



**HAL**  
open science

## Caractérisation des sols de parcelles de clémentiers enherbées par des observations pédologiques et des mesures géophysiques

Maud Seger, Ghislain Girot, Laurent Julhia, Guillaume Giot, Isabelle Cousin

► **To cite this version:**

Maud Seger, Ghislain Girot, Laurent Julhia, Guillaume Giot, Isabelle Cousin. Caractérisation des sols de parcelles de clémentiers enherbées par des observations pédologiques et des mesures géophysiques. [Contrat] 2016. hal-02797800

**HAL Id: hal-02797800**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02797800>**

Submitted on 5 Jun 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

## Projet HERBAGRUM

### Caractérisation des sols de parcelles de clémentiniers enherbées par des observations pédologiques et des mesures géophysiques

Compte-rendu de la campagne de terrain du 9 au 12 mai 2016



**Maud SEGER, Ghislain GIROT, Laurent JULHIA, Guillaume GIOT, Isabelle COUSIN**

Septembre 2016

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| Table des matières .....  | 2  |
| Introduction.....   | 5  |
| 1. Matériel et méthodes.....  | 6  |
| 1.1. Site d'étude .....   | 6  |
| 1.2. Descriptions pédologiques .....                                    | 9  |
| 1.3. Mesures géophysiques.....  | 9  |
| 1.3.1. La mesure de résistivité électrique .....                        | 9  |
| 1.3.2. Sondages 1D .....  | 10 |
| 1.3.3. Tomographies 2D .....  | 11 |
| 1.4. Positions des mesures et observations .....                        | 12 |
| 2. Résultats et discussion .....  | 14 |
| 2.1. Les types de sols.....   | 14 |
| 2.1.1. Les sols fersiallitiques (ou FERSIALSOLS).....                   | 15 |
| 2.1.2. Les sols alluviaux (FLUVIOSOLS BRUNIFIES) .....                  | 15 |
| 2.2. Caractérisation pédo-électrique des parcelles « hétérogènes »..... | 15 |
| 2.2.1. Parcelle 2575 .....  | 15 |
| 2.2.2. Parcelle 13503 .....   | 19 |
| 2.2.3. Parcelle c9b1 .....  | 22 |
| 2.3. Caractérisation pédoélectrique des parcelles homogènes.....        | 26 |
| 2.3.1. Parcelle 7703 .....  | 26 |
| 2.3.2. Parcelle c9b2 .....  | 29 |
| Conclusion et perspectives.....   | 32 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Position des parcelles étudiées dans la plaine orientale Corse.....   | 7  |
| Figure 2 : Photos illustrant les deux types d'enherbement : à gauche une parcelle avec un enherbement total (rangs et inter-rangs), à droite une parcelle avec un enherbement uniquement dans l'inter-rang, le rang étant désherbé chimiquement .....  | 8  |
| Figure 3 : Dispositif pour la mesure de résistivité électrique avec la technique du sondage électrique 1D. A et B sont les électrodes d'injection du courant électrique, M et N sont les électrodes de réception. Sur cette photo les électrodes sont espacées de 10 cm ; cet espacement (a) varie au cours de la mesure et est compris entre 10 cm et 2 m.....  | 10 |
| Figure 4 : Mise en œuvre d'un dispositif de tomographie électrique avec 32 électrodes espacées de 20 cm .....  | 12 |
| Figure 5 : Schéma des positions des dispositifs mis en place au sein des parcelles .....   | 13 |
| Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental de la parcelle c9b2 .....   | 14 |
| Figure 7 : Description et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle 2575.....   | 16 |
| Figure 8 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle 2575.....  | 17 |
| Figure 9 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière. ....                      | 18 |
| Figure 10 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle 2575 .....  | 18 |
| Figure 11 : Description et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle 13503.....   | 19 |
| Figure 12 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle 2575.....   | 20 |
| Figure 13 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle 13503. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière..... | 21 |
| Figure 14 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle 13503 .....   | 21 |
| Figure 15 : Descriptions et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle c9b1 .....  | 23 |
| Figure 16 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle c9b1 .....  | 24 |
| Figure 17 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle c9b1. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière.....  | 25 |
| Figure 18 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle c9b1 .....  | 25 |
| Figure 19 : Descriptions et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle 7703.....   | 26 |
| Figure 20 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle 7703.....   | 27 |

Figure 21 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle c9b1. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière..... 28

Figure 22 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle 7703 ..... 28

Figure 23 Descriptions et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle c9b2 ..... 30

Figure 24 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle c9b2. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière..... 31

## Introduction

Ce rapport est une synthèse des expérimentations conduites en Corse en mai 2016 dans le cadre du projet HERBAGRUM<sup>1</sup>, dans le volet qui concerne la caractérisation des sols et leur fonctionnement.

Le projet HERBAGRUM se donne pour objectif d'identifier le bouquet de services écosystémiques rendus par le système « arbre fruitier /enherbement », dans le cadre spécifique des vergers de clémentiniers corses. Ces vergers sont traditionnellement enherbés entre les rangs, et subissent un désherbage, fréquemment de nature chimique, qui permet de lutter efficacement contre les mauvaises herbes et accélérerait la maturation des fruits. Cette pratique a également pour conséquence de laisser le sol nu, ce qui favorise le ruissellement et l'érosion, et donc l'exportation de produits polluants, de produits fertilisants et de matière organique et minérale du sol. La biodiversité tellurique associée diminue et la structure du sol peut être dégradée. La littérature rapporte que la composition spécifique de la couverture herbacée dans les systèmes « arbre fruitier / enherbement » a un effet bénéfique sur la qualité du sol, notamment par le maintien d'une activité rhizosphérique favorable au maintien d'une « bonne » structure du sol.

L'objectif de ce travail de terrain était de caractériser les sols au sein de parcelles de clémentiniers soumises à des situations de gestion du sol contrastés (enherbement total/désherbage dans le rang). De façon spécifique, il s'agissait d'évaluer si la mise en œuvre de méthodes de caractérisation du sol non destructives permettait de caractériser :

- la profondeur du sol et/ou la profondeur d'enracinement des espèces herbacées,
- la structure de l'horizon de surface du sol,
- le fonctionnement hydrique du système sol-arbre et du système sol-strate herbacée.

Pour atteindre cet objectif, nous avons caractérisé les sols de parcelles sélectionnées de manière à présenter des conditions pédologiques variées et à représenter les différentes pratiques agronomiques actuelles conduites dans les vergers de clémentiniers (agriculture conventionnelle vs agriculture biologique). Les sols ont été caractérisés d'une part par des observations directes sur des sondages pédologiques, et d'autre part par des mesures de résistivité électriques.

---

<sup>1</sup> HERBAGRUM (« De l'herbe et des agrumes : Associer couvert herbacé et agrumes pour améliorer les services écosystémiques des vergers de clémentiniers en Corse ») est un projet de type « Incubation » du métaprogramme EcoServ2 de l'Inra (AàP 2015) porté par Olivier Pailly (Unité CITRUS, Centre Inra Corse) et Isabelle Litrico (Unité P3F, Lusignan).

# 1. Matériel et méthodes

## 1.1. Site d'étude

Cinq parcelles ont été sélectionnées pour cette étude. Elles se situent toutes dans la plaine orientale de la Corse (Figure 1).

### *Contexte géologique*

Les parcelles 2575, 7703 et 13503 sont en contexte alluvial. Pour les parcelles 7703 et 13503, les alluvions sont brunifiées peu épaisses et forment des terrasses au débouché dans la plaine (carte géologique de Cervione au 1/50 000, Gérard *et al.*, 1994 et carte géologique de Pietra-di-Verde, Caron *et al.*, 1990). Les galets sont peu altérés. L'épaisseur de ces alluvions peut être très réduite vers l'aval où il ne subsiste que des surfaces d'abrasion. Pour la parcelle 2575, les alluvions récentes sont formées de sédiments à matrice sablo-silteuse grise où les galets ne sont pas altérés (carte géologique de Pietra-di-Verde au 1/50 000, 1990).

Les parcelles C9b1 et C9b2, situées sur le site de l'Inra, sont, quant à elles, situées sur une formation particulière dite de Péri, datant du Pliocène (carte géologique de Pietra-di-Verde, 1990). Cette formation d'origine continentale est formée de conglomérats intercalés de niveaux sablo-argileux à paléosols fersiallitiques. Ces paléosols se sont formés en conditions chaudes et plutôt humides.

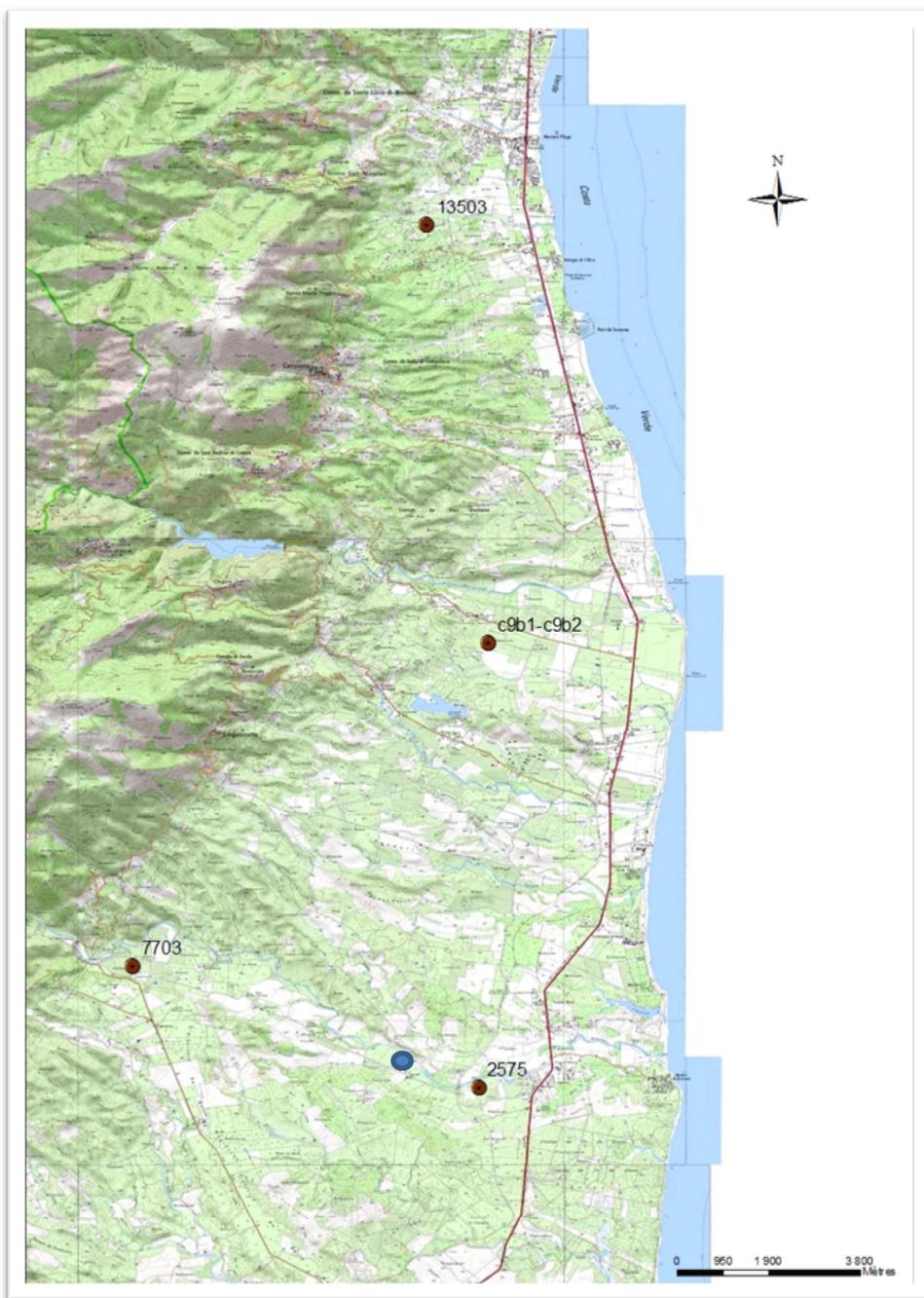


Figure 1 : Position des parcelles étudiées dans la plaine orientale Corse

*Caractéristiques des parcelles choisies*

Pour les 5 parcelles, il s'agit de cultures de clémentiniers (SRA 63 / SRA 92). Dans ces parcelles, le long des rangs, les arbres sont implantés tous les 4 mètres et les rangs sont espacés de 6 m (inter-rang) (Figure 5).

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des caractéristiques de chacune des parcelles étudiées.

Tableau 1 : Caractéristiques des 5 parcelles de clémentiniers étudiées

| Numéro de la parcelle | Commune      | Surface | Exploitant | Système de culture     | Porte-Greffe     | Enherbement rang          | Qualité de l'enherbement     | Etat physiologique des arbres | Irrigation                   |
|-----------------------|--------------|---------|------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 2575                  | Linguizzeta  | 3,4     | Privé      | Agriculture biologique | Poncirus         | Oui                       | Elevée, rang et inter-rang   | Hétérogène                    | Micro-aspersion              |
| 13503                 | San Nicolao  | 1,7     | Privé      | Agriculture biologique | Poncirus         | Oui                       | Elevée, rang et inter-rang   | Très hétérogène               | Micro-aspersion              |
| C9b1                  | San Giuliano | 0,25    | Inra       | Conventionnel          | Poncirus Pomeroy | Non (désherbage chimique) | Moyen (3/5)                  | Hétérogène                    | Micro-aspersion              |
| C9b2                  | San Giuliano | 0,25    | Inra       | Conventionnel          | 6 différents     | Non (désherbage chimique) | Moyen (3/5), rang uniquement | Homogène                      | Micro-aspersion, 2 modalités |
| 7703                  | Tallone      | 3,2     | Privé      | Conventionnel          | Citrance         | Non (désherbage chimique) | Faible, rang uniquement      | Homogène                      | Aspersion sur frondaison     |

Deux modes de production sont représentés (biologique et conventionnel). Les parcelles ont été sélectionnées de manière à avoir une diversité de situations quant à la qualité de l'enherbement et à l'état physiologique des clémentiniers (sains / chétifs). L'hypothèse préalable à ce travail, est que l'état physiologique des clémentiniers au sein d'une parcelle est en partie liée à la variabilité des sols (hydromorphie, profondeur...).

Deux types d'enherbement sont représentés dans cette étude (Figure 2) :

- Un enherbement total rangs et inter-rangs (Figure 2 gauche)
- Un enherbement partiel avec désherbage dans les rangs (Figure 2 droite).



Figure 2 : Photos illustrant les deux types d'enherbement : à gauche une parcelle avec un enherbement total (rangs et inter-rangs), à droite une parcelle avec un enherbement uniquement dans l'inter-rang, le rang étant désherbé chimiquement

On peut classer les dispositifs testés en 2 catégories en fonction de l'état physiologique des clémentiniers :

- **Les parcelles « hétérogènes »** (2575, 13503 et c9b1) : dans ces trois parcelles, est observé une répartition dans l'espace de l'état physiologique des arbres qui est hétérogène. Ces trois parcelles présentent le même porte-greffe (Poncirus) et enherbement moyen (C9b1) à élevé (2575, 13503). La parcelle c9b1, contrairement aux deux autres, est enherbée uniquement dans l'inter-rang (désherbage chimique au niveau du rang).
- **Les parcelles « homogènes »** (C9b2 et 7703) : au sein de ces deux parcelles les clémentiniers ne présentent pas de symptômes de stress. L'enherbement est présent uniquement dans l'inter-rang (désherbage chimique au niveau du rang). Les clémentiniers de la parcelle C9b2 sont greffés sur différents porte-greffes. Les mesures ont été réalisées à proximité de clémentiniers greffés sur Poncirus et FLHOR AG 1 (tolèrent aux stress hydriques).

## 1.2. Descriptions pédologiques

Des descriptions pédologiques ont été effectuées dans chacune des parcelles par le biais d'observation de sondages pédologiques réalisés avec une tarière à main. Les descriptions ont été réalisées suivant le Référentiel Pédologique 2008 (Baize, 2008). Toutes les données observées ont fait l'objet d'un enregistrement dans la base de données Donesol (Grolleau *et al.*, 2004).

Lors de la classification des sols, 3 critères sont principalement étudiés :

- La texture : il s'agit de l'abondance relative de particules de dimensions variées (sables, limons, argiles). Dans notre étude cette texture est appréciée au touché, par le pédologue.
- L'épaisseur de sol : il s'agit de la distance entre la surface du sol et la profondeur d'apparition du matériau parental. On distingue 4 classes :
  - o Sols superficiels : Epaisseur inférieur à 35 cm
  - o Sols peu profonds : Epaisseur comprise entre 35 et 50 cm
  - o Sols moyennement profonds : Epaisseur comprise entre 50 et 90 cm
  - o Sols profonds : Epaisseur supérieure à 90 cm.
- L'hydromorphie : il s'agit de la manifestation morphologique de l'engorgement (ancien ou actuel) sous la forme de taches, de concentrations, de colorations ou de décolorations, résultant de la dynamique des deux éléments colorés en milieu alternativement réducteur puis réoxydé : le fer et le manganèse.

On distingue :

- o Les sols hydromorphes : ces sols sont caractérisés par la présence de tâches d'oxydation et/ou de tâches de réduction) représentant plus de 5% de la surface de l'horizon et se prolongeant en profondeur. On parle ainsi d'horizons rédoxiques.
- o Les sols sains : absence de taches d'hydromorphie

## 1.3. Mesures géophysiques

### 1.3.1. La mesure de résistivité électrique

La résistivité électrique est la propriété physique du sol qui caractérise sa capacité à s'opposer au passage d'un courant électrique. Pour la mesurer, on injecte dans le sol un courant électrique d'intensité connue, via deux électrodes (A et B). Deux autres électrodes (M et N) permettent de mesurer la différence de potentiel qui en résulte. On calcule alors la résistivité électrique selon l'équation (1).

$$\rho = K \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}} \quad (1)$$

où  $\rho$  est la résistivité électrique (ohm.m),  $\Delta U_{MN}$  la différence de potentiel (V),  $I_{AB}$  l'intensité électrique (A) et K un facteur géométrique qui dépend de la configuration géométrique des électrodes, c'est-à-dire de leur position respective les unes par rapport aux autres.

La circulation du courant électrique à l'intérieur du sol dépend de la nature de ce dernier (granulométrie, présence d'éléments grossiers) et de son état lié à des facteurs conjoncturels (remplissage de la porosité par de l'eau, arrangement spatial des particules de sol, température).

Dans un milieu hétérogène tel que le sol, la mesure de résistivité électrique résulte de la contribution volumique de toutes les hétérogénéités traversées par le courant, et l'on parle alors de résistivité apparente. Il est important de noter que le volume prospecté augmente avec l'écartement entre les électrodes.

Il existe différentes façon de mesurer la résistivité électrique du sol. Pour cette étude, deux modes d'acquisition ont été mis en œuvre.

### 1.3.2. Sondages 1D

#### Mesure

La technique du sondage 1D consiste à faire varier les positions de 4 électrodes (AB et MN) de part et d'autres d'un point central fixe tout en conservant les proportions géométriques du dispositif (Figure 3). Cette technique permet d'obtenir des mesures de résistivité à la verticale d'un point. L'augmentation de l'écartement inter électrode ( $a$ ) fait augmenter le volume et la profondeur d'investigation. Dans cette étude, nous avons réalisé des mesures sur 15 écartements compris entre 10 cm et 2 m. Nous avons utilisé la géométrie de type Wenner, pour laquelle l'écartement égal entre les électrodes A et M, M et N et N et B est constant à chaque mesure. Pour réaliser ces sondages, nous avons utilisé un résistivimètre de type Syscal R1 Junior (Iris Instrument).

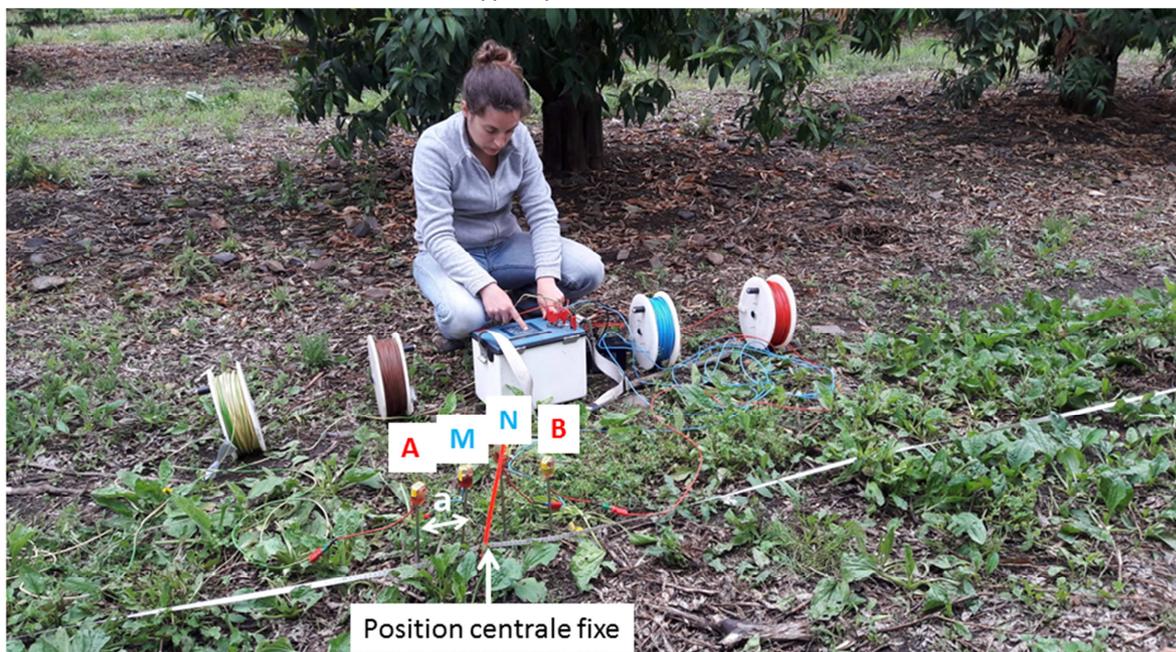


Figure 3 : Dispositif pour la mesure de résistivité électrique avec la technique du sondage électrique 1D. A et B sont les électrodes d'injection du courant électrique, M et N sont les électrodes de réception. Sur cette photo les électrodes sont espacées de 10 cm ; cet espacement ( $a$ ) varie au cours de la mesure et est compris entre 10 cm et 2 m.

Les variations latérales de résistivité sont intégrées par les mesures. L'interprétation des données du sondage électrique s'appuie sur un modèle en une dimension de la résistivité électrique en fonction

de la profondeur, et l'on fait l'hypothèse que le milieu étudié est tabulaire, c'est-à-dire que les variations de la résistivité électrique sont organisées en couches subhorizontales.

#### *Traitement des données*

Une façon d'analyser les données est de procéder à une modélisation inverse. Cet outil permet, à partir des données de résistivités apparentes, de proposer un modèle tabulaire : nombre de couches, épaisseur et valeur de résistivité pour chacune d'elles. Dans le cas de nos mesures, la modélisation n'est pas convaincante en raison de couches aux résistivités trop peu contrastées.

Cependant, il est possible d'analyser les résistivités apparentes en leur affectant une valeur de profondeur d'investigation ( $P$ ) estimée à partir de la formule empirique proposée par Edwards et al. (1977) :

$$P = (3xa) \times 0.173$$

Avec  $a$ , l'espacement inter-électrode.

### **1.3.3. Tomographies 2D**

#### *Mesure*

Avec la technique de tomographie électrique 2D, on réalise une image en 2D de la résistivité électrique d'un sol grâce à un dispositif multi-électrodes. Contrairement au sondage 1D, cela permet d'analyser les variations latérales de la résistivité en plus des variations verticales. Pour cette technique, les électrodes sont disposées régulièrement le long d'une ligne et le matériel d'acquisition (résistivimètre et multinodes) permet de réaliser rapidement un grand nombre de mesures selon des séquences préalablement enregistrées.

Nous avons réalisé des tomographies électriques avec un dispositif de 32 électrodes séparées de 20 ou 40 cm représentant respectivement des lignes de 6 et 12 m. Les lignes d'électrodes ont été positionnées perpendiculairement aux rangs : de rang à rang pour les dispositifs avec  $a = 20$  cm (Figure 4) et centré sur un inter-rang. Dans les deux cas, la géométrie de type Wenner, sensible aux structures horizontales, a été mise en œuvre.



Figure 4 : Mise en œuvre d'un dispositif de tomographie électrique avec 32 électrodes espacées de 20 cm

#### *Traitement des données*

Les données mesurées sont des résistivités apparentes, à partir desquelles on obtient des images de résistivité apparente dites « pseudo-sections ». Pour obtenir une image du modèle de résistivité (résistivité électrique en fonction de la profondeur), il faut procéder à une inversion des mesures. Pour cela, nous avons utilisé le modèle proposé par Loke (1993), implémenté dans le logiciel Res2DInv (Geotomo Software).

### **1.4. Positions des mesures et observations**

Au sein de chacune des parcelles, les positions des mesures électriques et des observations pédologiques ont été choisies de manière à :

- 1/ Disposer de mesures bien réparties spatialement sur la parcelle (sauf pour la parcelle C9b2);
- 2/ Caractériser des situations en apparence contrastées (état physiologique des arbres, qualité de l'enherbement, qualité du sol) ;
- 3/ Associer une observation pédologique à une mesure géophysique.

La Figure 5 représente schématiquement les positions des mesures et observations par rapport aux positions des arbres.

Les mesures de résistivité électrique par la méthode de **tomographie électrique 2D** ont été positionnées perpendiculairement aux rangs et :

- De rang à rang pour les lignes de 6m ( $a=20\text{cm}$ ), c'est-à-dire du pied d'un arbre au pied d'un autre arbre, de manière à couvrir tout l'inter-rang
- D'inter-rang à inter-rang pour les lignes 6m ( $a=20\text{ cm}$ ), c'est-à-dire centré sur un arbre et couvrant deux demi inter-rang.
- D'inter-rang à inter-rang pour les lignes de 12m ( $a=40\text{cm}$ ), c'est-à-dire couvrant un inter-rang entier, 2 demi-inter-rangs et 2 arbres.

Dans les trois cas, les lignes sont positionnées au plus proche des arbres (0,5-1m).

**Les sondages électriques** ont été positionnés dans l'inter-rang et les électrodes ont été espacées successivement le long d'une ligne parallèle aux rangs.

**Les sondages pédologiques** ont été réalisés systématiquement au niveau des centres des dispositifs électriques. Il y a eu également des observations pédologiques en dehors de mesures électriques.

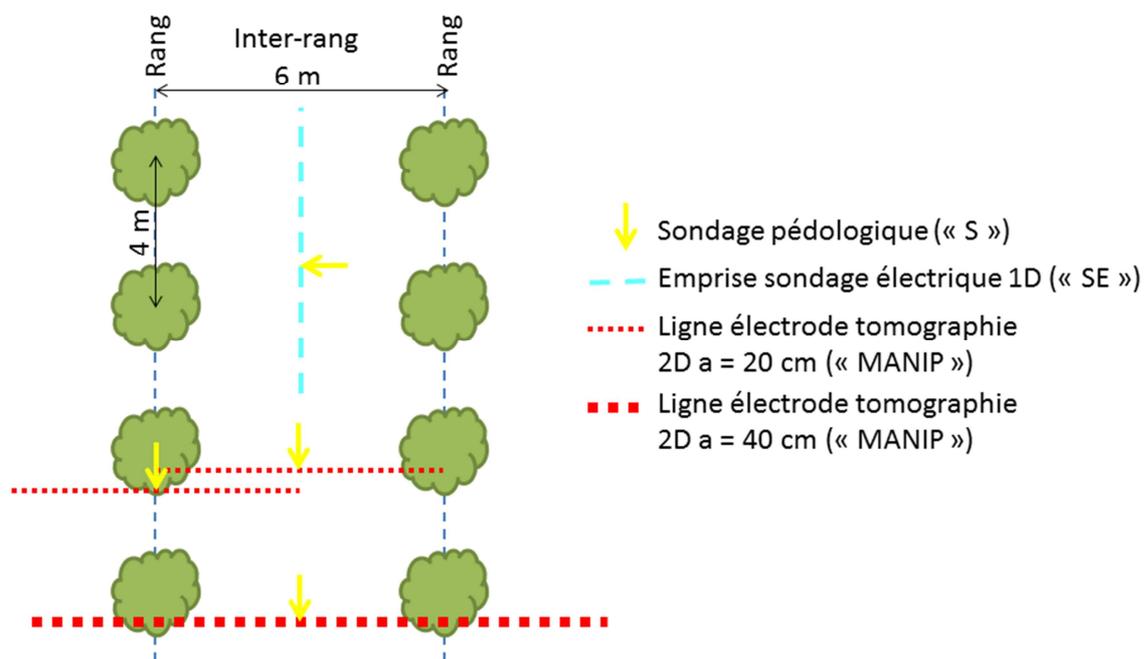


Figure 5 : Schéma des positions des dispositifs mis en place au sein des parcelles

#### Cas particulier de la parcelle c9b2

Sur cette parcelle, les mesures n'ont pas une bonne répartition spatiale. En effet, ici l'objectif n'était pas de caractériser l'hétérogénéité spatiale des sols mais plus d'évaluer l'effet porte-greffe sur la résistivité électrique. Pour cela nous avons choisi de réaliser des tomographies de 12 m ( $a=40\text{cm}$ ) à cheval sur deux types de porte-greffe (Figure 6) :

- Une tomographie (Manip 11) à cheval sur deux clémentiniers greffés sur FLHOR AG1,
- Une tomographie (Manip 12) à cheval sur deux clémentiniers greffés sur Poncirus,
- Une tomographie (Manip 13) à cheval sur un clémentinier greffé sur Poncirus et un autre greffé sur FLHOR AG1

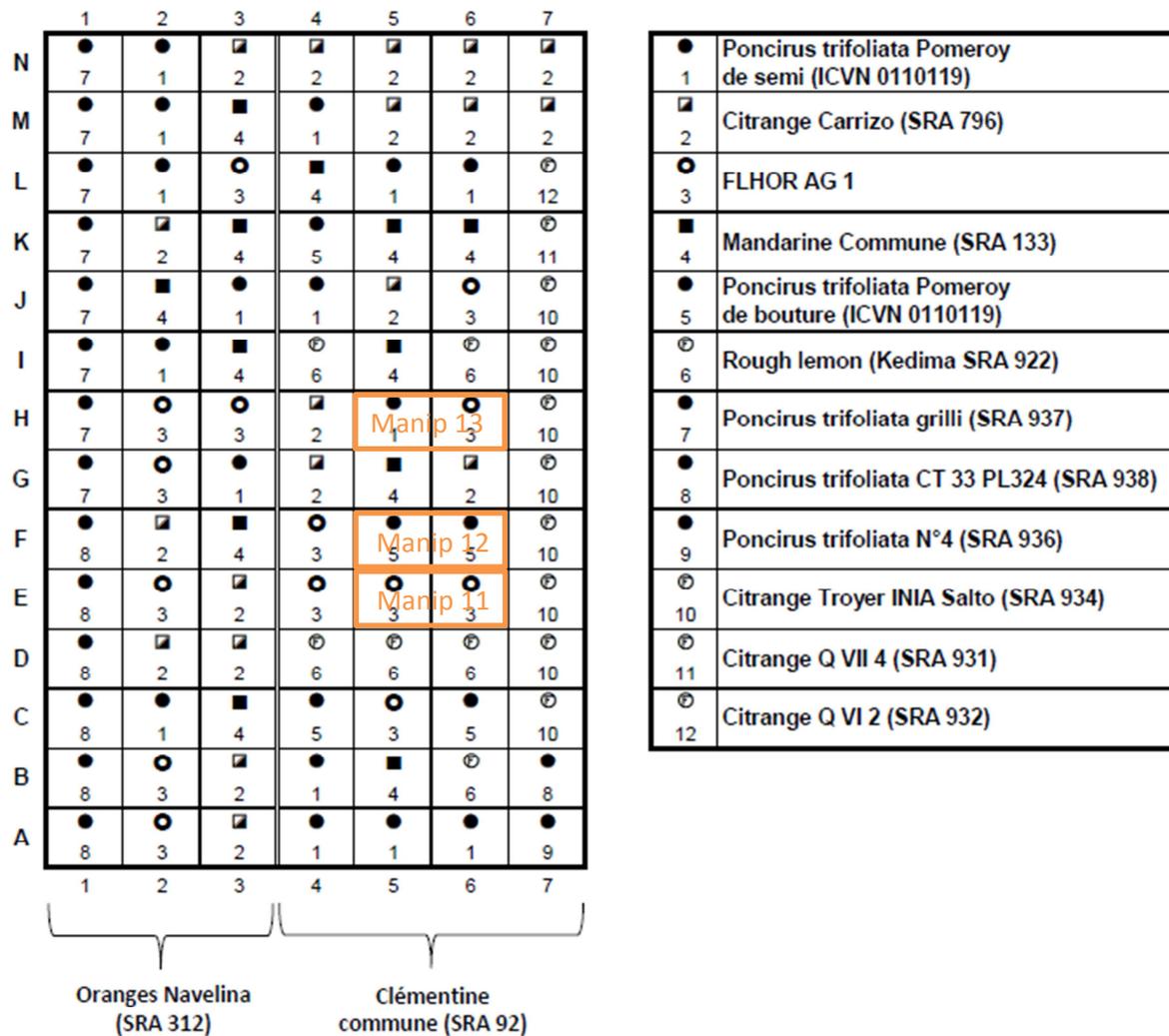


Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental de la parcelle c9b2

La liste des mesures réalisées par parcelle est présentée dans l'Annexe 1. Les positions géographiques des observations et mesures au sein des parcelles sont représentées dans les figures de la partie résultats et discussion.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Les types de sols

Les sols observés peuvent être regroupés en deux grands types :

- **Les sols fersiallitiques** pour les parcelles C9b1 et C9b2
- **Les sols alluviaux** pour les parcelles 2575, 7703 et 13503.

Les fiches de description de l'ensemble des sondages sont disponibles dans l'Annexe2.

### **2.1.1. Les sols fersiallitiques (ou FERSIALSOLS)**

Ces sols sont caractérisés par une argilification avec forte libération du fer. Il en résulte des sols évolués et différenciés avec une structure anguleuse stable et des couleurs vives rouges. La formation de sols fersiallitiques est le plus souvent localisée en milieu subtropical à saison sèche chaude (climat méditerranéen) et en milieu tropical, là où le drainage profond est nul ou réduit. Elle se manifeste par formation d'un horizon spécifique fersiallitique (« FS »). Cet horizon est généralement issu d'une longue évolution. Dans les régions méditerranéennes, on peut observer cet horizon sous des climats d'autant plus secs que le matériau est filtrant et/ou acide (grès, schistes) et sous des climats d'autant plus humides que le matériau est filtrant et/ou carbonaté.

Sur les parcelles C9b1 et C9b2, les FERSIALSOLS rencontrés sont de texture limono-sableuse et varient en fonction de leur profondeur et de leur hydromorphie.

### **2.1.2. Les sols alluviaux (FLUVIOSOLS BRUNIFIES)**

Ce sont des sols développés dans des alluvions récentes (Quaternaire) d'origine fluviale dans notre cas (mais ils peuvent être lacustres dans d'autres circonstances). Ils occupent toujours une position basse dans les paysages, celle des vallées où ils constituent les lits mineurs et majeurs des rivières. Ils sont marqués par une nappe phréatique alluviale permanente ou temporaire à fortes oscillations, plus ou moins profonde et ils sont généralement inondables en période de crue.

Souvent (en France), il s'agit de matériaux relativement fins (argiles, limons, sables, gravillons) reposant sur un matériau grossier (la « grève » alluviale) dans lequel circule une nappe phréatique.

Sur les parcelles 2575, 7703 et 13503, ces FLUVIOSOLS BRUNIFIES sont de texture limono-sableuse à sablo-limoneuse et varient en fonction de leur profondeur et de leur hydromorphie.

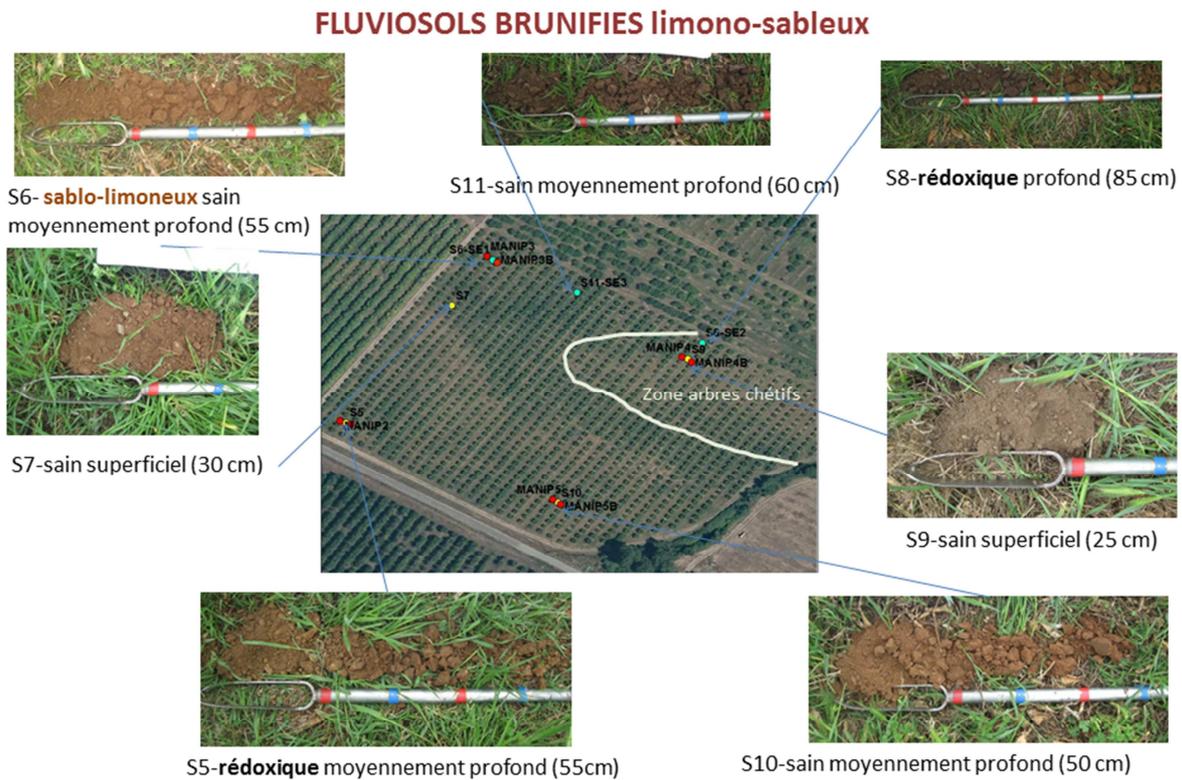
Un sol particulier a été observé : il s'agit du sondage S14 (parcelle 7703) qui présente un FLUVIOSOL BRUNIFIE sain limono-sableux moyennement profond sur PALEOSOL fersiallitique. Pour ce sol, on retrouve deux sols superposés un FLUVIOSOL BRUNIFIE sur un ancien FERSIALSOL (voir caractéristique 1.2.1.).

## **2.2. Caractérisation pédo-électrique des parcelles « hétérogènes »**

### **2.2.1. Parcelle 2575**

*Répartitions spatiale des sols versus état des arbres*

Les positions et les descriptions des sondages pédologiques observés dans la parcelle 2575 sont synthétisés dans la Figure 7.



**Figure 7 : Description et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle 2575**

Les sols observés sur cette parcelle de 3,4 ha sont des FLUVIOSOLS BRUNIFIES limono-argileux. Seul le sondage S6 présente une texture plus sableuse (sablo-limoneuse). Outre cette petite variabilité de texture, deux critères d'hétérogénéité intra-parcellaire ont été mis en évidence :

- **L'épaisseur** : des sols superficiels (25/30 cm) et des sols profonds (60/85 cm) ont été observés. L'un des deux sols superficiels observé se trouve dans la zone où les arbres sont chétifs, cependant un sol de 85 cm de profondeur a également été observé dans cette zone.
- **L'hydromorphie** : deux sols (sondages S8 et S5) sont caractérisés comme étant rédoxiques avec des signes dès 20 cm qui s'accroissent vers 50/65 cm. Le sondage S8 se trouve dans la zone où les arbres sont chétifs.

On note également que, comme en témoignent les sondages S9 et S8, les profondeurs des sols peuvent être très différentes (25 et 85 cm) à quelques mètres de distance.

La comparaison entre la pédologie et l'état des arbres met en évidence que les sols rencontrés en zone d'arbres chétifs sont soit superficiels, soit rédoxiques. Les sols où les arbres sont sains (hormis le sondage S5), sont sains également et plutôt d'épaisseur moyenne à profonde (hormis le sondage S7). Il s'agit d'épaisseurs de sol suffisantes pour le bon développement du clémentinier pour lequel le système racinaire ne descend rarement en dessous de 50-60 cm de profondeur.

### Sondages électriques versus sondages pédologiques

Les résistivités électriques apparentes mesurées grâce à la méthode du sondage électrique en fonction de la profondeur d'investigation sont présentées dans la figure 5.

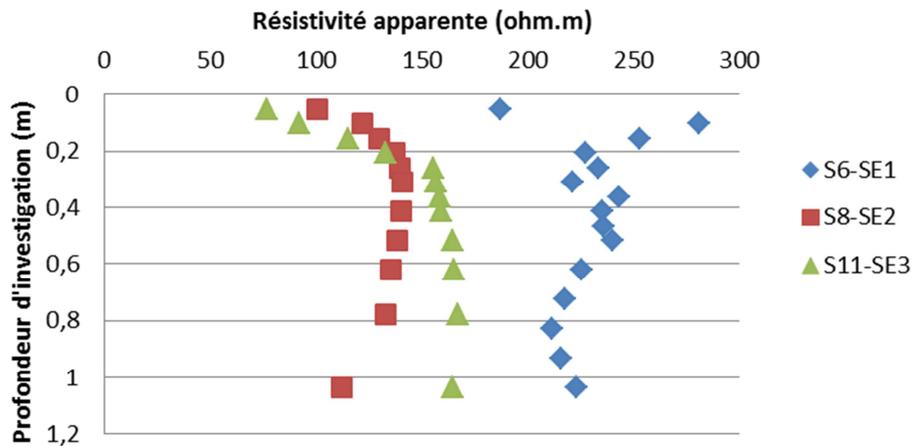


Figure 8 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle 2575

Les résistivités apparentes mesurées sont comprises entre 50 et 300 ohm.m pour une profondeur d'investigation maximale d'environ 1 m. Pour les trois sondages, on observe une couche moins résistante en très proche surface puis un matériau plus résistant. Pour les profondeurs d'investigation supérieures à 0.6 m les comportements sont variables en fonction des sondages : on observe une diminution pour le S8-SE2, une stabilisation pour le S11-SE3 et une diminution puis à nouveau une augmentation pour le S6-SE1.

Les sondages S11-SE3 et S8-SE2 présentent des gammes de résistivité comparables pour la proche surface ( $P < 0.2m$ ) puis les résistivités du sondage S11-SE3 sont sensiblement plus élevées (170 ohm.m environ) que celles du S8SE2 (100-150 ohm.m). **Le caractère hydromorphe et plus profond du sol au niveau du sondage S8-SE2 peut expliquer cette résistivité moins élevée en profondeur.**

Le sondage S6-SE1 révèle des résistivités bien plus élevées, comprises entre 200 et 300 ohm.m. Cette augmentation est probablement dû à la texture plus sableuse du sol au niveau de ce sondage.

### Tomographies électriques versus sondages pédologiques

Les résultats des inversions de tomographie électrique sont présentés dans la figure 6 et des statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chacune de ses tomographies sont présentées sous forme de box-plots dans la figure 7.

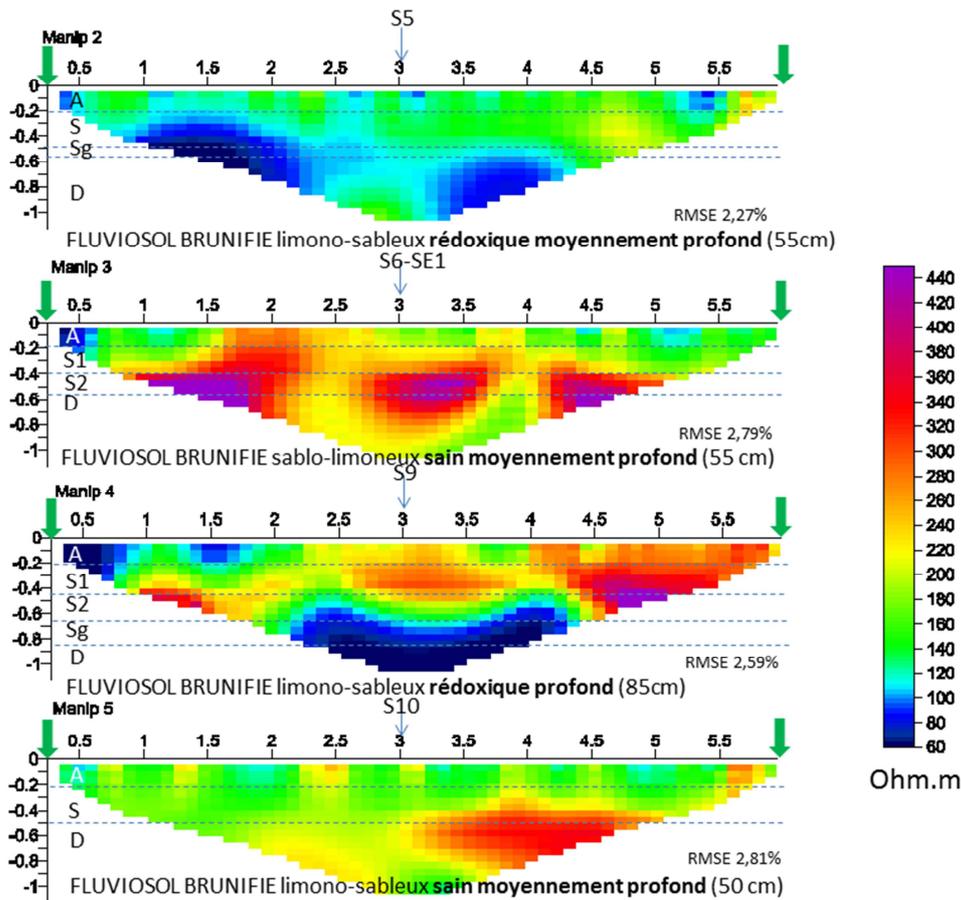


Figure 9 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière.

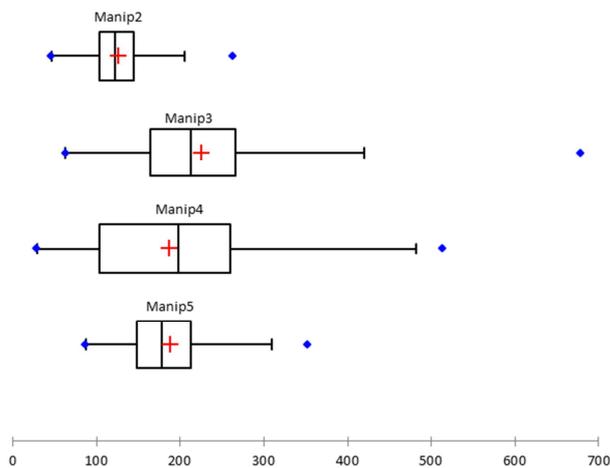


Figure 10 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle 2575

Les résistivités électriques apparentes sont globalement comprises entre 100 (premier quantile) et 270 ohm.m (troisième quantile). Ces ordres de grandeurs sont cohérents avec ceux des résistivités électriques mesurées par les sondages 1D. Les résistivités inversées de la manip 3 présentent les valeurs en moyenne les plus élevées, de la même façon que ce qui avait été observé avec le sondage électrique et que nous pouvons relier à la texture plus sableuse du sol sur lequel la mesure a été

réalisée. Les valeurs les plus faibles (< 50 ohm.m) sont observées pour les profils situés sur des sols à caractère rédoxique (manip 2 et manip 4). On remarque d'ailleurs que les couches de résistivité faibles apparaissent à la même profondeur que les horizons rédoxiques (Sg).

Au sein d'un même horizon pédologique, on observe de la variabilité dans les résistivités électriques, en particulier dans l'horizon de surface (0-20 cm) qui présente des structures alternant les zones de taille centimétriques plus ou moins résistantes. A l'aplomb des arbres on observe dans la majorité des cas, une diminution de la résistivité probablement dû à l'irrigation qui est conduite par micro-aspersion dans les rangs. En ce qui concerne l'enherbement il est difficile d'observer un effet de ce dernier sur la structuration des profils de résistivité électrique.

### Parcelle 2575 – Synthèse des observations

- Les sols présentent une variabilité spatiale en termes de profondeur et d'hydromorphie
- L'hydromorphie semble avoir un impact sur l'état physiologique des arbres (observation qui doit être validée par plus d'observations)
- La texture du sol et l'hydromorphie semblent être des paramètres influençant la résistivité
- Les résistivités de surface sont plus faibles à l'aplomb des clémentiniers (effet irrigation ?)
- L'effet de l'enherbement n'est pas visible sur les mesures de résistivité

### 2.2.2. Parcelle 13503

#### Répartition spatiale des sols versus état des arbres

Les positions et les descriptions des sondages pédologiques observés dans la parcelle 2575 sont synthétisés dans la Figure 11.

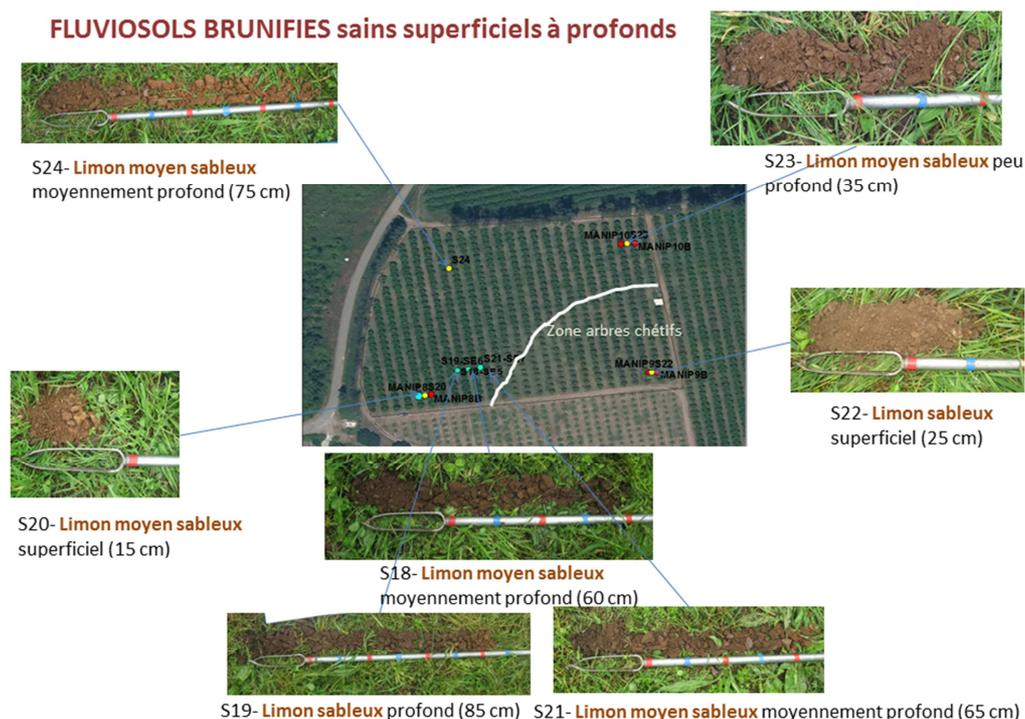


Figure 11 : Description et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle 13503

Les sols de la parcelle 13503 sont des FLUVIOSOLS BRUNIFIÉS sains. Les variations observées se situent au niveau de l'épaisseur des sols qui oscille entre 15 et 85 cm. Une variation dans le taux de sable a également été observée. L'observation réalisée dans la zone où les arbres sont chétifs met en évidence un sol superficiel (25 cm) et sableux. Mais on observe aussi un sol superficiel au niveau des arbres sains. Ce facteur ne semble pas expliquer à lui seul les différences d'états physiologiques des arbres.

#### *Sondages électriques versus sondages pédologiques*

Les résistivités électriques apparentes mesurées grâce à la méthode du sondage électrique en fonction de la profondeur d'investigation sont présentées dans la Figure 12. Les trois sondages réalisés sur cette parcelle ont été positionnés à des courtes distances les uns des autres en fonction d'un gradient d'état physiologique des clémentiniers (SE6 Sains → SE7 Chétifs). Contrairement aux deux autres, **le sondage SE5 a été positionné dans un inter-rang ayant subi un sous-solage en février 2016.**

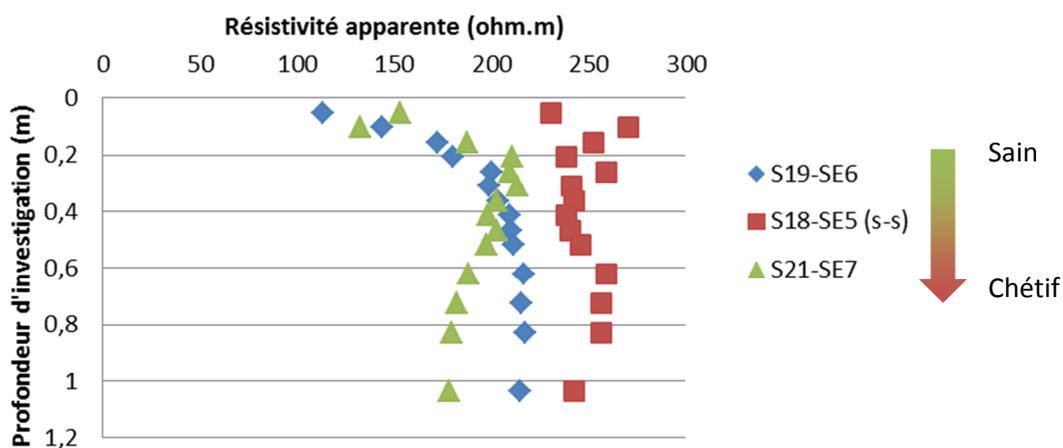


Figure 12 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle 2575

Les résistivités apparentes mesurées sont comprises entre 100 et 300 ohm.m pour une profondeur d'investigation maximale d'environ 1 m.

Les sondages SE6 et SE7 présentent des résistivités similaires en proche surface ( $P < 0,4$  m), comprises entre 100 et 200 ohm.m et augmentant progressivement dans cette épaisseur. Pour le SE6, les résistivités poursuivent leur augmentation au-delà de 0,4 m pour se stabiliser autour de 215 ohm.m à partir de 0,6 m, alors que pour SE7 à partir de 0,4 m les résistivités diminuent. Les différences de résistivité en profondeur entre ces deux sondages pourraient être reliées aux différences d'état physiologique des arbres avec l'apparition de problèmes d'hydromorphie dès 40 cm de profondeur. Cependant les sondages pédologiques ne permettent pas de valider cette hypothèse.

Le sondage SE5 met en évidence des résistivités en moyenne plus élevées que les deux autres sondages, aux alentours de 250 ohm.m. Cette augmentation de résistivité des mesures peut être mise en lien avec le sous-solage qui a pour effet de perturber/aérer la structure du sol (Séger et al., 2009).

## Tomographies électriques versus sondages pédologiques

Les résultats des inversions de tomographie électrique sont présentés dans la Figure 13 et des statistiques descriptives sur les résistivités apparentes pour chacune de ses tomographies sont présentées sous forme de box-plots dans la Figure 14.

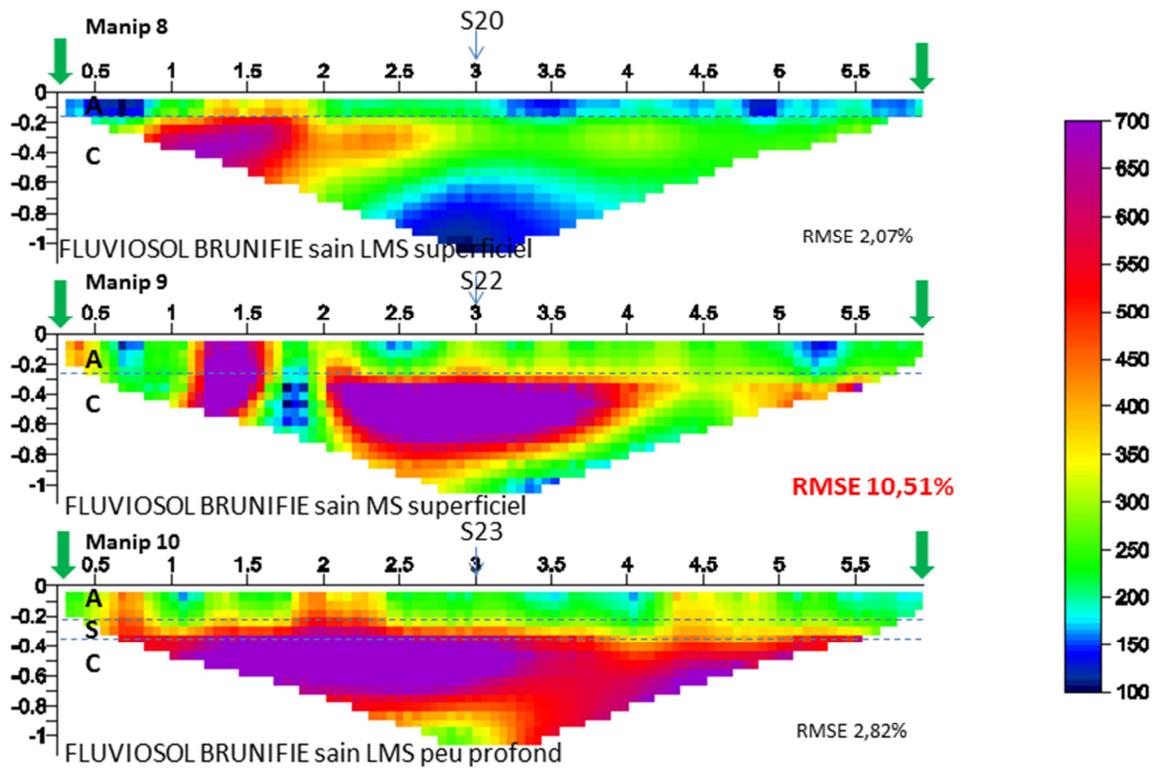


Figure 13 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle 13503. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière.

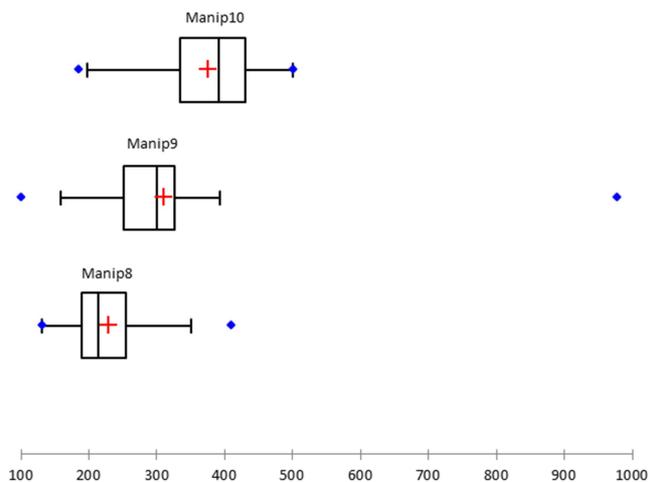


Figure 14 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle 13503

Les résistivités électriques inversées sont globalement comprises entre 190 (premier quantile) et 430 ohm.m (troisième quantile). Ces valeurs sont globalement plus élevées que celles mesurées par les sondages 1D. Pour les trois tomographies, on observe localement des résistivités très élevées pouvant atteindre des valeurs supérieures à 700 ohm.m. **Ces résistivités élevées correspondent à l'apparition des alluvions (horizon C).** A noter que les données mesurées par la manip9 sont très bruitées, probablement lié à des problèmes de contact entre le sol et les électrodes ou encore à la présence d'un sol très perturbé. On observe localement des résistivités inversées très élevées, jusqu'à 1000 ohm.m.

#### Parcelle 13503 – Synthèse des observations

- Les sols présentent une importante variabilité spatiale au niveau de leurs épaisseurs (15 à 85 cm)
- L'observation pédologique en zone d'arbres chétifs met en évidence un sol superficiel et sableux. La relation entre ces deux critères est cependant à pondérer par le fait que l'on trouve des arbres sains sur un sol très superficiel (15cm). La profondeur du sol ne semble donc pas être le seul facteur explicatif (excès d'eau ?).
- On observe un effet de la structure modifiée par sous-solage sur les résistivités électriques
- Les tomographies détectent très bien l'apparition des alluvions avec des résistivités très élevées pour cet horizon
- Il n'y a pas d'effet apparent lié à la présence d'arbre ou de l'enherbement sur les résistivités

Au sein d'un même horizon pédologique, on observe de la variabilité dans les résistivités électriques, en particulier dans l'horizon de surface (horizon A) qui présente des structures alternant les zones de taille centimétriques plus ou moins résistantes. Au niveau des arbres on n'observe pas vraiment d'effet : pour la Manip 9 le sol est plus résistant au niveau de l'arbre, alors que pour Manip 8 et Manip10 le sol est localement moins résistant. En ce qui concerne l'enherbement il est difficile d'observer un effet de ce dernier sur la structuration des profils de résistivité électrique.

#### 2.2.3. Parcelle c9b1

##### *Répartition spatiale des sols versus état des arbres*

Les positions et les descriptions des sondages pédologiques observés dans la parcelle C9b1 sont synthétisés dans la Figure 15.

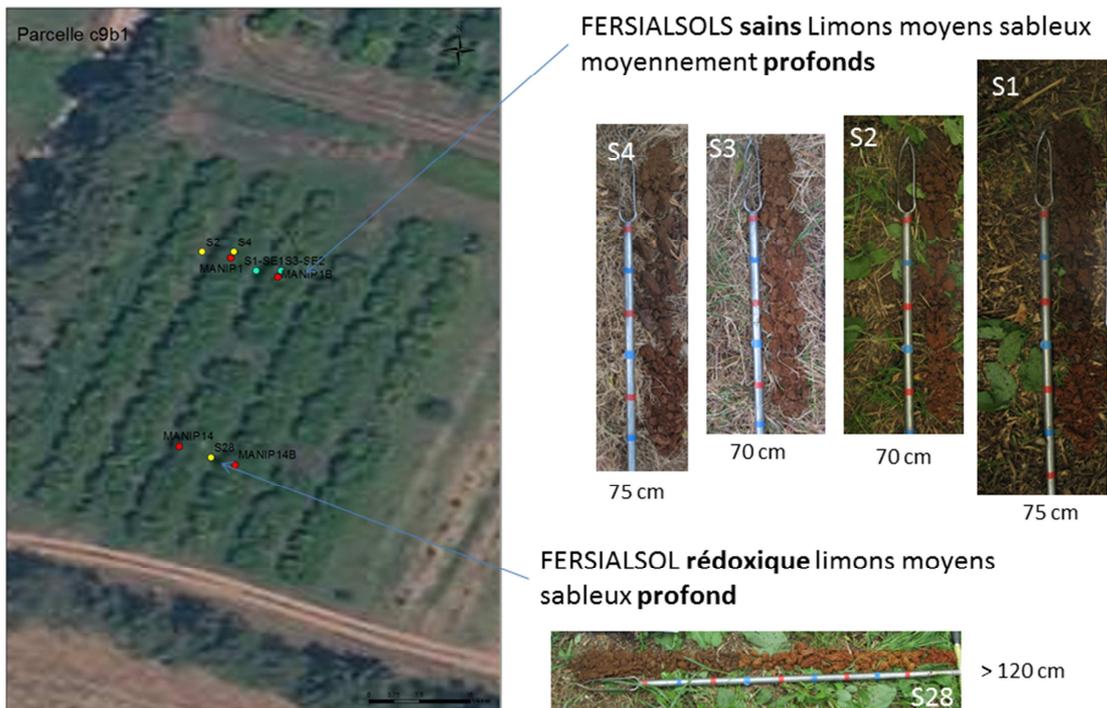


Figure 15 : Descriptions et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle c9b1

Les sols observés sur la parcelle c9b1 sont des FERSIALSOLS limons moyens sableux. Pour les observations réalisées au nord de la parcelle (S1, S2, S3 et S4), là où les arbres sont en bon état, les 4 sols décrits sont quasi identiques : sains et moyennement profonds. En revanche, dans le sud de la parcelle, l'observation pédologique (S28) met en évidence un sol profond et rédoxique.

#### *Sondages électriques versus sondages pédologiques*

Les résistivités électriques apparentes mesurées grâce à la méthode du sondage électrique en fonction de la profondeur d'investigation sont présentées dans la Figure 16. Les deux sondages réalisés sur cette parcelle ont été positionnés dans la zone des observations au nord de la parcelle, là où les arbres sont en bonne santé. **Le sondage SE2 a été réalisé au pied d'un arbre, dans la direction du rang, contrairement à tous les autres sondages électriques.**

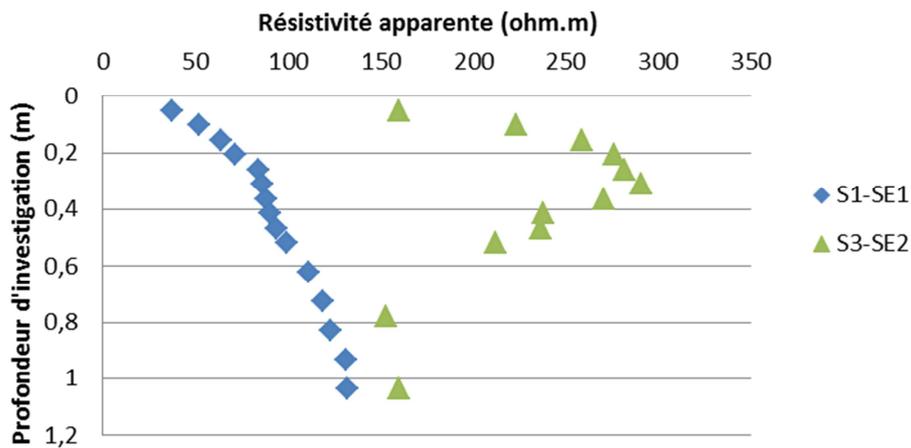


Figure 16 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle c9b1

Malgré des descriptions de sol quasi-identiques, ces sondages électriques présentent des résultats très différents : le sondage SE1 est compris entre 40 et 140 ohm.m et présente une augmentation constante de la résistivité avec la profondeur d'investigation alors que le sondage SE2 présente des résistivités globalement comprises entre 150 et 300 ohm.m et une structuration en trois niveaux : une couche résistante intercalée entre deux couches moins résistantes. Les résistivités de la fin du profil ont des valeurs comparables à celles du sondage SE1, autour de 130/150 ohm.m.

Comme les sols sont comparables, ces résultats mettent en évidence que **la mesure de résistivité électrique est ici influencée par d'autres phénomènes comme la structure qui peut être impactée durablement par l'irrigation ou le système racinaire entre 0 et 60cm.**

#### *Tomographies électriques versus sondages pédologiques*

Les résultats des inversions de tomographie électrique sont présentés dans la Figure 17 et des statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chacune de ses tomographies sont présentées sous forme de box-plots dans la Figure 18.

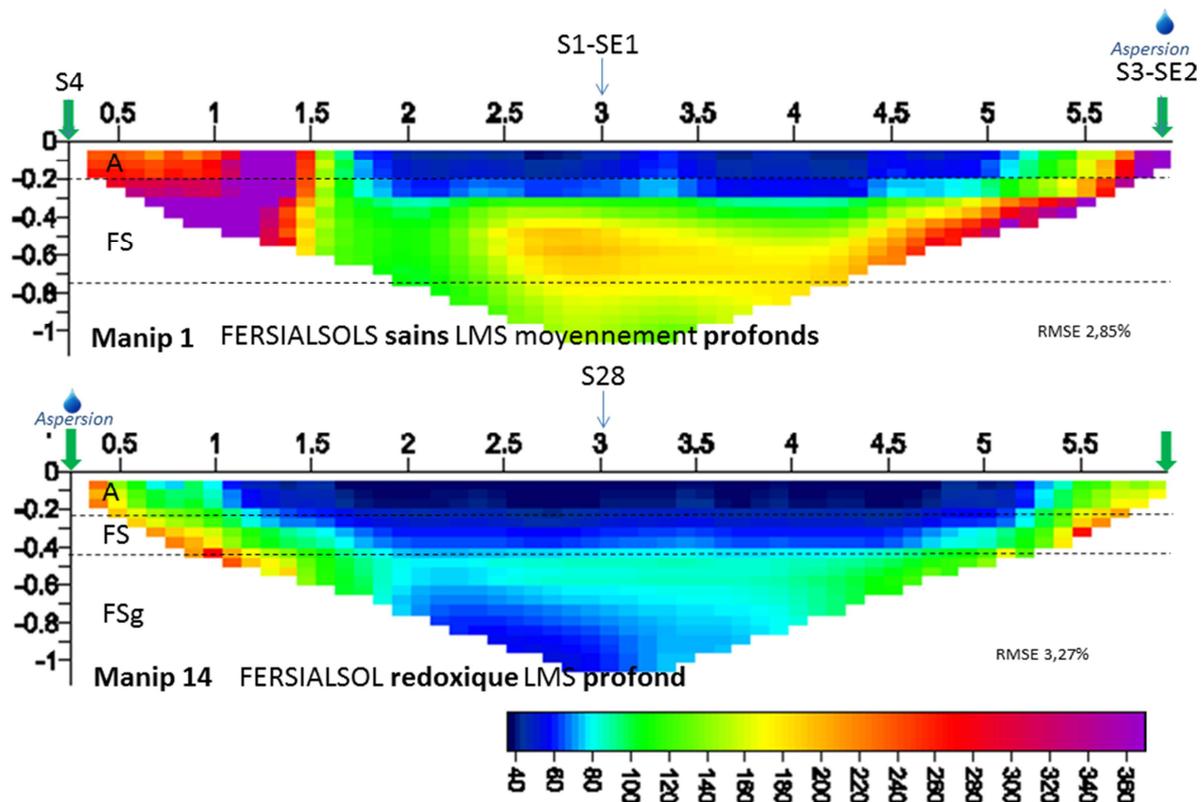


Figure 17 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle c9b1. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière.

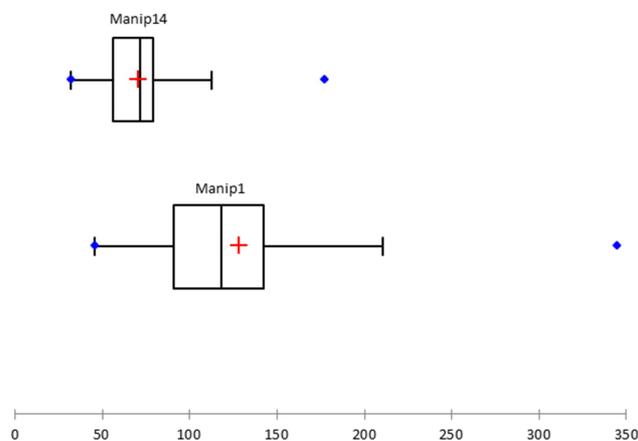


Figure 18 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle c9b1

Les résistivités électriques inversées sont globalement comprises entre 50 (premier quantile) et 140 ohm.m (troisième quantile). Ces valeurs sont dans la même gamme que celles mesurées par les sondages 1D. Les résistivités observées dans la Manip14 sont en moyenne plus faibles que celles de la Manip1, probablement dû au caractère profond et rédoxique du sol. Pour la tomographie Manip1, on observe localement des résistivités élevées pouvant atteindre 350 ohm.m.

Au centre du profil, dans la partie enherbée, on observe une couche conductrice dans les 20 premiers centimètres (<80 ohm.m) correspondant à l'horizon A décrit. Ensuite, les résistivités

augmentent avec à nouveau une diminution de la résistivité vers 60 cm. Sur les côtés, à l'aplomb des arbres, les résistivités sont plus élevées, comme ce qui a été observé avec les sondages électriques 1D. Cette zone plus résistante a une emprise d'environ 1m sur le côté d'un arbre et semble se propager vers la profondeur et au centre du profil vers 60 cm. Dans ce cas on observe bien une différence liée de couvert végétal (zonage entre la partie enherbée dans l'inter-rang et la partie désherbée au pied des arbres).

### Parcelle c9b1 – Synthèse des observations

- Les clémentiniers chétifs sont observés dans une zone où le sol est rédoxique, les arbres en bonne santé, sur des sols sains
- A nature de sol égale, les résistivités à l'aplomb des arbres sont plus élevées que les résistivités dans l'inter-rang (effet structure/enherbement/système racinaire ?)
- La limite enherbement/zone désherbée est bien visible avec des résistivités plus faibles dans l'inter-rang enherbée

## 2.3. Caractérisation pédoélectrique des parcelles homogènes

### 2.3.1. Parcelle 7703

#### Répartition spatiale des sols

Les positions et les descriptions des sondages pédologiques observés dans la parcelle 7703 sont synthétisés dans la Figure 19.

#### FLUVIOSOLS BRUNIFIES sains peu profonds à profonds

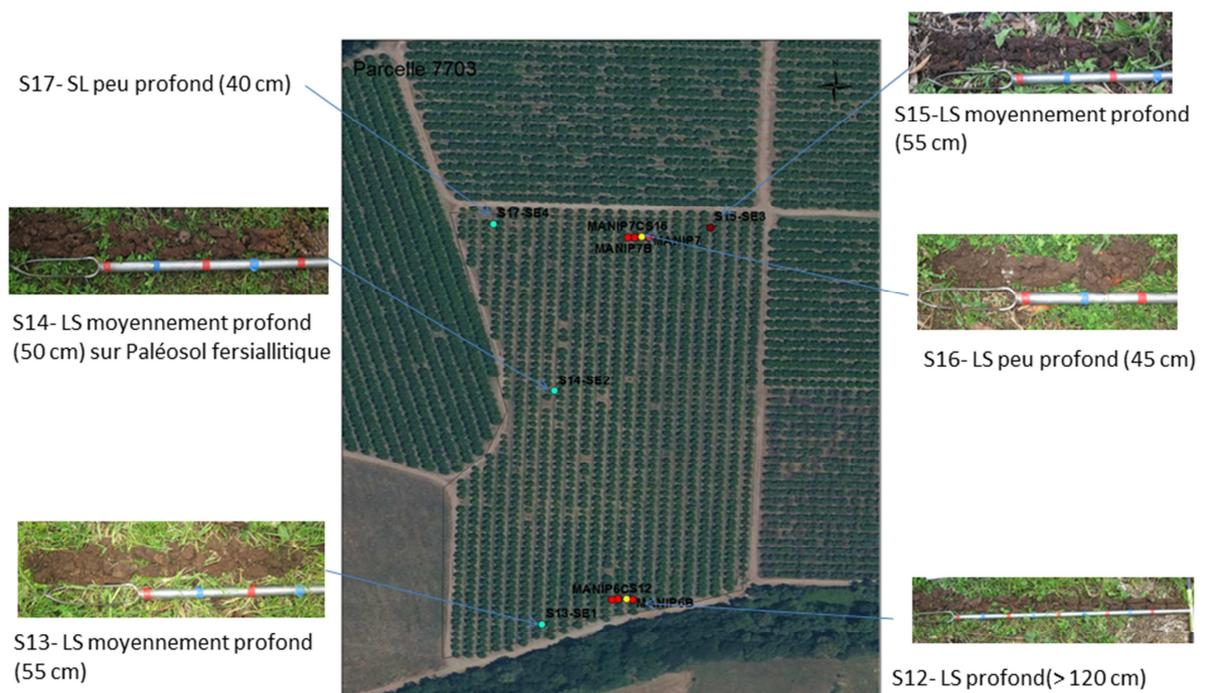


Figure 19 : Descriptions et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle 7703

Les sols observés sur la parcelle 7703 sont des FLUVIOSOLS BRUNIFIES sains (pas d'hydromorphie observée). Hormis le sondage S17, les textures sont de type limono-sableux. Les profondeurs varient entre 45 et > 120 cm avec une majorité de sols compris entre 40 et 55 cm. **Les sols apparaissent comme relativement homogènes sur cette parcelle.**

#### *Sondages électriques versus sondages pédologiques*

Les résistivités électriques apparentes mesurées grâce à la méthode du sondage électrique en fonction de la profondeur d'investigation sont présentées dans la Figure 20.

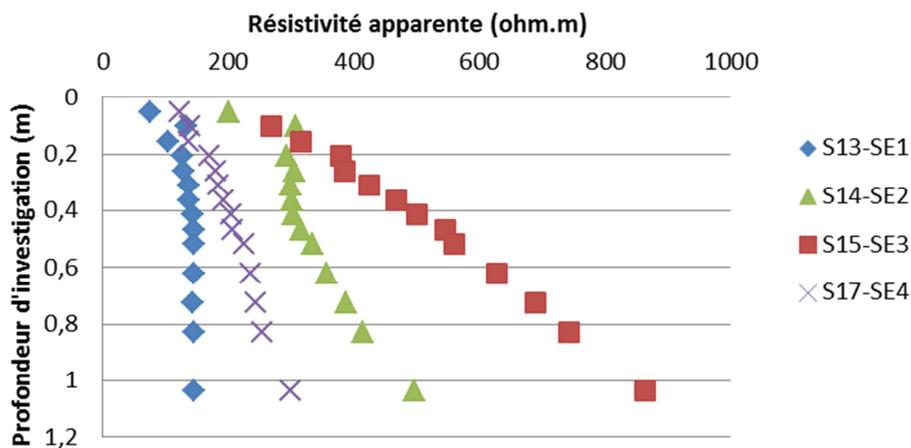


Figure 20 : Résistivités apparentes en fonction de la profondeur d'investigation mesurées par la méthode du sondage électrique sur la parcelle 7703

Malgré des descriptions de sol quasi-identiques, ces sondages électriques présentent des résultats très différents au niveau de la gamme de valeurs (75 à >800 ohm.m). En revanche, tous les sondages présentent la même évolution : une augmentation de la résistivité avec la profondeur.

On note également, qu'en dehors du sondage S17 qui présente une texture plus sableuse que les autres, il y a un gradient S13-S14-S15 qui est cohérent avec la position topographique dans la parcelle. Dans cette parcelle, il y a un gradient de pierrosité entre le haut de la parcelle (pierrosité faible) et le bas de la parcelle (pierrosité élevée). La charge en éléments grossiers dans le sol est un facteur important d'influence de la mesure de résistivité électrique (Tétégan et al.).

#### *Tomographies électriques versus sondages pédologiques*

Les résultats des inversions de tomographie électrique sont présentés dans la Figure 21. Pour cette parcelle les 4 tomographies ont été réalisées en 2 positions : à chaque position une tomographie de rang à rang et une tomographie d'inter-rang à inter-rang ont été réalisées, sur la même ligne (voir Figure 5). Des statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chacune de ces tomographies sont présentées sous forme de box-plots dans la Figure 22.

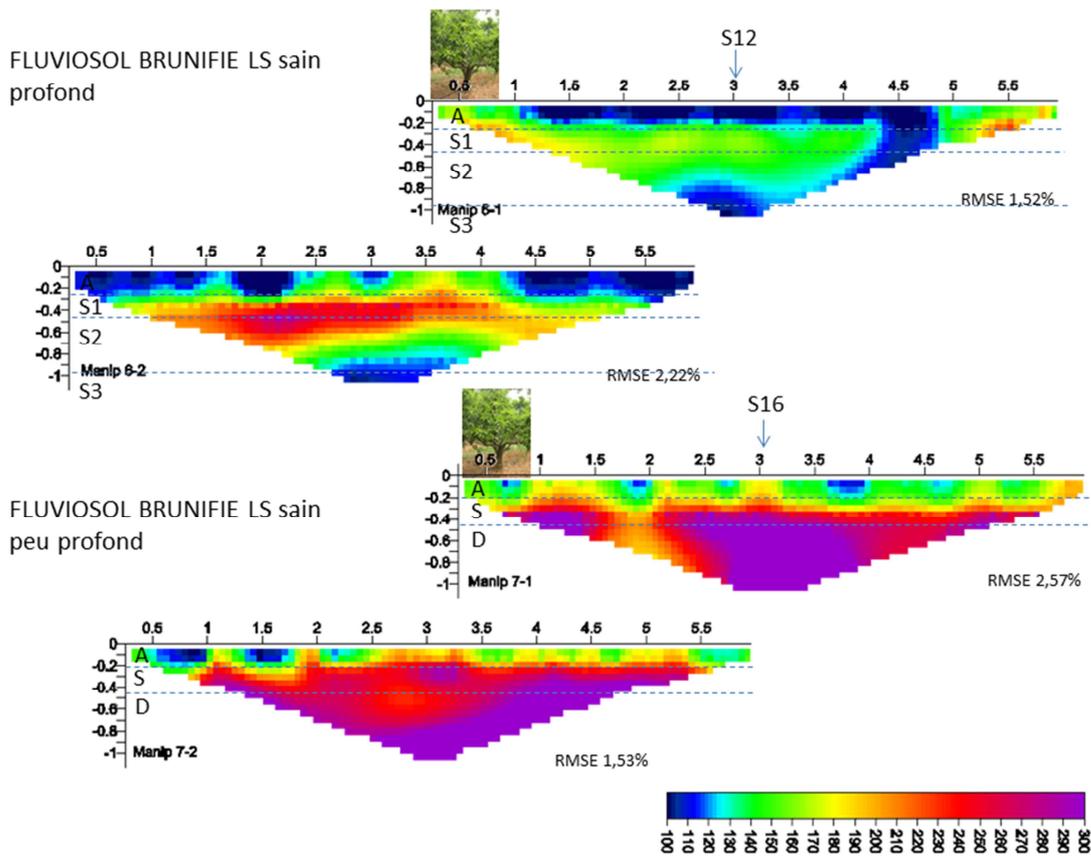


Figure 21 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle c9b1. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière.

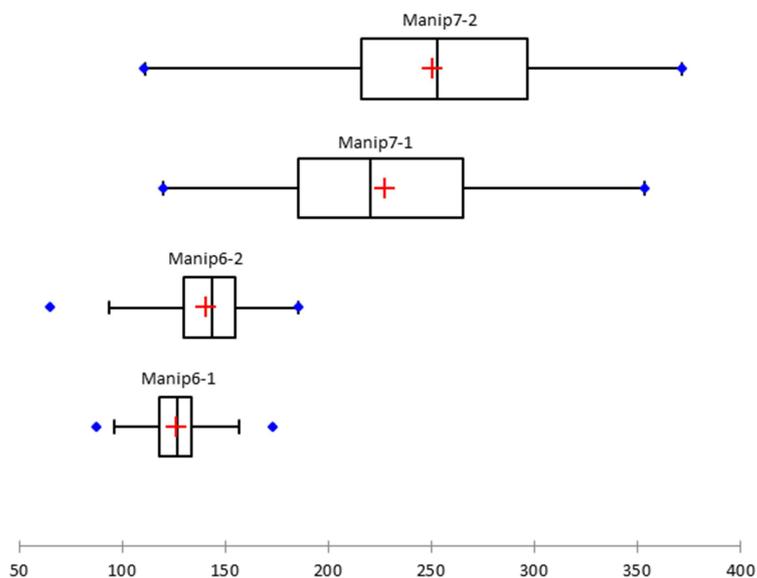


Figure 22 : Statistiques descriptives des résistivités apparentes pour chaque tomographie de la parcelle 7703

Les résistivités électriques apparentes sont globalement comprises entre 120 (premier quantile) et 300 ohm.m (troisième quantile). Ces valeurs sont dans la même gamme que celles mesurées par les sondages 1D SE1, SE2 et SE4. Les statistiques descriptives sur les résistivités apparentes sont

semblables au sein des deux groupes (Manip7-2 avec manip7-1 et Manip6-2 avec Manip6-1). **Cela se retrouve sur les profils inversés de résistivité (Figure 21) et est cohérent avec les différences d'épaisseur de sol observées sur les sondages pédologiques : l'arrivée de l'horizon de matériau d'alluvions (D) à 45 cm fait augmenter les résistivités des tomographies Manip7.-1 et manip7-2).**

Les tomographies ont été réalisées en se chevauchant pour chacune des positions. Cela permet d'avoir des mesures réalisées strictement aux mêmes positions : la moitié gauche des tomographies Manip6-1 et Manip7-1 avec la partie droite des tomographies respectivement Manip6-2 et Manip7-2. Ces zones de doublons mettent en évidence des structurations et des mêmes valeurs de résistivités quasi identiques, nous permettant d'être confiant sur la qualité des mesures et de l'inversion des données.

Pour les tomographies Manip6-1 et Manip6-2, l'effet enherbement/arbre est bien visible : les résistivités sont plus faibles (<120 ohm.m) dans l'inter-rang qu'au niveau du rang, dans les 25 premiers centimètres. Cet effet est moins marqué au niveau des tomographies des Manip7-1 et manip7-2.

Dans la couche superficielle (<25 cm), on observe des structure de forme concentriques depuis la surface. Il pourrait s'agir de zone à forte compacité suite à des passages d'engins agricoles comme l'a démontré Besson et al. 2009.

#### **Parcelle 7703 – Synthèse des observations**

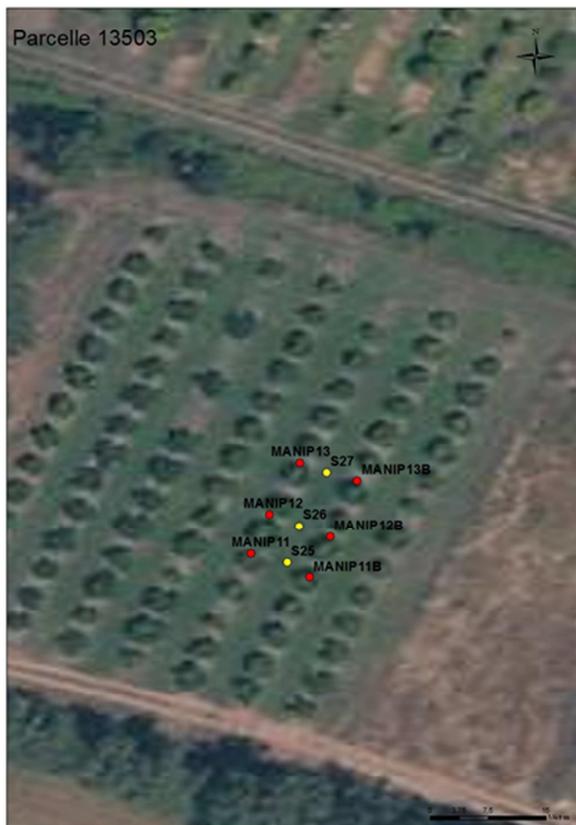
- Les sols semblent plutôt homogènes sur cette parcelle : tous sains avec une majorité de sols moyennement profonds. Il y a cependant un gradient de pierrosité.
- Les sondages électriques mettent en évidence un lien avec le gradient de pierrosité en fonction de la position dans la parcelle
- Les mesures de résistivité par tomographie électrique réalisées au même endroit avec deux mesures différentes permettent de conclure à une bonne répétabilité de la mesure
- Les tomographies électriques détectent bien l'apparition des alluvions qui présentent des résistivités plus élevées que l'horizon sus-jacent
- Les résistivités de la couche superficielle sont plus élevées à l'aplomb des arbres que dans l'inter-rang avec une limite bien visible pour la zone désherbée

#### **2.3.2. Parcelle c9b2**

##### *Caractérisation des sols*

Les positions et les descriptions des sondages pédologiques observés dans la parcelle c9b2 sont synthétisés dans la Figure 23. Pour cette parcelle l'objectif était de tester l'effet de types de prote greffe sur la résistivité électrique du sol (voir paragraphe 1.4).

## FERSIALSOLS



S27-FERSIALSOL LMS moyennement profond (70 cm)



S26-FERSIALSOL LMS profond (100 cm)



S25-FERSIALSOL LS moyennement profond (70 cm)

Figure 23 Descriptions et positions des sondages pédologiques observés sur la parcelle c9b2

Les sols observés sur la parcelle c9b2 sont des FERSIALSOLS sains (pas d'hydromorphie observée). Les textures sont de type limono-sableux et limons moyens sableux. Les profondeurs varient entre 70 et 100 cm. **Les sols apparaissent comme homogènes sur cette zone de la parcelle.**

## Tomographies électriques versus type de porte-greffe

Les résultats des inversions de tomographie électrique sont présentés dans la Figure 24.

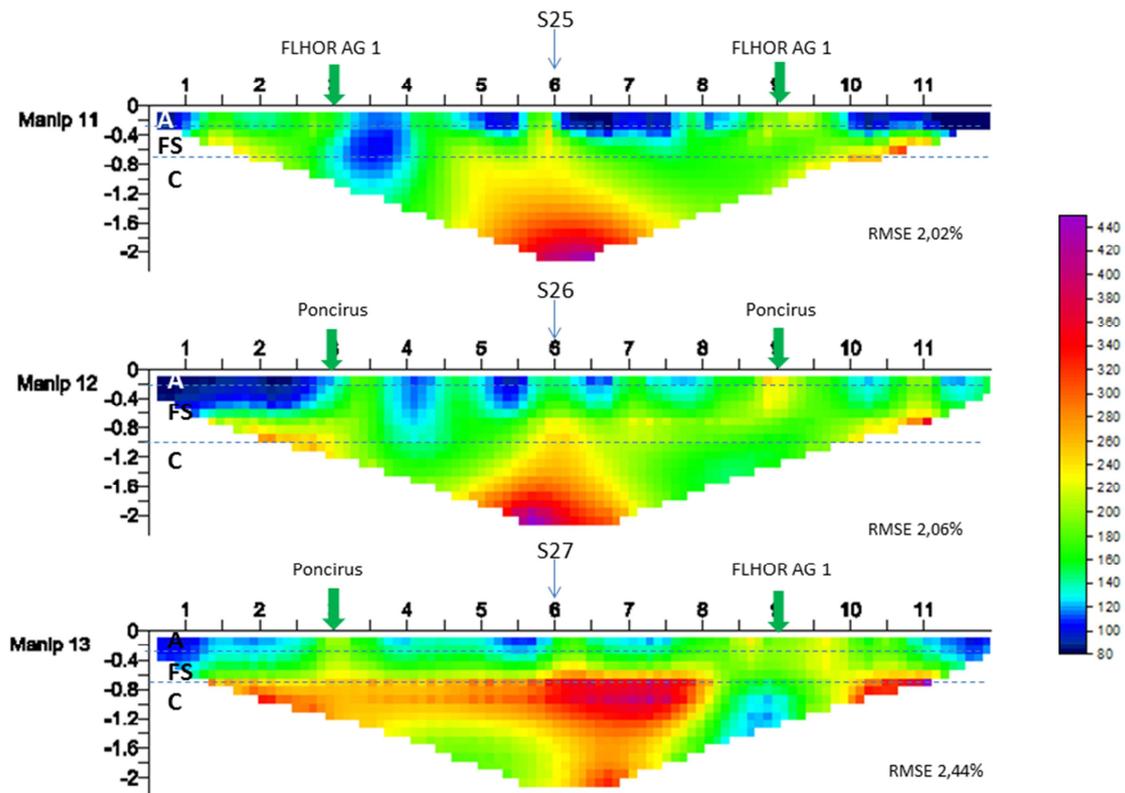


Figure 24 : Imagerie en 2D de la résistivité électrique après inversion des mesures par tomographie électrique de la parcelle c9b2. Les flèches bleues indiquent la position des sondages pédologiques. Les flèches vertes indiquent la position des arbres. Les lignes horizontales indiquent les limites des horizons pédologiques observés à la tarière.

Les résistivités mesurées sur les trois tomographies présentes des gammes de variabilités semblables et cohérentes avec l'homogénéité des types de sols rencontrés. Pour les trois profils, des résistivités plus faibles sont mesurées dans la zone superficielle (<20 cm). Et, l'apparition du matériau parental (horizon C) a pour effet de faire augmenter la résistivité électrique, on le voit particulièrement dans le profil de la Manip13.

En ce qui concerne l'effet de l'arbre sur la résistivité, dans tous les cas, la présence d'un arbre a pour effet de faire localement augmenter la résistivité dans les 20 premiers centimètres. En revanche la valeur de la résistivité et sa structuration ne semble pas être lié au type de porte-greffe.

### Parcelle c9b2 – Synthèse des observations

- Les sols observés sur la zone de faible étendue sont homogènes, sans hydromorphie
- Les résistivités électriques sont également homogènes
- Les résistivités sont localement plus élevées à l'aplomb des arbres
- Le type de porte-greffe ne semble pas influencer les valeurs de résistivité ni leur structuration

## Conclusion et perspectives

Le projet HERBAGRUM se donne pour objectif d'identifier le bouquet de services écosystémiques rendus par le système « arbre fruitier /enherbement », dans le cadre spécifique des vergers de clémentiniers corses.

L'objectif de ce travail de terrain était de caractériser les sols au sein de parcelles de clémentiniers soumises à des situations de gestion du sol contrastés (enherbement total/désherbage dans le rang). Il s'agissait d'évaluer si la mise en œuvre de méthodes de géophysiques (mesure de la résistivité électrique) permettait de caractériser certains caractères du sol, pouvant être reliés à la présence du système racinaire de la zone enherbée :

- **La profondeur du sol** : dans la plupart des parcelles, la tomographie semble être un bon outil pour déterminer l'apparition des alluvions qui se traduit par une nette différence de la nature du matériau.

- **La structure de l'horizon de surface du sol** : en dehors de la parcelle 13503 présentant des inter-rangs sous-solés, les mesures de résistivités n'ont pas été reliées à des effets de structure mais plutôt à des effets liés à la nature du sol.

- **Le fonctionnement hydrique du système sol-arbre et du système sol-strate herbacée** : contrairement aux parcelles où il y a un désherbage dans le rang, dans le cas d'un enherbement total (parcelles 2575 et 13503), on n'observe pas de différence nette de la résistivité du sol entre la partie enherbée et la partie à l'aplomb des arbres. Cette observation peut nous conduire à l'hypothèse que le fonctionnement des deux systèmes est semblable avec une zone d'action commune.

Il a également été observé que les parcelles présentant une forte variabilité de l'état sanitaire des agrumiers (2575, 13503 et c9b1) présentent également une forte variabilité intra-parcellaire des sols notamment en termes d'hydromorphie et d'épaisseur.

Les pistes de compréhension qu'apporte les caractérisations pédo-électriques sur les parcelles étudiées nous conduisent à proposer les perspectives suivantes :

- Une prospection de type géoélectrique pourrait être conduite dans les parcelles hétérogènes afin de connaître avec précision les hétérogénéités spatiales du sol et les relier aux hétérogénéités de l'état sanitaire des arbres.
- Des mesures directes sur le sol et les plantes de type profil cultural et profil racinaire deviennent primordiales.
- Pour aller plus loin dans la compréhension du fonctionnement hydrique du système sol-strate herbacée, il serait intéressant de mettre en place un suivi quasi-continu de l'état hydrique du sol (teneur en eau, potentiel hydrique) par l'installation de capteurs *in situ* avec une fréquence d'acquisition adaptée.

# Annexe 1 : Liste des mesures réalisées par parcelle

| Parcelle | Date       | Type de mesure            | Identifiant | Position SIG                                    |
|----------|------------|---------------------------|-------------|---|
| c9b1     | 09/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip1      | MANIP1 (électrode 1) à MANIP1B (électrode 32)   |
| c9b1     | 09/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE1         | S1-SE1  |
| c9b1     | 09/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE2         | S3-SE2  |
| c9b1     | 09/05/2016 | Sondage pédologique       | S1          | S1-SE1  |
| c9b1     | 09/05/2016 | Sondage pédologique       | S2          | S2  |
| c9b1     | 09/05/2016 | Sondage pédologique       | S3          | S3-SE2  |
| c9b1     | 09/05/2016 | Sondage pédologique       | S4          | S4  |
| c9b1     | 12/05/2016 | Sondage pédologique       | S28         | S28   |
| c9b1     | 12/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip14     | MANIP14 (électrode 1) à MANIP14B (électrode 32) |
|          |            |                           |             |   |
| 2575     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip2      | MANIP2 (électrode 1) à MANIP2B (électrode 32)   |
| 2575     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip3      | MANIP3 (électrode 1) à MANIP3B (électrode 32)   |
| 2575     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip4      | MANIP4 (électrode 1) à MANIP4B (électrode 32)   |
| 2575     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip5      | MANIP5 (électrode 1) à MANIP5B (électrode 32)   |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE1         | S6-SE1  |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE2         | S8-SE2  |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE3         | S11-SE3   |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S5          | S5  |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S6          | S6-SE1  |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S7          | S7  |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S8          | S8-SE2  |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S9          | S9  |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S10         | S10   |
| 2575     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S11         | S11-SE3   |
|          |            |                           |             |   |
| 7703     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip6-1    | MANIP6 (électrode 1) à MANIP6B (électrode 32)   |
| 7703     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip6-2    | MANIP6C (électrode 1) à S12 (électrode 32)      |
| 7703     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip7-1    | MANIP7 (électrode 1) à MANIP7B (électrode 32)   |
| 7703     | 10/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip7-2    | S16 (électrode 1) à MANIP7C (électrode 32)      |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE1         | S13-SE1   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE2         | S14-SE2   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE3         | S15-SE3   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE4         | S17-SE4   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S12         | S12   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S13         | S13-SE1   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S14         | S14-SE2   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S15         | S15-SE3   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S16         | S16   |
| 7703     | 10/05/2016 | Sondage pédologique       | S17         | S17-SE4   |
|          |            |                           |             |   |
| 13503    | 11/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip8      | MANIP8 (électrode 1) à MANIP8B (électrode 32)   |
| 13503    | 11/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip9      | MANIP9 (électrode 1) à MANIP9B (électrode 32)   |
| 13503    | 11/05/2016 | Tomographie 2D (a= 20 cm) | manip10     | MANIP10 (électrode 1) à MANIP10B (électrode 32) |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE5         | S18-SE5   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE6         | S19-SE6   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage électrique 1D     | SE7         | S21-SE7   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S18         | S18-SE5   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S19         | S19-SE6   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S20         | S20   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S21         | S21-SE7   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S22         | S22   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S23         | S23   |
| 13503    | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S24         | S24   |
|          |            |                           |             |   |
| c9b2     | 11/05/2016 | Tomographie 2D (a= 40 cm) | manip11     | MANIP11 (électrode 1) à MANIP11B (électrode 32) |
| c9b2     | 11/05/2016 | Tomographie 2D (a= 40 cm) | manip12     | MANIP12 (électrode 1) à MANIP12B (électrode 32) |
| c9b2     | 11/05/2016 | Tomographie 2D (a= 40 cm) | manip13     | MANIP13 (électrode 1) à MANIP13B (électrode 32) |
| c9b2     | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S25         | S25   |
| c9b2     | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S26         | S26   |
| c9b2     | 11/05/2016 | Sondage pédologique       | S27         | S27   |