

# MESURES DE RESISTIVITE ET ETUDE DU COMPORTEMENT AGRONOMIQUE D'UN SOL

J.C. BOTTRAUD<sup>1</sup>, M. BORNAND<sup>1</sup>, E. SERVAT<sup>1</sup>

---

## RESUME

*Actuellement, les pédologues et les agronomes ne disposent pas de méthodes de mesures de l'humidité suffisamment objectives pour pouvoir passer des données obtenues au niveau ponctuel ou stationnel à des résultats applicables à l'unité de sol.*

*Or, les mesures de résistivité électrique varient en fonction des caractéristiques hydriques d'un sol.*

*Ces mesures de la résistivité d'un sol et de ses variations sont utilisées ici pour décrire qualitativement le comportement hydrique de 2 unités de sols. Il s'agit de sols sableux plantés en vigne. Des anomalies de croissance de cette plante apparaissent au sein d'une de ces unités. Les résultats des mesures électriques permettent d'expliquer les différences de croissance observées qui sont liées à des variations du comportement hydrique des sols ; ces résultats sont confirmés par les mesures effectuées sur les mêmes sites avec d'autres méthodes (sondes à neutron, tensio-mètres).*

*En conclusion, l'on peut dire que, sous climat tempéré et dans des sols non salés, les mesures de résistivité électrique peuvent être utilisées pour décrire qualitativement les variations d'humidité d'un sol. De plus, ces méthodes peuvent servir de base à une généralisation spatiale des mesures stationnelles. Pour certaines conditions de milieu, des appréciations quantitatives sont possibles en procédant à un étalonnage.*

## INTRODUCTION

Le sol est un milieu complexe. Sa constitution ou une variation de son comportement ont souvent une influence évidente sur la végétation. Mais il n'est pas toujours aisé d'en trouver les causes réelles et d'en expliquer les mécanismes d'intervention.

Pour faire face à la grande diversité des problèmes que l'on rencontre, il est donc souhaitable de disposer de techniques d'études aussi variées que possible.

Dans l'article précédent (J.C. BOTTRAUD *et al.*, 1984, p. 279-294), nous présentions les mesures de résistivité, leurs principes essentiels et leur intérêt dans la cartographie en pédologie. Nous nous attachons au cours des travaux exposés ici à décrire les autres potentialités d'utilisation de ce type de mesures : l'étude in situ des variations des caractères hydriques d'un sol.

Cette étude décrit les résultats de mesures réalisées sur le terrain et essaie de montrer comment le suivi (spatial et temporel) des variations de la résistivité permet, sous certaines conditions, de déterminer celles de la teneur en eau, de façon suffisamment précise pour identifier des comportements différents. Ceci n'est réalisé ici que de façon qualitative.

---

1. Laboratoire I.N.R.A. - E.N.S.A. de Science du Sol, 34060 Montpellier.

## I. PRINCIPES THEORIQUES

Les variations de la teneur en eau d'un sol influent sur sa résistivité : c'est un phénomène connu depuis quelques temps déjà (cf. Hesse, 1966 par ex.) et il a donné lieu à quelques tentatives d'application en science du sol ou en hydrologie (Don Kirkham et G.S. Taylor, 1949 - J.P. Barraud et al. 1979).

Plus récemment, un effort a été fait, essentiellement en laboratoire, pour modéliser les relations entre teneur en eau et résistivité dans le cas d'un matériau donné : (S.C. Gupta et R.J. Hanks - 1972, J.D. Rhoades et al - 1976, A. Nadler - 1982, J.C. Bottraud et J.D. Rhoades à paraître).

A l'heure actuelle, une des meilleures façons de traduire cette relation peut être représentée par l'équation qui suit :

$$\frac{1}{\rho_a} = \frac{1}{\rho_w} [a \cdot \theta^2 + b \cdot \theta] + \frac{1}{\rho_s} \quad (1)$$

où  $\rho_a$  = résistivité apparente du matériau considéré

$\rho_w$  = résistivité de la solution

$\rho_s$  = résistivité de la phase solide ou plus exactement, correspondant à la double couche diffuse associée à la phase solide

$\theta$  = teneur en eau volumique

a, b = coefficients empiriques, généralement déterminés par la méthode des moindres carrés. Ils varient probablement en relation avec les paramètres géométriques du milieu solide.

Cette relation montre bien qu'il est possible pour un matériau et une solution donnés de déterminer la teneur en eau à partir de la résistivité électrique.

Malheureusement, s'il est relativement aisé en laboratoire d'isoler chacun des termes affectant la résistivité, il n'en va pas de même sur le terrain.

En particulier, trois types de questions se posent :

- Les variations de concentration de la solution que peuvent entraîner les variations de  $\theta$  affectent-elles notablement la résistivité du sol ? Ou, plus précisément, cet effet est-il négligeable devant celui, direct, des fluctuations de la teneur en eau ?
- La température joue-t-elle un rôle important ?
- Enfin, quelles méthodes de mesure utiliser ?

Ces questions ne se posent pas de la même façon si l'on s'intéresse à des variations spatiales ou temporelles. En effet, dans le premier cas, la plupart du temps, il est raisonnable de supposer que la conductivité électrique de la solution est constant (tout au moins pour un volume d'échantillonnage suffisant) et que la température n'a pas ou peu changé. Dans le second cas, par contre, seule une expérimentation sur le terrain permettra d'affirmer que ces hypothèses sont raisonnables.

## II. LE SITE CHOISI : description et caractéristiques

La parcelle analysée fait partie du Domaine de Vassal (Expérimentation viticole I.N.R.A.) implanté à Marseillan Plage (carte 1/50 000 Agde, XXVI - 45). Elle se situe à l'ouest de Sète sur un cordon dunaire littoral qui se développe entre la Méditerranée et l'étang de Thau.

Le sol est un sol sableux peu évolué, d'apport éolien, avec une nappe d'eau douce permanente (0,6 à 1,2m) superposée à la nappe salée. Sans culture au moment où est réalisée l'étude par les méthodes électriques, il comporte en temps normal de la vigne.

Le climat est de type méditerranéen, très sec ; il se caractérise par une période estivale à fort déficit hydrique.

Dans la parcelle étudiée, la croissance de la vigne n'est pas homogène et l'on observe des anomalies de comportement sous forme de taches de plusieurs ares, plus ou moins visibles sur photographie aérienne. Il est d'ailleurs à noter que ce phénomène se répercute également sur la végétation adventice dont le développement est beaucoup plus restreint à l'intérieur des taches. C'est l'une de ces taches (cf. figure 1), qui fait l'objet de cette étude.

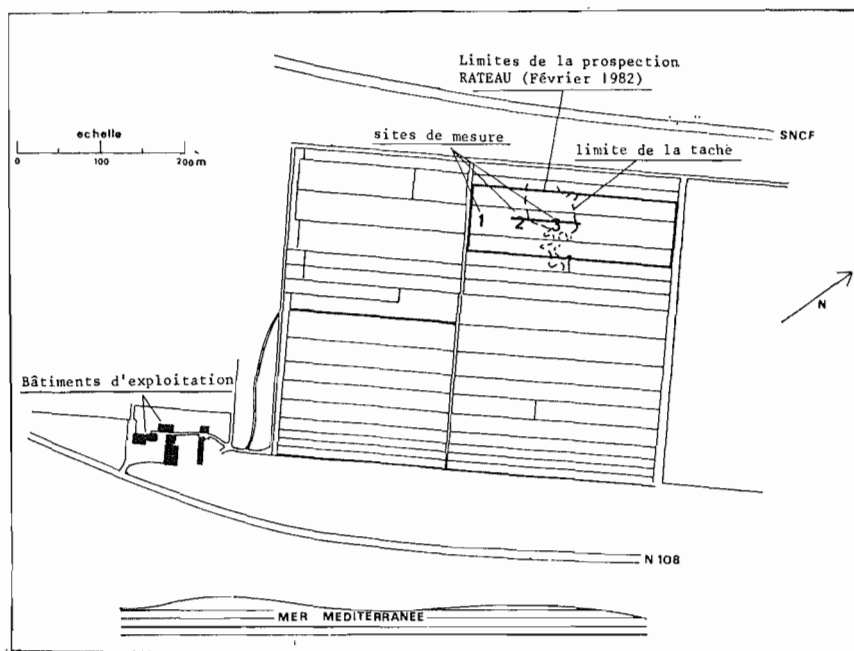


Figure 1 : Extrait du plan de la station. Situation des mesures (Domaine de Vassal - Hérault)

*Extract of the map of the station. Localisation on the measurements*

A cette échelle, il est difficile d'utiliser les clichés photographiques IGN classiques. Dans la plupart des cas, il faudrait donc faire exécuter un vol spécial pour obtenir des clichés suffisamment précis ou faire procéder à des prises de vues par ballons captifs. Il va de soi qu'une cartographie électrique (qui est en outre probablement plus précise) est nettement moins coûteuse.

Les premières études (Dridi - Pitton, 1980 - Callot, 1983) réalisées suivant une démarche classique en pédologie ont mis en évidence les points suivants :

## A) Caractérisations de terrain

- En surface, il existe peu d'indices qui permettent de distinguer la tache de son environnement si l'on fait abstraction de la végétation. Seules la cohésion du matériau et la portance du sable varient légèrement.

- En profondeur (> 0,80 m), on note la présence de niveaux discontinus plus ou moins argileux dont les limites ne semblent pas pouvoir être mises en relation avec celles de la tache.

## B) Caractérisations de laboratoire

• Les sables constituant les sols ont la même nature minéralogique dans la tache et au dehors de la tache. On peut cependant mettre en évidence une différence légère dans la granulométrie (fig. 2) ;

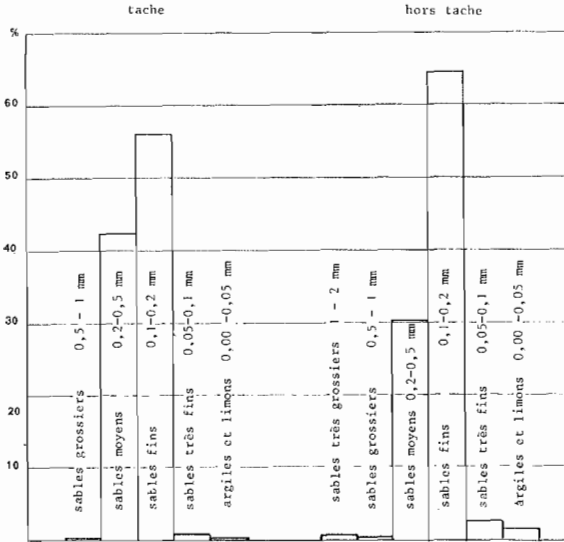


Figure 2 : Sables de Vassal : Granulométrie (d'après B. Dridi, 1980)

*Sands of Vassal : particle size distribution (from B. Dridi, 1980)*

• Il semble d'autre part (cf. C. Grimaldi, à paraître Sc. Sol., G. Callot - 1984) qu'il existe une variation notable dans la microstructure des sols analysés. A l'extérieur de la tache, les grains de sable présentent un enrobage assurant par ses joints une certaine structuration du sol, structuration quasi inexistante au sein de la tache ;

• enfin, une étude des caractères hydrodynamiques sur colonnes en laboratoires, montre des différences entre les deux milieux, au niveau de l'épaisseur de la frange capillaire notamment (Dridi, Piton, 1980).

Les seules différences mises en évidence entre la tache et son environnement conduisent naturellement à expliquer l'existence de la première par un comportement hydrodynamique du sol différent à cet endroit, impliquant pour la plante des conditions de sécheresse accentuée malgré l'existence de la nappe sous-jacente (G. Callot - 1984). Pour que cette explication puisse être retenue avec certitude, il reste à :

— montrer que les 2 ensembles de caractères identifiés en laboratoire sont représentatifs l'un de la tache, l'autre du milieu environnant ;

— observer l'évolution de la teneur en eau du sol au cours de la saison sèche en cours de la période végétative.

Les observations précédentes ont également montré que le matériau formant les sols de la parcelle étudiée était un sable homogène composé essentiellement de quartz et de calcite. On peut donc raisonnablement supposer que la matrice solide constitue un milieu électriquement inerte qui n'affecte pas les mesures de résistivité. En conséquence, la principale cause de variation de la résistivité sera bien la teneur en eau. Il devrait donc être possible de suivre les variations de la seconde en mesurant la première.

### III. HYPOTHESES DE TRAVAIL ET METHODES D'ETUDES

#### A) Hypothèses

L'utilisation de la résistivité pour observer les variations de teneur en eau, comme nous l'avons déjà rapidement évoqué, repose sur plusieurs hypothèses, qu'il est raisonnable de faire pour un sol non salé étudié sous un climat tempéré :

— les variations dans la conductivité de la solution, provoquées par celles de la concentration de cette solution resteront négligeables devant les variations dues aux changements de la teneur en eau ;

— l'influence de la température peut être prise en compte, ou tout au moins minimisée. Dans cette étude, nous n'avons pas fait de correction, par contre les mesures ont été réalisées toujours à la même heure de façon à minimiser l'influence des variations possibles des rythmes journaliers.

De plus, nous avons supposé que la variation saisonnière de température n'affecte pas suffisamment les résultats pour gêner une interprétation qualitative.

Pour pouvoir comparer en termes de teneur en eau des mesures de résistivité réalisées à différents points de l'espace, 2 autres conditions doivent être remplies (si l'on ne dispose pas de calibrations) :

— la conductivité de la solution est la même en tout point (ou plutôt c'est la valeur moyenne de cette conductivité qui reste stable si on la considère comme référée à un volume suffisamment proche de celui pris en compte dans la mesure) ;

— les différences de constitution de la matrice solide sont minimales.

Comme nous l'avons vu, ces deux conditions sont bien remplies dans le cas de notre étude.

#### B) Méthodes

Pour pouvoir observer le comportement de chacune des unités de sol étudiées, trois stations de mesures ont été implantées (*fig. 1*) :

— une à l'intérieur de la tache (n° 3),

— une à l'extérieur (n° 1),

— enfin, une dans la zone intermédiaire (n° 2), pour pouvoir étudier une transition éventuelle dans l'espace et le comportement aux limites.

Les dispositifs utilisés pour chacune de ces stations comportaient :

— un sondage électrique (type Schlumberger) dont le piquetage était laissé en place pour limiter les causes d'écart entre les mesures et pour gagner du temps à chaque relevé,

— un tube pour sonde à neutrons (profondeur = 1,4 m),

— une série de tensiomètres (profondeurs = 0,2 m, 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m, 1 m).

A chaque relevé, trois mesures différentes ont été réalisées entre le 17 juillet et le 6 octobre 1981, à raison de deux séries par semaine. Cette période climatique est favorable pour suivre les mécanismes d'assèchement du sol : c'est une saison sèche, c'est aussi une époque où la vigne est normalement active et où son approvisionnement en eau repose essentiellement sur les réserves existant dans le sol.

D'autre part, pour être en mesure de généraliser les résultats obtenus au niveau stationnel, nous avons réalisé 2 cartes de résistivité apparentes à 2 périodes différentes de l'année, pour montrer que :

1) la tache ressortait clairement dans ces mesures,

2) l'évolution en une station se retrouve bien sur toute la zone qu'elle est censée caractériser.

D'un point de vue purement méthodologique, il aurait, bien sûr été préférable :  
 — de réaliser une carte résistive avant l'implantation des stations,  
 — de faire beaucoup plus de 2 cartes résistives,  
 — de les réaliser durant la période où les relevés étaient effectués.

Ceci n'a malheureusement pas été possible pour des raisons de disponibilité du matériel et pour des problèmes de main d'œuvre.

En ce qui concerne le matériel de mesure, nous avons utilisé un résistivimètre de type Cagniard, une sonde Solo pour les relevés neutroniques et des tensiomètres Soil Moisture.

## IV. RESULTATS OBTENUS

### A) Mise en évidence d'une structure verticale à compartiments superposés

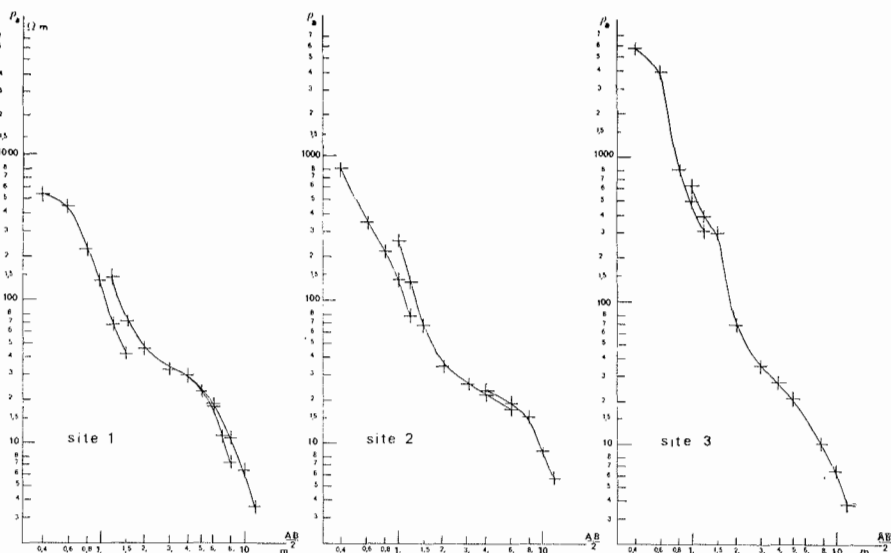


Figure 3 : Domaine de Vassal : Sondages électriques

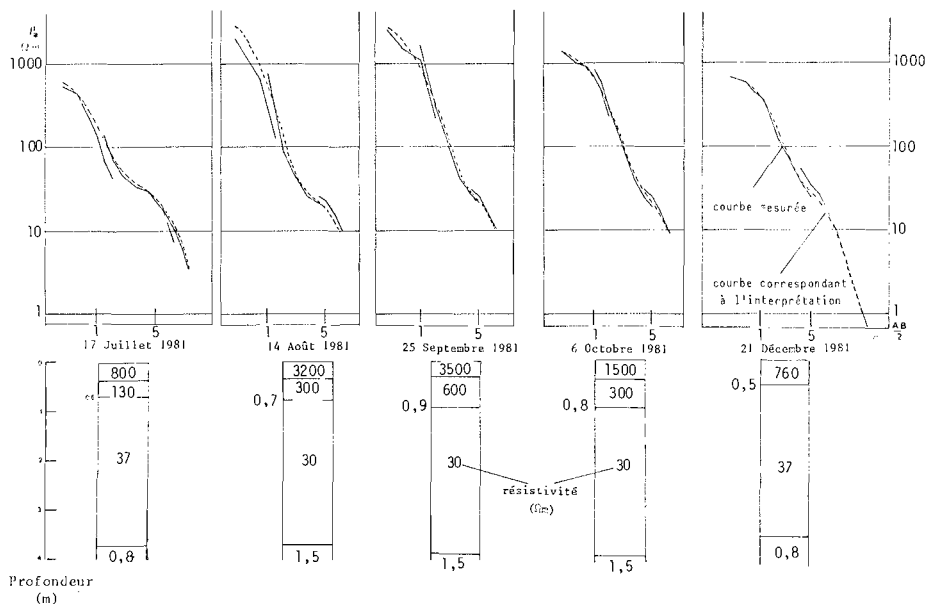
*Domain of Vassal : Electrical soundings*

L'allure des courbes « résistivités/écartement des électrodes » correspondant aux sites de mesure est présentée dans la figure 3 pour les sites nos 1, 2 et 3... Il est difficile de réaliser une interprétation quantitative de ces sondages, en particulier à cause de :

- la forte pente des courbes, ce qui a pour conséquence une grande imprécision dans l'interprétation ;
- des transitions progressives entre courbes, liées à l'existence des remontées capillaires.

On constate toutefois que le sondage n° 3 (dans la tache) diffère assez nettement de deux autres. Une cartographie électrique devrait donc donner de bons résultats.

Si l'interprétation quantitative des sondages est délicate, on peut malgré tout la réaliser, tout au moins pour les sites 1 et 3, mais les résultats sont toutefois à considérer avec précautions (cf. figure 4).



**Figure 4 : Exemple d'interprétation de sondages électriques obtenus sur le site 1**  
*Example of interpretation of the electrical soundings for the site 1*

L'organisation verticale des milieux révèle une structure à quatre couches correspondant à :

- une couche de sable sec en surface (forte résistivité) d'épaisseur variable : faible en dehors de la tache, elle est beaucoup plus importante à l'intérieur ;
- une couche intermédiaire de résistivité moyenne rappelant l'existence d'une frange capillaire. Au contraire de la précédente, elle est beaucoup plus importante à l'extérieur de la tache que dans la tache ;
- une couche saturée, correspondant à la nappe d'eau douce (résistivité faible, d'environ 30  $\Omega\text{m}$ ) ;
- la nappe salée (résistivité très faible).

Les différences observées d'un site à l'autre portent sur l'importance relative des deux premières couches.

L'observation des variations de la profondeur des discontinuités met alors en évidence :

- un abaissement plus ou moins important de la nappe,
- une augmentation globale de résistivité des couches supérieures traduisant un assèchement différentiel des couches superficielles.

Rappelons qu'une augmentation de résistivité ne peut ici être provoquée que par une diminution de la teneur en eau.

Malgré l'arbitraire relatif de ce découpage en couches (dont les limites en particulier ne constituent qu'une approximation grossière de la réalité), ce premier type d'informations permet de progresser dans la connaissance des milieux étudiés en mettant en évidence une structuration du sol révélatrice de comportements différentiels que la cartographie classique n'arrivait pas à appréhender dans ce type de milieux sableux homogène.

## B) Mise en évidence d'une dynamique évolutive

Les informations précédentes gardent encore un caractère assez statique. Pour passer à la dynamique d'évolution du milieu et à l'explication des comportements, il faut avoir recours à un deuxième type de présentation des données de résistivité.

Pour mieux rendre compte de l'évolution observée au cours du temps, les résultats peuvent être regroupés sous forme de graphes où la conductivité électrique apparente (inverse de la résistivité, plus intéressante ici parce que variant dans le même sens que la teneur en eau) est portée en fonction du temps pour chaque écartement d'électrodes. Rappelons que la conductivité électrique mesurée pour un écartement d'électrodes donné est à associer au volume de sol compris entre la surface et la profondeur d'investigation considérée.

Pour chaque site, on obtient ainsi une famille de courbes (cf. figure 5).

### Vassal

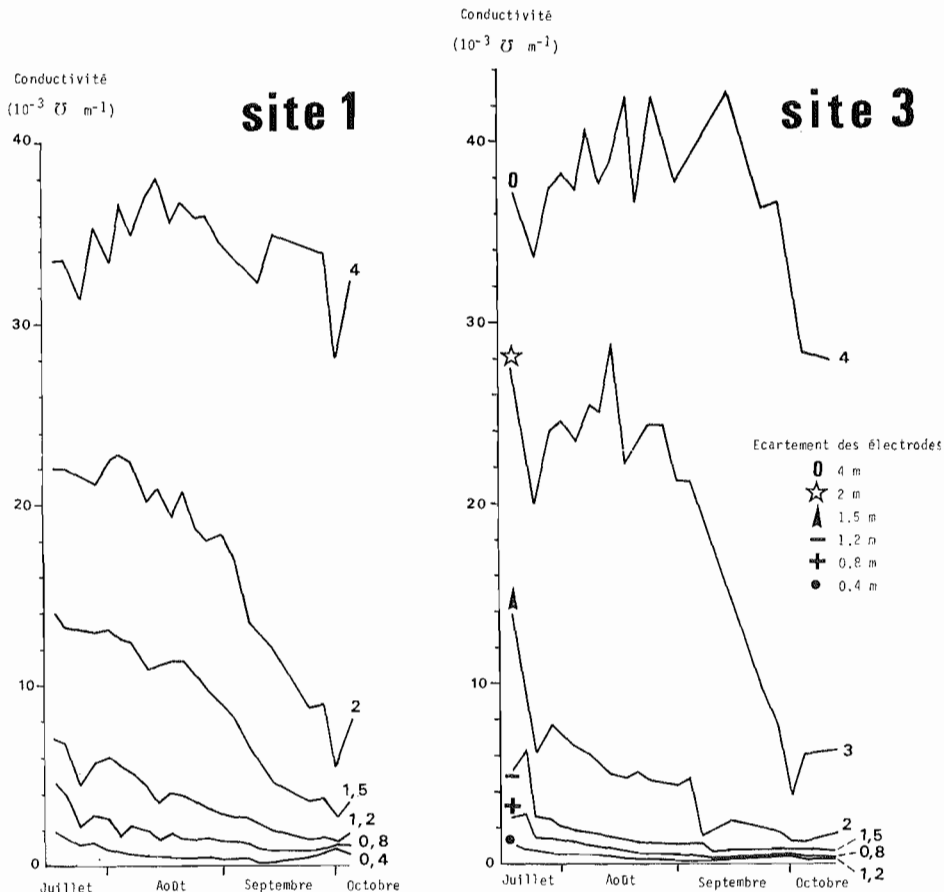


Figure 5 : Evolution de la conductivité électrique au cours du temps pour différents écartements d'électrodes (AB/2)

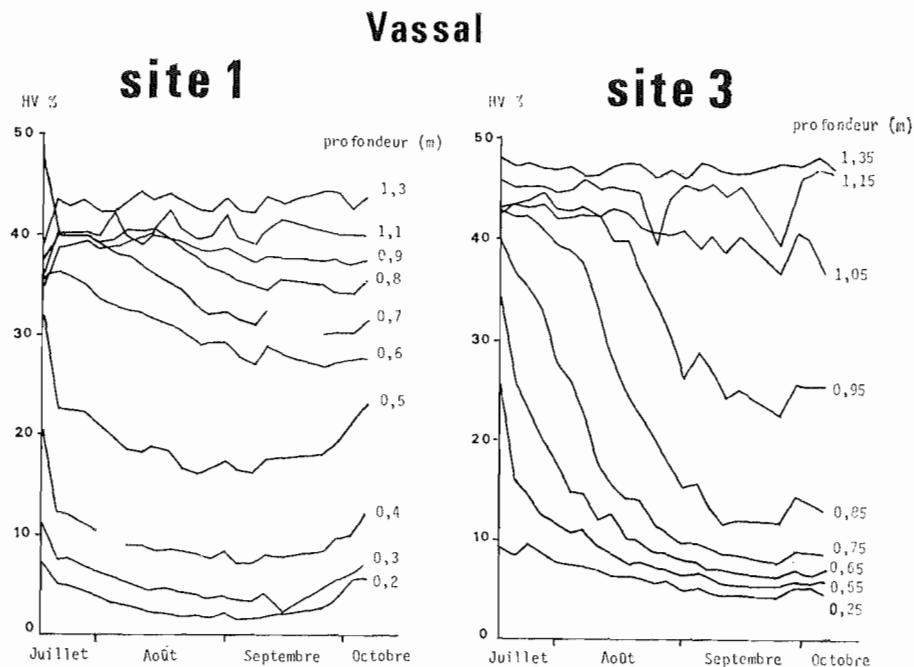
*Variations with time of the electrical conductivity for different space of electrodes*



Pour obtenir une figure lisible, les courbes relatives aux écartements d'électrodes inférieurs à 1,2 m n'ont pas toutes été représentées ici, car elles ont tendance à se superposer.

On remarquera bien l'écart important existant entre les valeurs obtenues pour  $AB/2 = 4$  m (correspondant au sable saturé d'eau douce) et celles relatives à  $AB/2 = 0,4$  m (associées au sable très sec des couches de surface). Ceci conduit évidemment pour le type de représentation adopté à un écrasement relatif des variations de conductivité observées pour les faibles profondeurs. Néanmoins, l'échelle utilisée permet de se faire une assez bonne idée de l'importance des variations relatives.

Les courbes analogues obtenues à partir des données neutroniques sont présentées sur la figure 6. On peut aisément vérifier la bonne similarité d'allure des 2 ensembles de courbes.



**Figure 6 : Evolution de l'humidité volumique au cours du temps pour différentes profondeurs de mesures (mesures neutroniques)**

*Variations with time of volumic water content for different depths of measurements (electron probe)*

On peut constater cependant que les variations des courbes de conductivité électrique se traduisent par des pentes plus fortes que celles des variations de valeurs neutroniques ; ceci est en bon accord avec la relation (1) citée plus haut et obtenue en laboratoire.

Deux autres remarques sont à faire :

— les variations de température devraient entraîner une évolution des conductivités en sens contraire de celui observé ;

— il en est de même pour une variation éventuelle de la concentration de la solution du sol.

Ces deux phénomènes peuvent avoir agi comme modérateurs des évolutions observées mais de toute façon, ils ne peuvent pas gêner ici une interprétation

qualitative, l'amplitude de leurs effets étant très limitée dans les conditions d'expérimentation.

### C) Mise en évidence de comportements hydriques différenciés

Les résultats des mesures résistives, regroupés sous forme de graphes dans les figures déjà citées, montrent l'existence dans ce milieu sableux homogène de trois types de comportements qui diffèrent notamment par :

— l'écartement des différentes courbes obtenues sur un même site (beaucoup plus important globalement sur le site 3 que sur le site 1) ;

— l'évolution de ces courbes au cours du temps (diminution continue du 17 juillet au 15 septembre sur les courbes correspondant aux faibles écartements du site 1, par exemple).

Or, dans ces matériaux, la résistivité est très fortement liée aux teneurs en eau. En conséquence, il est possible d'exprimer nos observations en termes pédologiques car une diminution de la conductivité apparente peut être attribuée à un assèchement du profil. Le fonctionnement hydrique de chaque site, en fonction du temps, peut alors être décrit comme suit :

— Dans les trois sites, dès le début de la période d'observation, on assiste à un assèchement des couches superficielles qui dure environ jusqu'à la mi-septembre, puis une réhumectation se produit par le haut du profil, provoquée par les premières précipitations d'automne.

— Cependant, il faut souligner que l'assèchement est beaucoup plus brutal dans la tache (site 3) qu'en dehors de la tache (site 1). Ainsi l'on atteint rapidement des teneurs en eau très faibles ; le niveau de dessèchement mesuré en terme de résistivité sur le site 3 au moment où débutent les mesures au printemps est pratiquement l'extremum observé sur le site 1 en dehors de la tache. D'autre part, cet assèchement se produit de manière assez uniforme et continue sur tout le profil au niveau du site 1 (l'écartement d'une courbe à l'autre est à peu près toujours le même) alors que l'on a une couche relativement épaisse très sèche opposée à une couche sous-jacente beaucoup plus humide au niveau du site 3. Ici, on peut en effet opposer deux groupes dans les courbes de la figure n° 5 :

- l'un de faible conductivité correspondant aux couches superficielles (faible écartement de AB),

- l'autre de forte conductivité correspond aux couches profondes. Dans ce dernier cas, les remontées capillaires à partir de la nappe ne peuvent donc être que faiblement mises à contribution.

A cet égard, le site 2, non représenté sur les figures jointes, est intéressant à noter dans la mesure où il offre un comportement hydrique intermédiaire entre ceux que nous venons d'expliquer. Ainsi :

— dans un premier temps, seules les couches superficielles s'assèchent, sans qu'il puisse y avoir un réapprovisionnement suffisant à partir de la base du profil (diminution de la conductivité pour les courbes associées aux faibles écartements) ;

— ensuite le gradient installé devient trop fort pour que cet état se maintienne. on assiste à une réhumectation ne pouvant s'expliquer que par une remontée d'eau se traduisant par l'installation d'un équilibre pour les couches superficielles, qui perdent alors autant d'eau qu'elles en reçoivent. Mais ceci provoque l'assèchement des couches inférieures et intéresse des couches de plus en plus profondes. Ce phénomène se manifeste dans les courbes de conductivité électrique par l'apparition d'un plateau dans les couches plus superficielles (donc atteinte d'un équilibre) alors que, au contraire, les variations atteignent des couches de plus en plus profondes.

En conséquence, on met donc bien ici en évidence des types de comportements hydriques très différents en dehors et au sein des taches. Les phénomènes de réalimentation et de réapprovisionnement hydrique à partir des couches inférieures interviennent très tôt pour les situations en dehors de la tache, car ils ne nécessitent qu'un gradient très faible pour s'amorcer. Au contraire, les phénomènes de remontée

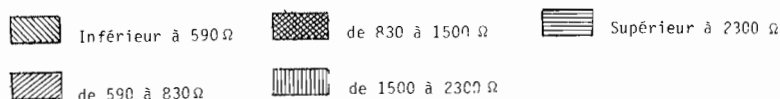
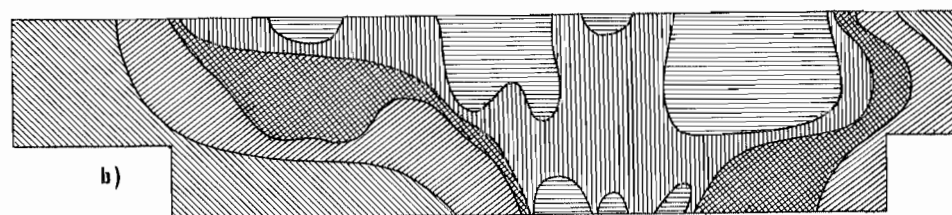
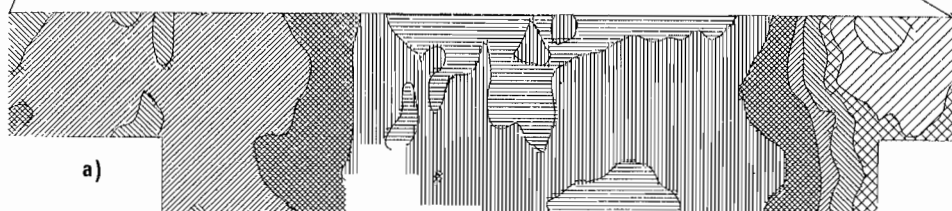
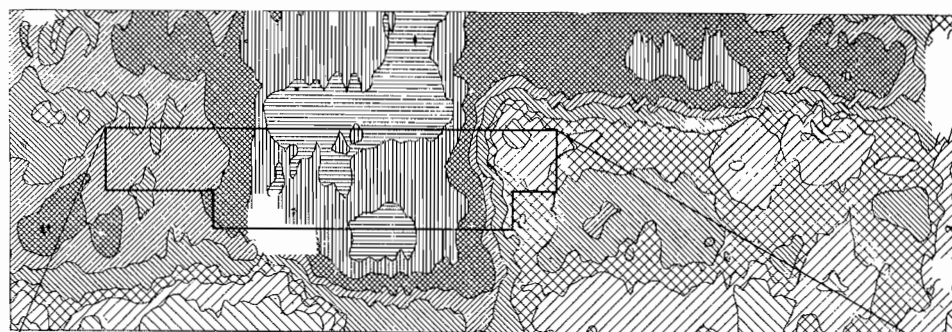
nécessitent un gradient très fort au sein de la tache et, dans toutes ces situations, la contribution de la nappe profonde à l'alimentation hydrique des couches superficielles est particulièrement faible voire nul.

C'est bien évidemment ce type de dynamique hydrique, joint à la rapidité de l'assèchement (et en général des mouvements d'eau) à l'intérieur de la tache qui explique les problèmes de mauvais développement de la vigne au sein de ces taches, d'autant plus qu'il intervient dans une période critique de végétation de la vigne.

**Remarque :** Il est possible de déterminer ici le sens de mouvement de l'eau parce que l'on bénéficie d'un ensemble de conditions exceptionnelles :

— absence de pluie durant toute la période considérée. La seule source d'humidité pour ces couches superficielles est donc la nappe ;

— la base de la nappe d'eau douce est maintenue en place puisque soutenue par la nappe salée. D'autre part, la pente du terrain est pratiquement nulle.



**Figure 7 : Carte des résistances apparentes (dispositif carré a = 1 m)**  
 a) réalisée le 8/9 février 1982      b) réalisée le 15 septembre 1982

Map obtained from the electrical profiles using square device (a = 1 m)  
 a) Februar 8/9 th 1982      b) September 15 th 1982

## D) Extension latérale de ces structures et de ces comportements. Discussion

Les deux cartes présentées dans la figure 7 ont été réalisées en utilisant des mesures effectuées l'une en septembre 1981, l'autre en février 1982. La profondeur d'investigation est comparable dans les deux cas, et est de l'ordre de 1 m. Les observations réalisées sont ainsi surtout relatives à la couche superficielle, où sont localisées les différences d'après les résultats des sondages électriques.

La tache s'identifie clairement comme une zone de résistivité beaucoup plus élevée. Cependant, ni la tache ni le milieu environnant ne peuvent être considérés comme réellement homogène (au moins au niveau résistif). Mais, les observations réalisées sur les stations reflètent assez bien les principales caractéristiques des milieux correspondants.

Enfin, on peut noter que si la tache apparaît sensiblement à la même place sur les deux cartes, ses limites semblent évoluer dans le temps. Il est malheureusement difficile de comparer les valeurs absolues des résistivités obtenues dans chaque cas, à cause de l'absence de données précises sur la température du sol aux époques de mesures correspondantes.

Il est également raisonnable, compte-tenu de l'homogénéité de constitution du matériau, de considérer que les cartes de résistivité obtenues sont une bonne image de l'état hydrique de la parcelle étudiée.

Dans le cas présenté ici, les mesures de résistivité ont donc bien permis, avec l'aide de quelques mesures neutroniques pour étalonnage, de décrire les fonctionnements hydriques et leur répartition spatiale. L'emploi de ces techniques résistives présente deux types d'avantages :

- elles offrent des informations à grande échelle sur les structures en présence, leurs limites et leurs degré d'homogénéité, informations difficiles à obtenir par d'autres méthodes ;

- elles sont d'un emploi aisé et d'une automatisation relativement facile, ce qui permet de limiter les coûts d'une étude du type de celle présentée ici. D'autre part, les mesures de résistivité peuvent être effectuées sous différentes formes (sondages et traînés, classiquement employés en géophysique, utilisation d'une sonde du type développé pour l'étude de la salinité des sols — Rhoades 1979, etc...), ce qui permet de les adapter à presque tous les types de terrain, sans limitation de profondeur a priori.

On doit cependant noter que pour fournir des résultats valables, les hypothèses que nous avons faites ici (sur l'influence des variations de la concentration de la solution et sur l'homogénéité du milieu) doivent être applicables, au niveau macroscopique tout au moins.

D'autre part, les informations obtenues restent essentiellement qualitatives. Dans les cas favorables, il est certainement possible de procéder à une calibration des mesures permettant d'obtenir une quantification des résultats. Ceci peut probablement être fait de façon relativement précise pour une station donnée, avec suivi possible de son évolution dans le temps ; mais, par contre, pour l'étude des variations spatiales, la précision dépendra largement des conditions de l'étude : nature du terrain, échelle (et nombre de points de mesure), type de traitement utilisé pour les données.

## CONCLUSION

Les résultats présentés montrent donc l'intérêt que peuvent présenter les mesures de résistivité électrique. Ce n'est évidemment pas une des méthodes les plus précises, et il lui est difficile de rendre compte de variations à trop grande échelle (de l'ordre de la dizaine de centimètres). D'autre part, il existe certainement d'autres types de mesures plus adaptées à l'étude du comportement hydrique car insensibles aux autres facteurs affectant la résistivité (l'utilisation de la permittivité - constante diélectrique, par exemple, semble prometteuse). Cependant, les mesures de résistivité restent attrayantes par la simplicité des principes physiques mis en œuvre, leur souplesse et leur facilité d'exécution et l'absence de perturbation sur les milieux étudiés.

Reçu pour publication : Avril 1984

Accepté pour publication : Février 1985

### REMERCIEMENTS

Ces études ont pu être menées à bien grâce à l'aimable collaboration de M. TRUEL, Régisseur du Domaine I.N.R.A. de Vassal et de M. RENNES que nous tenons à remercier.

### RESISTIVITY MEASUREMENTS AND STUDY OF THE SOIL BEHAVIOUR

*Soil scientists have no truly objective and general way to insure that station measurements of water content can be extended to the whole unit of soil where the station is located.*

*But the soil resistivity varies in relation to the hydric characteristics of the soil. Here we used resistivity measurements and their variations to observe and describe qualitatively the variations with time of the water content of two different soil units. Those units both corresponded to a sandy soil and were situated in the same vineyard. On one of them the vine did not grow well. The results were good enough to explain the growth differences. Measurements made with other methods (neutron probe, tensiometers) confirmed those observations.*

*It is concluded that under a temperate climate and in non saline soil, the resistivity measurements can be used to describe qualitatively the variations in soil water content. Thus, these measurements could be used to generalize station measurements to large area. Quantitative appreciations should be possible by the way of calibration.*

### BIBLIOGRAPHIE

- ASTIER J.L., 1971 — Géophysique appliquée à l'hydrologie. Ed. Massin.
- BARRAUD J.P., DIEULIN A., LEDOUX E., MARSILLY (G. de), 1979 — Relation entre mesures géophysiques et flux de l'eau dans les sols non saturés. E.N.S. Mines, Paris. Centre d'Informatique géologique. Ministère Environnement et Cadre de Vie. Conv. n° 75-96.
- BOTTRAUD J.C., 1983 — Résistivité électrique et étude des sols. Applications à la cartographie et à la caractérisation du fonctionnement hydrique. Thèse de Doctorat d'Ingénieur d'Agronomie. Option Pédologie. U.S.T.L. Montpellier, 186 p.
- BOTTRAUD J.C., RHOADES J.D. — Comparison of matric potential and water content for referencing soil electrical conductivity. Soil salinity calibrations. Soil Science Soc. of Amer. J. (à paraître 1985).

- CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1983 — Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. Publ. I.N.R.A. - Imprimerie Louis Jean, 325 p.
- CALLOT G., 1984 — Structure pédologique et fonctionnement du sol en relation avec la production végétale. Analyse au niveau parcellaire. Science du Sol, n° 2, pp. 167-182.
- DON KIRKHAM - TAYLOR G.S., 1949 — Some tests of a four electrode probe for soil moisture measurements. Soil Sci. Am. Proc. 14, pp. 42-46.
- DRIBI B., 1980 — Contribution à l'étude hydrodynamique des sols sableux cultivés. Caractérisation physique. D.E.A. Agronomie, Option Pédologie, U.S.T.L. Montpellier.
- GRIMALDI C., 1984 — Evolution biogéochimique d'un sable calcaire du littoral méditerranéen en relation avec son fonctionnement hydrique. Science du Sol (à paraître).
- GUPTA S.C. - HANKS R.J., 1972 — Influence of water content on electrical conductivity fo the soil. Soil Sci. Am. Proc. 36 n° 6, pp. 855-857.
- HESSE A., 1966 — Prospection géophysique à faible profondeur, applications à l'archéologie. Ed. Dunod (Paris).
- KUNETZ G., 1966 — Principles of direct current resistivity prospecting. Ed. Geopublication Associates.
- KOEFOELD O., 1979 — Résistivity sounding measurements. Geosoundingprinciples 1. Elsevier Scientific Publishing Compagny. Amsterdam, Oxford, New-York.
- NADLER A., 1982 — Estimating the soil water dépendence of the electrical conductivity soil solution/electrical conductivity soil ratio. Soil Sc. Soc. of Am. Journal vol. 46, p. 722-726.
- PITON O., 1980 — Contribution à l'étude hydrodynamique de sols sableux cultivés. Fonctionnement hydrodynamique. D.E.A. d'Agronomie, Option Pédologie. U.S.T.L. Montpellier.