

# Utilisation de la résistivité électrique pour la caractérisation de la structure des sols cultivés

Arlène BESSON<sup>1</sup>, Isabelle COUSIN<sup>1</sup>, Hubert BOIZARD<sup>2</sup>, Guy RICHARD<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INRA, Unité de Science du Sol, BP 20619, 45166 Ardon, France

<sup>2</sup> INRA, Unité d'Agromonie, Laon-Reims-Mons, 80200 Estrées-Mons, France

<sup>3</sup> INRA, Unité d'Agromonie, Laon-Reims-Mons, rue Fernand Christ, 02007 Laon, France

## Abstract

The structure of the tilled layer of a loamy soil was analysed by electrical two-dimensional vertical sections. Wenner and dipole-dipole arrays were used with 32 electrodes. The distance inter electrode was 10 cm. The apparent resistivity was inverted by Res2Dinv software. Soil structure was characterised by a visual morphological description, bulk density and resistance to penetration measurements. First results indicated that the electrical resistivity is adapted to detect change in structure due to soil compaction. Nevertheless the method has to be tested in more heterogeneous soils.

## Introduction

La structure des sols cultivés détermine le comportement physique du sol, notamment en termes de propriétés mécaniques et hydrodynamiques. Elle évolue en permanence, en particulier sous l'effet des opérations de travail du sol et des passages d'engins agricoles qui engendrent fragmentation ou compactage des horizons travaillés. A l'échelle d'une parcelle agricole, les contraintes mécaniques subies par le sol sont hétérogènes et la structure du sol qui en résulte est généralement hétérogène. Elle peut être caractérisée par des méthodes souvent lourdes à mettre en œuvre et destructives : mesures de densité apparente, de résistance à la pénétration racinaire, description d'un profil cultural (Hénin *et al.*, 1969) et estimation de la proportion et de la taille de zones compactées non poreuses nommées  $\Delta$  (Gautronneau et Manichon, 1987). Les méthodes géophysiques (Kearer *et al.*, 2002) permettent des mesures rapides et non destructives. En plein développement actuellement, elles pourraient être adaptées à l'étude de la structure du sol. L'étude que nous avons conduite vise à tester la faisabilité d'une méthode géophysique, la mesure de la résistivité électrique (Kearer *et al.*, 2002), pour caractériser la structure des sols cultivés, notamment en terme de localisation des zones  $\Delta$  dans les couches de sol travaillées. L'étude a été réalisée sur l'essai conduit par l'INRA de Laon-Reims-Mons depuis 1990 sur l'évolution structurale des sols (Boizard *et al.*, 2002). Elle permet de comparer les estimations de résistivité électrique aux observations réalisées sur un profil cultural et à des mesures de résistance à la pénétration et de masse volumique.

## **Matériel et méthodes**

### **Le site d'étude et le type de sol considéré**

L'ensemble des essais concerne les 50 premiers centimètres d'un luvisol typique (Référentiel Pédologique, 1995) du site expérimental INRA d'Estrées-Mons (Somme). Le sol comporte 20% d'argile, 75% de limons, 5% de sable et 1,7% de matière organique dans la couche 0-30 cm. La parcelle expérimentale a subi tout d'abord un travail du sol profond en conditions hydriques favorables pour obtenir une structure fragmentaire. Des bandes fortement tassées ont ensuite été créées par des passages localisés d'un tracteur en conditions humides. Nous avons ainsi cherché à obtenir des zones homogènes d'état interne  $\Delta$  (zones compactes) ou  $\Gamma$  (zones poreuses) au sein d'un même profil.

### **Les mesures**

#### **Les prospections géophysiques et traitement des données :**

Deux panneaux électriques (2D) A et B, de 3,20 m de longueur et séparés de 1,50 m ont été réalisés, orientés perpendiculairement aux traces de roues de tracteur bien visibles à la surface de la parcelle. Ils étaient constitués de 32 électrodes espacées 10 cm. Les électrodes en laiton étaient d'un diamètre de 3 mm et enfoncées de 2 cm, sur une surface de sol préalablement arasée. Sur chaque profil électrique, les dispositifs Wenner et Dipôle-Dipôle ont été effectués permettant une différenciation aussi bien latérale que verticale. La tension a été fixée à 100V afin d'obtenir des mesures significatives de résistivité. Des mesures de températures à 5, 15 et 30 cm de profondeur ont été réalisées à l'aide d'un résistivimètre couplé à une thermosonde PTC. Les effets des variations de température du sol sur les résistivités apparentes ont été corrigés selon l'équation de Campbell *et al.* (1948). Les valeurs de résistivité électrique apparente  $\rho$  ont été inversées à l'aide du logiciel Res2Dinv selon la procédure d'inversion proposée par Loke et Barker (1996).

#### **La caractérisation de la structure du sol :**

Des profils de densités apparentes (obtenues par la méthode du cylindre), de pénétrométrie ainsi que des profils hydriques ont été réalisés. En A, un profil cultural a été décrit selon la méthode de Y. Gautronneau et H. Manichon (1987) délimitant nettement les zones les plus tassées  $\Delta$  et plus poreuses  $\Gamma$ .

## **Résultats et discussion (voir figures)**

### **Profil cultural et pénétrométrie :**

Le profil cultural et les mesures de résistance à la pénétration permettent de distinguer un horizon intermédiaire créé par la roto-bêche dès 35-40 cm (limite inférieure correspondant au travail du sol le plus profond) suivis des horizons pédologiques. C'est à cette profondeur que les valeurs de pénétrométrie les plus élevées ont été obtenues ( $> 25$  MPa). Proche de la surface, ces valeurs variaient de 10 à 25 MPa. Sous les passages de roues des engins agricoles, des zones  $\Delta$  apparaissent (entre 0.4 et 1 m et entre 2.2 et 2.8 m en horizontale). On trouve aussi des mottes de même structure  $\Delta$ , résultant du travail de fragmentation par la roto-bêche, d'un diamètre inférieur à 10 cm et réparties jusqu'à 35 cm.

### **Les panneaux électriques 2D :**

Nous avons observé des résultats identiques sur les profils A et B. Seuls les résultats concernant le profil A sont présentés.

Les cartes de résistivité électrique inversée en configurations Wenner ou Dipôle-Dipôle montrent une nette différenciation verticale : on distingue une zone, à plus de 40 cm de profondeur, dans laquelle la résistivité est inférieure à 20  $\Omega$ .m. Au dessus de cette zone, les

valeurs de résistivité sont plus fortes et présentent une répartition structurée : sous les passages de roues, la résistivité est de l'ordre de 15 à 30  $\Omega$ .m tandis que dans les zones moins compactées, elle est de l'ordre de 35 à 100  $\Omega$ .m. Cette zonation apparaît avec plus de précision en configuration Dipôle-Dipôle. Celle-ci permet d'obtenir un plus grand nombre de points de mesure et donc une analyse plus fine en différenciation latérale.

Au vu des résultats obtenus, il est donc possible de caractériser la structure d'un horizon cultivé par des mesures de résistivité électrique. Les zones  $\Delta$  délimitées sur le profil cultural et à partir des cartes de pénétrométrie se retrouvent sur les cartes de résistivités inversées, en particulier les zones très larges situées sous le passage des roues. Par contre, en profondeur, les mottes de petite taille ne peuvent pas être détectées par la méthode employée.

## Conclusion

La résistivité électrique se présente comme un outil non destructif et complémentaire au profil cultural pour l'analyse de la structure du sol. L'examen des profils électriques révèle la présence d'anomalies électriques représentatives des zones plus ou moins tassées et repérées à partir des cartes de pénétrométrie et d'un profil cultural. Les zones les moins poreuses  $\Delta$  localisées sous les passages de roues des engins agricoles sont caractérisées par des valeurs de résistivités électriques faibles de 15 à 30  $\Omega$ .m. Le compactage du sol est donc détectable par panneaux électriques 2D. En conditions réelles de sol cultivé, la présence d'éléments isolants (cavités creuses, matière organique très localisée, cailloux...) due au retournement et au brassage de l'horizon considéré, pourrait fortement perturber les filets de courants. Les limites de la méthode doivent être maintenant évaluées dans des couches de sol plus hétérogènes.

## Références bibliographiques

- Boizard H., Richard G., Roger-Estrade J., Dürr C., Boiffin J., 2002. Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. *Soil & Tillage Research*, 149-164.
- Campbell R.B., Bower C.A., Richards A., 1948, Change of Electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and ion concentration for soil extracts. *Soil science society proceedings*, 66-69.
- Gautronneau Y., Manichon H., 1987. *Guide méthodique du profil cultural*. GEREAA, CEREF. Paris.
- Henin S., Gras R., Monnier G., 1969. *Le profil cultural*. Masson Ed (2), Paris.
- Kearer P., Brooks M., Hill I., 2002. *An introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science (3),183-207.
- Loke M.H. et Barker R.D., 1996. Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudo-sections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

