

Interprétation pédologique de données électromagnétiques et électriques. Application au bassin versant d'El Gouazine (Tunisie centrale)

**Gérard Bellier¹, Nouredine Gaaloul², Jean-Olivier Job³,
Jean-Pierre Montoroi¹, Patrick Zante³**

¹ ORSTOM, Laboratoire des Formations Superficielles, 32 Avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France

² INRGREF, rue Hédi Karray, B.P. 10, 2080 Ariana, Tunisie

³ CENID RASPA/ORSTOM, Programme de recherche sur la dynamique des sels dans la Comarca Lagunera, A.P. 225-3, Z.I. 35071, Gomez Palacio, Dgo, Mexique

⁴ ORSTOM, 5 impasse Chahrazed, B.P. 434, 1004 El Menzah 4, Tunisie

Abstract

The numerous hill lakes, recently constructed in central Tunisia, have to prevent the risks of soil erosion. The knowledge of soil distribution in the watershed is required to optimize the implementation of anti-erosive devices. Geophysical and pedological prospectings were carried out in the lower part of El Gouazine watershed. Electromagnetic and electrical methods were applied along three toposequences and the variation of resistivities were compared with pedological observations.

In spite of scarce geological information, the geophysical approach complete the pedological observations and precise the limits of four soil types.

Introduction

La construction de nombreux lacs collinaires en Tunisie centrale au cours de l'actuelle décennie soulève plusieurs questions pour les sociétés et l'environnement (Talineau et al., 1994 ; Selmi, 1996). L'une d'entre elles concerne les risques d'envasement des retenues. Une réponse pourra être apportée par l'étude du mode d'alimentation en eau et en matières (solides et/ou dissoutes) de ces retenues et, par voie de conséquence, de la structure des formations sédimentaires complexes dans lesquelles cheminent les écoulements.

Les méthodes géophysiques sont utilisées pour l'étude des couvertures pédologiques (Bottraud et al., 1984 ; Hesse et al., 1986 ; Dabas et al. 1989). Elles ont été mises en oeuvre en milieu sahélien (Delaître, 1993 ; Lamotte, 1995 ; Lamotte et al., 1993) et forestier (Robain et al., 1996).

L'objectif de cette communication est de présenter les premiers résultats d'une démarche qui couple une prospection géophysique à des observations pédologiques et qui est testée pour des sols de milieu méditerranéen semi-aride.

Site et méthodes d'étude

L'étude a été effectuée dans la partie aval d'un bassin versant dont l'exutoire est le lac collinaire d'El Gouzine. Le bassin a une superficie d'environ 17 km² et l'altitude est comprise entre 565 m à l'extrême sud et 376 m au niveau de la retenue (**figure 1**). Il se situe sur la bordure est du synclinal d'Ousseltia dont l'axe est orienté sud-ouest nord-est et qui est caractérisé par un substrat marno-calcaire et gréseux (Fournet, 1969). Les mouvements tectoniques ont redressé les couches géologiques sur le versant est du bassin, le pendage étant vertical ou subvertical (Castany, 1951 ; Jauzein, 1967). La partie sud-est du bassin est occupée par les formations éocène qui comprennent une formation à dominante carbonatée de marnes et de calcaire à nummulites (Yprésien ou lutétien inférieur) et une formation à dominante argileu-

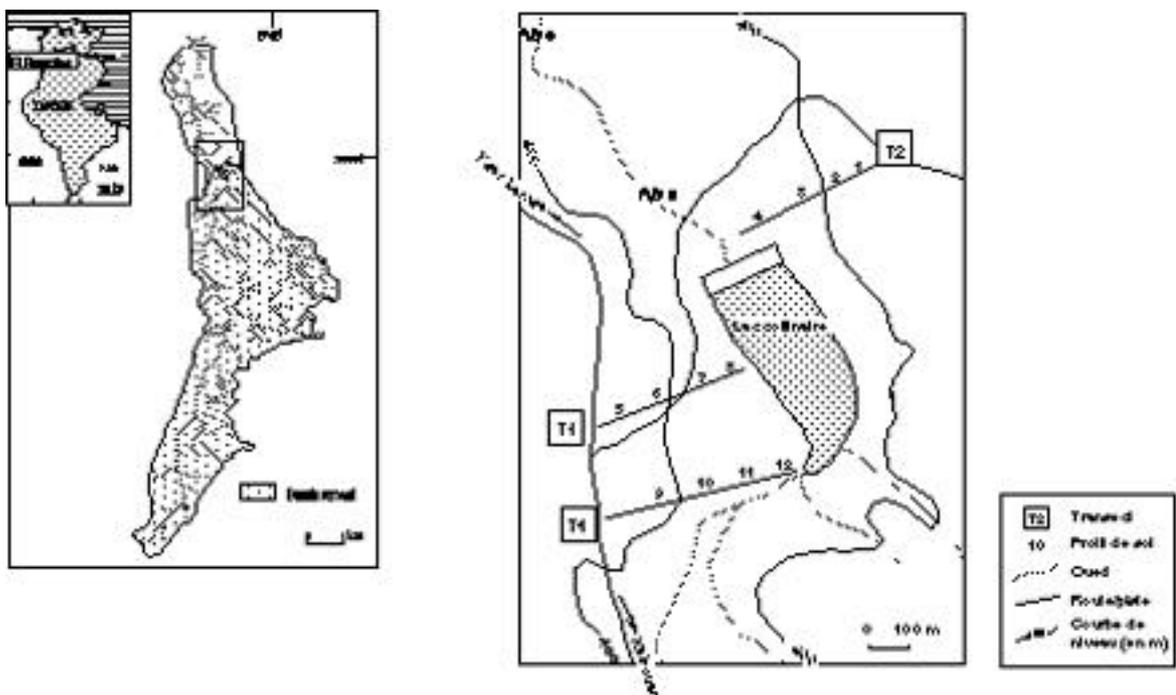


Figure 1 - Localisation de l'étude et du dispositif expérimental

se de marnes et de bancs calcaires à huîtres (lumachelles à *Ostrea* du Lutétien supérieur). La partie nord-ouest est formée par la base des formations oligocène dont le faciès détritique est à dominance gréseuse (formation *fortuna*). Comblé au quaternaire, ce synclinal a été entaillé par les oueds formant des colluvions caillouteux.

Dans la zone d'étude, des affleurements de grès et de lumachelles (à huîtres et à gastéropodes) ont été observés en plusieurs endroits.

La *prospection géophysique* s'est déroulée en avril 1995 de part et d'autre de la digue de retenue (**figure 1**), le périmètre d'étude occupant une surface de 1 200 m x 1 200 m, soit 144 ha (Albouy et al., 1995).

Deux méthodes géophysiques ont été utilisées le long de 3 transects nivelés (T1, T2 et T4) :

- la méthode électrique avec un résistivimètre RMCA-4 (Septa),
- la méthode électromagnétique à l'aide des appareils Slingram EM31 et EM38 (Geonics).

Les mesures électriques ont été réalisées à la surface du sol, selon la configuration Wenner, la fréquence du courant d'injection étant de 111 Hz. Ces mesures stationnelles sont réparties le long des transects T1 (ZW01 et ZW02), T2 (ZW04 à ZW10) et T4 (ZW11 à ZW15). Sur chaque site, 14 mesures de résistivité ont été faites, l'écartement inter-électrodes étant de 0,2 m, 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m, 0,8 m, 1 m, 1,5 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, 7 m et 10 m. Pour cette dernière valeur, la profondeur explorée par le courant est d'environ 7,5 m.

Les mesures électromagnétiques ont été effectuées à la surface du sol en mode vertical et en mode horizontal. Pour l'EM31, une mesure supplémentaire a été faite à 1 m de hauteur en mode horizontal.

La *prospection pédologique* s'est déroulée l'année suivante en mars 1996. Sur les 3 transects, 12 fosses pédologiques, dont la profondeur est comprise entre 1 et 1,5 m ont été creusées et décrites. Des échantillons de sol ont été prélevés pour la détermination au laboratoire des caractéristiques physico-chimiques, soit un total de 40 échantillons. Dans plusieurs fosses, des observations par sondage à la tarière ont été également faites jusqu'à 4 m de profondeur.

Dans tous les profils de sol décrits, des mesures électriques ont été réalisées à l'aide d'un quadripôles à faible écartement ($a = 10$ cm). Des échantillons de sol ont été prélevés simultanément pour déterminer leur humidité pondérale.

||| Résultats

Pour chaque station de mesure, les données expérimentales, obtenues par les sondages électriques Wenner, ont été traitées par le logiciel SELPCW qui permet de modéliser la courbe résistivité-profondeur explorée et de distinguer plusieurs couches chacune étant caractérisée par une valeur de résistivité (Albouy et al, 1995).

❖ *Transect T1*

Les résistivités sont comprises entre 20-50 $\Omega \cdot m$ avec l'EM38 et de l'ordre de 10 $\Omega \cdot m$ avec l'EM31 (sols limoneux). La modélisation multicouches montrent que les résistivités décroissent avec la profondeur sur tout le versant : elles sont de l'ordre de 100 $\Omega \cdot m$ pour le premier mètre (état hydrique sec) et inférieures à 5 $\Omega \cdot m$ au delà de 5 m de profondeur.

❖ *Transect T2*

Dans la partie sommitale, on mesure, par la méthode électrique, de fortes résistivités ($>1\ 000 \Omega \cdot m$) pour

les premiers mètres qui correspondent à un encroûtement calcaire. Dans la partie inférieure du transect, les formations du versant sont beaucoup plus conductrices, la résistivité électrique étant d'environ 7-8 $\Omega \cdot m$ avec l'EM31 et l'EM38 ou inférieure à 6 $\Omega \cdot m$ par la modélisation multicouches. Elles sont relatives à des sols bruns calcaires et argileux sur marnes. Les couches supérieures des sols présentent des valeurs de résistivité électrique très élevées car les sols sont très secs. Cependant, le long de la pente et en bas de pente, des colluvions caillouteuses sont également présents et donnent de plus fortes valeurs de résistivité qu'il n'est pas aisé de discriminer. Ces colluvions surmontent un niveau plus argileux et conducteur.

❖ *Transect T4*

L'interprétation du profilage électromagnétique (**figure 2**) montre que les résistivités électriques sont beaucoup plus élevées dans la partie intermédiaire de la séquence (environ 90-100 $\Omega \cdot m$ avec l'EM38 et 30-40 $\Omega \cdot m$ avec l'EM31). Elles correspondent à des sols bruns calcaires développés sur des grès ferrugineux dont on observe en amont de la séquence quelques affleurements subverticaux. En amont et en aval de ces sols, la résistivité électrique diminue : en aval, elle est d'environ 7-8 $\Omega \cdot m$ avec l'EM31 et l'EM38 (sols argileux) tandis qu'en amont elle est de l'ordre de 20-30 $\Omega \cdot m$ avec l'EM38 et légèrement supérieure à 10 $\Omega \cdot m$ avec l'EM31 (sols limoneux). L'épaisseur et la résistivité électrique des différentes couches modélisées sont présentées sur la **figure 3** en prenant en compte la topographie.

Les mesures de résistivité électrique réalisées dans les profils de sol confirment les variations latérales observées à partir de la modélisation multicouches (figure 2). Cependant, elles sont difficilement comparables, en valeur absolue, à celles obtenues l'année précédente car les sols étaient très secs la première année et très très humides la seconde. Elles doivent donc être ramenées à un même état hydrique pour que cette comparaison soit possible (Montoroi et al., 1997).

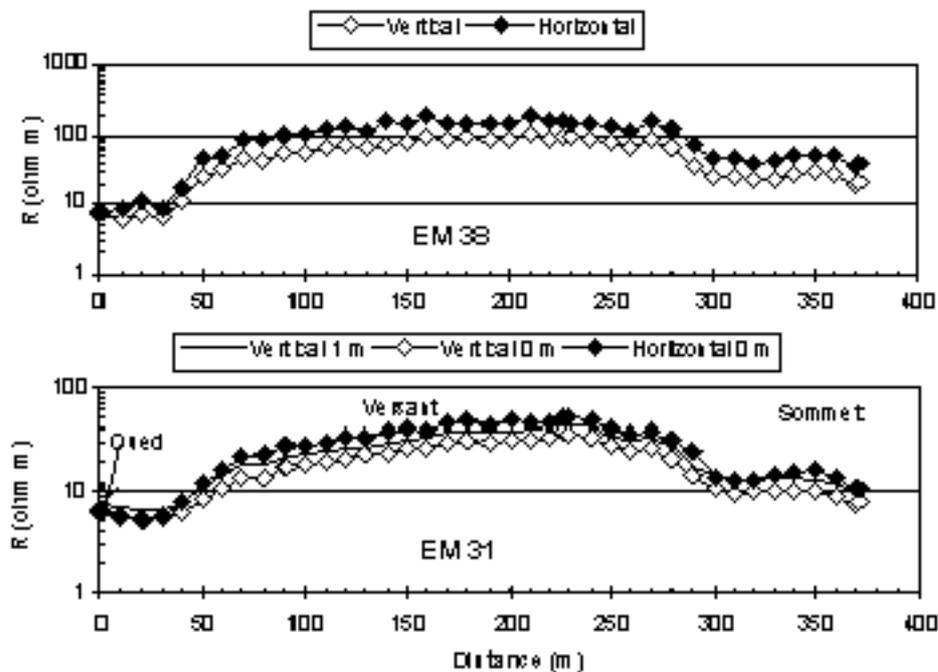


Figure 2 - Mesures de résistivité électrique par conductivimétrie électromagnétique pour le transect T4 du site d'El Gouazine

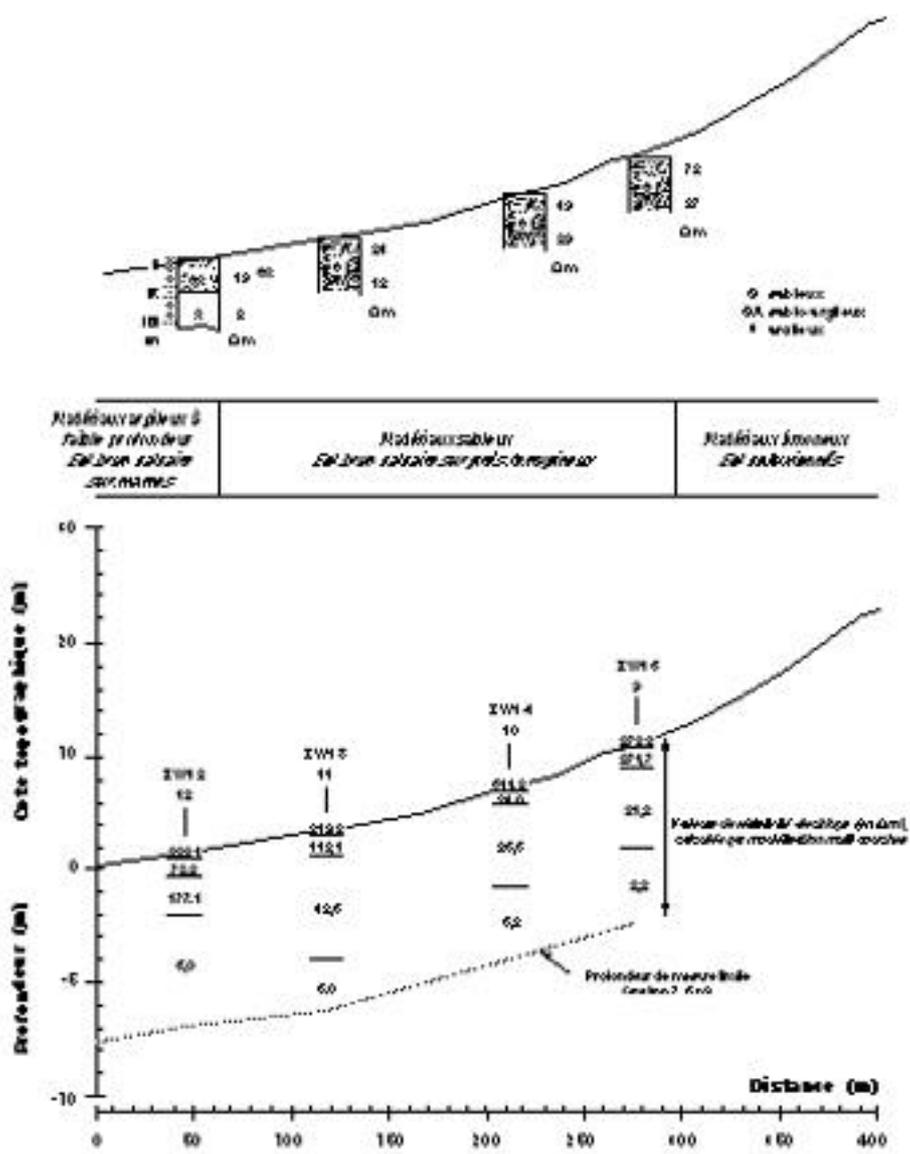


Figure 3 - Caractérisation pédologique et géophysique du transect T4 du site d'El Gouazine

Conclusion

Cette étude pédologique et géophysique a permis de dégager les premiers enseignements concernant l'organisation spatiale des formations superficielles du bassin versant du lac collinaire d'El Gouazine.

L'étude pédologique met en évidence quatre principaux types de sol : des sols calcaires encroûtés, des sols bruns calcaires argileux à tendance verticale sur marnes, des sols bruns calcaires sableux-argileux sur grès ferrugineux et des sols colluvionnés sablo-limoneux à taches et concrétions calcaires. Ces sols s'organisent et se répartissent selon la topographie et l'orientation des mouvements tectoniques.

Les résultats de la prospection géophysique, réalisée dans un milieu sédimentaire pourtant complexe, sont bien en adéquation avec les principales formations observées. La combinaison des méthodes géophy-

siques stationnelles (méthodes électriques) et mobiles (méthodes électromagnétiques) permet donc de préciser l'extension spatiale des grands types de sol, à la fois latéralement et verticalement.

Les deux approches sont donc complémentaires pour caractériser les sols et les formations superficielles à grande échelle. Ainsi, la connaissance des organisations pédologiques du bassin et l'analyse des processus régissant les transferts d'eau et de matières solides et/ou dissoutes dans le bassin permettront de mieux appréhender le fonctionnement hydrogéochimique du lac collinaire et de mieux gérer l'eau de la retenue selon les besoins des populations rurales.

||| Bibliographie

Albouy Y., Bellier G., Job J.O., Montoroi J.P., Arfaoui M., Gaaloul N., Gasmi M., Guiguen N., Khalifa F., Lamy V., Larvy Delarivière J., Millot G., 1995. Application des méthodes géophysiques à l'étude des formations superficielles du bassin versant du lac collinaire d'El Gouazine (Tunisie centrale). Rapport scientifique. Multigr., ORSTOM/CRGR, Bondy, 50 p. et annexes.

Bottraud J.C., Bornand M., Servat E., 1984. Mesures de résistivité appliquées à la cartographie en pédologie. *Sci. Sol*, 4 : 279-294.

Castany G., 1951. Etude géologique de l'Atlas tunisien oriental. Thèse Etat, Besançon, 632 p.

Dabas M., Hesse A., Jolivet A., Tabbagh A., 1989. Intérêt de la cartographie de la résistivité électrique pour la reconnaissance du sol à grande échelle. *Sci. Sol*, 27 : 65-68.

Delaître E., 1993. Etude des latérites du Sud-Mali par la méthode du sondage électrique. *Trav. et Doc. microfichés*, 134,

Fournet A., 1969. Etude pédologique de la dorsale tunisienne. transversale Kebir-bargou-Serdj-Ousseltia. Mém. DESS, Univ. Paris, multigr., Paris, 121 p. et annexes

Hesse A., Jolivet A., Tabbagh A., 1986. New projects in shallow depth electrical surveying for archeological and pedological application. *Geophysics*, 51 : 585-594.

Jauzein A., 1967. Contribution à l'étude géologique des confins de la dorsale tunisienne (Tunisie septentrionale). *Annales Mines et Géologie, Tunis*, 22, 475 p.

Lamotte M., 1995. Les sols sableux à forte cohésion des zones tropicales arides. Etude du *hardé* Lagagdé au Nord-Cameroun. *Trav. et Doc. microfichés*, 134,

Lamotte M., Bruand A., Dabas M., Donfack P., Gabalda G., Hesse A., Humbel F.X., Robain H., 1993. Distribution d'un horizon à forte cohésion au sein d'une couverture de sol aride du Nord-Cameroun. Apport d'une prospection électrique. *Comptes Rendus Acad. des Sci., Paris, Série II*, 318 : 961-968.

Montoroi J.P., Bellier G., Larvy Delarivière J., 1997. Détermination de la relation résistivité électrique - teneur en eau au laboratoire. Application aux sols de Tunisie centrale. In Y. Albouy, J.P. Montoroi, N. Zerbib, A. Tabbagh : "Colloque Geofcan. Géophysique des formations superficielles et des sols", Orstom, Bondy (le présent document).

Robain H., Descloîtres M., Ritz M., Yene Atangana Q., 1996. A multiscale electrical survey of a lateritic soil system in the rain forest of Cameroon. *Applied Geophysics*, 34 : 237-253.

Selmi S., 1996. Interventions de l'Etat en milieu rural et réaction des collectivités locales face à la gestion d'une ressource rare. Les lacs collinaires dans le semi-aride tunisien. Thèse Doct. ENSA, Montpellier, 400 p.

Talineau J.C., Selmi S., Alaya K., 1994. Lacs collinaires en Tunisie semi-aride. *Sécheresse*, 4, 5 : 251-256.