



**HAL**  
open science

## Site castral de La Tour à Dunières (43), Résultats de la prospection géophysique

Méline Bizri, Adrien Camus, Vivien Mathé

► **To cite this version:**

Méline Bizri, Adrien Camus, Vivien Mathé. Site castral de La Tour à Dunières (43), Résultats de la prospection géophysique. [Rapport de recherche] Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II; Université La Rochelle; DRAC / SRA Auvergne; Conseil général de la Haute-Loire. 2015. hal-01744384

**HAL Id: hal-01744384**

**<https://hal.science/hal-01744384v1>**

Submitted on 30 Mar 2018

**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.



# Site castral de La Tour (Dunières)

## Résultats de la prospection géophysique

Méline Bizri, Adrien Camus, Vivien Mathé

**Région :**  
Auvergne

**Département :**  
Haute-Loire

**Commune :**  
Dunières

**Lieu-dit :**  
La Tour

**Propriétaire :**  
Mme Sanoner

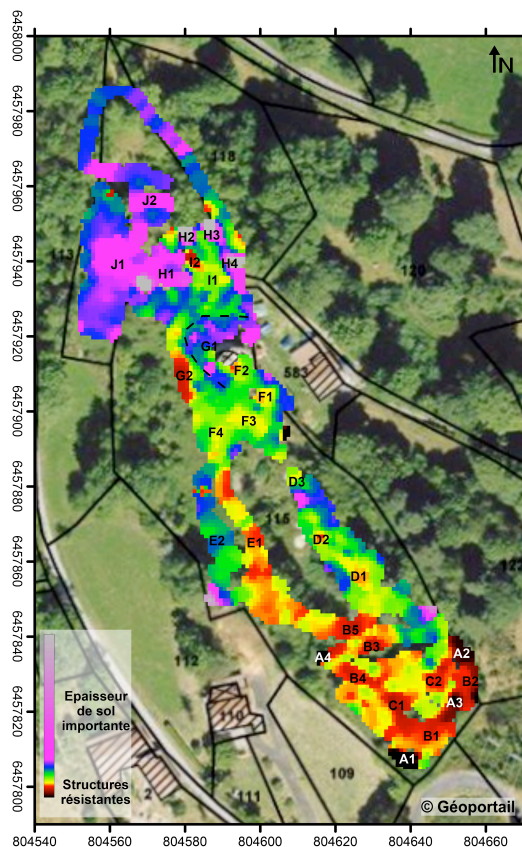
**Arrêté  
d'autorisation :**  
N°2015/078

**N°site :**  
43087001 AH

**N°OA :** 7802

- Partie 1. Commentaire des résultats (MB)
- Partie 2. Rapport de prospection géophysique (AC, VM)

La Tour (Dunières, Haute-Loire)  
Interprétation de la prospection électromagnétique  
ULR Valor - LIENSs



Décembre 2015



## Sommaire

Partie 1 (Mélinda Bizri)	
Fiche signalétique .....	2
Arrêté de prospection.....	3
Projet de fouilles programmées du site castral de La Tour à Dunières (43) .....	5
Introduction .....	5
1. Le choix de croiser deux méthodologies : l'électromagnétique et l'électrique .....	6
2. Les contraintes de calendrier de réalisation de la prospection .....	7
3. Commentaire des résultats du rapport.....	7
Résultats sur le castrum « haut ».....	7
Résultats sur le castrum « bas » .....	8
4. Stratégie proposée pour la campagne de fouilles 2016 .....	8
Moyens prévus.....	9
Liste des Figures.....	9
Bibliographie citée .....	10

Partie 2 (Adrien Camus, Vivien Mathé)

*Rapport de prospection géophysique*, ULR Valor-La Rochelle, 28 p.



## Fiche signalétique

### LOCALISATION DE L'OPERATION

N° de site : 43 087 001 AH

Région : Auvergne

Département : Haute-Loire (43)

Commune : Dunières

Code INSEE : 43 087

Adresse : Lieu-dit « la Tour »

Références cadastrales : AY 115

Coordonnées Lambert II étendu :

X = 756 809 m

Y = 2025 557 m

Nivellement NGF de la parcelle :

Altitude minimale : 915 m

Altitude maximale : 932,74 m

Propriétaire du terrain : Mme Sanoner

Protection : La Tour, inscription MH 18/11/2002 ; pas de protection

environnementale sur la commune (Données DIREN 2011)

### L'OPERATION ARCHEOLOGIQUE

Autorisation de prospection thématique : 2015-078 en date du 22 avril 2015

Organisme de rattachement : GRAV, association loi 1901

Nature de l'opération : prospection géophysique

La prospection électrique menée sur la parcelle AY 115 de Dunières au lieu-dit La Tour a été effectuée par le laboratoire ULR Valor de La Rochelle début novembre 2015.

Le rapport a été rendu le 23 décembre 2015 après quelques échanges téléphoniques relatifs à l'interprétation des résultats.



PRÉFET DE LA RÉGION AUVERGNE

DIRECTION REGIONALE DES AFFAIRES  
CULTURELLES

Service régional de l'archéologie

ARRÊTÉ SRA / n° 2015-078

portant autorisation annuelle  
de prospection archéologique thématique

Opération archéologique n° 7802

Le Préfet de la région Auvergne  
Préfet du Puy-de-Dôme  
Officier de la Légion d'Honneur  
Chevalier de l'Ordre National du Mérite

**VU** le code du patrimoine, et notamment son livre V ;

**VU** le décret du 25 juillet 2013 portant nomination de Monsieur Michel FUZEAU en qualité de Préfet de la région Auvergne, Préfet du Puy-de-Dôme ;

**VU** l'arrêté préfectoral n° 2013/SGAR/185 du 26 août 2013 portant délégation de signature à Mme Anne MATHERON, Directrice Régionale des Affaires Culturelles de la région Auvergne ;

**VU** le dossier de demande d'autorisation annuelle de prospection archéologique thématique présenté le 18 décembre 2014 par Madame Mélinda Bizri ;

Après avis de la Commission interrégionale de la recherche archéologique Centre-Est (Rhône-Alpes-Auvergne) en date des 11, 12 et 13 mars 2015 ;

**ARRÊTE**

**Article 1er :**

Madame Mélinda Bizri est autorisée à procéder à une opération de prospection archéologique thématique à partir de la date du présent arrêté et jusqu'au 31 décembre 2015

concernant en région Auvergne, le site de la Tour de Joyeuse .

Département : Haute-Loire

Commune : Dunières

Programme : 24 – Naissance, évolution et fonctions du château médiéval.

Organisme de rattachement : ETUD.

**Article 2 :**

Les recherches sont effectuées sous la surveillance du conservateur régional de l'archéologie territorialement compétent, qui pourra imposer toutes prescriptions qu'il jugera utiles pour assurer le bon déroulement scientifique de l'opération.

L'opération devra être réalisée conformément aux normes de sécurité en vigueur.

Le responsable scientifique de l'opération tiendra régulièrement informé le conservateur régional de l'archéologie de ses travaux et découvertes. Il lui signalera immédiatement toute découverte importante de caractère mobilier ou immobilier et les mesures nécessaires à la conservation provisoire de ces vestiges devront être prises en accord avec lui.

A la fin de l'année, le responsable scientifique de l'opération adressera au conservateur régional de l'archéologie l'ensemble de la documentation relative à l'opération, et, en triple exemplaire, un rapport accompagné de cartes et de photographies, ainsi que, le cas échéant, des fiches détaillées établies pour chacun des nouveaux sites identifiés au cours des recherches. ICe rapport sera également fourni sous forme numérique (format .pdf) sur CD.

Ce rapport comprendra un résumé (12000 signes au maximum) de présentation des résultats scientifiques de l'opération. Ce résumé (au format PC Word, OpenText ou .rtf), qui pourra être complété par les références à quelques illustrations représentatives tirées du rapport, sera également communiqué au Service régional de l'archéologie via la messagerie électronique à l'adresse suivante : [archo.uvergne@culture.gouv.fr](mailto:archo.uvergne@culture.gouv.fr).

**Article 3 :** destination du matériel archéologique découvert :

Le statut juridique et le lieu de dépôt du matériel archéologique découvert au cours de l'opération seront réglés conformément aux dispositions légales et réglementaires et aux termes des conventions passées avec les propriétaires des terrains concernés.

**Article 4 :** mentions particulières à l'opération :

Une prospection radar serait vraisemblablement plus adaptée au site qu'une prospection électrique ou magnétique.

L'analyse archéologique et architecturale reste à effectuer à partir de la documentation acquise en 2014.

Dans le cadre de cette opération de prospection archéologique thématique, avant la mise en œuvre de sondages, le demandeur présentera, pour avis du conservateur régional de l'archéologie et autorisation éventuelle, un dossier de demande particulier pour chaque sondage.

**Article 5 :**

La directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté qui sera notifié à Madame Mélinda Bizri.

22 AVR. 2015

Fait à Clermont-Ferrand, le

Pour la directrice régionale  
et par délégation  
Patrice DUCHER  
Directeur régional adjoint  
des affaires culturelles

Copies à :

Mairie de Dunières

Group' gendarmerie 43

SDA

DRAC (SRA)

## Projet de fouilles programmées du site castral de La Tour à Dunières (43)

### INTRODUCTION

Le site castral de La Tour à Dunières semble s'organiser autour de deux pôles. Les relevés topographiques ont fait apparaître des aménagements défensifs sur le relief formé par l'éperon (chicane, fossés) au nord et au sud-est.

L'habitat présent sur le site n'est pas complètement circonscrit, deux tours dont la fonction est mixte (résidentielle et défensive) pour celle encore en élévation et deux bâtiments ruinés (aux extrémités de la parcelle au nord et au sud) ont été identifiés. La répartition de ces espaces est atypique : la présence de deux tours circulaires sur le site fait envisager un site castral à deux têtes peut-être co-seigneurial, sommairement renseigné par les textes ; une disposition en tout cas inédite pour le Velay.

La chronologie du site s'étend entre le XIII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> s. pour les tours existantes avec une occupation principale des XIV<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> s. pour la proéminence sud du site (Bizri *et alii* 2013).

Les sondages de prospections menés sur la plateforme sud en 2012 (Bizri *et alii* 2013) limitent l'interprétation de l'organisation du site. Le relief du site, approfondi par la réalisation du MNT, laisse deviner des structures potentielles mais les éléments de destruction très importants sur le site (blocs granitiques) freinent voire faussent l'approche interprétative de la forme que prennent ces amas.

L'approche du bâti de la tour encore en élévation montre une tour isolée d'autres structures (Bizri, Veissière 2014, Bizri, Veissière 2015) ; pourtant à proximité, une seconde tour a été mise en évidence (Bizri 2013) prouvant une occupation plus vaste et monumentale du site. Toutefois, à ce jour, les propositions d'organisation du site et de positionnement des vestiges restent hypothétiques.

L'objectif de la prospection géophysique est de collecter de données en vue de mieux orienter les explorations archéologiques futures du terrain.

Les problématiques s'inscrivent dans l'axe 24 : naissance et développement du castrum médiéval.

## 1. LE CHOIX DE CROISER DEUX METHODOLOGIES : L'ELECTROMAGNETIQUE ET L'ELECTRIQUE

Deux méthodes ont été employées pour réaliser la prospection. Plusieurs laboratoires ont été approchés pour envisager la méthodologie la plus appropriée à la nature du site.

Ainsi, en novembre 2014, après quelques échanges mails, Julien Thiesson, maître de conférence en géophysique appliquée à l'Université Paris 6 (UMR 7619 METIS) nous orientait sur une méthode sans contact avec le sol étant donné le relief très accidenté du site. Il soulignait également un contexte géologique peu favorable (le substrat granitique). Sur les données transmises, il nous conseillait la mise en place d'une prospection électromagnétique basse fréquence en précisant que le géoradar n'aimait pas les surfaces trop accidentées et que cette technique pouvait être éventuellement utilisée pour préciser des structures sur de petites surfaces.

Nous avons également échangé avec Pierre Streicher, géophysicien à Géoscan qui nous conseillait également une prospection électromagnétique possédant des paramètres de susceptibilité plus intéressants. Il précisait également que le géoradar était d'une mise en œuvre difficile dans un relief accidenté. En effet, une roue mesure l'avancement et pilote le déclenchement de l'impulsion radar. Ainsi l'irrégularité du terrain compromet les mesures radar alors que l'électromagnétique permet plus de détours et ne nécessite pas de tracés rectilignes.

Enfin, nous avons également échangé avec Amélie Quiquerez, maître de conférence à l'Université Bourgogne (UMR 6298 ArTeHis) pour laquelle une prospection électrique aurait pu convenir. Une proposition de sujet pour les Master 1 Archéo-Géosciences (AGES) a été proposée cette année mais le sujet n'a pas été pris.

Par ailleurs, Mme Amélie Quiquerez fait également partie du laboratoire de Géologie de Lyon, Terre, Planètes, Environnement de l'Université Claude Bernard Lyon 1, qui utilise le géoradar dans le cadre de projets de recherches universitaires. Ainsi, une proposition de collaboration scientifique a été évoquée.

Pour l'année 2015, étant donné les délais de réalisation et financements possibles, il n'a pas été envisageable de multiplier les approches géophysiques. Ainsi, nous nous sommes arrêtés

sur une approche croisée de prospection électromagnétique et électrique. L'idée étant d'obtenir un premier résultat, même lacunaire, et d'affiner ultérieurement ces résultats. Ainsi, les zones restant incompréhensibles à la suite de cette prospection pourront être à nouveau investiguées avec d'autres méthodes de prospection géophysique (électrique ou géoradar) en favorisant les collaborations universitaires.

## 2. LES CONTRAINTES DE CALENDRIER DE REALISATION DE LA PROSPECTION

L'association GRAV assure la gestion des subventions publiques relatives aux opérations archéologiques. Elle ne bénéficie pas de fonds propres permettant d'avancer les dépenses relatives aux opérations. Ainsi, il a fallu attendre la mi-septembre 2015 pour avoir la confirmation de l'obtention de la totalité des fonds nécessaires au financement de la prospection. Toutefois l'ULR Valor avait été approché auparavant (devis réalisé au moment de la demande en décembre 2014) et était disposé à intervenir dès le feu vert obtenu. Ainsi la prospection s'est déroulée en novembre 2015 dans des conditions d'humidité qui ne sont pas les plus favorables aux réponses électriques. Toutefois, nous ne pouvions pas prendre le risque de les faire intervenir plus tôt sans la certitude du recouvrement de la totalité du financement.

Malgré ces contraintes, le laboratoire de la Rochelle et ses chercheurs ont fait preuve d'efficacité et de rapidité pour rendre le rapport avant la fin d'année 2015.

## 3. COMMENTAIRE DES RESULTATS DU RAPPORT

Comme attendu étant donné la végétation du site, une partie de la parcelle n'a pas pu être explorée. Les prospections se sont donc concentrées sur deux zones du sites : le castrum « haut » avec la plateforme méridionale qui a fait l'objet en 2012 de trois ouvertures de sondages et le castrum « bas » concentré autour de la tour de Joyeuse encore en élévation.

### Résultats sur le castrum « haut »

Sans grande surprise, il n'a pas été possible de discerner parmi les pierriers granitiques présents, ceux relatifs à des éboulements naturels de ceux relatifs à des démolitions de constructions (Figure 1). En revanche il apparaît que la levée formant chicane située au sud



du site semble plutôt être constituée en matériaux durs : il peut s'agir soit d'un aménagement opportun autour de la roche affleurante, soit de la construction en pierre d'un éperon défensif. L'idée d'une levée en terre est écartée (A3, B2, B1, prospection électro-magnétique).

#### Résultats sur le castrum « bas »

Les résultats concernant cette zone sont certainement les plus intéressants. Ils mettent en évidence une densité d'aménagements autour et en contrebas de la tour et au nord de celle-ci.

La prospection documente la construction de la tour. Ainsi, la tour n'est pas seulement construite sur un affleurement du rocher, elle semble aussi emmottée. Des remblais ont été détectés autour de la tour. Son assise est donc également issue de consolidations anthropiques à moins qu'il s'agisse de niveaux d'occupation (prospection électrique 1m de profondeur, G1).

La zone de prospection K1/K2 met en évidence une structure résistante (prospection électrique 1m de profondeur affinée à 0,5m). On peut évoquer l'hypothèse d'une maçonnerie, un mur séparant peut-être l'espace castral bas de celui méridional (épaisseur envisagée 2,5 m). En effet, on avait déjà formulé l'hypothèse d'une séparation de ces espaces à partir de la lecture d'un dénivelé formant fossé situé à proximité.

Enfin, la zone la plus dense se situe autour d'un bâtiment (I6) déjà repéré sur le site car conservant quelques assises maçonnées. Ce bâtiment est désigné sous le toponyme « la chapelle » (tradition orale).

La prospection a également mis l'accent sur un aménagement intensif, encore à préciser, de la zone septentrionale dont nous n'avions lu que les circonvallations défensives (I3, I2/I8, I5).

#### **4. STRATEGIE PROPOSEE POUR LA CAMPAGNE DE FOUILLES 2016**

Au regard des éléments présentés ci-dessus, nous ne continuons pas à explorer pour le moment le castrum haut qui avait révélé en 2012 la présence d'une seconde tour circulaire. L'investigation devra sans doute être renforcée avec l'aide de nouvelles prospections sur la butte méridionale qui reste encore aujourd'hui porteuse de questionnements : porte-t-elle un bâtiment, est-elle anthropique ou naturelle ? (zone circonscrite par B3-B4, C1-C2)

Nous écartons pour le moment l'exploration au pied de la tour en élévation en cours de consolidation intérieure (F2, G1, G2).

Nous ciblons donc l'intervention sur la partie septentrionale du site en proposant un dégagement du bâtiment dit « la Chapelle » (I6) et ses abords (I2/I8 et peut-être le départ I5) afin de préciser les zones aperçues à la prospection. (Figure 2).

Il s'agit dans un premier temps de dégager un plan des structures aménagées dans cette zone. Dans un second temps, une fouille de la stratigraphie intérieur et extérieur au bâtiment structurant principal est envisagé afin d'en documenter sa chronologie. Dans le cas où le bâtiment s'avère être effectivement un lieu de culte, une attention particulière sera portée au repérage de sépultures si cet édifice a pu faire office de lieu sépulcral, ce qui n'est pas garanti. Toutefois, en cas d'une telle découverte, les sépultures (tout comme les autres structures) seront repérées spatialement. Les sépultures ne seront pas fouillées dans cette campagne mais envisagé l'année suivante (le temps de contacter un spécialiste pour les prélèvements et l'étude).

Enfin, dans un dernier temps, les résultats de cette prospection seront réévalués à l'aide des lectures tangibles du terrain issu de l'ouverture archéologique de la campagne 2016.

#### Moyens prévus

Débroussaillage du site avant fouilles : propriétaires

Moyens humains : 10 personnes pendant 2 semaines, du 1<sup>er</sup> au 15 août 2016

Topographie : prestataire, 1j

Post-fouille : 1 personne, 1 mois

Étude céramique : prestataire, 15j

Suivi comptable : CER via le GRAV

Matériel : GRAV et SRA

Subventions : SRA, CD, propriétaire

#### LISTE DES FIGURES

[Figure 1. Mise en regard du plan topographique avec interprétation et des résultats de la prospection.](#)

[Figure 2. Zoom sur la zone du castrum « bas » avec proposition de zone de fouilles.](#)



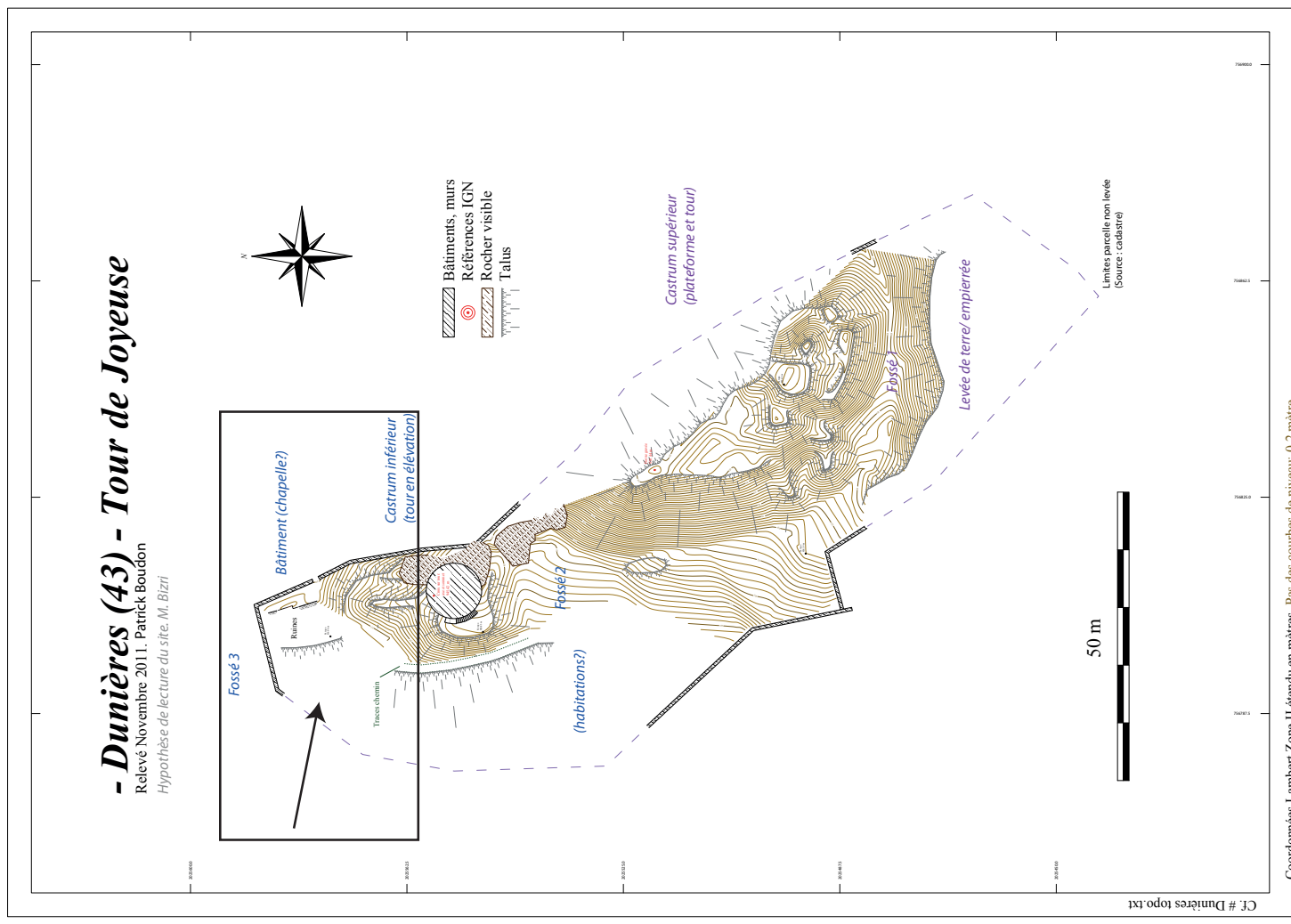
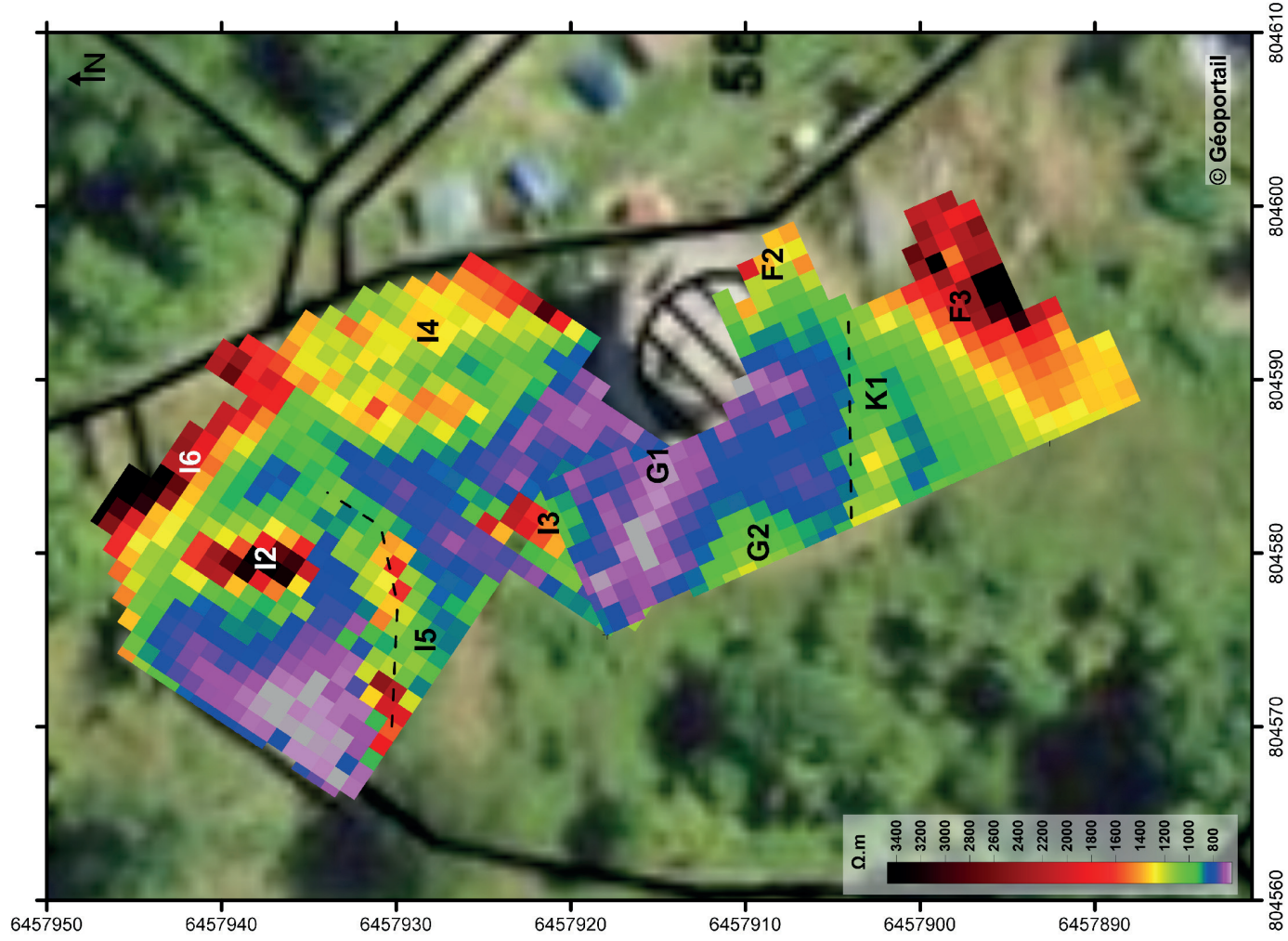
## BIBLIOGRAPHIE CITEE

Bizri et alii 2013 : avec la collaboration de S. Guyot (céramique), A.-M. Dendeviel (géologie) et J. Hahn (identification ostéologique) : *La Tour de Joyeuse à Dunières (43)*, Rapport de la prospection thématique avec sondages, campagne 2012, DRAC S.R.A. Auvergne - Conseil Général 43, 2013, 100 p.

Bizri, Veissière 2014 : *Relevé lasergammétrique de la Tour de Joyeuse à Dunières (43)*, Etude de bâti avec relevé 3D, DRAC S.R.A. Auvergne - Conseil Départemental 43, 2014, 2 vol. 33 et 34 p.

Bizri et Veissière 2015 : « Modèle numérique 3D de la tour dite « de Joyeuse » à Dunières (Haute-Loire) : retour d'expérience pour l'archéologie du bâti d'une tour de la seconde moitié du XIII<sup>e</sup> siècle », *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre / BUCEMA* [En ligne], 19.1 | 2015, mis en ligne le 12 juin 2015, consulté le 07 novembre 2015. URL : <http://cem.revues.org/13881> ; DOI : 10.4000/cem.13881

# La Tour (Dunières, Haute-Loire) Interprétation de la prospection électrique - 1 m ULR Valor - LIENSs



Coordonnées Lambert Zone II déduites en mètres. Pas des courbes de niveau 0.2 mètre.

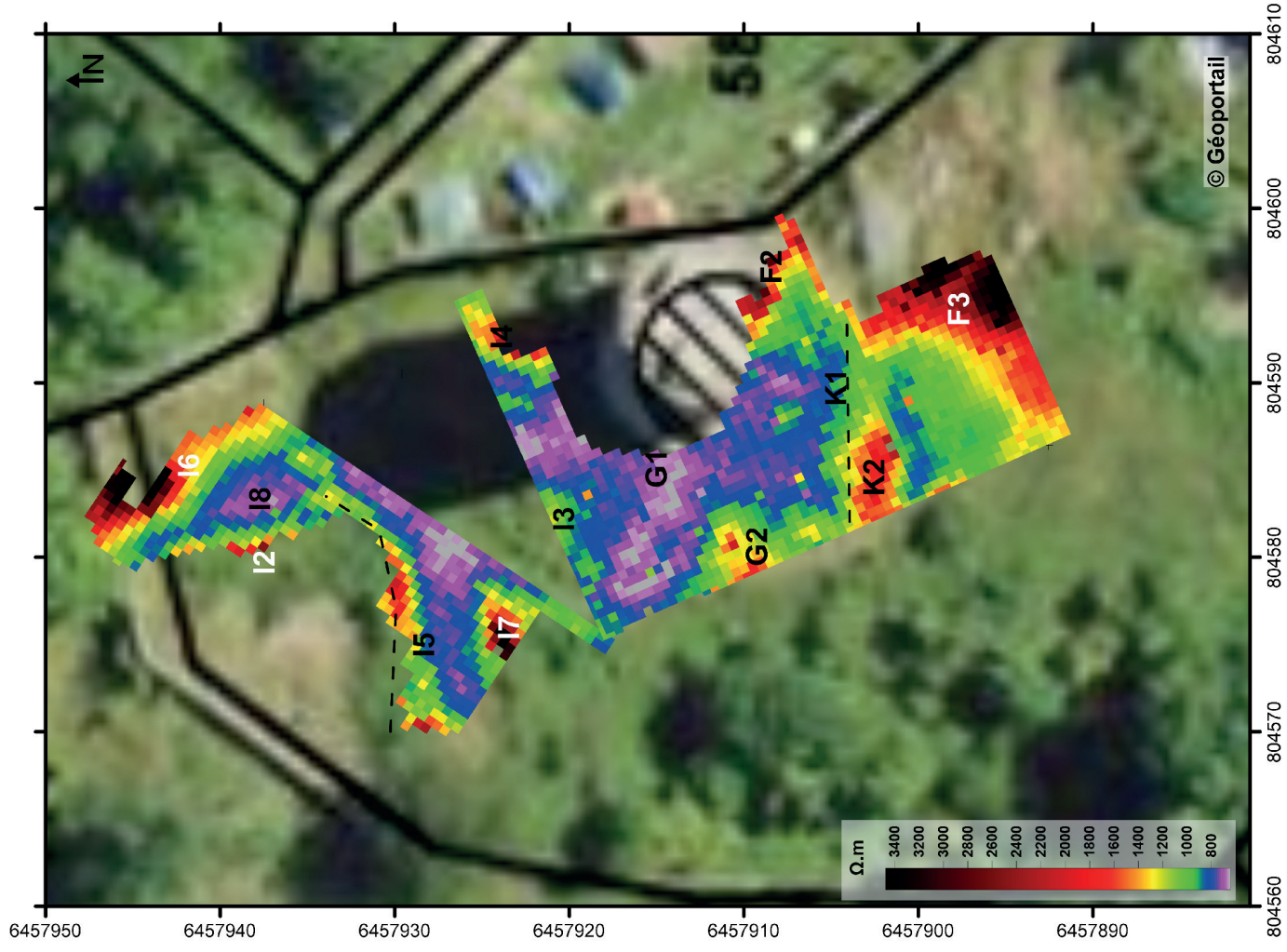
Figure 1



# La Tour (Dunières, Haute-Loire)

## Interprétation de la prospection électrique - 0.5 m

### ULR Valor - LIENSs



Zone d'ouverture  
proposée à la fouille

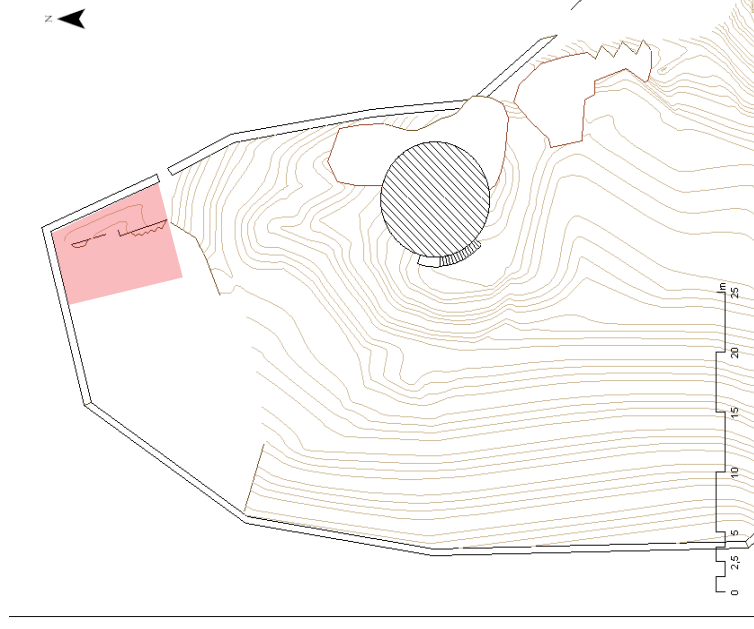


Figure 2



Travaux de prospection géophysique sur le site castral de La Tour  
(Dunières, Haute-Loire)

Novembre 2015



par

**Adrien Camus**

ULR Valor – UMR 7266 LIENSs Université de La Rochelle – CNRS

**Vivien Mathé**

UMR 7266 LIENSs Université de La Rochelle – CNRS

Prospection avec matériel spécialisé réalisée avec le soutien financier  
du GRAV (Groupe de Recherche Archéologique Vellave)



## PROPRIETE INTELLECTUELLE ET EXPLOITATION DES RESULTATS

*« L'utilisation des données du rapport de prospection est régie par les dispositions du code de la propriété intellectuelle concernant la propriété littéraire et artistique. Les prises de notes et les photocopies sont autorisées pour un usage exclusivement privé et non destiné à une utilisation collective (article L122-5 du code de la propriété intellectuelle). Toute reproduction du texte accompagnée ou non de photographies, cartes ou schéma, n'est possible que dans le cadre de courte citation, avec les références exactes et complètes de l'auteur et de l'ouvrage.*

*Toute utilisation des données du rapport à des fins lucratives est interdite en vertu de l'article 10 de la loi modifiée du 17 juillet 1978 relative à l'amélioration des relations entre l'administration et le public. Le non respect de ces règles constitue un délit de contrefaçon puni par l'article 425 du code pénal<sup>1</sup>. »*

Le GRAV (Groupe de Recherche Archéologique Vellave) et l'Université de La Rochelle possèdent la propriété conjointe de tous les résultats et informations obtenus dans le cadre de cette étude.

La méthodologie et le savoir-faire utilisés ou développés par les chercheurs de l'UMR 7266 LIENSs pour réaliser l'étude demeurent la propriété de l'Université de La Rochelle qui sera libre de les utiliser, les protéger, les transférer, les publier et les exploiter librement.

## SECRET - PUBLICATIONS

Dans le cas où les chercheurs de l'UMR 7266 LIENSs impliqués dans cette étude décident de publier ou de communiquer des résultats ou des informations la concernant, le GRAV sera informé en avance et sa participation à l'étude sera mentionnée.

Dans le cas où le GRAV déciderait de publier ou de communiquer des résultats ou des informations concernant l'étude, les chercheurs de l'UMR 7266 LIENSs impliqués et ULR VALOR en seraient informés à l'avance et leur contribution à l'étude serait mentionnée.

Les chercheurs de l'UMR 7266 LIENSs et le GRAV pourront se faire des propositions de modification de leur publication ou communication pour améliorer leur valeur scientifique ou leur présentation.

---

<sup>1</sup> Loi n°78-753 du 17 juillet 1978, article 10 « les documents administratifs sont communiqués sous réserve des droits de propriété littéraire et artistique. L'exercice du droit à la communication (...) exclut, pour les bénéficiaires et pour les tiers, la possibilité de reproduire, de diffuser ou d'utiliser à des fins commerciales les documents communiqués ».

## Table des matières

I Informations administratives.....	4
I.1 Identification du site .....	4
I.2 Financements .....	4
I.3 Intervenants.....	4
II Introduction.....	5
III Présentation du site et des zones prospectées .....	6
III.1 Contexte géographique et géologique .....	6
III.2 Localisation et description des zones prospectées .....	6
IV Outils et méthodes.....	7
IV.1 Méthode électromagnétique.....	7
IV.1.1 Paramètres mesurés, matériel et protocole de mesure .....	7
IV.1.2 Traitement et représentation des données.....	8
IV.2 Méthode électrique.....	8
IV.2.1 Paramètres mesurés, matériel et protocole de mesure .....	8
IV.2.2 Traitement et représentation des données.....	9
V Résultats et discussion.....	10
V.1 Prospection électromagnétique EM38-MK2.....	10
V.2 Prospection électrique RM15 .....	11
V.2.1 Écartement inter-électrodes de 1 m.....	11
V.2.2 Écartement inter-électrodes de 0.5 m.....	12
VI Conclusions et perspectives.....	13
VII Bibliographie.....	14
VIII Figures .....	15

## I Informations administratives

### I.1 Identification du site

#### Localisation

*Région* : Auvergne

*Département* : Haute-Loire

*Commune* : Dunières (n° INSEE : 43087)

*Lieu-dit* : La Tour

#### Coordonnées

Système de coordonnées	Lambert II étendu NTF	Lambert 93 RGF93	UTM31 WGS84
Longitude (X en m)	756810	804592	604627
Latitude (Y en m)	2025554	6457915	5007433

#### Cadastre

Parcelle 115

#### Propriétaires

M. Sanoner

### I.2 Financements

Cette opération a bénéficié d'un financement de la part du GRAV (Groupe de Recherche Archéologique Vellave) à hauteur de 3500€ HT soit 4200€ TTC.

### I.3 Intervenants

#### Encadrement scientifique

Vivien Mathé (maître de conférences, UMR 7266 LIENSs (Littoral, Environnement et Sociétés) Université de La Rochelle – CNRS)

#### Opérations de terrain (4 jours en novembre 2015)

Adrien Camus (docteur en géophysique, ULR Valor – UMR 7266 LIENSs Université de La Rochelle – CNRS)

#### Traitement des données, interprétation et rédaction du rapport

Adrien Camus et Vivien Mathé

## II Introduction

Dans le cadre d'une étude globale du site castral de La Tour sur la commune de Dunières (Haute-Loire) mené par le GRAV (Groupe de Recherche Archéologique Vellave), et suite à une première campagne de fouilles menée en 2012, il a été envisagé de faire appel à une méthode permettant la mise en évidence de zones pouvant présenter un potentiel archéologique intéressant. Une prospection géophysique a donc été envisagée pour cartographier l'ensemble des terrains disponibles au sein de l'enceinte de ce site.

Afin de répondre au mieux à la problématique de cette étude, deux méthodes géophysiques complémentaires ont été mises en œuvre, après avoir été utilisées avec succès sur des sites présentant des contextes chronologiques et structuraux similaires (par exemple : Camus & Mathé, 2015), mais également avec de fortes contraintes topographiques (par exemple : Camus & Mathé, 2012 ; 2013) :

- Une prospection électromagnétique (cartographie de conductivité) ;
- Une prospection électrique (cartographie de résistivité).

L'étude a été conduite sous la responsabilité scientifique de Mélinda Bizri (archéologue, Groupe de Recherche Archéologique Vellave) en association avec Vivien Mathé (maître de conférences, UMR 7266 LIENSs (Littoral, Environnement et Sociétés) Université de La Rochelle – CNRS) sollicité pour le contrôle scientifique de la prospection. Le choix des secteurs d'intervention a tenu compte de leur intérêt scientifique ainsi que de la disponibilité des terrains.

*Dans un souci d'accessibilité, toutes les figures de résultats ont été regroupées à la fin de ce rapport.*



### III Présentation du site et des zones prospectées

#### III.1 Contexte géographique et géologique

La commune de Dunières, dans l'est du département de Haute-Loire, se situe à 23 km au sud de Saint-Étienne et 25 km à l'ouest d'Annonay, dans le Velay (*Figure 1a*). Le site de La Tour est établi sur un éperon dominant la vallée de la Dunières, à environ 1 km à l'ouest du bourg de Dunières (*Figure 1b*).

Du point de vue géologique (Chevenoy *et al.*, 1998 ; Vitel *et al.*, 2000), la zone d'étude se situe sur des formations granitiques (*Figure 2*), matériaux qui affleurent en de nombreux endroits de l'éperon et qui ont sans doute servi pour la construction des structures empierrées sur le site.

#### III.2 Localisation et description des zones prospectées

La zone d'étude, correspondant à l'enceinte du site castral, s'est avérée assez difficile d'accès et a rendu compliqué la progression pour l'acquisition des données (*Figure 3*). En effet, en plus de la topographie très marquée et de la présence d'affleurements de granite, la végétation s'est avérée être par endroits particulièrement dense voir même impénétrable. Ainsi des secteurs entiers n'ont pas pu être prospectés, notamment dans la partie basse à l'ouest et sur une partie de l'arête centrale.

Au cours de cette étude, deux méthodes géophysiques ont été mises en œuvre (*Figure 4*) :

- Prospection électromagnétique EM38-MK2 : Deux acquisitions ont été réalisées avec cet appareil, à deux moments différents. Lors de la première phase (en bleu foncé sur la *Figure 4*), environ 2600 m<sup>2</sup> ont été couverts, ce qui représente 3147 points de mesure. Lors d'une seconde phase (en bleu clair sur la *Figure 4*), 4400 m<sup>2</sup> ont été couverts à l'intérieur de l'enceinte et au nord de celle-ci. 6085 mesures ont été acquises lors de cette seconde phase.
- Prospection électrique RM15 : Deux profondeurs d'acquisition ont été mises en œuvre pour cartographier les terrains accessibles au pied de la tour. Pour une profondeur de 1 m (en rouge sur la *Figure 4*) avec une maille d'acquisition de 1 m<sup>2</sup> (1 m \* 1 m), environ 1000 m<sup>2</sup> ont été couverts (1080 mesures). Pour une profondeur de 0.5 m (en rose sur la *Figure 4*) avec une maille d'acquisition de 0.25 m<sup>2</sup> (0.5 m \* 0.5 m), environ 560 m<sup>2</sup> ont été couverts (2256 mesures).

## IV Outils et méthodes

### IV.1 Méthode électromagnétique

#### IV.1.1 Paramètres mesurés, matériel et protocole de mesure

Les instruments de prospection électromagnétique, dits *Slingram* (McNeill, 1980a), fonctionnent sur le principe instrumental suivant (*Figure 5a*). Une bobine émettrice est parcourue par un courant électrique ; un champ électromagnétique primaire est créé dans le terrain, selon le principe de l'induction électromagnétique (Reynolds, 2011). Ce champ génère des courants induits (courants de Foucault) dans les matériaux conducteurs du terrain. À leur tour, ces courants créent un champ électromagnétique secondaire capté par la bobine réceptrice. Les différences entre l'amplitude et la phase du signal secondaire et celles du signal primaire dépendent de la conductivité électrique des matériaux du sol. L'analyse de ces différences traduit ainsi les variations latérales de conductivité du sol.

Un premier paramètre est donc mesuré : il s'agit de la conductivité électrique  $\sigma$ , exprimée en mS/m ; elle est fortement dépendante de la teneur en eau et ions, c'est-à-dire de l'humidité, de la teneur en argiles et de la salinité. Elle dépend donc de la nature des matériaux du sous-sol (McNeill, 1980b). Elle permet ainsi de différencier la géométrie des structures bâties, moins conductrices, ou de structures fossoyées, dont les matériaux de remplissage sont généralement plus conducteurs que l'encaissant. Dans le cas de cette étude, elle va permettre de mettre en évidence les zones résistantes pour lequel le substrat granitique est subaffleurant et les secteurs pouvant présenter un fort potentiel archéologique.

Les instruments sont calibrés afin de fournir directement la conductivité moyenne prenant en compte un certain volume d'intégration, c'est-à-dire sur une certaine épaisseur ; on parle alors de conductivité électrique apparente  $\sigma_a$ . Dans la configuration utilisée (dipôles verticaux), la valeur mesurée indique une moyenne pondérée des valeurs de conductivité entre la surface et une profondeur dépendante de l'espacement inter-bobines. Néanmoins, plus la conductivité électrique de surface est forte, plus la profondeur d'investigation sera faible ; ce paramètre est à prendre en compte dans le cas d'investigations dans des milieux très conducteurs tels que des marais littoraux.

Il faut également noter que les mesures sont sensibles aux variations de distance entre le sol et l'instrument. La microtopographie est à prendre en considération ; si l'appareil s'éloigne du sol, cela simule une diminution de la conductivité, et inversement.

La précision de mesure de la conductivité (signal en quadrature de phase) est de l'ordre de 0.5 mS/m à 1 mS/m.

Les instruments fournissent également une autre composante, dite en phase. Cette grandeur, exprimée dans une valeur arbitraire (ppt), est liée à la susceptibilité magnétique des matériaux ; elle est donc particulièrement sensible à la présence d'objets métalliques.

Le conductivimètre EM38-MK2 de la société *Geonics Ltd* (*Figure 5b*) possède une bobine émettrice et deux bobines réceptrices, autorisant deux profondeurs d'investigation : de 0.5 m à 1 m pour l'espacement inter-bobines de 0.5 m et de 1 m à 2 m pour l'espacement inter-bobines de 1 m. Il fonctionne à la fréquence de 14.6 kHz.

Une cartographie de conductivité est réalisée par un opérateur qui déplace un conductivimètre à la vitesse de marche que lui permet le terrain ; en moyenne, avec une vitesse d'acquisition automatique d'un point par seconde, on obtient un point tous les mètres. Les mesures sont visualisées en temps réel.

Le positionnement des points de mesures se fait automatiquement grâce à un GPS couplé au dispositif. Les coordonnées (ici exprimées dans le référentiel Lambert93 RGF93) sont enregistrées avec un GPS permettant de bons positionnements absolus (précision d'environ 2 m) et relatifs (précision décimétrique). L'emploi du GPS permet une grande liberté d'action, non contrainte par un carroyage, ce qui autorise des mesures dans des contextes difficiles d'accès. Il permet aussi l'orientation des profils dans les grandes parcelles. Les profils sont réalisés, dans la mesure du possible, avec un espacement maximal de 2 m dans le cas de l'EM38-MK2.

### IV.1.2 Traitement et représentation des données

Les résultats sont représentés par des images en isovaleurs colorées à l'aide du logiciel Surfer 12 (*Golden Software*). À partir de points dont la répartition est irrégulière dans l'espace, une grille régulière (à maille carrée) est générée, possédant en chaque nœud de la grille une valeur fonction des valeurs mesurées à proximité. La méthode d'interpolation retenue ici est la méthode dite *Inverse Distance to a Power* ; elle permet la prise en compte des points les plus proches, avec une importance qui décroît en fonction de la distance. Ainsi, en fonction de l'instrument, les grilles générées présentent des caractéristiques différentes. Pour l'EM38-MK2, la maille d'interpolation est fixée à 1 m \* 1 m en utilisant un rayon d'interpolation de 2 m.

Les grilles générées présentent ainsi des trous, dans lesquels aucune valeur n'a été calculée ; les zones non investiguées (au-delà du rayon de prise en compte des points) apparaissent vides sur les cartes. Du fait du mode de génération des cartes, des artefacts liés à l'interpolation peuvent toutefois apparaître ; dans ce cas, il est nécessaire de se référer aux mesures réelles afin de valider ou non certains détails.

Pour l'interprétation des résultats, le choix de l'échelle de couleurs nécessite une attention particulière afin d'optimiser le seuillage. Cela pose notamment des difficultés lorsque la dynamique du signal est très importante, c'est-à-dire que le signal s'étale sur une large plage de valeurs, mais que les structures présentent des contrastes ténus (*Figure 6*). De plus, d'une zone à l'autre, la conductivité électrique apparente moyenne peut être assez variable, ce qui peut rendre la comparaison difficile entre les différentes parcelles prospectées.

L'échelle de couleurs choisie laisse apparaître des contrastes entre les structures. Les couleurs les plus "chaudes" (allant vers le rouge) correspondent aux structures résistantes, c'est-à-dire soit les structures bâties, soit les zones avec le substrat granitique affleurant. Les couleurs les plus "froides" (allant vers le gris clair) correspondent aux zones les plus conductrices, c'est-à-dire les zones avec une épaisseur de sol importante.

## IV.2 Méthode électrique

### IV.2.1 Paramètres mesurés, matériel et protocole de mesure

Les prospections électriques ont été réalisées avec un résistivimètre RM15 (*Figure 7a*) de la société *Geoscan Research*, spécialement conçu pour des applications archéologiques.

La méthode consiste à mesurer une résistivité électrique du terrain dans une gamme choisie de profondeurs. La résistivité  $\rho$ , exprimée en ohm.mètre ( $\Omega.m$ ), est une expression de la nature et de la structure du terrain qui dépend de sa teneur en eau et en ions car c'est principalement l'eau chargée (électrolyte) contenue dans le milieu qui permet le passage du courant électrique ; c'est l'inverse de la conductivité électrique  $\sigma$ . La méthode électrique est donc parfaitement adaptée à l'étude de structures bâties, résistantes, enfouies dans un milieu naturel formé de sédiments à faible granulométrie, moins résistants (Tabbagh *et al.*, 2000 ; Samouëlian *et al.*, 2005). L'obtention d'une cartographie électrique satisfaisante repose sur deux conditions essentielles :

- Choisir une profondeur d'investigation adaptée à la profondeur des structures recherchées ;
- Réaliser les mesures sur une grille de résolution suffisante pour détecter les structures et atteindre une précision de positionnement de celles-ci adaptée à la finalité de l'étude.

La méthode repose sur l'utilisation de deux paires d'électrodes, l'une qui sert à injecter un courant électrique  $I$  dans le sol en deux points, A et B, de façon à créer une boucle de courant, et l'autre qui permet de mesurer la différence de potentiel  $V$  entre deux autres points, M et N (*Figure 7b*). Parmi les différents types de dispositifs existant, nous n'utilisons ici que la configuration pôle-pôle qui est celle la plus adaptée à la cartographie en contexte archéologique (Martinaud, 1990). Elle consiste à placer les électrodes B et N à une grande distance de la zone prospectée, de l'ordre de 50 à 100 fois la distance inter-électrodes  $a$ , de manière à pouvoir les considérer à l'infini. Pour réaliser une cartographie électrique de la surface du sol, les électrodes A et M sont déplacées point à point conjointement le long de profils parallèles et équidistants. On les plante simultanément dans le sol en se déplaçant à chaque nœud d'une grille, le plus souvent de maille carrée. La résistivité mesurée est celle du sol jusqu'à une certaine profondeur, correspondant à peu près à l'écartement entre les électrodes.

Au cours de cette étude, l'acquisition a été réalisée pour deux profondeurs d'investigation :

- Écartement inter-électrodes de 1 m et maille d'acquisition de 1 m<sup>2</sup> (1 m \* 1 m) ;
- Écartement inter-électrodes de 0.5 m et maille d'acquisition de 0.25 m<sup>2</sup> (0.5 m \* 0.5 m).

Les données sont acquises dans un système de coordonnées locales. Le carroyage est ensuite relevé par GPS pour géoréférencer les mesures et ainsi permettre de les replacer dans un système géographique commun à toutes les informations spatiales.

La précision de la mesure est de l'ordre de 0.3  $\Omega$ .m pour une profondeur d'investigation de 1 m.

#### IV.2.2 Traitement et représentation des données

Les résultats sont représentés par des images en isovaleurs colorées à l'aide du logiciel Surfer 12 (*Golden Software*). Une méthode d'interpolation linéaire, dite *Triangulation with Linear Interpolation*, est choisie pour interpoler les données selon une grille régulière dont la maille est identique à la maille de mesure. Cette discrétisation de l'espace est souvent à l'origine d'une exagération de la largeur des structures dont les dimensions sont légèrement inférieures à celles des anomalies correspondantes.

Puisque les valeurs obtenues dépendent de l'état d'humidité du sol au moment de la mesure, la gamme de valeurs peut varier d'un jour à l'autre notamment s'il a plu entre deux acquisitions. Si tel est le cas, les échelles de couleurs de l'ensemble des zones prospectées sont harmonisées. Elles sont également optimisées afin de rendre compte au mieux de la dynamique total du signal tout mettant en évidence les anomalies significatives mais peu contrastées.

Afin de faciliter la comparaison des résultats des prospections électriques et électromagnétiques, les couleurs ont été choisies de sorte que les mêmes couleurs représentent les mêmes structures. Les couleurs les plus "chaudes" (allant vers le rouge) correspondent aux structures résistantes, c'est-à-dire les structures bâties et avec un substrat proche de la surface. Les couleurs les plus "froides" (allant vers le gris clair) correspondent aux zones les plus conductrices, c'est-à-dire les zones présentant une concentration en pierres moins importante.

## V Résultats et discussion

### V.1 Prospection électromagnétique EM38-MK2

La Phase 1 de la prospection électromagnétique réalisée avec l'EM38-MK2 autour de la tour a permis d'obtenir quatre cartes (*Figure 8*) :

- Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 1 m (*Figure 8a*) : Les valeurs de conductivité sont comprises entre 0.1 mS/m et 8.9 mS/m. C'est une gamme de variations relativement restreinte et des valeurs globalement très résistantes, ce qui est très cohérent compte-tenu du contexte géologique. Les valeurs les plus élevées sont situées dans la partie nord au niveau des espaces dégagés, tandis que les valeurs ponctuelles les plus faibles se retrouvent plutôt dans la partie sud, dans le sous-bois.
- Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 0.5 m (*Figure 8b*) : La gamme de conductivité est très similaire à celle de la carte précédente ( $0.1 \text{ mS/m} < \sigma_a < 10 \text{ mS/m}$ ). Si on retrouve dans la partie sud des anomalies ponctuelles résistantes, des contrastes plus marqués apparaissent dans la partie nord.
- Cartes du signal en phase pour un écartement inter-bobines de 1 m (*Figure 8c*) et de 0.5 m (*Figure 8d*) : Ce paramètre est particulièrement sensible aux sources de perturbations liées aux aménagements actuels du site, et plus particulièrement les objets métalliques hors-sol ainsi que les réseaux enterrés. Ainsi, les valeurs absolues les plus élevées, principalement positives, indiquent les secteurs perturbés qui ne doivent pas être pris en compte pour l'interprétation des données.

Afin de compléter cette première acquisition, une Phase 2 a été effectuée (*Figure 9*) afin de couvrir une surface plus importante (partie nord de l'enceinte nettoyée, traversée de végétation dense, cartographie à l'extérieur de l'enceinte). Compte-tenu des conditions météorologiques variables entre les deux acquisitions, il existe des différences au niveau des valeurs mesurées en certains endroits :

- Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 1 m (*Figure 9a*) : La gamme de conductivité est très similaire à celle de la Phase 1 ( $0.1 \text{ mS/m} < \sigma_a < 9.5 \text{ mS/m}$ ). On retrouve un gradient assez marqué de conductivité croissante du sud vers le nord, qui suit schématiquement la baisse de l'altitude (point culminant au sud). Toutefois, il faut noter qu'une grande partie de la zone résistante au sud correspond à un sous-bois assez dense, ce qui a "préservé" le sol des précipitations ayant eu lieu pendant la durée de l'étude, contribuant à rendre plus sec ce secteur.
- Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 0.5 m (*Figure 9b*) : On retrouve une gamme de conductivité très similaire à celle de la carte obtenue pendant la Phase 1 ( $0.1 \text{ mS/m} < \sigma_a < 10 \text{ mS/m}$ ). On constate également ici que les contrastes locaux sont plus marqués pour cette profondeur d'investigation.
- Cartes du signal en phase pour un écartement inter-bobines de 1 m (*Figure 9c*) et de 0.5 m (*Figure 9d*) : On retrouve les sources ponctuelles de perturbations liées à l'histoire récente du site (usage "agricole" ...).

Compte-tenu des valeurs et des variations observées, l'écartement inter-bobines de 1 m semble prendre en compte un volume d'intégration trop important. Par conséquent, il reflète principalement la géologie et notamment les variations de la profondeur du toit du substrat granitique. L'interprétation des données issues de la prospection électromagnétique se basera donc sur les cartes obtenues avec l'espace inter-bobines de 0.5 m, en combinant les acquisitions de la Phase 1 et de la Phase 2 (*Figure 10*).

La partie sud de la parcelle 115 (parcelle qui correspond à la zone délimitée par un mur d'enclos) se montre très hétérogène. Les zones les plus résistantes (A1 à A4) correspondent sans doute à des zones d'accumulation d'éléments résistants le long du mur sud, au niveau de zones "basses". On constate que les valeurs élevées de résistivité, si elles se développent dans les zones basses (B1 à B5), peuvent également être présentes au niveau des différentes "bosses" assez marquées dans ce secteur (C1 à C2). Il est très difficile de mettre en évidence une géométrie particulière au sein de ces différentes anomalies ; il est donc possible que ces valeurs soient liées à la proximité du substrat granitique et/ou à la présence d'aménagements anthropiques empierrés.

Au niveau de l'arête dominant le site sur laquelle plusieurs sondages archéologiques ont été réalisés, les valeurs les plus élevées de résistivité semblent indiquer les zones d'aménagements anthropiques (D1 à D3) ; toutefois, les excavations liées aux opérations de fouilles peuvent avoir une influence non négligeable sur les mesures.

En contrebas à l'ouest de cette arête, on constate une nette différence entre le chemin (E1), qui se traduit par des valeurs élevées de résistivité et pour lequel des éléments résistants (empierrement, substrat granitique) sont présents à proximité de la surface, et la bande de végétation plus à l'ouest (E2), qui elle présente des valeurs plus conductrices indiquant une épaisseur de sol plus importante.

Au niveau de la zone dégagée au sud de la tour, les valeurs mesurées sont globalement moyennement résistantes, avec toutefois des secteurs limités plus résistants, qui correspondent soit à des rochers granitiques formant des plateformes (F1 et F2) soit à des secteurs en zone basse pour lesquels le substrat granitique peut être subaffleurant (F3 et F4).

Au pied de la tour, on note la présence d'une bande conductrice faisant le tour de celle-ci (G1) ; située sur un secteur surélevé, cette bande semble indiquer une accumulation de matériaux plus terreux à cet endroit. Le chemin coincé entre cette zone haute et une dépression marquée à l'ouest montre des valeurs très résistantes (G2) ; si la présence proche du substrat granitique est possible, il est également envisageable qu'un empierrement destiné à stabiliser le secteur soit présent ici.

Au nord de la tour, on constate une nette différence entre les zones basses, conductrices (H1 à H4), et la zone haute, résistante (I1). À cet endroit, différents murs visibles indiquent la présence d'au moins un ancien bâtiment dont l'orientation NNW-SSE semble être confirmée par l'anomalie résistante I2.

À l'extérieur de l'enceinte, sur les terrains situés en contrebas, les valeurs conductrices mesurées (J1 et J2) semblent indiquer que le substrat est plus profond ; aucun aménagement anthropique résistant n'a pu être mis en évidence à l'aide de cette méthode.

## **V.2 Prospection électrique RM15**

### **V.2.1 Écartement inter-électrodes de 1 m**

La prospection électrique menée pour une profondeur d'investigation de l'ordre de 1 m a permis d'obtenir une carte de la résistivité électrique s'intéressant aux terrains situés au nord, à l'ouest et au sud de la tour (*Figure 11*). Les valeurs mesurées sont globalement assez élevées ( $643.7 \Omega.m < \rho_a < 4421.1 \Omega.m$ ), ce qui s'explique par la nature des matériaux présents dans le proche sous-sol.

L'interprétation de cette carte (*Figure 12*) permet d'affiner les observations réalisées au cours de la prospection électromagnétique.

On retrouve au sud une anomalie très résistante (F3) qui peut s'expliquer par la proximité du substrat granitique au pied de l'arête. Il n'est toutefois pas impossible que des aménagements en pierres soient présents dans ce secteur. On note également la présence de valeurs élevées au nord de F3, déjà identifiées avec la méthode précédente (F2).

Immédiatement au nord, on remarque une limite linéaire nette (K1) entre des valeurs moyennement résistantes au sud et plus conductrices au nord. Il est probable que cette limite indique la présence d'un aménagement. On retrouve des valeurs du même ordre de grandeur au niveau du chemin (G2), ce qui peut confirmer la présence d'un empierrement destiné à stabiliser cet endroit.

Tout autour de la tour, les valeurs conductrices (G1) indiquent une épaisseur de matériaux terreux au-dessus du substrat granitique. Cette accumulation peut également être liée à l'activité anthropique sur le site pendant l'aménagement de la zone, avec un apport de terre au pied de la tour.

Un certain nombre d'anomalies résistantes sont présentes au nord de la tour ; elles indiquent quasiment toutes des structures bâties. Au pied de la butte sur laquelle est établie la tour, l'anomalie ponctuelle I3 correspond à un empierrement de quelques mètres carrés. Plus à l'est, la vaste zone hétérogène moyennement résistante (I4) est plus complexe à interpréter, en raison des fortes variations microtopographiques ; on peut y voir à la fois la proximité du substrat et la présence de traces de vestiges bâtis. En bordure de la dépression au nord, des valeurs résistantes forment une étroite bande curviligne (I5) ; il est possible qu'un empierrement soit présent au niveau de la rupture de pente. On retrouve une anomalie résistante très marquée (I2), en bordure de la dépression, en lien avec les maçonneries de ce secteur, tout comme les valeurs très élevées visibles à la limite nord-est de la zone prospectée (I6) qui se situent en bordure de la zone haute, où des moellons témoignent de la présence d'un bâtiment.

## V.2.2 Écartement inter-électrodes de 0.5 m

La prospection électrique menée pour une profondeur d'investigation de l'ordre de 0.5 m a permis d'obtenir une carte de la résistivité électrique avec une meilleure résolution sur les mêmes zones (*Figure 13*). Les valeurs mesurées sont globalement du même ordre de grandeur que pour la carte précédente ( $535.4 \Omega.m < \rho_a < 3620.4 \Omega.m$ ).

On retrouve sur cette carte (*Figure 14*) la plupart des anomalies identifiées pour la prospection réalisée avec un écartement inter-électrodes de 1 m, mais la résolution quatre fois plus élevée permet de préciser certaines de ces anomalies.

Au sud, l'anomalie F3 est confirmée par sa décroissance graduelle vers le nord pouvant indiquer la présence du substrat granitique à proximité de la surface dans le prolongement de l'arête. On retrouve également au pied sud-est de la tour des valeurs élevées (F2) à proximité d'un affleurement granitique.

Si la limite K1 est ici bien marquée, on constate que pour sa partie ouest les valeurs élevées mesurées peuvent indiquer la présence d'un empierrement linéaire d'une largeur de 2.5 m (K2) plus marqué en surface qu'en profondeur ; peut-il s'agir des vestiges d'un mur ? Cette anomalie est proche, tant du point de vue spatial que du point de vue des valeurs, de l'anomalie G2, qui est un probable empierrement du chemin.

Autour de la tour, au niveau de la butte, on retrouve des valeurs plus faibles de résistivité (G1) qui montre que les matériaux de surface dans ce secteur sont dépourvus d'éléments en pierre.

Si au nord du pied de la tour on retrouve les anomalies résistantes I3 et I4, l'interprétation des bordures de la dépression est ici affinée. Ainsi, à l'ouest, au niveau d'un roncier, on note la présence ponctuelle de valeurs très résistantes (I7) qui trahissent la présence d'une forte accumulation de pierres. Les valeurs élevées de résistivité présentes au niveau de la bordure de la dépression (I5 et I2) semblent associées à un empierrement, mais on ne peut pas écarter l'hypothèse d'un phénomène lié à l'effet drainant de cette dépression, qui assècherait la bordure et la rendrait plus résistante. Au nord-est, on retrouve des valeurs extrêmement élevées à proximité du bâti affleurant (I6) ; on note toutefois la présence d'une zone conductrice (I8) pour laquelle aucun élément granitique naturel ou anthropique n'est présent en surface.

## **VI Conclusions et perspectives**

Les prospections géophysiques menées sur le site castral de La Tour à Dunières montrent des résultats contrastés. En effet, en raison de la présence d'une végétation dense, les surfaces prospectées n'ont pas pu être aussi étendues qu'initialement envisagé, se concentrant principalement au niveau des espaces accessibles, en particulier autour de la tour elle-même. De plus, la proximité du substrat granitique et la topographie par endroits très marquée rend l'interprétation des cartes délicate, en particulier pour la prospection électromagnétique. Néanmoins, certaines anomalies résistantes, en particulier celles précisées par la méthode électrique, indiquent un potentiel archéologique élevé.

Les méthodes de prospection géophysique, bien qu'apportant des informations essentielles, ne peuvent se substituer aux fouilles archéologiques. Il semble ainsi nécessaire de réaliser un ou plusieurs sondages localisés. Cette vérification est une étape indispensable permettant de valider ou non les hypothèses formulées suite à l'interprétation des données géophysiques, notamment sur l'identification des différentes anomalies.



## VII Bibliographie

- Camus A. & Mathé V. (2012). *Prospections géophysiques du site néolithique des Châtelliers (Auzay, Vendée)*. ULR Valor - UMR 7266 LIENSs. 34 p.
- Camus A. & Mathé V. (2013). *Travaux de prospection géophysique autour du tumulus de la Motte de La Jacquille (Fontenille, Charente)*. ULR Valor - UMR 7266 LIENSs. 38 p.
- Camus A. & Mathé V. (2015). *Prospections électriques sur le site du castrum de Roquefort (Sorèze, Tarn)*. ULR Valor - UMR 7266 LIENSs. 24 p.
- Chevenoy M., Ledru P., Feybesse J.-L., Jauffret D. & Etlicher B. (1998). *Carte géologique au 1/50000<sup>ème</sup> et notice explicative : feuille d'Annonay (n°769)*. BRGM.
- Martinaud M. (1990). *Intérêts du dispositif bipôle C-P en prospection électrique non mécanisée*. Revue d'Archéométrie 14, 5-16.
- McNeill J. D. (1980a). *Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers*. Technical Note TN-6. 13 p.
- McNeill J. D. (1980b). *Electrical conductivity of soils and rocks*. Technical Note TN-5. 20 p.
- Reynolds J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics (Second Edition)*. Wiley. 696 p.
- Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., Bruand A. & Richard G. (2005). *Electrical resistivity survey in soil science: a review*. Soil & Tillage Research 83, 173-193.
- Tabbagh A., Dabas M., Hesse A. & Panissod C. (2000). *Soil resistivity: a non-invasive tool to map soil structure horizonation*. Geoderma 97, 393-404.
- Vitel G., Garcia D., Turland M., Gonord H., Etlicher B. & Chafchafi A. (2000). *Carte géologique au 1/50000<sup>ème</sup> et notice explicative : feuille de Monistrol-sur-Loire (n°768)*. BRGM.

### Citation de ce rapport :

Camus A. & Mathé V. (2015). *Travaux de prospection géophysique sur le site castral de La Tour (Dunières, Haute-Loire)*. ULR Valor – UMR 7266 LIENSs. 28 p.

## VIII Figures

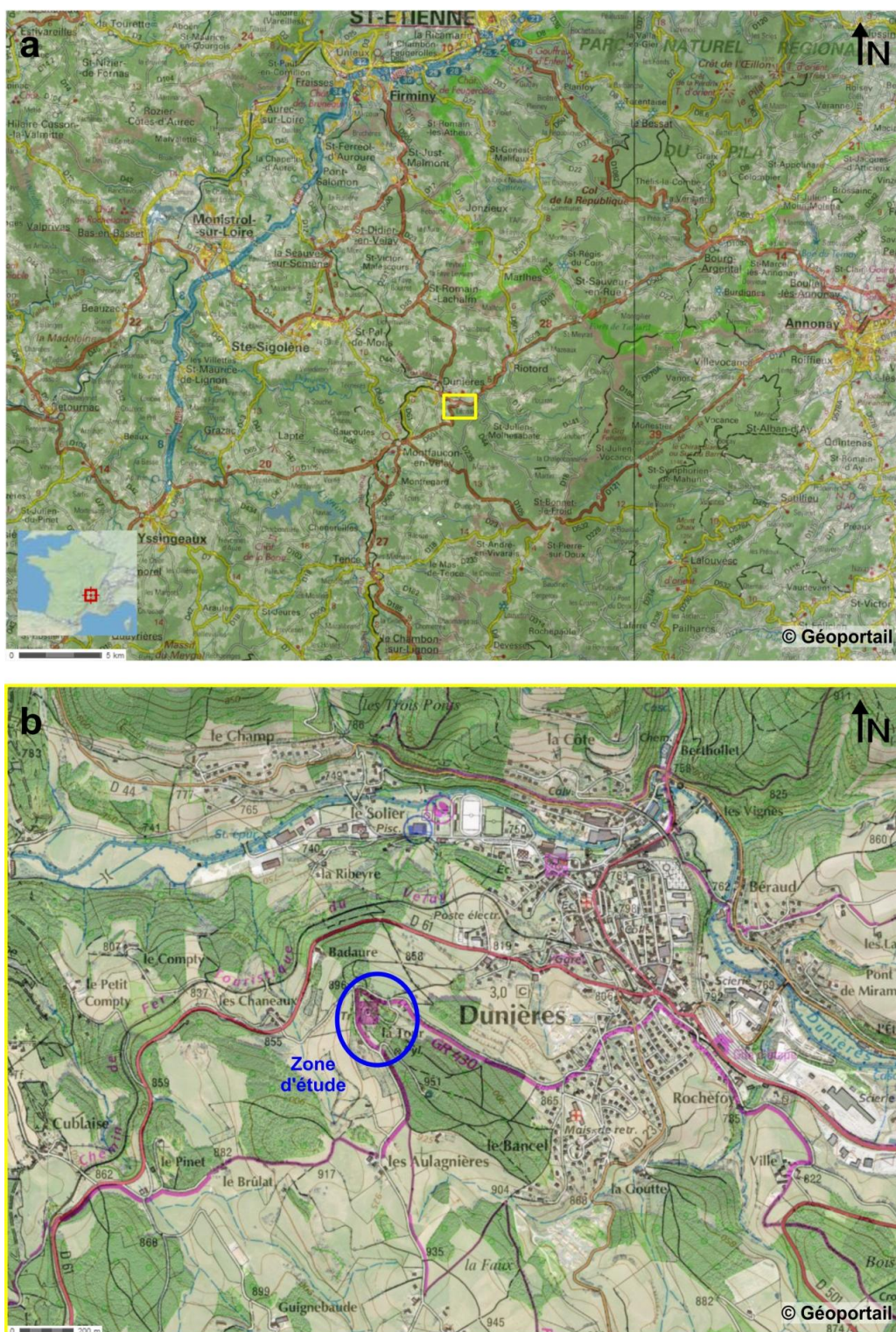


Figure 1: Situation géographique du site de La Tour (Dunières, Haute-Loire). Données issues du site Géoportail (<http://www.geoportail.fr>); source : IGN). a) Carte topographique de la situation de la zone d'étude. b) Localisation de la zone prospectée (en bleu) sur une combinaison d'orthophotographies et de cartes topographiques.



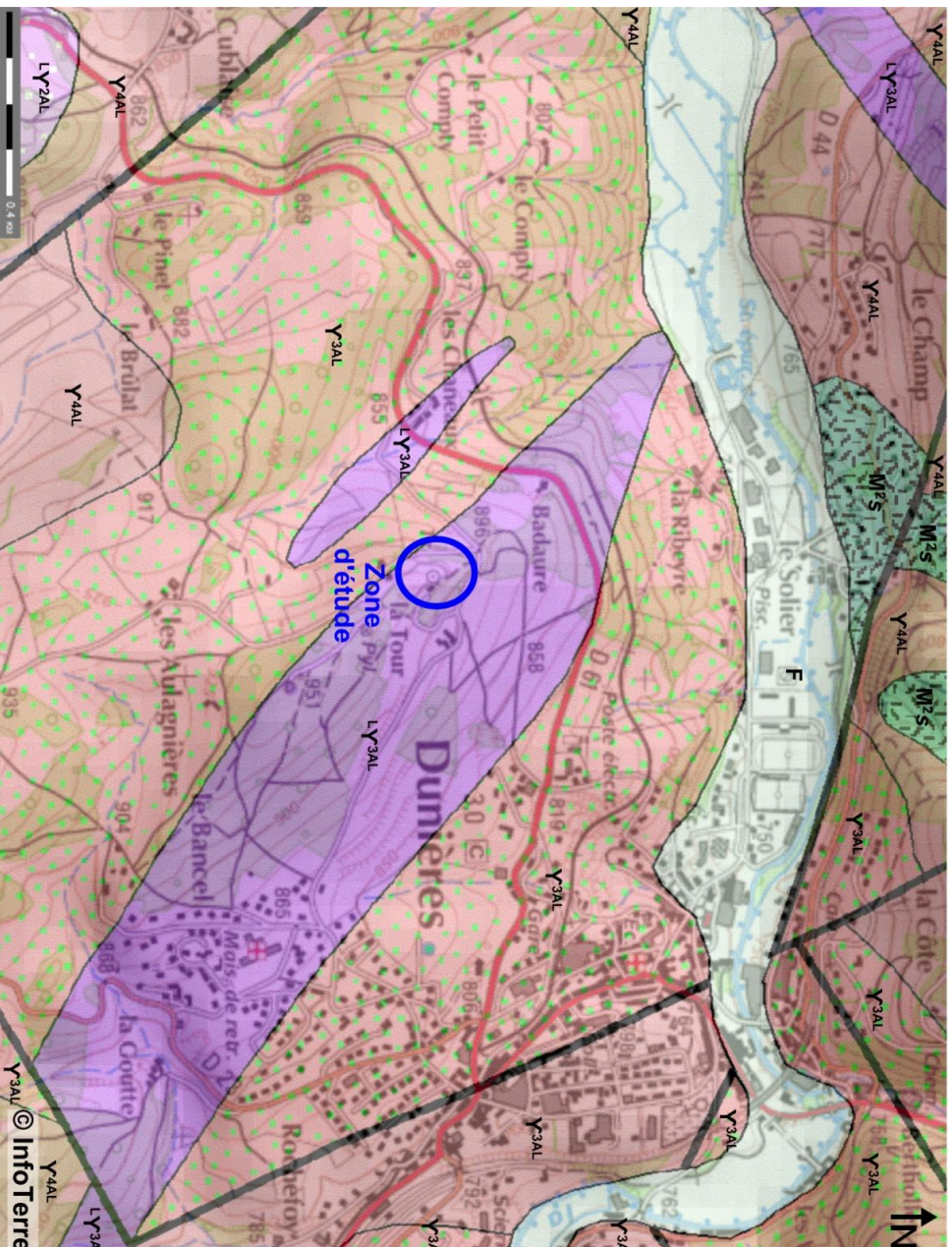


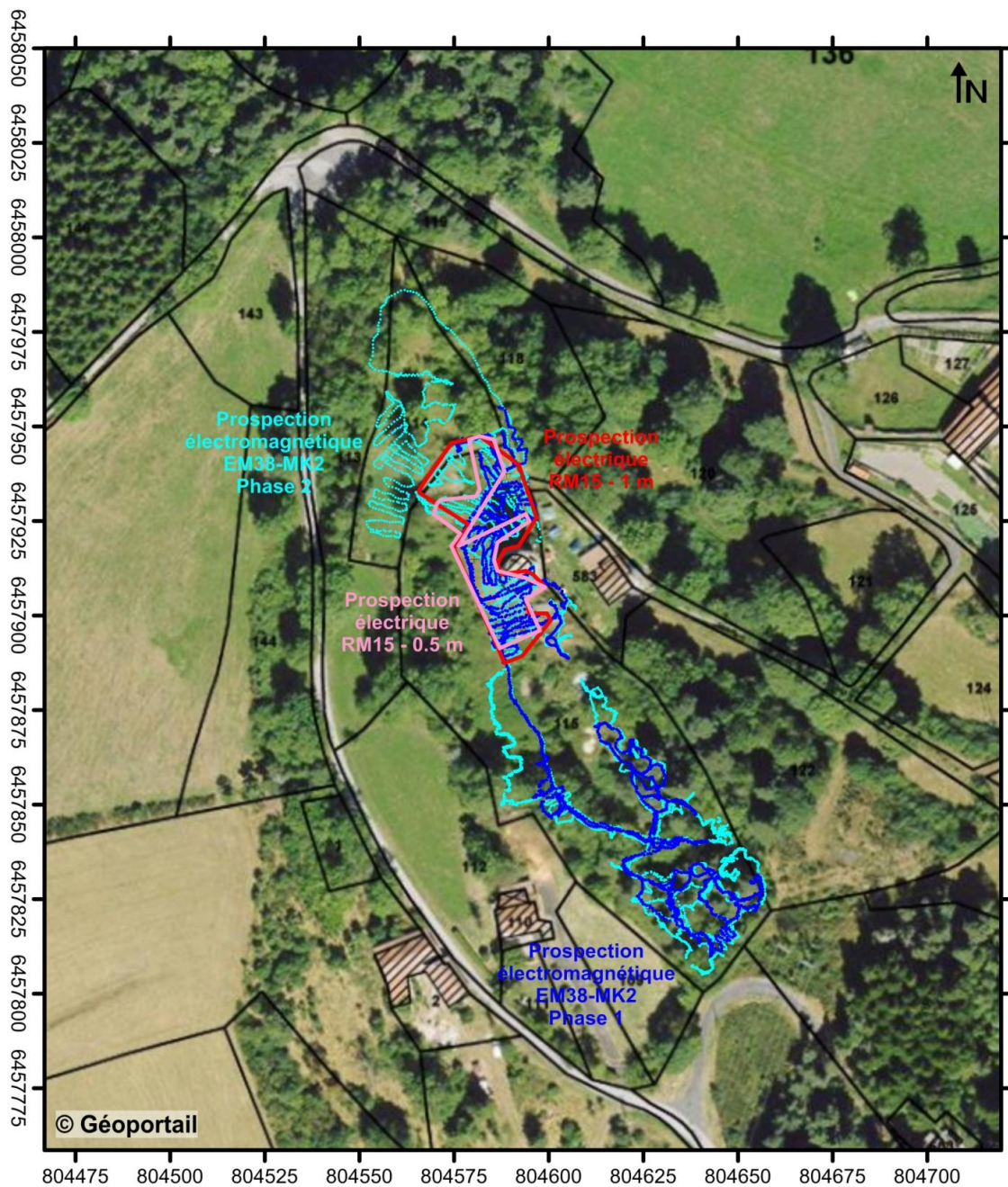
Figure 2 : Contexte géologique des environs de Dunières et localisation de la zone prospectée (en bleu). Données issues des cartes géologiques de Monistrol-sur-Loire (Vitel *et al.*, 2000) à l'ouest et d'Annonay (Chevenoy *et al.*, 1998) à l'est disponibles sur le site InfoTerre du BRGM (©BRGM; <http://www.infoterre.brgm.fr>). F : alluvions ;  $\gamma^{3AL}$  : leucogranite à biotite et muscovite en filon ;  $\gamma^{3AL}$  : granite monzonitique à biotite et cordiérite ;  $M^2S$  : anatexites sombres à cordiérite et/ou sillimanite ;  $\gamma^{4AL}$  : monzogranodiorite hétérogène à cordiérite ;  $\gamma^{2AL}$  : leucogranite monzonitique hétérogène à cordiérite.



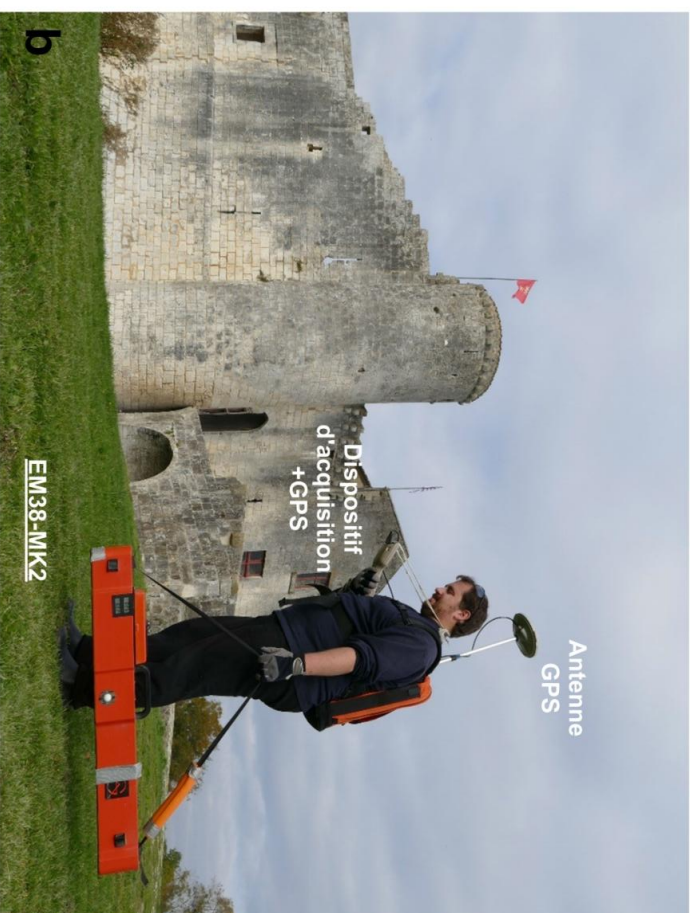
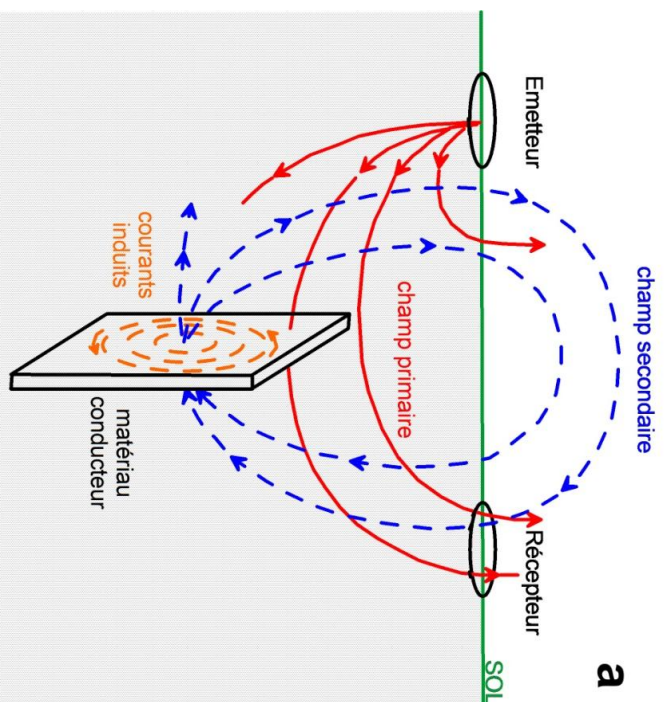


**Figure 3** : Panoramas sur la zone d'étude. Clichés : ULR Valor.





**Figure 4 :** Localisation des zones prospectées autour du Logis de Moullins. En bleu foncé : prospection électromagnétique EM38-MK2 phase 1 ; en bleu clair : prospection électromagnétique EM38-MK2 phase 2 ; en rouge : prospection électrique RM15 pour un écartement inter-électrodes de 1 m ; en rose : prospection électrique RM15 pour un écartement inter-électrodes de 0.5 m. Fond orthophotographique et cadastral (source : IGN) issu du site Géoportail (<http://www.geoportail.fr>). Coordonnées Lambert93 RGF93.



**Figure 5 :** Prospection électromagnétique. a) Schéma présentant le principe de fonctionnement de la méthode : une bobine (l'émetteur) parcourue par un courant crée un champ électromagnétique primaire (en rouge) dans le terrain. Ce champ génère des courants induits (en orange) dans les matériaux conducteurs du terrain. Ces courants créent un champ électromagnétique secondaire (en bleu) capté par l'autre bobine (le récepteur). Les différences entre l'amplitude et la phase du signal secondaire et celles du signal primaire dépendent de la conductivité électrique des matériaux du sol. L'analyse de ces différences traduit ainsi les variations de conductivité du sol. Schéma : V. Mathé. b) Mise en œuvre du conductivimètre *Geonics EM38-MK2*. Cliché : ULR Valor.



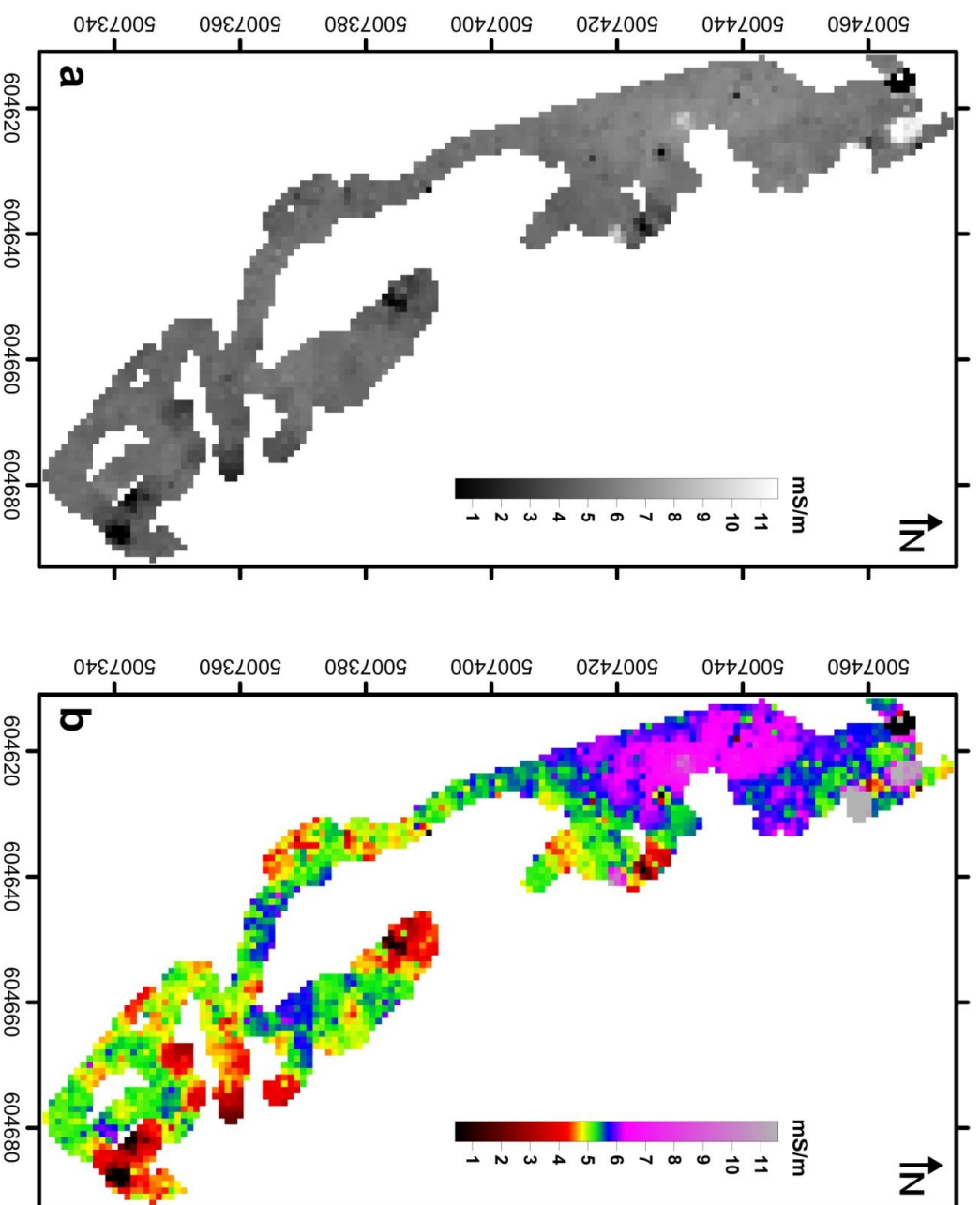
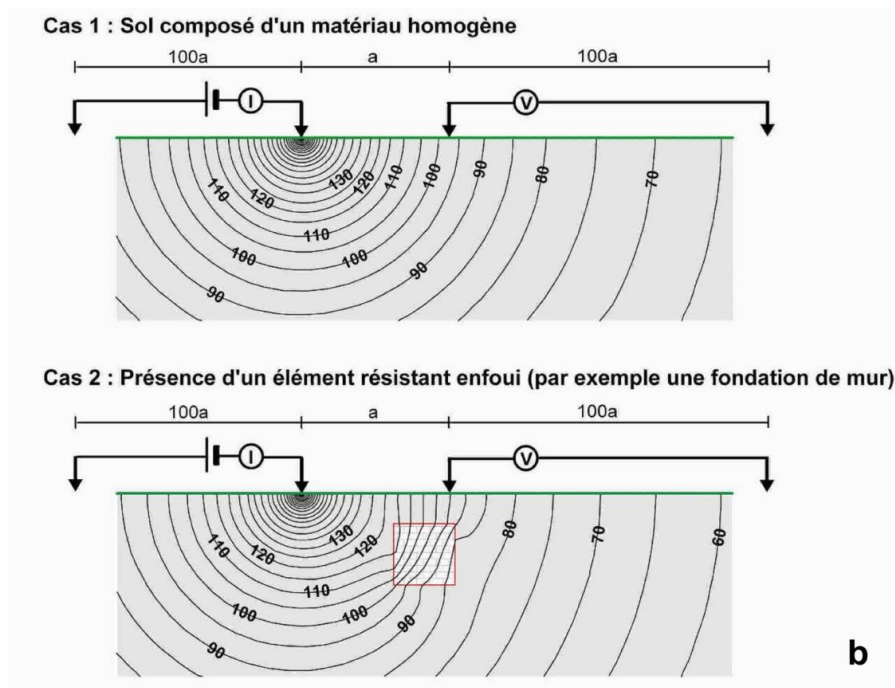
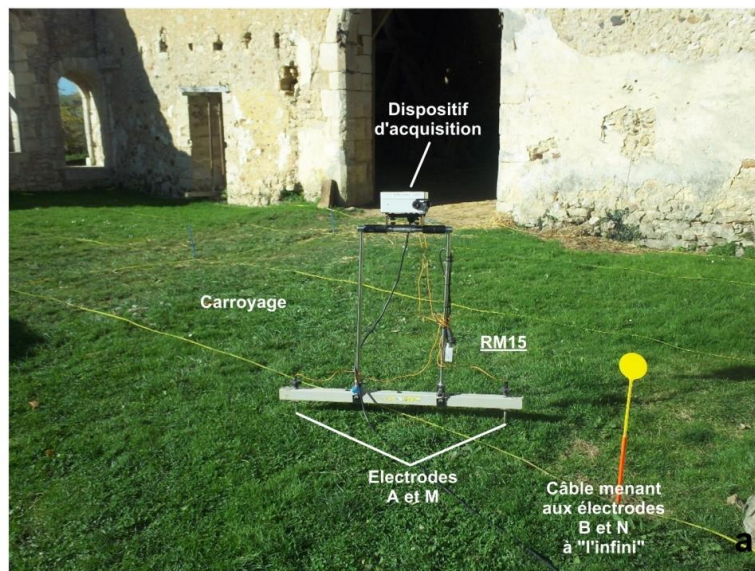
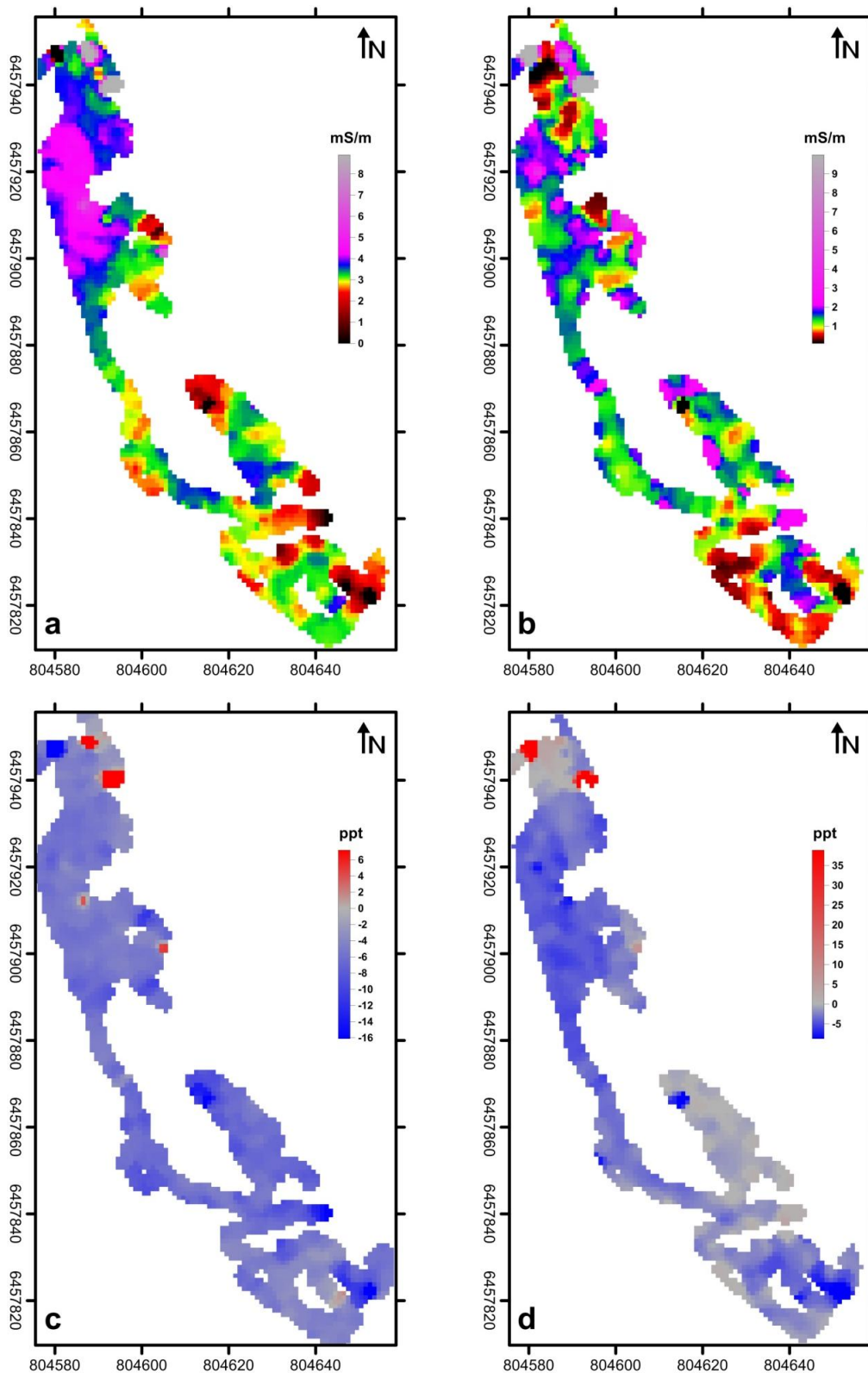


Figure 6 : Prospection électromagnétique. Exemple d'optimisation de l'échelle de représentation des données. Cartes de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  (en mS/m) pour un écartement inter-bobines de 1 m. Coordonnées UTM31 WGS84. a) Échelle de couleurs non optimisée (dégradé entre deux couleurs représentant chacune un extrémum). b) Échelle de couleurs optimisée.

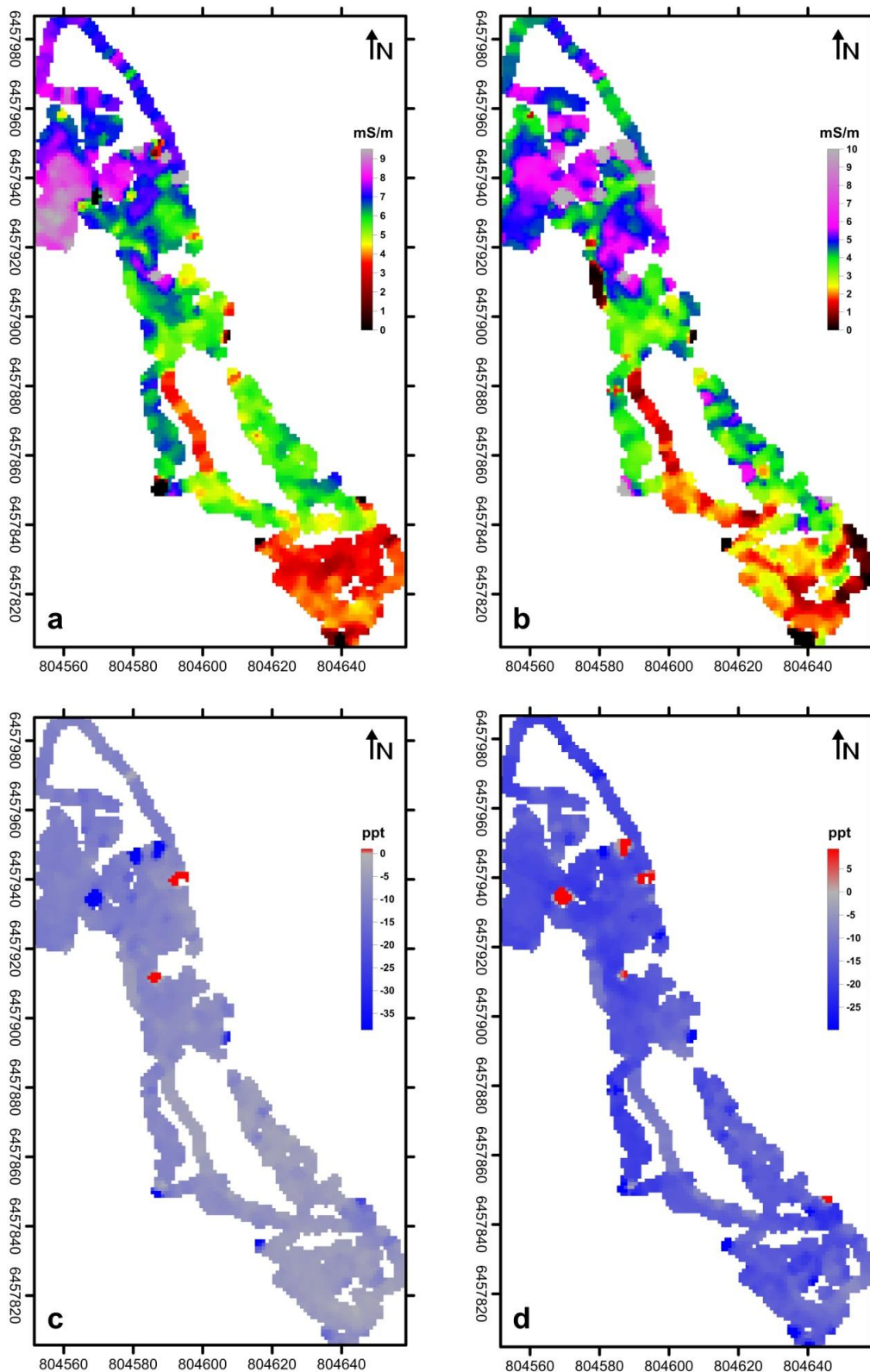


**Figure 7 :** Prospection électrique. a) Mise en œuvre du résistivimètre *Geoscan Research* RM15. Cliché : ULR Valor. b) La méthode repose sur l'utilisation de deux paires d'électrodes, l'une qui sert à injecter un courant électrique ( $I$ ) dans le sol en deux points, de façon à créer une boucle de courant, et l'autre qui permet de mesurer la différence de potentiel ( $V$ ) entre deux autres points. Deux électrodes sont espacées d'une faible distance ( $a$ ) correspondant approximativement à la profondeur d'investigation. Les deux autres sont positionnées à une grande distance de la zone prospectée, de l'ordre de  $100a$ , de manière à pouvoir les considérer à l'infini. Dans ces conditions, le paramètre mesuré, la résistivité, ne dépend que de  $I$ , de  $V$  et de  $a$ . Sur un sol homogène (cas 1), le potentiel électrique est constant sur des surfaces sphériques (arcs de cercle noirs). Par conséquent, la résistivité électrique est constante. Par contre, la présence d'une masse résistante (carré rouge, cas 2) perturbe la distribution du potentiel électrique. Ceci conduit à des valeurs plus fortes de résistivité à la verticale de cette hétérogénéité représentant par exemple un mur de pierre. Une cartographie est obtenue en déplaçant à pas régulier les deux électrodes écartées de  $a$ . Schéma : V. Mathé.





**Figure 8 :** Résultats de la Phase 1 de la prospection électromagnétique EM38-MK2 réalisée sur le site de La Tour. Coordonnées Lambert93 RGF93. a) Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 1 m. b) Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 0.5 m. c) Carte du signal en phase pour un écartement inter-bobines de 1 m. d) Carte du signal en phase pour un écartement inter-bobines de 0.5 m.



**Figure 9 :** Résultats de la Phase 2 de la prospection électromagnétique EM38-MK2 réalisée sur le site de La Tour. Coordonnées Lambert93 RGF93. a) Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 1 m. b) Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 0.5 m. c) Carte du signal en phase pour un écartement inter-bobines de 1 m. d) Carte du signal en phase pour un écartement inter-bobines de 0.5 m.

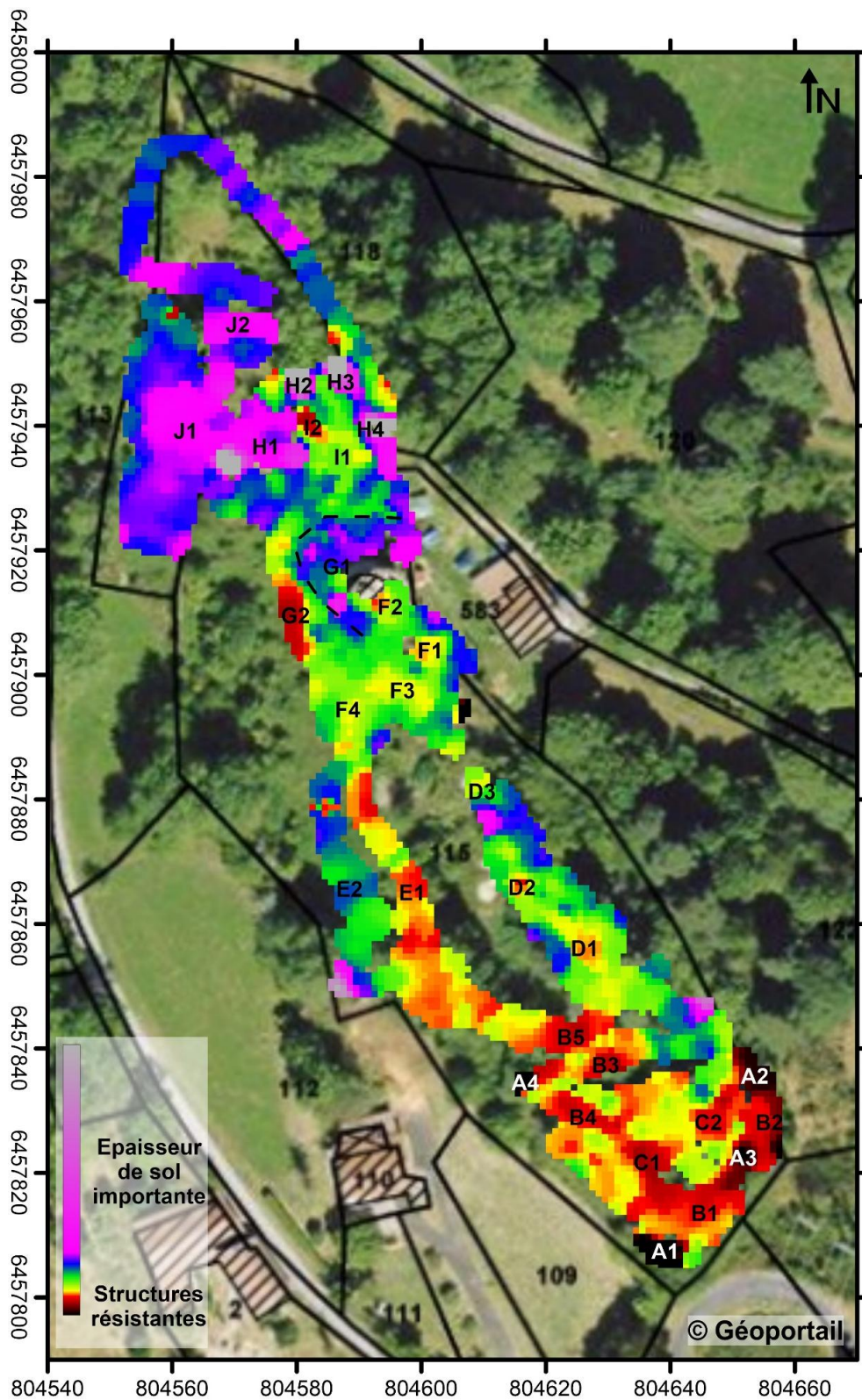


Figure 10 : Interprétation de la prospection électromagnétique EM38-MK2 réalisée sur le site de La Tour. Carte de la conductivité électrique apparente  $\sigma_a$  pour un écartement inter-bobines de 0.5 m. Fond orthophotographique et cadastral (source : IGN) issu du site Géoportail (<http://www.geoportail.fr>). Coordonnées Lambert93 RGF93.



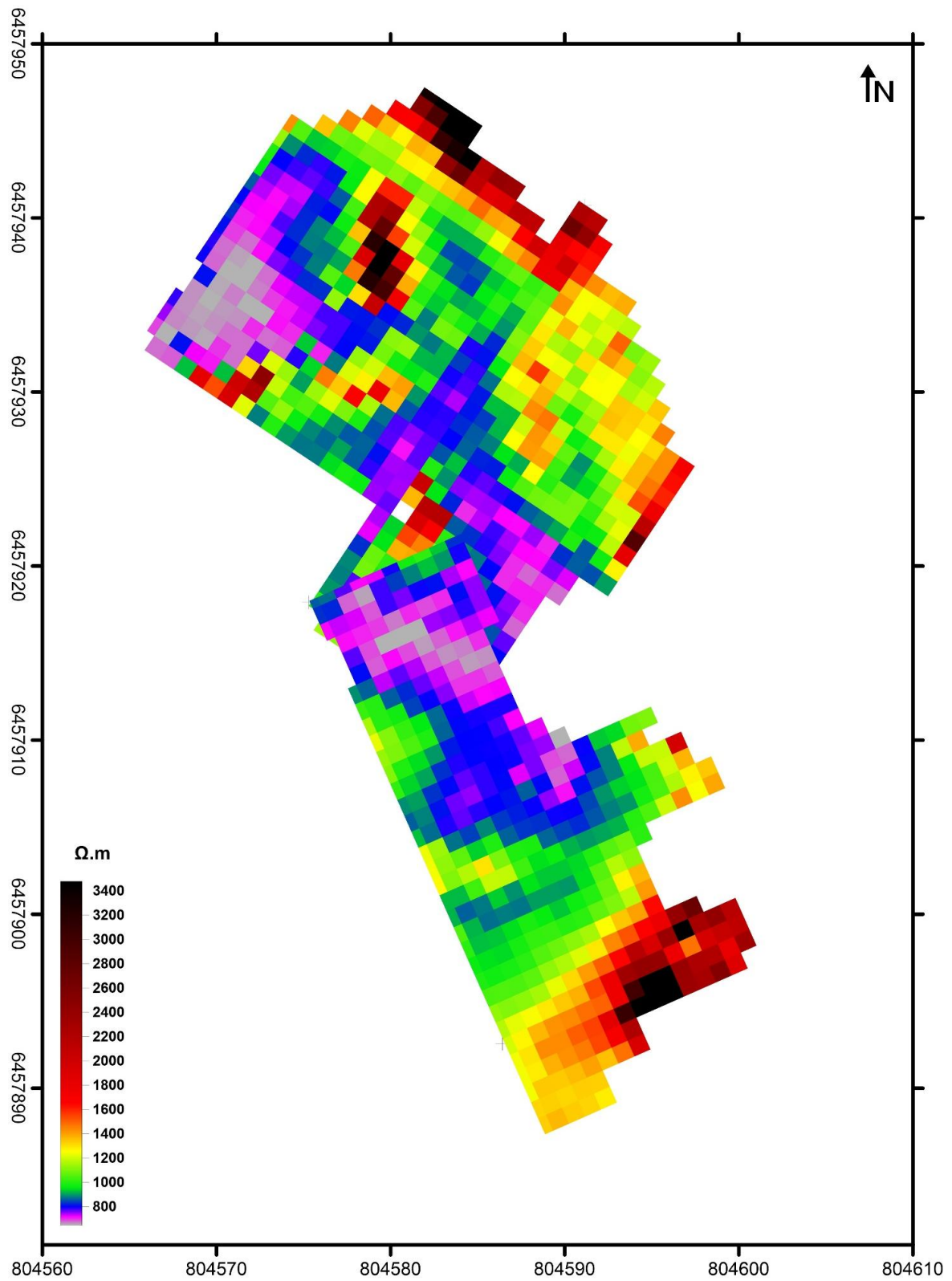


Figure 11 : Résultats de la prospection électrique RM15 réalisée sur le site de La Tour. Carte de la résistivité électrique apparente  $\rho_a$  pour un écartement inter-électrodes de 1 m. Coordonnées Lambert93 RGF93.

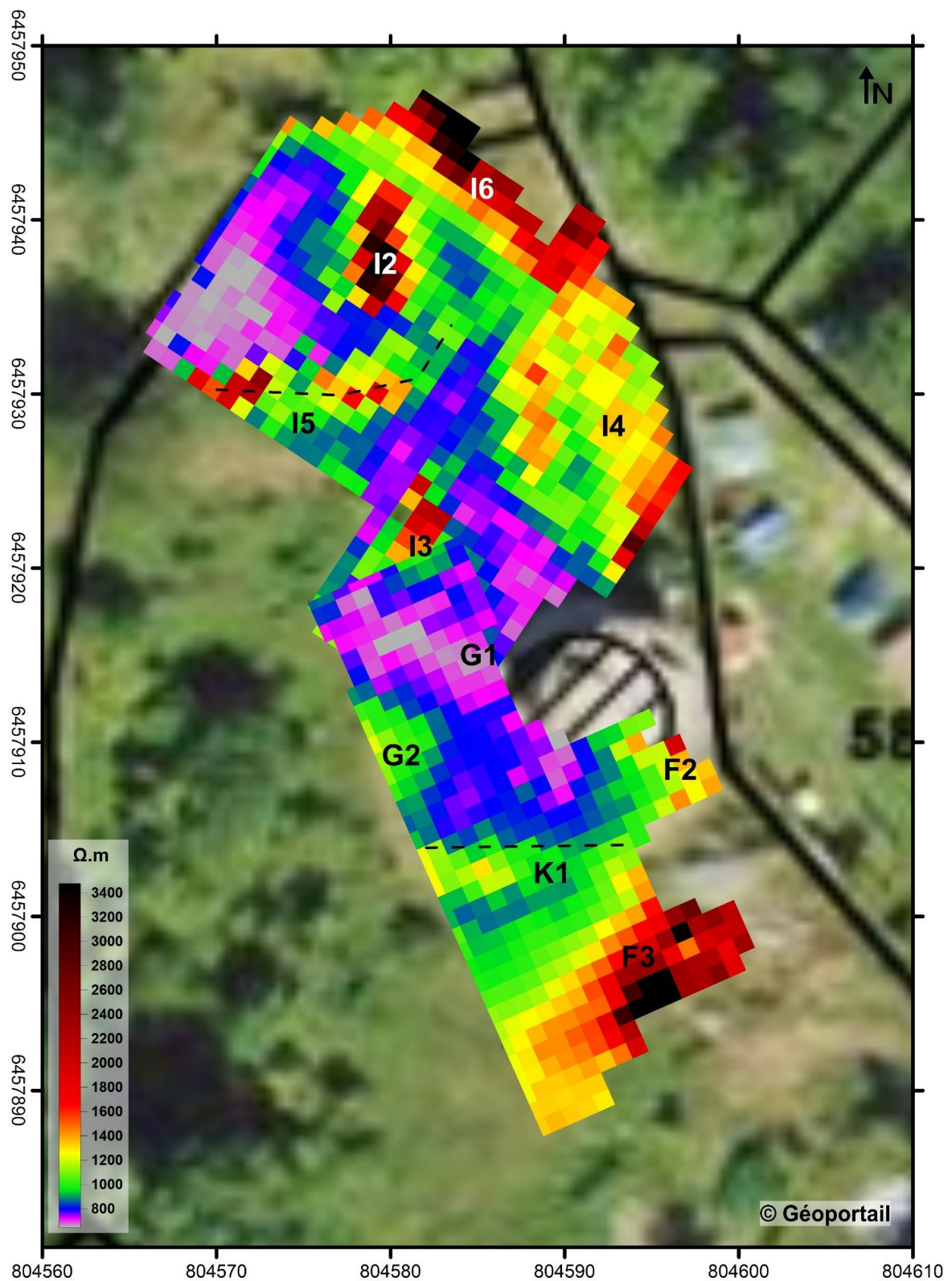


Figure 12 : Interprétation de la prospection électrique RM15 réalisée sur le site de La Tour. Carte de la résistivité électrique apparente  $\rho_a$  pour un écartement inter-électrodes de 1 m. Fond orthophotographique et cadastral (source : IGN) issu du site Géoportail (<http://www.geoportail.fr>). Coordonnées Lambert93 RGF93.

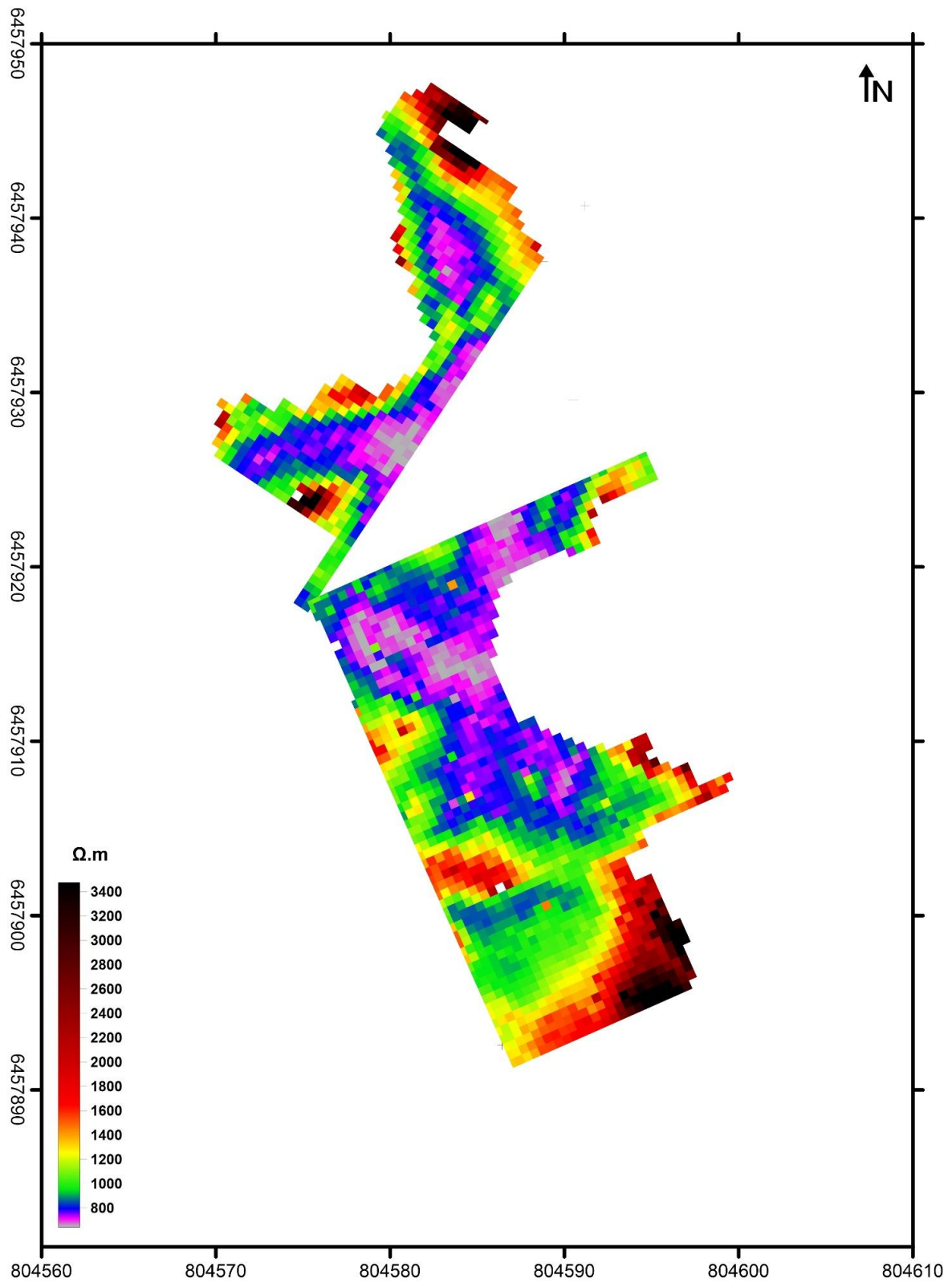


Figure 13 : Résultats de la prospection électrique RM15 réalisée sur le site de La Tour. Carte de la résistivité électrique apparente  $\rho_a$  pour un écartement inter-électrodes de 0.5 m. Coordonnées Lambert93 RGF93.



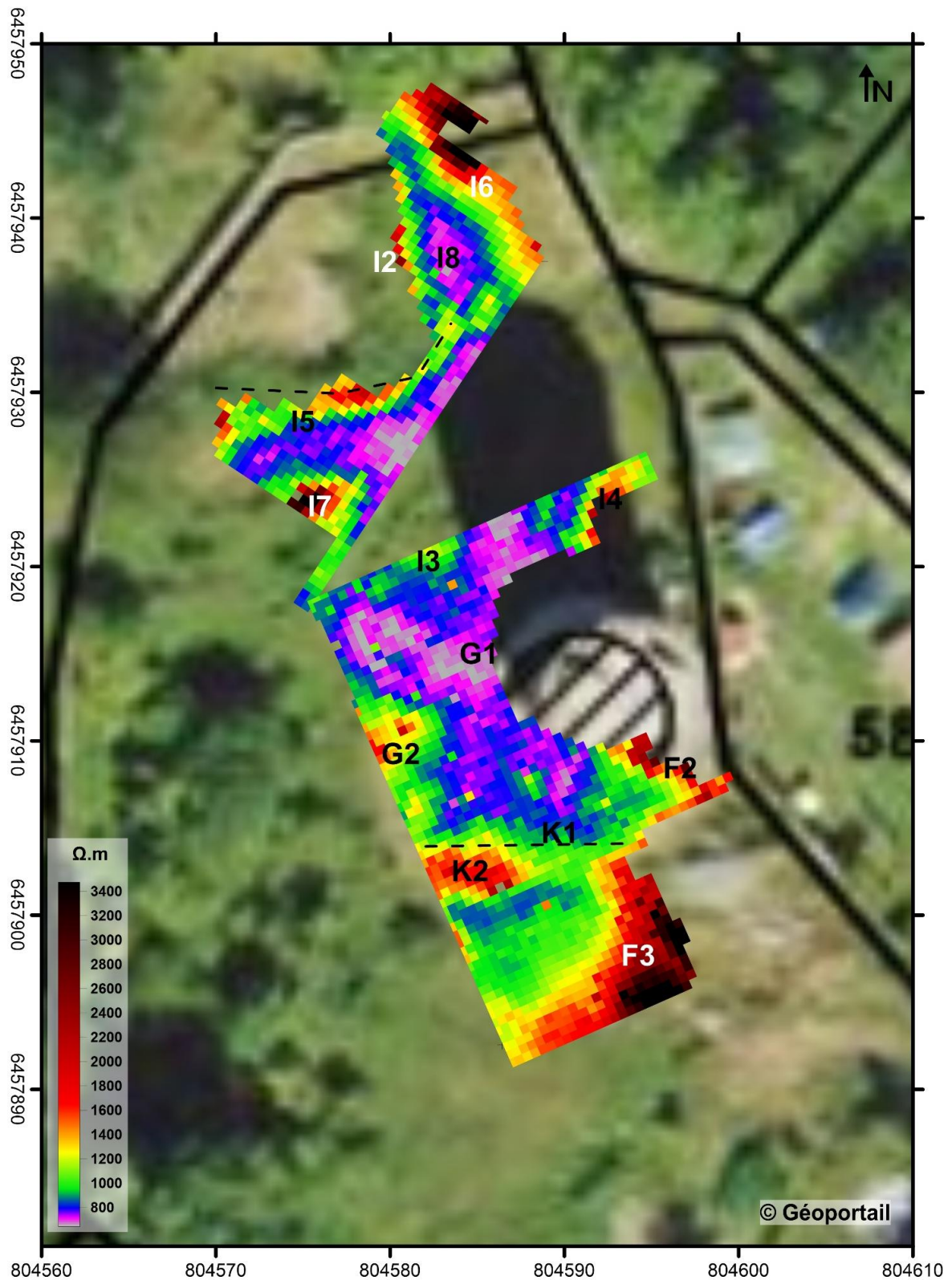


Figure 14 : Interprétation de la prospection électrique RM15 réalisée sur le site de La Tour. Carte de la résistivité électrique apparente  $\rho_a$  pour un écartement inter-électrodes de 0.5 m. Fond orthophotographique et cadastral (source : IGN) issu du site Géoportail (<http://www.geoportail.fr>). Coordonnées Lambert93 RGF93.