

# Application de la radio magnéto-tellurique aux études préalables au drainage agricole

A. DUPIS (1)  
B. VINCENT (2)  
F. GAUTHIER (1)  
G. BOSSUET (1)

## RÉSUMÉ

Les matériaux du sous-sol ont des propriétés physiques spécifiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : taux d'humidité, texture, porosité, nature minéralogique... La variation de ces paramètres affecte particulièrement la mesure de la résistivité électrique.

L'utilisation d'une méthode de prospection géophysique, la Radio magnéto-tellurique, capable d'enregistrer en continu la résistivité rend possible la cartographie rapide de ses variations sur de vastes étendues. L'intégration de cette méthode dans les études préalables au drainage agricole a pu être efficacement envisagée. A partir de la prospection d'un domaine d'une cinquantaine d'hectares, on montre comment on a pu préciser la carte des unités de sols, localiser les filons porteurs d'eau et mieux repérer les obstacles rocheux, contraintes majeures pour la conception et la réalisation des réseaux.

**MOTS-CLÉS** : pédologie - prospection géophysique - drainage souterrain - résistivité électrique.

## RADIO MAGNETO-TELLURIC METHOD AND TILE DRAINAGE SURVEYING

*The physical properties of soil materials depend on a lot of parameters : water content, texture, porosity, mineralogical composition. The electrical resistivity mainly depends on the variation of these parameters.*

*A geophysical method, the Radio magneto-telluric, makes continuous recording of resistivity (Fig. 1) and large scale mapping possible. Prior to field experiments, the resolving power has been tested by theoretical calculations. Then, on a fifty-hectare domain, Radio magneto-telluric information has been used to show how usual pedological mapping can be improved. A resistivity map was drawn up (Fig. 2 and 3a). Its interpretation proved that the initial drainage scheme project had to be modified (Fig. 4). The method is also efficient in better distinguishing rocks from loose soils and to localise water bearing lodes (photos 1 and 2), two points which are among the main constraints in designing and constructing out a drainage pattern.*

**KEY-WORDS** : soil science - geophysical surveying - tile drainage - electrical-resistivity.

(1) C. N. R. S. - Centre de Recherches Géophysiques GARCHY - 58150 POUILLY/LOIRE

(2) CEMAGREF - Division Drainage et Assainissement Agricoles. 92164 ANTONY.

## INTRODUCTION

Les études de sols réalisées préalablement à l'établissement des projets de drainage ont pour finalité d'indiquer au maître d'oeuvre les origines des excès d'eau et leurs manifestations pour chaque unité de sols délimitée cartographiquement ainsi que les contraintes liées au sol en terme de drainage.

Nous nous intéressons ici à deux contraintes majeures, les brusques variations de pierrosité et les excès d'eau extérieurs à la parcelle qui, traditionnellement, sont difficiles à localiser. Or, dans cette approche pédologique, le niveau de précision de la représentation cartographique dépend directement de la densité des points d'observation et toute amélioration ne pourra être atteinte qu'au prix de la multiplication des sondages à la tarière. C'est pourquoi une méthode de prospection géophysique, rapide de mise en oeuvre et capable de répondre plus précisément aux questions de localisation posées par les sols pierreux et les formes d'excès d'eau a été expérimentée : c'est la méthode Radio magnéto-tellurique (Radio M.-T.).

Après avoir présenté succinctement le principe physique à la base de cette méthode et discuté les résultats des calculs de faisabilité à partir de modèles, nous verrons comment, en vraie grandeur, les résultats acquis sur un domaine de cinquante hectares permettent, en optimisant le dessin des réseaux de drainage et la conception des captages, de mieux cerner les contraintes incidentes sur le choix du projet. L'apport de la prospection géophysique à la cartographie des sols est également abordé.

## I. LA METHODE RADIO MAGNÉTO-TELLURIQUE

### 1. Principe physique

L. CAGNIARD a proposé en 1953 la méthode magnéto-tellurique (M.-T.) de prospection du sous-sol en utilisant les sources naturelles de phénomènes électromagnétiques que sont à la fois l'activité solaire au niveau de l'ionosphère et l'énergie libérée par les orages atmosphériques. Il parvenait alors à quantifier les relations perçues de manière plus ou moins nette par les géophysiciens qui mettaient en relation les variations du champ magnétique terrestre avec celles des courants électriques telluriques observés simultanément. Les simplifications dont il justifiait l'introduction dans les équations de Maxwell l'ont conduit à exprimer qu'à une fréquence donnée, le rapport des champs électrique et magnétique est lié par une relation fonctionnelle simple avec la résistivité du milieu investigué.

Les applications de la méthode M.-T. ont intéressé les formations géologiques successivement à l'échelle des bassins sédimentaires (DUPIS, 1963), puis à celle des districts miniers (DUPIS, 1971) et enfin à celle de la subsurface avec le génie civil (DUPIS et CARNEZ, 1976 ; LAGABRIELLE, 1986), la pédologie (AUROUSSEAU, 1976 ; BOTTRAUD, 1983 ; MEROT *et al.*, 1986 ; GAUTHIER, 1987), et l'archéologie (LAGABRIELLE et HOLLIER-LAROUSSE, 1985 ; BOSSUET *et al.*, 1987 ; BOSSUET, 1989).

L'adaptation à la subsurface impliquait une révision fondamentale quant à la nature des sources électromagnétiques (ANVAR, 1973). En effet, le spectre naturel s'affaiblit

considérablement au delà de quelques kilohertz alors que l'on dispose des sources artificielles multiples et intenses que sont les divers émetteurs de radio-diffusion en très basses, basses ou moyennes fréquences (Ex. France Inter, Europe 1...).

THÉRA (1977) a montré qu'à la condition d'éviter la prospection de terrains situés immédiatement sous les émetteurs (à moins d'un km) les ondes radio se comportaient comme les sources naturelles et pouvaient donner lieu à l'application des mêmes lois (Fig. 1). C'est pour rappeler la nature des sources utilisées que la nouvelle variante de la magnéto-tellurique a été nommée Radio M.-T. (LAGABRIELLE, 1986).

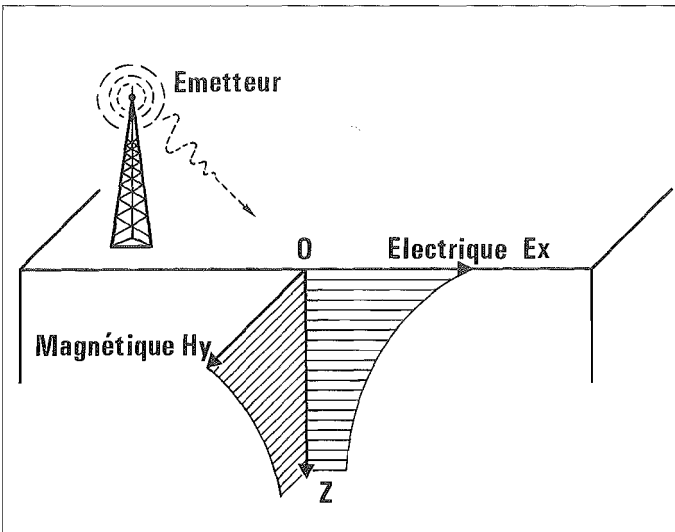


Fig. 1 : Principe de la méthode Radio M.-T.  
*Sketch plan of the Radio M.-T. method.*

## 2. Analyse théorique

La radio M.-T., utilisée depuis longtemps et avec succès dans différents domaines d'application et dans des configurations variées de terrain (CARNEZ, 1976 ; DUPIS et THÉRA, 1982) est-elle utilisable pour l'application au drainage agricole ?

Une première façon de répondre à cette question est de comparer les résultats d'enregistrements obtenus à l'aplomb de structures artificielles établies pour la circonstance au résultat des calculs de simulation traditionnelle (méthode des éléments finis). Le paramètre retenu pour apprécier la sensibilité de la méthode est le rapport entre les résistivités calculées l'une sur un sous-sol électriquement uniforme (encaissant), l'autre après modification de la résistivité d'une partie de ce sous-sol. Cette modification concerne un volume de terrain qui est défini selon les cas comme une "structure" à une dimension (1D) s'il s'agit de l'introduction d'une couche supplémentaire de terrain, ou à deux ou trois dimensions (2D, 3D) si le volume est limité dans une ou deux directions du plan horizontal. C'est le rapport entre la résistivité attribuée à l'encaissant et celle de cette structure qui est appelé "contraste" dans la suite de la discussion. Un ensemble complet de calculs a été présenté par GAUTHIER

(1987) pour des structures uni ou pluridimensionnelles en faisant varier les contrastes de résistivités et les dimensions des structures. L'analyse des résultats de ces calculs conduit aux conclusions suivantes :

- le contraste de résistivité est le facteur primordial pour la détection des structures enfouies. Pour un contraste entre encaissant et couche ou structure inférieur à deux, les possibilités de détection deviennent faibles ;

- les structures conductrices ont une influence beaucoup plus importante sur les valeurs de résistivité apparentes que les structures résistantes : influence d'autant plus importante que le toit de la structure est proche de la surface du sol ;

- la profondeur d'investigation (profondeur maximale à laquelle on peut détecter une structure) est très inférieure à la profondeur de pénétration théorique des ondes électromagnétiques. On peut estimer que les possibilités de détection deviennent faibles lorsque le rapport de la taille du côté de la structure à la profondeur du toit est inférieur à l'unité (il sera difficile de détecter une structure cubique de un mètre cube enfouie à plus d'un mètre) ;

- on estime par ailleurs que l'influence d'une structure est négligeable si elle ne modifie pas la mesure de la résistivité de l'encaissant d'au moins 10 % de sa valeur.

Compte tenu de la faible profondeur de pénétration des phénomènes utilisés, il est légitime, lorsqu'on envisage une cartographie des résistivités qui peut exiger de prolonger les acquisitions de données sur plusieurs jours, de s'interroger sur la stabilité des résultats (variations nyctémérales, voire saisonnières). Autrement dit, la méthode Radio M.-T. exige-t-elle le retour périodique sur un transect servant de référence pour corriger les écarts éventuellement constatés entre les saisies de données successives ?

ROBIN (1984) a répondu à cette question par la négative car il n'a constaté sur un transect de référence de 200 m de long que de faibles variations saisonnières et des variations non significatives sur un laps de temps de quelques jours. Depuis cette date, des répétitions effectuées dans toutes les conditions climatiques caractérisant le centre de la France : forte humidité, températures élevées, sécheresse, gel intense avec ou sans couverture neigeuse, ont confirmé ce résultat. Les variations observées se situent dans une fourchette maximale de dix pour cent dépassant de peu sur une aussi longue période, l'imprécision attribuée à la mesure physique elle-même. Dans ces conditions il est légitime de procéder à des acquisitions sur de grandes superficies sans se soucier de procéder à des recalages régulièrement espacés dans le temps.

### **3. Les matériels de mesure et leur mise en oeuvre**

La masse de l'appareillage est d'environ 50 kg ; il peut être tracté par un véhicule léger tous terrains. Il comprend un capteur magnétique sous la forme d'une spire d'un tube de cuivre de diamètre 60 cm traversant un petit transformateur, deux capteurs électriques capacitifs (ANVAR, 1973) constitués d'électrodes en laiton incorporées dans un tapis de caoutchouc, un boîtier électronique comprenant la chaîne de saisie de données et un système informatique de stockage et de traitement. Une version industrialisée de l'équipement est commercialisée par la Société S.E.L.V.A. à Vallet (Loire Atlantique).

La résistivité est enregistrée en continu (en fait une mesure tous les 20 cm) le long de transects rectilignes, parallèles, équidistants de 10 m et orientés dans la direction de l'émetteur sélectionné (GAUTHIER et BOSSUET, 1987) avec une marge importante compte tenu de la forme des diagrammes d'antennes (GUINEAU, 1975). On choisit l'émetteur qui permettra d'aborder transversalement les anomalies principales dont on suspecte l'orientation grâce à l'étude pédologique du projet de drainage (GAUTHIER *et al.*, 1988). Ainsi, nous pouvons faire l'économie d'une deuxième série de transects, perpendiculaires aux précédents, et qu'il aurait fallu réaliser en l'absence de préconnaissance pédologique à grande échelle. Ces transects sont préalablement implantés avec précision sur le plan topographique à l'échelle de 1/1000 ou de 1/2000, nécessaire à l'établissement du projet de drainage.

Le repérage sur le terrain, puis, ultérieurement, la restitution cartographique en sont facilités : cartes de résistivité (Fig. 2), cartes de contraintes à la réalisation des travaux de drainage (Fig. 4). Ce protocole est un compromis entre la précision de la prospection et son coût (GAUTHIER et BOSSUET, 1987). Ces différents documents, qui constituent le résultat de l'opération géophysique subissent une étude critique et une vérification de leur interprétation. Dans cette phase de certification, la critique est émise à la suite de la réalisation effective des travaux de drainage et la vérification consiste en l'exécution, sur les sites des plus importantes variations de la résistivité, de fosses pédologiques qui doivent en fournir une explication.

## II. APPLICATION AU DRAINAGE AGRICOLE

Les prospections géophysiques ont été conduites dans le département de la Haute-Vienne, une dizaine de kilomètres à l'ouest de Limoges, sur une partie des terres du domaine agricole départemental des Vaseix. Une cinquantaine d'hectares situés au sud du domaine a été prospectée. Cette zone est située dans une petite vallée aux pentes relativement fortes, et comprend un ensemble de onze hectares formé de parcelles contiguës et drainées en 1990. Seuls les résultats issus de cet ensemble sont présentés ici mais ils sont bien représentatifs de l'ensemble de la prospection.

### 1. Carte des sols

La carte des sols (Fig. 3a) a été levée par COURBE (1987) sur la base de 4 sondages par hectare, densité d'observation normale pour une étude pédologique préalable à la réalisation de travaux de drainage. On dénombre (tableau I) sept séries de sols que l'on distingue par les manifestations plus ou moins intenses de la brunification, du colluvionnement, de l'érosion, de l'engorgement ou, enfin, du degré d'altération du gneiss qui forme le substrat.

Les émetteurs utilisés lors de cette opération ont été les suivants (Fig. 2) :

- Europe 1 (183 kHz) pour les parcelles situées à l'est. Les mesures ont été acquises dans la direction du maximum de signal : N.N.E.-S.S.O.

- Monte-Carlo (216 kHz) pour les autres parcelles situées à l'ouest. Le signal est orienté N.O.-S.E, les mesures ont été effectuées selon la direction E-O.

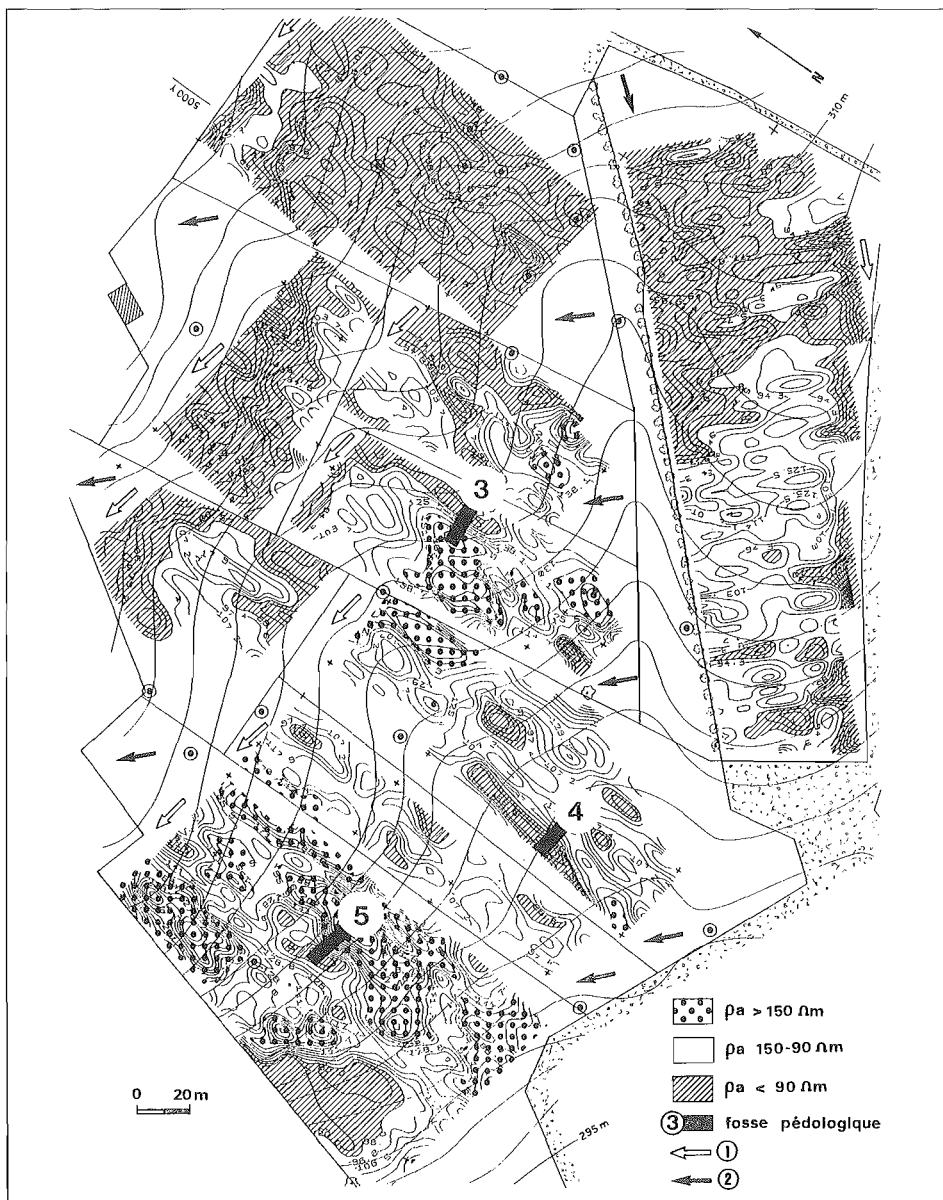


Fig. 2 : Carte des résistivités apparentes

- ① direction des transects de mesure
- ② direction de l'émetteur et du signal maximum

*Apparent resistivity map*

- ① measuring direction
- ② direction of the broadcasting station and of the maximum of signal

Tableau I : Principales caractéristiques des séries de sols  
*Main characteristics of soil series.*

| N° série de sol | profondeur substrat | consistance | type de sol | hydromorphie |
|-----------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|
| 2.1             | 0,2 m               | variable *  | érodé       | pseudogley   |
| 2.2             | 0,2 m               | roche dure  | érodé       |              |
| 3.1 et 3.2      | 0,5 m               | roche dure  | brun acide  | pseudogley   |
| 5.1             | ≥ 1,5 m             | variable *  | brun        | pseudogley   |
| 6.1 et 6.2      | ≥ 1,5 m             | variable *  | brun        | gley         |

\* Variable : à l'échelle métrique consistance d'une roche dure à celle d'un altérite meuble

## 2. Carte de résistivité et fosses pédologiques

Sur la carte des résistivités (Fig. 2) les valeurs relevées sur le terrain sont comprises entre 40 et 300  $\Omega$ .m et leur organisation traduit les différentes structures du terrain. Dans certaines zones, les valeurs évoluent très progressivement alors qu'ailleurs on rencontre des maximums ou des minimums bordés par de forts gradients. C'est l'interprétation de ces zones qui retient en premier lieu l'attention ; elles constituent les anomalies.

Les anomalies résistantes : pierrosité.

La fosse 5 (Fig. 2) a été implantée à l'endroit d'une telle anomalie qui s'est révélée être une zone où le gneiss sain et dur n'était recouvert que par 20 cm de terre meuble. C'est une zone à fort risque de blocage pour la draineuse. Ce phénomène se traduit par une variation de la résistivité d'ouest en est de 260 à 110  $\Omega$ . m . La zone conductrice est atteinte rapidement à l'est, c'est un profil d'altération de consistance meuble.

Les anomalies conductrices : excès d'eau.

La fosse 3 (Fig. 2) est excavée à l'endroit d'une anomalie conductrice dont les valeurs de résistivité sont comprises entre 85 et 150  $\Omega$ . m. Cette anomalie étroite et étirée s'est révélée être une zone de circulation préférentielle de l'eau. Elle est constituée d'une sorte de filon de gneiss très micacé recoupant un gneiss feldspathique altéré mais électriquement résistant.

La fosse 4 (Fig. 2) est creusée à l'aplomb d'une anomalie conductrice au niveau de laquelle les résistivités évoluent entre 50 et 140  $\Omega$ . m. Son allongement très net a fait penser à un aménagement anthropique. L'excavation a effectivement mis à jour un sable grossier gorgé d'eau qui constitue le matériau de comblement d'un ancien fossé servant d'exutoire à une petite source.

Sur l'ensemble des parcelles décrites, la prospection géophysique a permis de repérer les zones où la roche saine est proche de la surface et de détecter les trajets de

circulations d'eau préférentielles conformément aux précédentes constatation effectuées sur d'autres sites en Limousin ou en Bretagne (GAUTHIER *et al.*, 1988).

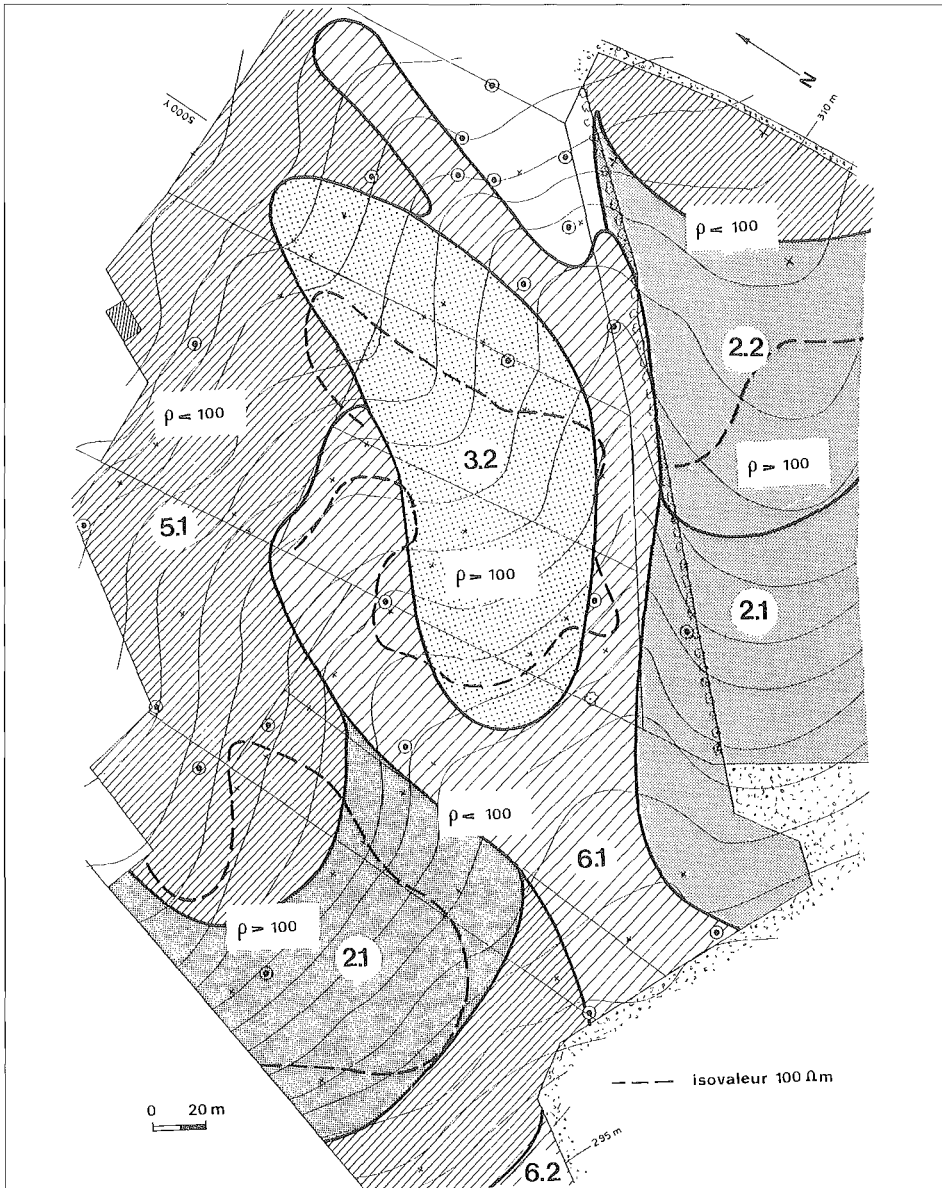


Figure 3 a : Carte des sols établie par le pédologue cf. tableau I  
Soil map from the pedologist cf. table I

### 3. Résistivité et cartographie des sols

Sur la figure 3a, on a représenté de façon synthétique la distribution de 6 types de



sols en se proposant de mettre en évidence une éventuelle relation entre pédologie et résistivité électrique. C'est ainsi que se superposent à la cartographie des sols des courbes d'isovaleurs de la résistivité à 100  $\Omega$ .m. Cette valeur permet la distinction de deux groupes de sols : ceux de type 2 et 3 (premier groupe) qui présentent des résistivités supérieures à 100  $\Omega$ .m et ceux des unités 5 et 6 (deuxième groupe) dont la résistivité est inférieure à cette valeur.

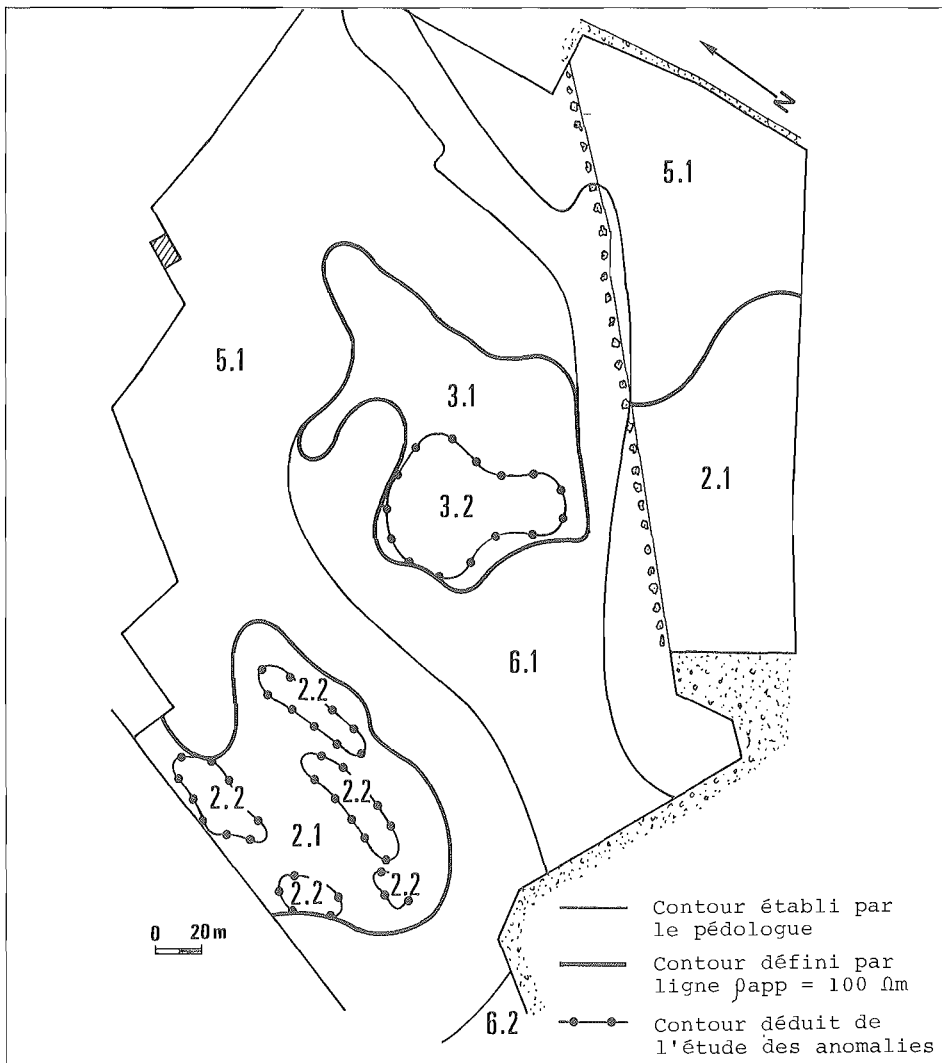


Fig. 3b : Carte des sols, optimisation des contours d'après la Radio M.-T.

*Soil map improved from Radio M.-T. interpretation.*

Si l'on se reporte au tableau I, il est aisé de constater que la résistivité électrique introduit de part et d'autre d'une valeur de 100  $\Omega$ .m une discrimination basée

préférentiellement sur l'épaisseur des sols et sur leur classement établi par le pédologue plutôt que sur de simples critères d'hydromorphie ou de degré d'altération.

En effet l'épaisseur des sols du premier groupe ne va pas au-delà de 50 cm alors que celle des sols du second groupe dépasse 1,50 m ; le premier groupe est constitué de sols érodés ou bruns et bruns acides, le second de sols colluviaux ou alluviaux. Si la cohésion n'intervient en aucune manière dans cette distinction, le degré d'hydromorphie lui ne se manifeste que pour dégager les sols de type 6, c'est-à-dire avec un certain décalage par rapport aux critères d'épaisseur et de nature des sols.

En reportant sur la carte des sols la conclusion de l'étude des anomalies, qui a permis d'établir les cartes des contraintes, il est possible de préciser la localisation des sols du premier groupe. Ainsi on met en évidence (Fig. 3b) :

- à l'ouest, cinq "flots" de série 2.2 au sein de la série 2.1,
- au centre, l'extension de l'unité 3, plus faible que celle décrite par le pédologue et qui apparaît, constituée des deux séries 3.1 et 3.2,
- au sud-est, l'unité 2 d'extension plus faible que celle vue en figure 3a et qui apparaît constituée de la seule série 2.1.

Comme pour toute méthode de prospection géophysique, c'est l'interprétation des données expérimentales et leur validation sur le terrain qui confère à la radio M.-T. son caractère opérationnel : d'une part la relation entre la nature du sol et la résistivité n'est pas univoque et, d'autre part, la multiplicité des causes potentielles de changement de la résistivité peut localement interdire d'attribuer aux variations de la résistivité une origine certaine. Une prospection géophysique ne se substitue donc pas à une approche pédologique traditionnelle. Elle apporte un supplément d'information qu'il serait difficile d'acquérir autrement.

#### **4. Incidences sur la conception et la réalisation du réseau**

Pour tenir compte des contraintes mises en évidence par la prospection Radio M.-T. , l'entrepreneur de drainage a décidé de réaliser les travaux conformément au plan initial mais après piquetage des zones rocheuses. De plus deux précautions particulières ont été prises, d'une part le choix de la draineuse sous-soleuse la plus puissante et d'autre part la modification des réglages de la machine au moment d'aborder les zones pierreuses pour les approcher dans les meilleures conditions possibles de stabilité et d'adhérence. La mise en place des drains a permis de vérifier que seules les aires piquetées correspondaient à des zones pierreuses et que les modifications de réglage avaient permis la pose des drains en un seul passage. Ce n'est à notre avis qu'une première étape dans la prise en compte des enseignements de la géophysique. En effet ce passage en force accroît sensiblement le risque d'écrasement des conduits. L'information Radio M.-T. devrait être utilisée pour contourner les zones à risque comme cela est proposé sur la figure 4 qui montre à la fois le plan initial de l'implantation du réseau de drains et les modifications proposées.

Les formes d'excès d'eau repérées sur la parcelle méritent un traitement particulier et notamment le filon identifié par la fosse n°3. Un captage est proposé qui, compte tenu des orientations respectives du filon et des alignements des drains projetés, consiste en un léger approfondissement du réseau, doublé de l'assujettissement de remblais poreux

à l'endroit présumé de la mouillère.

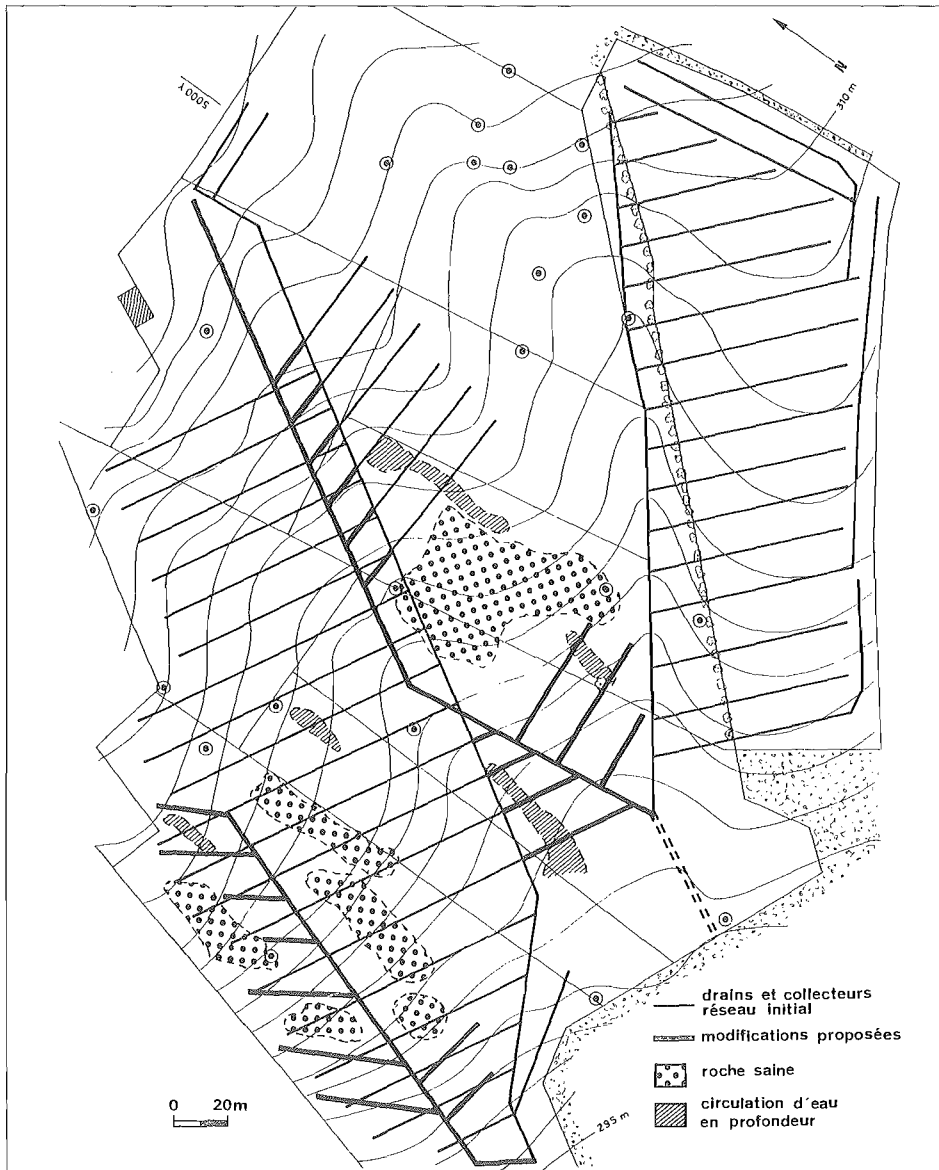


Fig. 4 : projet de drainage modifié après étude Radio M.-T.  
Soil map improved from Radio M.-T. prospection.

## CONCLUSION

Les travaux de terrain menés sur le domaine agricole départemental des Vaseix sont en accord avec les possibilités théoriques de la méthode et du protocole de prospection

appliqué. On retiendra de cette expérience de grande envergure que la prospection Radio M.-T. est possible en paysage bocager et sur un relief accidenté sans modifier les procédures habituelles. Une telle opération doit obligatoirement s'appuyer sur les relevés topographiques et sur les documents pédologiques produits lors de la préparation d'un projet de drainage. Cette préconnaissance du milieu permet le choix judicieux des émetteurs pour optimiser les directions de cheminement le long des profils successifs. Les cartes de résistivité obtenues délimitent de façon très précise aussi bien les zones pierreuses que les différentes formes d'excès d'eau. Or, dans de tels systèmes rocheux, les méthodes classiques de la pédologie sont insuffisamment discriminantes eu égard à l'objectif de précision assigné. Il est encore trop tôt pour établir une liaison directe et forte entre les valeurs de résistivités mesurées et la nature des sols mais on a pu ébaucher une telle relation.

L'expérience acquise depuis cinq ans montre que l'interprétation doit être conduite avec beaucoup de prudence en matière de drainage. La Radio M.-T. ne doit pas être présentée comme un outil auto-suffisant. Il apparaît une nette complémentarité, génératrice d'économie, entre cette méthode et les démarches classiques d'ingénierie du drainage : l'information pédologique permet de réaliser des prospections moins coûteuses, selon une seule direction (au lieu de deux perpendiculaires) et sert d'autre part de clé d'interprétation des cartes de résistivité. Le plan topographique sur lequel on conçoit le projet de drainage est aussi le support de l'opération géophysique. Il est montré que la Radio M.-T. appliquée dans le cadre protocolaire que nous préconisons permet une réelle optimisation de la conception des réseaux de drainage et de leurs ouvrages annexes sur un exemple concret échappant à la critique de la démonstration facile effectuée sur un terrain judicieusement choisi. Cette méthode ouvre aussi une perspective quant à la discrimination des sols à partir de la cartographie de leur résistivité électrique.

Reçu pour publication : Avril 1990

Accepté pour publication : juin 1991

## BIBLIOGRAPHIE

- ANVAR (Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche), 1973 - Brevet n° 73-11-573. Dispositif pour la prospection magnéto-tellurique de subsurface, (DUPIS A., GUINEAU B.).
- AUROSSEAU P., 1976 - *Morphologie et genèse des sols sur granite du Morvan*. Thèse Doct. Ing. Université Rennes, E.N.S.A. - I.N.R.A., 210 p.
- BOSSUET G., CHOQUIER A., GAUTHIER F., 1987 - Exemples d'application de la Radio magnéto-tellurique à l'étude des sites archéologiques. *Revue d'Archéométrie*, **11**, 1-10.
- BOSSUET G., 1989 - *Application de la méthode Radio magnéto-tellurique à la détection des structures archéologiques et contribution à la reconnaissance du contexte géomorphologique des sites*. Maîtrise d'Archéologie, Université Paris I Panthéon Sorbonne. 86 p.

- BOTTRAUD J.C., 1983 - *Résistivité électrique et étude des sols. Applications à la cartographie et à la caractérisation du fonctionnement hydrique*. Thèse U.S.T. du Languedoc, E.N.S.A. Montpellier, 191 p.
- CAGNIARD L., 1953 - Principe de la magnéto-tellurique, nouvelle méthode géophysique. *Annales de géophysique*, t. 9, fasc. 2, 95-125.
- CARNEZ J. L., 1976 - *La prospection magnéto-tellurique adaptée aux problèmes du génie civil*. Thèse IIIe cycle, U.S.T. Lille, 180 p.
- COURBE C., 1987 - Les objectifs et la démarche de l'étude agropédologique réalisée sur l'exploitation du lycée agricole des Vaseix. Chambre Départementale d'Agriculture de la Haute-Vienne.
- DUPIS A., 1963 - *Description, résultats, enseignements de la première campagne expérimentale de sondages magnéto-telluriques effectués en France*. Thèse IIIe cycle, Paris VI, 152 p.
- DUPIS A., 1971 - Premières applications de la magnéto-tellurique à la prospection pétrolière, géologique ou minière de diverses régions métropolitaines. *Annali di Geofisica*, Roma, XXIV, 2, 145-286.
- DUPIS A., CARNEZ J. L., 1976 - Application d'une méthode magnéto-tellurique à la reconnaissance des sites. *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, n°92, 66-67.
- DUPIS A., THERA A. L., 1982 - Natural Electromagnetism in the Rhine graben. *Geophys. Journal of Roy. Astr. Soc.* **68**, 545-558.
- GAUTHIER F., 1987 - *Utilisation de la Radio magnéto-tellurique et de la prospection thermique pour la reconnaissance géophysique du proche sous-sol. Application à l'étude et à l'aménagement des terres agricoles engorgées*. Thèse de doctorat de l'Université de Paris VI, 196 p.
- GAUTHIER F., BOSSUET G., 1987 - Repérer les obstacles rocheux, l'application de la Radio magnéto-tellurique. *Rev. drainage*, n° 31, 33-39.
- GAUTHIER F., VINCENT B., HOLLIER-LAROUSSE A., MOULINIER P., 1988 - Application d'une méthode géophysique, la Radio magnéto-tellurique, aux études préalables au drainage. *Commission internationale des irrigations et du drainage*, DUBROVNIK, Proceedings 1, 71-87.
- GUINEAU B., 1975 - Exemples d'application de la méthode magnéto-tellurique de prospection géophysique à l'étude de structures ou de formations géologiques situées sous un très faible recouvrement. *Geophysical Prospecting*, **23**, 104-124.
- LAGABRIELLE R., 1986 - Les bases de la Radio magnéto-tellurique. *Rev. Indust. Min.*, 373-384.
- LAGABRIELLE R., HOLLIER - LAROUSSE A., 1985 - Les deux types d'informations contenues dans les profils de la magnéto-tellurique artificielle. Exemple d'application à la prospection archéologique. *Bull. liaison Labo. P. et Ch.* **137**, 37-42.
- MEROT P., GASCUEL - ODOUX C., CHEVASSU G., 1986 - Application de la prospection magnéto-tellurique artificielle à l'étude de la profondeur d'un sol. *Agronomie* 6 (1) 57-66.
- ROBIN G., 1984 - *Etude structurale par géophysique dans le bassin hydrogéologique du Nohain (Nièvre)* - Thèse IIIe cycle, Université Paris VI, 164 p.
- THERA A. L., 1977 - *Interprétation des mesures magnéto-telluriques à partir d'un modèle à deux dimensions*. Thèse IIIe cycle, Paris VI, 96 p.

r l'Etude c