



HAL
open science

Prospection électrique de subsurface automatisée

Michel Dabas, Albert Hesse, Alain Jolivet

► **To cite this version:**

Michel Dabas, Albert Hesse, Alain Jolivet. Prospection électrique de subsurface automatisée. Charles Leva. Aerial photography and geophysical prospection in archaeology 2, Centre Interdisciplinaire de Recherches Aériennes, pp.73-81, 1990, 9789080047716. hal-02925209

HAL Id: hal-02925209

<https://hal.science/hal-02925209v1>

Submitted on 28 Aug 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

M. DABAS, A. HESSE & A. JOLIVET
PROSPECTION ELECTRIQUE DE SUBSURFACE AUTOMATISEE

OFF-PRINT FROM
TIRE-A-PART DE
SONDERDRUCK AUS
OVERDRUK UIT

AERIAL PHOTOGRAPHY
AND GEOPHYSICAL PROSPECTION
IN ARCHAEOLOGY

2

Proceedings of the Second International Symposium
Brussels 8 - XI - 1986

CIRA (Centre Interdisciplinaire de Recherches Aériennes)
ICL (Interdisciplinair Centrum voor Luchtverkenning)
Avenue Brugmann 291 - B-1180 Bruxelles
Brugmannlaan 291 - B-1180 Brussel

Brussels 1990

M. DABAS, A. HESSE & A. JOLIVET

Prospection électrique de subsurface automatisée

SUMMARY

Due to the slowness of measurements, electrical prospecting of large archaeological sites is usually prohibited. This is a consequence of the manual displacement of the electrodes and the use of unadapted resistivity meters.

Two different versions of a so called RATEAU device have overcome from now on the first constraint. A small tractor tows a square quadripole, allowing a continuous contact with the ground during motion. This contact is done either by high pressure liquid jets for the first device or by rotating disks for the second one. Besides, an alternative current resistivity meter for sub-surface prospecting (i.e. RMCA-3) has been developed to ensure automatic data acquisition. With a very short response time, it is possible to use electrodes with high contact resistance, and this allows a wide range of measurements. RMCA-3 is manufactured and sold by SEPTA (France).

In domains where electrical prospecting is a good point for soil surveys, this new technique enables a fast electrical cartography of large surfaces which were forbidden before with hand-made prospecting.

RÉSUMÉ

La prospection électrique des grands sites archéologiques est habituellement limitée par la lenteur de réalisation des mesures. Celle-ci tient au déplacement manuel des électrodes autant qu'à l'emploi de résistivimètres inadaptés.

Deux versions distinctes d'un matériel baptisé "RATEAU" permettent désormais d'éviter la première contrainte. Un petit tracteur agricole porte sur son attelage un quadripôle carré assurant un contact continu avec le sol au cours de son déplacement. Ce contact est réalisé soit par des jets liquides sous haute pression pour le premier appareillage, soit par des disques rotatifs pour le second. D'autre part, un résistivimètre à courant alternatif pour la prospection superficielle, le RMCA-3, a été développé pour permettre l'acquisition automatique des données obtenues avec ces capteurs. Doté d'un temps de réponse très court, il tolère l'emploi d'électrodes à fortes résistances de contact et possède une grande dynamique. Le RMCA-3 est construit et commercialisé par la Société SEPTA (47-49 rue Marx-Dormoy, F-75018 Paris France).

Dans les domaines où l'emploi de la prospection électrique se révèle efficace pour la reconnaissance des sols aux faibles profondeurs, cette nouvelle technique permet la couverture rapide et la cartographie de surfaces considérables qui ne pouvaient être explorées par les procédures manuelles antérieures.

INTRODUCTION

La prospection géophysique des grands sites archéologiques requiert, on le sait, un grand nombre de mesures pour couvrir de grandes surfaces (de un à plusieurs hectares) avec une résolution spatiale fine compatible avec la dimension des structures (maille de 1 à 2 m de côté). Si la prospection magnétique, en raison de la rapidité des mesures au magnétomètre (3 à 5 sec.), a permis d'effectuer des couvertures très étendues¹, il n'en a pas été de même pour la prospection électrique qui souffre d'une lenteur relative très préjudiciable à son développement. Certains sites, pour lesquels la prospection électrique reste la méthode de reconnaissance par excellence, n'ont pu, de ce fait, être couverts sur quelques hectares qu'au prix d'efforts considérables des opérateurs sur le terrain.

Cette lenteur peut être imputée à deux facteurs:

- l'emploi de résistivimètres mal adaptés (temps de mesure)
- le déplacement manuel des électrodes (intervalle de temps entre deux mesures).

En effet, dans la pratique courante, on plante manuellement quatre électrodes dans le sol et l'une d'elles, ou l'ensemble du quadripôle, est déplacé à chaque point de mesure. La mesure elle-même, avec beaucoup d'instruments encore répandus, nécessite l'équilibrage manuel soigneux d'une aiguille sur un repère. Si les mesures sont réparties sur une maille de 1 m de côté (cas assez fréquent), la cartographie d'un hectare de terrain conduit à effectuer 10.000 fois chacune de ces opérations.

On comprend donc la nécessité d'accroître le rendement de la prospection électrique non seulement pour l'étude des sites qui relèvent presque exclusivement de cette méthode (sites à constructions en pierre notamment), mais pour toute la reconnaissance des sols à faible profondeur. Pour cela, les efforts ont porté sur trois points:

- l'étude de nouveaux capteurs. Ce sont des quadripôles tractés à contact continu avec le sol.
- le développement d'un résistivimètre aux performances accrues, utilisable soit avec ces capteurs pour faire de l'acquisition automatique, soit de manière conventionnelle.
- la réalisation d'un système numérique d'enregistrement et de traitement des données sur le terrain.

Ce programme reprenait et complétait largement une idée déjà émise et expérimentée il y a plusieurs années par l'un d'entre nous².

CAPTEURS RATEAU (Résistivimètre Auto-Tracté à Enregistrement AUTomatique)

La forte augmentation de la résistance de contact des électrodes avec le sol est le principal obstacle à l'emploi de quadripôles tractés à contact continu. Pour réduire ces résistances qui s'opposent au passage du courant injecté, un premier système d'électrodes à jets liquides sous haute pression a été réalisé³ (fig. 1).

1 Scollar 1971.

2 Hesse 1966.

3 Hesse & Jolivet 1981.



Fig. 1 - RATEAU à jets liquides en position relevée.

Chaque jet est produit par pression de 150 bars sur un liquide conducteur (eau et nitrate d'ammonium) à travers un ajustage très fin (0,2 mm) maintenu à 1 cm au-dessus du sol. Il constitue une électrode indépendante, isolée électriquement des trois autres, dont le contact avec le sol est excellent en assurant, éventuellement, par ses propriétés mécaniques, une découpe de la végétation superficielle. Cette réalisation du Centre de Recherches Géophysiques a montré son efficacité: elle convient bien à l'exploration des terrains à surface de contact défavorable. Toutefois, la réalisation industrielle de cet équipement, assez complexe, aurait été trop coûteuse. Il a paru plus opportun de perfectionner d'abord l'appareil de mesure pour l'utilisation avec des quadripôles plus simples. La seconde version du RATEAU est donc purement mécanique et plus facile à réaliser (fig. 2). Elle comprend:

- un châssis carré fixé sur l'attelage "trois points" d'un tracteur,
- une roue centrale servant à la mesure des distances par entraînement d'un codeur incrémental,
- quatre bras porte-électrodes oscillants et de grande longueur pour minimiser la déformation de la géométrie du quadripôle (dans un aménagement plus récent, le nombre de ces bras oscillants a été réduit à deux pour les électrodes arrières, les deux de l'avant restant fixées rigidement),
- une double isolation électrique,
- quatre roues-électrodes à bord continu en acier inoxydable et lestées de plomb.

L'ensemble est démontable pour le transport. Quant au matériel de mesure et d'enregistrement, il est fixé sur un pupitre, face au conducteur du tracteur qui assure leur manipulation.



Fig. 2 - Porte-électrodes RATEAU à roues.

RÉSISTIVIMÈTRE RMCA-3 (SEPTA-Licence ANVAR-CNRS)

L'appareil utilise le principe de la mesure directe de la tension (ΔV) apparaissant sur les électrodes de potentiel sous l'effet de l'injection d'un courant (I) maintenu constant. L'affichage est conçu pour donner directement en Ohms la valeur de $\Delta V/I$ tandis qu'une sortie permet l'enregistrement simultané de cette grandeur.

Trois caractéristiques ont fait l'objet d'une amélioration sensible par rapport au matériel existant (fig. 3):

- élargissement de la dynamique de chacune des trois gammes:
 - 0,02 - 200 Ohm / 300 Ohm (lecture/enregistrement)
 - 0,2 - 2 kOhm / 3 kOhm (lecture/enregistrement)
 - 2 - 20 kOhm / 30 kOhm (lecture/enregistrement)

auxquelles correspondent respectivement des courants injectés de 10 mA, 1 mA et 0,1 mA à la fréquence de 122,5 Hz. Grâce à l'étendue de ces gammes, il est possible d'effectuer un enregistrement automatique des résistivités mesurées sur un site donné, sans devoir les changer au cours de l'opération.

- meilleure tolérance aux fortes résistances de contact des électrodes avec le sol. La charge maximale admissible dans le circuit d'injection, différente pour chaque gamme, dépasse 12 k Ohm, 120 k Ohm et 1,2 M Ohm pour les intensités décroissantes. L'impédance d'entrée du circuit de potentiel est celle, plus considérable encore, des amplificateurs intégrés modernes. Ces performances sont évidemment très importantes puisqu'elles déterminent de manière contraignante la nature des contacts pouvant être



Fig. 3 - Face avant du résistivimètre RMCA-3.

acceptés entre électrodes et sol. Elles ont permis de réduire le quadripôle à de simples disques roulants sur herbe presque sèche (site de Minot) ou sur terre nue et d'obtenir, grâce à une version encore plus récente de roues à pointes, d'excellents résultats sur des sols relativement durs et secs (sites d'Alba et du Mont Beuvray).

- réduction du temps de réponse. Essais et calculs théoriques antérieurs⁴, ont montré que le temps d'établissement du courant dans le sol est assez faible pour autoriser l'augmentation de la fréquence de répétition des mesures. Ainsi, la régulation des courants injectés par le RMCA-3 étant assurée à chaque période de signal, c'est-à-dire tous les 8 ms environ, il est possible d'effectuer et d'enregistrer des mesures à la même cadence.

Dans le prototype réalisé, le codeur incrémental entraîné par la roue qui mesure la distance parcourue le long du profil, déclenche la prise en compte d'une mesure tous les 10 cm, c'est-à-dire environ dix mesures par seconde lorsque le tracteur se déplace à la vitesse de 4 km/h.

Enfin, l'appareil comporte un certain nombre de caractéristiques qui en facilitent l'usage. Il fonctionne à partir de sa batterie interne rechargeable ou bien s'alimente sur une batterie externe de 12 volts qui permet, accessoirement, de le télécommander. Indicateur de mesure non valide, de dépassement de gamme et de batterie faible permettent de contrôler son fonctionnement.

4 Hesse, Jolivet & Tabbagh 1986.

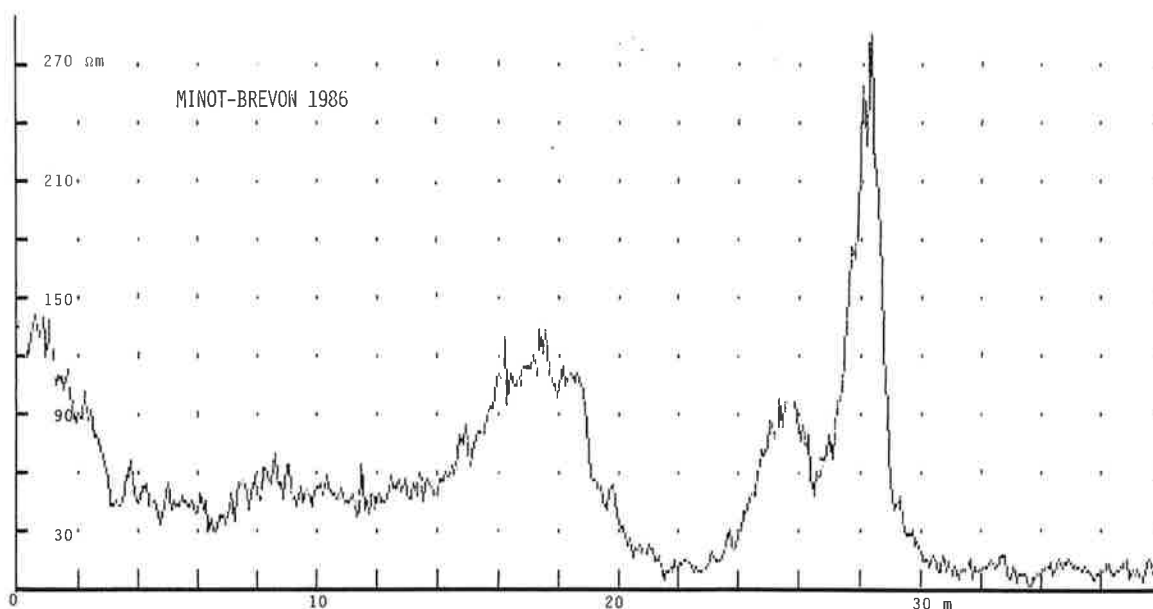


Fig. 4 - Profil de résistivité enregistré sur le site de Minot.

SYSTÈME D'ENREGISTREMENT ET DE TRAITEMENT DES DONNÉES

La mesure de la résistivité résulte de la coïncidence d'un top donné par un circuit de comptage de distance, commandé par la roue centrale du porte-électrodes, et du top de mesure du résistivimètre. Bien que la restitution des données sur carte soit réalisée le plus souvent au pas de 1 m, les mesures sont effectuées tous les 10 cm. En effet, sur terrain très sec ou en présence de pierres, un nombre important de mesures est perdu par absence ou trop mauvais contact d'une électrode et il est important que les mesures soient suffisamment nombreuses pour permettre une évaluation statistique (à partir de la médiane des valeurs obtenues sur une fenêtre glissante) et restituer des valeurs correctes aux points où elles auraient été perdues⁵.

A la sortie du résistivimètre, les données sont amplifiées, converties sous forme numérique (sur 12 bits) et stockées dans un microprocesseur déjà existant (NSC 800) modifié par A. Dubreule (US 43, Garchy) et embarqué sur le tracteur. On peut alors stocker jusqu'à 30600 mesures et d'autres paramètres permettant leur positionnement sur le terrain.

Il a enfin été développé un logiciel permettant un premier transfert des données sur une disquette 3.5 pouces (150 Ko maximum). Le temps de ce transfert, grâce à plusieurs modifications, a pu être réduit à quelques minutes. Une série de petits

⁵ Tabbagh 1988.



Fig. 5 - Carte de résistivités obtenues sur le site de Balloy avec la collaboration de G. Ducomet (Sous-Direction de l'Archéologie, Ministère de la Culture): on distingue en noir les remontées du gravier résistant, en blanc les recouvrements épais de terre conductrice et deux enceintes oblongues de largeur variable, l'une en haut à gauche, l'autre au centre de la carte.



BALLOY 1987



0 10 20 m

programmes peut être alors immédiatement appelée sur l'ordinateur de terrain permettant une impression des caractéristiques des profils effectués (numéro de profil, sens, nombre de mesures, résistivité moyenne, écart-type) ou bien une visualisation des profils un par un avec de nombreuses options (changement d'échelle, filtrages avec différentes caractéristiques) (fig. 4). Il n'est pas possible pour l'instant de tracer les cartes sur le terrain faute, provisoirement sans doute, de moyens informatiques appropriés.

Actuellement, les données correspondant à un hectare et demi sont stockées définitivement sur une disquette de 720 Ko. Cette disquette est relue puis transmise dans la mémoire de l'ordinateur du laboratoire pour les traitements permettant le tracé des cartes de résistivité (filtrage, interpolation, lissage et enfin tracé d'isovaleurs). Pour l'instant, un format standard des disquettes, de leur nom ainsi que de l'information qu'elles contiennent a été adopté permettant un archivage rapide.

RÉSULTATS ET PERSPECTIVES

A ce jour, plusieurs prospections expérimentales viennent d'être réalisées, à l'aide du prototype décrit, sur des surfaces supérieures ou égales à l'hectare, sur les sites suivants: Alba (Ardèche) et Mont Beuvray (Nièvre) à la recherche de substructions en pierre; Minot (Côte d'Or) pour l'étude d'ateliers métallurgiques médiévaux; Balloy (Seine et Marne) afin de localiser des enceintes néolithiques (fig. 5). Ce dernier cas est particulièrement intéressant dans la mesure où il démontre le caractère désormais concurrentiel de la prospection électrique par rapport à la prospection magnétique: celle-ci était jusqu'ici en effet préférée, à juste titre en raison de sa rapidité, pour la prospection des structures en creux remplies de terre.

Cette rapidité est en effet l'acquis majeur de l'expérience décrite. Alors qu'il fallait quinze à vingt jours de terrain pour prospecter, en résistivité à la main, une surface de 1 ha à maille de 1 m de côté puis une semaine de laboratoire pour l'encodage des données et la sortie des cartes, la méthode développée permet de cartographier la même surface en une journée; le résultat des mesures peut être tracé en une journée également et on peut espérer bientôt obtenir les cartes dans les heures qui suivent la prospection.

Les recherches devraient désormais s'orienter dans les directions suivantes:

- poursuite de l'expérimentation sur des sites variés, présentant notamment des conditions d'état de surface très différents pour bien définir les limites d'exploitation de chaque type d'électrode (humidité, sécheresse, accidents topographiques,...).
- multiplication du nombre des électrodes dans la perspective d'interroger en séquence des quadripôles de configuration et de profondeur d'investigation différentes.
- mise au point de logiciels plus performants tant pour la gestion que pour le traitement de ces données multiples.
- amélioration (mais ceci est essentiellement un problème de crédits) de l'équipement d'acquisition et de traitement des données sur le terrain.

Les perspectives ouvertes par la prospection électrique automatisée concernent évidemment en tout premier lieu la reconnaissance des sites archéologiques qui ont motivé, à l'origine, les efforts expérimentaux qui viennent d'être décrits. L'industrialisation de la mesure, à laquelle ils devraient conduire, permet d'envisager l'étude de nombreux

sites dont la surface était auparavant estimée trop importante pour une prospection électrique au sol. Il est évident cependant que les disciplines intéressées ne se limitent pas à l'archéologie mais peuvent s'étendre à toutes celles qui connaissent des problèmes de reconnaissance du proche sous-sol: génie civil, pédologie, agronomie, etc...

REFERENCES

HESSE A. 1966: Perfectionnement des applications archéologiques de la prospection électrique C.R.M., *Soc. Préhist. Franc.* LXIII, n° 1, XV-XIX.

HESSE A. & JOLIVET A. 1981: *Réalisation et expérimentation d'un résistivimètre-auto-tracté-enregistreur (RATE)*, Compte-rendu de fin d'études D.G.R.S.T. Décision d'aide 78-7-0247, inédit, 16 pp. (avec la collaboration de J. Gallego).

HESSE A., JOLIVET A. & TABBAGH A. 1986: New prospects in shallow depth electrical surveying for archaeological and pedological applications, *Geophysics* 51, n° 3, 585-594.

SCOLLAR I. 1971: A magnetometer survey of the Colonia Ulpia near Xanten, West Germany, *Prospezioni Archeologiche* 6, 83-92.

TABBAGH J. 1988: Traitement des données et élimination des valeurs erronées en prospection électrique en continu, *Revue d'Archéométrie* 12, 1-9.

