

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

I. Etude cartographique par traîné Wenner.

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 deduced from apparent resistivity ratio (Wenner 5m) point out the very shallow infiltration and high drops in the resistivity of the first layer. These maps could be related to differences in the chemistry of the soils and/or in the thickness of infiltration.

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 recouvert de terrain argileux.

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.

Dans cette étude géophysique, deux approches sont privilégiées :

- La première s'appuie sur l'interprétation qualitative des cartes de résistivité apparente obtenues avec un dispositif Wenner (écartement $a = 5$ m) faciles à réaliser sur le terrain, et capable d'intégrer un volume de sol sur quelques mètres d'épaisseur. Cette carte a été réalisée à pas de 5 m tous les 15 jours en saison des pluies. L'objet de cet article est de présenter les premiers résultats du suivi temporel obtenus lors de la saison des pluies 2000.
- La seconde est quantitative et s'appuie sur des interprétations de panneau de résistivité 2D en travers de la ravine. Les premiers résultats obtenus lors de la saison 2000 sont présentés dans un autre article (partie II).

Résultats

Les cartes de résistivité apparente Wenner 5 m (figure 1) indiquent que les zones de faibles résistivité coïncident généralement avec le tracé des ravines en surface. Ce n'est pas vrai partout et on peut identifier des zones résistantes situées en dessous des croûtes d'érosion argileuses indécélables d'après le seul examen de surface. Ces zones correspondent probablement à la présence d'horizons gravillonnaires d'épaisseur importante (0,5 – 1 m) reconnus par certains trous à la tarière.

Les cartes des rapports des résistivités apparentes (figure 1) ont été tracées pour 11 cartes successives. A titre d'exemple, la carte des rapports entre le 2 août (1 mois 1/2 après les premières pluies) et le 8 juin 2000 (état « zéro » avant les pluies) montre des zones où la résistivité apparente diminue et des zones où elle augmente. La carte 19 janvier 2001 / 8 juin 2000 (deux états de saison sèche) montre elle une augmentation généralisée des résistivités apparentes, qu'on pourrait interpréter par un assèchement généralisé des sols après une saison déficitaire en terme de précipitation (420 mm au lieu des 510 mm de moyenne).

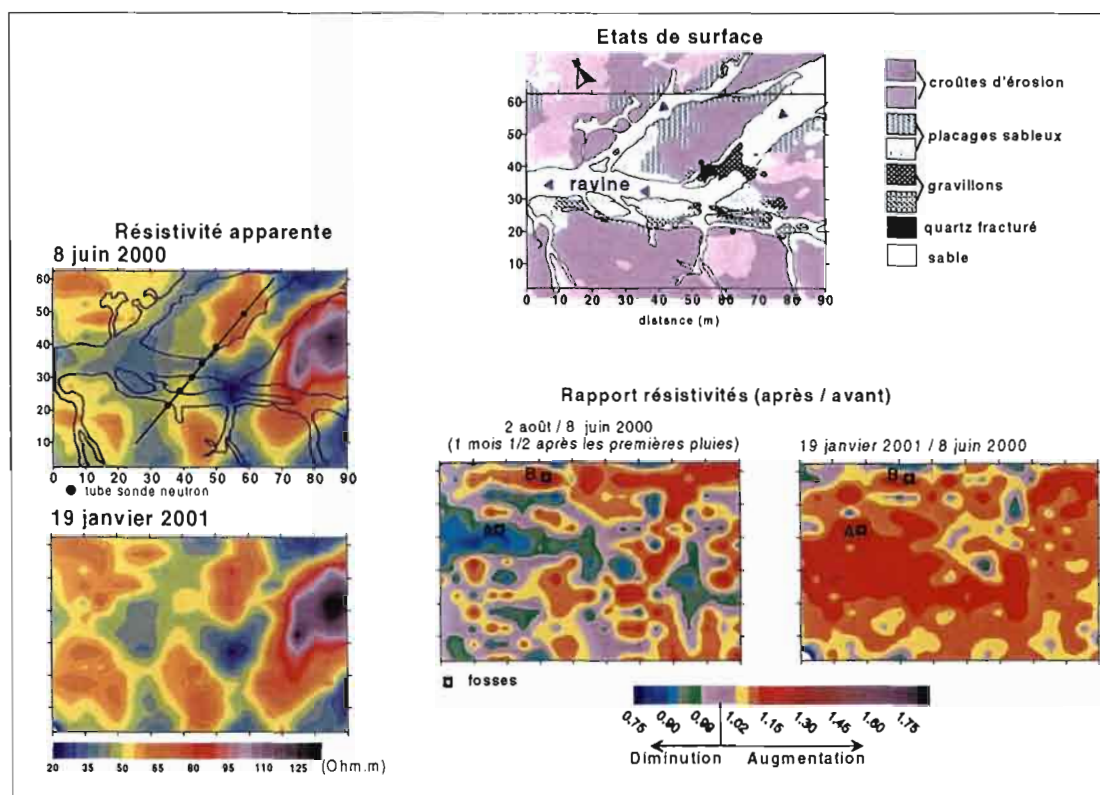


Figure 1 : Exutoire du bassin versant de Katchari. Etats de surface et suivi des résistivités apparentes.

Il est aussi possible que les sols soient plus froids en janvier et voient par conséquent leur résistivité augmenter.

Afin de comprendre ces mesures, et particulièrement celles qui montrent des augmentations de résistivité apparentes en saison des pluies, nous avons entrepris dans un premier temps de creuser deux fosses de contrôle (situées sur la figure 1). La fosse A se situe dans une zone où les résistivités apparentes chutent après les pluies et la fosse B dans une zone où elles augmentent. Le profil granulométrique ne présente pas de différences notables d'une fosse à l'autre. La fosse A est une zone où les pH sont élevés (7 à 8 sur 2 mètres) (figure 2), contrairement à la fosse B (pH de 4 à 6). Les valeurs des conductivités des sols (pâtes saturées) indiquent aussi un contraste important. Sur A, les conductivités sont élevées ($> 250 \mu\text{S/cm}$), dues à la présence carbonates très solubles, contrairement à B, où les conductivités restent inférieures à $100 \mu\text{S/cm}$.

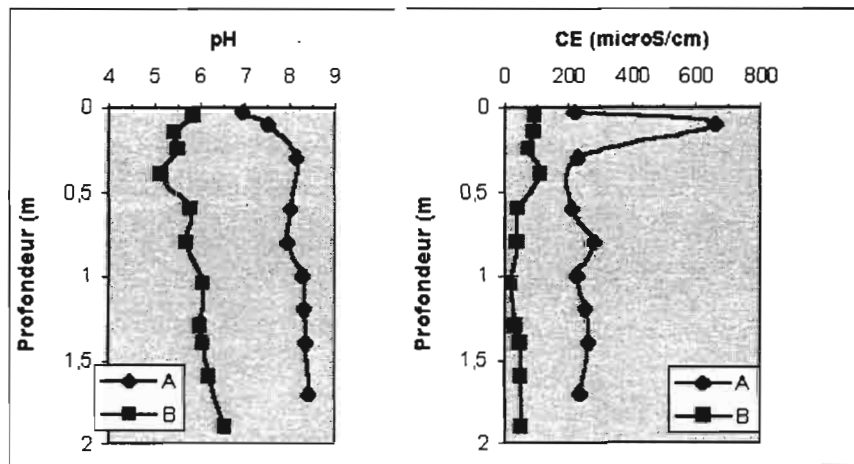


Figure 2 : Fosses A et B. Mesure des pH et des conductivités des sols (pâtes saturées).

Nous avons procédé à des mesures de résistivité lors d'un cycle humectation / dessiccation, dans les environs immédiats des fosses (figure 3a). Les surfaces étudiées montrent que la résistivité (mesurée ici avec des petits dispositifs Wenner avec $a = 5 \text{ cm}$) chute considérablement lors d'une pluie.

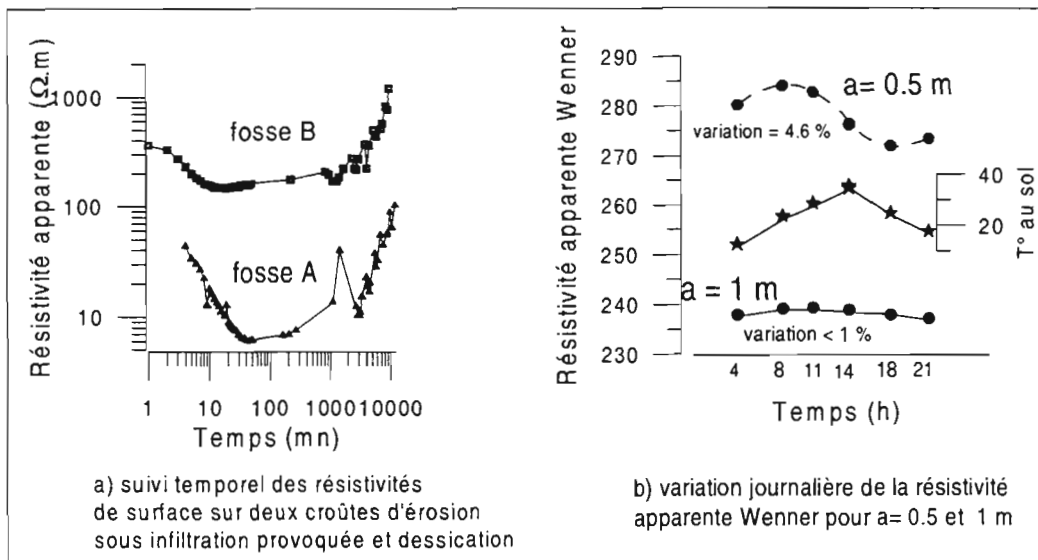


Figure 3 : Suivi des résistivités sous infiltration provoquée et lors des variations journalières de température.

Les variations observées montrent des chutes de 200 à moins de 5 Ohm.m (lorsque des carbonates sont présents). D'autre part, l'infiltration reste limitée à quelques décimètres dans les zones argileuses. Des mesures de sonde à neutron faites tout au long de la saison des pluies sur plus de 5 mètres de

profondeur au centre de la ravine et sur les cotés confirment que l'infiltration reste généralement limitée à moins de 50 cm de profondeur. Une exception notable se présente au niveau d'un des tubes situé dans la ravine. De fortes variations d'humidité ont été détectées entre 4 et 6 m de profondeur sans lien avec la surface. Il s'agit probablement d'apport latéral d'eau à la faveur d'un filon de quartz fracturé drainant.

Nous avons dans un second temps mesuré sur un cycle de 24h les variations maximales de température des sols et les résistivités apparentes associées (figure 3b). Les mesures de température des sols montrent qu'il est possible lorsque le sol est sec d'avoir des augmentations de résistivité apparente en dispositif Wenner de l'ordre de 4 à 6 % pour une chute de 22°C en surface, pour des écartements de 0,5 m. Lorsqu'on passe à des dispositifs plus grands, les variations de la résistivité apparente restent inférieures à 1%. Les variations que nous observons avec les longueurs de ligne de 5 mètres ne peuvent donc pas être expliquées par une chute de la température des sols lors des pluies.

Ces résultats permettent d'expliquer les variations des résistivités apparentes observées : la figure 4 présente des courbes synthétiques Wenner pour un terrain 1D correspondant à la succession verticale des sols observée sur le terrain. Ce calcul analyse les effets d'une variation importante de la résistivité du terrain de surface (50 cm), les autres gardant leur résistivité constante. Pour des variations de résistivité de surface de 400 à 50 Ohm.m et pour des longueurs de ligne de 3 à plus de 20 mètres, on assiste à une augmentation significative de la résistivité apparente. Cela explique vraisemblablement l'augmentation des résistivités apparentes dans certaines zones après les pluies. En revanche, lorsque la résistivité chute à moins de 5 Ohm.m, on assiste à une diminution de la résistivité apparente pour $a = 5$ m. En conséquence, les diminutions de résistivité apparente notées sur les cartes correspondent très probablement à des zones où les carbonates seraient présents. Il est aussi possible que ces zones marquent une infiltration plus profonde. Cette interprétation reste cependant à vérifier lors de la prochaine saison des pluies.

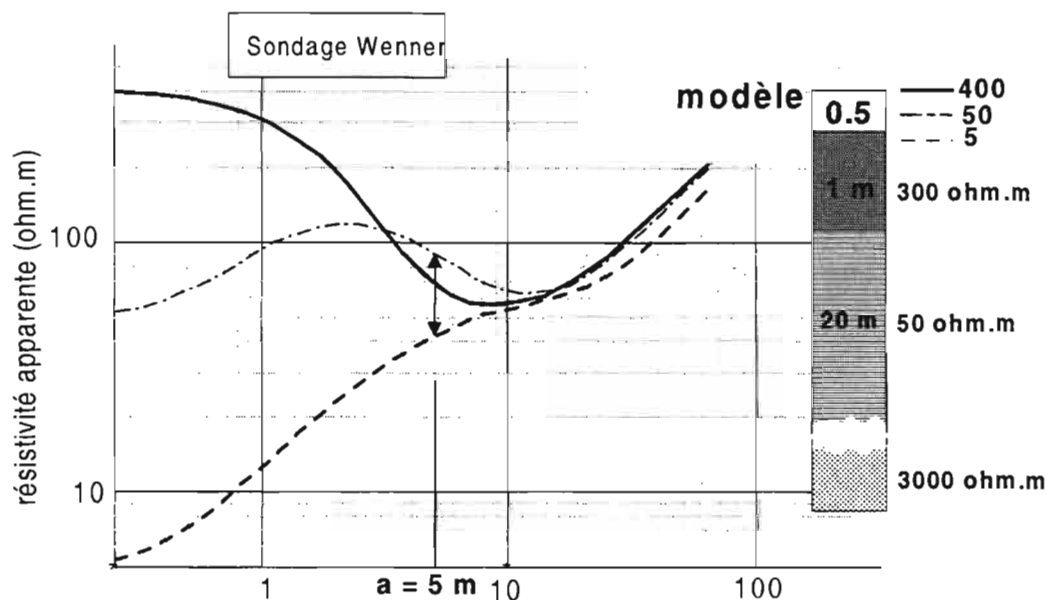


Figure 4 : Courbes synthétiques de sondages électriques Wenner 1D.

Conclusions

La cartographie des résistivités apparentes indique que les zones de faible résistivité coïncident généralement avec le tracé des ravines, mais qu'il n'y a pas forcément de liaison entre les résistivités et les états de surface.

Le suivi cartographique du rapport des résistivités apparentes a mis en évidence une variabilité latérale des propriétés chimiques des sols qui n'apparaît pas sur la seule carte des résistivités apparentes.

D'un point de vue méthodologique, il est évident que les traînés Wenner à longueur de ligne de 5 m ne sont pas très adaptés pour caractériser les infiltrations de surface constatées lors des événements pluvieux. Cela conduit dans notre cas, et à cause des variations de résistivités très importantes en surface, à des augmentations de résistivité apparente dans certaines zones après les pluies, ce qui complique l'interprétation qualitative. Par contre, il est possible que les zones où la résistivité apparente chute correspondent à des zones où les carbonates seraient présents et/ou des zones à humectation plus profonde. Les cartes des rapports de résistivité ne sont donc pas directement des cartes de propriétés des sols, car deux paramètres font varier la résistivité apparente mesurée : l'épaisseur d'infiltration et la résistivité de surface.

Un des moyens de réduire cet « effet de surface » serait de réduire les longueurs de ligne. Cela signifie aussi planter beaucoup d'électrodes, et par conséquent modifier les états de surface. Une alternative possible pourrait être des suivis de résistivité en utilisant des techniques électromagnétiques (type EM31 ou 38), mais les premiers tests réalisés en ce sens montrent que ces appareils sont assez sensibles aux variations de température et délicats à calibrer.

Enfin, les infiltrations aux alentours et dans la ravine lors des événements pluvieux sont limitées aux premiers décimètres, à l'exception de drainages profonds latéraux très localisés indécélables avec le dispositif employé.

Remerciements : Cette étude a été réalisée dans le cadre des Unités de Recherche 027 « GEOVAST » et 049 « ECU » de l'IRD, et grâce à un 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.