibilités offertes par le logiciel RES2DINV pour le suivi temporel (option « time-lapse », Loke, 1999). Nous tentons aussi de contraindre les inversions par l'ajout de données issues des diagraphies.

Résultats

Etant donné que les mesures électriques dans les 2 forages ont été commencés après les premières pluies, les données présentées ici concernent les différences de résistivité existantes entre la fin de la saison des pluies 2000 et le milieu de saison sèche 2001 afin de suivre l'assèchement des sols.

Inversion sans contrainte des panneaux de résistivité apparente en suivi temporel

La figure 1 présente les résultats de l'inversion des panneaux du 27 septembre 2000 (fin de saison des pluies) et du 13 mars 2001 (milieu de saison sèche) en terme de variation des résistivités (%). Le modèle de départ pour l'inversion des données du 13 mars est celui calculé pour les données du 27 septembre (option « time-lapse » de RES2DINV). Entre 35 et 41 mètres, entre les forages équipés d'électrodes, on relève des zones où la résistivité a augmenté et où elle a diminué. Cette diminution est plus que suspecte, étant en saison sèche et hors nappe. Cela nous est confirmé par l'analyse des résistivités apparentes pôle-pôle mesurées dans les forages : toutes ont augmenté, entre 7 et 30 % en moyenne (figure 2).

Le calcul d'inversion « time-lapse » sans contraintes mené sur les deux sets de données réelles est donc sujet à caution. Nous savons que lors des événements pluvieux, ce sont essentiellement les terrains de surface qui s'humectent et ceux dont la résistivité varie le plus. Afin d'évaluer la fiabilité du calcul RES2DINV dans le cas de variations de résistivité superficielles, nous avons testé le logiciel avec des données synthétiques.

Inversion de données synthétiques 1D

Nous avons choisi un modèle simple 3 terrains 1D qui suit la succession des horizons observés. Deux sets de données sont générés, en faisant varier uniquement la résistivité du terrain de surface (25 cm) de 5 Ohm.m (modèle A, terrain argileux de surface gorgé d'eau) à 400 Ohm.m (modèle B, terrain argileux desséché), reproduisant ainsi les variations réelles maximum observées sur notre terrain. Le modèle issu de l'inversion du premier set de données sert de modèle de départ pour inverser le deuxième set de données. Les résultats sont présentés sur la figure 3a. Ils font apparaître que, si le calcul permet de constater que la résistivité du premier terrain a bien augmenté, il ne restitue pas correctement en revanche l'absence de variation des résistivités des terrains sous-jacents : le calcul fait apparaître une chute fictive de 30 à 50% de la résistivité à deux mètres de profondeur et une forte augmentation de la résistivité en profondeur (plus de 200%). Il est possible d'envisager améliorer ces

résultats en « jouant » sur les paramètres d'inversion, mais cela nous semble difficile à justifier dans un cas réel où on ne connaît pas le sous-sol précisément.

Nous avons incorporé dans le même processus d'inversion des zones de résistivité fixes correspondantes à deux forages fictifs où l'on connaît les résistivités des terrains traversés. Les résultats sont présentés sur la figure 3b. L'inversion montre une diminution fictive de 20 à 30 % de la résistivité vers 1 mètre de profondeur d'épaisseur très réduite entre les forages. En revanche, le reste du modèle est mieux restitué en profondeur.

Ces résultats obtenus dans un cas extrême de variation de résistivité superficielle montrent que l'ajout de données de forage permet d'améliorer la restitution des variations de résistivité. Cette procédure donne de meilleurs résultats qu'une inversion « time-lapse » sans contrainte.

Inversion des données réelles contraintes par des données de diagraphie

Les résultats obtenus lors des inversions utilisant des jeux de données synthétiques montrent que c'est plutôt l'incorporation de données de forage qui semble améliorer la restitution des variations temporelles. En conséquence, nous avons conduit des inversions des deux jeux de données réelles du 27 septembre et du 13 mars en y incorporant des résistivités fixées grâce aux mesures pôle-pôle en forage. Le résultat est présenté sur la figure 4. Dans la zone limitée entre les forages, et contrairement à l'image obtenue sans aucune contrainte présentée sur la figure 1, le résultat montre une augmentation générale des résistivités au droit et entre les forages. Ce résultat est cependant limité dans les environs immédiats où la résistivité a été fixée. En conséquence, il est probable que les images obtenues très à l'écart des forages ne rendent pas compte de la réalité, en particulier les zones de chute de résistivité.

Conclusions

Ces premiers résultats concernent les tentatives que nous menons pour interpréter quantitativement les variations temporelles des résistivités à quelques mètres sous la surface en utilisant des données électriques 2D et le logiciel RES2DINV. Ils permettent de dire que les interprétations obtenues sans contrainte avec l'option « time-lapse » peuvent conduire à des interprétations erronées lorsqu'on est en présence de variations importantes et superficielles des résistivités (ce qui est souvent le cas dans notre contexte de sols argileux).

C'est l'incorporation de données de diagraphie dans l'inversion qui permet de restituer plus fidèlement les variations réelles que nous observons sur notre terrain. A l'avenir, des mesures cross-hole ou des mesures utilisant plusieurs dispositifs géométriques simultanés seront probablement nécessaires pour obtenir des images fiables des variations de résistivité.

Nos mesures montrent qu'entre fin septembre 2000 et mars 2001, les sols sous la ravine ont vu leur résistivité augmenter sur quelques mètres d'épaisseur. Ce résultat indique soit que des infiltrations/dessications lentes se produisent au droit de la ravine, soit que les sols se sont nettement refroidis. Enfin, les mesures 2D et leur analyse en mode time-lapse ne mettent pas clairement en évidence l'infiltration latérale profonde constatée à la faveur du filon de quartz fracturé. Il est possible que le contraste de résistivité soit insuffisant pour être clairement mis en évidence (milieu assez inerte hydrochimiquement parlant).

Références

Loke, M.H., 1999 - *Time-Lapse resistivity imaging inversion*. 5th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society, European Section, Proceedings.

Remerciements : Cette étude a été réalisée dans le cadre des Unités de Recherche 027 « GEOVAST » et 049 « ECU » de l'IRD, et grâce au financement partiel du PNSE n°99/44 « Interactions entre structures et fonctionnement hydro-bio-géochimique des sols de la zone sahélienne du Burkina Faso ». Les auteurs tiennent à remercier toute l'équipe du laboratoire d'hydrologie de l'IRD de Ouagadougou, avec une mention spéciale à Maxime Wubda, Yves Dzouali et Boureima pour leur énergie sans faille lors des campagnes de terrain.

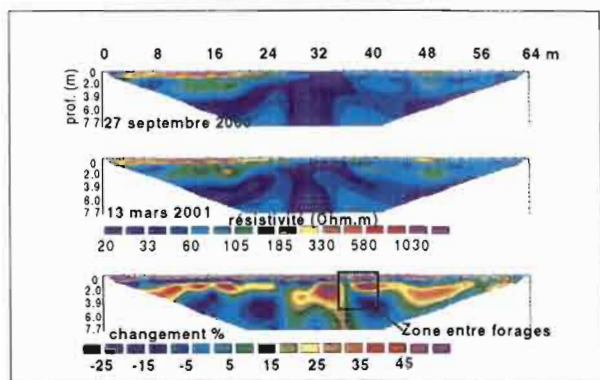


Fig. 1 : Résultats de l'inversion time-lapse sans contrainte.

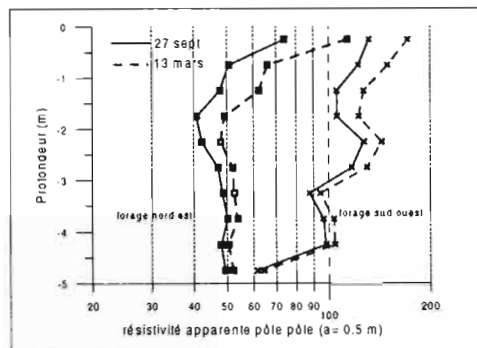


Fig. 2 : Variations de la résistivité apparente pôle pôle dans les forages entre le 27 sept 2000 et le 13 mars 2001.

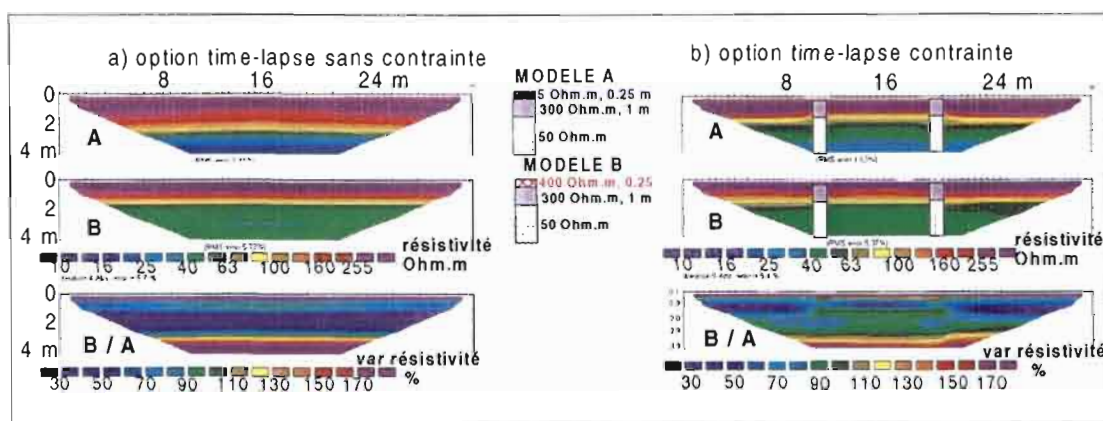


Figure 3 : Inversion des modèles synthétiques A et B.

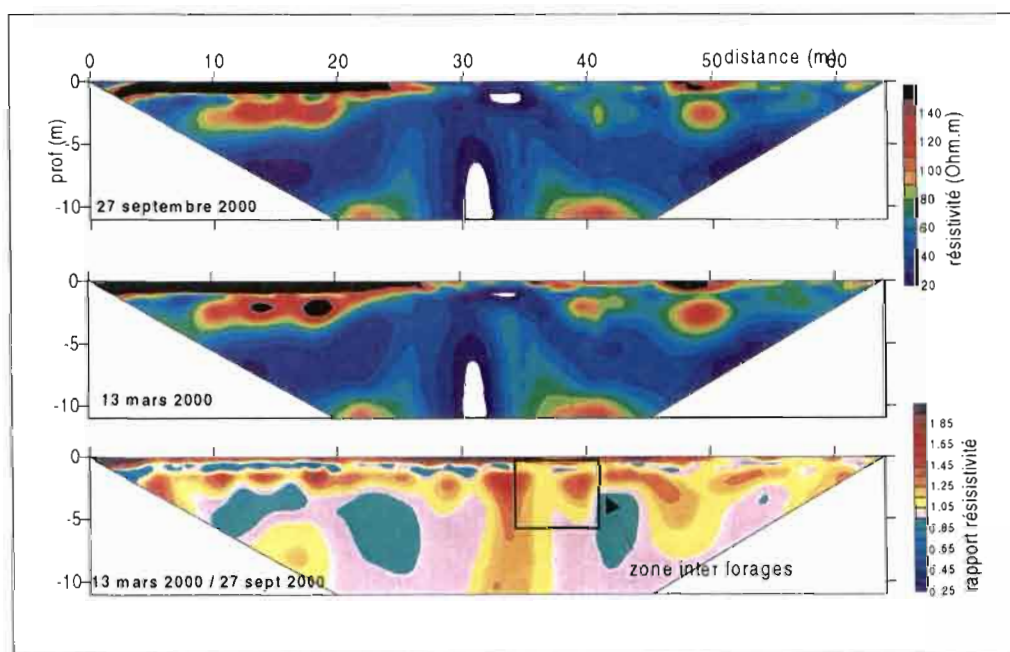


Figure 4 : Différences entre les interprétations des 27 septembre 2000 et 13 mars 2001 contraintes par les données de forage.