

# Intérêt de la cartographie de la résistivité électrique pour la connaissance du sol à grande échelle

M. DABAS<sup>(1)</sup>A. HESSE<sup>(1)</sup>A. JOLIVET<sup>(1)</sup>A. TABBAGH<sup>(1)</sup>avec la collaboration de G. DUCOMET<sup>(2)</sup>

## RESUME

La résistivité électrique est un paramètre important pour mieux connaître les propriétés des sols sur des cartes à grande échelle, car elle dépend de leur humidité, du pourcentage de sels dissous, etc... De nouveaux équipements permettent la reconnaissance rapide de grandes surfaces en livrant un enregistrement presque continu de données de surface qui comblent les vides subsistant entre les fouilles et les forages. Sur trois exemples réels, on montre la possibilité de distinguer l'argile et le gravier dans des dépôts alluvionnaires, une couche de sable dans un contexte calcaire et des anomalies complexes dans un sol développé sur un schiste altéré à intrusions de micro-granites.

*Electrical resistivity is an interesting parameter for a better knowledge of soil properties on large scale maps, since it depends on granularity, humidity, dissolved salts percentage, etc... New devices allow a fast rate survey of large fields which ensures an almost continuous recording of superficial data which fills the gaps between borings and excavations. Through three realistic examples, one can distinguish clay and gravel on alluvial deposits, a sand layer in a limestone context and complex anomalies in a soil developed on an altered schist with microgranitic intrusions.*

Parmi les propriétés physiques des sols qui peuvent être mesurées par des méthodes de prospection superficielles, la résistivité électrique occupe une place importante car elle est liée à l'ensemble des propriétés macroscopiques des sols, granularité, humidité, quantité de sels en solution qui jouent un rôle majeur en pédologie. La cartographie de cette propriété constitue donc un outil très intéressant pour connaître les variations spatiales des principales caractéristiques du sol.

La résistivité électrique peut être mesurée par injection d'un courant dans le sol (méthode électrique) ou par induction d'un courant dans le sol (méthode électromagnétique). Deux variantes de celle-ci ont déjà été utilisées en pédologie (ou sur des problèmes connexes) : la méthode slingram qui se prête parfaitement à l'étude des sols conducteurs en milieu aride, (JOB et al., 1987), et la méthode magnéto-tellurique (BOTTRAUD, 1984).

Sous les climats tempérés, c'est cependant la méthode électrique par courants injectés qui fournit les mesures les plus fiables et les plus faciles d'interprétation (HESSE, 1978).

Les méthodes de mesure péchaient jusqu'ici par leur relative lenteur, mais les développements de nouveaux appareillages (HESSE et al., 1986) permettent actuellement d'effectuer les mesures à une vitesse comparable à celle des tra-

(1) Centre de Recherches Géophysiques, Garchy, 58150 Pouilly-sur-Loire.

(2) Ministère de la Culture.

vaux agricoles et donc de couvrir dans un temps relativement court une surface significative (1 à 10 ha, dans la journée, selon la finesse de relevé recherchée). De telles mesures au sol sont évidemment moins rapides et beaucoup plus limitées quant à la surface couverte que ce que permettent les différentes méthodes de télédétection, et particulièrement la prospection thermique (PERISSET et TABBAGH, 1981), mais l'accès à une information « continue » permet de combler les vides entre les fosses ou les trous à la carrière, de proposer pour ceux-ci la localisation la plus significative et d'exploiter d'une manière bien plus complète leurs informations.

Dans le système RATEAU développé au CRG Garchy, les électrodes sont remplacées par quatre roues, avec ou sans pointes, disposées en carré et entraînées par un tracteur. Les roues sont montées sur des bras articulés qui permettent de suivre les ondulations du terrain. Le résistivimètre utilisé est un RMCA3-Septa (licence CNRS-ANVAR) qui présente un temps de réponse très court, une bonne tolérance aux fortes résistances de contact, jusqu'à  $1,2 \text{ M}\Omega$  et une très large gamme de mesures (de quelques ohms à  $20 \text{ k}\Omega$ ). Le rythme d'acquisition, commandé par un codeur est actuellement d'une mesure tous les 10 cm. Ce suréchantillonnage permet, par le biais de traitements numériques ultérieurs, d'assurer des résultats cohérents, même dans le cas de mesures très perturbées (fig. 1).



Figure 1 : Système Rateau.  
*Rateau system.*

Des exemples sont présentés ici avec cette méthode. Sur le site de Balloy, dans la vallée de la Seine, on a utilisé une version automatisée de l'équipement dans lequel un quadripôle carré de 1 m de côté est tracté. La carte comporte 10 000 mesures environ sur un réseau à maille de 1 m de côté.

Les variations de la résistivité sont obtenues sur une profondeur de l'ordre de 1 m et font très bien ressortir les zones où le gravier est immédiatement sous la couche superficielle (25 à 30 cm) (zones en noir ou grisé), et celles où le limon alluvial s'intercale entre les deux (zones en clair) : on a ainsi une très bonne représentation de l'épaisseur du matériau fin au-dessus du gravier. Les structures archéologiques recherchées, constituées de deux enceintes de forme oblongue dissymétrique, sont également détectées : l'une, au milieu à l'ouest de la carte, est très visible ; la seconde, dans l'angle nord-est est un peu moins (figure 2). La fouille ultérieure de ces enceintes a montré que le fossé fait environ 1,5 m de large au sommet et 1 m de profondeur sous la terre arable.



Figure 2 : Cartographie de la variation de la résistivité.  
*Map of electrical resistivity.*

La deuxième prospection montre les variations de la résistivité sur une parcelle expérimentale du CRG de Garchy pour un sol développé sur un plateau oxfordien (calcaire micritique à joints marneux). La prospection, beaucoup moins détaillée que la précédente a été réalisée en mesures manuelles sur un réseau à mailles de 10 m de côté (quadripôle Wenner a : 1 m ; profondeur maximale d'investigation de l'ordre de 0,75 m). La carte fait apparaître deux zones de fortes résistivités (en pointillé) séparées par une zone moins résistante (en hachures), le tout étant structuré grossièrement dans un axe nord-sud. Les sondages électriques réalisés sur ces zones ainsi que l'observation de la surface font apparaître que les fortes valeurs sont dues à l'ouest à une remontée du calcaire à proximité de la surface, à l'est à une augmentation du pourcentage de la fraction sableuse du sol plus épais à cet endroit (figure 3). Sur cette zone, les sondages électriques, réalisés par ailleurs, montrent que le toit du calcaire passe d'une profondeur d'un peu plus de 1 m à l'est, à 25 cm à l'ouest qui correspondent à l'épaisseur de la couche arable.

Cette observation présente un intérêt agronomique de deux ordres : d'une part elle a permis, en suggérant de diviser le terrain dans le sens est-ouest, de conduire un semis expérimental de millet dans des conditions globalement dentiques pour chaque variété ; d'autre part d'expliquer par l'opposition du calcaire et du sable, le retard et le mauvais développement à l'ouest de la parcelle, sur toutes les variétés semées.

Dans un autre cas traité, mais non présenté ici, les résistivités ont été mesurées sur une profondeur un peu plus grande que dans les deux cas précédents (jusqu'à 1,5 m environ). Les terrains étudiés, situés au sommet du Mont Beuvray (Bourgogne) sont constitués par un ensemble très complexe de schistes gris à noir (viséen sédimentaire) à dépôts de tufs, intrusion de microgranites et de filons de quartz. La carte représente avec un assez grand détail (une mesure tous les deux mètres) la structure du sous-sol : en dehors de quelques très

rare indications superficielles liées au contexte archéologique, les anomalies traduisent essentiellement des variations d'épaisseur, de granularité et d'humidité des dépôts superficiels sur un substrat rocheux à profondeur variable entrecoupé de failles et fragmenté diversement par l'altération selon le point considéré.

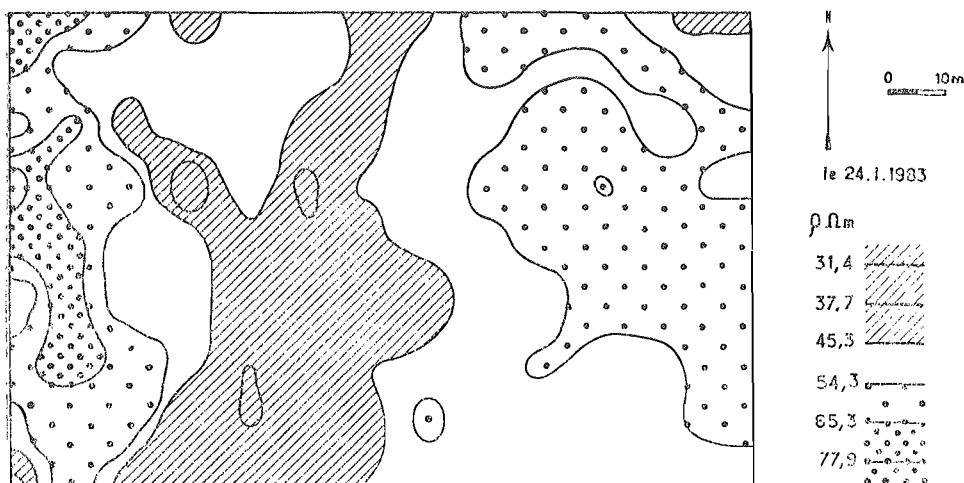


Figure 3 : C.R.G. Garchy. Parcelle n° 1 dite de « Bois Rond ». Prospection électrique wenner  $a = 1$  m.

Dans les trois exemples décrits ici, l'épaisseur de terrain prise en compte dans la mesure était comprise entre 0,75 et 1,5 m en fonction du quadripôle utilisé. Pour étudier une épaisseur plus élevée, il suffit d'utiliser un quadripôle plus grand. Au delà de quelques mètres, il peut être difficile de manier un quadripôle tracté et plutôt que de revenir à des méthodes manuelles de déplacement des électrodes, il peut être préférable (BOTTRAUD et al., 1984) d'utiliser une méthode électromagnétique offrant une bonne profondeur d'investigation comme la magnétotellurique ou la méthode Slingram (par exemple avec l'appareil EM31 de Geonics où les bobines sont écartées de 3,66 m).

La combinaison d'un temps de mesure très court (TABBAGH, 1988) et d'une tolérance aux fortes résistances de contact permet de travailler, sans trop de difficultés, sur pratiquement tous les terrains et à tout moment de l'année en climat tempéré. Il est par ailleurs très simple de contrôler le bon fonctionnement et la calibration du résistivimètre à partir de résistances étalons.

### BIBLIOGRAPHIE

- BOTTRAUD J.-C., BORNAND M. et SERVAT E., 1984. — Mesures de résistivité appliquée à la cartographie en pédologie ; *Science du Sol*, 1984-4, pp. 279-294.
- HESSE A., 1978. — Manuel de prospection géophysique appliquée à la reconnaissance archéologique, Centre de Recherches sur les Techniques Gréco-romaines, n° 8, Université de Dijon, 127 p.
- HESSE A., JOLIVET A., TABBAGH A., 1986. — New prospects in shallow depth electrical surveying for archaeological and pedological applications. *Geophysics*, Vol. 51, 3 (mars 1986), pp. 585-594.
- JOB J.O., LOYER J.-Y., AÏLOUL M., 1987. — Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols ; *Cahiers de Pédologie ORSTOM* 1987 - 2, pp. 123-131.
- PERISSET M.-C., TABBAGH A., 1981. — Interpretation of thermal prospection on bare soils, *Archaeometry*, 23, 2, pp. 169-187.
- TABBAGH J., 1988. — Traitement des données et élimination des valeurs erronées en prospection électrique en continu ; *Revue d'Archéométrie*, 12, pp. 1-9.