

Infiltration profonde à travers une zone d'épandage sableuse de versant au Niger semi-aride : évidence par modélisation hydrologique et reconnaissance géophysique

Sylvain MASSUEL¹, Guillaume FAVREAU¹, Marc DESCLOITRES², Yann LE TROQUER², Yves ALBOUY³, Bernard CAPPELAERE¹

¹U.M.R. Hydrosociences, Maison des Sciences de l'Eau, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), B.P. 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France. Courriel: sylvain.massuel@msem.univ-montp2.fr

²Unité de recherche 027 GEOVAST, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), BP 182, Ouagadougou 01, Burkina Faso

³Unité de recherche 027 GEOVAST, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 32, av. Henri-Varagnat, 92143 Bondy cedex, France

Abstract: In semiarid southwest Niger, most of the groundwater recharge is indirect and occurs through endoreic pools. Elsewhere in the landscape, there is no deep infiltration, with the only possible exception of alluvial fans on sandy slopes. In order to test this hypothesis, a geophysical survey was conducted on a large fan (~9ha), where hydrological modelling suggested surface water loss by infiltration. Electromagnetism (EM34) and 2D electrical surveys (Wenner), as well as with resistivity logging in drill holes were used to investigate the vadose zone. Changes in resistivity appear to be mainly linked with changes in the soil solution mineralization. Through the whole area, the resistivity is systematically higher below channels, thus suggesting episodic leaching of the unsaturated zone. Because leaching occurs down to depth of 10m, episodic groundwater recharge below channels in sandy alluvial fans is highly probable in southwest Niger.

Problématique

Au sud-ouest du Niger semi-aride, le fonctionnement hydrologique est essentiellement endoréique. Lors des événements pluvieux, de juin à septembre, le ruissellement se concentre depuis le bord des plateaux pour alimenter des mares isolées à mi-versant ou dans les bas fonds de vallées fossiles. En saison sèche, la ressource en eau principale est par conséquent représentée par la nappe. La pression anthropique depuis 50 ans a favorisé le déboisement au profit des cultures modifiant ainsi l'équilibre hydrologique et provoquant la hausse de la nappe (Favreau *et al.*, 2002). Gérer et protéger cette ressource, c'est avant tout comprendre les mécanismes reliant les écoulements de surface à la recharge. Les mares représentent des points privilégiés de la recharge. Cependant, notre étude se propose de vérifier si d'autres lieux comme les zones d'épandage sableuses ou le fond des ravines de versant, également très sableux, pourraient favoriser une infiltration profonde.

L'étude concerne le bassin versant élémentaire de Wankama (Figure 1), formant une zone d'épandage sableux à mi-versant et sur lequel un modèle hydrologique distribué à base physique a été établi, calibré et validé (Cappelaere *et al.*, 2003). Sur ce bassin, la nappe se situe à 65 m de profondeur à l'amont et à 17 m à l'aplomb du bas-fond. La modélisation hydrologique suggère que 92% des volumes alimentant la zone d'épandage s'infiltrent sur le premier hectare amont. Afin de mettre en évidence les zones d'infiltration préférentielles, notre étude géophysique s'appuie sur les mesures de la résistivité, paramètre très influencé par l'humidité et la minéralisation des eaux contenues dans les formations (Descloitres *et al.*, 2003). Les prospections suivantes ont été menées :

- Cartes de conductivité apparente par électromagnétisme (EM) fréquentiel (EM34) à 10, 20 et 40 m d'écartement avec un maillage de mesures au pas de 10 et 40 m
- Panneau de résistivité 2D en travers de la zone d'épandage avec des dispositifs Wenner α et β (écartement inter électrode unitaire $a=4$ m)
- Diagraphies électriques sur 9 forages jusqu'à 25 m de profondeur en zone non saturée avec une sonde de diagraphie électrique, dispositif pôle-pôle (AM= 0,25 m)

Pour tous les forages, des prélèvements réguliers de sol ont été réalisés afin d'effectuer les analyses des paramètres physicochimiques (humidité pondérale, succion matricielle, granulométrie, diffraction X, conductivité, pH, analyse des ions majeurs).

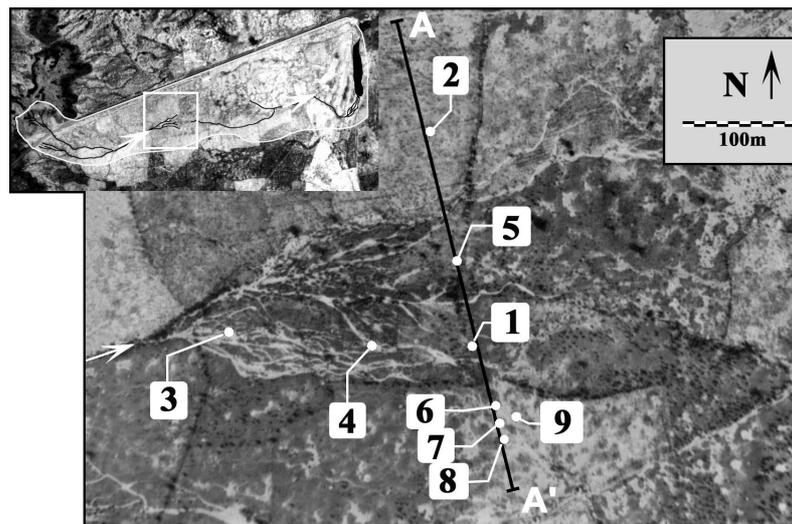


Figure 1 : Bassin versant de Wankama (haut gauche), situation de la zone d'épandage au sein du bassin, localisation des forages et du profil électrique Wenner (AA').

Résultats

Les diagraphies de résistivité dans la zone non saturée (Figure 2) montrent que pour certains points (forage 1) la résistivité reste toujours supérieure à 1000 Ω .m. Alors que pour d'autres (forage 2), dans une tranche située systématiquement entre 5 et 12 m de profondeur, elle peut descendre en dessous de 100 Ω .m. Parallèlement, les mesures de conductivité effectuées sur les prélèvements de sols dilués (20 g pour 50 mL d'eau distillée) montrent une parfaite cohérence avec la résistivité mesurée par la géophysique (Figure 2). Les analyses chimiques montrent que cette résistivité faible mesurée pour le forage 2 peut s'expliquer par une minéralisation plus forte des sols. En effet, les autres facteurs susceptibles d'influencer la résistivité (humidité, granulométrie, nature des argiles) sont identiques sur tous les forages. L'analyse des ions majeurs révèle que la concentration élevée des ions NO_3^- , Ca^{2+} et Na^+ est responsable de la conductivité plus élevée. Les résultats obtenus sont en accord avec le

positionnement des forages : pour le forage 1 (zone d'épandage), les résistivités sont élevées, indiquant un appauvrissement en ions, et donc une infiltration épisodique. Les diagraphies montrant une tranche de forte résistivité sont toujours situées au voisinage d'un chenal sableux.

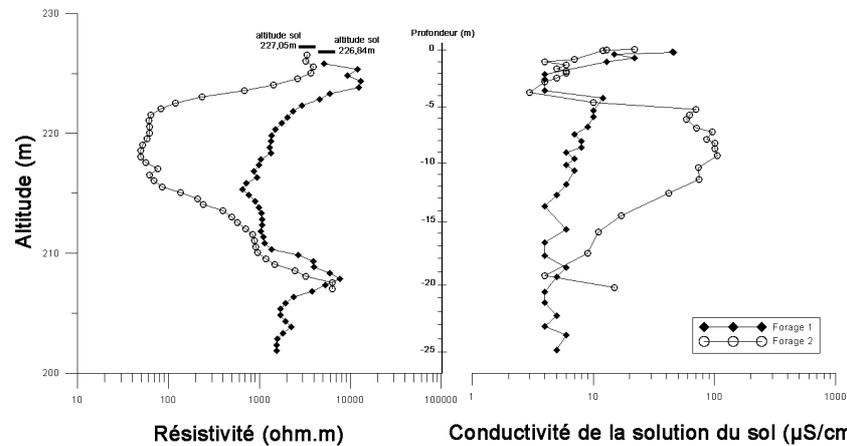


Figure 2 : Comparaison de la résistivité mesurée en forage et de la conductivité de la solution du sol (20 g de sol pour 50 mL d'eau distillée), exemples pour les forages 1 et 2.

Pour le forage 2, en amont, les résistivités sont faibles, indiquant la présence d'ions non lessivés, et donc peu ou pas d'infiltration. L'interprétation des panneaux de résistivité apparente 2D (Res2Dinv) confirme les observations ponctuelles des forages (1, 2, 5, 6, 7 et 8). Elle révèle la présence d'une couche plus conductrice entre 5 et 12 m sous la surface, interrompue à l'aplomb du passage des chenaux sableux (Figure 3). Cette couche serait un horizon où la solution du sol est relativement minéralisée, témoin de l'absence de lessivage par les eaux d'infiltration. Inversement, la faible minéralisation (*i.e.* sous les chenaux sableux) signifie qu'épisodiquement, un lessivage a lieu emportant les minéraux au-delà de notre profondeur d'investigation géophysique (25 m). Les cartes réalisées avec l'EM34 (écartement 20 m) indiquent également que les fortes résistivités apparentes coïncident avec le passage des chevelus sableux en surface. Un faible décalage est parfois observé, expliqué par la différence entre les dynamiques anciennes du lessivage et du déplacement récent en surface du lit des chenaux.

Cela signifie que les multiples chenaux sableux de la zone d'épandage sont épisodiquement le siège d'une infiltration profonde vers la nappe située à -35 m.

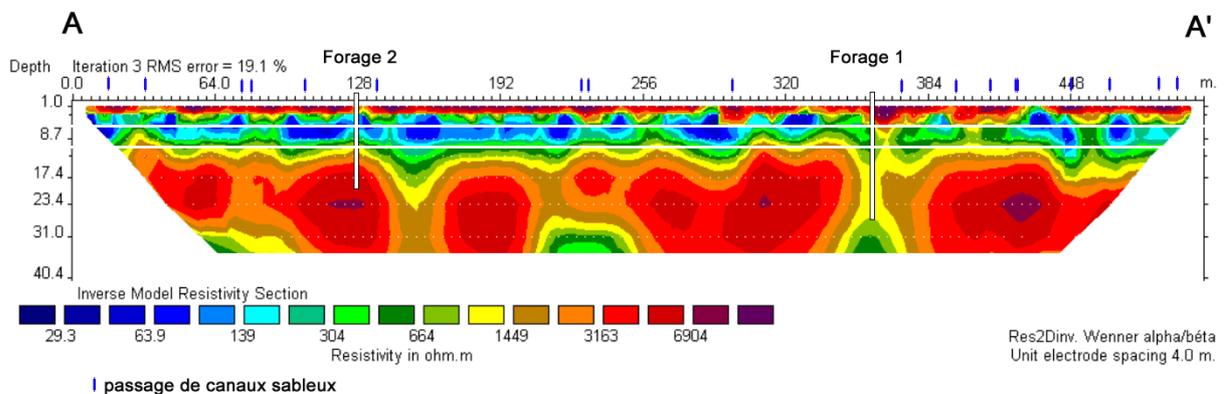


Figure 3 : Interprétation conjointe des profils Wenner α et β (inversion mutuelle) par Res2Dinv, une couche discontinue de plus faible résistivité (témoin d'une quantité importante d'ions accumulés) apparaît entre -5 et -10 m.

Conclusion

Le couplage de la géophysique avec les analyses chimiques des prélèvements de sol en forage a mis en évidence une corrélation systématique entre la résistivité des terrains mesurés et leur teneur en ions. Au-delà de cette reconnaissance ponctuelle, les résultats obtenus le long du profil de résistivité de 508 m (AA') et les cartes de résistivité apparente 1D (EM34) ont montré la capacité spatialisante de l'outil géophysique dans notre contexte. La présence d'une bande étendue et discontinue d'accumulation des sels lessivés à l'aplomb du chevelu sableux transparait parfaitement sur le panneau de résistivité 2D par une augmentation des résistivités. Un lessivage épisodique ayant lieu à une telle profondeur (au-delà de 10 m) permet de supposer le rôle actif de la zone d'épandage dans la recharge de la nappe. Malgré les faibles surfaces concernées par la partie active (en terme d'infiltration) de la zone d'épandage (chevelu sableux), le modèle hydrologique tend également à montrer que les volumes infiltrés ne sont pas négligeables vis-à-vis de la recharge de la nappe.

L'exploitation des données recueillies par les 9 forages devraient permettre de calibrer une relation directe entre la résistivité apparente des sols et leur minéralisation. Les zones contributives à l'infiltration au sein des bassins élémentaires pourront ainsi être non seulement identifiées mais aussi quantifiées.

Bibliographie

- Cappelaere B., Vieux B. E., Peugeot C., Maia A., Seguis L., 2003. Hydrologic process simulation of a semiarid, endoreic catchment in Sahelian West Niger, Africa. II. Model calibration and uncertainty characterization. *J. Hydrol*, in press.
- Descloitres M., Ribolzi O., Le Troquer Y., 2003. Study of infiltration in a Sahelian gully erosion area using time-lapse resistivity mapping. *Catena*, in press.
- Favreau G., Leduc C., Marlin C., Dray M., Taupin J.-D., Massault M., Le Gal La Salle C., Babic M., 2002. Estimate of recharge of a rising water table in semiarid Niger from ^3H and ^{14}C modeling. *Ground Water*, 40, 2, 144-151.