

## **Contribution de la tomographie électrique 2D à l'étude du fonctionnement hydrique d'une parcelle de l'AOC Gaillac (Tarn, France) en relation avec sa composante pédo-géologique**

### **Contribution of Electrical Resistivity Tomography (ERT) measurements for characterizing hydrological behaviour of an experimental plot in relation to pedo-geological factors (AOC Gaillac, SW France)**

Pierre COURJAULT-RADÉ <sup>1\*</sup>, José DARROZES <sup>1</sup>, Muriel LLUBES <sup>2</sup>, Eric MAIRE <sup>1</sup>, Marguerite MUNOZ <sup>1</sup> et Nicolas HIRISSOU <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Mécanismes de Transfert en Géologie (LMTG) – Université de Toulouse - UMR 5563 - CNRS - 14, Avenue E. Belin 31400 Toulouse (France) –

<sup>2</sup>Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS)- Université de Toulouse - 14, Avenue E. Belin 31400 Toulouse (France)

<sup>3</sup>Domaine du Moulin, Chemin de Bastié, 81600 Gaillac (France)

\*Corresponding author: [pierrecre@lmtg.obs-mip.fr](mailto:pierrecre@lmtg.obs-mip.fr)

#### **Abstract**

Electrical Resistivity Tomography (ERT) measurements have been performed by the Wenner method on an experimental plot situated in Gaillac region. They have been carried out during two highly contrasted hydric periods: (i) dry (spring 2006), (ii) humid (spring 2007) with soils close to field capacity. Results are compared to evaluate the hydrological behavior of the plot in relation with its main pedo-geological characteristics. The three reiterated transects (North-Median-South) give a general view of the plot configuration in agreement with the pedo-geologic observation trenches data. All the resistivity profiles show the superposition of two highly contrasted sequences. The first sequence, at the bottom, is a very low resistivity values sequence (up to 40  $\Omega$ .m) which coincides with the argillaceous-dominated molassic bed-rock. The second is a high to very high resistivity values sequence (from 300  $\Omega$ .m to more than 1500  $\Omega$ .m at the very top) which coincides with a silty-sandy and gravels soil complex of about 2 m thick. Resistivity of the molassic clayed-dominated geological basement does not depend on climatic conditions and stays at a very low value independently of dry or humid periods. Resistivity values of the silty-sandy/gravels horizons vary with a factor 2, from 300 to 750  $\Omega$ .m in humid conditions and from 750  $\Omega$ .m to 1500  $\Omega$ .m under dry conditions. Furthermore, the invariant location in the resistivity profiles of the two sequences, implies that the water runoff at the molassic bed rock/gravels interface is short-lived and most probably of low amplitude.

The hydric behavior of the experimental plot evidences a high risk of drought stress during summer. The choice of a rootstock with a hemi-plunging habit (Gravesac) will allow roots to attain the moisture at the molasse/gravels boundary and protect them from excess of drought.

**Mots-clés:** AOC Gaillac, Fonctionnement hydrique, Pédo-géologie, Résistivité, Sud-Ouest France.

#### **Introduction**

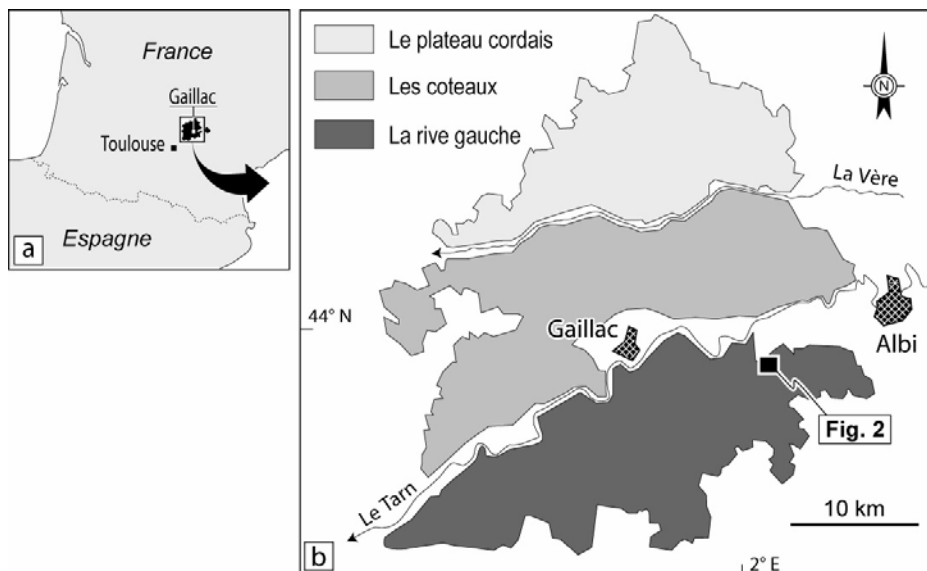
Dans le cadre d'un programme de recherche sur les relations entre l'effet terroir et la composante géologique, l'analyse du fonctionnement hydrique d'une parcelle expérimentale de l'aire d'appellation Gaillac a été entreprise (Fig. 1). Elle fait suite à l'étude de sa composante pédo-géologique montrant que le complexe sous-sol/sol est constitué d'un substratum molassique surmonté par un horizon à graviers puis sablo- limoneux représentant les niveaux d'intérêt viticole (Courjault-Radé et al. 2005) (Fig. 2).

L'objectif de cette nouvelle étape est d'évaluer le fonctionnement hydrique de la parcelle eut égard au caractère particulièrement filtrant des horizons d'intérêt viticoles et de la déclivité pouvant conduire à un stress hydrique élevé. Cette évaluation a été effectuée en utilisant la tomographie électrique 2D

(méthode décrite in Goulet et Barbeau, 2006) en comparant les résultats des mesures de résistivité de deux campagnes, l'une effectuée en période sèche, l'autre en période humide.

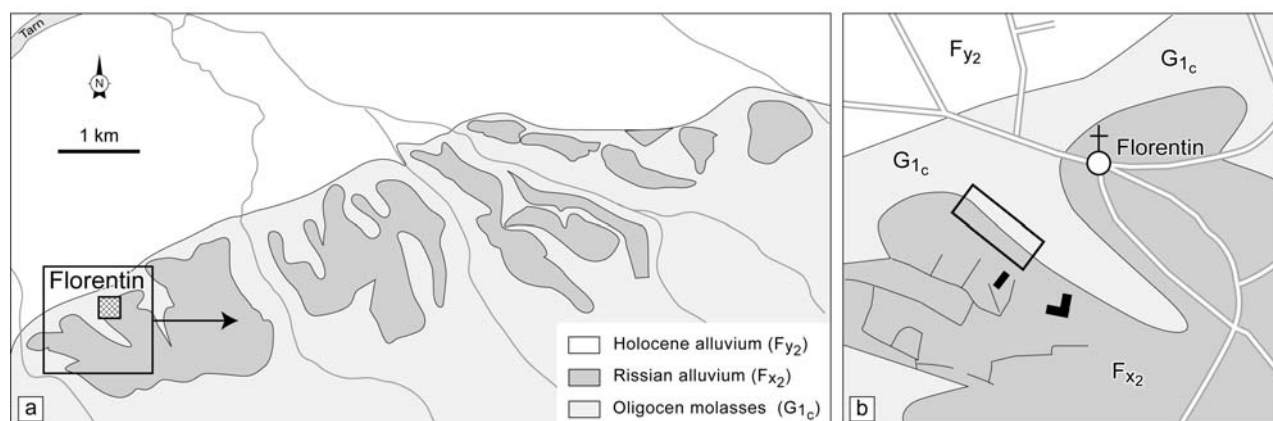
### Localisation et description de la parcelle

L'aire d'appellation « AOC Gaillac » est située dans l'ouest du département du Tarn, à 50 kilomètres au nord de Toulouse (Fig. 1a). Elle est divisée en 3 grands terroirs (Fig. 1b) : le Plateau du Cordais au nord-ouest, les Coteaux de la rive droite du Tarn et les Terrasses de la rive gauche du Tarn. C'est au sein du terroir des « Terrasses de rive gauche » que se localise la parcelle expérimentale (Fig. 1b).



Figures 1a et 1b Localisation géographique de l'aire d'appellation « AOC Gaillac »

Plus précisément, cette parcelle appartient au terroir dit de la « Terrasse moyenne de la rivière Tarn » (Fig. 2a). Cette terrasse moyenne est morcelée par un réseau de cours d'eau secondaires formant une succession de petites vallées d'orientation NW-SE et de lobes morphologiques (Fig. 2a). C'est le long du versant d'exposition nord d'une des vallées secondaires que se situe la parcelle considérée (Fig. 2b).

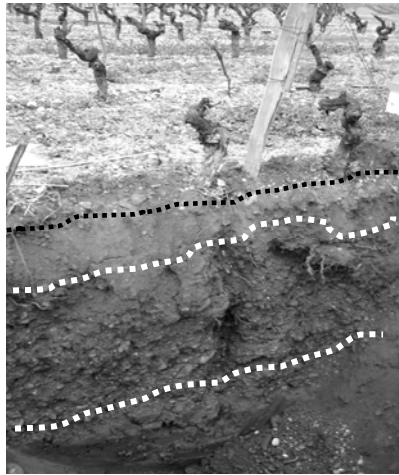


Figures 2a 2b : Situation géologique

Des tranchées d'observation ont permis de définir l'organisation séquentielle de la parcelle analysée. Celle-ci est composée du sommet à la base (Fig. 3) (Courjault-Radé et al., 2005):

- un horizon superficiel d'origine anthropique, enrichi en galets de quartz (0,20m maximum) (H0),
- un horizon éluvial constitué de silts et de sables (épaisseur moyenne de 0,40m) provenant de l'altération pédogénétique (H1),

- un horizon de galets et sable (épaisseur moyenne de 0,60m) d'origine alluviale ; les argiles et les oxydes de fer sont modérément accumulés et s'observent surtout au contact avec la roche mère molassique marneuse (H2),
- la roche mère molassique constituée essentiellement d'argiles au sein desquelles s'observent quelques lentilles de carbonates disséminées (H3).



- ← **H0** – Horizon anthropique de surface (0,20m)
- ← **H1** – Horizon constitué de silt et de sables
- ← **H2** – Horizon de graves et galets, pauvre en argiles surtout accumulées vers la base
- ← **H3** – Molasses riches en argiles avec quelques passées carbonatées (substratum géologique)

Figure 3 Tranchée d'observation pédologique type

## Matériel et méthode

### *Principe de la mesure de résistivité*

Un courant électrique est injecté dans le sous-sol à l'aide de deux électrodes. La facilité avec laquelle le courant se propage à l'intérieur du terrain est mesurée au niveau de deux électrodes supplémentaires, on appelle cette propriété du sol la résistivité. Les différentes couches présentes en profondeur auront des résistivités différentes, et il sera ainsi possible de les détecter et d'estimer leur épaisseur. C'est un dispositif Wenner (quadripôle linéaire avec une distance identique entre les électrodes) qui a été utilisé lors des deux missions de mesures, car ce dispositif est adapté pour l'investigation des structures horizontales et peu profondes. En agrandissant la distance entre les électrodes, on explore le sous-sol sur une profondeur plus importante. Puis, en déplaçant le dispositif le long d'un profil, on obtient une coupe verticale électrique. Les mesures de résistivité apparente sont ensuite traitées par le logiciel Res2Dinv (Loke et Barber, 1996) selon un processus d'inversion des données. Les résultats sont présentés sous forme de section de résistivité électrique - ou tomographie - permettant de visualiser les variations latérales sur la longueur du transect et les variations verticales sur la profondeur d'investigation.

### *Edification des transects*

Trois transects perpendiculaires à l'axe d'allongement de la parcelle ont été construits, l'un situé au Sud (T1), le second au centre (T2) et le dernier, au Nord (T3) (Fig. 4). En outre, différentes fosses d'observation ont été effectuées (notés P1 à P5 sur la figure 4 ci-dessous) sur l'ensemble de la parcelle permettant un contrôle en différents points des 3 profils analysés.

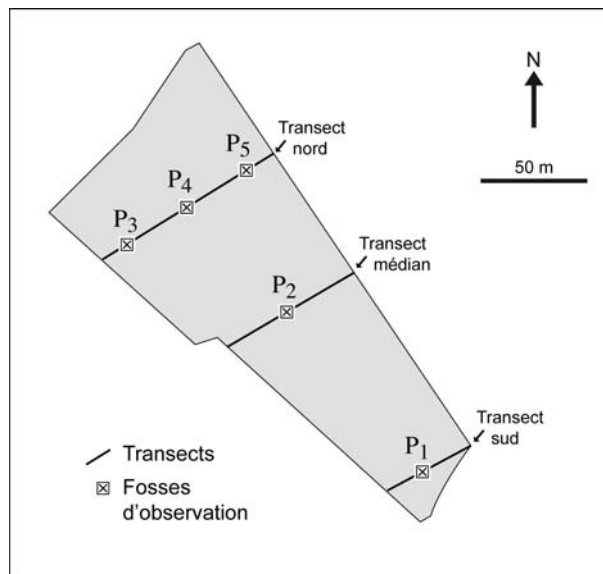


Figure 4 Schéma de la parcelle avec localisation des 3 transects électriques et des 5 fosses d'observation

### Edification du MNT

Le Modèle Numérique de Terrain a été obtenu par GPS différentiel. Une base fixe reste en acquisition continue pendant toute la durée de la mesure (elle servira à améliorer la précision des mesures), et un GPS mobile sillonne la parcelle pour cartographier le MNT brut (Fig. 5). C'est à partir de ce MNT que sont construits les profils topographiques dont les élévations sont ensuite ajoutées dans les fichiers de données de résistivité traités par le logiciel d'inversion des données Res2Dinv (Loke et Baker., 1996).

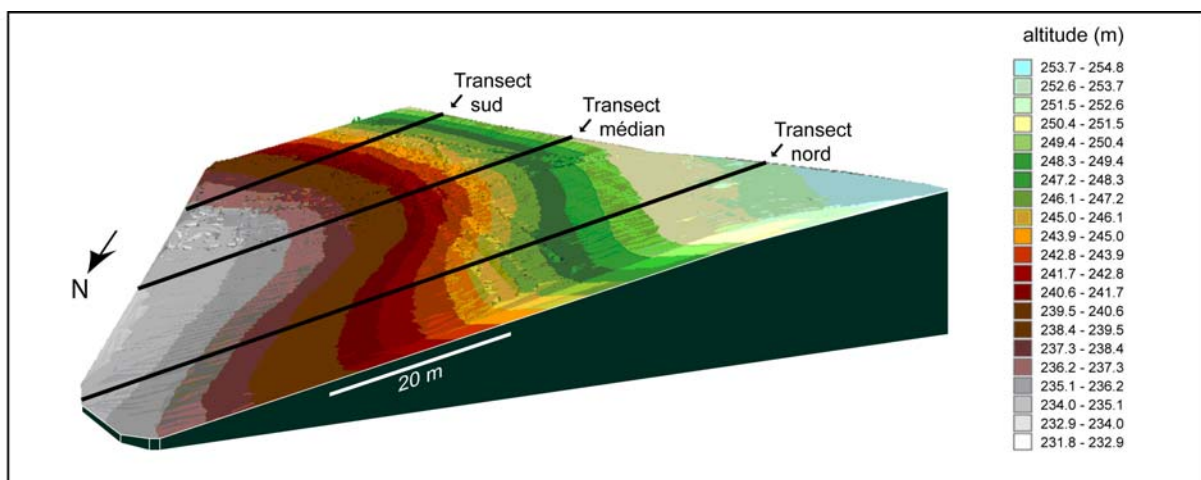


Figure 4 MNT de la parcelle avec localisation des transects électriques

### Résultats et discussion

Les 6 profils obtenus (trois en Mars 2006 et trois en Juin 2007) montrent tous la présence de 2 couches, correspondant à des valeurs de résistivité fortement contrastées (Fig. 6).

La première couche, la plus profonde, se caractérise par des résistivités faibles (inférieures à ~ 35-45  $\Omega$ .m).

Elle est recouverte par un terrain beaucoup plus résistant, avec des valeurs qui s'échelonnent entre ~ 300  $\Omega$ .m et 1500  $\Omega$ .m. Cette couche superficielle est d'épaisseur variable (1,5 à 3,5 m), mais elle fait en moyenne environ 2 mètres.

Sur la section électrique, on peut voir entre ces deux couches une zone où les résistivités varient rapidement. Il s'agit d'une transition entre les deux types de roches, liée à la méthode électrique, et qui

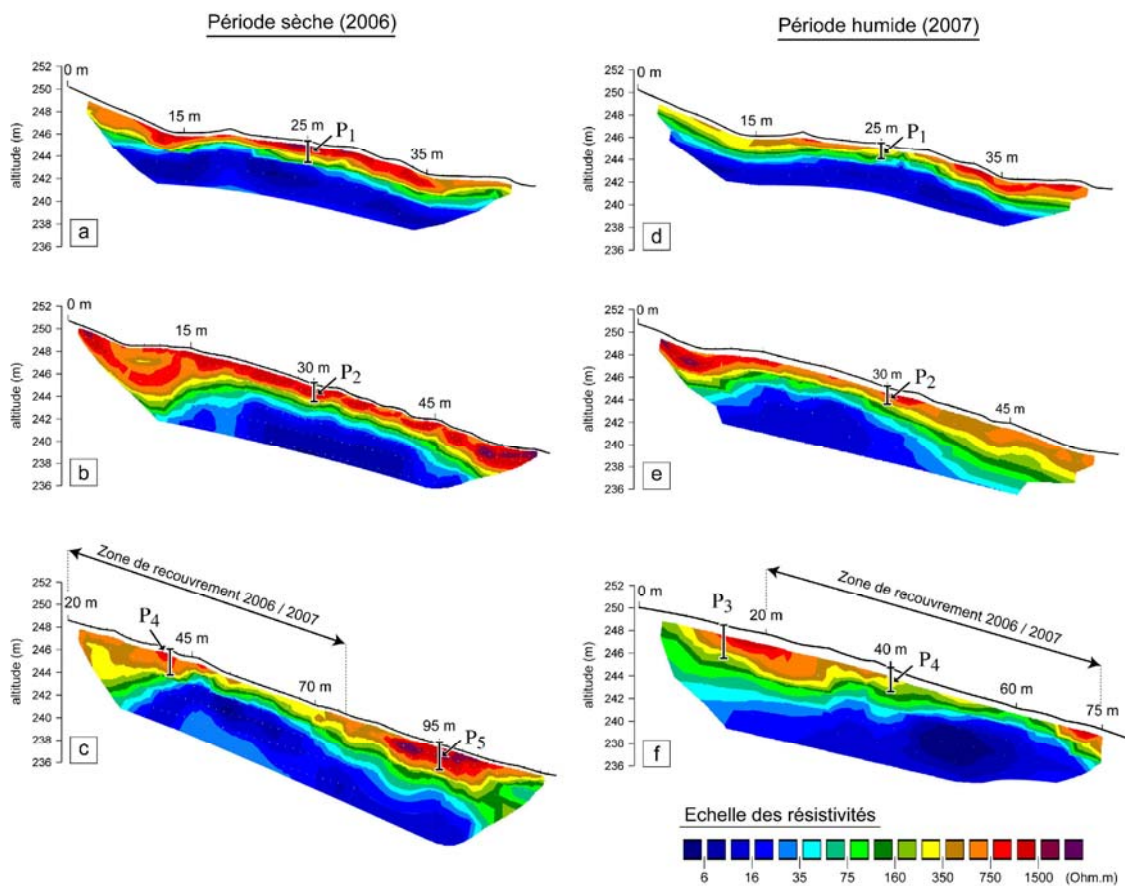
ne correspond pas à une entité pédologique. La limite entre les deux couches est située dans cette zone.

Le couplage de ces données avec les analyses des fosses observations met en évidence que l'ensemble de faible résistivité correspond à la molasse marneuse constituant le substratum géologique qui se situe selon les résultats des fosses d'observation à en moyenne 2m de profondeur.

L'ensemble très résistant correspond aux horizons pédo-géologiques constitués de silts/sables et de graviers/galets qui montrent des épaisseurs variant entre 1,50m (en moyenne) et plus de 3,50m au sommet de la parcelle.

L'analyse comparée des résultats entre « Période sèche » et « Période humide » permet d'interpréter les variations des valeurs de résistivité en fonction des horizons constitutifs du complexe sous-sol/sol.

Les valeurs de la résistivité apparente du substratum molassique ne varient pas, ni d'un transect à l'autre, ni d'une période à l'autre. Celles-ci restent systématiquement inférieures à environ 35-45  $\Omega$ m. Cette situation est à mettre en relation avec la prédominance de la composante argileuse au sein des molasses responsable de son caractère faiblement résistant sans relation directe avec son comportement hydrique.



**Figure 6** Comparaison des données de résistivité apparentes Période sèche/Période humide sur les transects Sud (a et d), Médian (b et e) et Nord (c et f) ; P1 à P5 : fosses d'observation.

A l'opposé, le caractère systématiquement très résistant des horizons sus-jacents de graves et du niveau limono-sableux (valeurs  $> 350 \Omega$ m) quelque soit le transect et quelque soit la période considérés est en accord avec les propriétés très filtrantes de ces horizons. Toutefois, un examen attentif des résultats de 2006 (période sèche) et de 2007 (période humide) montre des variations significatives au niveau des valeurs de la résistivité au sein de cet ensemble graves/limono-sableux. Globalement les valeurs de résistivités en période sèche sont en majorité supérieures à  $750 \Omega$ m et peuvent atteindre des valeurs très élevées ( $> 1000-1500 \Omega$ m) près de la surface (Fig.6 a, b et c) ; par

contre en période humide, elles sont pour la plupart comprises entre 350  $\Omega$ m et 750  $\Omega$ m avec seulement quelques zones avoisinant les 1000  $\Omega$ m (Fig.6 d, e et f) soit un rapport quasiment du simple au double, lié à une modification de l'état hydrique.

Le transect médian apparaît en moyenne plus résistant que les autres profils, et ce, quelque soit la période sèche ou humide (voir Fig. 6 b et e).

La limite entre la couche de surface et la couche plus conductrice reste - quelque soit la période climatique considérée - aux environs de 2-3 m de profondeur, correspondant précisément à la côte de l'interface graves/molasse. On ne voit pas apparaître, en période humide, une troisième couche qui serait située à la base des graves, et qui correspondrait à une saturation en eau de la zone (si c'était le cas, elle apparaîtrait comme une couche supplémentaire, de résistivité nettement plus faible que les horizons non saturés). Cette situation indique qu'il n'y a pas accumulation d'eau au-dessus de la molasse lorsque la parcelle est proche de la capacité au champ témoignant d'un ressuyage très rapide.

## Conclusion et perspectives

Les transects de résistivité obtenus associés à la connaissance de l'organisation pédo-géologique de l'ensemble sol/sous-sol conduisent à déchiffrer les grands traits du fonctionnement hydrique de la parcelle expérimentale :

- l'horizon superficiel (constitué de graves et du couple silt-sable), d'intérêt viticole, reste très résistant que cela soit en période sèche ou humide en accord avec leur fort potentiel drainant, associé à une forte pente ; cependant on y observe des variations du simple au double des valeurs de résistivité lorsque la parcelle se trouve dans des conditions proches de la « capacité au champ »
- il n'apparaît pas de véritable accumulation hydrique temporaire à l'interface graves/molasse conformément aux observations effectuées dans les fosses,
- le substratum molassique, enfin, est invariant et faiblement résistant quelque soit la période considérée.

L'ensemble des constats sur le fonctionnement hydrique de la parcelle met en évidence des risques importants de stress hydrique pour la vigne lors des périodes de sécheresse et en particulier lors de la maturation des baies : ressuyage très rapide des horizons limono-sableux et de graves, faiblesse des circulations hydriques à l'interface graves/molasse. Le choix de d'un porte-greffe à port racinaire semi-plongeant afin de capter l'humidité localisée au sein de la molasse argileuse apparaît dans ce cas de figure comme une mesure de protection adaptée afin de minimiser les risques de stress hydrique néfaste pour la qualité des vendanges.

Ces résultats permettront par la suite, d'appréhender les relations entre le comportement de la vigne proprement dit et celui du complexe sol/sous-sol en particulier par l'intermédiaire des résultats d'analyses infrarouge. Les résultats attendus préciseront le comportement vis-à-vis de ce fonctionnement hydrique selon la situation spatiale des pieds au sein même de la parcelle et la nature des cépages.

## Références citées

- COURJAULT-RADÉ P., MUNOZ M. et HIRISSOU N. 2005. «Caractérisation de la composante géologique de parcelles du vignoble de Gaillac (Tarn, Midi-Pyrénées) – Incidences sur la détermination des unités terroir de base et sur le choix du matériel végétal titre » .Journal International de la Science de la Vigne et du Vin, 39, 95-107.
- GOUTOULY J.P., D. ROUSSET, PERROUD H. et GAUDILLÈRE J.P. 2006. Caractérisation de la variabilité spatiale et temporelle de l'état hydrique d'un sol de vigne par résistivité électrique. VI<sup>th</sup> International Terroir Congress 2006, 292-29.
- GOULET E. et BARBEAU G. 2006. Apports des mesures de résistivité électrique du sol dans les études sur le fonctionnement hydrique du système sol/vigne. Journal International de la Science de la Vigne et du Vin, 40, 2, 57-69
- LOKE M.H. et BARKER R.D. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. Geophysical Prospection, 44, 131-152.