THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Spécialités
Archéologie et environnement / Géophysique appliquée

Ecole doctorale
ED398 Géosciences et Ressources Naturelles

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR de L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS 6)

Sujet de la thèse

Etude de la ressource en eau du site gallo-romain de Grand (Vosges) et de sa gestion antique

Claire BRINON

Soutenue le 14 mai 2012

Jury

M. Roger Guérin	Professeur à Paris 6	Examinateur
M. Dominique Harmand	Professeur à l'Université de Lorraine	Rapporteur
Mme Martine Joly	Maître de conférences à Paris 4	Rapporteur
M. Christophe Petit	Professeur à Paris 1	Examinateur
Mme Valérie Plagnes	Maître de conférences à Paris 6	Co-directrice de thèse
M. John Scheid	Professeur au Collège de France	Examinateur
M. Alain Tabbagh	Professeur à Paris 6	Directeur de thèse
M. Thierry Dechezleprêtre	Conseil Général des Vosges	Invité

RESUME

Comme toute agglomération, la ville antique de Grand (Vosges) n'a pu être installée et se maintenir que si des ressources en eau suffisantes ont été exploitées. Localisée sur le plateau calcaire du Haut-Pays, elle ne dispose en effet d'aucun accès direct aux eaux de surface. L'identification de la ressource et des moyens mis en œuvre pour la gérer et la distribuer a justifié la présente étude. L'objectif est de comprendre l'organisation de la gestion antique en replaçant le site dans son environnement hydrogéologique et en déterminant les relations entre le réseau hydraulique et la trame urbaine. Nous avons ainsi cherché à : i) caractériser les aquifères calcaires, dans un contexte géologique complexe, et ii) décrire l'ensemble des aménagements passés, car il n'existe pas de synthèse des vestiges bâtis (réseau hydraulique, habitats, voirie,…) ; l'organisation et l'extension de la ville sont encore inconnues.

Des prospections géophysiques, des tests hydrologiques et des explorations spéléologiques ont été réalisées, ainsi qu'une étude des documents anciens, des photographies aériennes et des données LiDAR. Le géoréférencement de tous ces éléments et la mise en place d'un SIG autorisent désormais une analyse croisée des différentes données spatiales.

Les résultats permettent de situer les ressources présentes ; ils montrent qu'un aquifère superficiel et des circulations karstiques à la base de l'Oxfordien supérieur ont été exploités et préférés aux ressources plus abondantes de l'Oxfordien moyen. L'identification et la localisation des conduits connus montrent qu'un réseau de 2 km a été aménagé dans les limites du bassin versant du site pour drainer les eaux de cet aquifère vers l'intérieur de la ville. Les prospections géophysiques, aussi systématiques que possible, des jardins et des champs périphériques permettent à présent de proposer un premier plan d'ensemble de l'agglomération.

Mots-clés : Grand, agglomération gallo-romaine, ressources en eau, karst, réseau hydraulique, prospection géophysique, LiDAR, SIG

ABSTRACT

For the ancient city of Grand (Vosges), as for every agglomeration, the establishing and sustainable maintaining necessitate sufficient resource in fresh water. Located on the calcareous plateau of Haut-Pays, the city does not have any direct access to surface water. The identification of groundwater resources and of the means put to use to achieve its exploitation and distribution are the reasons justifying the present study. The purpose of the study is to understand the organization of groundwater resource management, putting the antic site back in its hydrogeological context and figuring out the relationship between the hydraulic network and the city framework. We hence seek to: i) characterize the calcareous aquifer in the complex local geological context and ii) describe the past structures, because no synthesis on the archaeological remains (hydraulic network, houses, roads etc.) has been achieved; the organization and extensions of the ancient city are still unknown.

Geophysical surveys, hydrological tests and speleological explorations were performed, along with the study of ancient documents, aerial photographs and LiDAR data. The georeferencing of all those elements and the creation a GIS allow from now the cross-analysis of the different spatial data available.

The water resources available were located: the results show that a superficial aquifer with karstic circulations at the basis of Upper Oxfordian formation was exploited and favored compared to the more abundant Middle Oxfordian unit water resources. The identification and location of known underground galleries show that a 2km-long network was built within the limits of the site's drainage basin, in order to drive the aquifer water towards the city downtown. Gardens and surrounding fields were as systematically as possible surveyed with geophysical tools allowing us to propose a plan of the global agglomeration organization.

Keywords: Grand, gallo-roman city, water resources, karst, hydraulic network, geophysical survey, LiDAR, GIS

REMERCIEMENTS

Je tiens à saluer les nombreuses personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail de thèse, par leur présence, leur expérience, leurs encouragements et leur intérêt. J'adresse ainsi mes remerciements :

Aux membres du jury, Dominique Harmand, Martine Joly, John Scheid, Christophe Petit, Roger Guérin pour avoir accepté d'en examiner et critiquer les résultats.
A Alain Tabbagh et Valérie Plagnes, mes directeurs de thèse, qui m'ont accordé leur confiance et apporté un soutien scientifique et moral constant.

Au Conseil Général des Vosges qui a soutenu et financé cette étude. A l'équipe du site de Grand pour son accueil et son aide sur place, en particulier Thierry Dechezleprêtre, Nadia Viscogliosi, Valérie Lamy, Sylvie Sijan, Marianne Durand et Roger Tabouret. A Thierry Bauche et Hervé Groscolas, complices cartographes du CG, pour les joyeuses et sérieuses discussions à Grand, à Epinal ou à distance.

Au maire de Grand, Jean-Louis Mongin, qui a laissé carte blanche pour la prospection électrostatique des rues du village et pour l'exploration spéléologique des souterrains ; aux agents municipaux, notamment à Patrick Besancenot pour sa patience lors de la tournée des puits communaux.
Aux propriétaires et aux exploitants agricoles qui ont bien voulu que leurs terrains soient prospectés ; un merci spécial à Mme M.-C. Durand, MM. Morlot, MM. Grelot et M. Aubertin.

A Dominique Harmand pour l'intérêt qu'il a porté à ces recherches géophysiques qu'il a aiguillées par sa connaissance de la géologie lorraine.

Aux spéléologues, Benoît Losson, Bernard Le Guerch, Mario De Souza, Jean-Paul Fizaine et autres aventuriers du karst, qui m'ont assistée au cours des explorations de galeries et qui m'ont enseigné les rudiments de la topographie souterraine.

A Franck Lamy pour sa disponibilité et sa gentillesse ; sa connaissance du terrain aura été très précieuse lors des opérations de repérage des galeries et des dolines.

Aux étudiants que j'ai rencontrés sur le site, Jean-Michel Tur, Ludovic Trommenschlager, Anne Delépée, Marion Legagneux et Aline Resch, pour tous les moments conviviaux partagés au Centre du patrimoine au gré des missions de chacun.

A l'ensemble du laboratoire Sisyphe, en particulier à l'équipe de géophysique : Roger Guérin, Christian Camerlynck, Fayçal Réjiba, Ludovic Bodet, pour l'aide apportée sur le terrain et dans les traitements de données. Merci à Julien Thiesson pour ses conseils et avis toujours

bienvenus.
A Cécilia Bobée qui a guidé mes premiers pas de thésarde et à Kostas Chalikakis pour son enthousiasme communicatif et son coup de pouce dans le traitement des données RMP.
Un clin d'œil à Emmanuel De Laure et Yu-Jun Cui.

Aux collègues et amis thésards/docteurs géophysiciens que je ne remercierai jamais assez d'avoir bravé à mes côtés les rigueurs du climat vosgien et les périls de la prospection dans ce nouveau Clochemerle : Rémi Valois, Pauline Kessouri, Gonca Okay, Samir Seladji, Cyril Schamper et Solène Buvat. Et à Marie Pétronille, Asal Sirhan, Amine Dhemaied, Quentin Vitale, Sylvain Pasquet qui y ont échappé ! A François-Xavier Simon, compère prospecteur, pour les très enrichissantes discussions dans la steppe orientale ou au téléphone.

Aux fidèles stagiaires qui m'ont secondée sur le terrain, Gaëlle Hild, Vincent Thiebaut et Yaëlle Naumann, sans oublier Elsa, Mathieu et Delphine.
Aux « mystérieux étudiants » des parcours GARE (promo 2009) et GG (promos 2009-2011).
Aux amis de l'école d'ingénieurs, Clément et Audrey qui m'ont également accompagnée à Grand.

A Michel Dabas et l'équipe de Geocarta pour m'avoir communiqué les données des prospections ARP et AMP.

Aux géophysiciens et archéologues rencontrés au cours de ces quatre années, pour tous les fructueux échanges menés autour d'une table ou au bord d'une tranchée de fouille : Guillaume Hulin, Quentin Borderie, Christophe Benech, Virgile Rachet, Michiel Gazenbeek, les membres du Conseil scientifique de Grand, les équipes de Kouass, Masaïkh/Bir-el-Haddad et Paykend...

Enfin à mes proches, famille et amis, qui m'ont supportée pendant cette période et ont contribué, de manière plus indirecte mais non moins appréciée, à l'aboutissement de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **5**

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU SITE ET DES PROBLEMATIQUES **7**

I. PRÉSENTATION DU SITE GALLO-ROMAIN DE GRAND 9
II. BREF HISTORIQUE DES RECHERCHES 11
II. 1. XVIII^{ème} siècle 11
II. 2. XIX^{ème} siècle 13
II. 3. XX^{ème} siècle 13
II. 4. 2008 : Renouvellement des problématiques 16
III. ENVIRONNEMENT KARSTIQUE 17
III. 1. Généralités sur le karst 17
III. 2. Approches du système karstique 19
III. 3. Karst du plateau du Haut-Pays 20
IV. PROBLÉMATIQUES 21

CHAPITRE 2 : METHODES ET OUTILS **23**

I. SOURCES ÉCRITES 25
I. 1. Cadastres napoléoniens 25
I. 2. Archives et publications 25
I. 3. Photographies aériennes 27
I. 4. LiDAR 28
II. MÉTHODES GÉOPHYSIQUES 30
II. 1. Prospection magnétique 30
II. 2. Prospection électrique 32
II. 3. Prospection EM-BF 36
II. 4. Prospection RMP 38
II. 5. Prospection gravimétrique 40
III. SONDAGE PÉNÉTROMÉTRIQUE 41
IV. MESURES HYDROLOGIQUES 42

CHAPITRE 3 : RESSOURCES EN EAU ET GESTION ANTIQUE **43**

I. ORIGINE DE LA RESSOURCE EN EAU À GRAND : PREMIER BILAN HYDROLOGIQUE 45
I. 1. Lame d'eau écoulée 45
I. 1. a. Précipitations 45
I. 1. b. ETR et écoulements (R+I) 46
I. 1. c. Récapitulatif 48
I. 2. Débits potentiels 48
I. 3. Limites 50
II. AQUIFÈRES CALCAIRES DE L'OXFORDIEN 51
II. 1. Contexte géologique 51
II. 1. a. Morpho-structural 51
II. 1. b. Lithostratigraphie 52
II. 1. c. Fracturation 55
II. 1. d. Karst 55
II. 2. Contexte hydrogéologique 62
II. 2. a. Oxfordien moyen 62

II. 2. b. Oxfordien supérieur ... 62
III. Reconnaissance géophysique ... 63
III. 1. Identification du stock en eau disponible ... 63
III. 1. a. Sondages RMP ... 63
III. 1. b. Cartographie EM et panneau électrique ... 67
III. 1. c. Sondages électriques et TDEM ... 71
III. 1. d. Bilan ... 74
III. 2. Eléments caractéristiques de l'aquifère oxfordien ... 76
III. 2. a. Tertres ... 77
III. 2. b. Doline ... 80
III. 2. c. Bilan ... 81
IV. Etude du réseau hydraulique de Grand ... 81
IV. 1. Historique des découvertes ... 82
IV. 1. a. Avant 1960 ... 82
IV. 1. b. 1963-1988 ... 83
IV. 1. c. 1989-1990 ... 89
IV. 2. Inventaire des conduits ... 91
IV. 2. a. Zone A : Ouest Amont ... 93
IV. 2. b. Zone B : Nord Amont ... 100
IV. 2. c. Zone C : Sud-Ouest Amont ... 108
IV. 2. d. Zone D : Centre ... 119
IV. 2. e. Zone Est : Aval ... 124
IV. 2. f. Bilan ... 129
IV. 3. Circulations souterraines ... 134
IV. 3. a. Abords de l'église ... 134
IV. 3. b. A l'échelle du site ... 138
IV. 3. c. Bilan ... 141
V. La question des « aqueducs » extérieurs ... 141
V. 1. « Aqueduc » Sud ... 142
V. 1. a. Données bibliographiques ... 142
V. 1. b. Données géophysiques ... 142
V. 1. c. Sondage archéologique ... 147
V. 1. d. Vues aériennes ... 148
V. 1. e. Cadastre ancien et LiDAR ... 152
V. 1. f. Synthèse et discussion sur le tracé ... 153
V. 1. g. Bassins versants ... 155
V. 2. Autres « aqueducs » ... 157
VI. Synthèse ... 157

CHAPITRE 4 : ORGANISATION SPATIALE ... 163

I. Carte archéologique ... 165
I. 1. Carte Jollois ... 165
I. 2. Informations connues en 2008 sur la cartographie des vestiges à Grand ... 166
II. Apport de la géophysique ... 168
II. 1. Les premières applications à Grand : 1959-1989 ... 168
II. 1. a. Historique ... 168
II. 1. b. Relecture des données ... 172
II. 2. Nouvelles prospections : 2008-2011 ... 183
II. 2. a. Zone Nord ... 184
- Nord-Ouest intra muros ... 184
- Nord-Ouest extra muros ... 190
- La Maladière-Les Roises ... 193
- Nord-Est ... 195

II. 2. b. Zone Ouest 201
- Grand jardin 201
- Rempart Ouest 209

II. 2. c. Zone Sud 215
- Pré Laguerre 218
- Champée-Marguerite 226
- Hardrat 231
- Bilan 234

II. 2. d. Zone Est 235
- La Baronnie 235
- Derrière l'amphithéâtre 247
- Rue de l'Amphithéâtre 251

II. 2. e. Zone Centre 254
II. 2. f. Autres parcelles *intra muros* 259
II. 2. g. La Violette 260
III. SYNTHÈSE 272

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 279

REFERENCES 283

TABLE DES ILLUSTRATIONS 296

ANNEXES 305

INTRODUCTION

Le travail présenté ici porte sur la ville gallo-romaine de Grand, agglomération « secondaire » située sur le plateau lorrain. Notre objectif est de comprendre de quelles ressources en eau cette cité antique a pu disposer et comment étaient agencés les systèmes d'alimentation et d'évacuation des eaux. Comme pour d'autres agglomérations du même type qui ont gardé des vestiges en élévation et où des découvertes archéologiques sont intervenues dans des circonstances très variées (travaux, fouilles), une documentation abondante, souvent mal publiée, existe et a donné lieu à de nombreuses interprétations. La méthodologie que nous avons adoptée consiste à décrire le plus complètement possible le sous-sol et les vestiges qui s'y trouvent, de façon à disposer d'une base de départ solide qui puisse donner une connaissance suffisante du cadre géologique dans lequel la ville s'est développée et une vision d'ensemble de son organisation et de son extension. Cette base permet de replacer d'autres informations (photographies anciennes, fouilles, *etc.*) et de revisiter l'ensemble des hypothèses qui ont été avancées à son sujet. Cette méthodologie n'est pas originale : elle est adoptée depuis une quarantaine d'années (*Colonia Ulpia Trajana*, Scollar 1971 ; *Metapontum*, Linington 1972) et a été récemment mise en œuvre à Chassenon (*Cassinomagus*, Bobée 2007) et Mandeure/Mathay (*Epomanduodurum*, Thivet 2008, Laplaige 2012). Elle peut s'appliquer à différentes thématiques : analyse de l'habitat, des activités artisanales ou industrielles, architecture religieuse... Nous nous limiterons ici à la gestion des ressources en eau, conformément au projet soumis début 2008 au Conseil Général des Vosges intitulé « Cadre hydrogéologique de l'agglomération gallo-romaine de Grand, organisation spatiale du site et du réseau hydraulique ».

L'eau est une ressource indispensable et les sociétés humaines ont très tôt développé des stratégies pour y accéder et la maîtriser. Une ville ne peut en effet être installée et se maintenir sans que soit simultanément mis en place un système pérenne d'alimentation en eau et d'évacuation des eaux usées.
Si les principes des installations permettant de collecter et d'acheminer l'eau sont simples, leur mise en pratique doit être adaptée à chaque situation géographique/géologique particulière. Quand l'eau n'est pas directement disponible en surface (rivière ou lac), la nappe phréatique, les sources et les écoulements superficiels temporaires constituent des ressources exploitables. Les techniques déployées pour les atteindre et assurer leur gestion sont variées :

- puits et galeries drainantes pour tirer parti de la nappe locale,
- aqueducs pour capter une source et en acheminer l'eau,
- barrages, drains et citernes, sur pente ou dans les talwegs, pour concentrer et retenir les eaux de ruissellement et les écoulements épisodiques (ressources saisonnières).

Ces aménagements, et leur utilisation combinée, ont permis dès la préhistoire l'implantation d'habitats dans les milieux arides et semi-arides (Moyen-Orient) et dans les zones tempérées en pays calcaire. Un exemple peut être trouvé dans l'étude de F. Braemer et G. Davtian dans la région du Hauran (Syrie du Sud) où un système raisonné, mis en place depuis le Bronze

ancien, a rendu possible l'occupation du plateau de Leja. A l'inverse des villages installés en périphérie, les habitats situés au sommet ne peuvent bénéficier des crues des wadis et des sources. Les eaux souterraines circulant au travers de la couche de basalte fracturée ont donc été drainées au moyen de puits tandis que les ruissellements de surface ont été collectés par le biais d'étangs et de citernes aménagés dans le lit des cours d'eau temporaires. Dans les régions calcaires, l'exploitation des ressources karstiques est réalisée d'une manière similaire, grâce au captage de résurgences, au drainage des circulations souterraines et à la constitution de réserves. Pour exemples : les aménagements romains du Massif des Alpilles (Leveau 2006) ou protobyzantins du Massif calcaire en Syrie du Nord.
Les modes d'exploitation évoluent selon les périodes, les connaissances techniques et les activités (artisanales, agricoles, domestiques...). Les Romains ont perfectionné les techniques préexistantes et les ont adaptées à leurs besoins. Leur maîtrise de l'eau a donné lieu à la construction d'ouvrages d'art de grandes dimensions et à des aménagements hydrauliques qui ont souvent été réutilisés postérieurement.

La multiplication des bases de données archéologiques et des études environnementales ainsi que l'utilisation des SIG permettent à présent de mieux cerner les choix de gestion des ressources accessibles, appropriés à des contraintes spécifiques (climatiques, hydrogéologiques, *etc.*). L'étude de l'environnement géologique du site de Sergilla, par exemple, rend compte des relations entre l'organisation de l'agglomération, la fracturation et la position des résurgences ; l'origine des ressources utilisées pour la mise en culture des terres a alors été comprise (Abdulkarim et Charpentier 2009).

L'agglomération gallo-romaine de Grand (Vosges) ne dispose pas d'accès à une eau de surface. On a dans une première partie analysé le contexte hydrologique et hydrogéologique de façon à caractériser la ressource, en la localisant, en identifiant ses modes possibles de circulation, en évaluant le volume des apports annuels. Dans un deuxième temps s'est posé le problème de l'identification des choix faits en matière d'hydraulique urbaine : localisation des conduites, des égouts, d'éventuelles citernes de stockage, des puits. Ces installations sont intimement liées à l'organisation générale du tissu urbain, à la voirie, aux bâtiments publics grands consommateurs d'eau, aux activités menées dans les différents quartiers. Or si l'agglomération a fait, comme cela est décrit ci-après, l'objet d'observations multiples, très peu ont été enregistrées de façon précise. Dans la lignée d'études menées sur des sites comparables, on a eu recours à l'outil géophysique pour contribuer à reconnaître cette organisation d'ensemble. La deuxième partie du mémoire présente ce volet de notre travail.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DU SITE ET DES PROBLEMATIQUES

I. PRESENTATION DU SITE GALLO-ROMAIN DE GRAND

Le site gallo-romain de Grand se trouve aux confins du département des Vosges (88), à la limite de la Lorraine et de la Champagne. Située à la frontière des territoires Leuques et Lingons (Figure 1), l'agglomération se développe entre les 1er et 4ème siècles et de nombreux édifices imposants sont construits. Un rempart enserrant un espace de 18 ha, un amphithéâtre pouvant accueillir 17000 spectateurs, une mosaïque de 232 m^2 et des galeries drainantes comptent parmi les vestiges connus les mieux conservés. Des traces d'habitats et de voirie et l'existence de plusieurs nécropoles sont relevées dans les environs. Avec l'importante quantité d'objets découverts au fil des siècles, ces vestiges ont contribué à créer la renommée du site. Après la période antique, l'agglomération semble décliner et les indices des occupations ultérieures se font plus rares.

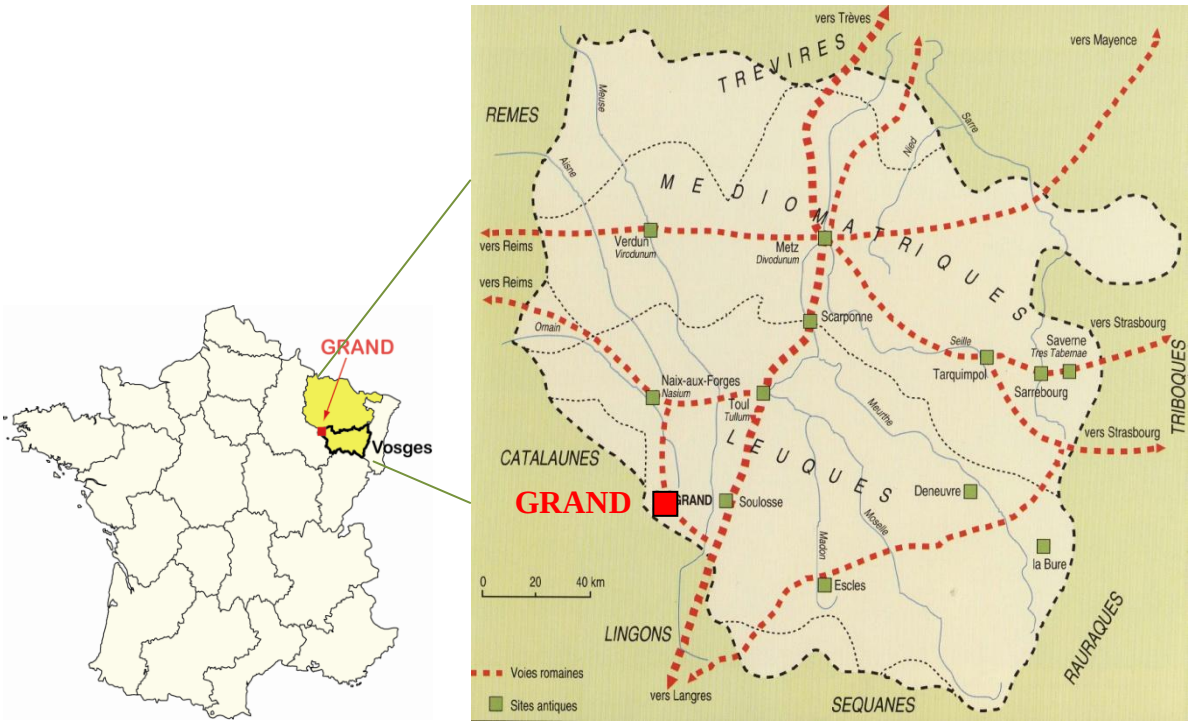


Figure 1. Localisation de Grand dans la Lorraine antique aux 1er-2ème siècles de n.è. (*in Grand l'amphithéâtre*, 1993, d'après Y. Burnand, *in* Parisse M. (dir.) - Histoire de la Lorraine, 1977)

Depuis le 18ème siècle, le site de Grand suscite l'intérêt des chercheurs, amateurs éclairés, historiens et archéologues, ou simples curieux. Le contraste entre la monumentalité des vestiges antiques et les dimensions de l'agglomération actuelle (moins de 500 habitants), associé à son relatif isolement, frappe les imaginations. Implanté sur un plateau calcaire, le site se positionne à l'écart des axes principaux de communication et ne dispose ni de défenses naturelles particulières, ni de ressources en eau évidentes. L'hypothèse d'un lieu de culte à Apollon Grannus s'est imposée au début du 20ème siècle. La « ville aux mille puits », selon l'expression de Jullian, est alors identifiée comme un sanctuaire de source avec culte des eaux, visité par les empereurs Caracalla et Constantin. Une source est supposée avoir été aménagée au centre du site pour les besoins du culte. Comme le rappelle J. Scheid (2010),

cette interprétation naît de la mythologie développée à la fin du 19ème siècle autour de la sacralisation des eaux. Le culte chrétien à Libaire, sainte locale martyrisée au 4ème siècle, est avéré à Grand jusqu'au début du 20ème siècle et aurait assuré la pérennité du culte gallo-romain.

Malgré les recherches entreprises depuis 250 ans, la fonction de l'agglomération demeure à ce jour inconnue, de même que son nom antique, identifié sans certitude sur la table de Peutinger sous la vignette Andesina.

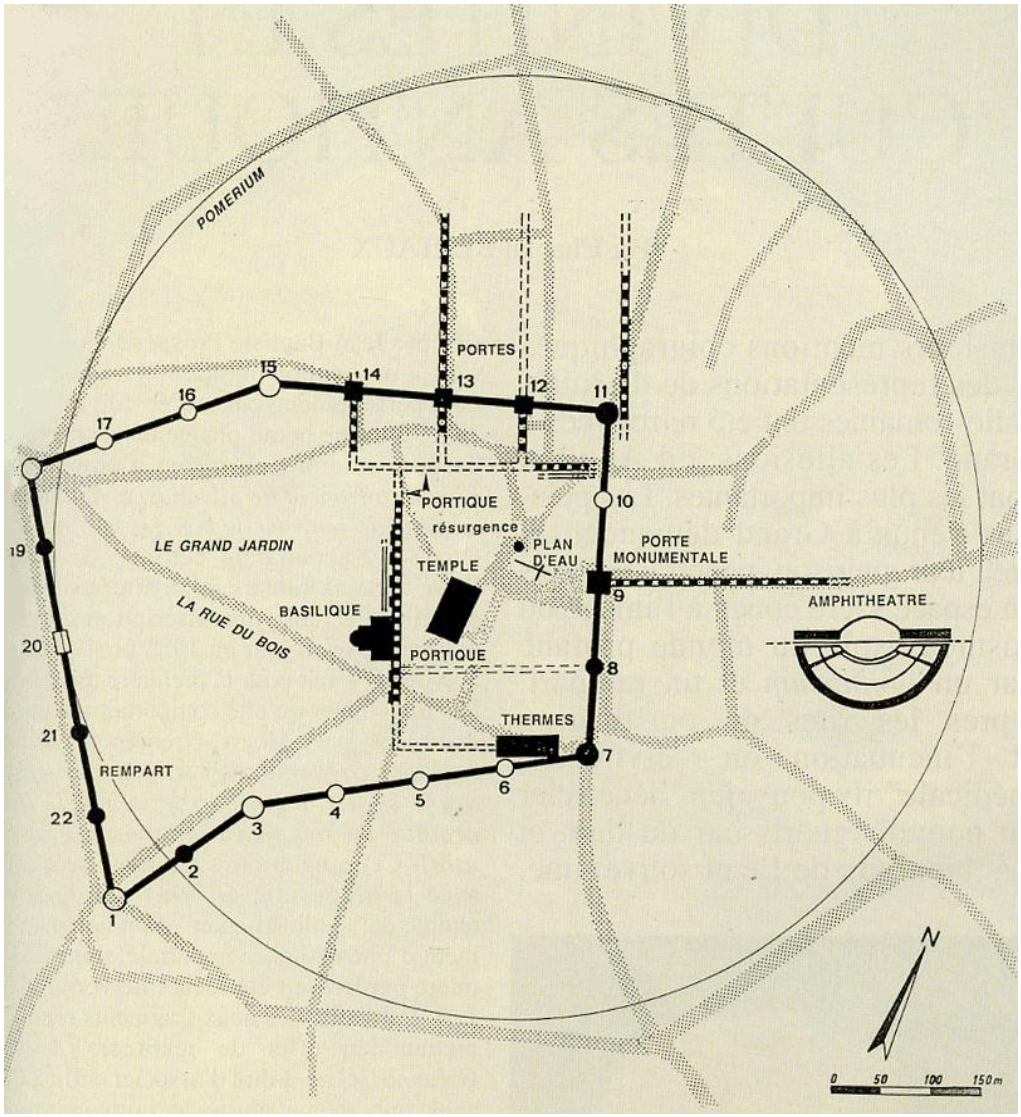


Figure 2. Topographie restituée du site antique sur le réseau viaire actuel. Proposition de J.-P. Bertaux (1991). Localisation de l'amphithéâtre, de l'édifice à plan basilical (« basilique ») qui abrite la mosaïque, du portique, du monument dit du Jardin Huguet (« temple »), des « thermes de la rue de Liffol », du rempart rythmé par 18 tours et 4 portes (9-12-13-14), de la voirie, du « *pomerium* », et de la source (« résurgence ») qui se déverse dans le « plan d'eau » situé sous l'église. Ce schéma mêle éléments reconnus et restitués.



Figure 3. Vestiges romains à Grand. Tour 19 (section ouest du rempart). Motif de la mosaïque (édifice à plan basilical). Galerie drainante (dite de la Fontainotte). Cl. Brinon 2010.

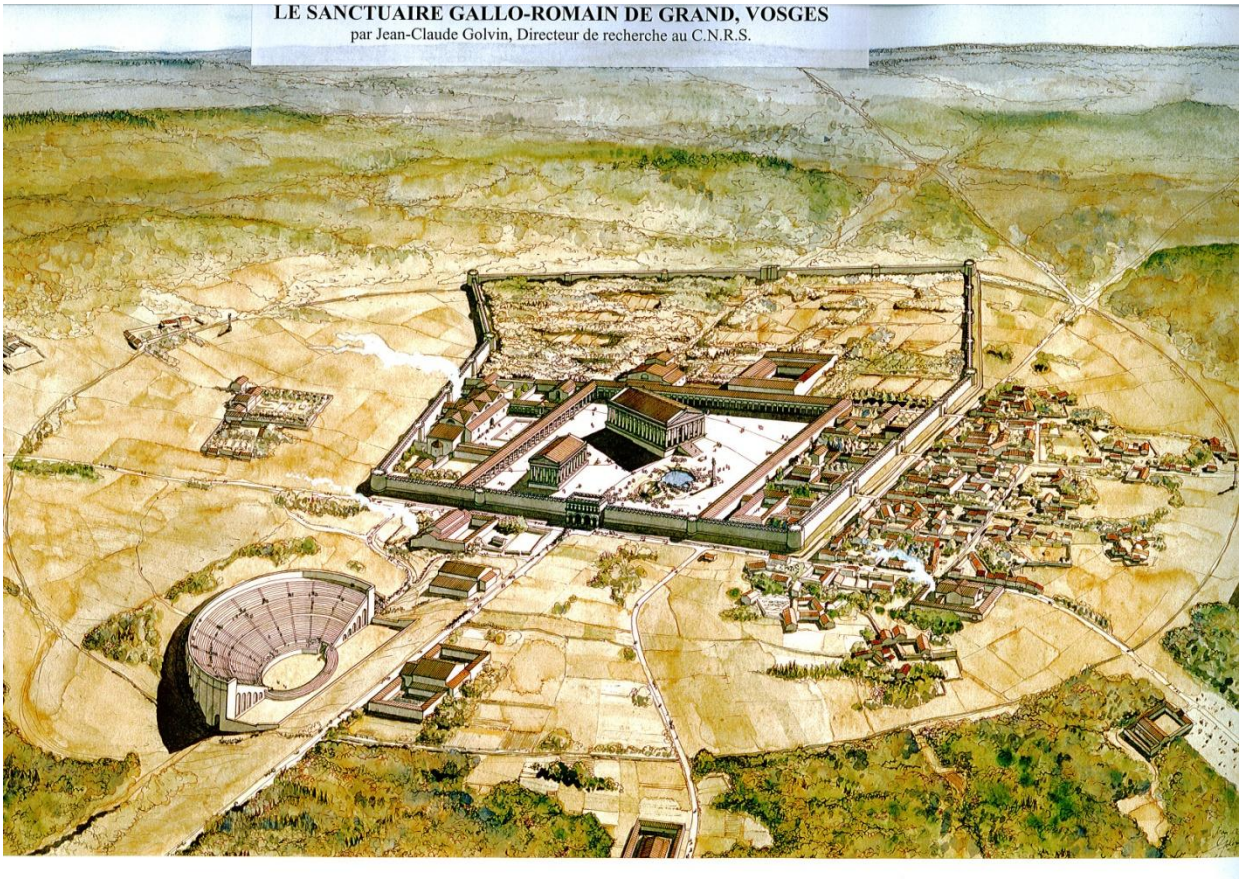


Figure 4. Restitution du site antique par J.-C. Golvin en l'état des connaissances en 1990.

II. BREF HISTORIQUE DES RECHERCHES

II. 1. XVIII^{ème} siècle

La carte de Cassini, dont la feuille n°112 est levée entre 1758 et 1761, constitue l'une des plus anciennes représentations cartographiques du village (Figure 5). Elle signale la position de l'église, des deux chapelles Sainte-Libaire, d'un moulin, et la présence de « ruines antiques » à l'emplacement de l'amphithéâtre. Elle montre d'autre part l'importance de la couverture forestière sur le plateau du Haut-Pays et présente une vision assez fidèle du réseau

hydrographique et des principaux reliefs créés par les combes. On y observe ainsi les tracés des cours d'eau de la Maldite et de l'Ognon, dont les sources se trouvent respectivement au NE et NO du site, en amont de leurs positions actuelles.

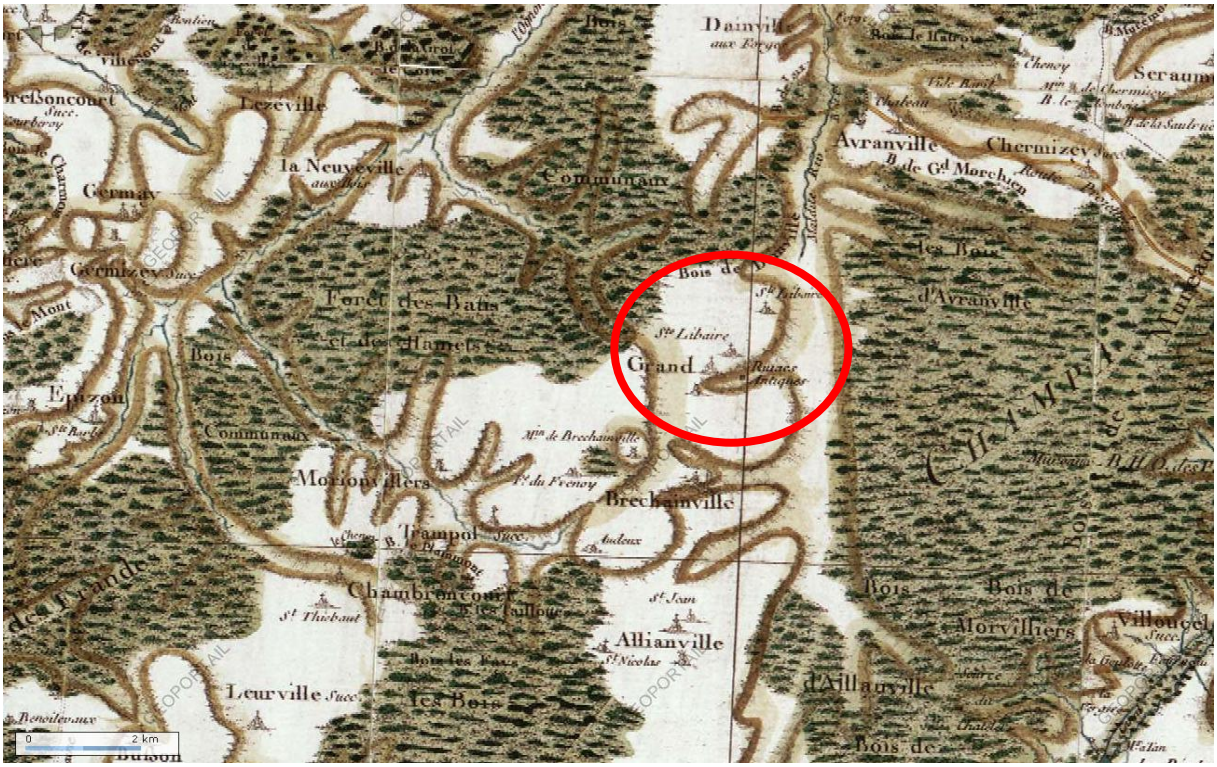


Figure 5. Extrait de la carte de Cassini centrée sur Grand (feuille 112 - http://cassini.ehess.fr)

Les premières mentions écrites du site archéologique remontent au 18ème siècle. Le nombre important de vestiges découverts à Grand par les habitants éveille la curiosité d'érudits locaux (comme le P. Benoît Picard, Dom Calmet) et d'antiquaires.

Un *Mémoire sur les antiquités qui se trouvent dans le village de Grand et aux environs, d'après les fouilles faites dans les années 1760 et 1761* évoque les « restes d'un amphithéâtre (...), des parties de murs de l'ancienne ville, des canaux et des souterrains qui annoncent qu'elle étoit en effet considérable » (*in* Jollois 1843). Quelques années plus tard, le comte de Caylus s'appuie sur ce document pour rédiger deux notices consacrées aux objets et à la topographie de la ville, dans son *Recueil d'antiquités égyptiennes, étrusques, grecques, romaines et gauloises* (1764). Il montre pour la première fois l'intérêt archéologique du site, pourvu de « canaux et souterrains voûtés », « d'anciens murs [qui] traversent [les rues] en plusieurs endroits », de « vestiges de murailles », autant d'éléments architecturaux qui appartiennent à une ville importante. Il décrit les restes de l'amphithéâtre et fournit un plan du village, levé par Morlat (géographe) sous les ordres de Legendre, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées de Champagne (Caylus 1764).

II. 2. XIX^{ème} siècle

Après avoir participé à la campagne d'Egypte, J.- B. P. Jollois est nommé ingénieur en chef des Ponts et Chaussées du département des Vosges. Entre 1820 et 1823, il mène des recherches avec l'aide financière de la Commission des Antiquités pour répertorier les vestiges situés dans le département. Ses résultats sont publiés en 1843 dans un *Mémoire sur quelques antiquités remarquables du département des Vosges*. A Grand, il entreprend des fouilles au niveau de l'amphithéâtre (dégagement des murs extérieurs et du corridor) dont il reconnait le plan général, et effectue quelques sondages à l'intérieur du village. Il donne une description assez détaillée des structures romaines qui sont portées à sa connaissance : voies, thermes, prison, aqueducs et mobilier, et accompagne son inventaire par des planches et des plans. A son départ, l'amphithéâtre devient une carrière : les vestiges dégagés sont pillés et les pierres récupérées par les habitants.

J. Laurent, directeur du Musée départemental des Vosges et inspecteur des Monuments historiques, réalise de nouvelles fouilles en 1843, 1849 et 1860 sans que les résultats soient publiés. Il dégage un bâtiment (30x7 m^2) doté d'un chauffage par hypocauste et fouille une sépulture gallo-romaine dans le bois des Hamets (Laurent 1860). Il découvre deux mosaïques qui sont démontées et dont la trace a été perdue (Billoret 1963b).

F. Voulot lui succède à la direction du Musée d'Epinal en 1878 et reprend l'étude de l'amphithéâtre. Faute de crédits, il est contraint d'abandonner (Billoret 1963b) et se consacre alors à la fouille du secteur de l'école communale où des vestiges lui ont été signalés. Il y dégage en 1883 une vaste mosaïque pavant le sol d'une « basilique ». Elle est immédiatement conservée (Toussaint 1948). A son départ, les fouilles officielles s'arrêtent. Pendant plusieurs décennies, les publications relatives au site portent exclusivement sur le mobilier antique qui continue d'apparaître au gré des découvertes fortuites signalées par les habitants.

II. 3. XX^{ème} siècle

C. Jullian, alors professeur au Collège de France, relance l'intérêt du site en publiant en 1917 une étude sur la stèle dite à Meditrina et en associant dans son *Histoire de la Gaule* Grand à un sanctuaire dédié à Apollon. Sa lecture du panégyrique de Constantin et son interprétation des découvertes anciennes font du site vosgien le lieu de pèlerinage visité par l'empereur. Cette vision d'une « ville mystérieuse où mille dévots se donnaient rendez-vous », initiée par Jullian, va longtemps rester attachée à Grand.

En 1933, M. Toussaint réalise dans le Pays lorrain un bilan des découvertes du site. La Fédération historique lorraine lui confie la direction de nouvelles fouilles qui débutent en 1936. Les travaux, limités en raison de subventions modestes, consistent à sonder le terrain derrière le bâtiment à plan basilical, à dégager une tour de la section ouest du rempart, un hypocauste dans les environs de l'amphithéâtre et à fouiller des sépultures de la nécropole du Béhaut (Billoret 1963b). L'épuisement des crédits et le début de la Seconde guerre mondiale écourtent la campagne de 1938 et mettent un terme à ces recherches. Les résultats, publiés

dans les Annales de l'Est, sont synthétisés en 1948 dans le *Répertoire archéologique du département des Vosges*, préfacé par Jullian. A. Grenier s'en inspire en 1958 dans son *Manuel d'archéologie gallo-romaine*.

En 1959, E. Salin, membre de l'Institut et président de la Société d'archéologie lorraine, décide de reprendre les recherches, avec le concours du département des Vosges et de la Direction des Monuments historiques. Il veut vérifier l'hypothèse de C. Jullian et localiser le « temple » mentionné dans le panégyrique de Constantin. Il est secondé par R. Billoret, maître assistant à la faculté des Lettres de Nancy qui devient Directeur des Antiquités historiques de Lorraine en 1965. Après quelques études préalables (sondages archéologiques et prospections géophysiques) les efforts portent sur les environs de la « basilique », dans un périmètre comprenant le jardin Huguet et deux terrains communaux situés de part et d'autre de la rue de Bréchainville, déjà sondés par Jollois, Voulot et Toussaint. Parmi les vestiges mis au jour, d'importantes substructions confirment aux yeux d'E. Salin l'existence du temple d'Apollon. R. Billoret se montre quant à lui plus mesuré dans ses interprétations. Les campagnes de fouilles se poursuivent jusqu'en 1966 et permettent de reconnaitre le plan du bâtiment considéré comme une basilique civile et de dégager les restes d'un *cardo* (Billoret 1965, 1969).

Dans le même temps, J.-P. Bertaux, agent technique à la Direction des antiquités historiques entreprend l'inventaire des conduits drainants et des puits du village. De son côté, P. Févotte, instituteur à Grand, pratique des sondages dans l'amphithéâtre (Billoret 1963b) avec l'appui de la Société d'archéologie lorraine.

Les recherches sont facilitées en 1963 par les travaux communaux d'adduction d'eau dont le suivi archéologique est assuré par B. Counot et les frères Rousselle (Billoret 1963). Le creusement des tranchées permet de découvrir de nouvelles structures gallo-romaines (puits, murs, mobilier…) dans les rues du village. La pose du tout-à-l'égout en travers du corridor de l'amphithéâtre conduit notamment au curage de la *cloaca*, opération réalisée sans contrôle archéologique (Billoret 1967).

En 1965, E. Salin résume l'ensemble de ces découvertes (Salin 1966) et, s'inscrivant dans la lignée de C. Jullian, affirme que l'agglomération est un « centre des eaux puis des cultes auxquelles elles ont donné naissance ». Il propose une organisation du site qui sera conservée jusque dans les années 1990 (Figure 2). Remarquant le découpage original du parcellaire, il émet l'hypothèse d'une enceinte fossoyée circulaire, centrée sur l'église. A l'intérieur, le rempart délimite un espace occupé par « des constructions alors que des quartiers résidentiels (...) s'étendent au Nord-Est et au Sud en particulier, au-delà de l'enceinte circulaire », qui sera pourtant interprétée par la suite comme un *pomerium*. A partir d'observations ponctuelles, B. Counot et les frères Rousselle tentent de « reconstituer un élément du quadrillage des rues » (restitution d'îlots de 240 pieds de côté) au nord de la Grande rue, parallèle au *decumanus*. Trois portes sont alors supposées s'ouvrir dans la section nord du rempart et desservir ces quartiers d'habitation. Cinq nécropoles (gallo-romaines et mérovingiennes) sont localisées dans les alentours du village.

Au cours des années suivantes, les découvertes se succèdent au rythme des travaux d'aménagement, publics ou privés, et des fouilles programmées. Elles sont présentées à travers des publications régulières (rapports de fouille et revue Gallia).

En 1967, un sondage est réalisé sur le tracé du rempart par J. Guillaume et J.-P. Bertaux ; un autre, mené dans le cimetière communal par J. Guillaume et A. Ruyer, révèle « des habitations gallo-romaines » (murs et mobilier abondant) (Billoret 1969).

En 1968-1969, les travaux de remembrement cadastral et d'assainissement font l'objet d'une surveillance archéologique par J.-P. Bertaux. Des indices d'habitats apparaissent dans la zone des HLM. Le tracé du rempart est précisé et des puits antiques sont découverts et fouillés (Bertaux 1969, Billoret 1971). Dans la rue de Liffol, des substructions sont mises au jour (Guillaume 1969). J. Guillaume qui dirige la fouille de vérification conclut à un bâtiment avec hypocauste ; celui-ci sera assimilé à des thermes dans les publications ultérieures. A quelques centaines de mètres de Grand, une fouille de sauvetage est conduite par D. Parmentelot le long de la route de Liffol : un four de potier est dégagé dans le fossé (Billoret 1971).
Les tranches de travaux d'assainissement en 1978 et 1979 entraînent une nouvelle surveillance archéologique et des opérations de sauvetage (Direction des Antiquités historiques) par J.-P. Bertaux et J.-L. Châtillon (Bertaux 1979, 1980 ; Burnand 1980).

Les fouilles programmées ont été les suivantes jusqu'en 1988 :

- Etude du rempart par Ch. Bertaux. Il est sondé en 1974-1975. Les sections E et NE sont reconnues localement dans les caves. Deux tours des sections O et NO (rue des Roises) sont fouillées (Burnand 1978, 1980). Une synthèse parait en 1985 (Ch. Bertaux[1] 1983, 1985).
- Dégagement de l'amphithéâtre et sondages de terrains avoisinants entre 1966 et 1988. Plusieurs opérations se succèdent, dirigées par J.-C. Berçot, M.-D. Watton, F. Boura, A. Olivier et F. Lalonde.
- Etude de la *villa* dite de La Violette, sondée en 1968 et fouillée par J.-C. Berçot entre 1970 et 1973.
- Reconnaissance de l'habitat au lieu-dit Devant Matelotte, sondé par J.-C. Berçot (Billoret 1976), fouillé en 1976-1977 (Burnand 1978), par Lalonde et J.-L. Remy (Burnand 1982). Deux bâtiments antiques séparés par une voie de circulation sont mis en évidence.
- Exploration du réseau souterrain dirigée par J.-P. Bertaux en collaboration avec des spéléologues de l'ASDUN[2] (Burnand 1978, 1980). Les tronçons désobstrués et visités reprennent des conduits karstiques développés à faible profondeur et semblent converger au niveau de la place des Halles.

[1] Les références de Chantal Bertaux seront notées « Ch. Bertaux » afin de les distinguer des références de Jean-Paul Bertaux notées « Bertaux ».

[2] Association Spéléologique du District Urbain Néodomien (54)

En 1989-1990, des essais géophysiques et une étude hydrologique sont réalisés dans le cadre d'un mécénat technologique et scientifique EDF. Les recherches se concentrent sur les abords de l'église, bâtie sur une dépression constituée de sédiments meubles. L'hypothèse d'un aménagement monumental au point de convergence des galeries est abandonnée et on conclut que la source se déverse dans une mare « sacrée » avant de disparaître dans une « diaclase ». Le réseau de galeries répondrait uniquement aux besoins du culte et serait chargé de fournir un supplément d'eau à la source karstique dont le débit, tributaire de la pluviométrie, pourrait être insuffisant.

Dans le cadre de l'aménagement et de la mise en valeur du site de Grand retenu en 1988, la restauration de l'amphithéâtre a conduit le SRA de Lorraine à cinq campagnes de fouilles et à des surveillances archéologiques, en concertation avec l'architecte des monuments historiques (Milutinovic 1996).

II. 4. 2008 : Renouvellement des problématiques

Depuis 2007, un Conseil scientifique présidé par J. Scheid est organisé chaque année et remet en perspective les problématiques du site. Dans un souci d'objectivité, les interprétations qui ont prévalu au cours des décennies précédentes sont revisitées et les différentes données réétudiées.
Une convention entre l'Université Pierre et Marie Curie – Paris 6 (UMR 7619 Sisyphe) et le Conseil Général des Vosges est établie en 2008, elle constitue le cadre de cette thèse. L'étude est centrée sur la compréhension de la gestion des ressources en eau antiques au moyen de reconnaissances géophysiques du bâti et de l'environnement hydrogéologique. Elle est intégrée l'année suivante au Projet Collectif de Recherches (PCR) monté par T. Dechezleprêtre, conservateur départemental et coordinateur scientifique du site de Grand depuis 2008.

Le PCR est construit autour de plusieurs axes de recherches incorporant données anciennes et données nouvelles. Différents programmes sont mis en place :

- Constitution d'un fonds documentaire (ouvrages et articles publiés sur le site) et collecte des archives de fouilles. Un premier inventaire des opérations archéologiques ayant donné lieu à un rapport ou à une publication est entrepris.
- Etude des collections (épigraphique, numismatique, architectonique, céramique, *instrumentum* en fer, *etc*.).
- Reconnaissance de l'organisation spatiale de la ville. Une campagne LiDAR est menée en 2009, des prospections géophysiques systématiques sont réalisées depuis 2008. Une fouille programmée dirigée par T. Dechezleprêtre est actuellement en cours ainsi qu'une fouille préventive menée par l'INRAP dans le cadre d'un projet de lotissement sur une parcelle communale.

Une synthèse de ces recherches a été présentée en octobre 2011 au cours du colloque « Agglomérations et sanctuaires » organisé par T. Dechezleprêtre, K. Gruel et M. Joly (CNRS UMR 8167 – UMR 8546 AOROC – CG88). Le site de Grand, laissé de côté lors du colloque

de Bliesbrück-Reinheim/Bitche sur les agglomérations secondaires en 1992 (Petit et Mangin 1994), est présenté en regard d'autres grands sites sanctuaires gallo-romains. La fonction de ces agglomérations y est reconsidérée.

III. ENVIRONNEMENT KARSTIQUE

La présence d'un karst développé à faible profondeur a vraisemblablement été un facteur déterminant dans le choix d'implantation du site gallo-romain. La région du Haut-Pays a longtemps connu des difficultés d'approvisionnement en eau qui ont été résolues en 1963 avec le captage de la Manoise (au pied du plateau) et la mise en place de l'adduction intercommunale. A l'époque antique, les ingénieurs romains ont eu à tirer parti des ressources en eau disponibles dans le secteur de Grand. La redécouverte récente de l'aménagement souterrain met en évidence l'exploitation d'un aquifère superficiel au moyen de puits peu profonds (plus de 300 ont été répertoriés) et de l'aménagement de galeries drainantes raccordées à des conduits karstiques. La morphologie de la dépression détectée sous l'église, au point de convergence supposé des galeries, a été assimilée à celle des « fontaines » du bois de Trampot, types particuliers de dolines qui se caractérisent par une source, un écoulement subaérien et une perte. La mise en relation du site archéologique et de son environnement hydrogéologique et le rôle joué par le karst ont été amorcés dans les années 1980.

III. 1. Généralités sur le karst

Selon la **définition** proposée par Bakalowicz (1999), le karst est « l'ensemble des formes superficielles et souterraines résultant de la dissolution de roches carbonatées (calcaires, dolomies) par l'eau rendue acide par le dioxyde de carbone ; par extension, l'ensemble des formes comparables se développant dans les roches salines (gypse, anhydrite, halite) ».

L'eau de pluie en s'infiltrant dans le sol se charge en dioxyde de carbone d'origine pédologique et circule à travers les discontinuités de la roche carbonatée sous l'effet d'un gradient hydraulique (cas du karst classique). L'action corrosive de l'eau entraîne sur son passage l'élargissement des fractures et l'augmentation des vides. Des conduits organisés en réseau se forment et drainent l'eau depuis la surface jusqu'à une source, tandis que des zones de stockage connectées au réseau de conduits se mettent en place dans la partie saturée de l'aquifère. La karstification conduit ainsi à une hétérogénéité du milieu considérable et à une structure spatiale très complexe, avec une organisation des vides déterminée par l'écoulement souterrain. L'aquifère peut s'apparenter à un milieu à perméabilités multiples.

L'**aquifère karstique** est composé de deux parties : la zone d'infiltration et la zone noyée.
La zone noyée comprend des drains et des systèmes annexes au drainage (Mangin 1975). Les premiers assurent la fonction transmissive de l'aquifère ; l'écoulement y est rapide. Les seconds, composés de vides de grande taille connectés hydrauliquement aux conduits, assurent la fonction capacitive de l'aquifère (stockage). Ils sont représentés par des cavités

mais également par les fractures et la porosité matricielle de la roche. Les écoulements sont lents et les temps de séjour importants.

Dans la zone d'infiltration, l'écoulement des eaux au travers du massif karstique s'effectue depuis la surface vers la zone noyée via des fissures (infiltration lente) et des fractures plus ou moins ouvertes (infiltration rapide). Dans la partie superficielle, l'eau peut être retenue dans une zone saturée discontinue : l'**aquifère épikarstique**. Il constitue un petit réservoir perché temporaire dans lequel les eaux sont soumises à l'évapotranspiration. Cette zone est caractérisée par un fort degré d'altération et de fracturation qui lui confère une porosité élevée (5 à 15% pour 1-3 % dans les niveaux plus profonds) (Plagnes 1997).

De nombreux auteurs ont observé que l'altération se développe depuis la surface et que les deux tiers de la dissolution se concentrent dans la zone d'infiltration.

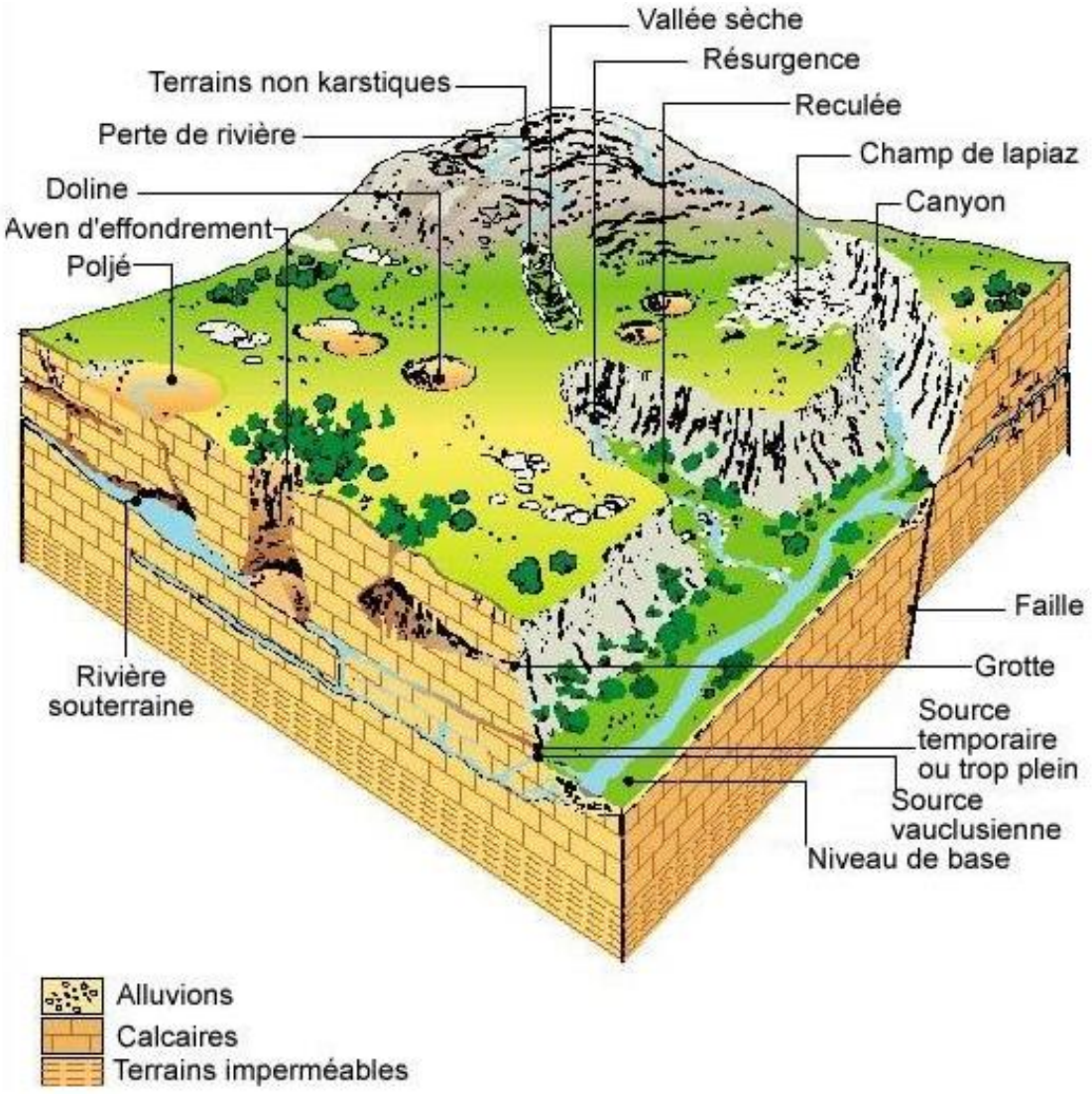


Figure 6. Bloc diagramme représentant un paysage karstique (Bakalowicz 1999).

La **karstification** est conditionnée par deux facteurs essentiels :

- le potentiel de karstification

Il est lié à l'existence d'un solvant (eau + dioxyde de carbone) et d'un gradient hydraulique entre la zone de recharge et le niveau de base. Le solvant, dont les propriétés dépendent des conditions climatiques (précipitations, végétation), permet la dissolution de la roche carbonatée et la production d'ions (Ca^{2+}, HCO^{3-}…) et de particules solides (sables, argiles…). Le gradient hydraulique, moteur de la dissolution, permet l'évacuation des matières dissoutes et le renouvellement de l'eau.

- l'état du massif

Les caractéristiques de la roche (porosité, fracturation, perméabilité) déterminent les circulations d'eau, en relation avec les directions de contraintes tectoniques et du gradient hydraulique.

L'apparition et l'évolution du karst résultent donc de la combinaison d'un ensemble de facteurs très divers (le climat, la composition chimique de la roche, la tectonique de la région, la couverture sédimentaire, la présence de couches imperméables intercalées, etc.) qui aboutit à la création de **morphologies** karstiques très variées (Figure 6). Les formes exokarstiques et endokarstiques ont été décrites dans les ouvrages de Nicod (1972) et Salomon (2006).

III. 2. Approches du système karstique

Il existe différentes visions (spéléologique, géomorphologique, hydrogéologique,…) et approches du système karstique (structurelle/fonctionnelle) selon l'objet à caractériser et les objectifs de l'étude.

La description de la structure du réseau karstique (l'organisation des conduits, leur morphologie, la nature du comblement sédimentaire) relève de la spéléologie. La compréhension de la genèse et de l'évolution du karst appartient plutôt aux domaines de la géologie et de la géomorphologie.

La connaissance de l'aquifère karstique et de ses ressources en eau relève de l'hydrogéologie. Du fait de l'hétérogénéité et de l'anisotropie inhérentes au milieu karstique, une démarche spécifique[3] est adoptée pour saisir le fonctionnement du système dans sa globalité (approche fonctionnelle). Elle repose sur des méthodes hydrodynamiques (étude des variations du débit de sortie et de la piézométrie au cours du temps) et hydrogéochimiques (conductivité, température, pH, turbidité, traceurs chimiques naturels et isotopiques, *etc*.). Elle utilise des essais hydrauliques (pompages au niveau de la source ou de cavités naturelles) et des traçages

[3] Dans le cas d'aquifères peu hétérogènes (milieux poreux comme les alluvions par exemple) pour lesquels la continuité hydraulique est vérifiée dans la zone noyée, le milieu peut être simplifié et rapporté à un Volume Elémentaire Représentatif (concept de VER). Aux chroniques temporelles (pluie, débits, etc.) s'ajoutent des essais hydrauliques et de traçage qui permettent de quantifier certains des paramètres caractéristiques de l'aquifère (porosité, perméabilité, emmagasinement) et qui sont ensuite généralisés à des portions de l'aquifère.

artificiels pour définir l'appartenance d'un point au système et pour caractériser les conditions d'écoulement souterrain. Elle fait également appel aux méthodes d'étude conventionnelles (géologie structurale, stratigraphie…) et intègre les informations géomorphologiques, géophysiques et spéléologiques dans l'interprétation.

III. 3. Karst du plateau du Haut-Pays

Les phénomènes karstiques du plateau du Haut-Pays sont connus depuis longtemps mais ont été relativement peu étudiés.

Aux 18ème – 19ème siècles, plusieurs auteurs observent que dans la région de Grand les eaux se perdent dans le sous-sol et circulent dans des cavités souterraines (Jollois 1843). La brusque montée du niveau des rivières de la Maldite et de l'Ognon et la mise en fonctionnement de sources temporaires en amont des sources pérennes sont signalées lors d'épisodes pluvieux et donnent naissance à des légendes locales. A Grand, des inondations spectaculaires se produisent en période de fonte des neiges ou de fortes pluies (écoulement dit Gironde). Les habitants et les chroniques anciennes[4] attestent ainsi de longue date l'existence d'écoulements épisodiques et de pertes dans les vallées sèches, de « fontaines » dans le bois de Trampot et de « trous » qui se forment dans les champs ou en forêt. Leur existence est même imprimée dans la toponymie : le lieu-dit *le trou* au NO de Grand en est un parfait exemple.

Le karst du plateau attire l'attention des spéléologues dans les années 1970 puis celle des géomorphologues à partir des années 1990. Il a été abordé sous un angle structurel et génétique à travers des reconstitutions paléo-environnementales réalisées à une échelle régionale, principalement des études sur l'incision du réseau hydrographique, le recul des couvertures non carbonatées et des reconstitutions paléo-climatiques.

Dans une thèse sur l'hydrologie et les aménagements hydrauliques de la Saulx et de l'Ornain, A. Devos propose en 1996, à partir d'observations spéléologiques, un modèle de mise en place du karst sous couverture argileuse.

En 2000, S. Jaillet se penche à son tour sur les amonts hydrographiques des bassins de la Saulx, de l'Ornain et de la Marne. Son travail de thèse porte sur les modalités de mise en place du karst du Barrois mais il accorde quelques pages au karst de Trampot et de la reculée du Cul-du-Cerf en s'appuyant sur les observations d'A. Devos. Il cherche à comprendre l'organisation et le développement des réseaux karstiques et hydrographiques et à expliquer l'évolution conjointe du relief et de la karstification. Il montre ainsi le rôle joué par la couverture et l'abaissement du niveau de base avec l'enfoncement des cours d'eau. Des datations de spéléothèmes par la méthode U/Th sont réalisées dans le cadre d'un contrat de recherche unissant l'Andra, l'unité G2R, le CEREGE et le CEGUM (Jaillet 2000). Des

[4] Un exemple est donné en annexe.

échantillons sont notamment prélevés en 1999 dans le réseau karstique de Trampot (Jaillet *et al*. 2002).

En 2006, D. Harmand et E. Denys réalisent de nouvelles observations de terrain sur le revers de côte de Meuse. Ils cherchent à mettre en relation les phénomènes karstiques et les formations géologiques et à identifier les couches aquifères et les calcaires karstifiés. Grâce au relevé des formes exokarstiques du bois de Trampot et des écoulements superficiels dans les vallées de l'Ognon et de la Maldite, ils proposent un modèle structural local, actuellement révisé (Denys 2005, Denys-Thomas 2006, Harmand 2008).

Enfin, le Haut-Pays est englobé dans le périmètre d'étude défini par l'Andra autour du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne, situé à quelques kilomètres de Grand. Des études géologiques et hydrogéologiques sont menées pour caractériser les propriétés des formations et les circulations souterraines régionales dans les calcaires oxfordiens. Les résultats publiés concernent principalement le secteur de Bure.

IV. PROBLEMATIQUES

La reprise récente de l'ensemble des problématiques de recherche et la reconsidération des données anciennes confirment l'importance de l'agglomération antique. Ainsi que le souligne J. Scheid (2010), elles mettent également en lumière les raisonnements circulaires qui enchevêtrent conjectures et faits observés. Les interprétations ont souvent été biaisées par l'hypothèse assimilant Grand à un sanctuaire de source dédié à Apollon. En l'état des connaissances, cette identification n'est pas vérifiée et la fonction du site soulève des interrogations.

La gestion des ressources en eau à Grand par les Gallo-Romains n'a pas été véritablement étudiée. La position du site éloignée des cours d'eau pérennes, sur un plateau calcaire, a nécessité des aménagements hydrauliques qui ont été partiellement redécouverts entre 1960 et 1990. Présentés comme exceptionnels, ils figurent en bonne place dans les publications récentes. Avec l'hypothèse d'un sanctuaire, il a été supposé que ces galeries alimentaient exclusivement la « mare sacrée » et que l'eau acheminée était réservée aux seules pratiques cultuelles. Elle devait pallier les aléas de la pluviométrie et les déficits en période de basses eaux de la résurgence. Il est notable toutefois qu'aucun système de stockage, de réserve, de vannes, destiné à réguler les débits n'ait été découvert dans les environs du point hypothétique de convergence. De plus la question de l'alimentation des habitats, si cruciale dans une région réputée « aride », est éludée.

De fait, la structure et le fonctionnement du réseau hydraulique antique sont mal appréhendés. L'origine et la destination de l'eau n'ont pas encore été déterminées. Si le système semble conditionné par la présence d'un karst, l'aquifère drainé, les ressources en eau disponibles et les débits mis en jeu ne sont pas connus. Les bâtiments bénéficiaires n'ont pas été identifiés. Les relations avec la trame urbaine et les modalités de redistribution n'ont pas été étudiées.

Pour pouvoir évaluer les besoins en eau de l'agglomération et identifier les relations entre le réseau hydraulique et le tissu urbain, l'étude de l'aménagement souterrain ne peut être dissociée de celle du reste du bâti. Or de même qu'il n'existe aucune synthèse sur le réseau hydraulique (galeries/puits), aucune carte archéologique n'a été établie. Le site n'est connu qu'à travers des découvertes éparses, fournies par des sondages et quelques fouilles, qui donnent une image très fragmentée de l'agglomération. L'organisation spatiale n'est pas saisie dans son ensemble.

Les objectifs de ce travail sont ainsi :

- d'évaluer les ressources en eau locales et de comprendre les modalités d'approvisionnement du site
    - Caractériser l'aquifère drainé en estimant sa recharge potentielle et en proposant un modèle géologique local pour déterminer son extension,
    - Réaliser une synthèse sur le réseau hydraulique en inventoriant les conduits à partir des archives et de vérifications sur le terrain,
- de compléter le plan de la ville antique à l'aide de cartographies géophysiques des espaces accessibles pour déterminer l'agencement du bâti et l'extension du site. On s'appuiera sur les photographies aériennes, le cadastre napoléonien, les données LiDAR et les archives de fouilles.

Les données doivent être géoréférencées pour pouvoir être analysées à partir d'un SIG. Des difficultés d'accès aux terrains ont toutefois empêché la réalisation de l'ensemble des opérations prévues (*cf* annexe).

CHAPITRE 2

METHODES ET OUTILS

Ce chapitre présente la nature des documents utilisés au cours de ce travail (cadastres, LiDAR et photographies aériennes, archives et publications) et les techniques mises en œuvre lors des campagnes de mesures (géophysiques, géotechniques, hydrologiques).

I. SOURCES ECRITES

I. 1. Cadastres napoléoniens

Les cadastres napoléoniens (1810 et 1887) et le cadastre de 1937 ont été consultés pour renseigner sur la toponymie, les limites de parcelles et l'emplacement des constructions, avant le remembrement cadastral. La numérisation récente des plans parcellaires anciens par les Archives d'Epinal a permis de manipuler aisément ces documents et de les intégrer au sein du SIG. Le cadastre de 1887 a été préféré en raison de la qualité de la représentation cartographique et du degré de précision du relevé. Le territoire de la commune est subdivisé en 5 sections regroupant 59 feuilles (plans au 1/1000, 1/2000 et 1/4000). Les feuilles couvrant la surface du village et sa périphérie ont été sélectionnées et géoréférencées. Le cadastre de 1810, présentant un plan plus sommaire, a également été examiné. Son redressement n'a pas été jugé utile car il aurait entraîné une distorsion trop importante de l'image. Le cadastre de 1937 a servi pour le positionnement des découvertes réalisées sur la voirie dans les années 1960.

I. 2. Archives et publications

La documentation du site, éparpillée, fait actuellement l'objet d'une collecte par les services du CG des Vosges afin de constituer un fonds documentaire de référence, déposé dans les locaux de Grand. La recherche et le rassemblement des archives de fouilles et des publications qui se rapportent au site représentent l'un des axes développés par le PCR (thème 1).

L'indigence de l'information publiée et l'absence de synthèse archéologique, malgré deux siècles de travaux, ont nécessité le dépouillement de divers rapports et revues, afin de collecter toute indication relative aux structures découvertes, aux mesures géophysiques et hydrologiques réalisées à Grand. Les fonds du SRA Lorraine (Metz) et du CG (Grand) ont été étudiés. La rétention locale de données et de rapports originaux a de plus entravé le récolement des données anciennes, en particulier celles qui touchent au réseau hydraulique, comme il sera présenté au chapitre 3.

Les documents les plus anciens utilisés dans cette étude sont représentés par les textes de Caylus et de Jollois, bien que de nombreuses citations tirées de sources anciennes et compilées par Ch. et J.-P. Bertaux, aient été rencontrées dans des publications récentes et prises en compte.

Les rapports de fouilles, de sondages et de surveillance archéologique des travaux d'aménagement ont été examinés pour relever la nature et l'emplacement des vestiges bâtis (secteurs de la mosaïque, du Grand jardin, de l'amphithéâtre, Les boutiques, La Violette,

tranches d'assainissement, *etc*., à l'exception du secteur des Roises), depuis les années 1960 (fouilles du Jardin Huguet) jusqu'aux opérations menées en 2010 (diagnostic INRAP du Pré Laguerre).
Les archives d'exploration spéléologique menée sur la période 1964-1981 par J.-P. Bertaux, ont été étudiées pour établir une synthèse du réseau souterrain.

Les notes manuscrites de B. Counot, chargé du suivi archéologique des travaux d'adduction d'eau en 1963, ont été récupérées. La position d'éléments découverts sur la voirie a été reportée dans le SIG, lorsque la lisibilité des croquis et les indications de localisation le permettaient. J.-M. Tur a incorporé une partie des informations extraites de ces feuillets à son étude sur l'habitat Nord en 2010 ; la totalité des notes a été ici reprise.

Les articles publiés dans des revues régionales et nationales, faisant état des découvertes du site sous formes de courtes synthèses, telles que *Les Comptes-rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, *Gallia*, *Le Pays Lorrain* et les *Annales de la Société d'émulation des Vosges*, ont été utiles pour retracer l'évolution des découvertes, et récupérer, parfois, des précisions absentes des rapports.

Les mémoires universitaires portant sur la topographie du site et de son environnement ont été consultés : rapports de maîtrise de Ch. Bertaux en 1974, J.-M. Mechling en 1995 et les travaux récents de J.-M. Tur et A. Resch en 2010-2011.

La lecture d'ouvrages thématiques ou généraux, traitant de Grand (ouvrage d'A. Grenier, comptes-rendus de tables rondes, *etc*.) a apporté une information très limitée pour cette étude.

Concernant les données géophysiques et hydrogéologiques, outre les éléments glanés dans les articles publiés par J.-P. Bertaux ou insérés dans les archives de fouilles, les documents suivants ont été analysés :

- le rapport de la prospection électrique mise en œuvre par la SEFE (1959),
- le pré-rapport de synthèse EDF (1990), dossier hétéroclite rassemblant une partie des résultats et des interprétations des mesures géophysiques, géotechniques et hydrologiques réalisées dans le cadre du Mécénat,
- la synthèse publiée qui lui fait suite et qui complète les données du précédent (EDF 1993), elle comprend les contributions de P. Delétie, B. Haguenauer, O. André, Y. Lemoine, Ch. et J.-P. Bertaux,
- les publications à destination d'un public varié, présentant l'apport du Mécénat EDF dans la connaissance du réseau hydraulique, parues entre 1991 et 1994 (Dossiers d'archéologie, Bulletin de correspondance hellénique, Tunnels et ouvrages souterrains, etc.),
- le rapport SRA portant sur le sous-sol de l'église, synthèse la plus récente des interprétations proposées par J.-P. Bertaux et P. Delétie (1997).

Concernant le contexte géologique et hydrogéologique du site, cette étude utilise les observations et les résultats de travaux :

- publiés dans le rapport de synthèse de l'Andra (2005),
- universitaires : mémoires de thèse et de master, entre 1996-2006 (Devos 1996, Jaillet 2000, Carpentier 2004, Denys 2005, Denys-Thomas 2006).

Les plans des réseaux disponibles à la mairie de Grand ont été récupérés pour l'interprétation des données de la prospection électrostatique menée sur les routes du village.

I. 3. Photographies aériennes

- Les prises de vue verticales

Les missions de l'IGN ont assuré une couverture photographique régulière de la commune de Grand depuis 1949[5] et ont produit des clichés en NB, infrarouge (en 1975) puis en couleurs, à des échelles variables (1/8000, 1/15000, 1/17000, 1/25000, 1/30000). Les images en NB en accès libre sur la photothèque de l'IGN ont été étudiées, apportant des informations sur l'occupation du sol avant le remembrement cadastral de 1966. Elles renseignent sur l'état de la végétation (culture, haies, etc.) et les installations de petite taille. Elles ont été consultées pour identifier certains éléments ayant servi de repère aux relevés anciens et en complément des indications fournies par les cadastres.
Les orthophotographies prises dans les années 2000 ont plus spécifiquement été utilisées. Elles ont été extraites du site Geoportail et géoréférencées. En raison de conditions de prise de vue particulièrement favorables, les images dernièrement acquises (2010) se sont révélées être un complément précieux à l'interprétation des données géophysiques, notamment dans l'étude du tracé d'un conduit drainant au sud de Grand.

- Les clichés obliques

Dans les années 1960, la recherche archéologique à Grand a profité des clichés issus des missions effectuées par le Service photographique de l'Armée de Terre (Centre d'Instruction et de Spécialisation de l'Aviation Légère de l'Armée de Terre, base d'Essey-les-Nancy - Meurthe-et-Moselle) entre 1961 et 1975. Dès 1959 E. Salin envisageait d'utiliser les vues aériennes comme moyen d'investigation du sol en les confrontant aux résultats géophysiques (Salin 1959). Les photographies ont orienté les recherches, par exemple dans le secteur de la *villa* La Violette ainsi que le montrent les comptes-rendus de fouilles de J.-C. Berçot.
Entre 1973 et 1978, devant l'intérêt que suscite ce type de prospection, une vingtaine de missions sont réalisées par M. Loiseau sous le contrôle de la Sous-Direction de l'Archéologie. Seuls les clichés pris lors de la sécheresse de 1976 sont alors exploités ; ils révèlent de part et

[5] Missions IGN conduites en 1949, 1956, 1961, 1970, 1971, 1974, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1988, 1995, 2001, 2002, 2006, 2007, 2010.

d'autre du chemin circulaire des « ensembles isolés jusqu'alors inconnus » (Bertaux et Loiseau 1986). Par la suite, de nouvelles campagnes sont conduites par M. Loiseau, notamment durant l'été 2003, puis en juillet 2010 par S. Izri.

Une sélection parmi la centaine de clichés obliques conservés au service de documentation du SRA Lorraine a été opérée. Si de nombreux clichés offrent une lecture très nette des anomalies phytographiques créées par des structures bâties ou géologiques, les points de calage pour une rectification et un géoréférencement acceptables font souvent défaut. Plusieurs photographies ont donc été redressées et leur information, vectorisée, intégrée au SIG.

I. 4. LiDAR

De plus en plus couramment utilisée en archéologie, la prospection LiDAR (Light Detection And Ranging) permet de restituer par balayage laser les reliefs au sol, avec une précision centimétrique à décimétrique.

La technique repose sur l'émission d'une impulsion laser et sur la mesure du temps de retour du signal réfléchi. Le système d'acquisition est placé à bord d'un avion équipé d'un GPS différentiel et d'une centrale de navigation interne permettant de calculer les coordonnées des points de mesures. Plusieurs échos sont enregistrés : le premier est généré par les points de sursol, correspondant aux obstacles matériels (végétation, bâtiments, etc.), tandis que le dernier décrit la surface du sol. Les temps de retour mesurés en chaque point sont traduits en altitudes. La densité de points de réflexion est essentiellement fonction de l'altitude du vol (de l'ordre de 5 à 10 points par m^2).
Les données sont ensuite traitées en vue de créer un Modèle Numérique de Surface (MNS) qui, débarrassé des effets des masses au sol, produit un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Le modèle topographique obtenu offre une visualisation des microreliefs du terrain très utile dans les secteurs difficiles d'accès, en particulier sous couvert forestier. L'étude des anomalies de relief permet de repérer et localiser des structures - géologiques, archéologiques - et d'enrichir ainsi les bases de données archéologiques et les SIG. L'application de ce type de relevé se généralise et des programmes de recherche se mettent en place pour cartographier des centaines d'hectares et améliorer les traitements et la qualité des restitutions.
La détection de vestiges, liée à leur état de préservation et à leur l'environnement, se révèlent plus ou moins concluants selon les cas. L'exemple de la forêt de Haye en Meurthe-et-Moselle (George-Leroy *et al.* 2009) compte parmi les études les plus avancées ; on peut citer également ceux de la vallée du Doubs (site de Mandeure, Laplaige 2012) et du Mont Beuvray (site de Bibracte).

Une couverture LiDAR de la commune de Grand a été réalisée en février et mars 2009 par la société Guelle et Fuchs (57). Un premier tri des données brutes, discriminant les points de sursols des points de sol, a été opéré avant de les livrer au CG des Vosges. Ces données ont été prises en compte dans l'étude de l'habitat Nord par J.-M. Tur (2010) sans apport réel dans

l'appréhension du secteur. Elles ont également été exploitées dans une étude de M1 portant sur l'identification des voies de circulation antiques sur le territoire de Grand (Resch 2011).

A partir de ces données, un MNT (Figure 7) a été généré dans le cadre de ce travail de thèse, à deux fins :

- obtenir une topographie fine des environs du site pour la caractérisation de l'environnement hydrogéologique du site,
- localiser les anomalies de faible longueur d'onde (associés aux restes bâtis) pour la reconnaissance spatiale de l'agglomération.

Le logiciel ArcGis 10 a été utilisé pour la création du MNT et des couches associées aux différentes données cartographiques du SIG.
Le logiciel GlobalMapper 11 a servi à la visualisation rapide des microreliefs avec un éclairage artificiel choisi en conséquence. Aucun traitement spécifique n'a été apporté, les images obtenues étant chargées de compléter l'information issue des cartes géophysiques, des photographies aériennes et des cadastres.

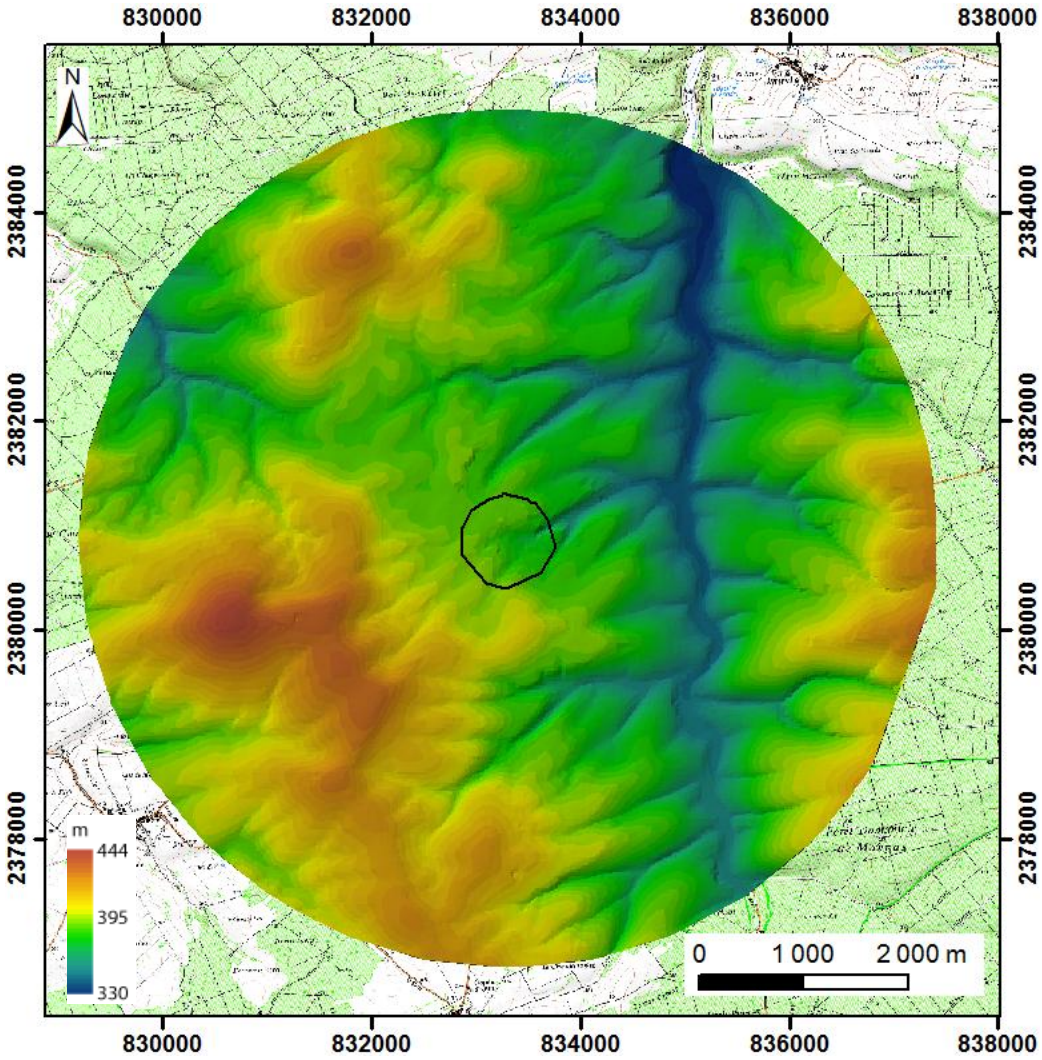


Figure 7. MNT construit à partir des données LIDAR. Relevé centré sur le village de Grand (délimité par le trait noir) sur une surface de 52 km^2.

II. METHODES GEOPHYSIQUES

II. 1. Prospection magnétique

La prospection magnétique permet d'enregistrer et de cartographier les variations du champ magnétique terrestre provoquées par les contrastes d'aimantation des différents constituants du sous-sol.

- Généralités

Tout objet placé dans un champ magnétique H acquiert une aimantation M, dite induite, proportionnelle au champ : $M = \kappa * H$. La susceptibilité magnétique κ (sans dimension) traduit la capacité du matériau à s'aimanter en présence d'un champ extérieur. Le champ terrestre est faible et l'intensité de l'aimantation induite est peu élevée, il est rare que la susceptibilité magnétique dépasse 0,01 pour les matériaux archéologiques (à l'exception des métaux ferreux) les roches ou les sols.
D'autres aimantations peuvent être rencontrées. Lorsque les minéraux magnétiques sont chauffés au-delà de leur température de Curie, T_c, l'orientation des grains devient aléatoire du fait de l'agitation thermique, lorsque la température redescend en dessous de T_c ils s'orientent préférentiellement sur le champ ambiant présent lors de ce refroidissement. L'aimantation, dite thermorémanente, qui perdure après l'arrêt de l'application du champ, est forte et stable. Elle existe dans les terres cuites et plus généralement les matériaux chauffés. En prospection elle intervient pour les structures en place, elle ne peut en effet montrer une résultante globale cohérente lorsque les sols sont perturbés (labour, bioturbation) car la résultante des aimantations des éléments brassés est fortement diminuée. Parmi les autres types d'aimantation rémanente dont on doit tenir compte en prospection se place l'aimantation visqueuse qui correspond à une augmentation au cours du temps de l'aimantation induite quand le champ extérieur est maintenu. Les structures archéologiques en place sont ainsi susceptibles de porter une aimantation visqueuse.

Dans le sol, les oxydes de fer contenus dans la fraction argileuse sont les principaux porteurs du signal magnétique. Plusieurs auteurs ont montré que la susceptibilité magnétique de l'horizon superficiel, enrichi en minéraux très magnétiques par la chauffe (essartage, écobuage) ou par les micro-organismes au cours de la pédogénèse, est supérieure à celle de la roche mère dont ils sont issus (Le Borgne 1955). L'altération de la roche mère puis la pédogénèse permettent en effet la migration et la transformation des minéraux qui subissent des modifications au cours de processus physico-chimiques, dépendant de la température, du régime hydrique, du potentiel d'oxydoréduction et de l'activité biologique du milieu. Les variations de susceptibilité sont en conséquence liées au climat, à la topographie par les mécanismes de transport et d'accumulation des particules et aux activités humaines.
Plus précisément, la chauffe des matériaux, l'une des causes premières de l'augmentation de susceptibilité, produit des minéraux fortement magnétiques par réduction de l'hématite en magnétite (suivi éventuellement d'une oxydation en maghémite) ou déshydratation de la lépidocrocite en maghémite. Ces transformations, gouvernées par la température de chauffe,

sa durée, les répétitions, les conditions redox du milieu, la quantité de matière organique, sont dépendantes des activités anthropiques. Les propriétés magnétiques peuvent donc être considérées comme des marqueurs d'occupation du sol et leurs variations peuvent témoigner des différentes activités passées, métallurgiques, domestiques, artisanales, à travers les chauffes répétées dans les structures de combustion (foyers, fours de potiers, de tuiliers, briques cuites), la mise en culture ancienne des sols. D'une manière générale, les structures maçonnées (murs, fondations, …) sont souvent moins magnétiques que le sol, au contraire des structures fossoyées dont le remplissage par les particules fines des horizons supérieurs est plus magnétique que l'encaissant.

Le contraste d'aimantation entre l'objet archéologique enfoui (empierré ou en creux) et le terrain environnant se manifeste par une anomalie magnétique dont la forme reproduit mal la géométrie de l'objet. L'anomalie dipolaire créée n'est pas centrée sur la structure (aux latitudes de prospection considérées ici). Le décalage entre sa position et celle de la structure archéologique reste cependant limité en raison des dimensions et de la faible profondeur de cette dernière. La prospection magnétique n'établit pas de distinction entre les différents types d'aimantation ; la profondeur d'investigation dépend du contraste d'aimantation et du volume de l'objet. La taille, la profondeur et l'aimantation de la structure ne peuvent donc être déterminées de manière unique ; on y parvient à partir de présupposés sur l'objet et de la réponse mesurée.

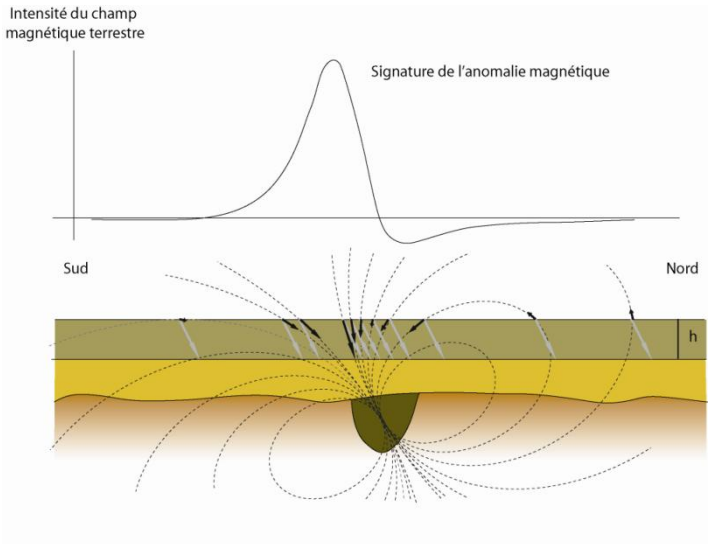


Figure 8. Variation de l'intensité du champ créée par une structure magnétique enfouie (Simon 2012, d'après Hesse 1978 et Hulin 2007).

Les appareils de prospection magnétique sont particulièrement sensibles aux anomalies causées par les éléments en fer et donc aux pollutions métalliques modernes (lignes électriques, clôtures, canalisations métalliques, débris erratiques) qui créent en surface un bruit pouvant être très important et dissimuler la réponse des structures archéologiques.

- Equipement utilisé et mode opératoire

Les prospections à pied ont été réalisées à l'aide d'un magnétomètre à vapeur de césium G858 (Geometrics Ltd) utilisé en mode gradiomètre (Figure 9). Deux capteurs placés sur la même verticale enregistrent simultanément l'intensité du champ magnétique terrestre. La mesure du pseudo-gradient vertical du champ total (exprimée en nT/m) permet d'éliminer les dérives temporelles (variations diurnes) du champ. D'une sensibilité de 0,01 nT, l'appareil enregistre 5 à 10 mesures par seconde (soit une mesure tous les 10-20 cm), sur des profils rectilignes parallèles espacés d'un mètre.



Figure 9. Magnétomètre G858 (prospection lieu-dit La Citerne)

II. 2. Prospection électrique

- Principe

La résistivité électrique ρ traduit la capacité d'un matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique. Elle est définie par la loi d'Ohm comme le rapport du champ électrique E et de la densité de courant J ; elle est exprimée en Ω.m. Son inverse, la conductivité électrique σ, est également utilisée (elle est exprimée en S/m, mS/m ou µS/cm en hydrologie).

Dans les sols, le courant électrique circule principalement par conduction électrolytique, c'est-à-dire par déplacement des ions dans l'eau interstitielle (conduction volumique) et à la surface des grains solides (conduction surfacique – théorie de la double couche). La résistivité électrique du milieu, fonction de la quantité et de la mobilité des charges libres, dépend directement ou indirectement de la concentration ionique de la solution, la teneur en eau, la fraction argileuse, la température, la porosité. En l'absence d'argile, la résistivité du sol est proportionnelle à celle de l'eau et la loi d'Archie (1942) donne une relation empirique entre la résistivité de la roche, la résistivité de la solution et la porosité (ou la teneur en eau pour les milieux non saturés).

Pour la plupart des formations superficielles continentales où la salinité de l'eau est faible, la résistivité est le reflet de la teneur en argile, donc la granulométrie ; les milieux grossiers sont plutôt résistants et les milieux fins conducteurs.

- Techniques de prospection

La résistivité électrique est obtenue par l'injection d'un courant électrique dans le sol à l'aide d'une paire d'électrodes et la mesure de la différence de potentiel, créée par la circulation du courant, à l'aide d'une deuxième paire d'électrodes. C'est une mesure intégrante, elle est représentative d'un volume de sol régi par l'écartement entre l'électrode d'injection et

l'électrode de mesure les plus proches. Le milieu étant rarement homogène, on parle de résistivité apparente : ρ_a. Celle-ci dépend de la distribution (hétérogène) des résistivités du terrain et de la configuration du dispositif utilisé.

$$\rho_a = K\frac{\Delta V}{I}$$

avec *K* facteur géométrique, *I* intensité du courant injecté, ΔV différence de potentiel mesurée

Pour obtenir la résistivité associée aux objets que l'on cherche à caractériser, on doit effectuer une inversion des données, c'est-à-dire chercher un modèle permettant d'expliquer les distributions du courant et du potentiel observées. Il existe pour chaque jeu de données une infinité de solutions possibles. L'interprétation 1D où l'on considère que la structure du terrain est tabulaire est confrontée aux phénomènes d'équivalence : tant que le rapport épaisseur sur résistivité d'une couche conductrice ou que le produit épaisseur par résistivité d'une couche résistante demeure inchangé, l'ajout et la suppression de couches intermédiaires peuvent être réalisés sans que la précision du modèle s'en trouve affectée. Il est nécessaire pour contraindre l'inversion et approcher de la réalité de prendre en compte toutes les observations disponibles, obtenues par couplage de différentes techniques de prospection, forage, *etc.*
La qualité du modèle est liée au nombre de mesures, de paramètres d'inversion, à la sensibilité de la configuration, qui sont choisis en fonction des objectifs et de l'environnement de mesure. L'amélioration du modèle a par conséquent un coût en temps d'acquisition et en temps de calcul. L'écart entre données mesurées et données calculées (dans notre cas l'erreur RMS) permet d'estimer sa fiabilité et d'assurer qu'il reproduit bien les données de terrain.
Les techniques d'inversion sont bien maîtrisées et sont employées aussi bien pour des données électriques que des données EM.

- Sondage

Le principe consiste à augmenter le volume de sol investigué en augmentant progressivement l'écartement des électrodes, le dispositif restant centré sur un point fixé. On obtient ainsi l'évolution de la résistivité apparente en fonction de la profondeur. Les données sont ensuite inversées pour déterminer la résistivité interprétée de chaque couche et positionner les interfaces.



Figure 10. Mise en œuvre d'un sondage électrique (Grand).

- Tomographie (ou panneau électrique ou ERT)

Le sondage renseigne sur les variations verticales de la résistivité en un point donné (modèle 1D). Si l'on veut restituer la variation latérale de résistivités, un quadripôle de taille fixe est déplacé selon un pas régulier le long d'une ligne (traîné ou profilage électrique), technique qui permet la réalisation de cartes de résistivité sur une certaine épaisseur de terrain.

Le panneau électrique combine les techniques de profilage et de sondage pour décrire les distributions latérale et verticale des résistivités (modèle 2D). Une rangée d'électrodes (dans notre cas, 72 ou 96) est plantée le long d'un profil (Figure 11). Par permutation des couples d'électrodes, le centre du dispositif est déplacé et l'écartement augmenté, en respectant la configuration adoptée.
A Grand, deux dispositifs ont été systématiquement utilisés. Le quadripôle en configuration dipôle-dipôle (DD) est plus sensible aux structures verticales et aux cavités, tandis qu'en configuration Wenner-Schlumberger (WS) il est plus sensible aux structures horizontales et présente un meilleur rapport signal/bruit ; cette configuration est souvent choisie lorsqu'on n'a aucune connaissance *a priori* du terrain.

Appareil utilisé : Résistivimètre Syscal Pro (Iris Instrument)

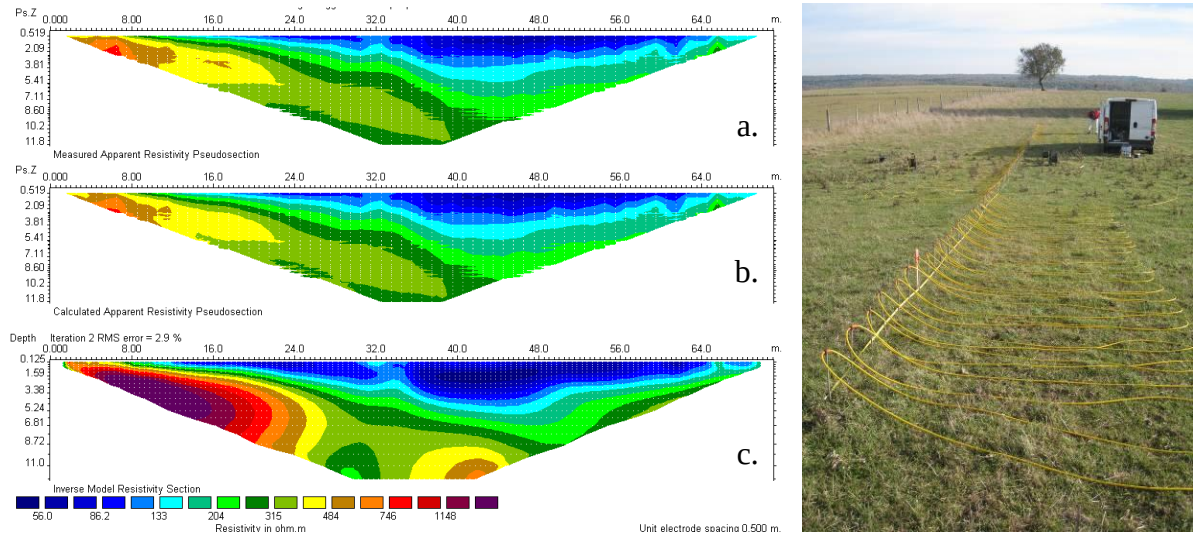


Figure 11. Données d'un panneau réalisé en aval de l'amphithéâtre (Grand) : a. pseudo-section de résistivités apparentes mesurées, b. pseudo-section de résistivités électriques apparentes calculées, c. modèle : section inversée de résistivités. A droite : mise en œuvre d'un panneau électrique avec 96 électrodes espacées de 33 cm, au lieu-dit La Citerne (Grand).

- Cartographie

La prospection électrique est fréquemment mise en œuvre sur sites archéologiques pour rechercher des structures bâties ou excavées telles que murs, éboulis, fosses, fossés. Elle se révèle bien adaptée si les vestiges présentent un contraste de résistivité avec le milieu environnant suffisant pour les détecter. Ainsi une structure empierrée dans une couche limono-argileuse créera une anomalie localement résistante tandis que le remplissage d'une structure en creux dans un substrat calcaire apparaitra plus conducteur (drain, diaclase, ...).

Dispositifs :

L'équipement portable utilisé est composé du résistivimètre RM15-D (Geoscan Research) relié à un multiplexeur MPX15, d'un porte-électrodes supportant 4 électrodes mobiles

distantes de 50 cm et de 2 électrodes fixes situées « à l'infini » (disposition pôle-pôle). 6 mesures sont enregistrées pour une même position du porte-électrodes. La distance inter-électrodes gouvernant la profondeur d'investigation, on définit l'épaisseur de terrain prise en compte comme étant approximativement égale à l'espacement entre les électrodes d'injection et de mesure les plus proches, soit 0,5 m, 1 m et 1,5 m (Figure 12). L'acquisition a été réalisée le long de profils rectilignes parallèles avec un pas de 1 m. Les résultats sont présentés sous forme de trois cartes interpolées de résistivité électrique apparente correspondant à chaque écartement (Figure 14) ; ils peuvent être interprétés en détail sur une zone jugée intéressante.

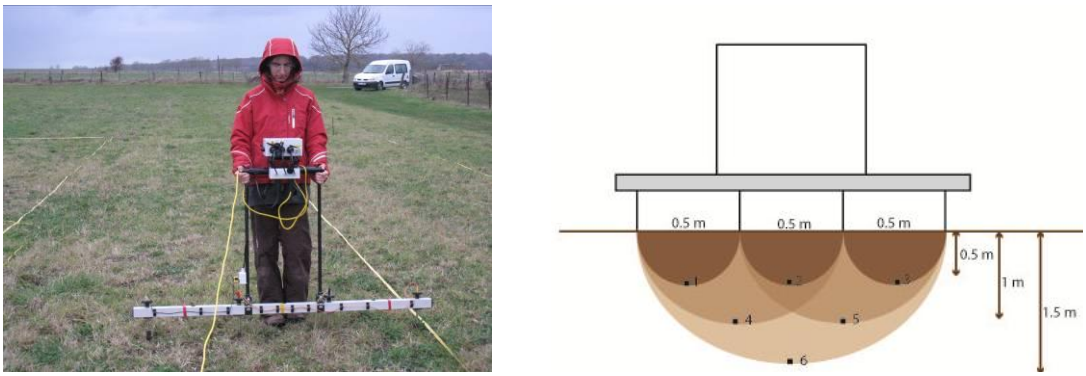


Figure 12. Prospection RM15 (Grand). Schéma du porte-électrodes et volumes de sol investigués pour chaque mesure.

Le dispositif tracté mis en oeuvre par Geocarta (ARP®) permet une couverture rapide des espaces dégagés. Les distances entre les points d'injection (AB) et de mesure (MN) sont rappelées sur la figure ci-dessous. La voie 1 correspondant à l'écartement 0,5 m prend en compte dans la mesure une épaisseur de 0,5 m, la voie 2 une épaisseur de 1 m, et la voie 3 une épaisseur de 2 m.

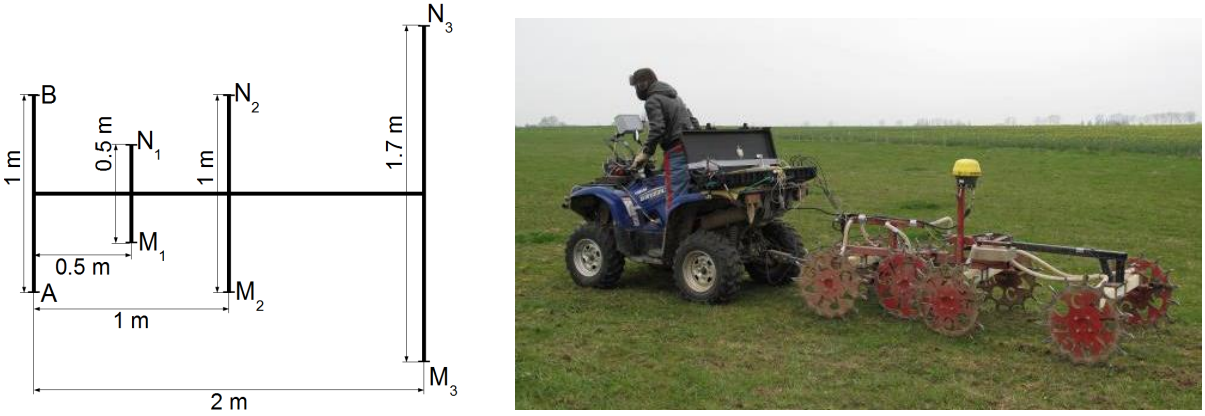


Figure 13. Dispositif ARP (Geocarta) : positions des points d'injection AB et de mesures MN pour les 3 écartements, et mise en œuvre (site du Vieil-Evreux).

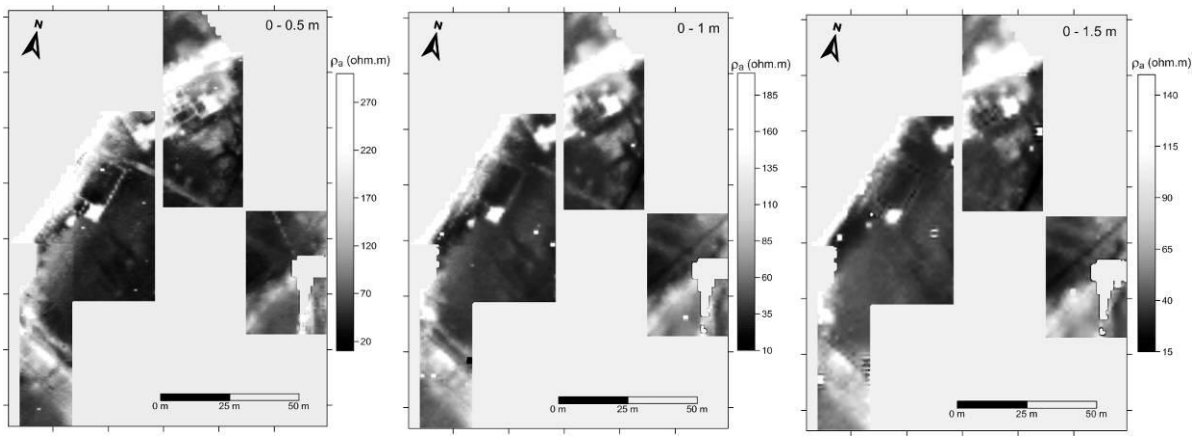


Figure 14. Résultat d'une prospection électrique (Grand) réalisée avec un RM15 (pôle-pôle). Cartes de résistivité électrique apparente obtenues pour chacun des trois écartements (0,5/1/1,5 m).

II. 3. Prospection EM-BF

La prospection électromagnétique basse fréquence, EM-BF, est basée sur le phénomène d'induction où la diffusion dans le sous-sol d'un champ EM variable dans le temps va dépendre de sa résistivité électrique. Une bobine émettrice parcourue par un courant alternatif ou transitoire génère un champ magnétique primaire qui induit dans les conducteurs présents dans le sous-sol une force électromotrice secondaire et la circulation de courants électriques (dits de Foucault). Ceux-ci sont sources d'un champ magnétique secondaire qui est mesuré par une bobine réceptrice en surface.

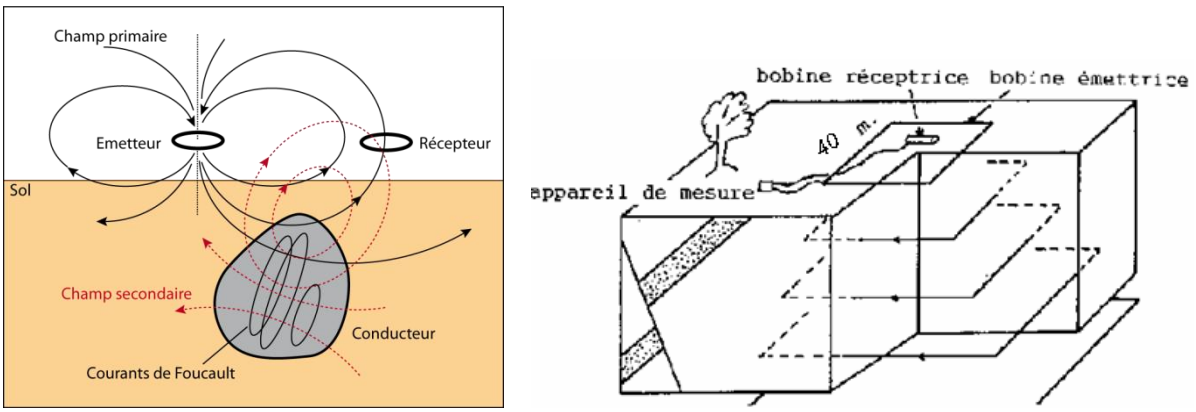


Figure 15. Schéma de principe. Diffusion des lignes de courant (sondage TDEM).

Les méthodes EM basse fréquence sont classées selon la variation temporelle du signal source employé en TDEM (*Time Domain Electro-Magnetism*) ou en FDEM (*Frequency Domain Electro-Magnetism*).

- Le sondage TDEM

Il se fonde sur l'émission d'impulsions séparées par des périodes sans émission durant lesquelles est effectuée la mesure du champ secondaire (donc en l'absence du champ primaire). Un champ EM transitoire est créé par la coupure brusque du courant circulant dans

une boucle émettrice posée au sol. L'intensité des courants induits dans le sol et sa décroissance au cours du temps sont mesurées grâce à une bobine réceptrice (une même bobine peut être utilisée comme émetteur et récepteur). La profondeur d'investigation augmente avec le temps où l'on mesure le champ secondaire. La décroissance du signal est d'autant plus rapide que les formations sont résistantes. En pratique la taille de la boucle doit être du même ordre de grandeur que la profondeur investiguée. Cette dernière dépend également de l'amplitude du courant injecté, de la résistivité des terrains, des effets de polarisation dans le milieu et est limitée par le bruit EM ambiant (Spies et Frischknecht 1991, Nabighian et MacNae 1992).

Les sondages TDEM fournissent une bonne description des variations de conductance longitudinale (rapport épaisseur/résistivité). Les couches conductrices, en particulier le toit de ces horizons, seront bien détectées. Les sondages électriques, plus sensibles aux variations de résistances transversales (résistivité x épaisseur), permettent de caractériser les niveaux résistants, mais une succession de couches fines conductrices sera vue comme une seule couche.
De nombreuses applications existent, en profilage ou en sondage, où l'on cherche à déterminer la structure du milieu souterrain à travers les variations latérales et verticales de la conductivité des terrains : description des couches de sol et de leur épaisseur, de la topographie du socle, localisation des intrusions salines, de dépôts de graviers, de contaminations souterraines, de canalisations et autres conducteurs métalliques, détection des failles et zones fracturées, applications archéologiques, etc. (Frischknecht *et al*. 1991, McNeill 1980).

Appareils utilisés : TEMfast 48 (AEMR) et Protem 47 (Geonics Ltd)

- La prospection avec l'appareil 'Slingram' EM31

Les méthodes fréquentielles sont basées sur l'utilisation de champs alternatifs sinusoïdaux de fréquence fixe et on ne peut éviter la mesure de la somme des champs primaire et secondaire. Dans l'approximation du faible nombre d'induction, la composante en quadrature du champ magnétique secondaire est proportionnelle à la conductivité électrique des terrains, et la composante en phase à leur susceptibilité magnétique. Les appareils slingram permettent ainsi d'obtenir la conductivité de l'horizon superficiel à partir du rapport de la partie en quadrature du champ secondaire au champ primaire. Ils sont employés pour répondre à des problématiques archéologiques ou environnementales, dans notre cas pour identifier les couches géologiques superficielles et localiser leurs affleurements.

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega\ \mu_0\ s^2} \left(\frac{H_s}{H_p}\right)$$

H_p = champ magnétique primaire
H_s = champ magnétique secondaire
$\omega = 2\pi f$
μ_0 = perméabilité du vide
σ_a = conductivité électrique apparente ($S.m^{-1}$)
s = distance émetteur-récepteur (m)

L'EM31 (Geonics Ltd) est un dispositif portable par un opérateur (Figure 16) qui autorise un grand rendement et se révèle efficace pour détecter et imager les structures conductrices.
La fréquence d'émission est de 9,8 kHz, l'écartement des bobines est de 3,66 m. L'enregistrement des mesures a été réalisé en continu (une mesure/seconde) sur des profils parallèles, avec un recalage au GPS. La profondeur d'investigation est de l'ordre 5-6 m en configuration HCP (horizontal coplanaire) et un peu plus faible VCP (vertical coplanaire).



Figure 16. Prospection EM31 à Grand.

Le tableau suivant présente des ordres de grandeur des résistivités habituellement rencontrées en milieu sédimentaire (McNeill 1980) et vaut pour la prospection EM-BF comme pour la prospection électrique.

Rock type	Resistivity range (Ωm)
Consolidated shales	$20–2 \times 10^3$
Argillites	$10–8 \times 10^2$
Conglomerates	$2 \times 10^3–10^4$
Sandstones	$1–6.4 \times 10^8$
Limestones	$50–10^7$
Dolomite	$3.5 \times 10^2–5 \times 10^3$
Unconsolidated wet clay	20
Marls	3–70
Clays	1–100
Alluvium and sands	10–800
Oil sands	4–800

Tableau 1. Gammes de résistivités électriques de quelques roches (McNeill 1980).

II. 4. Prospection RMP

La méthode RMP (résonance magnétique protonique) se différencie des méthodes de prospection précédentes en ce que l'information qu'elle apporte est directement liée à la quantité de liquide présent dans le sol. Appliquée pour la caractérisation d'aquifères et la recherche des ressources en eau, la technique de sondage et/ou de profilage RMP a notamment été expérimentée pour détecter des cavités souterraines et des conduits karstiques saturés (Legchenko et Valla 2002, Vouillamoz *et al*. 2003, Chalikakis 2006).

- Principe

Les noyaux d'hydrogène des molécules d'eau possèdent des moments magnétiques non nuls qui, placés dans un champ magnétique H_0 (comme le champ terrestre), sont alignés à l'équilibre sur la direction du champ. L'émission d'un champ magnétique perturbateur à une fréquence spécifique (appelée fréquence de Larmor) modifie cet état d'équilibre et provoque une précession des moments magnétiques autour de la direction de H_0. Après coupure du champ excitateur, un champ magnétique de relaxation est émis par les protons au cours de la

phase de retour à l'équilibre. Ce signal, dont l'amplitude est fonction du nombre de protons entrés en résonance, constitue la réponse RMP. La fréquence est choisie pour assurer une excitation sélective des noyaux d'hydrogène qui, dans le sous-sol, appartiennent principalement aux molécules d'eau. Ainsi la méthode renseigne directement et spécifiquement sur la présence ou l'absence d'eau et sur les caractéristiques hydrodynamiques du milieu.

- Mise en œuvre

Le champ perturbateur est créé à l'aide d'une boucle posée au sol, parcourue par un courant oscillant à la fréquence de Larmor. La boucle, de taille décamétrique, sert d'antenne émettrice et réceptrice. Une antenne en forme de 8 carré peut être adoptée pour améliorer le rapport signal/bruit. Le volume investigué correspond à un cylindre vertical de diamètre égal à 1.5 fois le diamètre de la boucle.
Différents facteurs peuvent influencer l'amplitude des signaux RMP mesurés : l'inclinaison et l'amplitude du champ magnétique terrestre, la conductivité électrique des terrains, la taille et la géométrie de l'antenne, le moment d'excitation (courant primaire x temps d'injection) (Legchenko *et al*. 1997).

L'impulsion du courant alternatif envoyé dans la boucle est de la forme :

$$I(t) = I_0 \cos(\omega_0 t), \qquad 0<t<\tau, \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \gamma H_0$$

I_0: amplitude initiale choisie selon la profondeur d'exploration souhaitée
τ : durée d'impulsion
f_0 : fréquence de Larmor, calculée à partir de la mesure du champ magnétique terrestre local.
ω_0 : pulsation du courant correspondant à la fréquence de Larmor
H_0 : amplitude du champ magnétique terrestre
γ : facteur gyrodynamique des protons

Le signal de relaxation RMP suit une décroissance exponentielle dépendant du moment d'excitation $q = I_0\tau$

$$e(t,q) = e_0(q)\exp\left(-\frac{\tau}{T_2^*}\right)\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$e_0(q)$: amplitude initiale RMP
T_2^* : temps de relaxation spin-spin
φ_0 : phase du signal RMP

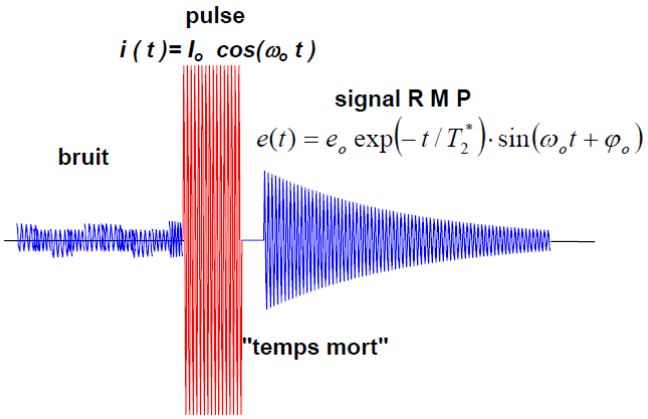


Figure 17. Schéma d'une séquence émission/réception en fonction du temps.

Le volume investigué augmentant avec l'augmentation du moment d'excitation q, le sondage RMP consiste à mesurer $e(t,q)$ pour des valeurs de q croissantes. Les paramètres $e_0(q)$, T_2^*, φ_0 sont calculés à partir du signal enregistré dans la boucle. La détermination de leur variation permet d'estimer la teneur en eau du sous-sol et la profondeur d'investigation. En pratique, on utilise l'injection de deux impulsions consécutives et on introduit une constante de décroissance *T1* (temps de retour à l'équilibre des moments magnétiques).

Après inversion, des informations sur la taille des pores, la teneur en eau volumique, la transmittivité, la perméabilité, l'épaisseur de l'aquifère peuvent être obtenues à partir du modèle défini. En contexte karstique, l'interprétation des données RMP peut s'avérer délicate pour la détection des conduits en raison de la faible amplitude des signaux utilisés. Cependant, lorsque le signal est non nul, l'attribution de son origine à la présence d'eau dans le sous-sol ne fait aucun doute.

Limites : portabilité et temps de mesure. Un sondage en zone moyennement bruitée avec un faible signal RMP (cas du karst) nécessite une journée.

Matériel utilisé :
Equipement NUMIS lite (Iris Instrument) : un condensateur, un convertisseur DC/DC (110 V max), un ordinateur portable, des batteries de 12 V, une boucle carrée de 40 m de côté.

Logiciels d'inversion : Samovar v6.6. Les algorithmes d'inversion des paramètres RMP sont décrits par Legchenko et Shushakov (1998).

II. 5. Prospection gravimétrique

A la surface de la Terre, toute masse est soumise à la force de pesanteur. Elle correspond à l'attraction exercée par la masse de la Terre et à la force d'inertie axifuge créée par la rotation de la Terre sur elle-même. La prospection gravimétrique consiste à mesurer les variations de la composante verticale du champ de pesanteur afin d'obtenir les variations de densité apparente du sous-sol.

La pesanteur variant également avec la latitude, l'altitude, le relief, les effets astronomiques et des marées terrestres, plusieurs corrections doivent donc être apportées aux mesures brutes pour mettre en évidence les anomalies créées par les seuls contrastes de densité du sous-sol.

Les variations temporelles liées à la dérive instrumentale et aux effets de marées sont corrigées par un retour régulier à un point de base. Les variations dues à la rotation de la Terre et à sa forme elliptique sont fonction de la latitude du point de mesure, et donc aisément corrigeables.
3 corrections, regroupées sous le terme de correction de Bouguer, permettent de réduire les valeurs mesurées aux valeurs de ces mêmes points ramenés sur une surface équipotentielle. Elles demandent de définir un niveau de référence et requièrent une grande précision dans le relevé des altitudes (de l'ordre de 3 mm pour une sensibilité de 1 µgal).

- La correction de plateau permet de retirer, au point de mesure considéré, l'attraction exercée par la tranche de terrain comprise entre celui-ci et le niveau de référence ($-2\pi\rho G\, h$).
- La correction à l'air libre permet d'éliminer l'effet de la différence d'altitude entre le niveau de référence et le point de mesure (0,3086 mgal/m).
- La correction de relief, plus délicate à calculer, permet de s'affranchir de l'effet des masses et des vides environnant le point de mesure. Faible en l'absence de relief marqué, elle impose de calculer en zone urbaine l'effet des constructions.

Après application de l'ensemble de ces corrections, les données ne conservent que les effets des sources existant dans le sous-sol. Le résultat est présenté sous forme de profils ou de cartes d'anomalies de Bouguer, interprétés en termes de distribution de densités du sous-sol.
La prospection gravimétrique est couramment utilisée pour la détection des vides (cavités karstiques, carrières, cryptes…) qui ont un volume suffisamment important.

III. SONDAGE PENETROMETRIQUE

Cet essai géotechnique, employé en Génie civil, est utilisé pour déterminer la qualité de résistance mécanique des terrains superficiels. Il consiste à enfoncer dans le sol, par battage et de manière quasi-continue (à la cadence de 15 à 30 coups par minute), un train de tiges muni à son extrémité d'une pointe débordante. Le nombre de coups correspondant à un enfoncement donné permet de calculer la résistance dynamique de pointe et d'apprécier ainsi la compacité des terrains traversés. Les résultats du sondage aident à positionner les couches résistantes et à localiser les zones meubles et décomprimées.

Le pénétromètre dynamique se compose d'un mouton de battage de 10 kg, d'une enclume, d'une tige-guide, de tiges d'un diamètre de 22 mm, d'une pointe de forme conique de diamètre supérieur à celui de la tige pour s'affranchir des frottements latéraux, de systèmes annexes de guidage, de repérage et de compactage.
Le mouton, lâché d'une hauteur de chute H, coulisse sur la tige-guide et frappe l'enclume, transmettant l'énergie de battage au train de tige et à la pointe. Le nombre de coups pour un

enfoncement de la pointe de 20 cm dans le sol est enregistré. Le refus survient quand le nombre de coups dépasse 80.

La résistance dynamique de pointe q_d est donnée conventionnellement par la formule suivante (dite 'des Hollandais') :

$$q_d = \frac{M^2.H}{A} \frac{1}{M + P_z} \frac{1}{e}$$

M : poids du mouton
H : hauteur de chute du mouton
Pz : poids des tiges
A : section de la pointe (adaptée à la dureté du terrain, ici 5 cm²)
e : refus, enfoncement par coup

En pratique, on calcule q_d en utilisant la formule : $q_d = N*CM$

N : nombre de coups nécessaire à un enfoncement de 20 cm
CM : coefficient multiplicateur, choisi en fonction la profondeur et de la section de la pointe

La variation de q_d observée pour des profondeurs croissantes permet de définir différents horizons de sol à partir de leur résistance mécanique, leur compacité, leur dureté. Les hétérogénéités locales doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats ; il est préférable de réaliser plusieurs essais pour une meilleure évaluation des caractéristiques mécaniques des couches rencontrées.

IV. MESURES HYDROLOGIQUES

Le suivi des traceurs chimiques et isotopiques de l'eau, naturels ou artificiels, est une technique employée aussi bien pour la caractérisation des eaux de surface (hydrologie) que pour celle des eaux souterraines (hydrogéologie).

A Grand, des mesures de conductivité et de température de l'eau ont été réalisées en 1989 et 2011 pour comprendre les modalités de circulation des eaux du site. L'objectif de ces tests, effectués dans des puits et dans les forages EDF, a été de déterminer, si possible, des points de passage des circuits empruntés par l'eau à partir de la mesure de ces paramètres.

Des campagnes de traçages à la fluorescéine et par injection de sel ont été menées dans les années 1970 et en 1989. La mise en œuvre d'un tel procédé nécessite une connaissance préalable du système que l'on cherche à reconnaitre ; elle doit répondre à un questionnement précis et vérifier des hypothèses émises sur les relations entre deux points. Prévue dans le cadre de ce travail, elle intervient à la suite de l'établissement du plan du réseau de galeries et des tests préliminaires. Les conditions hydrologiques de l'année 2011 n'ont toutefois pas permis de la mener à bien.

CHAPITRE 3

RESSOURCES EN EAU DU SITE ET GESTION ANTIQUE

Après avoir rappelé le contexte hydrologique et géologique du plateau du Haut-Pays, ce chapitre présente les résultats des prospections géophysiques mises en œuvre pour caractériser la ressource en eau locale et les aquifères oxfordiens. La question de la gestion antique des ressources sera ensuite abordée à travers une synthèse du réseau hydraulique connu (inventaire des drains) et l'étude des circulations dans le sous-sol du site. L'hypothèse de drains extérieurs au bassin versant sera également examinée.

I. ORIGINE DE LA RESSOURCE EN EAU A GRAND : PREMIER BILAN HYDROLOGIQUE

Aux époques moderne et contemporaine, les villages du plateau ont connu des problèmes chroniques d'alimentation en eau, jusqu'à la mise en place de l'adduction intercommunale de la Manoise en 1963. Grand, malgré le nombre important de ses puits, n'échappe pas à la règle. On se propose d'évaluer la recharge potentielle de l'aquifère à l'échelle du bassin versant topographique du site antique. Pour cela, on détermine l'écoulement superficiel et souterrain à partir de la pluviométrie locale, qu'on traduit en volume d'eau transitant par le bassin versant.

La pluie efficace ou lame d'eau écoulée représente la part des précipitations qui n'est pas reprise par l'évapotranspiration. Exprimée en hauteur d'eau (mm), elle correspond à la différence E entre les précipitations P et l'évapotranspiration réelle ETR sur le temps du bilan hydrologique. A la surface du sol, elle se répartit en deux fractions : ruissellement R et infiltration I. Elle constitue un potentiel d'écoulement local, immédiat ou différé.

$$P = ETR + \underbrace{R + I}_{E}$$

Dans un premier temps, on a évalué la lame d'eau écoulée E dans le secteur de Grand. On a utilisé les résultats publiés par A. Devos en 1996 (thèse sur l'hydrologie et les aménagements hydrauliques de l'Ornain et de la Saulx) et par l'Andra en 2005 (chapitre 14 du référentiel du site de Meuse/Haute-Marne). Les deux ouvrages traitent de la climatologie régionale et de l'hydrologie dans l'interfluve Marne-Meuse. La position des stations de mesures sur les cours d'eau crée une distribution inégale des données et un vide notable au SE du revers de côte de Meuse. Grand étant inclus dans une zone où peu de données ont été collectées, on a donc cherché des ordres de grandeur pour chacun des termes de l'équation du bilan hydrologique à partir des observations et des mesures faites dans la région du Barrois et du Haut-Pays.
Dans un second temps, on a déterminé la surface du bassin versant topographique de Grand. Puis on a calculé les débits associés à la lame d'eau et au bassin versant.

I. 1. Lame d'eau écoulée

I. 1. a. Précipitations

Le climat lorrain est classé parmi les climats tempérés océaniques. Les études montrent que la pluviométrie locale est relativement importante, homogène et bien répartie au cours de

l'année. Subissant l'influence du relief, elle est plus faible dans les vallées et décroit de part et d'autre des plateaux.
Les données de précipitations mensuelles récoltées sur la période 1979-2004 aux principales stations[6] METEO France de la région montrent sur cette période une faible variation de la moyenne annuelle et des moyennes mensuelles interannuelles. Elles ont été comparées aux données issues des deux stations pluviométriques installées par l'Andra dans le secteur de Bure et produisent des résultats similaires. D'après les cartes isohyètes, la moyenne annuelle se situe entre 1000 et 1100 mm pour les plateaux du Barrois et du Haut-Pays. Le minimum est réalisé en août (70 mm) et le maximum en décembre (125 mm) (Andra 2005).
Ces résultats s'accordent avec les conclusions d'A. Devos sur la période 1969-1990. Il relève pour la station pluviométrique de Grand une moyenne de 1078 mm/an (Devos 1996).

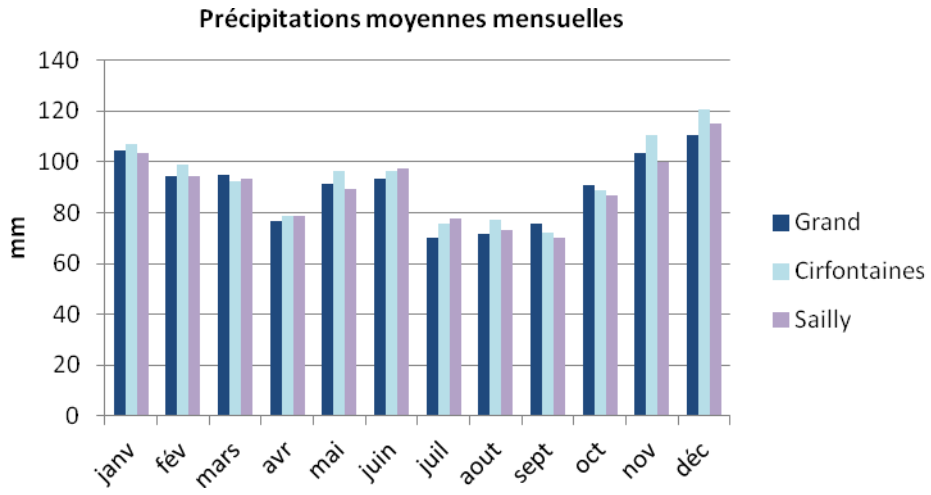


Figure 18. Diagramme annuel des précipitations moyennes mensuelles relevées à Grand, Cirfontaines et Sailly (Devos 1996).

I. 1. b. ETR et écoulements (R+I)

Sur le site de Bure, l'ETR a été estimée à 560 mm/an (Andra 2005). A. Devos parvient à une valeur moyenne d'ETR semblable, sur l'ensemble du plateau (550 mm/an). Ses calculs lui permettent de définir l'existence de deux saisons hydriques :

- une saison froide qui est marquée par des pluies abondantes et une ETR faible. Elle correspond à la période de ruissellement et de recharge des aquifères.
- une saison chaude, caractérisée par des prélèvements évapotranspiratoires importants et une pénurie hydrique. Elle correspond à la période de vidange des aquifères, en particulier des réserves accumulées dans le karst.

[6] Les données pluviométriques proviennent des stations METEO France de Saint-Dizier, Sailly, Cirfontaines-en-Ornois et Gondrecourt-le-Château, les données climatologiques des stations de Loxeville, Langres et Saint-Dizier (Andra 2005 – chapitre 14).

L'écoulement annuel E varie de 350 à 550 mm sur l'ensemble de la région (Andra 2005). Il se décompose en une fraction ruisselée et une fraction infiltrée.

- La lame d'eau ruisselée R a été déterminée à partir des données hydrométriques provenant des stations[7] situées sur les principaux affluents de la Meuse et de la Marne (Rognon, Saulx, Ornain). La surface du bassin versant contrôlé par chaque station a été corrélée aux débits moyens interannuels mesurés ce qui a permis de vérifier dans la plupart des cas la dépendance linéaire entre débits de sortie et surface des bassins versants topographiques. La lame d'eau ruisselée moyenne a donc été obtenue en répartissant sur la surface du bassin versant le volume d'eau total drainé par le point considéré, pendant un temps donné. Elle s'élève à 400 mm/an dans les vallées et 500 mm/an sur le plateau.
- A Bure l'infiltration moyenne I a été estimée à 50 mm/an.

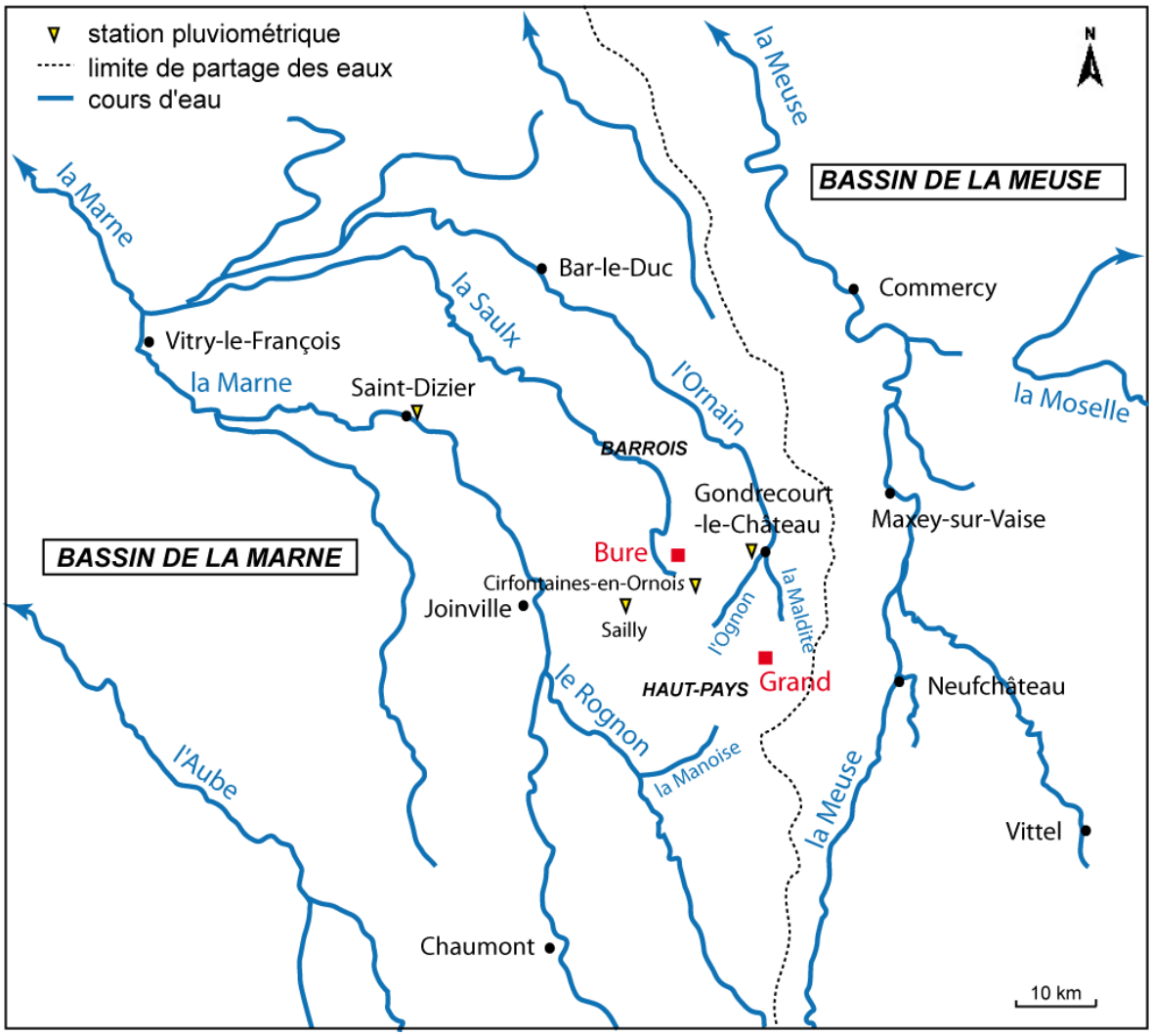


Figure 19. Hydrographie régionale.

[7] Stations de Pancey, Couvonges, Mogneville, Vitry-en-Perthois, Tronville, Val d'Ornain, Saint-Dizier et Chalaines (Andra 2005 - chapitre 14)

I. 1. c. Récapitulatif

Le tableau ci-dessous résume les valeurs moyennées des différentes grandeurs du bilan hydrologique, produites par les études de Devos et de l'Andra.

Secteur	P	ETR	R	I	E
plateaux	1050	550	500	50	500
Bure	950	560	350	50	400

Tableau 2. Moyennes annuelles (mm) des précipitations P, d'ETR, de ruissellement R, d'infiltration I et d'écoulement E, estimées sur les plateaux du Barrois et du Haut-Pays et sur le site de Bure. En bleu : valeurs calculées à partir des valeurs publiées, en noir (Andra, Devos). Les moyennes sont données à +/- 50 mm.

D'après les résultats exposés ci-dessus, nous pouvons retenir les moyennes annuelles suivantes en tenant compte des approximations faites :

- dans les vallées encaissées, les précipitations P s'élèvent à 850 mm et la lame d'eau à 400 mm,
- sur les plateaux, les précipitations sont plus importantes, elles s'élèvent à 1000 mm et la lame d'eau à 500 mm.

Les plateaux du Barrois et du Haut-Pays présentant de grandes similitudes et les moyennes annuelles variant peu sur les périodes étudiées, nous supposerons pour le secteur de Grand (où les données sont incomplètes) que **P = 1000 mm et E = 500 mm**, soit un rapport de 50% entre écoulements et précipitations. Par manque d'informations précises, nous ne dissocierons pas, par la suite, le ruissellement de l'infiltration et travaillerons seulement avec le paramètre E (lame d'eau écoulée).

I. 2. Débits potentiels

Grand se situe à l'écart des cours d'eau. Le village surplombe la vallée sèche de la Maldite, à 3,5 km de la source pérenne de Routeuil.

Le bassin versant topographique a donc été défini comme la surface drainée par les points bas situés dans les limites du site antique. On y a ajouté les surfaces de réception des eaux de pluie qui échappent au bassin versant mais qui se trouvent encloses dans le périmètre antique.
L'emprise du site antique a été déterminée grâce aux traces d'occupation révélées par les prospections géophysiques et les sondages archéologiques (*cf* chapitre 4). Elle est représentée sur la
figure 20 par un trait en pointillés noirs et correspond à une surface de 80 ha. Le trait rouge correspond au périmètre de la Voie Close qui ceinture le village actuel.

Les débits sont calculés à partir des valeurs des aires des sous-bassins et de la lame d'eau écoulée moyenne estimée au paragraphe précédent (500 mm/an). Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.

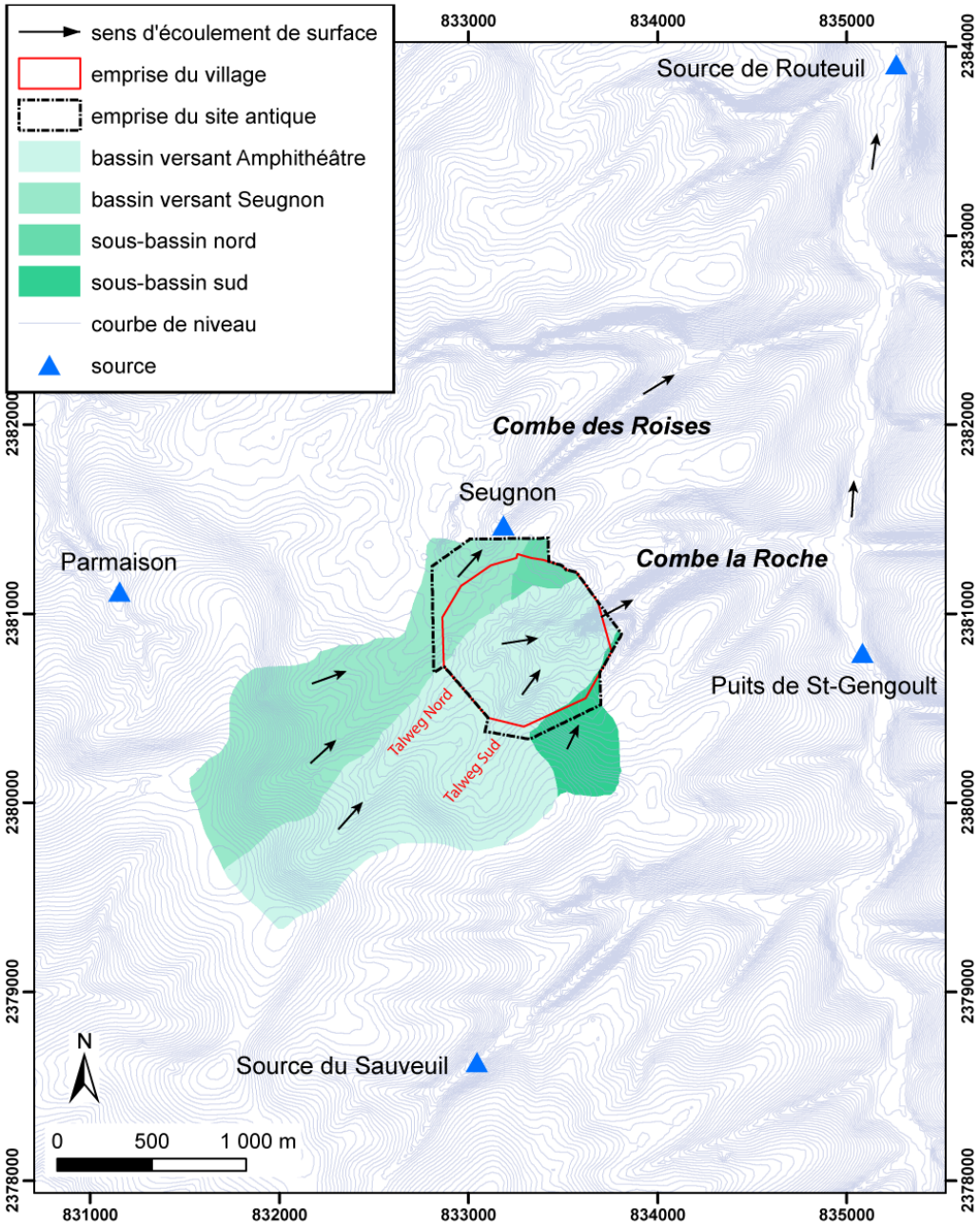


Figure 20. Bassins versants topographiques du site de Grand.

Bassin versant	Aire (km^2)	Débit (m^3/j)
Amphithéâtre	1,47	2010
Seugnon	1,06	1450
Sous-bassin nord	0,06	80
Sous-bassin sud	0,2	280
Total	**2,79**	**3820**

Tableau 3. Surfaces des bassins versants topographiques définis pour le site de Grand et débits quotidiens associés.

- Le point bas du site se trouve à l'est au niveau de l'amphithéâtre, dans la combe La Roche. Il rassemble deux talwegs représentés en vert pâle, que nous nommerons talweg Nord et talweg Sud par la suite. L'aire drainée représente environ 1,5 km^2, soit un volume quotidien de 2000 m^3.
- Au nord, le Seugnon, qui s'écoule dans la combe des Roises, draine une surface d'environ 1 km^2, soit un volume quotidien de 1500 m^3.
- Deux sous-bassins supplémentaires, figurés en vert foncé, sont drainés par la combe la Roche, en aval de l'amphithéâtre. Dans un cas, l'eau s'écoule dans le vallon au sud de l'amphithéâtre, en passant par le site ; dans l'autre cas, l'eau tombée à l'intérieur du site rejoint la combe La Roche en aval de la station d'épuration. Ils représentent un ajout d'environ 0,25 km^2, soit un volume quotidien de 350 m^3.

L'aire du bassin hydrographique du site, assez réduite, atteint à peine 3 km^2. La recharge potentielle de l'aquifère drainé est d'environ **4000 m^3/j**.

Ordre de grandeur :
Considérant une consommation quotidienne moyenne par habitant de 50 l, incluant les différents usages individuels et collectifs (domestiques, artisanaux, agricoles, élevage, thermes…), un volume de 4000 m^3 satisfait alors les besoins en eau quotidiens de 80000 personnes. Les débits potentiels transitant dans le bassin hydrographique du site suffiraient donc à l'alimentation d'une agglomération de 20000 habitants (taille suggérée par la capacité d'accueil de l'amphithéâtre).

I. 3. Limites

Cette évaluation de la recharge de l'aquifère dans les environs de Grand comporte plusieurs approximations. La première consiste à extrapoler le potentiel hydrologique antique à partir de l'état actuel. L'évolution depuis l'époque gallo-romaine des différents paramètres, tels que les facteurs climatiques (précipitations, ensoleillement, température...), la couverture végétale (nature et étendue) et les sens de circulation souterraine, n'a pas été prise en compte. La modification de ces facteurs au cours du temps mérite d'être considérée, même s'il est probable que l'impact de ces variations sur le potentiel hydrologique reste assez faible et que les ressources en eau disponibles soient sensiblement inchangées depuis l'Antiquité.

L'estimation du potentiel actuel repose sur des valeurs moyennées, obtenues à partir de données régionales. Or le bassin hydrographique ne correspond pas nécessairement à l'aire d'alimentation. La nature calcaire du substrat et les modalités d'infiltration et de circulation des eaux ne garantissent pas l'adéquation entre les débits potentiels et les débits réels. A l'échelle régionale, l'écart observé dans certains cas entre les débits modélisés et les débits mesurés aux stations de contrôle met en évidence l'existence de circulations souterraines entre bassins versants (Andra 2005). Ces captures entre bassins sont très fortement conditionnées par le contexte structural, les propriétés des couches géologiques, la fracturation et la présence de karst.

De plus le bilan hydrique présenté ici n'intègre pas véritablement la nature et le stade de croissance du couvert végétal. Or la forêt (hêtraies-chênaies) occupe une part importante de la surface au sol des plateaux du Barrois et du Haut-Pays.

Le calcul de lame d'eau moyenne pose donc des problèmes de représentativité. Des mesures de débits des sources et de précipitations locales, et la caractérisation des aquifères carbonatés du plateau sont nécessaires pour déterminer les écoulements souterrains et la recharge réelle de l'aquifère.

II. AQUIFERES CALCAIRES DE L'OXFORDIEN

II. 1. Contexte géologique

II. 1. a. Morpho-structural

Le plateau du Hauts-Pays s'inscrit dans le relief de cuesta de l'est du Bassin de Paris (Figure 21). Il constitue le revers de côte de Meuse, formé par la série des calcaires oxfordiens (250 m de puissance) dont la base repose sur le Callovien argileux. Il s'étend depuis la plaine de la Woëvre (à l'est et au sud) jusqu'à la dépression subséquente de la côte des Bars, dégagée dans les formations marno-calcaires de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien (à l'ouest et au nord). La série présente un pendage régulier de 1 à 1,5° vers le NO, selon l'organisation monoclinale générale des couches géologiques lorraines, orientées vers le centre du Bassin de Paris.



Figure 21. Position du site de Grand (en rouge) dans le Bassin de Paris (carte géologique simplifiée), au contact de deux formations de l'Oxfordien (représentées en bleu).

L'Oxfordien se caractérise par une grande diversité et une grande variabilité spatiale des faciès carbonatés, allant des constructions récifales aux marnes (Carpentier 2004, Andra 2005, Lathuilière et Pautrot 2006). La nature et la répartition des horizons lithologiques résultent des cycles de sédimentation que contrôlent les variations du niveau marin au cours du Mésozoïque. La succession des régressions et transgressions marines, alliée aux phénomènes tectoniques, détermine la mise en place des dépôts et l'évolution des ensembles paléogéographiques - barrières oolithiques, récifs et zones protégées. Aux épisodes régressifs sont associés les dépôts de plateformes carbonatées sous faible tranche d'eau (zone de lagon) tandis que les dépôts argileux en eaux profondes (zone de bassin) sont rattachés aux épisodes

transgressifs. Dans une thèse sur la sédimentation de l'Est du Bassin de Paris, C. Carpentier propose en 2004 une reconstitution des géométries sédimentaires et de l'évolution séquentielle des dépôts de la région.

II. 1. b. Lithostratigraphie

Le plateau du Haut-Pays est composé des formations de l'Oxfordien moyen et de l'Oxfordien supérieur. La grande variabilité des faciès calcaires, évoquée ci-dessus, entraîne de nombreuses difficultés dans la différenciation des horizons lithologiques et leur localisation spatiale. L'identification des faciès sur le plateau est compliquée par l'absence d'affleurement. En conséquence les coupes géologiques et les cartes isohypses proposées par les différents auteurs sont établies à partir d'une distribution spatiale inégale de données, dont l'interprétation est de surcroit sujette à erreur.

La carte géologique de Neufchâteau au 1/50000 dressée par P. L. Maubeuge en 1974 distingue trois unités au sein des formations de l'Oxfordien moyen et supérieur dans les environs de Grand (Figure 22) et ne permet pas de situer précisément les contacts.

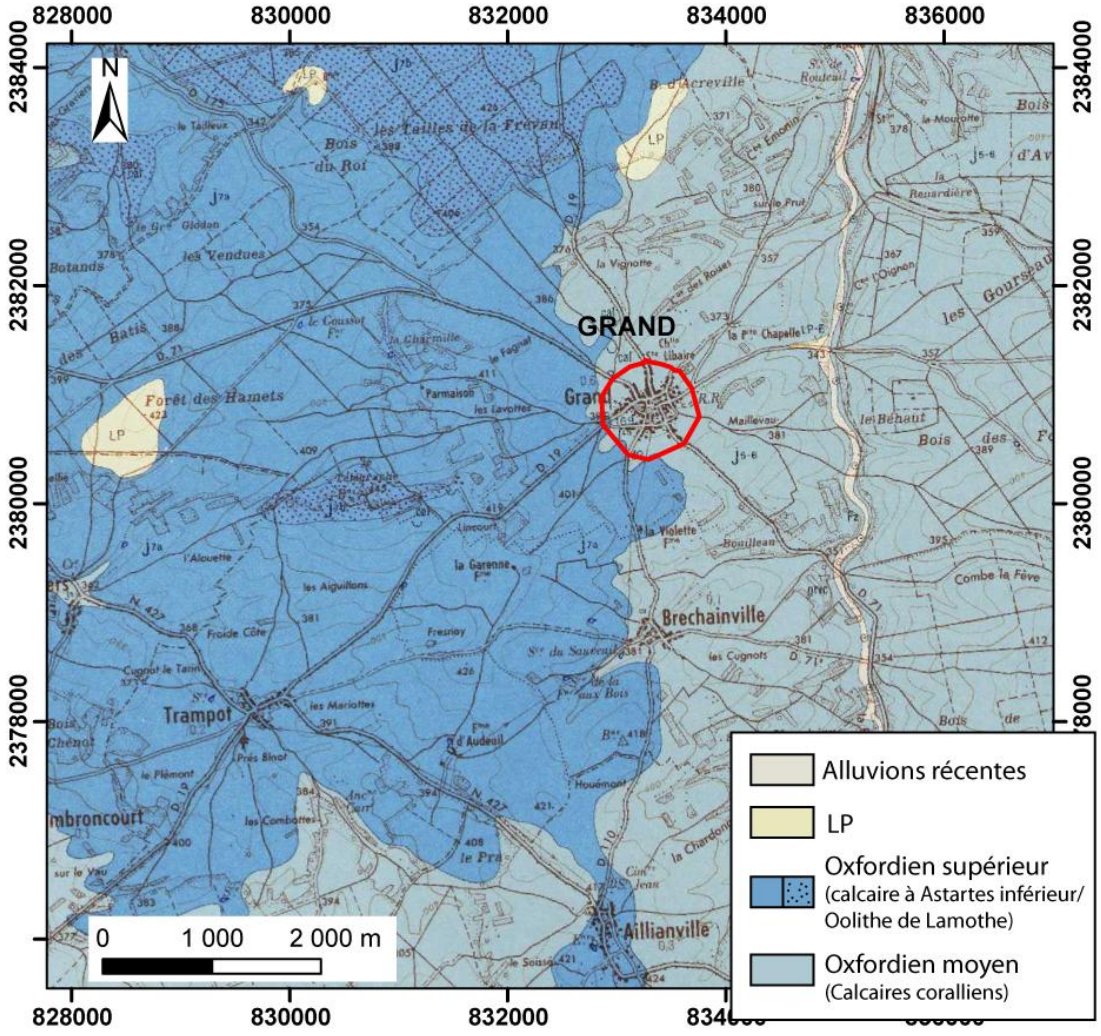


Figure 22. Extrait de la carte géologique de Neufchâteau (1/50000).

En 1995, dans un mémoire de maîtrise, J.-M. Mechling s'intéresse au secteur de Grand pour déterminer la provenance des pierres de l'amphithéâtre. A partir d'observations de terrain, il dresse une coupe entre le lieu-dit Le Télégraphe et Midrevaux et une carte de répartition des principaux niveaux lithologiques du quart SE du plateau. Il définit 11 faciès (Tableau 4), tout en soulignant le caractère subjectif de leur reconnaissance et donc de la définition des unités lithologiques (Mechling 1995).

Oxfordien supérieur	Oolithe de Lamothe
Oxfordien supérieur (Calcaires à astartes inférieurs)	Niveau sublithographique supérieur
	2ème niveau oolithique
	Niveau à polypiers
	Niveau oolithique
	Calcaires sublithographiques
Oxfordien moyen (Calcaires coralliens)	Calcaires blancs fins
	Calcaires graveleux blancs
	Calcaires graveleux gris
	Calcaires gris compacts
Oxfordien inférieur	Calcaires à chailles

Tableau 4. Découpage lithostratigraphique des formations oxfordiennes du plateau du Haut-Pays, proposé par Mechling (1995).

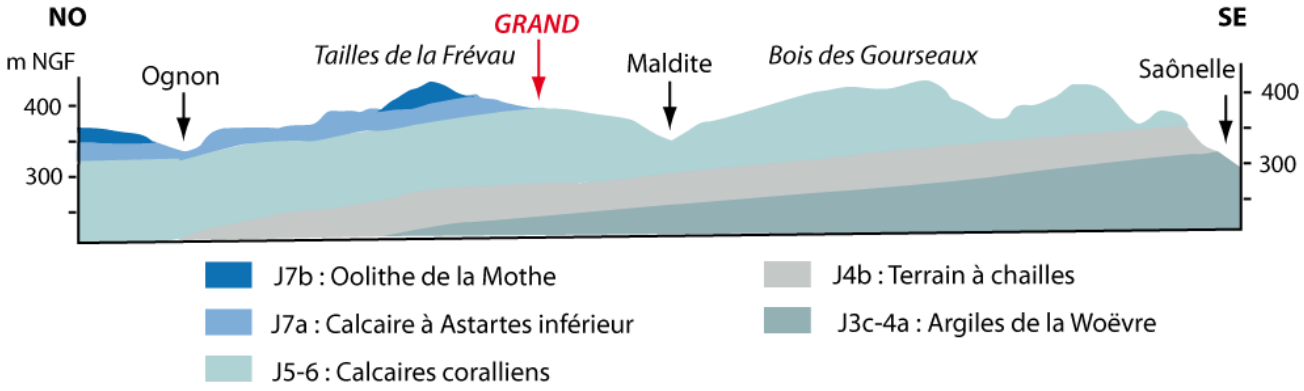


Figure 23. Coupe géologique du plateau du Haut-Pays (Devos 1996), modifiée d'après la carte géologique de Neufchâteau (1/50000).

A une échelle plus régionale, C. Carpentier propose en 2004 un découpage lithostratigraphique très détaillé qui va constituer un cadre référentiel précis pour les études postérieures. Il est présenté en Figure 24.

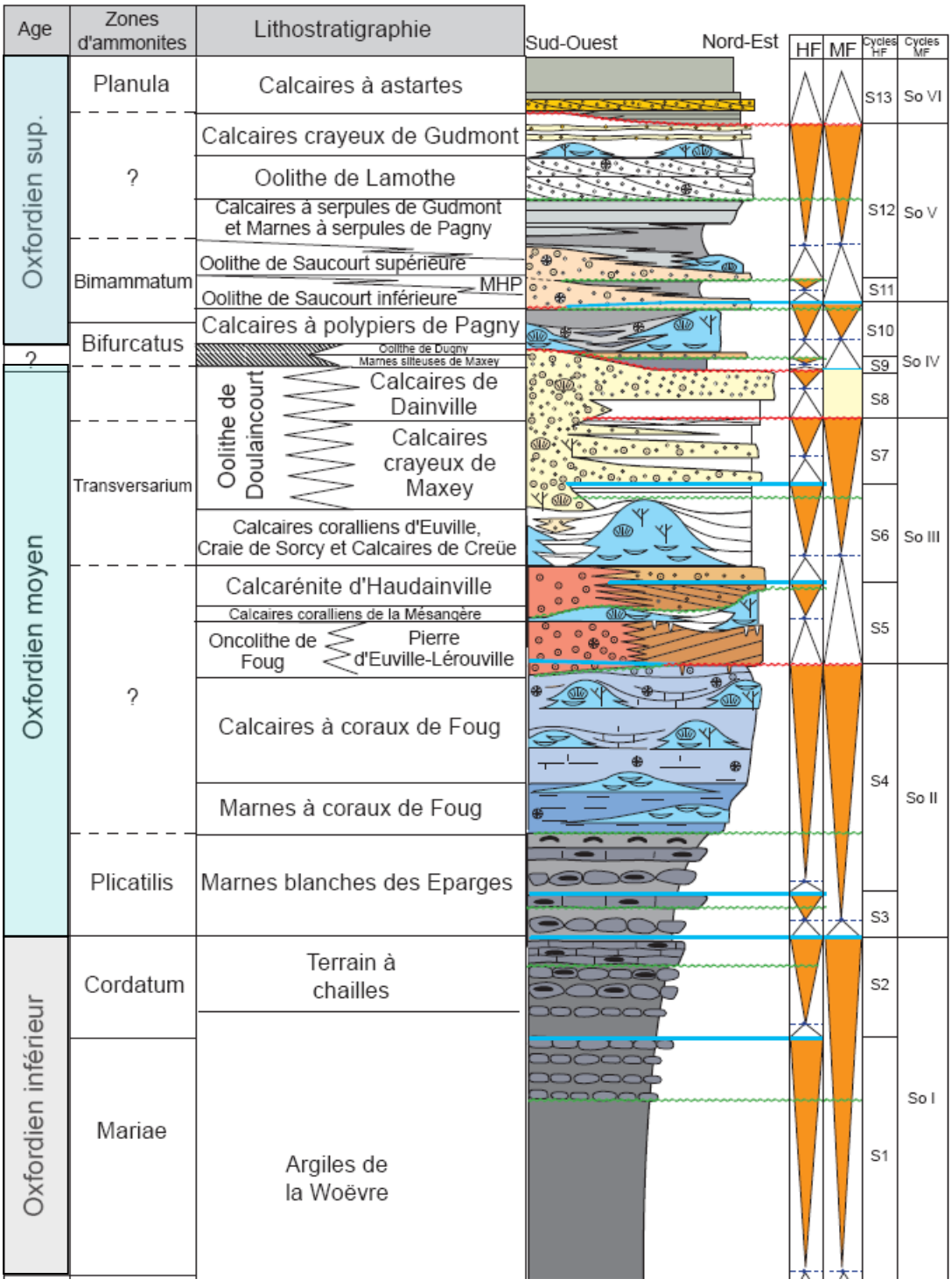


Figure 24. Coupe type de la série sédimentaire oxfordienne identifiée par Carpentier (2004).

Les études menées par l'Andra au droit du secteur de Bure ont fourni des résultats permettant la construction de modèles géologiques robustes. Mais ils concernent essentiellement la région située à l'ouest du fossé de Gondrecourt ; le plateau du Haut-Pays et les environs de Grand ne bénéficient qu'indirectement de ces études.

II. 1. c. Fracturation

Le Haut-Pays se trouve dans une région de tectonique modérée. Etant suffisamment éloigné des domaines orogéniques récents (Alpes, Jura, Pyrénées), du fossé Rhénan et des marges océaniques, il n'a subi que des déformations de faible amplitude. Les failles et ondulations présentes dans le bloc défini par le prolongement occidental de l'anticlinal de Lorraine (anticlinal de Bar-le-Duc-Levoncourt) au nord et la faille de Vittel au sud sont relativement peu importantes. La structure cassante principale intéressant directement le plateau est représentée par le fossé d'effondrement de Gondrecourt. Long de 35 km, il est bordé par deux failles qui délimitent un espace de 2 km de large. Il pourrait laisser communiquer les aquifères calcaires de l'Oxfordien moyen et de l'Oxfordien supérieur (Jaillet 2000).
Les carbonates de l'Oxfordien sont également affectés par une micro-fracturation (ouverture centimétrique à métrique) constituée principalement par les diaclases. Elle est plus développée dans les formations proches de la surface. La micro-fracturation a été étudiée dans les forages et les puits d'accès du laboratoire de Bure et sur les rares affleurements (études de terrain de l'Andra publiées en 2005).
Les orientations de fracturation majeure correspondent aux directions conjuguées N40° et N340° (Haguenauer et Delétie 1991, Albouy *et al*. 1990-1994, Andra 2005). Elles sont données par la faille de Neufchâteau, le fossé de Gondrecourt, les affleurements de la carrière de Gondrecourt, et elles se retrouvent dans l'orientation des combes et du réseau hydrographique du plateau. La micro-fracturation obéit aux mêmes orientations que celle des accidents majeurs (N40°-N140°).

II. 1. d. Karst

Selon A. Devos, les exemples de karstification de l'Oxfordien calcaire sont peu nombreux dans l'est de la France et le plateau du Haut-Pays fait figure d'exception.
Dans l'est du Bassin de Paris, deux dispositifs majeurs de karstification ont été identifiés par les géomorphologues (Figure 25) : A. au pourtour des couvertures argileuses ou sableuses sur les plateaux (cas le plus répandu), B. sous les talwegs au droit des grandes vallées.

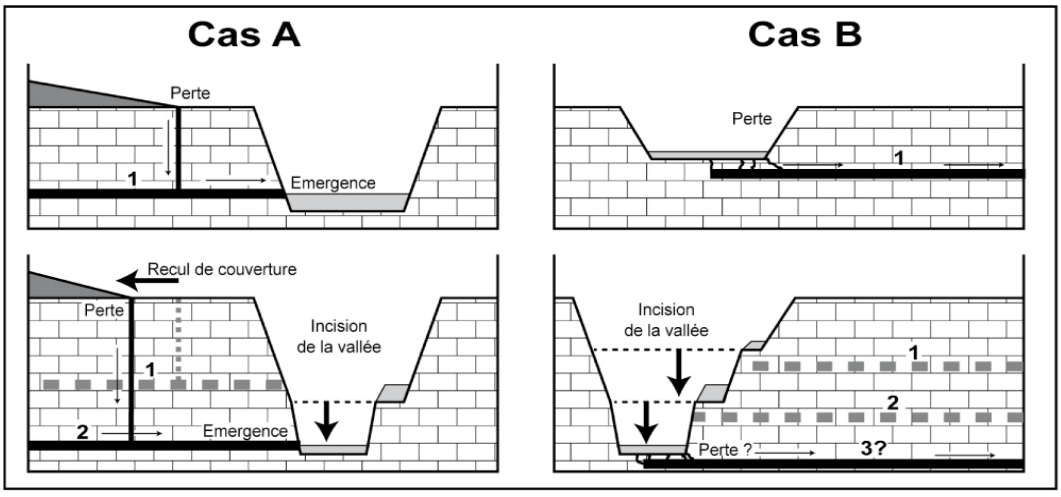


Figure 25. Mise en place des drains karstiques associés à l'incision des vallées et au recul des couvertures non carbonatées (Jaillet *et al*. 2002).

Dans le premier cas deux conditions essentielles doivent être réunies.

- le décapage de la couverture argileuse

La couverture permet de concentrer les écoulements de surface vers des points absorbants actifs. Les eaux ruissellent sur cet écran peu perméable et rejoignent des pertes au contact des calcaires sous-jacents. Les pertes favorisent le développement de l'endokarst et la mise en place d'un drainage hypogé efficace. Autour de la couverture démantelée se constituent donc des liserés karstiques (dolines, gouffres, etc.) ; le recul du front de couverture entraîne la migration des formes karstiques.

La couverture participe également à la karstification en étalant le flux hydrique au cours du temps et en alimentant les calcaires par infiltration diffuse. C'est ce que P. Gamez (1998) appelle le principe de « compresse humide ». L'épaisseur de la couverture et la lithologie sont déterminantes. Dans le cas de l'Oxfordien supérieur du Haut-Pays, le karst se développe sous une épaisseur maximale de 5 m (Devos 1996). Au-delà de cette valeur, la couverture protège les calcaires.

- l'incision des vallées par les cours d'eau

Elle accentue le dénivelé et génère le gradient hydraulique. Les relations entre évolution hydrographique (creusement des vallées) et épisodes de karstification ont été démontrées (Jaillet *et al*. 2002, Harmand et Le Roux 2006).

La karstification sous couverture n'est pas spécifique aux plateaux lorrains et se rencontre dans d'autres régions (région des Grands Causses - Bruxelles 2001, plateaux crayeux de l'ouest du Bassin de Paris étudiés par B. Laignel et N. Massei). Dans les calcaires oxfordiens elle a été étudiée et détaillée par A. Devos (1996, 2005) qui utilise l'expression de J. Nicod (1972) pour parler de « karst de contact lithostratigraphique développé sous couverture ». Son interprétation a été reprise par S. Jaillet (2000) et approfondie par les recherches locales de D. Harmand publiées par E. Denys (Denys 2005, Denys-Thomas 2006). Un inventaire des manifestations endokarstiques et exokarstiques du plateau du Haut-Pays dans l'interfluve Ognon-Maldite (Figure 26) est proposé ci-dessous grâce aux études de ces différents auteurs.

- Bois de Trampot

Dans le bois de Trampot 250 dolines, pertes et gouffres sont recensés à ce jour. Le sondage, entre 1976 et 1979, de certaines de ces dolines a conduit les spéléologues du groupe Hadès (Bicqueley - 54) à découvrir un réseau de conduits karstiques qui a pris son nom (réseau Hadès).

Le **Réseau Hadès** (Figure 27) est une cavité subhorizontale longue de 1380 m, formant un réseau en baïonnette de direction N40° et N340° conformément à la fracturation régionale. Il correspond à un paléodrain développé à 20 m sous la surface (*i.e.* à 380 m NGF), exploitant les joints de stratification (Devos 1996, Jaillet 2000). Son diamètre moyen varie entre 2 et 5 m. Jaillet voit en lui un marqueur d'un ancien niveau phréatique (Jaillet 2000). Son abandon fait suite à une détente lithostatique généralisée, peut-être en relation avec le décapage en surface de la couverture (Jaillet 2000, Jaillet *et al*. 2002). A. Devos le situe dans l'Oxfordien moyen (Devos 1996) mais E. Denys le place dans l'Oxfordien supérieur (Denys 2005).

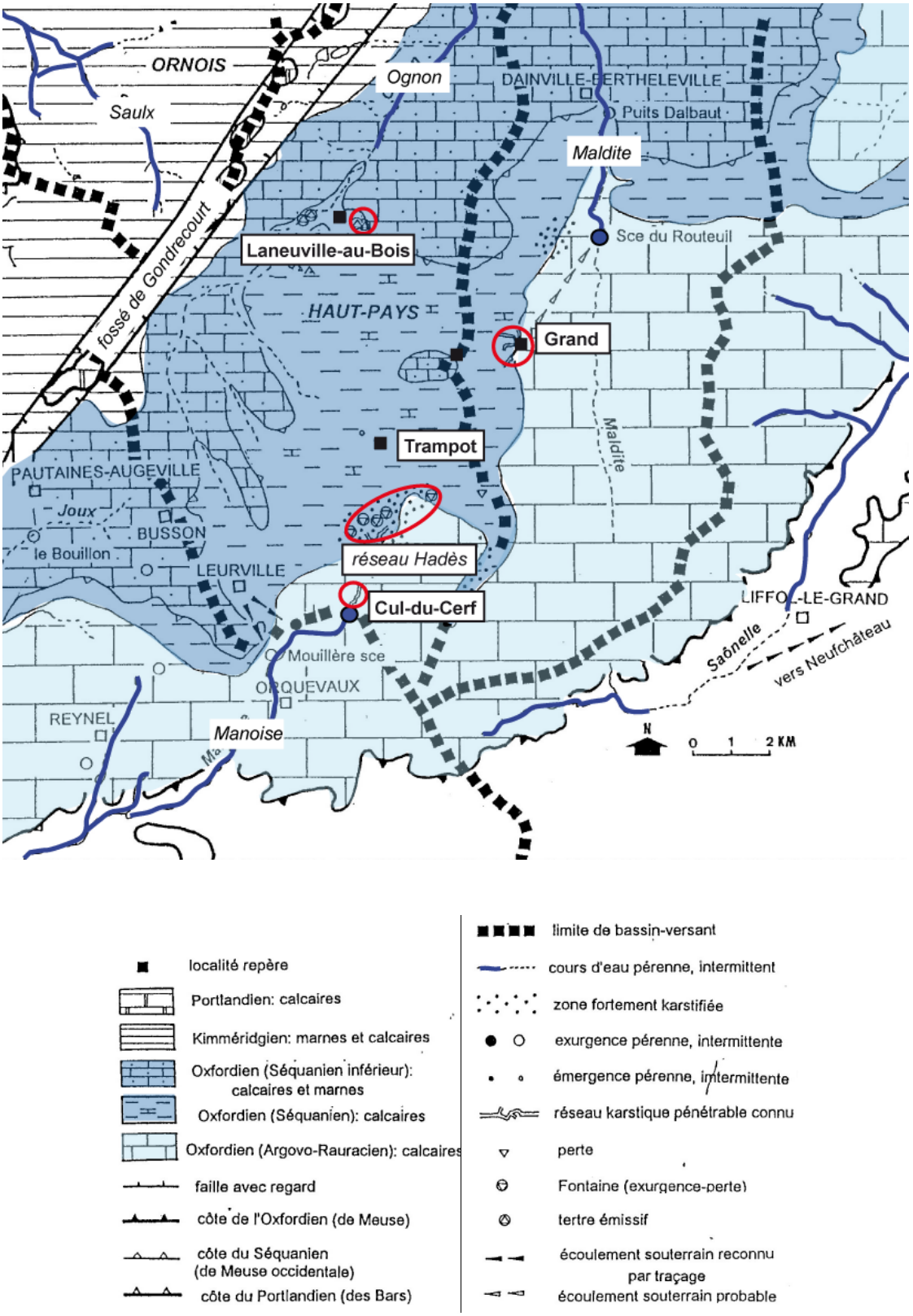


Figure 26. Morphologies karstiques observées sur le plateau du Haut-Pays (d'après Devos 1996). En rouge : les formes karstiques ayant fait l'objet d'études spéléologiques ou géomorphologiques.

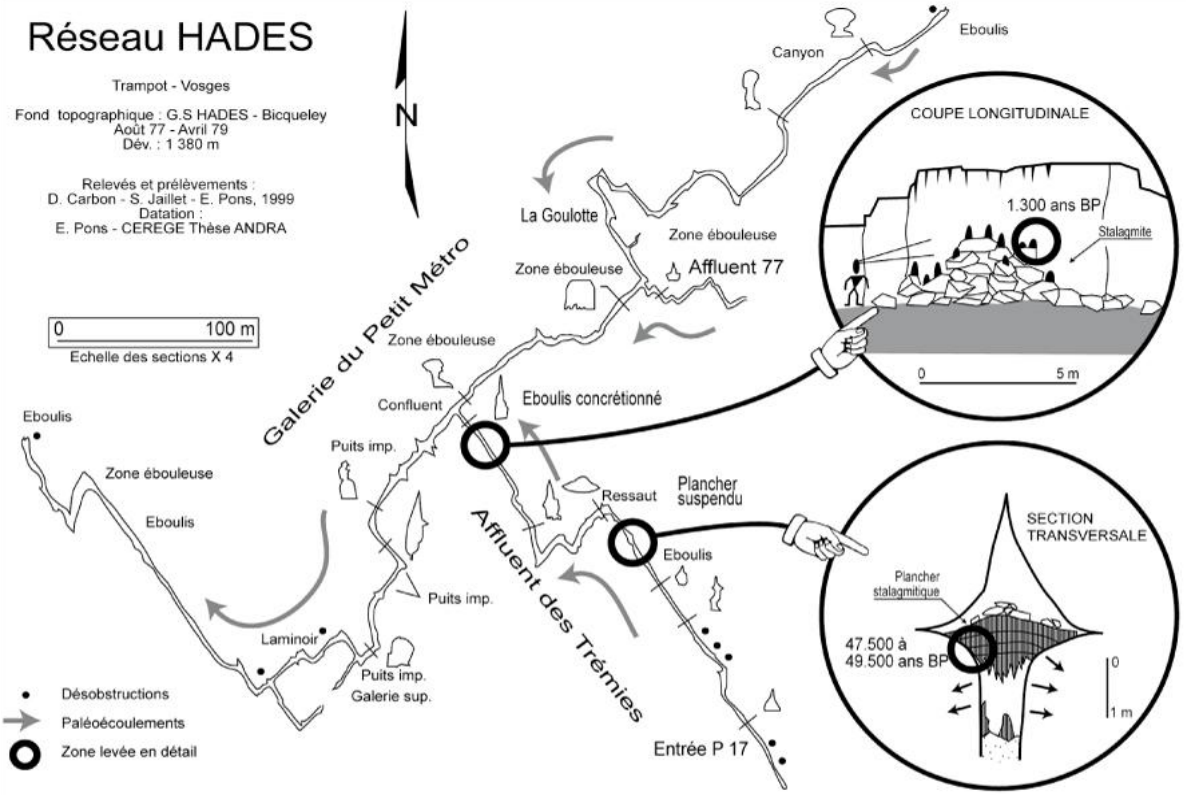


Figure 27. Développement du réseau karstique Hadès localisé dans le bois de Trampot (Jaillet *et al.* 2002).

Les **formes karstiques** de surface ont été répertoriées par Jacquemin (1994) et ont été cartographiées par E. Denys dans un mémoire de maîtrise sous la direction de D. Harmand (Denys 2005, Harmand 2008). Elles rassemblent des dolines, des gouffres et des pertes.

- 150 dolines : elles ont été classées en 3 types selon leur morphologie (cuvette, baquet, entonnoir).
- 60 gouffres : ils se situent au fond des dolines ou au ras du sol. Leur diamètre en surface varie de 0,3 à 1 m, leur profondeur peut atteindre 20 m, 33 m, 35 m (Gouffre du veau).
- pertes : d'un diamètre de 0,1 à 0,2 m, elles absorbent les écoulements temporaires de surface.
- 6 fontaines[8] : ce sont les dolines dites « en entonnoir ». Elles se caractérisent par une émergence en amont, un écoulement subaérien dans la partie médiane et une perte en aval (Figure 28). Leur forme est variable (elliptique, en T, en baïonnette, etc.) ainsi que leurs dimensions (entre 15 et 40 m de grand axe). L'encaissement, de quelques mètres, s'accentue de l'amont vers l'aval avec parfois un puits ou un gouffre. Les versants sont raides à l'aplomb des puits. La partie médiane se présente en gradins façonnés dans le calcaire. Le fond est tapissé d'éléments calcaires subanguleux et les parois sont recouvertes de colluvions. Plusieurs lithofaciès ont observés : bancs argilo-marneux, calcaires sublithographiques, oolithiques, selon les cas.

[8] Le terme « fontaine » est l'appellation locale de ce type de doline.

Deux alignements des formes karstiques sont mis en évidence entre 387 et 406 m (au NO du bois et au lieu-dit Devant d'Audeuil). A partir d'échantillons récoltés dans les fontaines et identifiés par C. Carpentier, D. Harmand et E. Denys situent en 2006 les fontaines de Trampot à 30 ou 40 m au-dessus de la base de l'Oxfordien supérieur. L'aquifère serait constitué par l'Oolithe de Saucourt supérieur, le mur de l'aquifère par les Marnes à huîtres de Pagny, et les calcaires karstifiés par l'Oolithe de Saucourt inférieur, d'après la terminologie de C. Carpentier (2004). L'interprétation est par la suite revue et rapproche le karst de la base de l'Oxfordien supérieur en le plaçant au-dessus des Marnes de Maxey (banc argileux séparant l'Oxfordien moyen de l'Oxfordien supérieur) : l'aquifère serait alors constitué par les Calcaires à polypiers de Pagny et les pertes se situeraient dans l'Oolithe de Dugny (Harmand 2008). On voit bien à travers cet exemple les difficultés rencontrées dans l'identification des faciès.

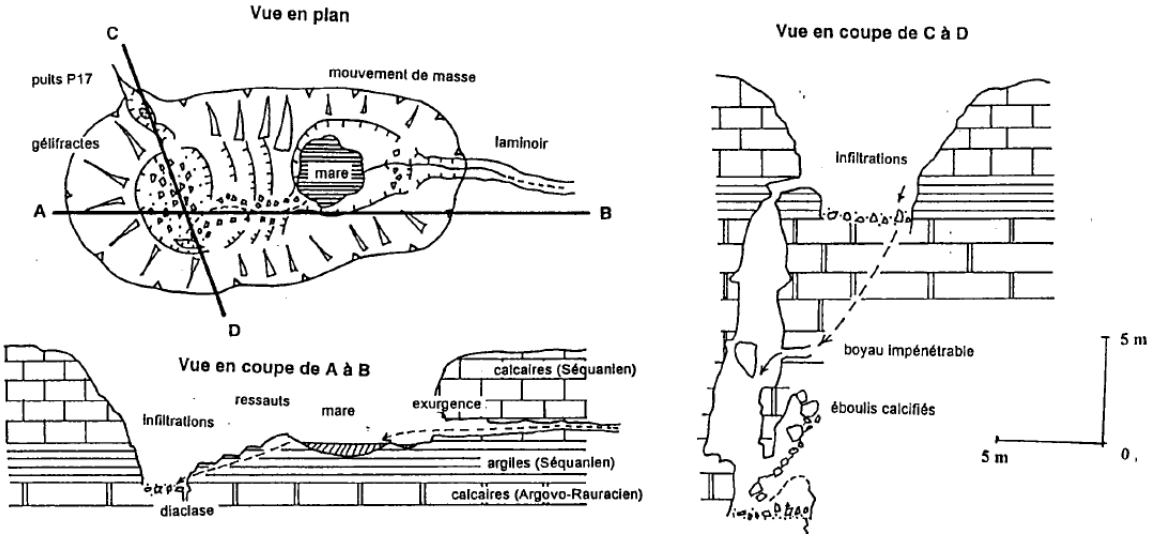


Figure 28. Morphologie d'une « fontaine » du bois de Trampot, développée au contact d'un banc argileux et d'un banc calcaire (Devos 1996).

- Le Cul-du-Cerf

La reculée du Cul-du-Cerf témoigne d'une érosion régressive encore active qui entaille le plateau au sud sur 3 km, provoquée par la source de la Manoise (Figures 29 et 30). L'exsurgence s'ouvre sur un réseau karstique dont le développement appelé « Manoise souterraine » est l'un des réseaux les plus longs (désobstrué sur 200 m) de l'Oxfordien moyen de Lorraine. Le tracé suit là encore la tectonique régionale N40°. Le conduit comprend deux siphons et plusieurs cheminées hautes d'environ 15 m (Devos 1996).
Une grotte horizontale se développe dans le flanc nord de la reculée à 380 m NGF. Il s'agit d'un conduit sur diaclase d'orientation N330°. Une connexion avec le réseau Hadès qui se situe à la même altitude à 1,5 km a été envisagée par plusieurs auteurs (Devos 1996, Porte 1997) mais n'est pas retenue par d'autres (Louis 1994, Jaillet 2000).

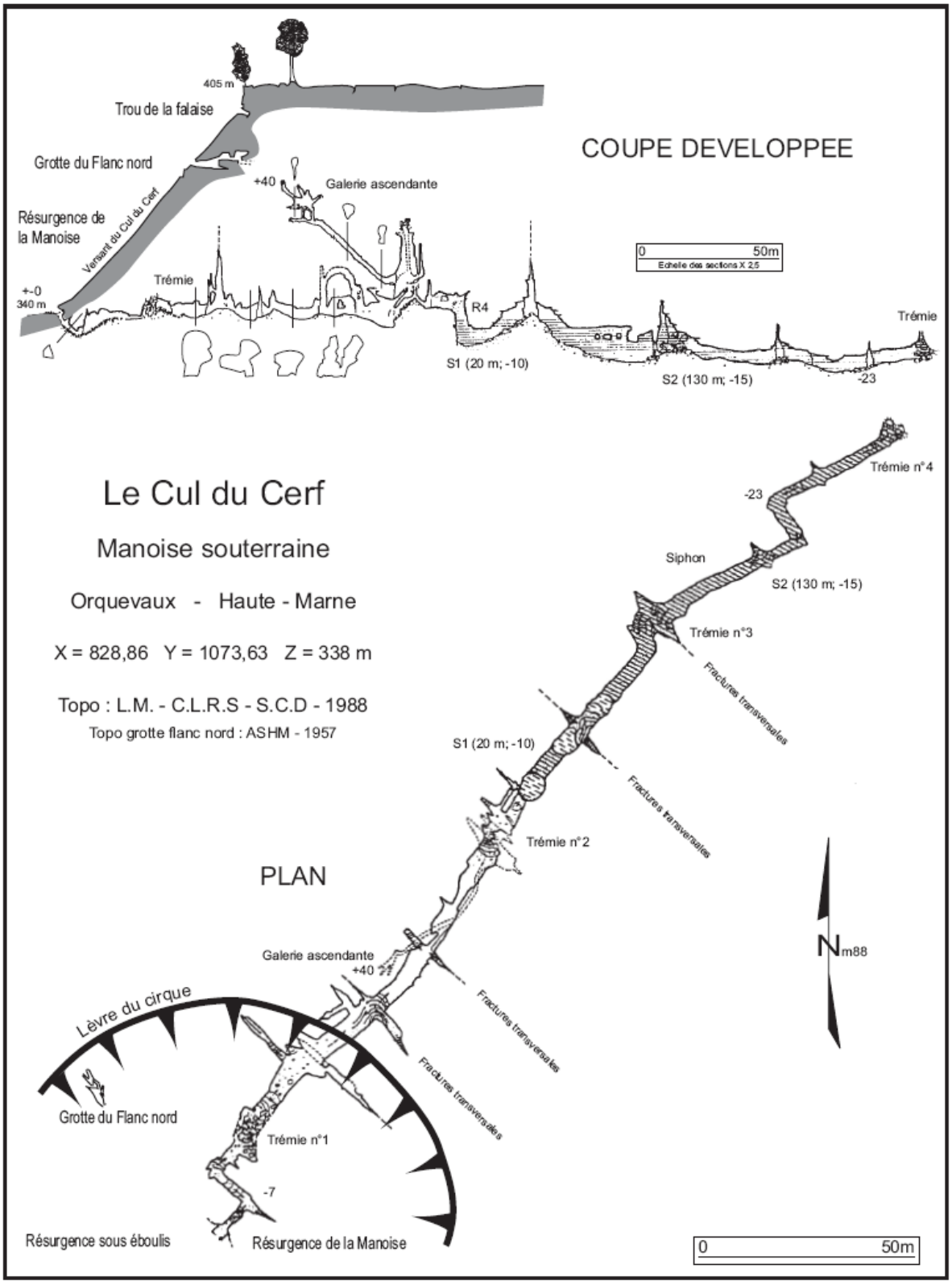


Figure 29. Conduit karstique de la « Manoise souterraine » débouchant au fond de la reculée du Cul-du-Cerf (Jaillet 2000).

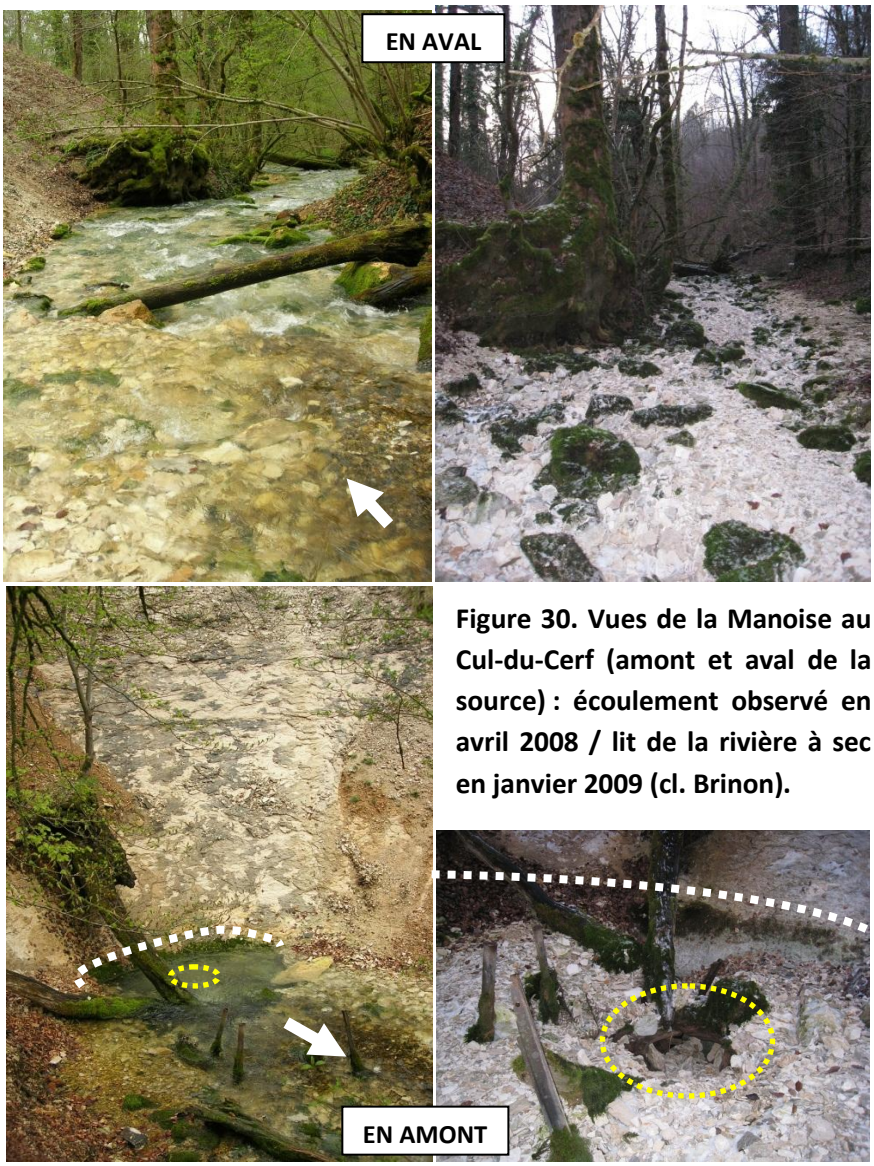


Figure 30. Vues de la Manoise au Cul-du-Cerf (amont et aval de la source) : écoulement observé en avril 2008 / lit de la rivière à sec en janvier 2009 (cl. Brinon).

- Grand

Des recherches spéléologiques entreprises à partir des années 1960 ont permis de reconnaitre l'aménagement de conduits karstiques développés dans le sous-sol du village à moins de 15 m de profondeur. En 1989, à l'issu des études portant sur le sous-sol de la place et de l'église, on suppose la présence de deux dépressions remblayées, de 10 et 5 m de diamètre, profondes d'environ 5 m. L'analogie est faite avec les fontaines de Trampot et cette structure est assimilée à une doline de type émergence-perte. On conclut à l'existence au centre du site antique d'une ancienne résurgence karstique dont le débit a été renforcé par le creusement de galeries artificielles au niveau d'une couche de marne (EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993a, Devos 1996, Bertaux et Delétie 1997, Jaillet 2000, Denys 2005, Harmand 2008).

- Dolines, pertes

Outre les éléments décrits ci-dessus, de nombreuses autres dolines et pertes existent sur le plateau. On peut par exemple citer les pertes d'Aillianville qui se situeraient au sommet de l'Oxfordien moyen dans les calcaires de Dainville (Harmand 2008).

II. 2. Contexte hydrogéologique

II. 2. a. Oxfordien moyen

Selon A. Devos (1996), l'aquifère de l'Oxfordien moyen, dont le mur est constitué d'argiles à chailles et des argiles calloviennes, se vidange par déversement dans les alluvions récentes de la Meuse entre Commercy et Stenay et par d'importantes exsurgences karstiques sur le front de côte de Meuse : au sud la source de la Manoise (bassin versant de la Marne) et à l'est la source de Maxey-sur-Vaise (bassin versant de la Meuse). A surface libre en périphérie de plateau, il s'ennoie progressivement sous l'Oxfordien supérieur et le Kimméridgien inférieur pour devenir captif à l'ouest. La nappe libre est alimentée par infiltration dans les calcaires. Des traçages colorimétriques ont mis en évidence des circulations à contre-pendage vers le Cul-du-Cerf et des écoulements dans le sens du pendage vers l'Ornain. Des vitesses de transit fortes ont été relevées (Devos 1996, Jaillet 2000). Une connexion est évoquée entre une « fontaine » du bois de Trampot et la source du Rongeant, située à l'ouest du fossé de Gondrecourt (Jaillet 2000, Denys-Thomas 2006) mais n'a pas été vérifiée. Le rabattement saisonnier de la nappe provoque l'assèchement de la source de la Manoise, au fond du cirque (Figure 30), et du cours amont de la Maldite, dont le lit est faiblement encaissé.

II. 2. b. Oxfordien supérieur

L'intercalation de niveaux semi-perméables au sein des calcaires de l'Oxfordien supérieur rend possible l'existence de nappes locales étagées et de sources au débit peu important. En 2006, E. Denys répertorie les émergences, les écoulements de surface et les formes exokarstiques des vallées de l'Ognon et de la Maldite. Elle montre les relations entre ces écoulements de surface et les formations géologiques karstifiées de la base de l'Oxfordien supérieur et du sommet de l'Oxfordien moyen. Son étude permet d'affiner le schéma proposé par A. Devos qui plaçait les sources à la base de l'Oxfordien supérieur et les pertes dans l'Oxfordien moyen (Devos 1996). Elle met ainsi en évidence le rôle de formations argileuses bien développées, dans les secteurs de Trampot et de Chermissey-Avranville, dans le développement du karst et la création de sources, et tente d'identifier les aquifères superficiels à l'aide du découpage lithostratigraphique de Carpentier. Les villages de Trampot, Grand, Chermissey, Aillianville, installés à la base de l'Oxfordien supérieur, sont alimentés par des puits de faible profondeur (dizaine de mètres) qui atteignent les aquifères superficiels présentés dans le Tableau 5.

Le réseau de Grand drainerait donc un aquifère de l'Oxfordien supérieur en captant plusieurs griffons ; la « doline » se situerait dans l'Oxfordien moyen (Devos 1996, Gamez 1998, Harmand 2008). Cependant le fonctionnement de l'ensemble n'est pas bien compris et de nombreuses incertitudes existent sur le développement du réseau, les modalités d'alimentation et d'évacuation, le(s) aquifère(s) drainé(s) et les horizons karstifiés. Au vu du sens de circulation des eaux, la source de Routeuil est supposée être l'exutoire du système. Mais cette hypothèse n'a pas été vérifiée, d'autant que le site se trouve dans une zone de divergence des

écoulements. Les circulations, essentiellement souterraines, sont assez mal appréhendées à l'échelle du plateau (Denys-Thomas 2006, Harmand 2008).

Localité	Niveau géologique associé
Trampot	Oolithe de Saucourt inférieur ou supérieur
Chambroncourt	Oolithe de Saucourt inférieur ou supérieur
Morionvilliers	Oolithe de Saucourt inférieur ou supérieur
Lanueville-au-Bois	Oolithe de la Mothe ou calcaires à serpules du Gudmont
Aillianville	Calcaires à polypiers de Pagny ou oolithe de Dugny
Bréchainville	Calcaires à polypiers de Pagny ou oolithe de Dugny ou calcaires de Dainville
Grand	Oxfordien supérieur – puits dans calcaires de Dainville
Avranville	Calcaires à polypiers de Pagny ou oolithe de Dugny
Chermisey	Calcaires à polypiers de Pagny ou oolithe de Dugny
Dainville	Calcaires à polypiers de Pagny ou oolithe de Dugny

Tableau 5. Position de quelques villages du plateau du Haut-Pays par rapport aux formations aquifères de l'Oxfordien. Proposition Denys-Thomas (2006).

III. RECONNAISSANCE GEOPHYSIQUE

III. 1. Identification du stock en eau disponible

Différentes techniques de prospection géophysique ont été employées afin de caractériser les ressources en eau des calcaires oxfordiens et identifier l'aquifère exploité par les Gallo-Romains. Le recours aux sondages RMP, qui renseignent sur la présence et la quantité d'eau dans le sous-sol, a semblé parfaitement adapté. Les résultats sont présentés au paragraphe a. Une description de la structuration des terrains basée sur les variations latérales et verticales de résistivité électrique est ensuite proposée pour aider à positionner les couches calcaires et marno-calcaires et localiser l'extension des niveaux aquifères : la cartographie EM renseigne sur les couches à l'affleurement tandis que les panneaux électriques, les sondages électriques et TDEM fournissent une information sur l'évolution en profondeur (paragraphes b et c).

III. 1. a. Sondages RMP

- Localisation et mise en œuvre

5 sondages RMP ont été réalisés sur le territoire de la commune en mars 2009 afin d'étudier les potentialités hydrologiques de chacune des deux formations calcaires. Les sondages ont été répartis autour du site (Figure 31) : deux ont été implantés à l'est, en bordure de la vallée sèche de la Maldite, au niveau de l'affleurement de l'Oxfordien moyen, deux ont été implantés à l'ouest, à l'affleurement de l'Oxfordien supérieur. Un dernier sondage a été défini

sur le contact situé par la carte géologique. Leur position à l'écart du village a permis de limiter les perturbations électromagnétiques et d'obtenir un bon rapport signal/bruit (le bruit ambiant étant mesuré au début de chaque sondage). Le cas de RMP5 constitue une exception en raison de la proximité des habitations : le signal RMP parasité est difficilement exploitable.

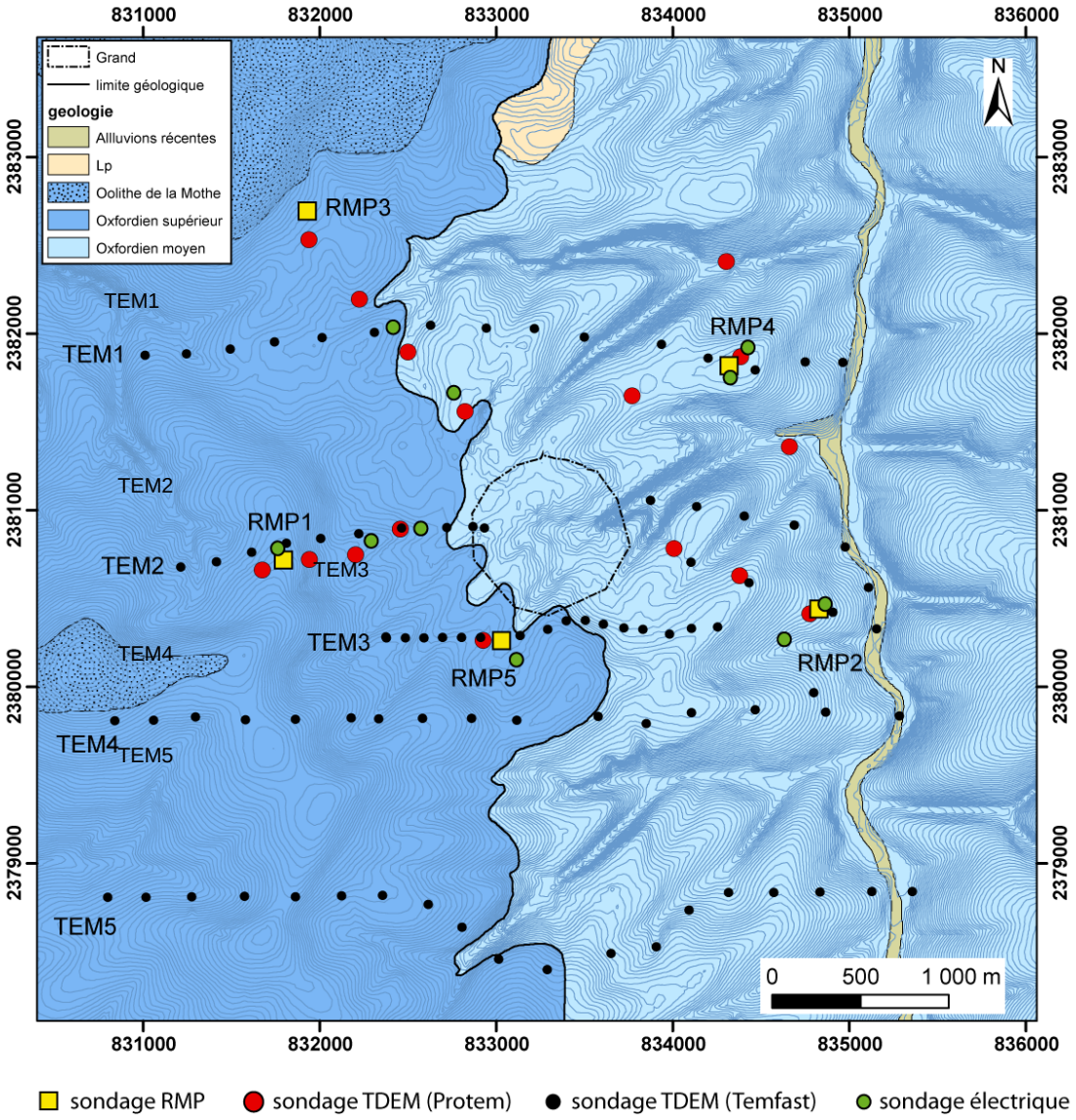


Figure 31. Position des sondages géophysiques autour de Grand, sur la carte géologique vectorisée. Prospections mars 2009.

Sondage	Lieu-dit	Altitude	Oxfordien
RMP1	Le charme	417 m	Supérieur
RMP2	Puits de Saint-Gengoult	355 m	Moyen
RMP3	-	392 m	Supérieur
RMP4	Sur la tête de Grenoblois	378 m	Moyen
RMP5	Pièce Madame	390 m	Supérieur (contact)

Tableau 6. Localisation des sondages RMP réalisés en mars 2009 sur le territoire communal de Grand.

Dispositif choisi : antenne simple carrée pour RMP1, un 8 carré enroulé sur un tour pour les autres sondages afin d'optimiser le rapport signal/bruit et augmenter l'amplitude du champ d'excitation. La profondeur d'investigation est plus grande (environ 50 m). La mesure du champ magnétique terrestre en chaque point de sondage a permis de déterminer la fréquence de Larmor et configurer le dispositif d'acquisition.

- Résultats

Deux types de réponse bien distincts sont mis en évidence sur la Figure 32. Dans le cas des sondages 1 et 3, le signal mesuré se caractérise par une amplitude moyenne faible, de l'ordre de 50 nV. Dans le cas des sondages 2 et 4, l'amplitude du signal enregistré est comprise entre 150 et 300 nV en moyenne. Les données de RMP5, bien que bruitées, rattachent ce sondage au premier groupe (amplitude faible).

Bruit moyen mesuré
- RMP1 : 10 nV
- RMP2 : 14 nV
- RMP3 : 7 nV
- RMP4 : 65 nV

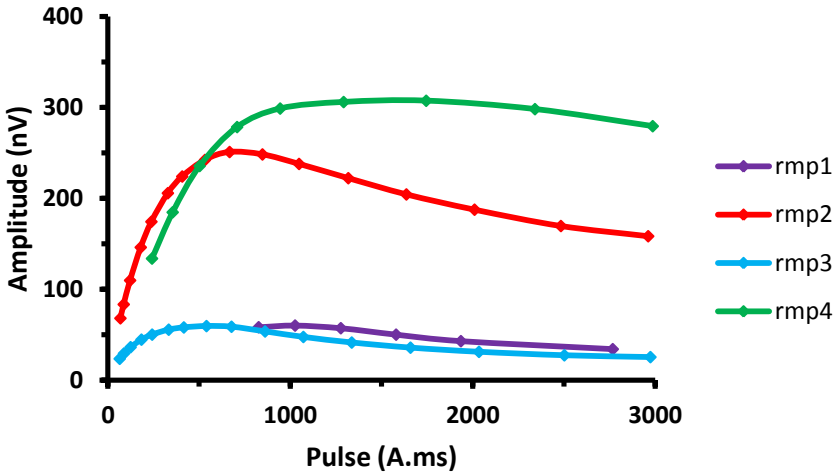


Figure 32. Variations de l'amplitude du signal mesuré en fonction du moment du pulse, à l'est de Grand (sondages RMP2 et RMP4) et à l'ouest (RMP1 et RMP3)

Localisation	Sondages	Amplitudes mesurées	Teneur en eau RMP
Ouest	RMP1 RMP3	50 nV	2-5 %
Est	RMP2 RMP4	150-300 nV	15-25 %

Tableau 7. Résultats des mesures RMP réalisées dans les environs de Grand : comparaison des valeurs observées à l'aplomb des calcaires de l'Oxfordien moyen et supérieur, à l'ouest et à l'est du contact.

D'après la répartition spatiale des points de sondage, on constate (Tableau 7) que les teneurs en eau RMP sont inférieures à 5 % à l'ouest (RMP1 et RMP3) et sont supérieures à 15 % à l'est (RMP2 et RMP4).
La comparaison des perméabilités normalisées des deux groupes ainsi définis (Figure 33) montre que les formations situées à l'est (RMP2) ont une perméabilité plus élevée que celle rencontrée dans les formations situées à l'ouest (RMP3).

La possibilité d'avoir travaillé sur le passage d'un écoulement localisé (*via* la fracturation par exemple), expliquant les fortes valeurs rencontrées, est envisageable. Toutefois, d'après les contrastes relevés de part et d'autre du contact géologique et les informations apportées par les autres méthodes (*cf infra*), ces valeurs sont le reflet des caractéristiques propres de l'aquifère plutôt que la réponse d'une particularité locale.

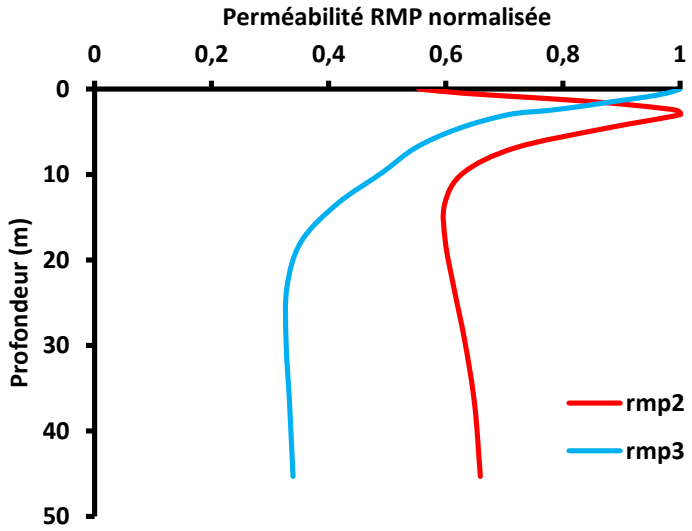


Figure 33. Comparaison des variations de perméabilité normalisée, en fonction de la profondeur, pour les cas RMP2 (Oxfordien moyen) et RMP3 (Oxfordien supérieur).

Les deux formations calcaires ont donc des propriétés hydrodynamiques très différentes. La teneur en eau volumique mesurée à l'affleurement de l'Oxfordien moyen est 3 à 5 fois supérieure à celle mesurée à l'aplomb de l'Oxfordien supérieur.
D'après les connaissances actuelles, le réseau hydraulique antique draine les eaux d'un aquifère superficiel à l'aplomb de Grand. Les Gallo-Romains semblent avoir préféré exploiter, en raison de son accessibilité, la ressource proche à celle, pourtant plus abondante, qui existe à l'est.
Au vu de la topographie, l'eau des calcaires de l'Oxfordien moyen apparait plus difficile à atteindre. La localisation des volumes mobilisables, dont la distribution est déterminée par les caractéristiques de l'aquifère, peut poser problème. A l'inverse l'identification de la ressource présente à la base de l'Oxfordien supérieur (ou au toit de l'Oxfordien moyen) est plus aisée surtout si elle était signalée par l'existence d'une résurgence. Il a suffi alors de sonder le potentiel hydrologique de cet aquifère superficiel et de tirer parti de la ressource par les moyens classiques. Plusieurs procédés simples ont donc été mis en place : la nappe a été atteinte par des puits dont la profondeur ne dépasse pas 15 m et des galeries drainantes ont été aménagées au sein du bassin versant (*cf infra*) pour collecter les eaux d'infiltration, rassembler les eaux circulant à travers la fracturation et les acheminer vers les lieux de desserte.

La structure et le développement du réseau souterrain (ramifié vers le nord/ouest/sud du village) sont liés à la géométrie et à l'extension de cet aquifère superficiel et aux sens des circulations souterraines. La présence d'écrans imperméables constitués par les niveaux

marneux favorise les retenues d'eau locales. D'après les observations passées, les conduits souterrains suivent une couche de marne présente dans la moitié ouest du site. Or la position des niveaux calcaires et marno-calcaires et leur étagement sont mal appréhendés dans le secteur de Grand. On a donc cherché à caractériser les formations géologiques à partir de mesures de résistivité électrique. L'emplacement du contact entre l'Oxfordien moyen et l'Oxfordien supérieur, au niveau duquel est implantée l'agglomération, a notamment été étudié. Les résultats du sondage RMP5 situent cette limite à l'est de ce point.

III. 1. b. Cartographie EM et panneau électrique

Les études géomorphologiques soulignent la difficulté, en l'absence d'affleurement, de distinguer et de positionner spatialement les différents faciès lithologiques du plateau du Haut-Pays (*cf supra*). Une solution peut être apportée grâce au couplage de techniques complémentaires de reconnaissance géophysique.
La cartographie de la distribution latérale de conductivité électrique apparente des terrains superficiels doit permettre de repérer les couches marneuses à l'affleurement. Elles se manifestent généralement par des zones plus conductrices que les niveaux calcaires (zones résistantes).

- Prospection EM31

Elle a été entreprise sur la commune de Grand en décembre 2008. Une surface de 190 ha, recouvrant les terrains de l'Oxfordien supérieur à l'ouest et le contact géologique, a été prospectée, principalement pendant les périodes hivernales. Les parcelles concernées sont des champs cultivés, des prairies et des jardins à l'intérieur du village. Un espacement de 5 m entre profils a été adopté sur les terrains susceptibles de renfermer des structures anthropiques (parcelles *intra muros*, secteur de la « *villa* La Violette », parcelles traversées par le conduit Paramel (talweg Nord) et par « l'aqueduc » Sud (lieu-dit La Citerne). Les profils ont été espacés d'une douzaine de mètres dans les autres secteurs ; ce maillage assez fin a été choisi compte-tenu de la grande variabilité des faciès calcaires mentionnée dans la bibliographie.
L'accès à de nombreux terrains n'ayant pas été accordé, des profils (10 km) ont été réalisés en aller-retour le long des chemins communaux.
L'acquisition a été effectuée en configuration HCP avec un enregistrement en continu, le data logger étant couplé à un GPS. Les résultats sont rassemblés sur la carte présentée en Figure 34.

La carte de σ_a obtenue, superposée à la carte géologique vectorisée (Figure 34), montre la présence d'une bande conductrice (valeurs supérieures à 40 mS/m) qui suit la limite séparant l'Oxfordien moyen et l'Oxfordien supérieur. Elle correspond à une couche de marne comprise entre deux bancs calcaires. Reconnue au sud de Grand sur 1 km, elle semble se poursuivre à l'intérieur du village.

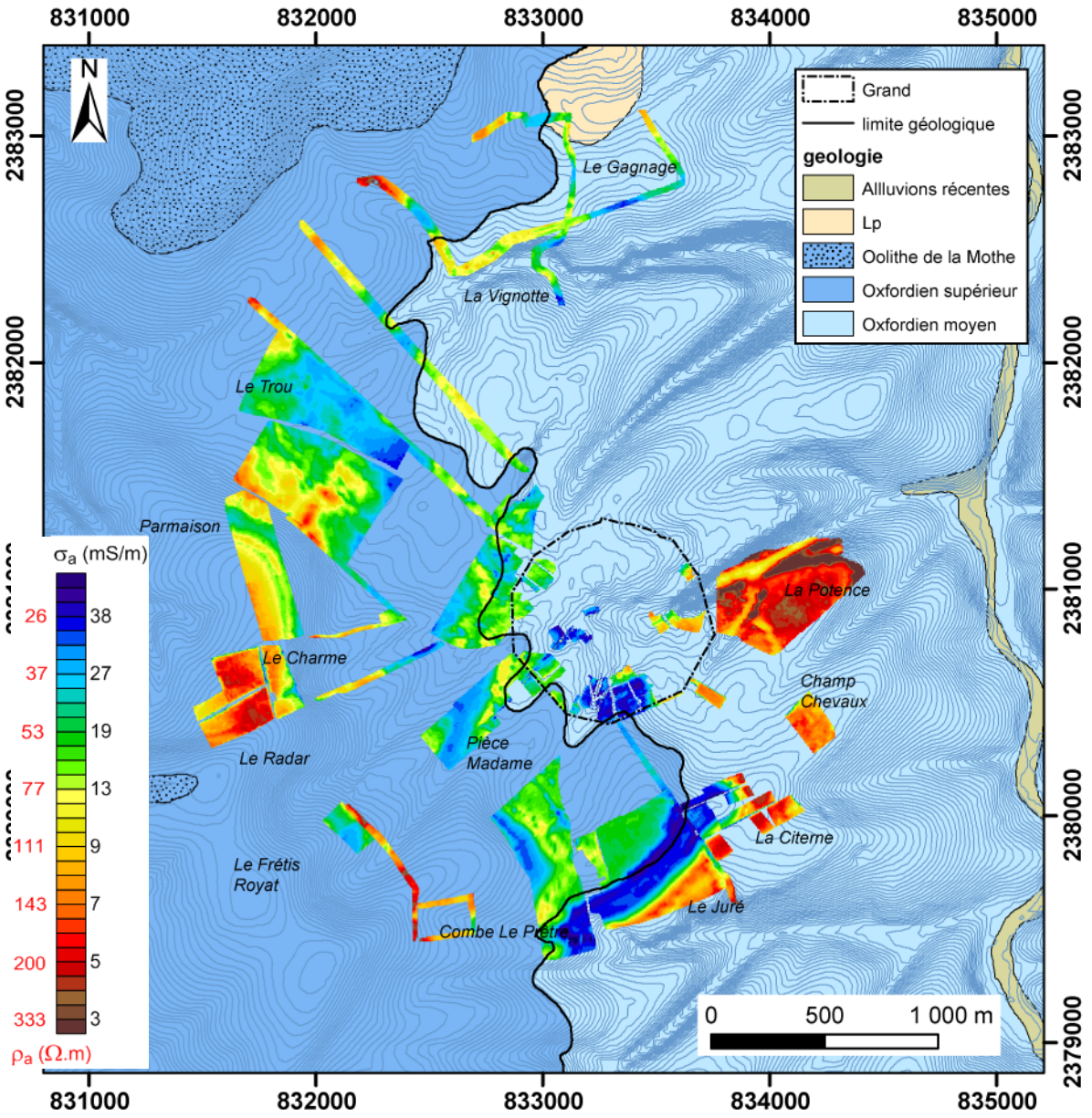


Figure 34. Variations de conductivité électrique apparente (EM31) observées autour de Grand, sur la carte géologique (1/50000) vectorisée.

Au nord, l'absence de données ne permet pas de vérifier la correspondance entre les anomalies cartographiées et la position du contact indiqué par la carte géologique. Les profils révèlent la présence de zones conductrices locales (La Vignotte et Le Gagnage) qui ne semblent pas liées à la topographie des combes (zones de dépôts argileux) : elles pourraient trahir son passage.

Au SE, les terrains situés dans l'Oxfordien moyen créent une zone résistante homogène (2-10 mS/m) dans les zones prospectées (La Potence, Champ Chevaux, La Citerne, Le Juré).

A l'ouest, une gamme plus large de valeurs est rencontrée dans l'Oxfordien supérieur. Les sommets résistants (ligne de crête Le radar-Le Charme-Parmaison) sont entrecoupés de niveaux plus marneux, qui créent des bandeaux conducteurs parallèles aux courbes de niveaux. Le terrain qui s'étend sur une large couronne depuis Le trou à Pièce Madame et descend en pente douce jusqu'au village, semble comporter successivement d'ouest en est :

une zone résistante (5-15 mS/m), une zone conductrice (20-30 mS/m) et, aux abords du site, une zone plus résistante parsemée d'anomalies conductrices, qui présente des valeurs intermédiaires (10-30 mS/m). La transition entre ces différentes zones est plus ou moins bien marquée.

A partir de la répartition des conductivités et de l'hypothèse de tabularité et de subhorizontalité des couches géologiques (pendage régional faible), une carte d'interprétation est proposée en figure 38. Les anomalies résistantes/conductrices ont été associées à de possibles niveaux calcaires/marno-calcaires.
La restitution est compliquée par l'absence de données dans certains secteurs non prospectés où les valeurs de conductivité sont difficiles à extrapoler. Cette difficulté est accrue par les variations observées dans la zone « intermédiaire », causées à la fois par la nature des couches calcaires et par la présence de vestiges bâtis dans les champs qui bordent la Voie close (*cf* chapitre 4 - secteurs Nord-Ouest *extra muros* et La Maladière). Des dolines et une fracturation superficielle sont mises en évidence dans cet espace par les cartes EM31, électriques et les photographies aériennes.

- ERT

Le panneau électrique permet, après inversion des données, de visualiser la variation des résistivités électriques en profondeur. 96 électrodes espacées de 5 m ont été plantées sur un profil de 475 m orienté ouest-est. Il recoupe transversalement le contact des deux formations oxfordiennes au sud de Grand. Le centre du dispositif se situe dans le secteur de la « *villa* La Violette » entre les deux bosquets.

Les résultats (configuration Wenner-Schlumberger) sont bien corrélés avec les anomalies cartographiées en EM31 (Figure 35).
- Latéralement, une zone conductrice (30-40 mS/m soit 25-33 Ω.m) s'étale à l'est, depuis le lieu-dit La Citerne jusqu'au secteur de la « villa La Violette ». A l'ouest, elle cède la place à un terrain plus résistant (10-20 mS/m soit 50-100 Ω.m), l'épaisseur de terrain prise en compte par l'EM31 en HCP étant d'environ 5-6 m.
- En profondeur, une couche conductrice (15-50 Ω.m) affleure sur la moitié est du profil et plonge vers l'ouest. D'une vingtaine de mètres d'épaisseur, elle s'intercale entre deux couches résistantes (100-400 Ω.m). La frontière des deux zones cartographiée en surface est indiquée par une flèche noire sur la figure, elle coïncide avec la position du toit du niveau conducteur à son affleurement.
Ces deux approches confirment ainsi la présence d'un banc marneux intercalé entre deux bancs calcaires, à la base de l'Oxfordien supérieur (ou au sommet de l'Oxfordien moyen) et précisent sa localisation. Il s'agit peut-être des Marnes de Maxey qui reposent sur les calcaires de Dainville selon la stratification régionale de C. Carpentier (2004). Le pendage apparent visible sur la tomographie est faible (entre 1-4°) et s'accorde avec le pendage régional.

Pour vérifier la continuité de cette couche de marne à l'intérieur du village, un double profil a été réalisé en EM31 le long du chemin de Bréchainville. Celui-ci traverse des zones non

accessibles à la prospection. Les valeurs faibles relevées semblent confirmer le prolongement de la bande conductrice jusqu'au nord de la route des Remparts. Le chemin constitue une zone de drainage local, comme le montre le tronçon conducteur inséré dans le milieu très résistant (calcaire de l'Oxfordien moyen) dans la partie sud du profil. Toutefois cette portion du chemin, pentue, se situe en contrebas du niveau marneux et collecte probablement les eaux de ruissellement, alors que le tronçon nord se positionne au-dessus de ce niveau : la réponse mesurée peut alors être attribuée au substrat.

Le profil réalisé sur la route des Remparts accuse un changement net à mi-chemin entre le chemin de Bréchainville et la route de Liffol (D71). A une distance de 500 m au sud, le transect « *villa* La Violette » - D71 fait état des mêmes variations. L'intersection probable de la base de la couche de marne avec la surface du sol est représentée par une ligne pointillée sur la figure.

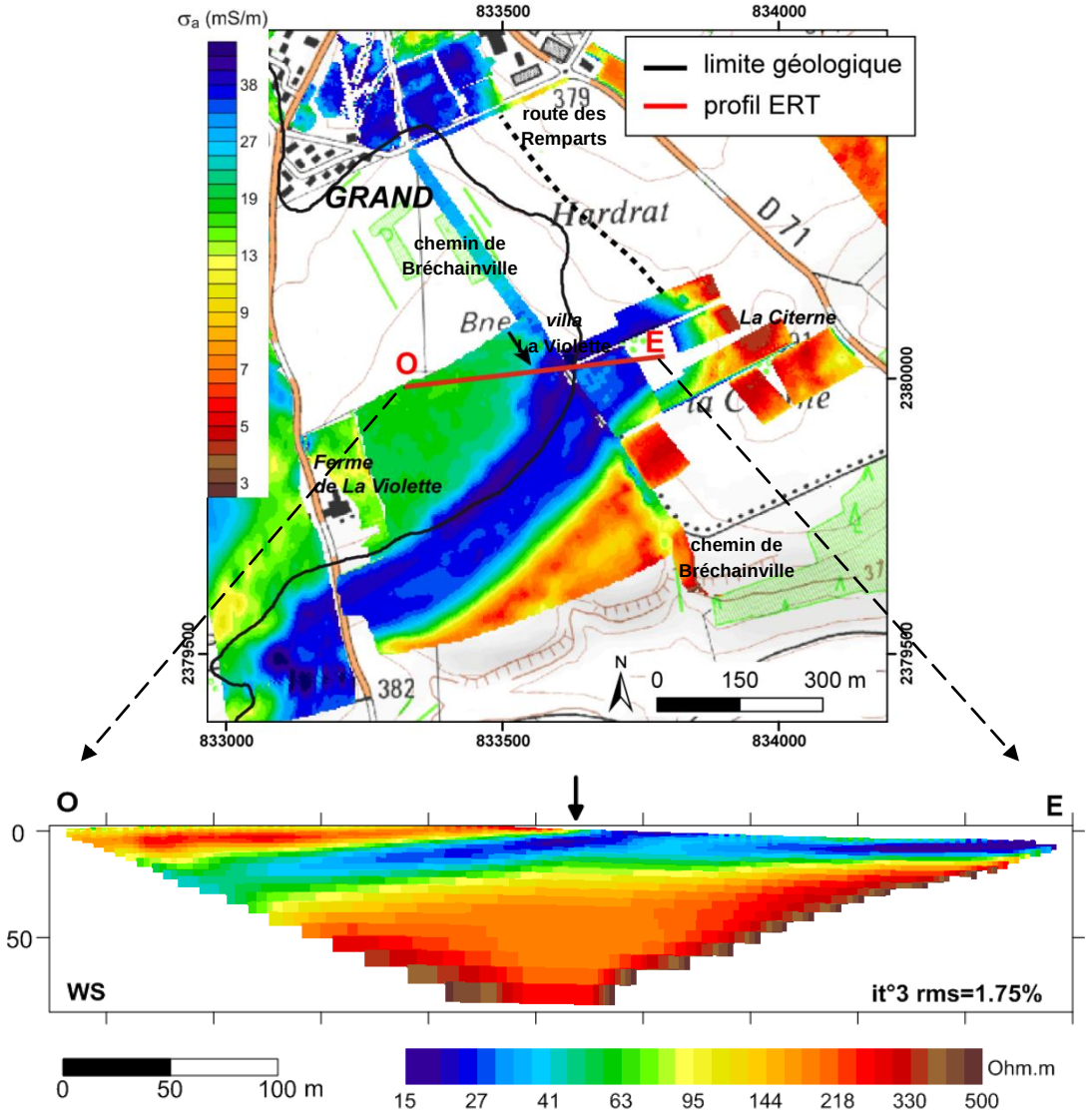


Figure 35. Variations de conductivité électrique apparente observées au sud de Grand, sur fond de carte IGN. Localisation du profil ERT implanté sur le contact des formations oxfordiennes. Résistivités électriques interprétées le long du profil ERT (configuration Wenner-Schlumberger, 96 électrodes).

III. 1. c. Sondages électriques et TDEM

- Interprétation jointe des données de sondages électriques et TDEM (Protem)

10 sondages électriques et 16 sondages TDEM ont été réalisés autour de Grand. 8 paires de sondages ont pu être exploitées et interprétées conjointement. Après inversion des données, les résultats sont présentés en figure 36 sur deux transects orientés ouest-est.

Les variations de résistivité mettent en évidence la succession de couches suivantes :
- à la base, une couche conductrice (environ 30 Ω.m),
- une couche très résistante (environ 1000 Ω.m),
- et enfin un ensemble globalement résistant, composé d'une couche conductrice (20-50 Ω.m), d'une couche résistante (200 Ω.m) et de conducteurs superficiels.

Ces différentes unités peuvent être associées aux Argiles de la Woëvre qui sont surmontées des calcaires de l'Oxfordien moyen (très résistants) et des niveaux marno-calcaires sus-jacents de l'Oxfordien supérieur. Les frontières ont été représentées par deux lignes pointillées bleue et noire sur la figure.

La **base** de l'Oxfordien moyen, visible sur le transect Nord, se situe entre 210 (NO) et 250 m NGF (NE). Au SE, elle se positionne à 270 m NGF (transect Sud). Elle n'apparait pas dans les résultats des sondages implantés au SO car elle n'est pas comprise dans le volume de sol investigué, en raison de la topographie.
La couche affleure à l'est, entre 365 et 378 m NGF. A l'ouest, son **toit** est détecté vers 350-360 m NGF, selon les positions des sondages.
Son **pendage** est de l'ordre de 1° vers le NO, ce qui s'accorde avec le pendage régional, et son **épaisseur** peut être estimée (localement) à 140 m.

Un niveau conducteur, dont l'**épaisseur** est comprise entre 15 et 25 m, constitue la base de l'Oxfordien supérieur. Son **toit** se trouve entre 360 et 380 m NGF ; il est figuré par de légers traits pointillés noirs. Il marque une transition nette entre les couches très résistantes de l'Oxfordien moyen et les calcaires de l'Oxfordien supérieur. D'après ses caractéristiques (résistivité et position), il correspond à la couche de marne cartographiée au sud de Grand en EM31 et localisée en profondeur sur le profil ERT (*cf supra*).
De fins niveaux moyennement résistants reposent sur cette couche conductrice. Leur épaisseur moyenne au niveau des sondages est d'environ une dizaine de mètres.

Les résistivités mesurées à l'ouest (sondages tg01 et se01) permettent de distinguer les deux formations calcaires mais il est difficile de délimiter les couches précédemment décrites qui constituent l'Oxfordien supérieur.

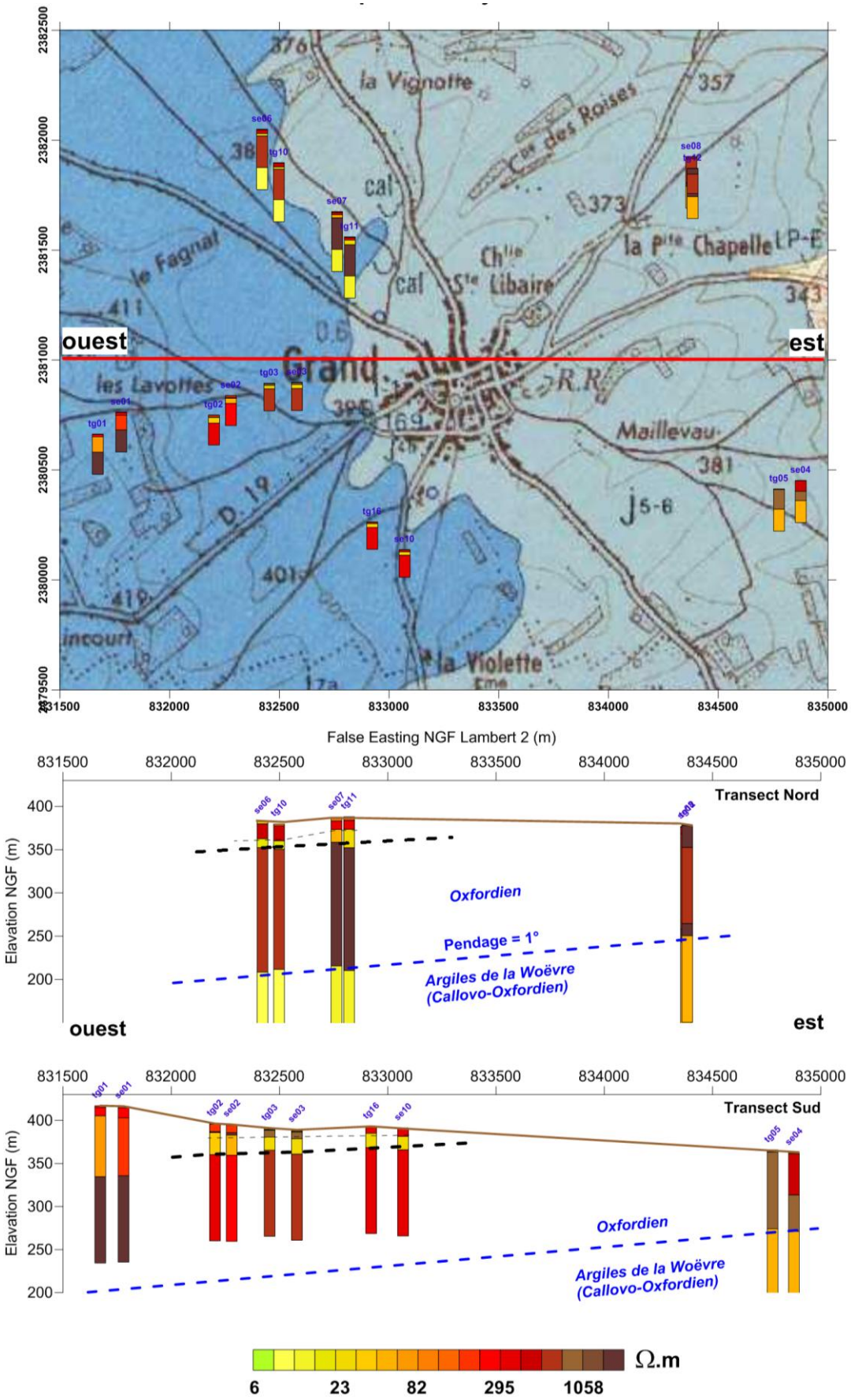


Figure 36. Sondages TDEM (40x40 m, Geonics Protem 47) et sondages électriques réalisés dans les environs de Grand : position sur la carte géologique de Neufchâteau et interprétations jointes.

- Interprétation des résultats TDEM (Temfast)

Les résultats d'inversion de 72 sondages (sur les 88 réalisés) sont présentés sur la figure 37. Les variations enregistrées mettent en évidence deux groupes de sondages. Conformément aux observations précédentes, la résistivité des calcaires de l'Oxfordien moyen apparait globalement 10 fois supérieure à celle rencontrée dans l'Oxfordien supérieur. Le contact est clairement visible sur plusieurs sondages ; la flèche noire indique sa position en surface sur chaque transect.

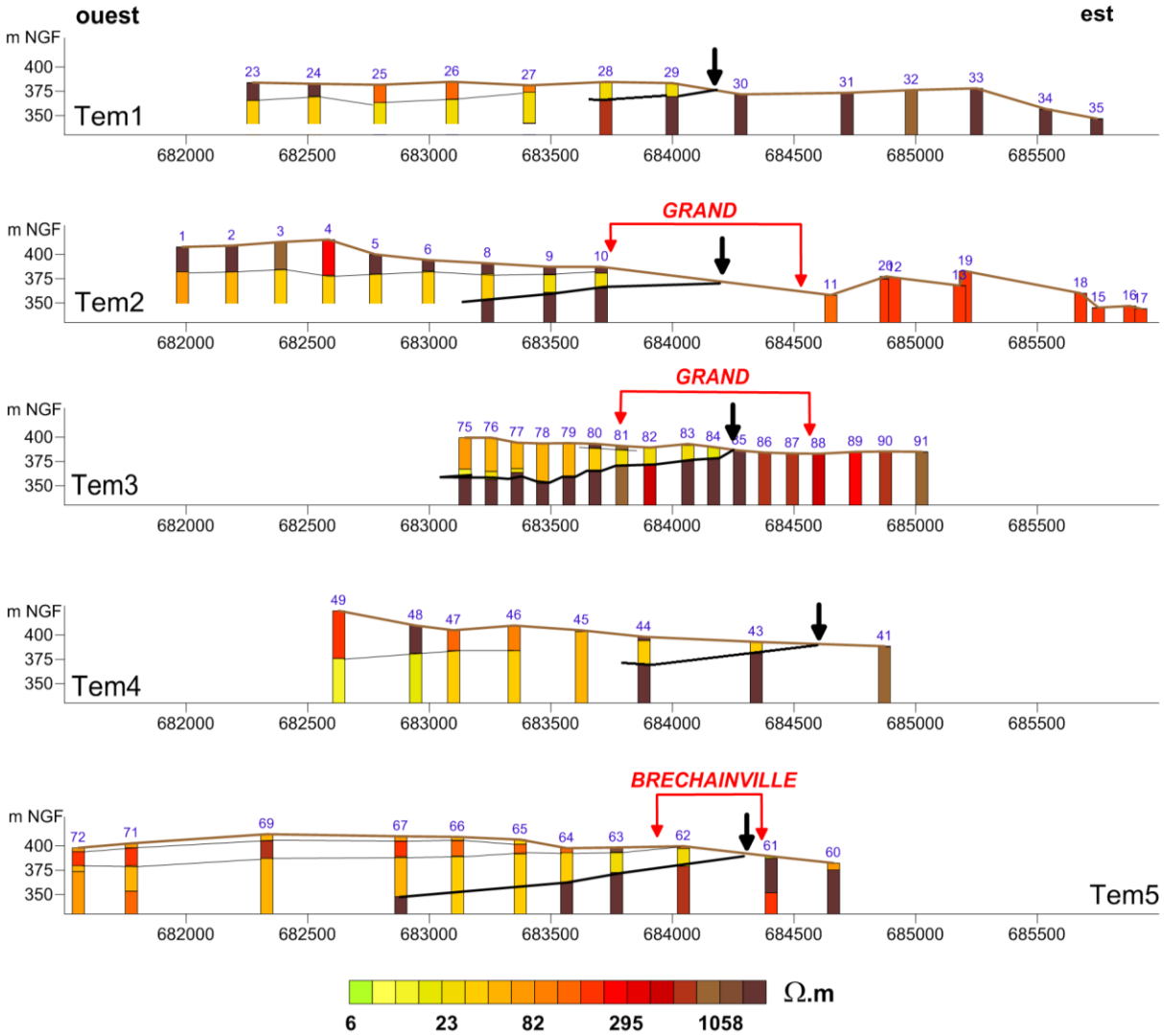


Figure 37. Sondages TDEM (20x20 m, AEMR Temfast 48) : résistivités interprétés.

La couche très résistante (environ 1000 Ω.m) affleure à l'est et plonge vers le l'ONO. Les valeurs plus faibles enregistrées sur le profil Tem2 viennent d'un environnement de mesure plus bruité.

Une couche conductrice (en moyenne 30-80 Ω.m) repose sur ce niveau résistant. Elle sert de base à une couche résistante (80-300 Ω.m) qui est parfois recouverte par un horizon conducteur superficiel, visible notamment sur Tem5. Localement une fine couche plus

conductrice (marne) s'intercale entre deux niveaux résistants, par exemple à la base de l'Oxfordien supérieur sur Tem3. Un ajustement des paramètres d'inversion pourrait lisser les écarts observés à l'ouest, entre certains points de sondage, mais des variations latérales peuvent également être introduites par un changement rapide des faciès calcaires.

Les villages de Grand et de Bréchainville sont installés au niveau de l'affleurement de la couche de marne. La couche calcaire sus-jacente, visible sur les profils TDEM, peut constituer l'aquifère qui y est drainé. Des sources existant au contact de ces deux couches ont pu orienter le choix d'implantation des deux agglomérations.

III. 1. d. Bilan

Les résultats des sondages géophysiques sont donc très cohérents, tant sur la position générale des différents ensembles que sur les gammes de résistivité interprétée. Ils complètent les observations formulées grâce à la cartographie des variations de conductivité de la couche superficielle. A partir du croisement de ces données, une restitution des couches résistantes/conductrices à l'affleurement autour de Grand est proposée en figure 38.

La formation calcaire de l'**Oxfordien moyen**, assez homogène, présente des résistivités élevées (1000 Ω.m). La teneur en eau volumique peut être estimée à partir des mesures de résistivités moyennes de l'eau et des calcaires, en utilisant la formule d'Archie (1942) :

$$\rho_b = \rho_w a \Phi^{-m} S^{-n}$$

- ρ_w= 16,7 Ω.m : résistivité électrique de l'eau (données mars 2011 : σ_w= 600 µS/cm)
- ρ_b = 500 Ω.m : résistivité électrique de la roche calcaire (données ERT au sud de Grand)
- θ : teneur en eau volumique, définie par $\theta = \phi . S$
- S : degré de saturation de la roche
- Φ : porosité de la roche
- m (degré de cimentation) = n (exposant de saturation) = 2
- a = 1

La teneur en eau volumique ainsi calculée (θ = 18,5 %) correspond bien à celle qui a été déterminée après inversion des données RMP (θ = 15-25 %).

La base de l'**Oxfordien supérieur** est constituée par une couche conductrice (marne) dont le mur est représenté par un trait rouge sur la figure. Plusieurs couches marno-calcaires se succèdent, conférant à l'ensemble de la formation une résistivité globale et une teneur en eau volumique plus faibles (ρ = 50-300 Ω.m, θ = 5 %).
Les couches développées à l'ouest et à l'aplomb de Grand, atteintes par les puits et les conduits, présentent les caractéristiques électriques de calcaires aquifères (Sirhan 2010). Si la géométrie et un découpage lithologique fin ne peuvent encore être donnés, la position de l'aquifère drainé par le réseau hydraulique a toutefois pu être précisée par les résultats géophysiques.

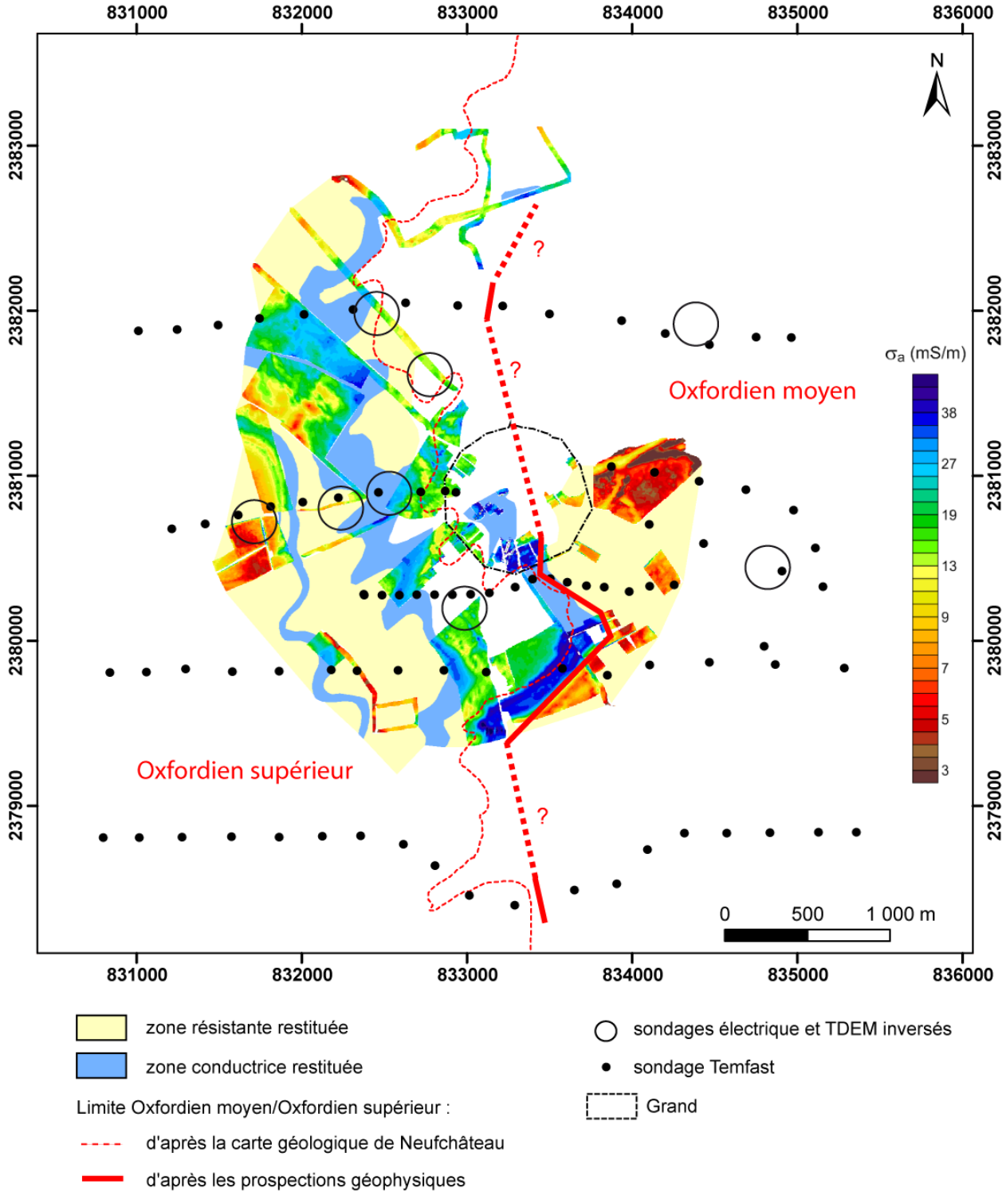


Figure 38. Restitution proposée à partir des variations de résistivité électrique mesurées en surface (EM31) et en profondeur (sondages électriques et TDEM) autour de Grand.

III. 2. Eléments caractéristiques de l'aquifère oxfordien

Au NO de Grand, plusieurs formes karstiques de surface sont signalées par les habitants et la bibliographie (Devos 1996, Denys-Thomas 2006). A l'occasion d'une reconnaissance de terrain en décembre 2008, certaines ont été relevées le long de la route départementale D175 reliant Grand à Laneuville-au-Bois (Figure 39).

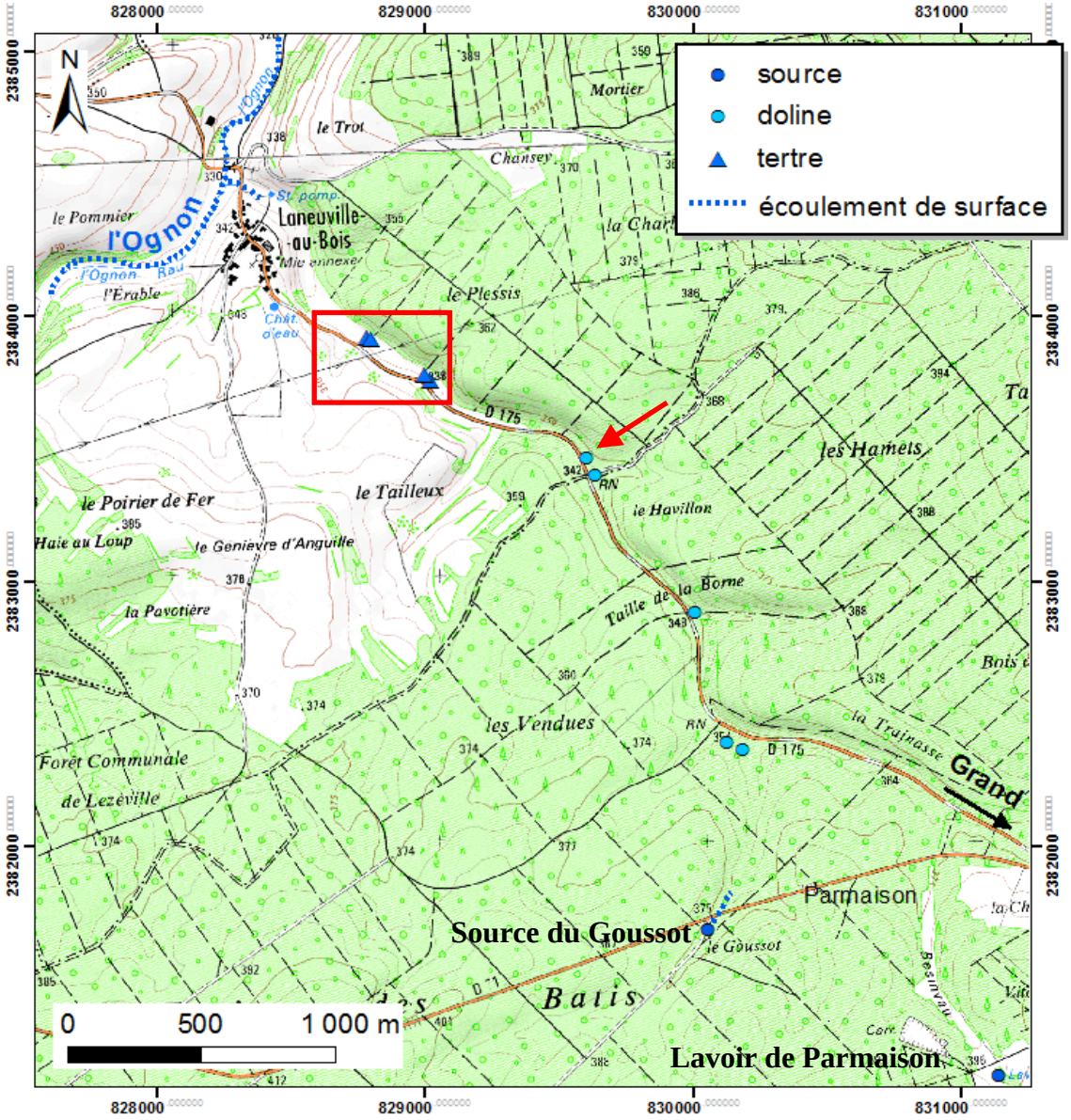


Figure 39. Localisation des dolines, tertres et sources observées à proximité de la route départementale entre Laneuville-au-Bois et Grand et localisation des deux zones prospectées (en rouge). Fond de carte IGN géoréférencé.

La route suit le fond d'un talweg orienté SE-NO qui rejoint la vallée sèche de l'Ognon en aval du village. En période de fortes pluies, des remontées du niveau de la nappe provoquent la mise en fonctionnement de sources temporaires de trop-plein en amont de la source pérenne et des écoulements prennent place dans les deux talwegs confluents. 4 tertres émissifs ont été localisés dans un pâturage à la sortie du bois. En décembre 2008, ces tertres fonctionnaient et

l'eau circulait dans la vallée sur 1 km. En avril 2008 et octobre 2009 seuls les abords de la station de pompage étaient inondés. Les fortes amplitudes du niveau et la rapidité de mise en charge après une forte pluie, observées par les habitants dans les puits (renseignement oral), semblent témoigner d'un fonctionnement karstique de l'aquifère. Un contraste de perméabilité verticale existerait au niveau des tertres et canaliserait l'eau jusqu'à sa sortie à l'air libre, parfois sous pression (petits bouillonnements en surface). L'alignement des tertres pourrait s'expliquer par la présence d'un conduit karstique à faible profondeur et de conduits verticaux communiquant avec la surface.

D'autres écoulements superficiels ont été observés dans la forêt des Bâtis, notamment dans les environs des sources du Goussot et de Parmaison. Toutes deux se situent en tête de vallon et ont été aménagées. La première, au pied d'un versant abrupt de calcaire oolithique (Denys-Thomas 2006), donne naissance à un ruisseau qui se perd quelques 200 m en contrebas. La seconde s'épanche dans un plan d'eau artificiel au bord duquel se trouvent les ruines d'un lavoir fréquenté jadis par les habitants de Grand (lavoir de Parmaison). En aval, la combe Bésinvau porte la trace d'écoulements absents lors de nos passages.

Dans le bois, 5 dolines peu profondes se développent sur l'axe du talweg principal, à l'intersection des vallons secondaires. Sur le versant ouest, deux dolines accolées se sont formées à la jonction de la combe du Goussot, de la combe adjacente et du vallon principal. La première draine un petit cours d'eau temporaire. Sur le versant est, une doline de forme elliptique, qui résulte peut-être de la coalescence complète de plusieurs dolines, s'inscrit au niveau du carrefour suivant (Taille de la Borne). Une autre dépression a été localisée au pied du dernier vallon, à la limite des deux communes, ainsi qu'une doline, à quelques dizaines de mètres en aval de la précédente.

Des prospections géophysiques ont été réalisées en octobre 2009 en collaboration avec Rémi Valois pour tenter de caractériser la structure de ces morphologies particulières.

III. 2. a. Tertres

Au nord de la route, les tertres sont alignés dans le fond du talweg à une quinzaine de mètres du sous-bois. Par commodité, deux zones EM31 et deux panneaux électriques P1 et P2 ont été définis recouvrant chacun deux tertres.

- EM31 (Figure 40)

La carte englobe une surface de 1,75 ha. Le terrain est conducteur (les valeurs sont comprises entre 3 et 18 mS/m) et apparait plus résistant en amont (au SE). Les tertres se positionnent dans un passage plus conducteur qui semble suivre plus ou moins l'axe du vallon. D'après les observations faites en décembre 2008, il correspond au chemin emprunté par l'écoulement superficiel lorsque les tertres fonctionnent.

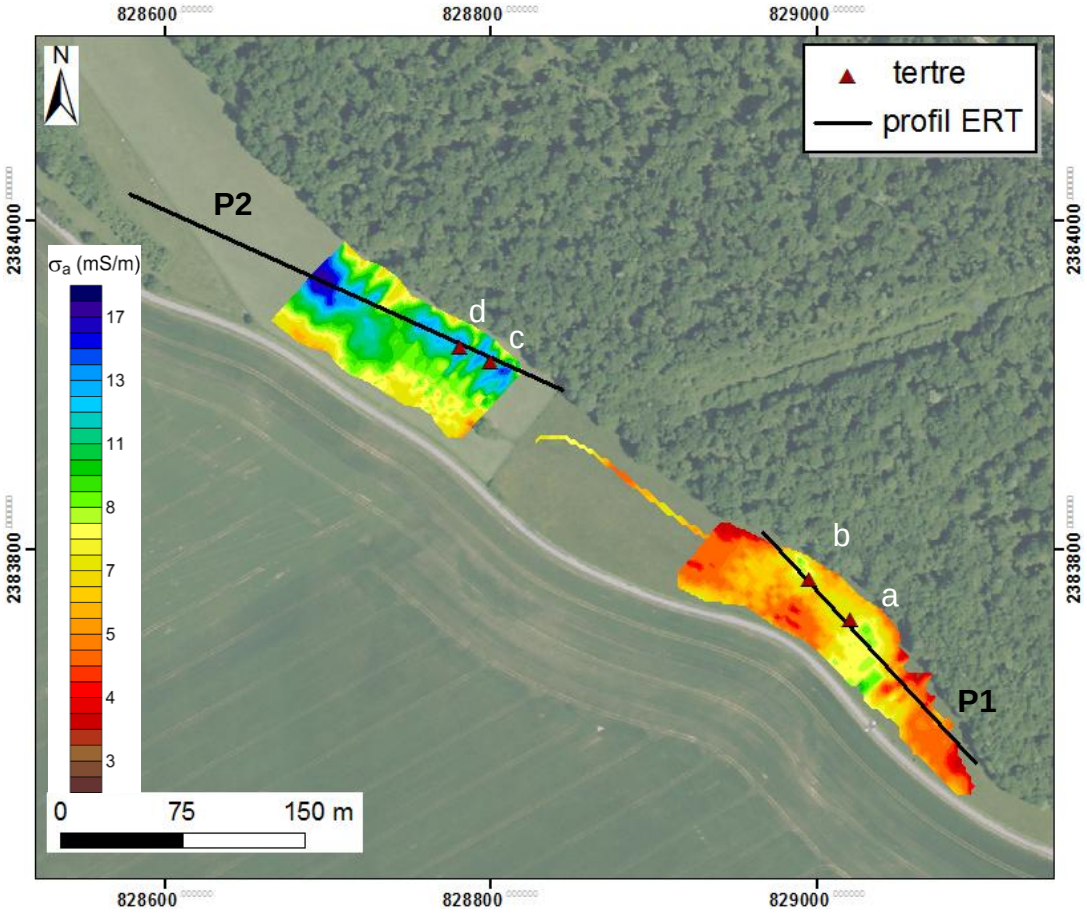


Figure 40. Carte de conductivité électrique apparente obtenue en amont des sources de l'Ognon au nord de la D175. Position des tertres et des profils ERT.

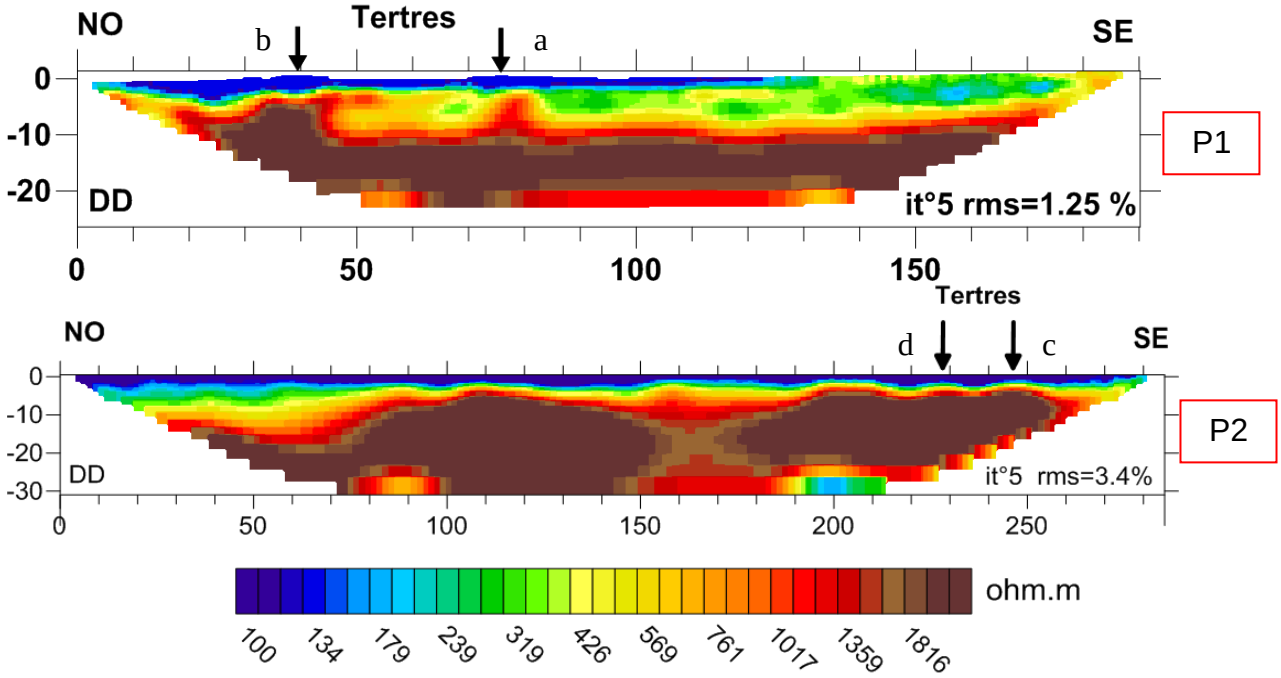


Figure 41. Tomographies de résistivité électrique P1 et P2 réalisées en amont des sources de l'Ognon en travers du vallon. Résultats de l'inversion, configuration dipôle-dipôle, 96 électrodes.



Figure 42. Tertres situés en amont de Laneuville-au-Bois au nord de la D175. Observations lors de la prospection géophysique en octobre 2009 (vallon à sec), et en décembre 2008 (tertres en fonctionnement). Cl. Brinon.

- ERT (Figure 41)

Une ligne P1 de 96 électrodes espacées de 2 m (sur 191 m) a été implantée au SE. Elle recoupe à 35 m d'intervalle un petit tertre (a) et un tertre profond qui forme un monticule bien net (b).
Une ligne P2 de 96 électrodes espacées de 3 m (sur 287 m) a été implantée au NO. Elle passe entre un trou (c) où s'accumulent blocs de pierre et graviers et un tertre (d) pris entre les racines d'un arbre. Ils sont espacés d'environ 20 m. Les trous (b) et (c) sont distants de 235 m. Les configurations Wenner-Schlumberger et dipôle-dipôle ont été testées dans les deux cas. Les résultats de l'inversion sont similaires, avec une RMS assez bonne.

Sur P1, on observe un niveau très résistant développé vers 5-10 m de profondeur. Il est surmonté d'un niveau plus conducteur qui comprend localement deux anomalies résistantes situées à l'aplomb des tertres. Les mesures ayant été faites en période sèche, il pourrait s'agir de vides qui débouchent en surface. Le conducteur peut correspondre à du matériel alluvial ou à une couche de calcaire altéré rempli de sédiments conducteurs. La structure résistante horizontale sous-jacente peut être associée à une autre couche calcaire de l'Oxfordien.

P2 présente à peu près les mêmes variations de résistivités. Des dômes résistants sont visibles sous les tertres. L'étalement de leur forme peut être en partie causé par la résolution latérale plus faible (espacement inter-électrode de 3 m). L'interface entre le niveau conducteur et la couche résistante semble s'enfoncer légèrement vers le nord. A cet endroit le profil traverse de biais le talweg où une combe se raccorde.

III. 2. b. Doline

A 650 m en amont du tertre (a), un panneau électrique (ERT) a été réalisé en travers de la dernière doline repérée dans le bois. 96 électrodes espacées d'un mètre ont été implantées sur un profil parallèle à la route. La doline, profonde de 1,5 m pour un diamètre de 8 m, se situe au milieu du profil. Les dispositifs Wenner-Schlumberger et dipôle-dipôle donnent des résultats concordants et l'inversion de bons RMS (Figure 43).

Le milieu sondé est assez résistant (400-1000 Ω.m). Le fond de la doline, tapissé d'une couche de cailloutis, se traduit par une pellicule localement très résistante.
Au SE, une zone conductrice en surface marque la position du vallon. Elle se prolonge vers le NO par une lentille conductrice épaisse de 2 à 4 m située vers 4 m de profondeur. A partir de la doline, les valeurs de ce conducteur tendent à rejoindre celles du milieu encaissant ; l'intercalation de ce conducteur entre deux résistants est moins nette.
Au NO, une fine structure conductrice s'étend en surface depuis l'extrémité du profil jusqu'à la doline.

Les fortes résistivités peuvent être attribuées aux calcaires de l'Oxfordien supérieur indiqués sur la carte géologique, ou au matériel de remplissage de vallée (cailloutis dans une matrice argilo-sableuse par exemple). Le mélange des deux matériaux est également possible (Valois 2011).
La diminution de résistivités reflète l'existence de plusieurs niveaux calcaires superposés. La zone conductrice, dont la présence semble liée à celle du vallon, pourrait être une zone de calcaire altérée par cryptocorrosion. Elle pourrait également correspondre à une zone de dépôts associés aux écoulements passés du vallon et recouverts par une couche de cailloutis (zone résistante sus-jacente).

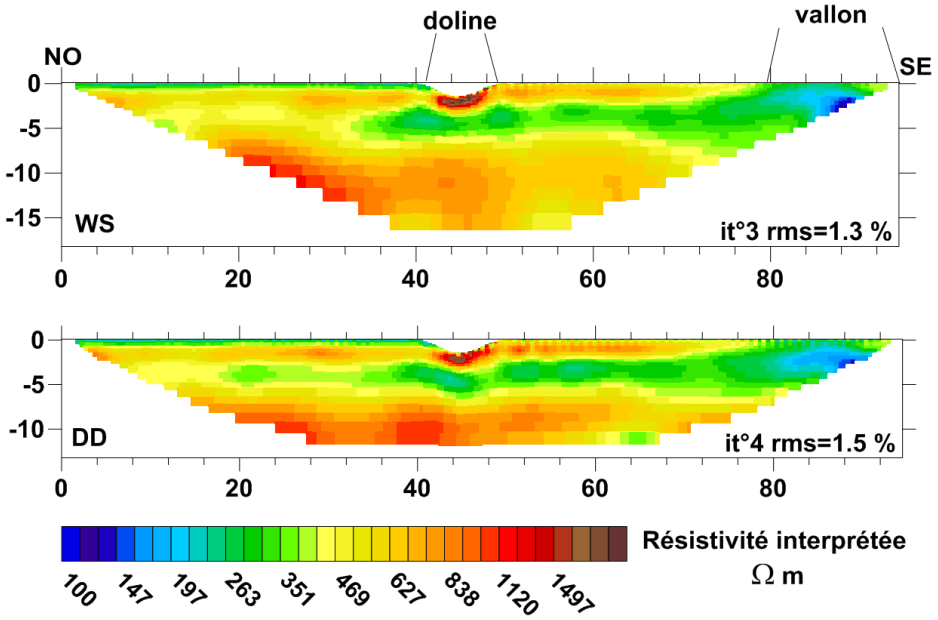


Figure 43. Tomographies de résistivité électrique centrée sur la doline (bois communal) au bord de la D175. Résultat de l'inversion, configurations Wenner-Schlumberger (WS) et dipôle-dipôle (DD), 96 électrodes.

III. 2. c. Bilan

Pour identifier la nature des niveaux calcaires ou marno-calcaires détectés et comprendre le mode de formation de la doline ou des tertres, d'autres études sont nécessaires car la prospection géophysique ne permet pas de conclure seule. L'hypothèse d'un drain karstique développé dans l'axe de la vallée est envisageable. Dans le cas de la doline, l'apport supplémentaire d'eau et de matériaux charriés, généré par la topographie de talweg, peut augmenter localement le potentiel de suffusion et d'effondrement aux points de jonction des vallons et favoriser ainsi la formation des dolines.

IV. ETUDE DU RESEAU HYDRAULIQUE DE GRAND

L'installation de l'agglomération à l'écart des cours d'eau a obligé les Gallo-romains à élaborer un système d'approvisionnement en eau adapté à l'environnement hydrogéologique du plateau calcaire. Pour accéder aux ressources disponibles dans le sous-sol du site, deux procédés ont été employés : le forage de puits et l'aménagement de conduits drainants. Les recherches menées depuis le 19ème siècle ont permis de redécouvrir une partie du réseau hydraulique, toutes périodes confondues.

Différents types de structures avaient été reconnues : des puits et des puisards d'une part, et des cheminées d'accès aux galeries d'autre part, ces dernières représentent environ 25% des puits connus. Les premières observations sur le réseau de galeries avaient été suivies de l'hypothèse selon laquelle cet usage collectif de l'eau était limité à la desserte d'une « mare sacrée » tandis que les puits d'alimentation étaient associés aux activités privées.

Aucune synthèse n'ayant été publiée, il était donc nécessaire, pour comprendre la structure et le fonctionnement des galeries, de dresser un inventaire des éléments reconnus. L'étude des archives a constitué la première étape du travail, avec comme objectifs de répertorier les conduits explorés et d'établir une description de chacun d'eux (développement, profondeur, géométrie, maçonnerie, substrat, circulations d'eau, connexions, localisation...). Une fois la position et la nature des structures identifiées, la deuxième étape a consisté à vérifier et compléter les données par des observations de terrain (levés spéléologiques et mesures hydrologiques). Des reconnaissances préliminaires ont été effectuées en janvier 2009 puis une campagne d'exploration avec levés topographiques a été menée en janvier 2010 dans plusieurs conduits accessibles. Afin de déterminer les sens de circulations des eaux souterraines et de vérifier les hypothèses sur les liaisons hypothétiques entre certains points, des mesures de la conductivité et de la température des eaux ainsi qu'une opération de traçage des eaux ont été prévues. Des tests ont été réalisés en mars 2011 dans plusieurs puits. Toutefois, le niveau d'eau, faible ou nul dans de nombreux puits et conduits, a rendu impossible en 2011 (année sèche) la réalisation de ce projet.

Les données récolées n'autorisent souvent qu'une identification et/ou une localisation incertaines et fournissent des descriptions trop peu précises pour être intégrées au SIG. Cette étude requiert un relevé de terrain systématique qui n'a pu être mis en œuvre en raison d'un accueil peu favorable de la part de nombreux habitants, à toute opération de terrain.

Un historique rapide des recherches portant sur le réseau souterrain a été reconstitué à partir des documents d'archives. Son exposé précède l'inventaire des conduits pour permettre de comprendre l'évolution de la problématique relative au réseau hydraulique. Il mettra en lumière les contradictions créées par des descriptions anciennes lacunaires et peu objectives.

IV. 1. Historique des découvertes

IV. 1. a. Avant 1960

Dès 1843, Jollois soulève la question des aménagements hydrauliques romains en constatant que l'environnement du site est peu propice, en apparence, à l'implantation d'une « vaste cité ». « Son sol, aride et desséché, n'est humecté que par les eaux de pluie, et il n'existe dans le voisinage aucune rivière ni aucun ruisseau qui puissent fournir aux habitans, avec quelque abondance, l'eau dont ils sentent de plus en plus le besoin. Quelques eaux, cependant, se montrent après l'hiver dans une espèce de ravin situé à l'est du village ; on leur a donné le nom de rivière *mal-dite* ou *maudite*, comme pour constater en quelque sorte que ces eaux n'apparaissent que pour tromper les habitans : elles coulent, en effet, durant l'été, dans des cavités souterraines, et alors on n'en voit plus de traces. (...) Si Gran, offrait à une époque reculée, la même sécheresse et la même aridité que le village présente aujourd'hui, il est à croire que les Romains ont dû exécuter de grands travaux pour y amener des eaux et les y conserver » (Jollois 1843).

Sa supposition est appuyée par la découverte de deux galeries drainantes antiques. En effet, la municipalité effectue à cette époque des travaux destinés à pallier l'insuffisance des moyens d'adduction d'eau modernes, en restaurant d'anciennes installations et en en créant de nouvelles. Les recherches menées à cet effet par Grillot, architecte du département des Vosges, aboutissent au dégagement et à la remise en état des conduits dits du Groupe scolaire et de la Fontainotte. D'autres segments sont également réhabilités (conduit de Dainville, de l'église, ...). Des aménagements, alimentés par des conduits du type conduit « Paramel », sont construits à proximité de l'église, et des puits communaux sont forés (Bertaux 1978).

Par ailleurs, des portions de la *cloaca* sont mises au jour sous le grand corridor de l'amphithéâtre (fouille Jollois) et un souterrain long de 200 m qui n'est pas identifié comme une galerie drainante est décrit par Jollois. Celui-ci conclut sur l'existence probable de citernes et d'aqueducs captant des sources éloignées.

En 1948, l'état du réseau de galeries présenté par M. Toussaint ne diffère guère de celui décrit par Jollois dont il reprend les grandes lignes. Des précisions sont apportées sur des trouvailles faites dans plusieurs puits antiques (au *Cagnot*, rue des Roises), dans une citerne romaine (au lieu-dit *Champée-Marguerite*) et sur la découverte de canalisations (aux abords de l'édifice à plan basilical et de l'amphithéâtre).

IV. 1. b. 1963-1988

En **1963**, la mise en place de l'adduction intercommunale résout en grande partie le problème de pénurie d'eau qui touche les villages du plateau. Son corollaire est l'abandon des puits et la rapide dégradation des conduits situés à faible profondeur. J.-P. Bertaux réalise alors un premier relevé partiel des conduits connus. Il compte 7 tronçons distincts pour une longueur totale de 755 m (Salin 1964, Bertaux 1974b).

En **1964**, il effectue un 2ème relevé sous l'impulsion d'E. Salin et avec le soutien de la Société d'Archéologie lorraine. L'inventaire des conduits explorés ne fait pas de distinction entre le réseau antique et le réseau moderne. En complément des puits dont le nombre est important (108 connus dont 17 donnent accès aux galeries), on découvre qu'il existe un « système de canalisations de type galeries de drainage des eaux d'infiltrations » qui atteint une couche de marne, entre 3 et 12 m de profondeur, et achemine l'eau vers les installations publiques (abreuvoir, fontaines, lavoir, réserve à incendie) (Bertaux 1974b). Il totalise 1351 m de conduits répartis en 13 sections (Bertaux 1964).

En **1965**, E. Salin publie un état des découvertes nouvelles (Salin 1965), qu'il avait rapidement évoqué l'année précédente (Salin 1964). Concernant le réseau souterrain, il reprend les observations de J.-P. Bertaux et envisage pour la première fois une convergence des galeries aux abords de l'église. Il suggère également l'existence possible d'un aqueduc creusé à fleur de sol captant une source à quelques kilomètres du village. Devant le développement inattendu du réseau souterrain et les dégagements qui s'imposent, il décide de faire appel à des spéléologues pour poursuivre efficacement l'exploration (Boyette 1973).

Mais il se heurte au désintérêt de l'Association spéléologique (Bertaux 1974b) et les recherches sporadiques menées par J.-P. Bertaux reprennent.

Entre 1965 et 1969 la longueur explorée atteint 1636 m et correspond à 30 tronçons de galeries. A ce stade des découvertes, J.-P. Bertaux suppose que les conduits du « réseau moderne » constituent les « sections terminales » d'un réseau beaucoup plus vaste et complexe d'origine antique, totalement obstrué par les travaux réalisés au 19ème siècle (Bertaux 1974a).

En **1969**, pour pallier la défection des spéléologues, une prospection électrique est mise en œuvre. Toutefois les résultats déçoivent les attentes : aucun nouveau conduit n'est mis en évidence. A la suite des travaux d'assainissement, la dégradation des conduits peu profonds s'accélère et l'étude systématique du réseau devient urgente (Bertaux 1974a).

En **1973**, un tournant est pris avec le début de la collaboration de l'ASDUN[9] (54) qui offre les moyens techniques nécessaires pour la reconnaissance du réseau. Les recherches y gagnent un nouveau dynamisme. Le pompage et la désobstruction de plusieurs puits et galeries sont entrepris (conduits de la Fontainotte, Familiale, du puits Perrin, de l'église). Des relevés topographiques, accompagnés de photographies, sont ensuite réalisés. Des essais de coloration des eaux à la fluorescéine sont effectués avec le Génie rural mais la sécheresse empêche cette année-là l'exécution de tous les traçages prévus. Un conduit d'étroite section est découvert dans la citerne à l'extrémité du conduit de l'église (Boyette 1973).

L'exploration se poursuit en **1974** selon la même méthodologie (désobstruction, topographie, photographies, traçage des eaux à la fluorescéine). L'importance du développement du réseau antique se confirme avec la découverte de nouvelles sections. La convergence des galeries vers l'église est réaffirmée. La découverte au centre du site d'un conduit inédit (peut-être celui de la petite chapelle, Bertaux 1976) caractérisé par un débit abondant viendrait étayer l'hypothèse d'E. Salin. L'aménagement d'une résurgence est de nouveau envisagée (Bertaux 1974). Environ 120 puits, attribués pour la plupart à l'époque gallo-romaine, auraient été répertoriés ainsi que 3 km de conduits (Bertaux 1974).
J.-P. Bertaux remarque que les villages voisins (Aillianville, Bréchainville, Audeuil) sont également dotés de souterrains « gallo-romains » ; leur développement reconnu est cependant très inférieur à celui du réseau de Grand. Il suppose que 10 km de conduits existent sous la ville et dans ses environs, tout en abandonnant l'hypothèse d'un aqueduc en provenance d'Aillianville (Bertaux 1976).

En **1975**, la nouvelle tranche d'assainissement (pose du tout-à-l'égout) impose des fouilles de sauvetage et un suivi archéologique des travaux. Dans le même temps, l'exploration spéléologique est poursuivie avec la conviction que Grand est paradoxalement une « ville d'eau ». 14 nouveaux puits sont découverts. Certains sont des regards obstrués de conduits

[9] Association Spéléologique du District Urbain Néodomien

inédits, par exemple les puits dits 127 et 128 ou encore le puits dit 133 qui fournit les premiers éléments de datation du réseau antique. Par ailleurs Ch. Bertaux étudie les archives communales pour récolter des informations sur la restauration des conduits anciens au cours des 18ème et 19ème siècles.
En dépit de l'échec de la campagne de 1969, J.-P. Bertaux projette de généraliser la prospection électrique pour détecter les galeries. Il envisage également de nouveaux traçages des eaux pour déterminer les circulations en aval de l'église. On constate en effet qu'elles ne s'écoulent pas dans la combe de l'amphithéâtre mais disparaissent après l'église (Bertaux 1975).

En **1976**, 8 puits, privés ou découverts lors des travaux d'aménagement (adduction d'eau, assainissement, réfection de la voirie), sont asséchés et explorés (puits dits du Cagnot, Pierrat, Marchal, Poilpré, Jacquemin, Jacquemin bis, Jacquemin ter, cour Marchal). Des conduits sont alors identifiés (cour Marchal, Pierrat et Cagnot). Les puits dits 133, 139 et Claude Marchal sont également fouillés. Les levés topographiques des conduits de la Familiale, de la petite chapelle, et de la fontaine des Roises sont dressés. Des mesures de protection sont prises pour préserver les structures antiques et interdire leur accès. La longueur de conduits reconnus à cette date est de 1120 m (Bertaux 1976).
J.-P. Bertaux propose un schéma des circulations souterraines au sein du village et une chronologie de l'activité du réseau (1er-4ème siècle). Il affirme avoir trouvé des « indices d'un réseau primitif » plus ancien. L'hypothèse de deux aqueducs de 2 à 3 km de long, extérieurs au village, semble reconsidérée ; un schéma inclus dans le rapport en montre le cheminement hypothétique (Bertaux 1976).

En **1977**, l'exploration est reprise au moyen de nouveaux équipements qui permettent de visiter des conduits jusqu'alors inaccessibles. La vidange et la fouille des puits du Cagnot, Durand et des Roises mettent au jour de nouveaux conduits. J.-P. Bertaux souligne l'importance du conduit de la petite chapelle et d'une arrivée d'eau conséquente à proximité du point de convergence supposé. Il estime à une quinzaine de kilomètres le développement du réseau d'après les 5 km explorés.
Après avoir relevé l'existence de conduits « manifestement » gallo-romains dans les villages de Trampot, Audeuil, Aillianville et Bréchainville, il élargit son champ de recherche à l'ensemble du plateau et à ses abords. La « quantité de données recueillies » et les conclusions de cette enquête ne sont pas publiées. Ayant reconnu que la compréhension du fonctionnement du réseau hydraulique de Grand est indissociable de son environnement hydrogéologique, il envisage alors de soumettre les résultats de ses recherches à des géologues et des hydrogéologues (Bertaux 1977).

En **1978**, à l'occasion de la nouvelle tranche d'assainissement de nouvelles structures sont dégagées. Dans la Grande rue, un regard d'accès à deux conduits est mis au jour, fouillé et immédiatement protégé (Bertaux 1978, 1979b) ; dans la rue de la Coulotte un petit canal en pierres sèches et un conduit sont découverts. Le regard dallé *7* et le souterrain aboutissant au puits fermé *23* sont identifiés. L'étude des puits se poursuit avec la fouille des puits dits 111 et 127.

Des relevés topographiques et des essais de coloration auraient été réalisés « dans tous les conduits connus du secteur amont » (Bertaux 1978) correspondant au secteur Nord (rues de Joinville, de la Moucherie, des Roises). Seul un schéma appuie cette assertion ; aucune information sur leur mise en œuvre et leurs résultats n'est donnée. 6 km de conduits reconnus seraient inventoriés (Bertaux 1978).

A l'issue de cette campagne, Bertaux propose un **essai de synthèse** résumant ces cinq années « d'exploration méthodique » avec l'aide de l'ASDUN (Bertaux 1978). Un classement des conduits est établi et 4 groupes sont définis selon le « type de construction » (état, géométrie, nature des terrains traversés).

- Réseau moderne (datant du 19ème siècle) :

Les conduits sont en bon état de conservation. Ils sont maçonnés en petits moellons, voûtés, d'une section de (1,2x0,6 m) et sont pourvus d'une rigole centrale (cunette ?). Ils sont peu profonds (à moins de 3 m de profondeur) et ont été creusés à partir de tranchées à ciel ouvert. L'eau est acheminée depuis l'extérieur du village par un conduit drainant (dit Paramel) jusqu'aux installations municipales situées derrière l'église (réserve incendie, fontaine, abreuvoir, lavoir).

- Réseau antique (secteur aval) :

Encore mal reconnu, il regroupe les conduits antiques « masqués par le réseau moderne » (à l'intérieur du village). Ils sont plus profondément enfouis (> 4 m) et encore actifs. Par exemple le conduit sectionné par la tranchée d'assainissement rue de la Coulotte en fait partie.

- Réseau antique (secteur amont), connu depuis 1963 :

Les conduits, très dégradés et envasés, se situent entre 6 et 8 m de profondeur et sont « entièrement » creusés dans une couche de marne. Les parois latérales sont consolidées avec des murets en pierres sèches tandis que la base et le toit sont constitués par la roche. Il est « déconnecté du secteur aval ». Il est supposé être en étroite relation avec l'urbanisme car il coïncide avec les voies. Il a été abandonné à la fin du 4ème siècle (comblement brutal des cheminées et couche de destruction).

- Réseau géologique (exploré sur 73 m) :

Très partiellement aménagé, il se situe entre 9 et 12 m de profondeur. Ses dimensions sont variables, son tracé est sinueux. Il est caractérisé par un comblement alluvionnaire, des « siphons », des « boyaux karstiques », des « failles ». Il est dit fournir « la totalité de l'eau qui circule encore de nos jours dans le sous-sol ».

En conclusion, il suppose que le réseau antique amont est greffé sur le réseau géologique. Le réseau antique aval est le prolongement du réseau géologique dont les pertes sont récupérées par le réseau moderne. Un schéma récapitulatif (Figure 44) résume la classification.

Cette classification est discutable. Elle ne prend pas en compte la totalité des conduits connus à cette époque ; par exemple la galerie de la Fontainotte pourtant bien localisée n'y figure pas. Le découpage du réseau antique en deux secteurs amont/aval n'est pas convaincant au vu du sens de circulation des eaux. En outre il ressort de la description des conduits qu'ils sont pour la plupart raccordés à des conduits naturels, ce qui rend impropre la distinction entre réseau aménagé et réseau géologique telle qu'elle est introduite sur le schéma.

Réseau	Conduits
Géologique	Du puits Nouveau Du puits Perrin Du puits Sourd
Antique-Amont	Cagnot Grande rue Joinville Moucherie Roises
Antique-Aval	Groupe scolaire Puits Sourd Coulotte Petite chapelle
Moderne	Paramel De l'église Du lavoir De l'abreuvoir

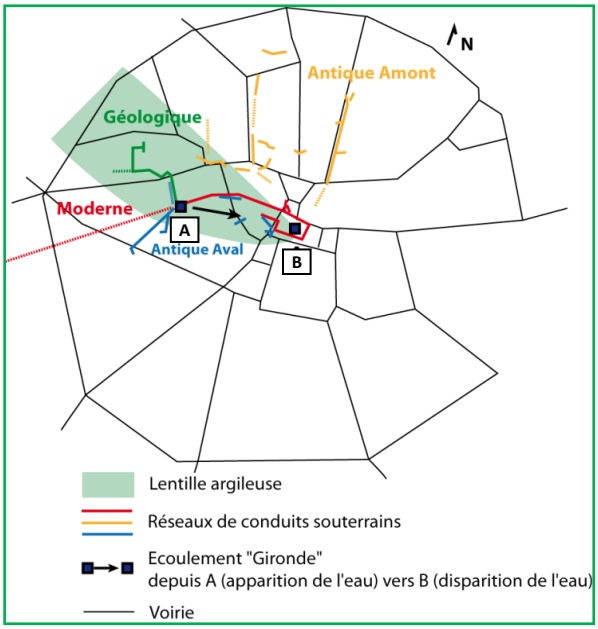


Figure 44. Classification des conduits explorés et localisation géographique, proposées par J.-P. Bertaux en 1978.

Pour finir il attribue l'existence du réseau à la présence d'un horizon de marnes argileuses entre 9 et 15 m de profondeur qui retiendrait les eaux d'infiltration. Les eaux seraient drainées par le réseau géologique en direction de l'église au niveau de laquelle la couche de marne s'interromprait. L'eau disparaitrait alors dans une « diaclase » (il en signale trois : à 800 m du clocher, aux abords du village et dans un conduit) (Bertaux 1978).

En **1979**, l'exploration et la fouille des puits se poursuivent, les découvertes résultant de la nouvelle tranche d'assainissement. 172 puits dont 64 cheminées sont inventoriés. Leur répartition géographique pose problème car on constate que la majorité des puits d'accès se situe à l'intérieur de l'enceinte du rempart. Partant du postulat que l'habitat est rejeté « en totalité *extra muros* », la fonction des puits dans une zone « uniquement réservée aux monuments publics » n'est pas expliquée. Faisant suite à la classification des conduits, une ébauche de classification des puits en relation avec les galeries est proposée.
Le relevé topographique de la galerie du Groupe scolaire est réalisé. La reconnaissance des galeries semble avoir consisté « essentiellement en des essais de coloration et de débit ». Le traçage des eaux montre une « liaison directe entre les conduits » passant par le puits de la rue du Cagnot, le puits dit du Cagnot, le puits situé au milieu de la Grande rue, le puits Sourd, le puits Jacquemin-Marchal. Un écoulement dont l'importance relègue les conduits étudiés au rang de diverticules « d'intérêt secondaire », au vu de leur production (quelques m^3/h seulement), est relevé mais sa localisation n'est pas précisée. J.-P. Bertaux associe cet écoulement au « grand collecteur principal » dont il ne connaissait jusqu'alors que le « diverticule de décharge » (débit : 36 m^3/h). Il prévoit de focaliser les recherches sur les abords de l'église pour y localiser la perte par laquelle s'engouffrent les eaux. Il observe que l'eau circule à travers la maçonnerie des conduits (modernes) du lavoir et de l'abreuvoir vers le chœur de l'église où elle disparait (chiffre à l'appui : 45 m^3/h, Bertaux 1979a).

En **1980**, le développement du réseau est ramené de 15 km à 10 km dont 6 km ont été explorés ; 199 puits dont 79 regards sont recensés. Un puits est fouillé, 4 sont étudiés. 13 nouvelles sections sont reconnues par exploration de conduits ou par traçage à la fluorescéine. Pourtant, parmi eux, certains ont déjà été inventoriés auparavant (par exemple le conduit de Dainville ou celui de la Cour Marchal). Le détail des traçages n'est pas donné mais un schéma établit des connexions entre les abords de l'église et différents points : la Fontainotte, le Groupe scolaire, le puits Jacquemin-Marchal, et le puits *29*. Le conduit du Cagnot est partiellement topographié. Le bilan reste inchangé : des circulations karstiques ont été captées avec une intention fonctionnelle ou cultuelle, qu'il reste à déterminer. Aucun système de stockage antique n'est associé au réseau. Les galeries convergent aux abords de l'église à « l'emplacement de la 1ère chapelle construite sur un puits antique (dit des Malades) » (Bertaux 1980a).

En **1981**, le dernier compte-rendu de l'exploration (Bertaux 1981) porte le nombre de puits à 219 parmi lesquels figurent 72 cheminées (7 ont donc été revues et éliminées depuis l'inventaire de 1980). La longueur du réseau n'est pas modifiée (6 km reconnus pour un total présumé de 10 km). Outre la fouille et l'étude de plusieurs puits, 7 sections de conduits sont explorées aux abords de l'église. J.-P. Bertaux affirme qu'un conduit explorable sur 400 m a été repéré à 1500 m du centre du village. Aucune précision n'est fournie pour localiser ces différents éléments.

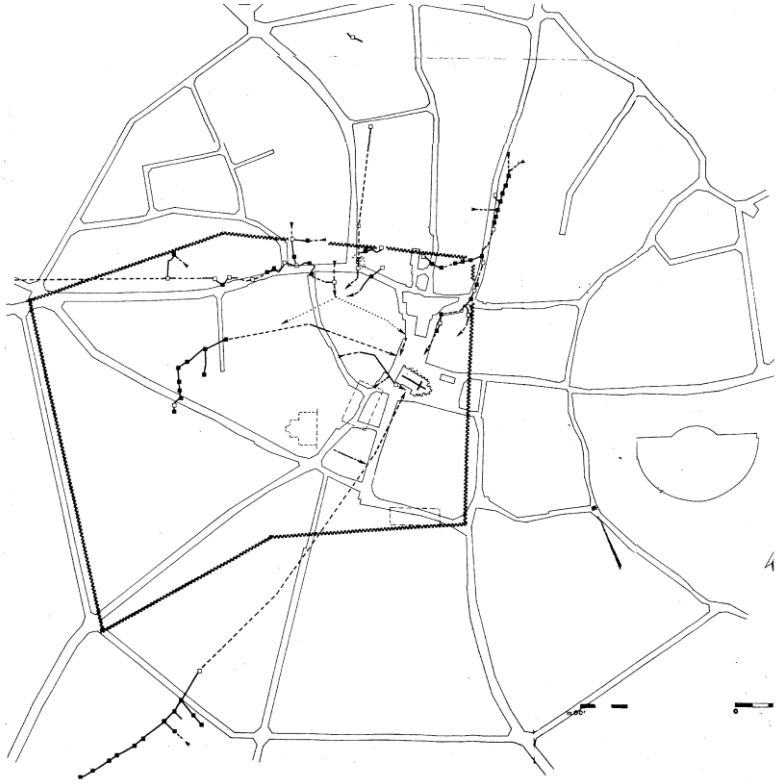


Figure 45. Plan de synthèse du réseau de conduits drainants établi par J.-P. Bertaux à l'issu des campagnes d'exploration spéléologique en 1981 (document EDF 1990).

Deux plans de synthèse sommaires donnent une idée de la localisation des éléments découverts. Le premier relatif aux galeries (Figure 45) fait le point sur les tronçons qui ont été visités. Les regards d'accès y figurent : les regards désobstrués ont été différenciés des regards condamnés et reconnus par exploration de conduit. Des liaisons entre tronçons ont été reportées, peut-être mises en évidence par traçages. Le second plan montre la position approximative des puits et des regards d'accès. Il sera repris à l'identique dans toutes les publications ultérieures sans être ni affiné et ni complété avec les puits découverts au cours des années suivantes. Quelques coupes et une carte de distribution de certains puits montreraient que la couche de marne existe seulement sous une moitié ouest du village. La problématique demeure donc identique. Mais le caractère cultuel du réseau semble alors sérieusement envisagé. L'ouverture d'un sondage près de l'église est annoncée et sera réalisée en 1985 (EDF 1990).

IV. 1. c. 1989-1990

Une étude hydrologique est entreprise dans le cadre du Mécénat EDF en 1989. Les tests portent principalement sur les abords de l'église : suivi des variations du niveau piézométrique, traçage chimique avec injection de sel dans le puits de l'église, observation des variations de la température T et de la conductivité σ de l'eau. Des mesures de T et σ sont également réalisées en différents points du site et dans les villages du plateau.
Les résultats publiés mettent en avant l'existence de deux arrivées d'eau distinctes au niveau de l'église où un mélange des eaux s'opère. L'une a été associée « au réseau capturé Nord » tandis que l'autre a été rattachée au « réseau karstique naturel » (EDF 1993). Le puits situé à l'ouest de l'abside du bâtiment abritant la mosaïque et le forage situé contre l'abside de l'église sont mis en relation. D'après la rapidité de mise en charge et les amplitudes (entre 0,5 et 2,6 m) observées, on suppose alors que :

- la circulation est réalisée *via* un conduit karstique,
- le forage de l'abside est situé près du point de disparition des eaux.

Les mesures montrent toute la complexité des écoulements au niveau de la place de l'église.

Elles auraient permis de découvrir l'emplacement de la source et « contre toute attente (...) le réseau karstique primaire » (Delétie *et al*. 1994). Ce « réseau karstique » est aménagé dans sa partie avale, à proximité de la source, au moyen de « deux petits murets en moellons recouverts de dalles » et d'« une cunette semi-circulaire taillée dans des blocs monolithes » sur 35 m (Bertaux *et al.* 1993b, Delétie et Bertaux 1994). Ce drain aménagé ne semble donc pas se distinguer des autres conduits, qui se raccordent également à des boyaux naturels ainsi que l'ont montré les explorations spéléologiques. La conclusion de la découverte, grâce aux études hydrogéologiques, d'un « réseau karstique » insoupçonné est inexacte.

A l'issu de ces recherches, une nouvelle carte du réseau souterrain est établie. Elle présente les conduits organisés selon 3 réseaux : deux réseaux aménagés, dits Nord et Sud, et un réseau dit « karstique naturel » (*cf* annexe). « L'ensemble 20 » du rempart interprété comme une porte des eaux serait construit à son aplomb et monumentaliserait son passage au travers du

rempart (Bertaux *et al.* 1993, Delétie et Bertaux 1994). Compte-tenu des remarques faites précédemment, cette classification des conduits ne parait pas justifiée.

En 1997, l'interprétation des données hydrogéologiques se trouve expliquée dans un court rapport (Bertaux et Delétie 1997). Une distinction entre la résurgence naturelle et la source aménagée est introduite. D'après la définition que donne J.-P. Bertaux, la résurgence karstique est drainée par une cunette sur une vingtaine de mètres jusqu'à la source. Celle-ci est également alimentée par les galeries du « réseau Nord » et se situe à l'angle NO de l'église, au niveau du Grand puits rebouché. L'eau circule dans la « mare » et disparait dans une « diaclase ». L'évolution des aménagements sur la place est résumée en Figure 46.

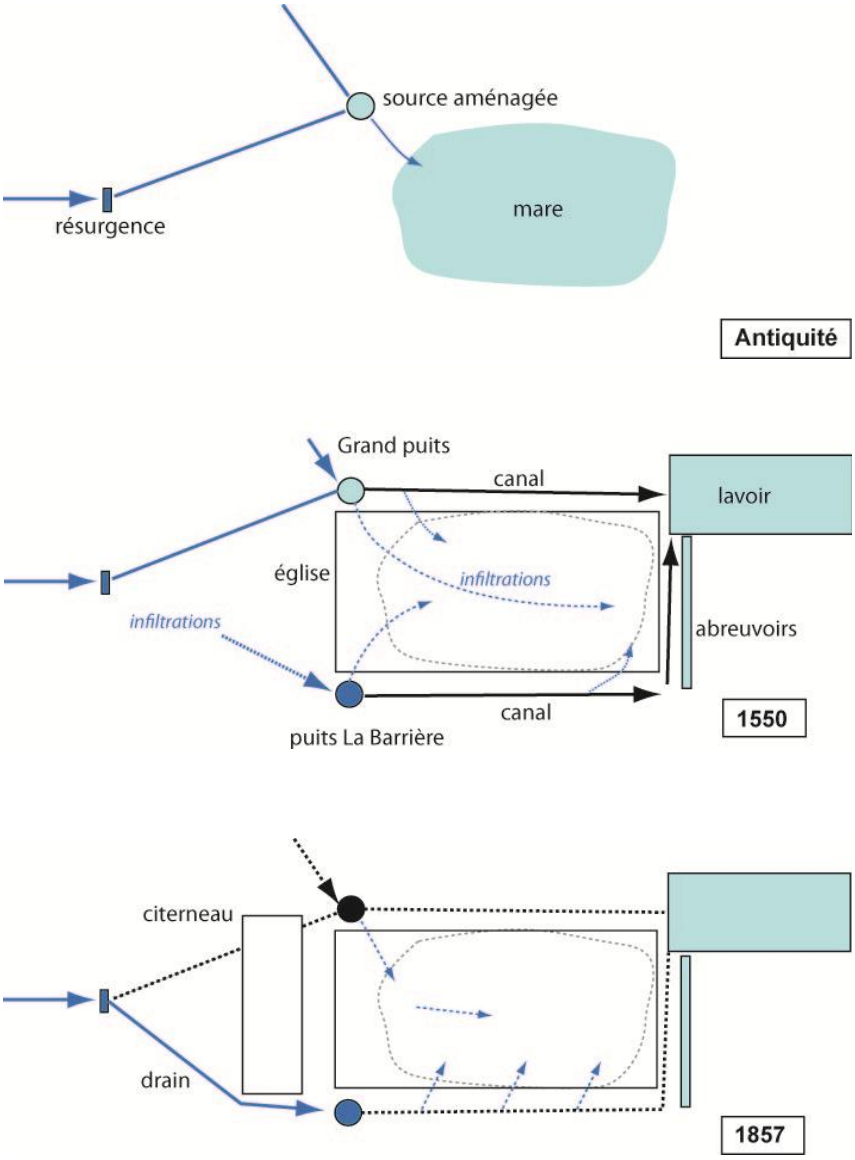


Figure 46. Evolution depuis l'époque antique des aménagements et des circulations supposées aux abords de l'église. D'après un schéma de J.-P. Bertaux (1997). Le descriptif est donné en page suivante.

- **A l'époque antique l'eau de la résurgence est canalisée par un drain jusqu'à une source aménagée. Cette source est alimentée par les drains du réseau nord et se déverse dans une mare.**
- **En 1550, l'église est bâtie sur la dépression. Deux puits probablement contemporains de sa construction sont creusés aux angles NO et SO, le Grand puits étant situé à l'emplacement de l'ancienne source. Ils récupèrent les eaux d'infiltration provenant de l'amont et alimentent par des canaux l'abreuvoir et le lavoir situés en aval de l'église.**
- **En 1857, un citerneau (1500 m^3) est installé devant la façade de l'église. La tranchée (4x30x4 m) sectionne la cunette antique entre la résurgence et le Grand puits. Les circulations s'en trouvent modifiées. Un conduit est aménagé pour drainer jusqu'au puits SO les eaux de la résurgence qui inondent la fouille du citerneau. Le Grand puits devenu peu productif est rebouché.**
- **Depuis 1963 et l'abandon des installations publiques, les canaux ne sont plus entretenus. (Bertaux 1997).**

IV. 2. Inventaire des conduits

En l'absence de synthèse publiée sur le réseau hydraulique, un plan situant les drains connus a été réalisé à partir des archives d'exploration et des rapports de fouille (campagnes 1964 et 1973-1981). En 2010, de nouvelles observations et des levés topographiques ont été réalisées avec l'aide de B. Losson (USBL spéléo), M. De Souza et B. Le Guerc'h (CLRS)[10] et J.-P. Fizaine, dans les conduits dits du Groupe scolaire, de la Fontainotte, de l'église et dans le puits dit Derrière la mosaïque.

Pour faciliter la description, plusieurs zones[11] ont été définies selon la position des conduits dans le réseau et le sens de circulation des eaux :

- A-B-C : amont,
- D : centre du village,
- E : aval.

[10] Section spéléologique de l'Union Sportive du Bassin de Longwy (USBL spéléo) - Cercle Lorrain de Recherches Spéléologiques (CLRS)

[11] Bien que cette dénomination ressemble à celle adoptée par J.-P. Bertaux en 1978, elle ne recouvre pas les mêmes ensembles.

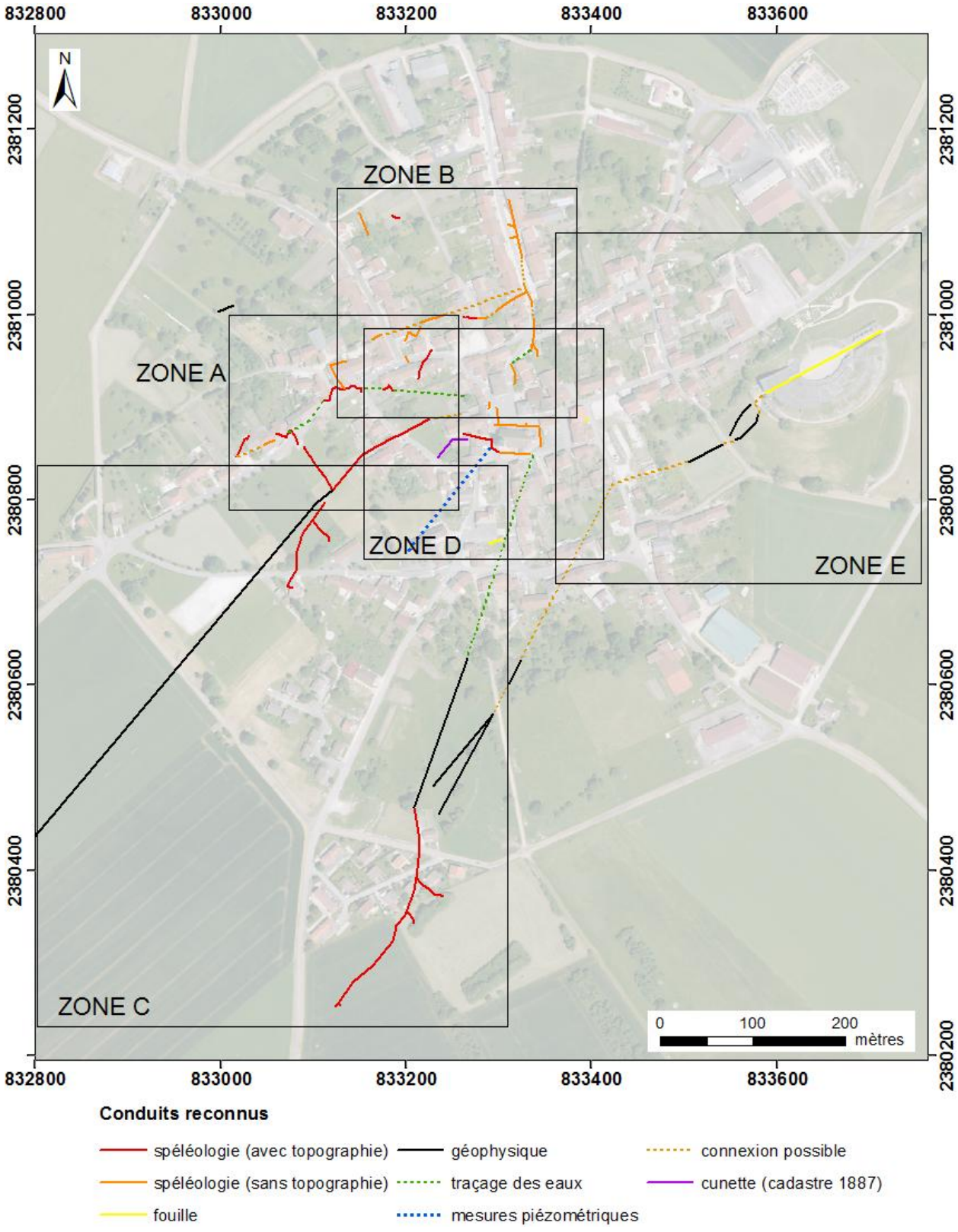


Figure 47. Vue d'ensemble du réseau de galeries de Grand et localisation des 5 zones d'étude.

IV. 2. a. Zone A : Ouest Amont

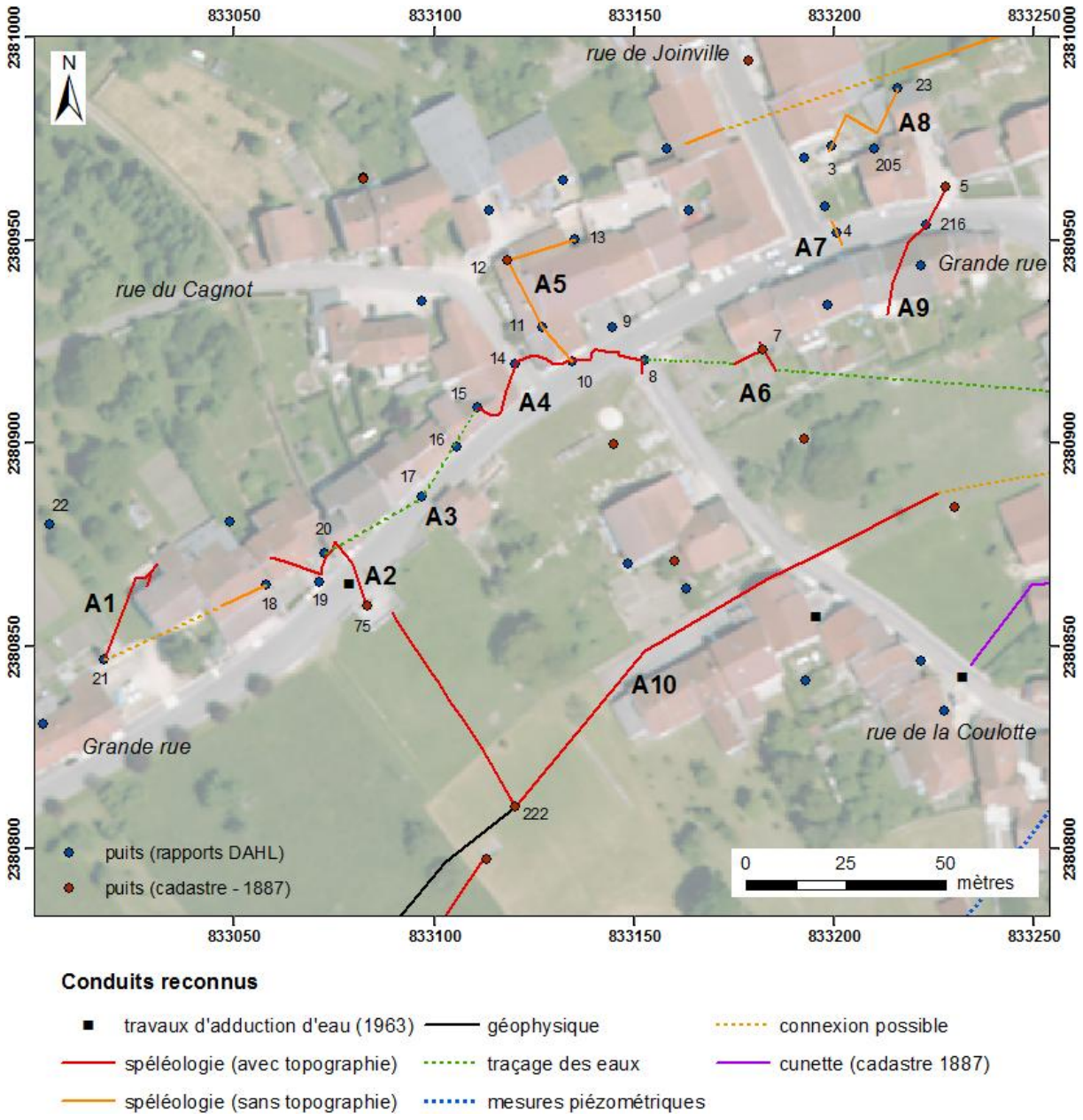


Figure 48. Localisation des conduits de la zone A.

- **Conduit A1** (dit du puits nouveau)

- Puits *21* (dit puits nouveau) (Nord de la Grande rue - privé) :

Situé dans un jardin, il est exploré à partir de 1973 (Bertaux 1977) après avoir été partiellement vidé. Le remplissage est très compact et les parois rocheuses sont dégradées. Il est considéré en 1980 comme la cheminée située « le plus en amont du réseau exploré » (Bertaux 1980). Il est dallé en 1977 (Bertaux 1977).

En 1973 la première exploration permet de découvrir trois conduits entre 12 et 15 m de profondeur et une importante circulation d'eau (Bertaux 1977). Le plan topographique est dressé en avril 1974 (Bertaux 1974b). La légende d'une photo (Bertaux 1975) indique un développement du conduit de 32 m, en accord avec le plan topographique, mais mentionne une profondeur de « 8-12 m ». D'après les coupes et les photos, les parois du conduit semblent en partie maçonnées, en partie constituées par le substrat. Les sections sont étroites (0,5 m de hauteur, 0,4 à 1 m de largeur) et les terminaisons du conduit sont impénétrables (boyau naturel ?).

- Remarques

Après vectorisation du tracé à l'aide des angles et distances indiqués sur le plan topographique, l'orientation du conduit principal diffère de celle figurant sur les schémas publiés. Le conduit est ici orienté SO-NE tandis qu'il parait orienté N-S, voire NO-SE en direction de la cheminée *22*, sur les plans de J.-P. Bertaux.
Le plan ASDUN montre le départ de deux conduits dans le puits *21* et non trois comme le décrit J.-P. Bertaux.
Concernant la profondeur des conduits, le manque d'indications aboutit à des contradictions. On peut seulement conclure sur une profondeur minimale de 7 m.
La cheminée *22* (plan Bertaux 1980) correspond peut-être à la petite salle signalée sur le plan ASDUN ou au coude que forme le conduit avant d'y aboutir. Sa position sur la Figure 48 n'a pas été vérifiée et est probablement fausse.

- **Conduit A2** (dit du puits Perrin)

- Puits *20* (dit puits Sourd) (nord de la Grande rue - privé) :

Signalé sur le cadastre de 1887 (section E, feuille 5). Il est profond d'au moins 7,4 m (Bertaux 1964).

- Puits *75* (dit Grand puits) (sud de la Grande rue - communal) :

Signalé sur le cadastre 1887 (section 4, feuille 4) et situé sur le trottoir. Il semble avoir été aménagé en puisard (Bertaux 1980a). Sa profondeur est de 7,2 m (Bertaux 1964).

- Puits *19* (nord de la Grande rue - privé) :

Situé sur le tracé du conduit, il s'agit peut-être de la « voûte mouillante » signalée sur le plan ASDUN en amont du puits Sourd. Le dévasage du conduit en 1980 permet en effet de constater que le « passage réduit » est en réalité une cheminée antique (voûte en brique) (Bertaux 1980a).

- Puits *18* (dit Perrin) (nord de la Grande rue - privé) :

Situé dans une cave à 1,5 m sous le niveau de sol extérieur, il est profond de 6,2 m et traversé par un conduit. Une arrivée d'eau importante est signalée (Bertaux 1964).

Dans le puits *20*, deux conduits sont connus depuis 1963. Le levé topographique du conduit entre les puits *75* et *18* est réalisé en juillet 1973. Le réexamen de la base du puits *20* en 1979 montre qu'un 3ème conduit a été « obstrué au début du 18ème siècle pour modifier les écoulements ». Son exploration trop dangereuse est interrompue après qu'une connexion avec le puits *17* ait été mise en évidence par traçage (Bertaux 1979a). Le plan ASDUN, antérieur à

cette découverte, n'indique donc pas ce 3ème conduit. La légende d'une photo (Bertaux 1975) renseigne sur la longueur du conduit (41,3 m pour 40 m totalisés par l'ASDUN) et sur sa profondeur (8 m) qui s'accorde avec celle donnée en 1964 (7,7 m, Bertaux 1964). D'après les coupes, le toit est voûté entre les puits *20* et *75* et dallé entre les puits *20* et *18*. L'indication « faille naturelle ? » est inscrite en légende d'une photo du conduit (Bertaux 1975). Le relevé ASDUN montre en amont du puits *18* un départ de conduit qui correspond sans doute à celui exploré sur 13 m vers l'ouest en 1964 (Bertaux 1964).

- Remarques

L'identification des puits *20* et *75* ne pose pas de difficulté mais la localisation des puits *18* et *19* est incertaine.
Le tracé du conduit topographié a été vectorisé et calé à partir du puits *75*. Des erreurs ont été commises dans le levé topographique ou dans le positionnement des points par J.-P. Bertaux car un décalage apparait de nouveau : le tracé est supposé joindre les puits *18* et *20*.
D'après l'échelle de la coupe ASDUN, la profondeur du puits *20* pourrait être de 9 m.

- **Conduit A3**

- Puits *17* (milieu de la Grande rue) :

Découvert lors des travaux d'assainissement en 1979, il se situe au milieu de la voie publique. Il semble correspondre au puits de Trampot indiqué sur le plan topographique du puits du Cagnot (Bertaux 1980a). La fouille de son remplissage a révélé des matériaux de destruction datant de la fin du 4ème siècle (Bertaux 1979a). Il est profond d'au moins 6 m.

A la base de ce puits, deux conduits diamétralement opposés ont été observés et très partiellement désenvasés (Bertaux 1979a).

- **Conduit A4** (dit du Cagnot)

- Puits *10* (dit Cagnot**)** (caniveau nord de la Grande rue) :

Découvert en 1976 après l'effondrement de sa dalle d'entrée (Bertaux 1976), il semble avoir été dallé vers 1860 et réutilisé lors de la sécheresse de 1947 (Bertaux 1977). En 1977, il fait l'objet d'un curage complet qui ne livre que du matériel récent. D'une profondeur totale de 8,2 m (Bertaux 1977), il comporte un puisard de réserve sous le niveau du conduit (Bertaux 1980a). Une arrivée d'eau importante est signalée (débit régulier relevé de 20 m^3/h, Bertaux 1976).

- Puits *14* (dit Cagnot bis) (milieu de la rue du Cagnot) :

Découvert au cours des travaux d'assainissement en 1979, il présente une maçonnerie antique très dégradée qui nécessite des travaux de restauration jusqu'à 5 m de profondeur (étançonnage et ferraillage ancré dans la roche). Il est ensuite vidangé et fouillé. Du matériel antique y est découvert (Bertaux 1979a). La fouille s'achève en 1980 (Bertaux 1980a). Sa profondeur est de 7 m (Bertaux 1979a).

- Puits *15* (ou *16* ?) (nord de la Grande Rue) :

Totalement comblé, il est découvert lors de l'exploration du conduit nommé « section 1 » (long de « 18m ») en 1980. Son remplissage est antique (Bertaux 1980a).

En 1977, trois conduits sont découverts dans le puits *10* : deux conduits perpendiculaires taillés dans la roche et un 3ème conduit sinueux, dont l'exploration s'arrête après 12 m (présence de gaz nocifs). Ils se trouvent entre 6 et 7 m de profondeur (Bertaux 1977). Le rapport de 1978 précise toutefois que deux de ces conduits se trouvent à 7 m et 8,2 m de profondeur (Bertaux 1979b). Une communication est envisagée entre le conduit dit « amont » et un puits dallé privé éloigné de 35 m, qui correspond peut-être au puits *12* (Bertaux 1977). Cette connexion avec le puits *12* semble avoir été vérifiée en 1980, d'après le plan fourni qui fait état d'un conduit « exploré sur 35 m » (section 2, Bertaux 1980a).
En 1978, une cheminée antique comblée (puits *11* ?) est découverte dans le conduit dit « amont », à 18 m du puits *10*, tandis que la progression dans le conduit « aval » s'avère ardue (« 4 étranglements » et « diaclase aménagée ») (Bertaux 1978).
En 1979, la jonction entre les puits *10* et *14* est réalisée. En amont du puits *14*, le conduit se prolonge et atteint une « salle » de 6 m de haut (Bertaux 1979a). Un tracé léger sur le plan topographique pourrait situer l'emplacement de cette cavité à quelques 7 m du puits *14*.
En 1980, le conduit en amont du puits *14* est reconnu sur « 18 m » (« section 1 », Bertaux 1980a) et le levé topographique réalisé.
D'après les coupes de deux sections de galerie (1,5x0,5 m et 1x0,65 m) les murs sont maçonnés et le toit taillé dans la roche.

- Remarques

La description fournie par les archives est confuse et les informations parfois contradictoires. Le manque d'indications rend difficile l'identification des puits découverts et des conduits explorés. Les connexions entre les puits sont donc hypothétiques.
Le levé topographique ASDUN ne permet pas une vectorisation précise du conduit exploré car les mesures n'y ont pas été toutes consignées. Le repositionnent SIG est approximatif.
Les terminaisons du conduit demeurent inconnues ainsi que les relations avec les puits *16, 9* et *8* qui se trouvent à proximité sur le plan 1980.
Le développement du conduit topographié (passant par *15, 14* et *10*) atteint une longueur d'environ 58 m. La distance *15-14-10* est de 34 m.

- **Conduit A5**

- Puits *12* (est de la rue du Cagnot - privé) :

Situé contre le pignon d'une maison, il figure sur le cadastre de 1887 (section E, feuille 5). Sa maçonnerie antique est en assez bon état de conservation (classé type 1, Bertaux 1980). Il a été utilisé comme dépotoir.

- Puits *11* (est de la rue du Cagnot - privé) :

Découvert par exploration de galerie, il semble se situer sur la « section 2 » entre les puits *12* et *10* (plan Bertaux 1980a). Il est comblé et comporte un remplissage antique (Bertaux 1980a).

- Puits *13* (est de la rue du Cagnot) :

Il est découvert au cours de l'exploration du conduit du puits *12*. Il est totalement comblé et présente un remplissage antique (Bertaux 1980a).

La fouille du puits *12* permet de découvrir qu'une galerie le traverse. Si l'on se base sur la position des sections explorées nommées 2 et 3 (Bertaux 1980a), ce conduit débouche sur le puits *13*, distant de 18 m à l'est, et communique avec le puits *10,* distant de 35 m au sud.

➢ Remarque

Si la localisation des cheminées d'accès et la restitution des connexions présentée ci-dessus sont exactes, deux conduits se raccordent donc en amont au puits *10* : le premier reliant les puits *15-14-10* et le second reliant les puits *13-12-11-10*. Un 3ème conduit évacue l'eau vers l'est.

▪ **Conduit A6** (dit Jacquemin-Marchal)

- Puits *7* (Sud Grande rue - privé) :

Signalé sur le cadastre de 1887 (section E, feuille 4), il n'est relevé qu'en 1978 (Bertaux 1978) et se situe à cette époque à la limite des propriétés Jacquemin et Marchal. Utilisé en fosse, il est partiellement comblé et son remplissage est récent (Bertaux 1979a).

Deux conduits sont mentionnés en 1978 (Bertaux 1978) mais le curage du puits en 1979 révèle l'existence de trois conduits à la base, vers 5,5 m de profondeur. Leur exploration, pénible en raison de l'état du conduit, est relayée par un traçage (Bertaux 1979a). Les sections mesurent (1x0,35 m) au plus large. Un plan topographique est réalisé en juillet 1979. Les longueurs de conduit topographié ne dépassent pas 8 m pour chacun des tronçons.

➢ Remarque

La liaison entre les puits *20-17-14-10-7* est établie par traçage des eaux à la fluorescéine en 1979 (B79). Les conduits dits du puits Perrin, du puits de Trampot, du puits du Cagnot et du puits Jacquemin/Marchal communiqueraient alors.

▪ **Conduit A7**

- Puits *4* (milieu de la Grande rue) :

Découvert lors des travaux d'assainissement en 1978, il n'a livré aucun vestige datable mais selon J.-P. Bertaux a probablement été comblé à la fin du 4ème siècle (Bertaux 1978, 1979b). Il atteint une profondeur de 8,2 m.

Deux conduits dallés, hauts de 1,2 m, sont présents à 8 m de profondeur. Un abondant débit a été observé au niveau du puits et estimé à 3 m^3/h (Bertaux 1978, 1979b). Après pompage et désobstruction, les conduits ont été explorés (Bertaux 1978) mais aucun plan topographique n'est conservé dans les rapports. La seule indication sur le tracé est fournie par un schéma en

1978 et montre une orientation approximative N/S. Les parois sont constituées de murets de pierres sèches (Bertaux 1978).

- **Conduit A8** (dit Marchal)

- Puits *23* (Est de la rue de Joinville) :

Il se situe dans une cave, anciennement propriété Marchal. Son diamètre est de 1 m, sa profondeur atteint 6,5 m. Il donne accès à un conduit (Bertaux 1964).

Un conduit antique est signalé en 1964 au fond d'un puits qui se trouve dans la cave Marchal. Haut de 1 m, large de 0,6 m, il présente un toit dallé à l'entrée puis taillé dans la roche, un sol dallé sans rigole d'écoulement et des parois en pierres sèches. Son développement est de 32 m avec deux changements de directions à 90° sur les 20 premiers mètres. Après les derniers 12 m, rectilignes, la progression est interrompue par un éboulement (Bertaux 1964). Aucun plan de situation n'accompagne la description. Sur le plan de synthèse de 1981 (Bertaux 1981), un conduit est associé à un puits placé sur le passage du rempart et accessible depuis la surface ; le tracé semble correspondre. D'ailleurs Ch. Bertaux, après un nouvel examen, observe la même année que le regard qui débouche dans la cave Marchal a été obstrué lors de l'édification du rempart. La voûte antique du puits est constituée par le hérisson de fondation du rempart (Ch. Bertaux 1981). On peut donc supposer que le puits *23* se trouve sous le rempart et communique avec le conduit long de 32 m.

- Remarques

Les informations très lacunaires sont assez obscures sans l'appui d'un plan de localisation. L'assimilation du puits du rempart au puits d'accès au conduit est donc une supposition de notre part.
De plus, aucun plan topographique du conduit n'a été récupéré dans les archives. Le tracé du conduit est donc très approximatif.
Un regard inaccessible depuis la surface est positionné sur le tracé en Z du conduit sur le plan 1981 mais on n'en trouve nulle mention dans les rapports. Une liaison pourrait donc exister entre les puits *23* et *3*.

- **Conduit A8bis**

- Puits *205* (Est de la rue de Joinville) :

Il figure sur les plans datés de 1978 et 1979 (Bertaux 1978, 1979a).

En 1978, un souterrain qui débouche sur un puits dallé est découvert fortuitement dans une cave (Bertaux 1978). Aucune indication de localisation n'est donnée mais cette découverte semble avoir été détaillée dans le rapport de l'année suivante. L'entrée d'un souterrain long de 10 m est dégagée. Il aboutit sur un puits antique de 9 m de profondeur utilisé en fosse (Bertaux 1979).

➢ Remarques

Le plan de 1981 ne montre aucun souterrain long de 10 m dans ce secteur. Deux explications peuvent être envisagées :

Le conduit n'est pas considéré comme une galerie drainante et n'est donc pas représenté sur le plan. Si on suppose que les points H et P des rapports de 1978 et 1979 font référence au même puits, celui-ci pourrait correspondre au puits *205* ou à n'importe quel autre puits signalé dans les environs.

Le conduit est un prolongement du conduit Marchal. Le puits est alors figuré comme un regard d'accès. Il pourrait s'agir du puits *3* qui est représenté sur le plan de 1981 mais n'est jamais décrit.

Aucune indication sur son tracé n'étant donnée, il n'a pas été possible de le reporter sur notre carte de synthèse (Figure 48).

- **Conduit A9** (dit de la cour Marchal)

- Puits *5* (nord de la Grande rue - privé) :

Il est signalé sur le cadastre de 1887 (section E, feuille 6). Il a été dallé en 1965 et inventorié en 1976 (Bertaux 1976). Un puisard de réserve existe sous le niveau de la galerie, d'après la coupe ASDUN (Bertaux 1980a). Sa profondeur est d'environ 9 m.

- Puits *216* (dit Jacquemin) (milieu de la Grande rue) :

Il a été découvert en 1976 au cours de l'exploration du conduit à 9 m du puits *5*. Il est qualifié de « regard effondré » (Bertaux 1976).

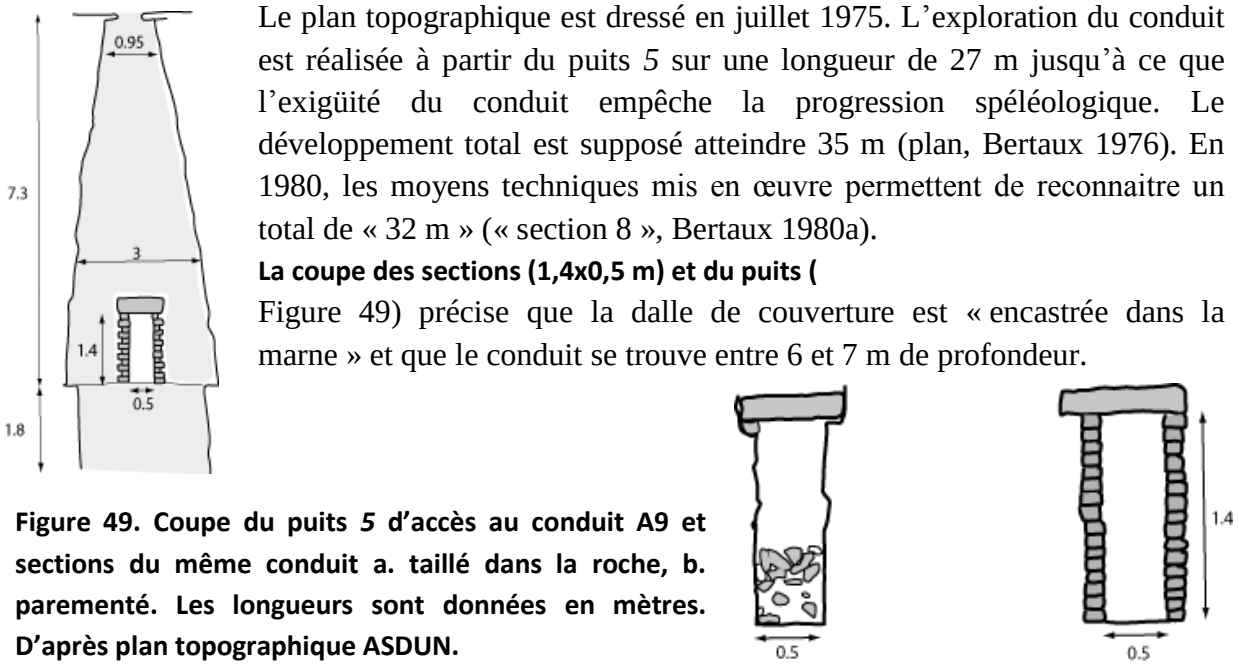


Figure 49. Coupe du puits *5* d'accès au conduit A9 et sections du même conduit a. taillé dans la roche, b. parementé. Les longueurs sont données en mètres. D'après plan topographique ASDUN.

Le plan topographique est dressé en juillet 1975. L'exploration du conduit est réalisée à partir du puits *5* sur une longueur de 27 m jusqu'à ce que l'exigüité du conduit empêche la progression spéléologique. Le développement total est supposé atteindre 35 m (plan, Bertaux 1976). En 1980, les moyens techniques mis en œuvre permettent de reconnaitre un total de « 32 m » (« section 8 », Bertaux 1980a).

La coupe des sections (1,4x0,5 m) et du puits (

Figure 49) précise que la dalle de couverture est « encastrée dans la marne » et que le conduit se trouve entre 6 et 7 m de profondeur.

- **Conduit A10** (dit du puits Sourd)

- Puits *222* : Il figure sur le cadastre de 1887 et est situé à une quinzaine de mètre de l'entrée de la galerie du Groupe scolaire.

Exploré dès 1964, le conduit est topographié en 1973. Les longueurs fournies par Bertaux en 1964 (Bertaux 1964) et par le plan ASDUN sont approximativement les mêmes.
Le conduit traverse perpendiculairement la Grande rue sur une longueur de 17 m (conduit A2) entre les puits *20* et *75*. Il figure dans les notes de Counot (1963), soit que le conduit ait été mis au jour dans la tranchée des travaux soit que son existence ait été seulement rappelée. Il est voûté et les dimensions de la section sont environ (1,2x0,6 m).
A partir du puits *75*, le conduit, d'une hauteur moyenne de 1.3 m pour une largeur de 0,6 m, a un toit voûté creusé dans la marne ou dallé. A 25 m du puits *75*, un regard de 4 m de hauteur, dallé en surface, est signalé. Le conduit se poursuit en alternant de nouveau toit dallé/toit marneux avec une diminution de sa hauteur (entre 1,1 m à 0,75 m) jusqu'au puits *222*. Ce puits, de 3,5 m de hauteur, dallé en surface, récupère les infiltrations venant de la conduite du Groupe scolaire. Un conduit repart à angle droit en direction de l'est sur quelques 130 m (133 m sur le plan ASDUN, 128 m d'après Bertaux 1964). Il est voûté (0,6x0,6 m) et n'est pas pourvu de rigole centrale. Il a été restauré au 19ème siècle pour le passage de la conduite en fonte Paramel. Un regard haut de 1 m est signalé. A 128 m de là, le passage est obstrué par un éboulement (Bertaux 1964).

- Remarques

Le puits *222* et le regard situé entre celui-ci et le puits *75* ne figurent pas sur le plan de 1980 alors qu'ils sont connus dès 1964.
Le tracé du conduit a été vectorisé à partir des mesures notées sur le plan topographique et a été calé sur le point *222*. On constate que des erreurs de mesure lors du levé topographique introduisent un décalage du profil. Le tracé n'atteint pas au nord le puits *75* ni à l'est le regard situé entre les parcelles *368* et *370* au lieu-dit *La Place* (*cf* chapitre 4, zone centre).
Le conduit entre *75* et *222* se trouve vers 3,5-4 m de profondeur.

IV. 2. b. Zone B : Nord Amont

- **Conduit B1** (dit souterrain Marchal)

L'accès à ce conduit ne se fait pas par le biais d'un puits mais par une ouverture ménagée dans le mur d'une cave, la cave dite Marchal (rue de Joinville ou Grande rue) qui permet également d'accéder au conduit Marchal (puits *23*). Il a été exploré sur 28 m en 1964 depuis cette cave jusqu'à un éboulement qui a interrompu la progression. Les parois, le toit et le sol sont constitués de grande dalles de 1 à 2,5 m, épaisses de 0,3 m, pour une section moyenne du conduit de (1x0,8 m) (J.-P. Bertaux 1964, Ch. Bertaux 1979). Le conduit est pourvu de trois regards dallés situés à 7 m, 16 m et 23 m de l'entrée. Le premier (0,6x0,8 m) a une hauteur de 1,25 m. Deux conduits perpendiculaires sont branchés au conduit principal à 11 et 17 m de l'entrée. Les ouvertures (0,4 m de côté) se situent au niveau du toit du conduit principal. Le premier est visible sur 4 m, il est dallé et montre des murs en pierres sèches. Le second n'a été dégagé que sur 0,5 m en 1964. Des éboulements survenus entre 1979 et 1981 réduisent la longueur explorable à 23 m (Ch. Bertaux 1981). Ce conduit rectiligne longe la section nord du

rempart sur un axe O-E. Son tracé n'est pas exactement parallèle à celui du rempart dont le parement externe est distant de 1,9 m à 0,5 m d'ouest en est (Ch. Bertaux 1981).

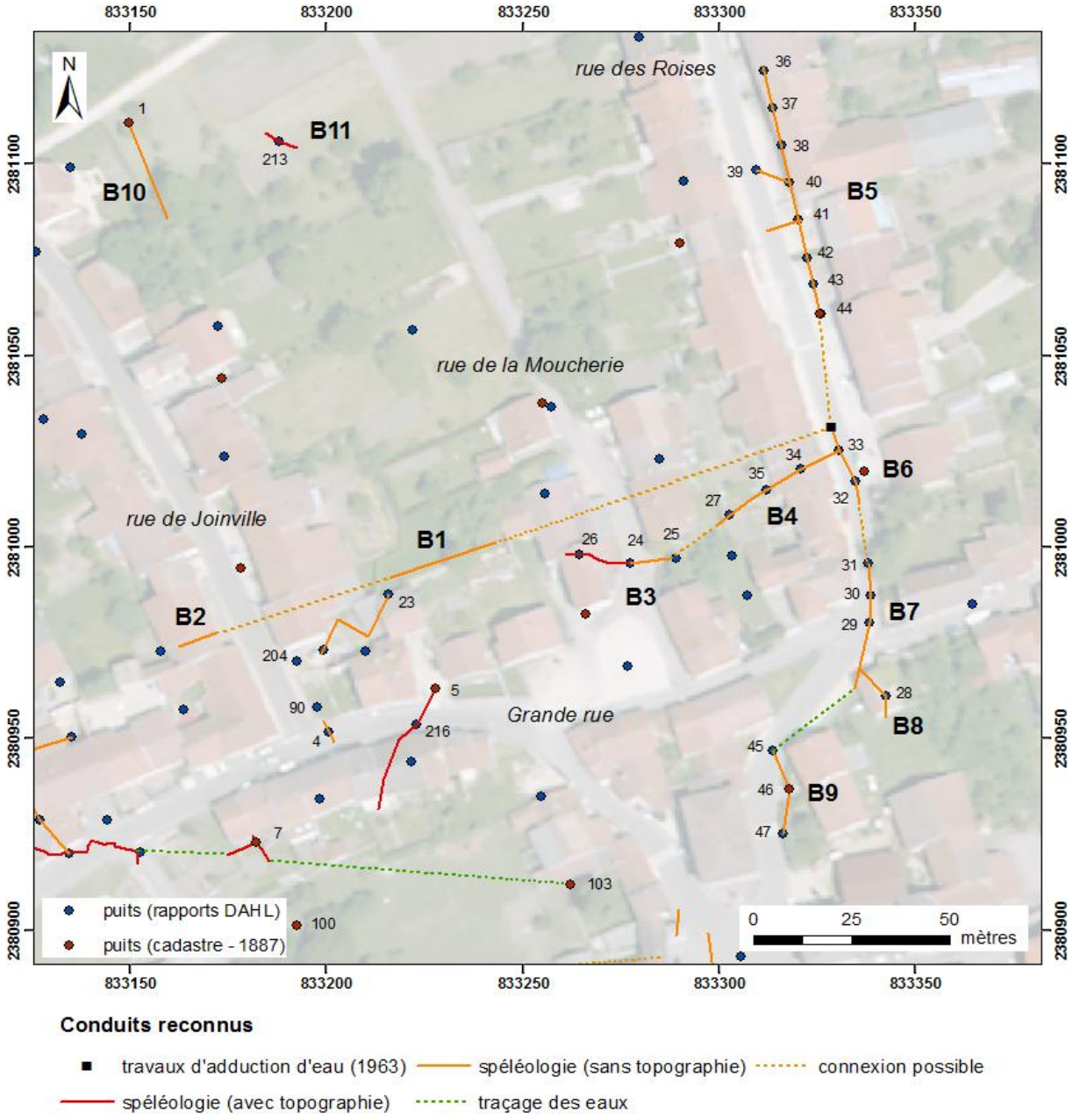


Figure 50. Localisation des conduits de la zone B (Nord Amont).

- **Conduit B2**

A l'ouest de la rue de Joinville, Bertaux visite un conduit de 10 m de long à partir d'une cave (propriété Michelet en 1979, anciennement Le Peltier en 1800). Une citerne « moderne » installée sur son tracé ne permet pas de poursuivre l'exploration (Ch. Bertaux 1979).

- **Souterrain Jollois**

Selon J.-P. Bertaux, les conduits B1 et B2 appartiennent à une même galerie (Ch. Bertaux 1979), signalée au 19ème siècle, longue de 200 m et dont les portions servent de caves (Jollois 1843).
Le conduit aurait été observé par B. Counot dans la rue de Joinville lors de la surveillance des travaux d'adduction en 1963 (Ch. Bertaux 1979, 1985). Les notes de B. Counot ne permettent pas de vérifier cette affirmation car elles n'indiquent aucune découverte réalisée dans cette rue sur le tracé du souterrain.
A l'est de la rue de Joinville, en vis-à-vis du tronçon B2, J.-P. Bertaux cherche en 1979 des indices de son passage et n'en trouve pas (Ch. Bertaux 1979). Un tronçon est pourtant indiqué sur l'atlas 2007 mais la référence n'étant pas donnée, il s'agit peut-être d'un tronçon restitué.
Dans la rue des Roises, un croquis de B. Counot (1963) reporte l'existence d'un « souterrain », à 29 m au sud du puits *44*. La coupe montre en travers de la rue la présence de murs épais de 0,25 m qui forment une section de (1x1 m), à 0,35 m de la surface. Les dimensions sont donc similaires à celles décrites par J.-P. Bertaux pour le conduit B1. Cette structure s'inscrit dans le prolongement hypothétique du souterrain qui, selon Jollois, se poursuit encore sur une centaine de mètres à l'est. En 1975 les tranchées d'assainissement ne semblent pas avoir recoupé le conduit, pourtant peu profond.

- Remarque

Ce conduit n'est pas reporté sur le plan du réseau de galeries drainantes de 1981 car J.-P. Bertaux lui suppose une fonction différente. Il reprend l'hypothèse de Jollois et conclut que ce conduit a été aménagé pour établir une communication souterraine entre les portes ouvertes dans le rempart et serait donc un « souterrain stratégique » (Ch. Bertaux 1979, 1985). Aucune preuve tangible ne vient confirmer ou infirmer cette hypothèse et ce conduit a donc été intégré au schéma de synthèse (Figure 50).

- **Salle Durand**

A l'ouest de l'impasse de la Moucherie, un passage dallé (0,4 x 0,8 m) d'une longueur de 2 m est signalé dans une cave (propriété de J. Durand en 1964). Après quelques travaux de désobstruction, une salle creusée dans la roche est découverte en 1964. D'une hauteur de 2 m, elle définit un espace de (5x7 m^2). Une communication avec le souterrain Marchal (B1) qui se trouve à 3 m de là est alors pressentie (J.-P. Bertaux 1964, Ch. Bertaux 1979). En 1981, Ch. Bertaux positionne le passage d'accès au niveau du parement interne du rempart et suppose que, si le souterrain Marchal débouche dans cette salle, elle est donc « incluse dans le dispositif de la porte » (Ch. Bertaux 1981). La Figure 51 montre la disposition de ces différents éléments.

- **Souterrain Durand**

J.-P. Bertaux rapporte l'existence d'un passage vouté (1,3x1 m) de 5 m de long, à proximité de la salle Durand et du souterrain Marchal. Il émet des doutes sur la nature de cette structure : conduit souterrain ou prolongement de cave (Bertaux 1964).

➢ Remarque

Ce conduit ne figure sur aucun plan et n'est pas mentionné après 1964. Sa localisation n'est pas possible avec cette seule mention trouvée dans le rapport de 1964. Il n'a pas été intégré dans le SIG.

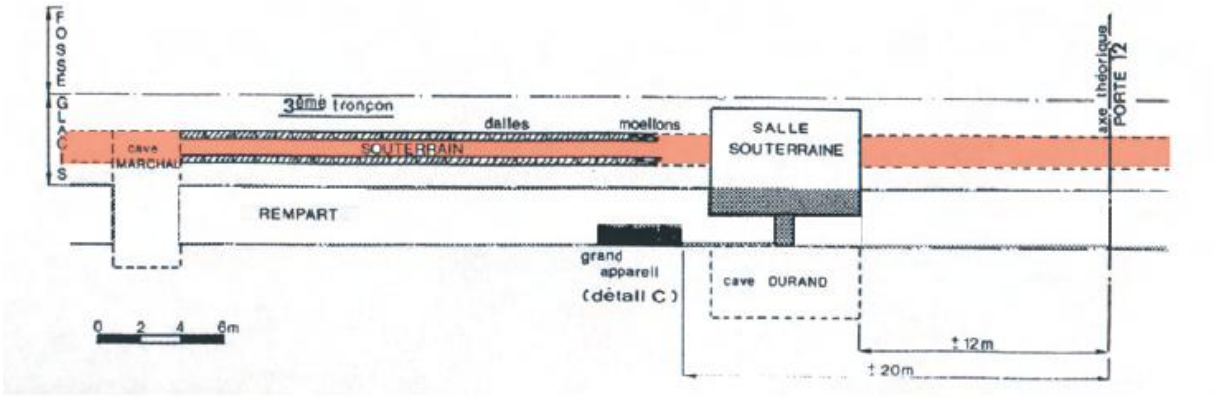


Figure 51. Disposition de la salle Durand par rapport au rempart et au souterrain débouchant dans la cave Marchal (B1). D'après un schéma de J.-P. Bertaux publié (Ch. Bertaux 1985), modifié dans le dossier d'étude (2008).

▪ **Conduit B3** (dit de la Familiale)

- Puits *26* (ouest de la rue de la Moucherie - privé) :

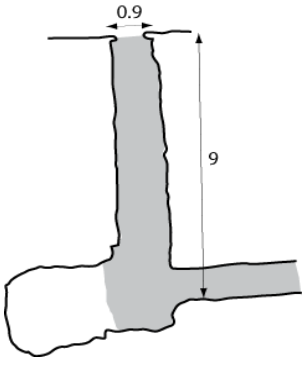
Situé dans une cave, il est répertorié en 1964 (Bertaux 1964). La coupe ASDUN (Figure 52) montre qu'il atteint une profondeur de 9 m (Bertaux 1976). Encore utilisé, il ne livre aucun matériel archéologique et présente un remplissage marneux sur 1 m de hauteur. Un conduit le traverse (Bertaux 1980a).

- Puits *24* (milieu rue de la Moucherie) :

Il figure sur le relevé topographique de 1976 avec la mention « éboulis » et sur le plan 1981 en tant que regard d'accès (Bertaux 1981).

- Puits *25* (est de la rue de la Moucherie)

En 1964 la longueur connue du conduit n'excède pas 3 m car le propriétaire du puits *26* empêche son exploration (Bertaux 1964). Le levé topographique est réalisé en juillet 1976 sur une longueur de 17 m entre les puits *26* et *24* (Bertaux 1976). La légende d'une photo (Bertaux 1975) signale cependant une longueur totale de 29 m. Cette longueur peut être atteinte si l'on suppose une liaison entre les cheminées *24* et *25*, ce que semble indiquer le plan de 1981 (Bertaux 1981). Les puits *24* et *25* seraient alors distants de 12 m.



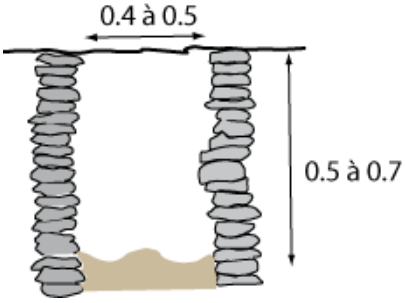


Figure 52. Coupe du puits *26* donnant au conduit B3 et section de la galerie. Les longueurs sont données en mètres. D'après le relevé topographique ASDUN.

Les parois sont en pierres sèches, le toit constitué par la roche. Le conduit semble situé dans un niveau marneux (coupe ASDUN) à 10 m de profondeur (légende d'une photo, Bertaux 1975).

➢ Remarques

Le puits *26* est positionné approximativement sous le bâtiment de l'actuelle Maison de Tous.
La profondeur du conduit n'est pas connue précisément : elle est supérieure à 9 m (levé ASDUN) si l'on tient compte du fait que le puits est dans une cave.
La connexion *24-25* est une proposition de restitution.

▪ **Conduit B4**

- Puits *27-35-34* (entre les rues de la Moucherie et des Roises - privés) :

Parmi ces puits, deux sont répertoriés en 1980 et décrits comme comportant un remplissage antique. Ils sont totalement comblés. Ils ont sans doute été découverts au cours de l'exploration de la « section 5 ». L'un d'eux a une section carrée (seul exemple de ce type à Grand, Bertaux 1980a). Ces trois puits sont sur le plan de 1981.

Un tronçon long de 18 m a été exploré en 1980 (« section 5 ») mais les indications pour le localiser précisément font défaut. Le plan de 1981 montre une connexion directe entre les puits *27*, *35* et *34* (Bertaux 1981).

➢ Remarques

Sans plan topographique et description, la localisation de la « section 5 » et des regards d'accès est floue. Les puits sont mal identifiés.
Sur le plan de 1981 un tracé relie les puits *27-35-34-33* et un tracé supposé les puits *25-27*. Cela impliquerait une connexion des conduits B3 et B4 mais aucun argument n'est donné pour étayer cette hypothèse.

▪ **Conduit B5** (dit de Dainville)

- Puits *44* (est de la rue des Roises) :

Il est représenté sur le cadastre de 1887 (feuille E1) et a été restauré par la municipalité au 19ème siècle. De forme tronconique, il atteint au moins 6 m de profondeur et possède un conduit. Il a été reconnu en 1964 (Bertaux 1964) et curé dans les années 1970. En 1980, des émanations de gaz ont gêné le relevé des dimensions du puisard sous le niveau du conduit (Bertaux 1980a).

- Puits *43* (est de la rue des Roises) :

Situé à 8 m au nord du puits *44*, ce regard dallé de 5,5 m de haut (0,8x0,8 m) a été reconnu au cours de l'exploration du conduit en 1964 (Bertaux 1964).

- Puits *42* (est rue des Roises) :

Situé à 15 m au nord du puits *44*, ce regard obstrué a été reconnu au cours de l'exploration du conduit en 1964 (Bertaux 1964).

- Puits *41* (est rue des Roises) :

Situé à 25 m au nord du puits *44*, ce regard de 6 m de haut (1x1 m) a été reconnu au cours de l'exploration du conduit en 1964. Il constitue l'embranchement du conduit principal et d'un conduit secondaire (Bertaux 1964). Il est repéré dès 1963, d'après les notes prises par Counot sur lesquelles on lit la mention « puits comblé ? ».

- Puits *40* (est rue des Roises) :

Situé à 35 m au nord du puits *44*, ce regard obstrué est reconnu au cours de l'exploration du conduit en 1964. Il communique avec le puits *39* (Bertaux 1964).

- Puits *39* (rue des Roises) :

Situé à 8 m à l'ouest du puits *40*, ce regard comblé est repéré lors de l'exploration du conduit en 1964 (Bertaux 1964).

- Puits *38* (est rue des Roises) :

Situé à 45 m du puits *44*, ce regard de 6 m de haut (0,8x0,8 m) est reconnu au cours de l'exploration du conduit en 1964 (Bertaux 1964).

- Puits *37* (est rue des Roises) :

Situé à 55 m du puits *44*, ce regard obstrué est reconnu au cours de l'exploration du conduit en 1964 (Bertaux 1964).

- Puits *36* (est rue des Roises) :

Situé à 65 m du puits *44*, ce regard obstrué est reconnu au cours de l'exploration du conduit en 1964 (Bertaux 1964).

- Puits dit 133 (= puits *39* ?) :

Ce puits curé en 1975 donne accès à un conduit qualifié d'inédit (Bertaux 1975) et permet d'accéder à un « diverticule du conduit de Dainville » (Bertaux 1976). Il fournit les premiers éléments de datation du réseau de galeries par son remplissage antique. J.-P. Bertaux relève la présence d'un blocage aéré de pierres brutes et un colmatage soigné d'argile ainsi que l'existence d'une couche d'incendie. Il suppose que le conduit a été volontairement rebouché dès l'antiquité (Bertaux 1976).

Le conduit a été exploré en 1964 à partir du puits *44* sur une longueur de 84 m arrondie à 90 m par J.-P. Bertaux (Bertaux 1964, 1976). Le conduit est haut d'un mètre et large de 0,5 m ; le toit est creusé dans la roche, excepté à l'entrée où il est voûté sur 1 mètre (puits *44*) ; les murs sont en petit appareil. Le conduit principal est ponctué de huit puits (en comptant le *44*) espacés de 7 à 10 m. Deux conduits venant de l'ouest ont été observés. L'un, visible sur 10 m, est partiellement éboulé et se branche au puits *41* ; l'autre, long de 8 m, raccorde les puits *39* et *40*. Au niveau du puits *41* le conduit principal est très dégradé et n'a probablement pas bénéficié des restaurations dont une inscription rappelle la date (1859) à l'entrée du conduit (puits *44*). En amont du puis *36*, le conduit se poursuit mais est impraticable en 1964 (Bertaux 1964). La légende d'une photo indique que le conduit se situe entre 6 et 8 m de profondeur (Bertaux 1975). Des photos du conduit illustrent le rapport 1974. Le conduit comporte un décrochement (coupe, Bertaux 1981).

- Remarques

En supposant que le conduit est rectiligne et que les distances indiquées dans les rapports sont correctes, la position de ces puits peut être considérée comme satisfaisante au vu des éléments fournis par le cadastre et les notes de B. Counot.

L'identification du puits dit 133 à partir des rapports d'exploration est incertaine. Elle demande à être confirmée, par exemple à l'aide des archives de fouille que nous n'avons pas consultées.

- **Conduit B6**

- Puits *32* (dit des Roises) (milieu de la rue des Roises) :

Découvert au cours des travaux d'assainissement en 1975, ce puits se situe sur le conduit principal de Dainville, à environ 100 m du puits dit 133 et à quelques mètres de l'angle du rempart. Il est fouillé partiellement en 1976 jusqu'à 7,2 m où se situe la dalle de couverture qui est retirée (Bertaux 1976). En 1977, la voûte d'un conduit immergé est mise en évidence à 10,5 m de profondeur ; le fond n'est pas atteint (Bertaux 1977). En 1979, la fouille est reportée à cause d'émanations gazeuses déjà signalées en 1977 (Bertaux 1979) et s'achève en 1980 (Bertaux 1980a). Le remplissage est gallo-romain (récolte d'un petit bronze par exemple) et contient un niveau incendié (Bertaux 1976, 1977).

- Puits *33* (milieu de la rue des Roises)

Un conduit est exploré sur 15 m en 1980 (section 6, Bertaux 1980a). Le plan qui accompagne le rapport de 1980 semble le positionner au niveau du puits *32*, étudié depuis 1976.

- Remarques

L'identification du puits nommé « 129 » est douteuse. Avec notre restitution, le puits *32* se trouve à 85 m (et non 100 m) du puits *39*, et à une quinzaine de mètres de la tour d'angle.
La localisation du puits *33* est imprécise. Il se situe probablement à une quinzaine de mètres du puits *32*.

- **Conduit B7**

- Puits *31* (milieu de la rue des Roises) :

Découvert lors des travaux d'assainissement en 1975, il a été curé en 1978 (Bertaux 1978). Sa fouille a été terminée en 1980 (Bertaux 1980a).

Deux conduits envasés sont cités en 1978 (Bertaux 1978). Ce regard semble placé sur le tracé de la « section 7 » explorée sur 15 m en 1980 (Bertaux 1980a).

- Remarque

D'après les plans de 1980 et 1981, les puits *31-30-29* seraient alors connectés par l'intermédiaire de ce conduit.

- **Conduit B8**

- Puits *28* (dit Durupt) (Sud de la rue de la Chapelle - privé) :

Son existence est signalée par son propriétaire en 1979. Le puits a une profondeur minimale de 8 m (Bertaux 1979a).

Il est considéré en 1979 comme l'unique exemple de puits permettant d'accéder à deux niveaux de conduits. A 3 m de profondeur, un conduit voûté et maçonné est reconnu sur 30 m. Son cheminement est rectiligne, aucune circulation d'eau n'y est remarquée lors de l'exploration. A 8 m de profondeur, deux conduits dallés sont repérés. Ils ne sont pas obstrués et un écoulement d'eau est visible ; leur reconnaissance est envisagée (Bertaux 1979a) mais le rapport de l'année suivante n'en parle pas. Il a cependant dû servir de point d'observation lors d'un traçage des eaux car il semble appartenir à la « section 14 » (plan, Bertaux 1980a).

- **Conduit B9**

- Puits *46* (Est des Halles) :

Figuré sur le cadastre 1887, il apparait aussi sur le plan de 1981 (Bertaux 1981).

- Puits *47* (?) (Est des Halles) :

Découvert lors de travaux publics, il n'est pas identifié comme un puits proprement dit mais est qualifié de « structure ». C'est sa situation sur le passage d'une galerie qui en ferait un regard d'accès (Bertaux 1980a).

Le plan de 1981 établit une communication entre les puits *45-47-48* avec un accès depuis la surface par le puits *48*.

- Remarques

La nature de la structure *47* n'est pas bien cernée et l'existence du conduit n'est pas assurée car aucune description n'en est faite dans les archives consultées.
Le tracé pourrait se situer sur la « section 14 » et avoir été déterminé par le traçage des eaux en 1980 qui mettrait en relation les puits *28-46* (Bertaux 1980a).

- **Conduit B10**

- Puits *1* (dit Durand) (Est de la rue de Joinville - privé) :

Nettoyé en 1917 et utilisé encore en 1977 pour l'entretien des jardins, il est caractérisé par une arrivée d'eau assez forte. Il est profond de 11,5 m, la hauteur d'eau y est de 4,5 m lors du relevé de J.-P. Bertaux. Son étude n'a montré que des vestiges récents (Bertaux 1977).

Un conduit rectiligne long de 25 m est taillé dans la roche entre 9 et 10 m de profondeur (Bertaux 1977). D'après les plans de 1977 et 1981, ce conduit est positionné sur un axe N-S au sud du puits *1*.

- **Conduit B11**

- Puits *213* (dit Pierrat) (entre la rue de Joinville et le chemin de la Moucherie) :

Découvert en 1976 après le « nettoyage d'un terrain inculte » (Bertaux 1976), ce puits atteint une profondeur de 9 m et traverse deux niveaux de marne (plan topographique 1976).

Le conduit a un développement de 10 m et présente un débit assez abondant (Bertaux 1976). Un levé topographique est réalisé en juillet 1976. Le conduit semble se trouver vers 8 m de profondeur.

- Remarque

Le puits a été situé d'après les indications du plan topographique. Sa localisation est incertaine : le plan de 1981 le montre à quelques 120 m plus au nord. A moins qu'il n'existe deux conduits, il y a manifestement une erreur de positionnement.

IV. 2. c. Zone C : Sud-Ouest Amont

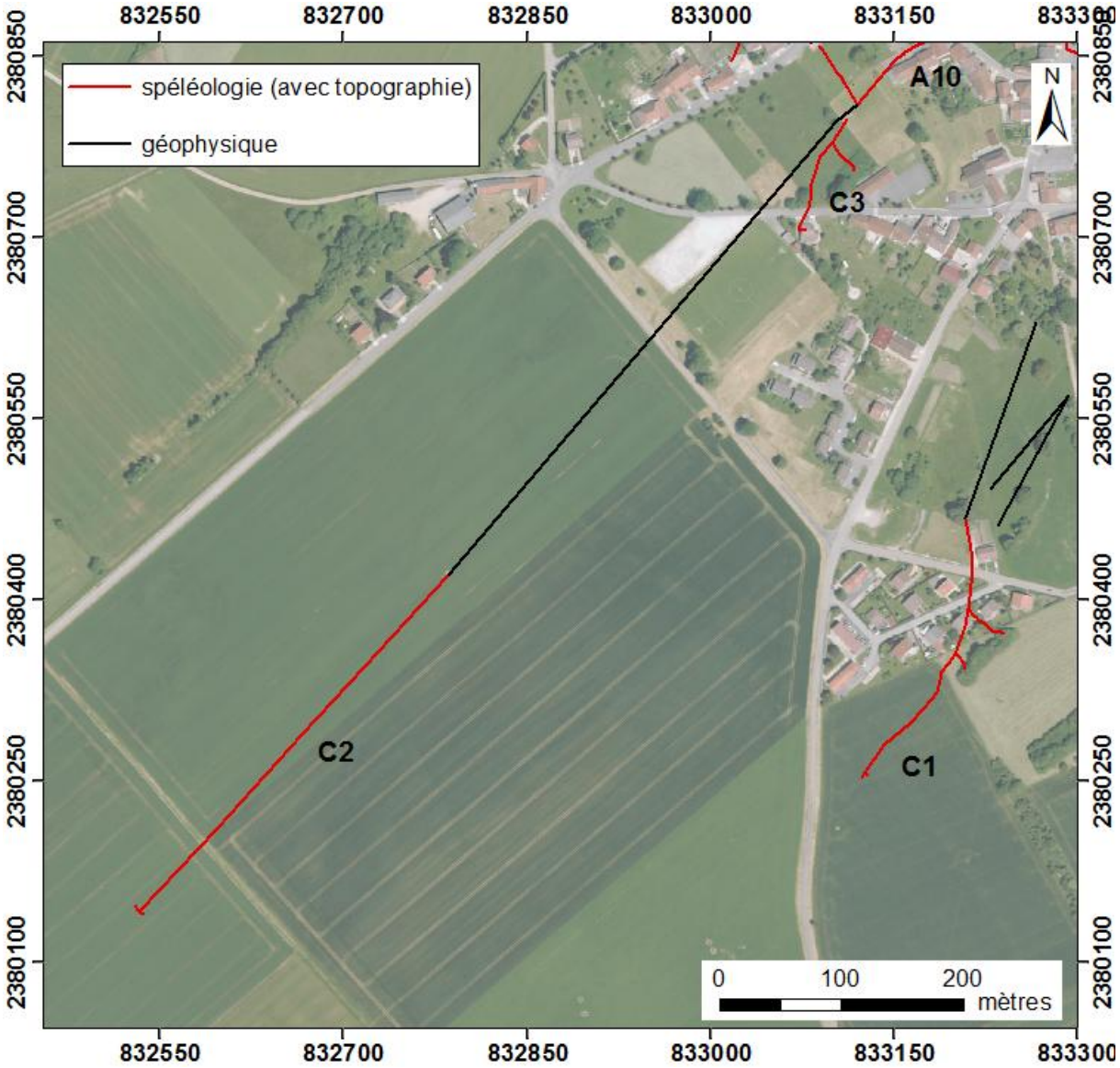


Figure 53. Localisation des conduits de la zone C (Sud-Ouest Amont).

Conduit C1 (dit de la Fontainotte)

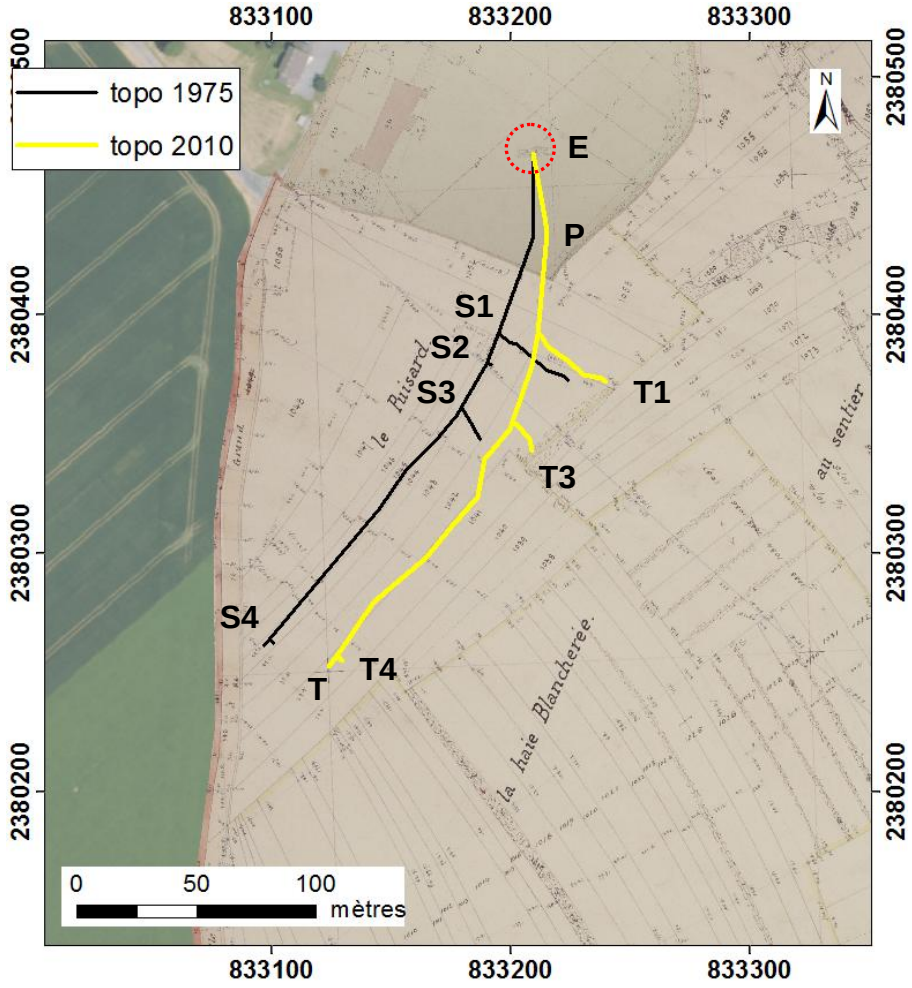


Figure 54. Localisation du conduit C1 (dit de la Fontainotte) sur le cadastre géoréférencé de 1887 (Feuilles E3 et C8). Topographies réalisées en 1975 et 2010.
E : entrée (Fontainotte), P : regard (puisard ?), S1 à S4 : embranchement des conduits secondaires, T-T1 à T4 : extrémité des conduits.

Au lieu-dit Pré Laguerre, un conduit maçonné, dit de la Fontainotte ou de la route de Bréchainville, débouche de plain-pied dans le pré communal (parcelle 50). Il fait partie des conduits restaurés par la municipalité au 19ème siècle.

Jollois relate la redécouverte de ce conduit dans une note sur les aqueducs antiques (Jollois 1843). A « 400 m du clocher de l'église », les recherches portent sur les environs du puisard du Moulin la Dame. Ce puits, bâti en pierres de taille et moellons, est bien connu[12] mais n'est alors pas considéré comme un puits romain. Des travaux sont entrepris pour localiser les sources qui l'alimentent et pour augmenter son débit. Une tranchée est creusée jusqu'à 4 m de profondeur, large de 3 m en surface et de 1,3 m au fond. Elle permet de dégager un « canal » antique et trois conduits secondaires qui drainent plusieurs sources relativement abondantes. L'état très dégradé du conduit principal entraîne cependant des pertes importantes et explique

[12] Le cadastre de 1810 montre que le puits a même donné son nom au lieu-dit : « Au puisat » (section C, 2ème subdivision), nom qui est conservé dans la toponymie jusqu'en 1887 : « Le Puisard » (section C, feuille 8).

le débit de sortie assez faible car les dépôts sédimentaires et l'effondrement des murs latéraux font obstruction à la circulation de l'eau (Jollois 1843). En 1859, le conduit est remis en état et un tronçon de 35 m est aménagé en aval du puits. Il alimente un abreuvoir, visible sur le cadastre de 1887 (section E, feuille 3) à côté de la petite construction voûtée (entrée actuelle du conduit). Une inscription gravée à l'entrée du conduit rappelle la date de ces réfections.
Un siècle plus tard, la galerie fait l'objet de nouvelles études. En 1948, son existence est signalée par Toussaint qui se contente de reprendre les commentaires de Jollois (Toussaint 1948). Elle est explorée et partiellement reconnue par J.-P. Bertaux en 1964. Après désobstruction du conduit et des conduits secondaires, un premier plan topographique est réalisé en septembre 1973. Une nouvelle reconnaissance spéléologique a lieu en 2009 et le conduit est une nouvelle fois topographié en janvier 2010.

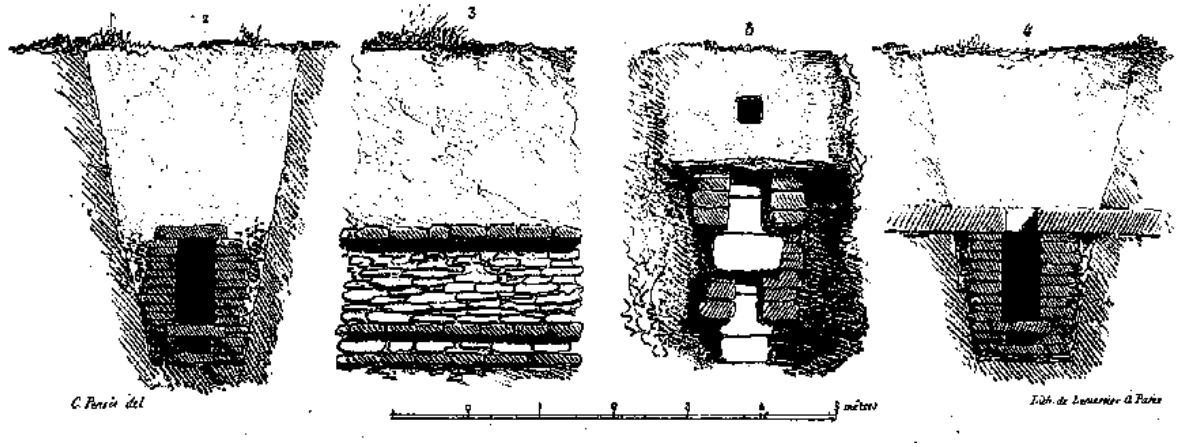


Figure 55. Coupes du conduit C1 de la Fontainotte (Planche 14, Jollois 1843).
« 2 : Profil pris sur l'aqueduc marqué A'B' [conduit principal].
3 : Portion de la coupe en longueur du même aqueduc.
4 : Profil sur l'aqueduc d'embranchement C'D' [conduit secondaire 1].
5 : Plan d'une portion de ce même aqueduc d'embranchement. »

- Galerie principale

L'accès se fait par une petite salle voûtée (E sur la Figure 54) qui communique avec un conduit dallé rectiligne de section (0,8x0,6 m) (Bertaux 1964, coupe ASDUN 1973) (Figure 56-a). A 34 m de l'entrée, ce conduit atteint un regard d'accès P, haut de 2,8 m (Bertaux 1964), situé au nord de la route (plan ASDUN). A partir de ce point, le conduit (1,1x0,6 m) est construit en petit appareil, voûté, et le sol dallé possède une rigole d'écoulement centrale (Bertaux 1964, plan ASDUN 1973) (Figure 56-b). Le tracé adopte une orientation générale NE-SO tout en présentant quelques inflexions. Après un cheminement de 212 m (levé topographique 2010) le conduit se termine par une maçonnerie en escalier renversé (Figure 56-d).
En 1843 Jollois donne une description qui présente un état du conduit différent de celui observé depuis les années 1960. Il rapporte en effet que le « canal » (1,1x0,45 m) est superposé à un second canal (Figure 55-2) de dimensions plus réduites (0,2x0,3 m). Ils sont séparés par des dalles non jointives qui laissent l'eau s'écouler par gravité, la base du canal

inférieur étant pavée de manière à empêcher les fuites. Les murs du canal supérieur sont composés de petits moellons irréguliers tandis que la maçonnerie du canal inférieur est plus soignée. Il précise que le conduit est creusé dans la roche en « plusieurs points » et que les pierres sèches des murs sont disposées pour « faciliter la réunion et l'écoulement des eaux des terres environnantes ». La longueur du conduit est portée à 195 m seulement.

		Jollois		ASDUN		2010	
E-P		-		34 m		34 m	
P-S1	Conduit principal **Total**	40 m	**195 m**	44 m	**208,5 m**	42,5	**212 m**
S1-S2		12 m		13 m		13,5	
S2-S3		18 m		21,5 m		25	
S3-S4		-		126 m		125,5	
S4-T		-		4 m		5.5	
S1-T1		45 m		36 m		36 m	
S2-T2		13 m		2 m		-	
S3-T3		10 m		15,2 m		15,3 m	
S4-T4		-		4 m		5,4 m	

Tableau 8. Distances relevées dans la galerie de la Fontainotte (conduit C1) au cours des explorations spéléologiques de 1973 et 2010 et par Jollois en 1843.

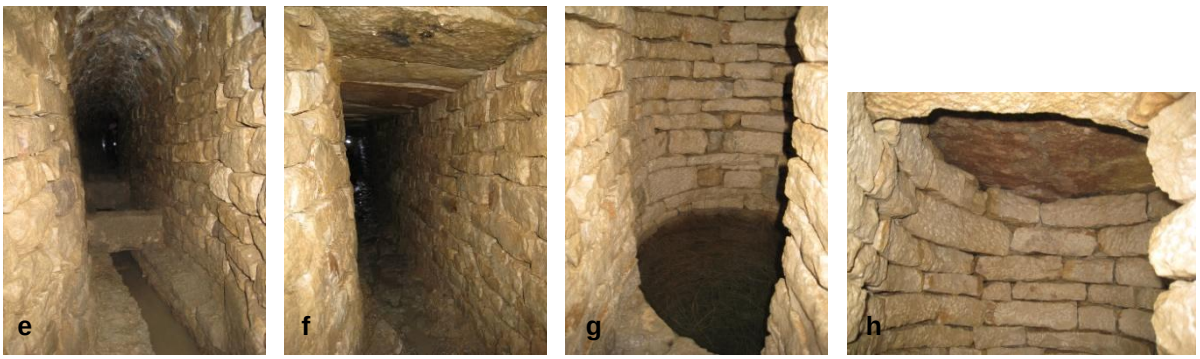
- Conduits secondaires

Quatre conduits s'ouvrent sur la paroi est du conduit principal.
Le premier se situe à 43 m du puits P (embranchement S1). Ses parois sont maçonnées et son toit est successivement voûté puis dallé (Figure 56-e.f.k). La hauteur varie de 1,1 à 0,6 m pour une largeur constante de 0,6 m. Long de 36 m, il aboutit sur un puits rempli d'eau et d'algues d'une profondeur minimale d'1 mètre (observation en janvier 2010 - Figure 56-g.h). Jollois assure avoir suivi le conduit sur 45 m sans atteindre sa terminaison à une source supposée. Il note que les murs de ce conduit sont mieux conservés que ceux du conduit principal et remarque que le conduit est creusé sous une « couche de pierre très dure » de 0,3-0,4 m d'épaisseur, qui existe à 2 m de profondeur.
L'entrée du second (S2) conduit se trouve à 13 m de distance. Le passage est trop exigu pour y pénétrer. Le conduit a été reconnu sur 2 m en 1973 mais il semble qu'il ait été exploré au 19ème siècle car Jollois parle d'une source abondante sortant d'un « énorme rocher » à l'extrémité de ce conduit, long de 13 m.
Le troisième conduit est situé à 25 m au niveau d'un regard dallé S3. Il a un développement de 15 m et se termine par un boyau karstique non aménagé (Figure 56-i), qualifié de « faille naturelle » par J.-P. Bertaux en 1975 (Bertaux 1975, levés topographiques 1973 et 2010). Jollois n'en explore que 10 m et suppose l'existence d'une source à son extrémité.
La connexion du dernier conduit avec la galerie principale est localisée à 126 m, au niveau d'un regard S4 haut de 2,7 m (Bertaux 1964, coupe ASDUN 1973). Le conduit, dont la longueur ne dépasse pas 5,5 m, capte un écoulement filtrant à travers la roche calcaire (Figure 56-j). Ce filet d'eau correspond à la petite source repérée par J.-P. Bertaux (1964) et peut-être

à la source « assez abondante sortant d'une fente de rocher », découverte au 19ème siècle (Jollois 1843).
Enfin plusieurs ouvertures ont été ménagées, à intervalles réguliers, au ras du sol dans la maçonnerie de la paroi est (Figure 56-c).
D'après les levés topographiques de 1973 et 2010, la longueur totale du conduit est de 300 m dont 246 m pour le conduit principal. En 1975, J.-P. Bertaux compte « 253 m sans les diverticules » (Bertaux 1964, 1975), soit 8 m de plus. Il situe le conduit entre 2 et 6 m de profondeur, d'après la légende d'une photo datée de 1975 (Bertaux 1975).



Conduit principal :
a. Tronçon E-P (19ème siècle ?), b. tronçon P-S4, c. ouverture ménagée dans la paroi Est et gourd, d. extrémité T (escalier renversé).



Conduit secondaire S1T1 :
e. tronçon voûté et avec entretoises, f. tronçon dallé, g-h, extrémité T1 (puits dallé).



Extrémités des conduits secondaires : i. S3 = conduit karstique, j. S4 = paroi rocheuse.
k. Concrétionnement calcaire dans le conduit secondaire S1-T1 et changement de section (voûtée/dallée).

Figure 56. Vues du conduit C1 : galerie principale et conduits secondaires (Cl. Brinon 2009).

- Remarques

- Sur l'identification des éléments :
En comparant les descriptions anciennes aux plans topographiques, on constate que Jollois n'a pas comptabilisé les 34 mètres du tronçon qui relie l'entrée maçonnée au premier puits. Ce conduit, qui présente une section et un type de maçonnerie différents, a probablement été ajouté au cours des travaux du 19ème siècle. Le puits P sur lequel il débouche correspondrait au puisard dont parle Jollois.
Il semble donc que le « canal » antique découvert au 19ème siècle constitue seulement la partie amont de la galerie raccordée au premier puits. D'ailleurs les sondages réalisés lors de la fouille INRAP (2011) n'ont pas montré de conduit romain en aval de la Fontainotte.
La structure de la galerie principale décrite par Jollois diffère de l'état actuel du conduit. Les restaurations de 1859 sont peut-être à l'origine de modifications du conduit. Les deux canaux superposés pourraient être interprétés comme un unique conduit doté d'entretoises, ainsi qu'on l'observe dans le premier diverticule ou dans la galerie dite du Groupe scolaire. Il est possible également que Jollois ait appliqué la description du conduit secondaire à la galerie principale.

- Sur les levés :
Le rapport de 1964 contient des indications de distance erronées. Les plans topographiques de 1973 et 2010 donnent des longueurs de conduits identiques mais la divergence des tracés prouve que des erreurs ont été commises dans les mesures de l'azimut.

- Sur les conduits secondaires :
Selon Jollois, le conduit S1-T1 se poursuit sur 11 m au moins. Le remplissage vaseux du puits dissimule peut-être un prolongement, à moins que le conduit n'ait subi des modifications au 19ème siècle et que le puits constitue à présent l'extrémité du conduit explorable.
Concernant le conduit S2-T2, celui-ci est impénétrable mais, d'après les indications de Jollois, un prolongement d'une dizaine de mètres peut être envisagé.
Le conduit S3-T3 qui se termine par un conduit naturel est reconnu sur la totalité de son aménagement. Idem pour le conduit S4-T4 qui se heurte à une paroi rocheuse concrétionnée.

- Sur les eaux drainées :
Au cours des hivers 2009 et 2010, la hauteur d'eau dans les conduits était comprise entre quelques centimètres et plusieurs dizaines de cm et les circulations étaient toujours actives. Les eaux, drainées depuis l'est, sont rassemblées et acheminées par le conduit principal vers le nord. D'après la description donnée par Jollois avant restaurations, le conduit est chargé de récupérer par percolation les eaux d'infiltration et de capter des écoulements plus importants (« sources »).

- Conclusion :
Le conduit a nécessité des travaux d'aménagement importants, au vu de la longueur de galerie maçonnée. Les descriptions et les observations de terrain semblent indiquer que le conduit antique ne se poursuit pas en aval du puits P. Le prolongement jusqu'à l'actuelle Fontainotte

et le raccordement du conduit aux installations de la place des Halles datent de l'époque moderne.
L'extrémité amont des galeries s'inscrit dans le prolongement de conduits karstiques ; le banc calcaire est visible en l'absence de maçonnerie. Des dépôts marneux s'accumulent par endroits. Le captage et le drainage des eaux s'effectuent depuis l'est seulement.

- Position du conduit

Les vues aériennes des terrains situés au sud de Grand, issues des campagnes 2010, mettent en évidence des linéaments parallèles qui témoignent d'une végétation plus vivace. Les orthophotos récupérées sur le site de Géoportail et un cliché oblique ont été géoréférencés. Leur combinaison fournit une image très claire du réseau de fracturation superficielle, développée dans la direction NO-SE (direction mineure de fracturation régionale), perpendiculairement à l'axe du talweg. La Figure 58 montre la superposition du conduit et des vues aériennes. Le drain principal, parallèle à l'axe du vallon, suit une trace qui rejoint les habitations et qui se prolonge au SO jusqu'à la route. Les conduits secondaires se positionnent dans l'alignement des fractures.
Le drain C1, aménagé sous le versant sud du talweg (Figure 57), collecte donc les eaux qui circulent dans le sous-sol le long des fractures et les achemine vers une zone d'habitat (*cf* chapitre 4).

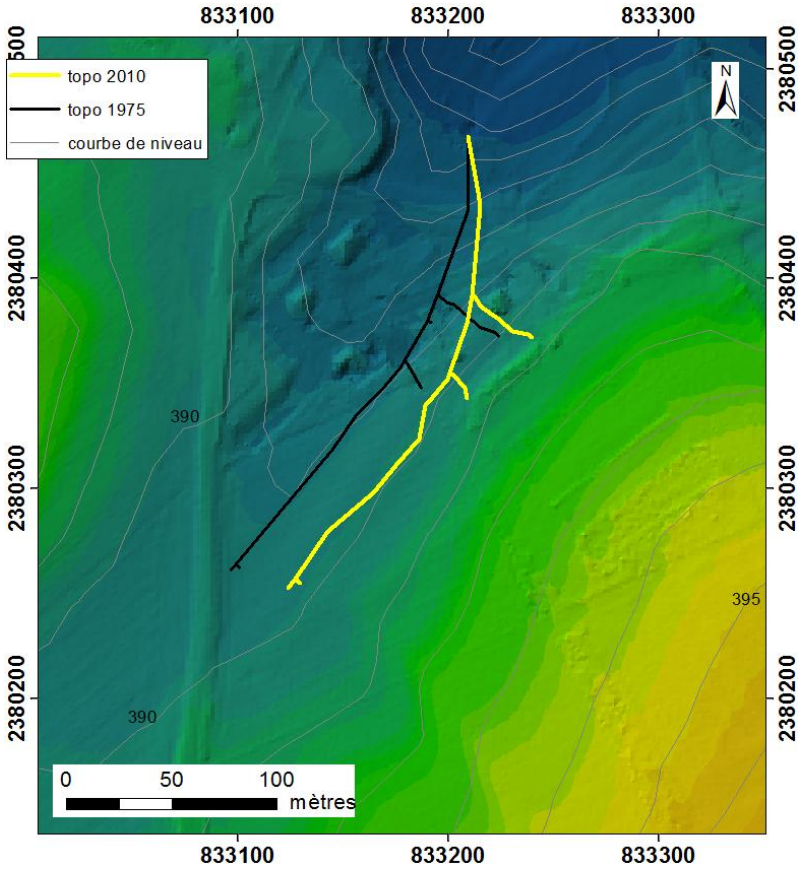


Figure 57. Position du conduit C1 par rapport au talweg Sud. Topographies 1975 et 2010. La Fontainotte se situe vers 385 m NGF.

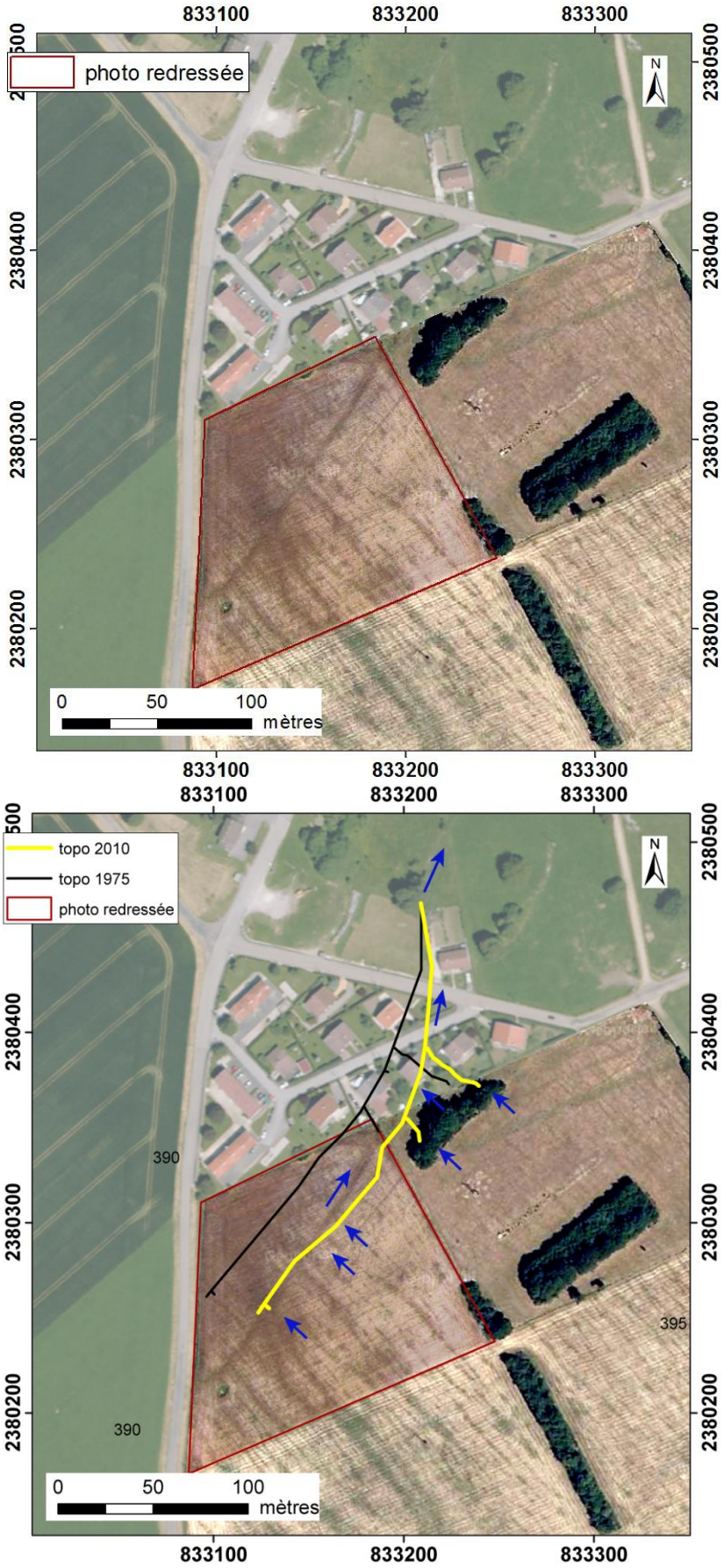


Figure 58. Mise en évidence des relations entre le conduit C1 et le réseau de fracturation. Topographies 1975 et 2010 superposées aux photographies aériennes géoréférencées (P. Nouvel – redressée – Géoportail 2010). Les flèches indiquent le sens d'écoulement des eaux.

- **Conduit C2** (dit Paramel)

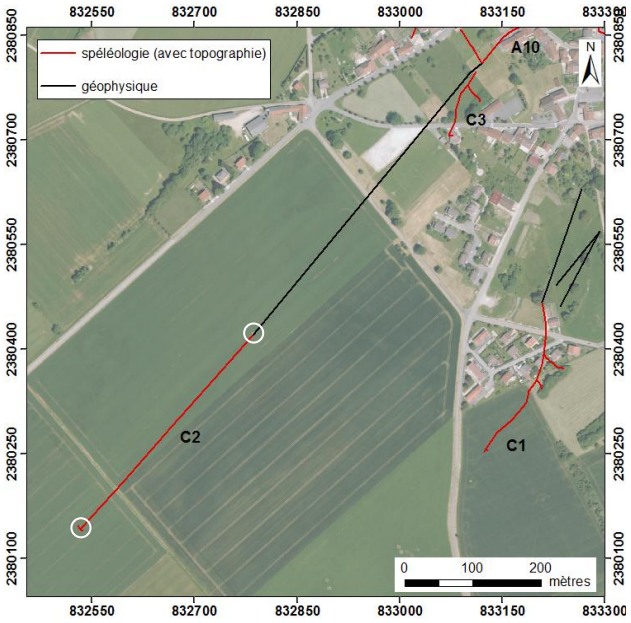


Figure 59. Localisation du conduit C2.

Le regard d'entrée et le puits « Paramel » (extrémité SO du conduit) sont cerclés de blanc.

- Puits :

Le cadastre de 1810 témoigne de la présence d'un puisard dans les environs : le talweg porte le nom « au puisar du Moulin de la Garenne » qui devient en 1887 « Le puisart ». En 1964 l'inventaire de J.-P. Bertaux inclut un « puits Paramel » (Bertaux 1964).

Le conduit est supposé faire partie des galeries anciennes réhabilitées par la commune au 19ème siècle, comme l'indique la date de 1859 gravée dans le conduit (Bertaux 1964). Il est reconnu en 1964 avant d'être topographié en septembre 1973 par l'ASDUN.

	Bertaux	ASDUN
Entrée - Regard 1	102 m	102 m
Regard 1 - Regard 2	108 m	180 m
Regard 2 - Regard 3	104 m	
Regard 3-Puits	92 m	92 m
Conduit terminal	10 m	10 m
Total	**416 m**	**384 m**

Tableau 9. Comparaison des distances relevées dans le conduit C2 par J.-P. Bertaux en 1964 et les spéléologues de l'ASDUN en 1973.

J.-P. Bertaux situe l'entrée du conduit dans un champ à quelques 300 m à l'ouest du village (Bertaux 1964). Le plan topographique apporte quelques indications et désigne, à partir de repères pris sur les habitations, la position du tampon situé dans la parcelle *30*. Il couvre un regard d'accès haut de 1,8 m (Bertaux 1964, ASDUN 1973) au fond duquel se trouve la vanne

de régulation d'une canalisation en fonte. A l'est (vers le village), la canalisation s'enfonce à travers la maçonnerie du puits tandis qu'à l'ouest elle est posée dans un conduit maçonné voûté. Ce conduit (1,1x0,5 m) est construit en petit appareil, avec une rigole d'écoulement centrale (Bertaux 1964, ASDUN 1973). Son tracé est rectiligne sur 376 m (d'après le plan topographique) ou 406 m (selon Bertaux). Un regard dallé R1 se situe à 102 m du puits d'entrée ; la canalisation en fonte s'interrompt à ce niveau. Le conduit rencontre un autre regard R3 (hauteur : 3 m) à 180 m du précédent (plan ASDUN) avant d'aboutir sur un puits, dit « Paramel ». Ce puits haut de 4,8 m et profond d'un mètre est légèrement tronconique et a un diamètre moyen d'1 m (Bertaux 1964). Deux conduits latéraux voûtés (1,8x0,9 m), longs de 5 m chacun, sont raccordés perpendiculairement au conduit principal (Bertaux 1964, ASDUN 1973).

Le plan topographique indique en 1973 un éboulement important à 70 m de l'entrée. Actuellement l'exploration du conduit se trouve empêchée par des éboulis (renseignement oral).

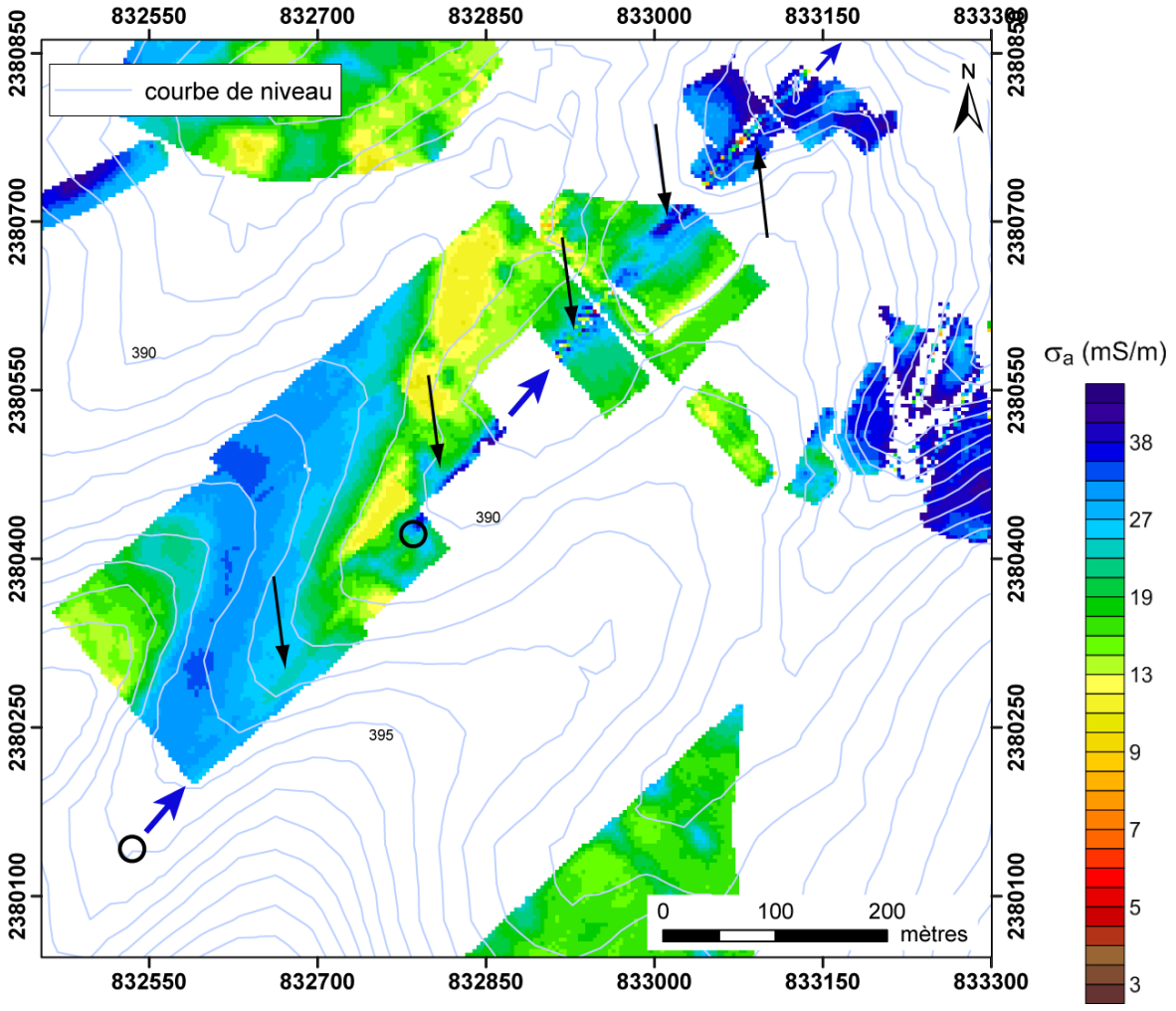


Figure 60. Carte de conductivité électrique apparente (EM31 – profils espacés de 5 m). Mise en évidence du tracé du conduit dit Paramel (pointé par les flèches noires). Il se traduit par une anomalie linéaire résistante sur le tronçon topographié C2, entre le regard d'entrée et le puits « Paramel » (cerclés de noir), et par une anomalie linéaire conductrice (conduite métallique) depuis le regard d'entrée jusqu'au cœur du village. Les flèches bleues indiquent le sens d'écoulement de l'eau drainée.

- Remarques

Le tuyau en fonte draine l'eau en direction de la place des Halles à destination des installations hydrauliques publiques (fontaine, abreuvoir, lavoir). Son cheminement a été reconnu en prospection géophysique à travers la parcelle *30* puis à l'intérieur du village jusqu'à la parcelle *368* (Figure 60).
La galerie ne figure pas sur le plan de synthèse de 1981. Elle n'a sans doute pas été inventoriée comme un conduit antique.
Les longueurs établies par J.-P. Bertaux en 1964 et par le levé topographique en 1973 sont contradictoires. 30 m, situés entre les deux puits R1 et R3, sont ajoutés au conduit principal dans le rapport de 1964. Il s'agit vraisemblablement d'une erreur de J.-P. Bertaux, qui semble plus plausible qu'un oubli lors du levé topographique. L'hypothèse d'un prolongement du conduit, en amont ou en aval, qui n'aurait pas été topographié en 1973, est écartée car les terminaisons du conduit sont identiques dans les deux descriptions. Le nombre de puits rencontrés diffère aussi : J.-P. Bertaux en compte 5 mais 4 sont indiqués sur le plan topographique.
D'après la hauteur des puits, le conduit se trouve à une profondeur minimale variant de 2 et 5 m entre le regard d'entrée et le puits « Paramel ».

- **Conduit C3** (dit du Groupe scolaire)

- Puits *52* :

Puits communal utilisé jusqu'en 1963 (Bertaux 1979a). Environ 6 m de profondeur (Bertaux 1964).

Le conduit dit du Groupe scolaire compte parmi les conduits antiques reconnus les plus accessibles. Il est restauré au 19ème siècle et devient l'une des curiosités du site ouvertes au public ; il sert par ailleurs d'illustration dans la plupart des publications sur le réseau souterrain de Grand.
Jollois rapporte la présence à 180 m du clocher d'un « ancien réservoir » alimenté par un puits connu éloigné de 30 m, dans « le fond d'une petite vallée appelée Grand Jardin ». Les recherches menées par la municipalité en 1820 permettent de découvrir le conduit, plusieurs regards d'accès et « diverses ramifications ». Le conduit est inventorié en 1964 et topographié en 1979 (Bertaux 1979a) par les spéléologues de l'ASDUN. Il fait l'objet d'une nouvelle exploration avec levé topographique en 2010.
Deux entrées donnent accès au conduit principal : l'une se fait par le puits *52* et l'autre par une petite construction installée de plain-pied dans la parcelle *16*. Entre ces deux points, 6 puits d'accès comblés ponctuent le tracé. Le conduit se poursuit en amont du puits *52*, rencontre un dernier puits dallé situé sous une habitation, empli de décombres du temps de Jollois (1843), et se termine par une petite cavité karstique.
Un second conduit, long de 30 m, se raccorde au conduit principal au niveau d'un puits dallé à 23 m de l'entrée. Il se termine en amont par un puits fermé, plein d'eau.
L'architecture du conduit a été adaptée à la nature du terrain traversé et à la profondeur. Ainsi les parois sont constituées par des piédroits parementés ou par la roche. Le toit est successivement voûté, dallé puis formé par le substrat calcaire. Des entretoises ont été posées

dans les sections peu profondes des deux conduits pour renforcer la maçonnerie et lutter contre la poussée des terrains encaissants. La hauteur varie de 1,3 à 2 m, faisant de cette galerie l'une des plus spacieuses reconnues. 9 puits d'accès dont 8 situés sur le conduit principal ponctuent le parcours de cette galerie.
Jollois remarque que ces conduits malgré leur position avantageuse dans un fond de vallée « fournissent moins d'eau » que ceux de la Fontainotte. La concentration de puits sur un même conduit interpelle J.-P. Bertaux qui suppose en 1964 la présence d'un habitat antique en surface.

- Remarques

La comparaison des deux levés topographiques montre que des erreurs de mesure ont été commises. La prospection électrique des parcelles *14-15* a permis de localiser le passage du conduit et la position du puits d'embranchement (*cf* chapitre 4).

IV. 2. d. Zone D : Centre

- **Conduit D1-D2** (dit de l'église)

- Puits *48* (de l'église) (place des Halles, angle du clocher - communal) **:**

Ce puits communal utilisé jusqu'en 1963 (Bertaux 1964, 1979a) ne figure ni sur le plan de Jollois, ni sur le cadastre de 1887. Pourtant un point marque son emplacement sur le plan de Le Gendre (Caylus 1764). D'après la coupe ASDUN, il est profond de 5,4 m et a un diamètre de 1,6 m. La base du conduit se situe à une profondeur de 3,5 m.

- Puits *146* :

Il figure sur le plan de Le Gendre. Il correspond peut-être au puisard par lequel J.-P. Bertaux pénètre pour explorer le conduit D2 en 1964.

Le conduit exploré en 1964 est topographié en septembre 1973 (Bertaux 1964, 1974) à partir du puits *48*. Maçonné et voûté, il a probablement bénéficié des restaurations entreprises au 19ème siècle : une canalisation en fonte reprend son parcours. A 10 m du puits *48*, le conduit (1,45x0,65 m) marque une bifurcation au niveau d'une petite salle qualifiée par J.-P. Bertaux de « bassin de décantation » (Bertaux 1964). Trois arrivées d'eau y sont visibles dans les parois sud et ouest. A une distance de 8 m le conduit (1x0,6 m) fait un second coude, vers l'ouest, puis aboutit 28,5 m plus loin à une citerne située sous le passage de la Coulotte. Cette citerne voûtée, haute de 3 m (3x1,5 m), communique avec la surface par un regard d'accès. Elle est alimentée par un conduit impénétrable qui s'ouvre dans la paroi ouest (Bertaux 1964, 1974). C'est également ce que nous avons pu observer en janvier 2010.
En aval du puits *48*, le conduit se poursuit sur 33 m vers l'est en longeant l'église (Figure 62). Il est construit en petit appareil (1,2x0,6 m) ; le toit est voûté et le sol dallé est pourvu d'une rigole d'écoulement centrale. Le conduit se termine par un puisard (2x2 m) situé derrière l'église « à quelques mètres de l'entrée du conduit dit de l'abreuvoir ». J.-P. Bertaux pénètre par cette entrée en 1964 et remonte ainsi le conduit D2 sur « 90 m » (Bertaux 1964).

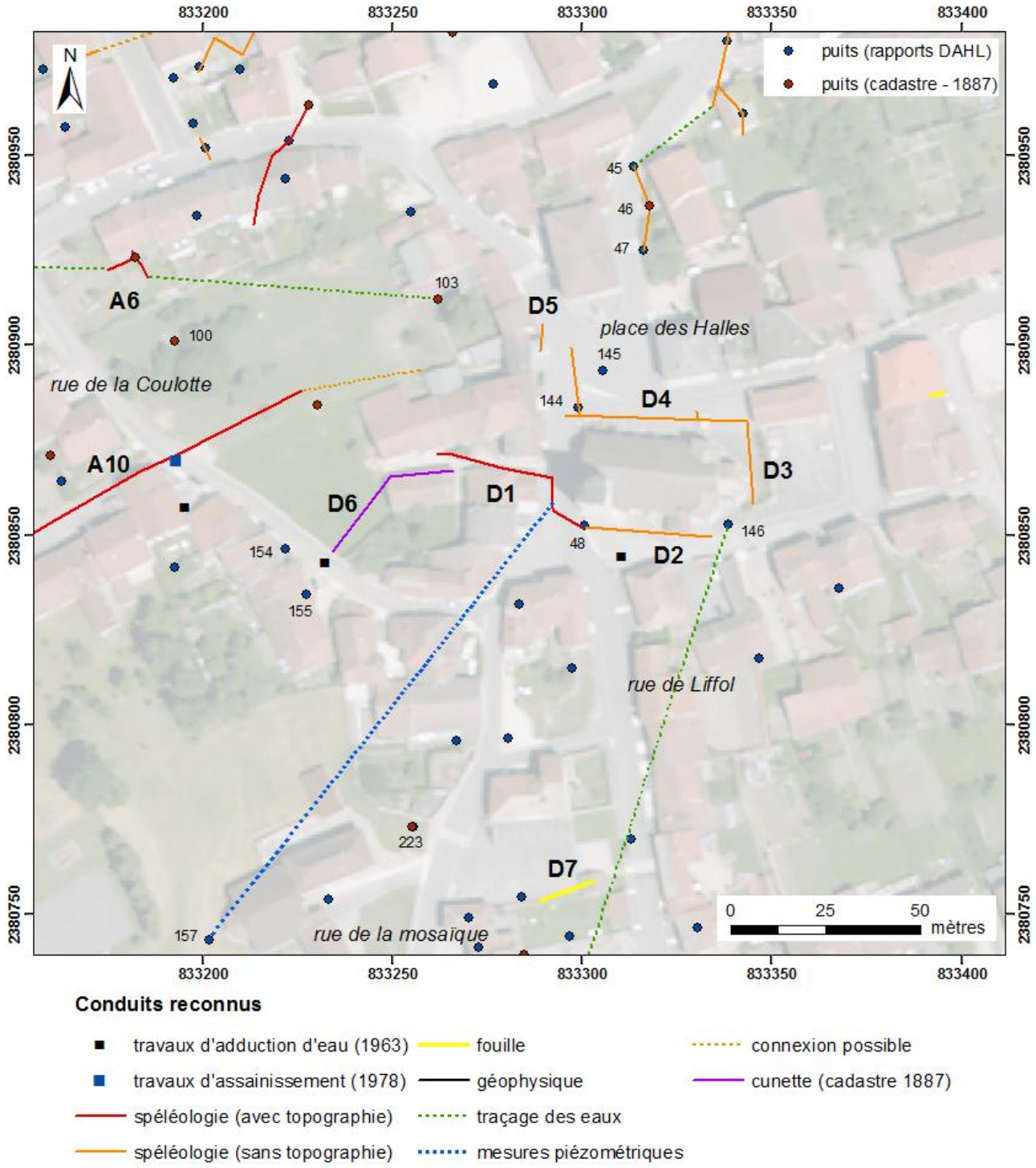


Figure 61. Localisation des conduits de la zone D (centre).

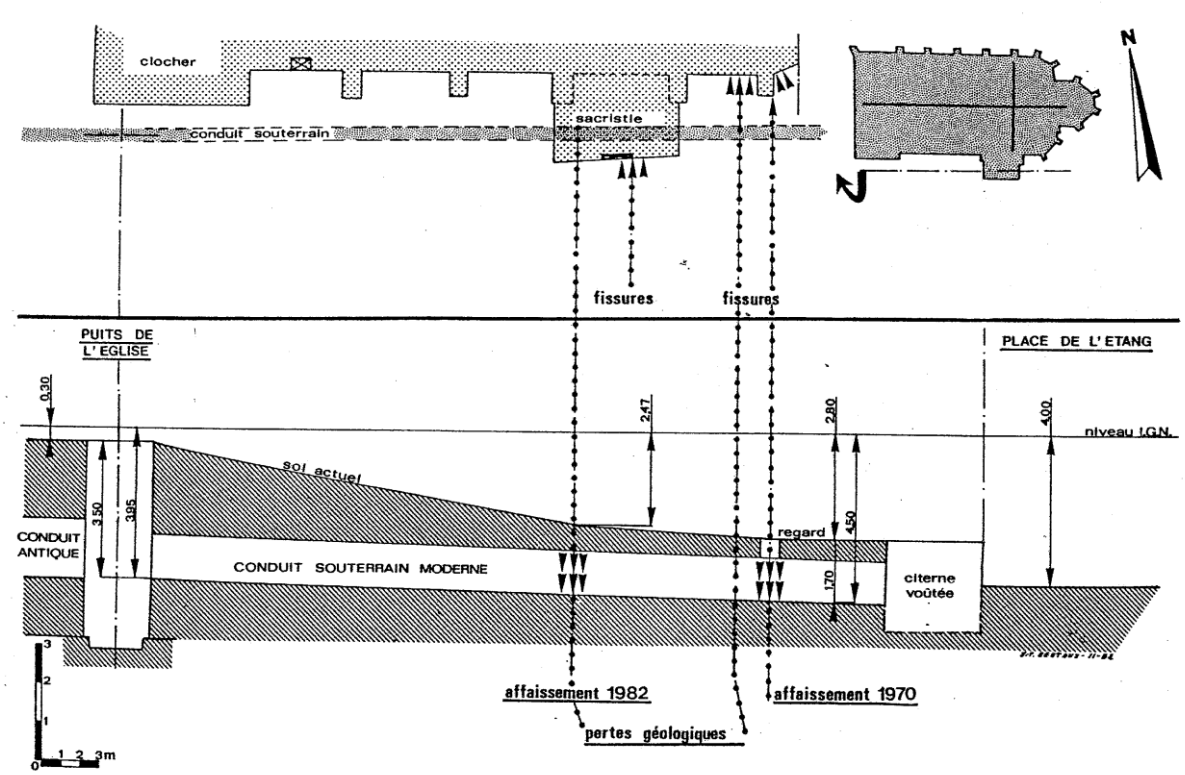


Figure 62. Coupe du conduit D2 situé au sud de l'église (J.-P. Bertaux *in* EDF 1990).

- Remarques

Seul le conduit amont a été topographié (50 m). Les données trouvées dans le rapport de 1964 et sur le plan topographique ASDUN sont concordantes.

Les distances fournies aboutissent à un total de 83 m et non 90 m comme l'indique J.-P. Bertaux.

La position du puisard n'a pas été vérifiée sur le terrain, elle est donc approximative sur le plan.

Le conduit aval (33 m) a été visité en 1964 mais se trouvait peut-être très dégradé en 1973 comme le suggère le schéma du rapport 1997. Il ne figure pas sur le plan de 1981, probablement car il fait partie du réseau moderne qui achemine l'eau vers les installations communales (lavoir, abreuvoir) (Bertaux et Delétie 1997).

Un traçage semble montrer une connexion entre la Fontainotte et le puits *146* (plan, Bertaux 1973).

- **Conduit D3** (dit de l'abreuvoir)

Ce conduit alimente les abreuvoirs publics situés en contrebas de l'église. Ils sont représentés sur les plans anciens et existent toujours actuellement. En 1964, J.-P. Bertaux donne une description sommaire du conduit. Il est construit en petit appareil, son sol est dallé avec une rigole centrale. Il est voûté et de section (1,2x0,6 m). Il est dit être en bon état en 1964 et communique avec le lavoir par une ouverture (0,2x0,3 m) créée au niveau de la rigole. Sa longueur est de 22 m (Bertaux 1964).

➢ Remarques

La localisation de ce conduit et de son accès est approximative.
Il ne figure pas sur le plan de 1981 et est donc associé au réseau moderne. Il communique avec les conduits D2 et D4.

- **Conduit D4** (dit du lavoir)

- Puits *144*

L'accès se fait dans le lavoir municipal. Le conduit est maçonné en petit appareil avec un sol dallé creusé d'une rigole d'écoulement. Son toit est voûté sur 8 m (1,1x0,6 m). Puis la hauteur de la section diminue à 0,6 m et le toit est dallé. Une arrivée d'eau est signalée à « quelques mètres » de là.
A 45 m de l'entrée, une canalisation reconnue sur 18 m se raccorde au conduit principal et draine les eaux d'une « source importante ». Sa section est trop étroite (0,3x0,3 m) pour poursuivre l'exploration bien que ses dimensions augmentent (0,5x0,4 m) à 3 m de distance. Un regard dallé de 1,5 m de profondeur (1x1 m) y est observé.
A 48 m de l'entrée, le conduit aboutit sur un regard haut de 2,5 m (1x1 m) « fermé en surface par une plaque de fonte ». Le conduit se poursuit au-delà mais est obstrué par un mur moderne (Bertaux 1964).

➢ Remarques

La localisation exacte du conduit n'est pas possible avec cette seule description. Il n'est pas reporté sur le plan de 1981 et est interprété comme un aménagement moderne (Bertaux et Delétie 1997).
D'après le schéma de 1976, le conduit principal longe la façade nord de l'église depuis le lavoir sur un axe est-ouest. Les deux conduits secondaires s'ouvrent dans la paroi nord.
Le premier se trouve à une douzaine de mètres de la mairie. Un sondage archéologique a d'ailleurs été réalisé en 1985 à proximité. En 1989, une anomalie détectée à l'EM31 dans ce secteur a été associée à un ancien conduit (EDF 1993) : l'interprétation fait probablement allusion à cette galerie.
Le second débouche à l'angle nord de l'église. Le regard mentionné correspond peut-être au puits *144*. Pourtant la carte de synthèse de 1981 qui distingue les regards d'accès aux galeries des simples puits n'en figure aucun. On sait par ailleurs que le Grand puits, rebouché, se situe également dans ce secteur, d'après la carte de Legendre et les plans d'interprétation de Bertaux (Bertaux et Delétie 1997). Toutefois, il est difficile d'identifier ces différents éléments et de déterminer s'il s'agit d'un unique et même puits. Le tracé du conduit a été placé très approximativement pour indiquer l'extension du conduit.
Une communication avec le conduit D5 de la petite Chapelle est envisageable.

- **Conduit D5** (dit de la petite chapelle)

L'entrée du conduit est reconnue en 1974 sur la place des Halles et a été dallée en 1975. En juillet 1976, un plan topographique (Bertaux 1976) partiel est dressé. Une section de 7 m est

désobstruée en juillet 1977. Le conduit, maçonné et voûté ou dallé (0,6x0,8 m), est rectiligne et comporte une « cuvette d'écoulement gallo-romaine » (Figure 63). Bertaux souligne son importance car il est le conduit connu le plus proche du point de convergence théorique des galeries (Bertaux 1977). La coupe ASDUN montre que la voûte du conduit se trouve à 0,3 m de la surface.

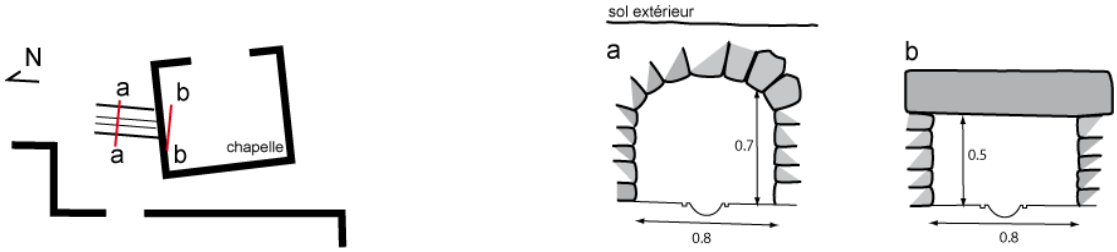


Figure 63. Position du conduit exploré D5 par rapport à la chapelle Sainte-Libaire située place des Halles. Topographie ASDUN (1976). Sections du conduit (coupes ASDUN 1976).

- Remarques

Le relevé topographique est incomplet.
Une « fontaine » est visible sur le cadastre de 1810 dans ce secteur.
On trouve une mention du conduit dans les notes de B. Counot.
J.-P. Bertaux signale à plusieurs reprises la découverte d'une arrivée d'eau importante à proximité de l'église. Il fait peut-être allusion à ce conduit ou au puits situé dans la cave du 1 place des Halles.

- **Conduit D6**

Le cadastre 1887 (feuille E4) représente une « cuvette communale » orientée SO-NE qui relie la route au passage de la Coulotte. Le drain est figuré en trait plein (sur 24,5 m) puis en traits pointillés (sur 18 m), signalant peut-être un parcours aérien puis souterrain ou simplement un tronçon explorable puis impraticable (typologie différente du conduit, diamètre de section réduit, *etc.*). Il s'interrompt au niveau de la citerne souterraine à laquelle aboutit le conduit D1.
Les croquis de Counot indiquent l'existence d'un « canal reliant le puits », à 8 m de l'angle de la maison (parcelle *351* - 5 rue de la Coulotte).

- Remarques

Le croquis de B. Counot situe le « canal » dans le prolongement de la « cuvette communale ». Leur position suggère donc qu'ils appartiennent tous deux à une unique structure raccordée à un puits (puits *155* ?) en amont. En aval, le drain semble aboutir à la citerne située dans le passage de la Coulotte. Les eaux canalisées rejoignent alors le conduit D1, évitant ainsi de s'écouler sur la place des Halles.
Le drain peut être une simple rigole d'écoulement de surface. Dans le cas d'un conduit souterrain, il correspond alors au conduit d'alimentation de la citerne dont l'ouverture est visible dans la paroi ouest mais de diamètre trop petit pour y pénétrer.
Ni le puits ni le conduit ne sont signalés sur le plan de synthèse de 1981. Il s'agirait alors d'un drain moderne.

- **Conduit**

En 1978, un conduit a été sectionné par la pelleteuse lors des travaux d'assainissement dans la rue de la Coulotte. Maçonné et voûté (1,8x0,6 m), il est envasé (+ gaz). Il est exploré sur 20 m (Bertaux 1978).

- Remarques

Sa position semble correspondre au passage du conduit A10 topographié en 1973 mais les dimensions des deux conduits ne correspondent pas. La hauteur de ce conduit est nettement supérieure à celle de A10 (0,6 m).
Le tracé de conduit n'est pas dessiné sur le plan de synthèse. L'orientation et la localisation de cette galerie ne sont pas connues. Il n'a pas été représenté sur la figure 61.

- **Conduit D7**

Un tracé figurant un conduit exploré est visible sur le plan de 1981 au lieu-dit *Rue du moulin*. On n'en trouve aucune mention dans les rapports d'exploration des galeries de J.-P. Bertaux. Au vu de sa position, il pourrait s'agir du « caniveau » découvert dans l'ancien jardin communal entre les rues de Liffol et de la Mosaïque.
Cette structure a été mise au jour sur 5,2 m par Toussaint en 1937 et dégagée sur 15 m par R. Billoret en 1962. Elle se trouve à une profondeur variant de 2,5 m à 1,5 d'ouest en est. Le fond est composé par de « l'argile tassée et compacte ». Une dalle pouvant appartenir à la couverture du conduit y a été relevée.
La fonction du conduit n'est pas identifiée mais son orientation perpendiculaire à la façade de la « basilique » le rattache à l'ensemble occupant le centre du site (Billoret 1962, 1963b, 1964).

- Remarque

Le tracé du conduit figuré sur le plan 1981 n'est associé à aucun puits d'accès. Cette absence de regard prend tout son sens si le conduit a été découvert dans une tranchée de fouille. Le report du « caniveau » dégagé par M. Toussaint sur le plan des galeries drainantes antiques semble donc confirmé.
Cependant on peut s'interroger sur les raisons qui ont motivé le report, sur le plan de synthèse, de ce drain fouillé tandis que le « caniveau » longeant la « basilique », également dégagé au cours de fouille, n'y figure pas.

IV. 2. e. Zone Est : Aval

- **Conduit E1**

En 1963 la visite d'une cave permet à E. Salin et à J.-P. Bertaux de reconnaitre une section de l'enceinte et de découvrir une structure en pierres tendres composée d'un arc de décharge clavé en plein cintre fermé par un linteau. Son dégagement met au jour l'année suivante un

conduit dallé (0,9x0,6 m) sous-jacent dont le passage a été aménagé dans les fondations du rempart (Figure 65). Il est aussitôt interprété comme un tronçon de la *cloaca maxima*. Il est exploré en 1964 sur 3 m (Bertaux 64), puis peut-être sur une vingtaine de mètres jusqu'à un effondrement localisé au niveau de la rue du Ruisseau selon Ch. Bertaux (1985).

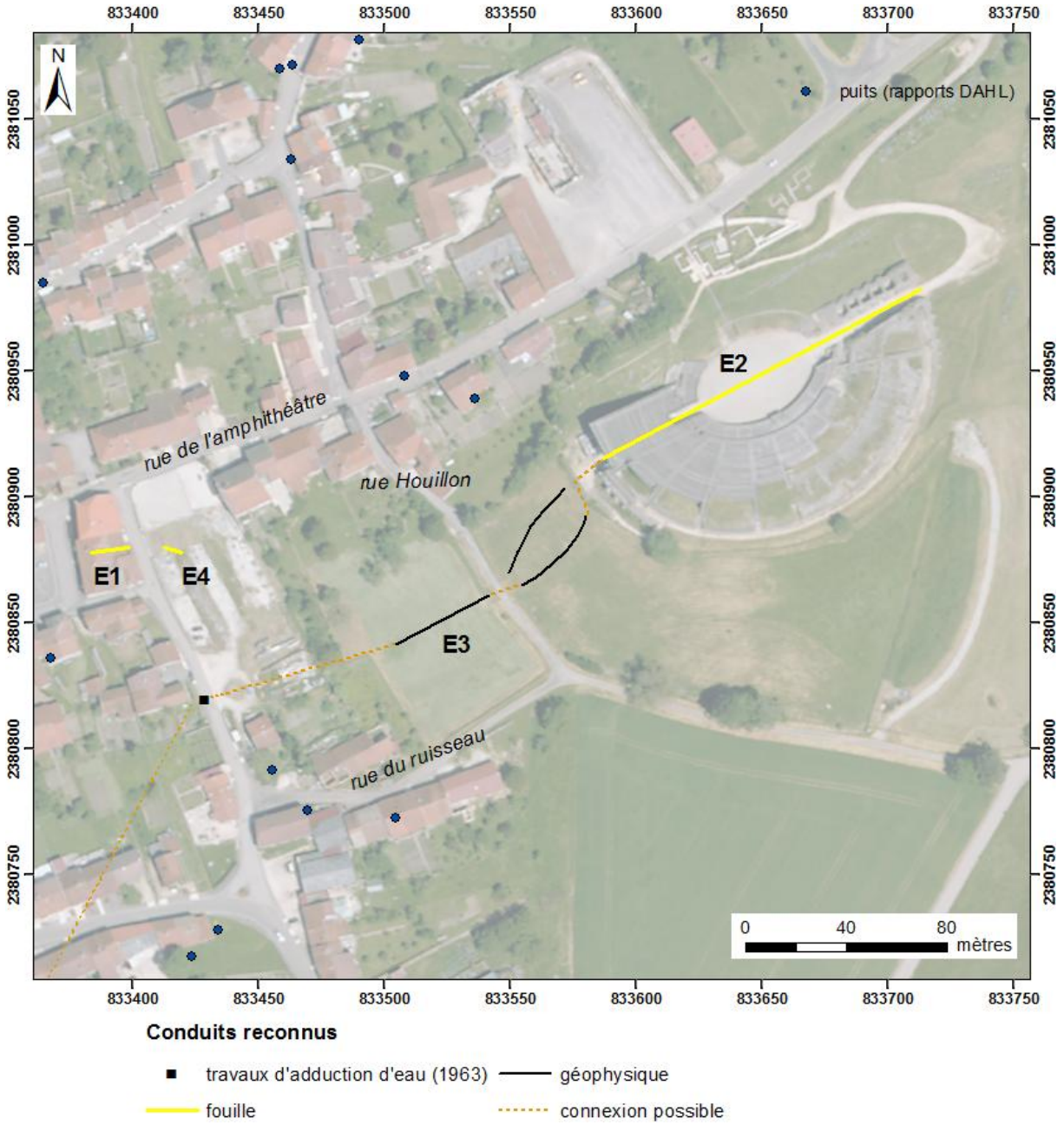


Figure 64. Localisation des conduits de la zone E (Aval).

Sa position est légèrement excentrée par rapport à l'arc voûté. Au travers du rempart qu'il franchit perpendiculairement, les parois sont constituées par des dalles et le sol est pourvu d'une cunette monolithe ; au-delà, les parois sont composées de moellons et le sol est dallé. L'entrée aurait été obstruée par l'effondrement du rempart à la fin de la période gallo-romaine (Ch. Bertaux 1985).

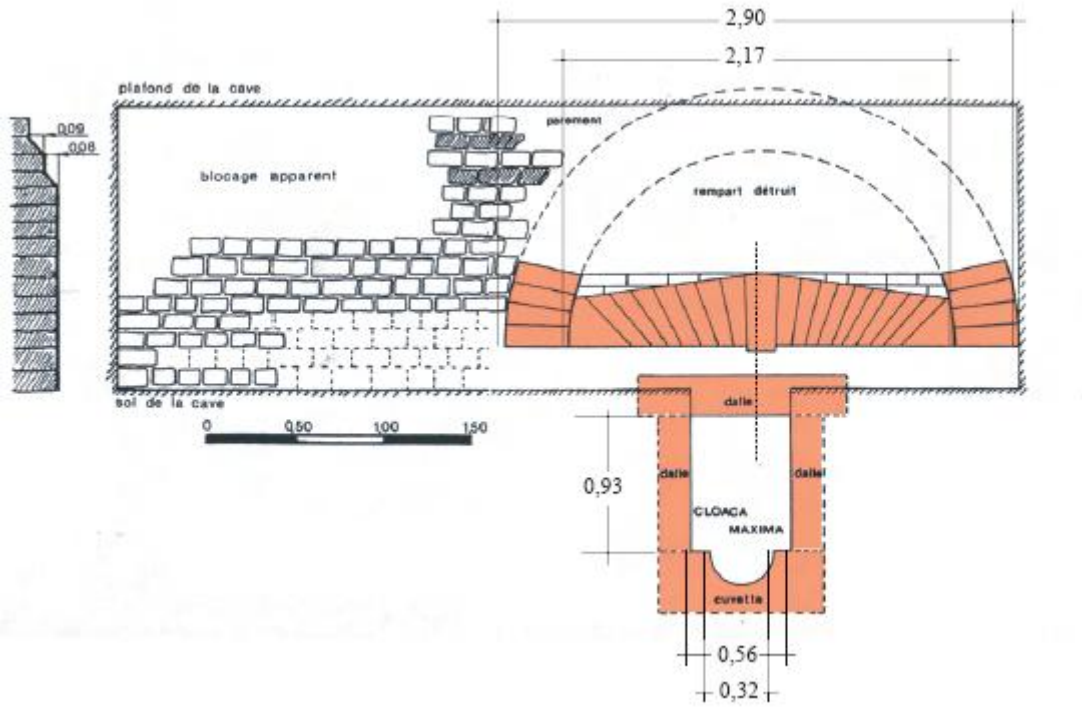


Figure 65. Coupe du conduit E1 au niveau de la courtine du rempart (section est). D'après une coupe de J.-P. Bertaux (Ch. Bertaux 1983) modifiée dans le dossier d'étude (2008).

- **Conduit E2**

Au cours des fouilles de l'amphithéâtre en 1820, Jollois découvre un « aqueduc parfaitement conservé » sous le grand corridor. Le conduit, dallé, (1,6x1,1 m) est dégagé sur 30 m dans la partie centrale (1) tandis que des « traces à l'extrémité » orientale de l'édifice sont repérées. La section y est voûtée (2) (Figure 66). Jollois suppose qu'il ne s'agit pas seulement d'un drain évacuant les eaux de ruissellement de l'amphithéâtre mais bien d'un « des principaux cloaques (...) de l'ancienne ville » (Jollois 1843).

Le conduit antique est dégagé sur toute la longueur du corridor en 1965 lors des travaux d'assainissement (Figure 67). La canalisation moderne est installée à l'intérieur de l'égout antique dont le comblement est évacué à l'aide de moyens mécaniques, sans surveillance archéologique. Les éléments qui ont pu être récupérés dateraient son abandon au 4ème siècle.
Un sondage, réalisé en 1963 à l'extrémité ouest du corridor, permet de découvrir « un parement extérieur de construction circulaire en petits moellons bien appareillés pouvant appartenir à un bassin de chute ». Cette structure servirait à corriger la dénivellation existant à l'ouest de l'amphithéâtre et à rattraper le niveau de circulation du corridor. Cette solution a été choisie pour le passage du collecteur moderne, confronté au même problème, et un bassin de chute de 6 m de hauteur a été construit (Ch. Bertaux 1985).

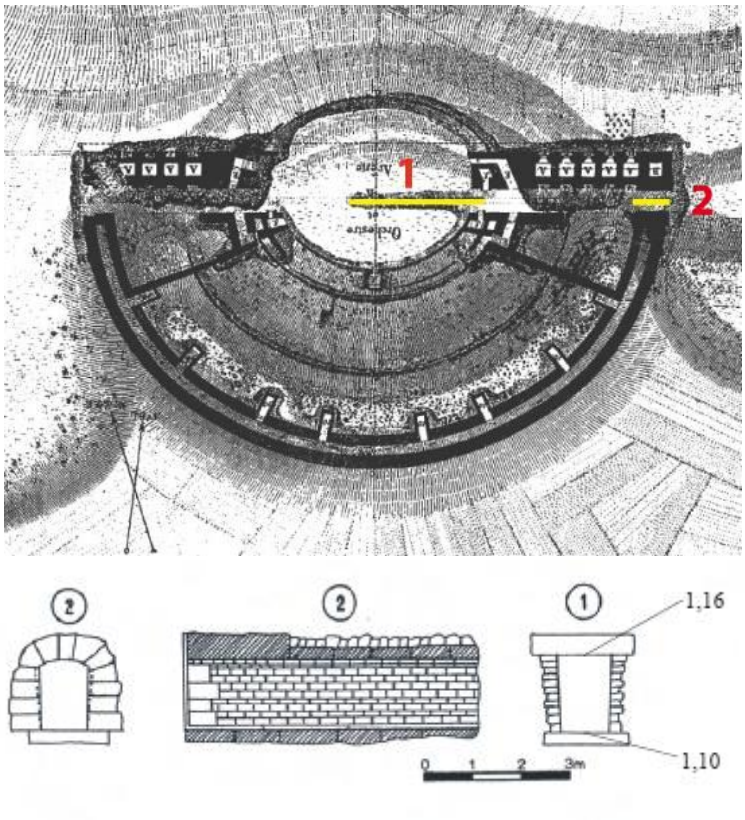


Figure 66. Conduit E2 dégagé au cours des fouilles de l'amphithéâtre par Jollois. Position de l'« aqueduc au-dessous du sol de l'orchestre ou arène, servant en même temps de réceptacle pour les eaux de la ville et pour celles de l'amphithéâtre ». Coupes du conduit sur les tronçons 1 et 2 (d'après les planches 4 et 5, *in* Jollois 1843).

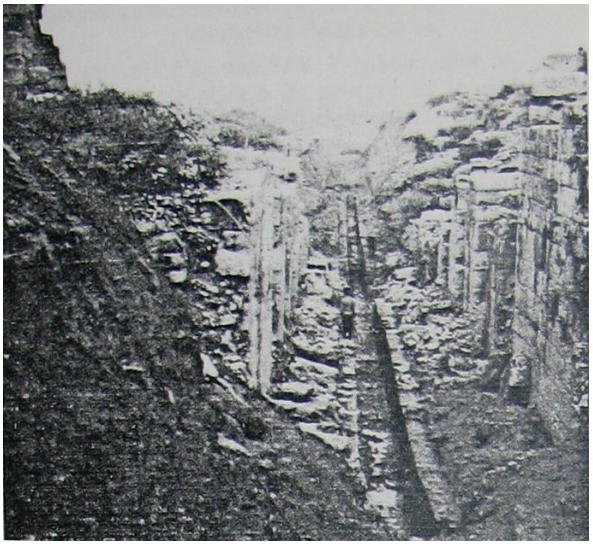


Figure 67. Vue de l'égout antique dégagé dans le corridor de l'amphithéâtre en 1965 (Ch. Bertaux 1985).

A l'occasion des travaux de restauration et de mise en valeur de l'amphithéâtre en 1994-1995, plusieurs tranchées sont ouvertes dans l'arène pour le passage de câbles électriques et pour la pose de drains d'évacuation des eaux de ruissellement raccordés au tout-à-l'égout. La fouille préventive, dirigée par M. Milutinovic, met en évidence l'existence de drains antiques,

« constitués de pierres calcaires d'un module rectangulaire disposées en hérisson dans une tranchée ». Les vestiges ont souffert des travaux de déblaiement de l'arène et la plupart des pierres ont été déchaussées. Bien qu'aucun élément datant n'ait été trouvé, M. Milutinovic suppose que ces drains ont été établis au moment de la construction de l'édifice et se raccordent à l'égout central.

L'égout antique a été observé dans les sondages de l'arène (Figure 68). Les parois sont composées de massifs d'1,2 m d'épaisseur formés d'assises régulières de gros moellons calcaires dont les lits se prolongent dans le blocage. Les pierres sont liées avec de l'argile grise verdâtre. Les dalles de couverture et la partie supérieure des deux massifs ont été arrachées par les engins mécaniques en 1964. Le remplissage a été remployé en partie pour stabiliser la partie inférieure de l'égout moderne. Aucun matériel n'a été retrouvé car le sol d'origine a été décaissé mais des sondages effectués en 1984 et 1986 par A. Olivier ont montré la contemporanéité de la construction de l'égout et de l'amphithéâtre. En amont du corridor, côté ouest, la paroi sud de la *cloaca* se situe dans le prolongement de la paroi du couloir axial, confortant l'hypothèse de contemporanéité des structures. Très abîmé par les terrassements anciens, des pierres du parement interne, portant des traces de mortier de tuileau, ont été retrouvées dans le niveau de remblai de comblement des travaux de pose du tout-à-l'égout (Milutinovic 1996).

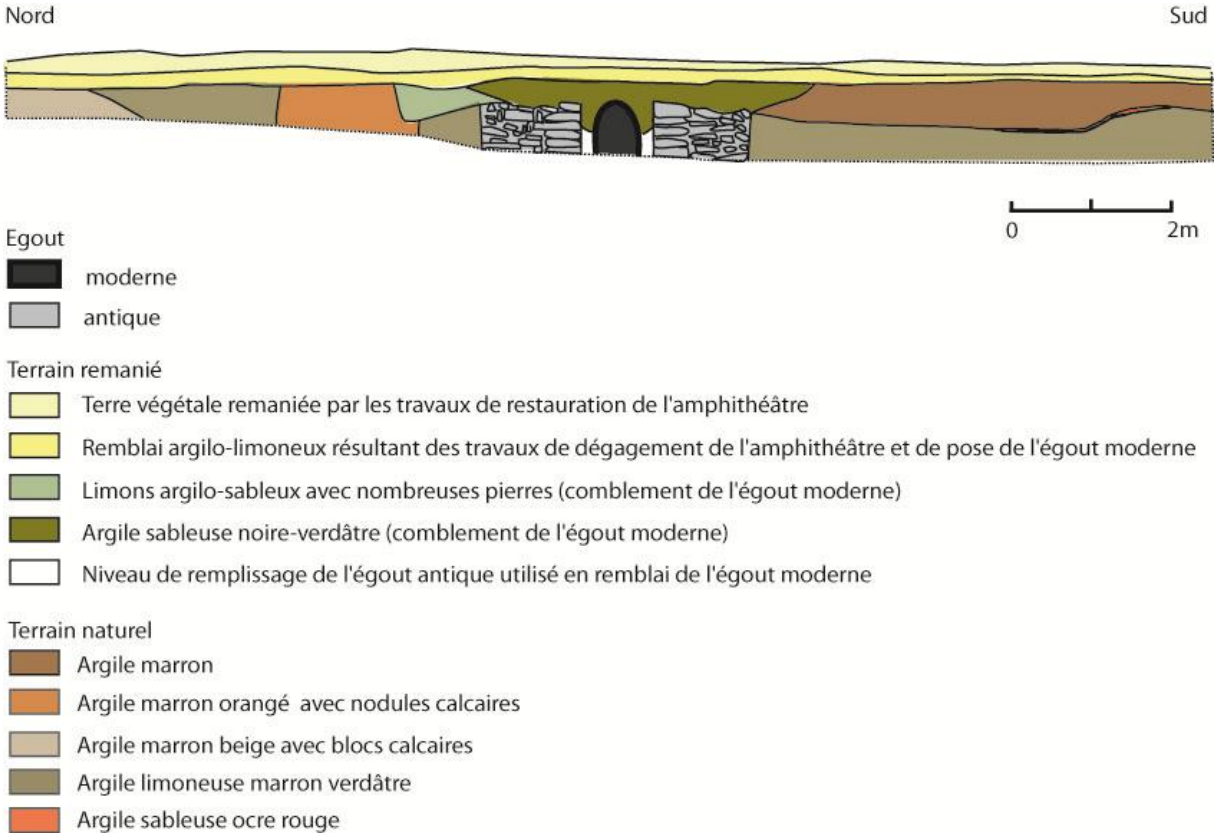


Figure 68. Coupe stratigraphique N-S du sous-sol de l'arène. Sondage réalisé en 1995 (tranchée d'alimentation électrique) sur le tracé de l'égout antique C2. D'après Milutinovic 1996.

- **Conduit E3**

Le passage de l'égout moderne a été cartographié en prospection géophysique (*cf* chapitre 4). Des anomalies linéaires ont été détectées et pourraient correspondre à des drains.

- **Conduit E4**

En 2010, une canalisation antique est dégagée sur une longueur de 6 m, au cours des sondages de la parcelle *805* dirigée par T. Dechezleprêtre. Les parois maçonnées, hautes de 1,8 m, sont espacées de 0,8 m à la base et 1 m au sommet. Elles sont constituées d'un blocage soigneux de blocs de taille variable, larges d'un mètre et taillés en façade. L'assise supérieure est formée de blocs (longueur 0,7 m, largeur 0,2-0,4) m placés en boutisse sur un seul rang, de manière à supporter le poids de la couverture. Deux dalles calcaires formant un carré de 2 m ont été trouvées en couverture. Elles sont épaisses de 0,2 à 0,3 m et seule la face supérieure a été traitée. Le fond du conduit est constitué par la roche grossièrement taillée. L'étanchéité des piédroits est assurée par un liant d'argile orangée. L'étude du comblement du conduit révèle la succession de plusieurs types de dépôts, résultant de l'alternance de phases de circulation d'eau (sédiments à la granulométrie variable) et de phases de comblement forcé (rejets anthropiques) (Dechezleprêtre *et al.* 2010). Les résultats de la fouille 2011 viendront compléter ces premières observations.

- Remarque

Les conduits E1, E2 et E4 présentent un type de construction très semblable. Les tronçons E1 et E4, distants d'une vingtaine de mètres, appartiennent vraisemblablement au même drain (aqueduc ou égout) qui rejoint la *cloaca* E2, située sous le grand corridor de l'amphithéâtre, à quelques 170 m de là.

IV. 2. f. Bilan

L'inventaire des conduits drainants révèle la complexité du réseau souterrain, qui comprend des drains antiques et des aménagements modernes et contemporains réemployant partiellement d'anciens conduits. Plusieurs observations peuvent être faites.

- Identification des structures et géoréférencement

Les archives d'exploration consultées sont sommaires et peu exhaustives. Elles ne permettent ni de déterminer avec certitude l'appartenance d'un conduit au réseau antique ou au réseau moderne, ni d'établir de description précise des tronçons reconnus. En conséquence, le géoréférencement à partir de ces documents s'est avéré impossible et l'analyse au sein du SIG difficile.
Les levés topographiques disponibles ont été géoréférencés mais présentent des erreurs. A défaut de plan topographique, le tracé des conduits a été vectorisé en respectant les longueurs données et calé à partir de points de contrôle connus (puits). Du fait d'une trop grande imprécision, le résultat, présenté en figures 69 et 70, renseigne sur la **position approximative**

des conduits mais ne constitue pas une image géoréférencée. Certains tronçons dont la liaison est établie peuvent ainsi apparaître déconnectés sur les figures présentées (exemple : cas des conduits de l'église et de l'abreuvoir) car le report des longueurs a été privilégié au détriment des raccordements.
Le recoupement des différentes informations a permis de restituer le **développement du réseau exploré**. Les publications récentes n'apportaient en effet aucune distinction entre les segments reconnus et les connexions hypothétiques. Malgré de possibles erreurs de notre part dans l'identification des structures et d'éventuels oublis, les conduits qui figurent sur la carte de synthèse réalisée en 1981, à l'issu des campagnes d'exploration, ont tous été identifiés.
Les drains de petite taille dégagés au cours des fouilles récentes ou passées (de la parcelle communale, de l'amphithéâtre, de la rue de l'amphithéâtre, de la « basilique », *etc*.) n'ont pas été intégrés, à l'exception du conduit découvert sur le parking de la mosaïque et du conduit mis au jour sur la parcelle *805* en 2010.

- Développement

A partir des rapports, on déduit que 1160 m de conduits aménagés par les Romains ont été explorés. En ajoutant les longueurs des conduits dont la datation est incertaine (par exemple le drain Paramel C2), le total est porté à 2040 m.
Des connexions hypothétiques (1300 m) peuvent être définies entre tronçons antiques. Elles sont représentées en pointillés et sont établies à partir des traçages anciens (par exemple dans la Grande rue, dans la rue des Roises, en travers de la parcelle La Place, etc.), des types de sections semblables (par exemple les galeries situées dans la combe La Roche), de textes anciens (par exemple souterrain Jollois). Le développement du réseau antique exploré restitué atteint alors 3340 m.
En raccordant tous les drains au collecteur de l'amphithéâtre, l'aménagement antique atteint 3500 m de conduits, ramenés à 2900 m si le drain Paramel est moderne sur toute sa longueur.
L'ensemble des conduits décrits par J.-P. Bertaux, mêlant drains modernes et drains antiques, et de leurs connexions hypothétiques atteint une longueur totale de 4 km.
500 m de conduites d'assainissement, cartographiées en prospection géophysique, ont été figurés dans la partie sud du site mais n'ont pas été pris en compte dans les calculs précédents.

On constate donc qu'un développement de 3,5 km de conduits connectés, probablement aménagés à l'époque antique, est attesté dans les archives. Sur ce total, la longueur explorée est comprise entre **1,2 et 2 km**, ce qui représente la longueur aménagée antique effectivement reconnue. La possibilité d'avoir inclus des conduits du réseau moderne peut minimiser ce total.

Le développement cumulé du réseau hydraulique antique pris dans son ensemble, incluant les petits drains mis au jour par la fouille et de possibles prolongements, atteint sans doute une valeur supérieure. Mais le total auquel nous parvenons reste très inférieur aux estimations publiées (7 km de conduits reconnus sur 15 km supposés) alors que la carte résultante de l'ensemble du réseau reconnu (Figure 70) est semblable à la carte de synthèse d'exploration (Bertaux 1981) publiée en l'état (Bertaux *et al.* 1993a, Delétie *et al.* 1994).

Conduit	Profondeur (m)	Longueur (m)	Section (H x l) (m)	Topographie
A1	7 min	32	0,5 x 0,4 - 1	oui
A2	8	40 (aval Perrin) 13 (amont)	1 - 1,7 x 0,5	oui -
A3	6 min	-	-	-
A4	6-7 ou 7-8,2	34 (amont pts *10*) 24 (aval)	1 - 1,5 x 0,5-0,6	oui -
A5	-	35 + 18	-	-
A6	6	16,5	1 x 0,35	oui
A7	8	-	1,2 x ?	-
A8	6,5 min	32	1 x 0,6	-
A9	6 - 7	32	1,4 x 0,5	oui
A10 : puits *75-222* Aval puits *222*	3,5 - 4 1	65 133	0,75 - 1,3 x 0,6 0,6 x 0,6	oui oui
Puits *205*	-	10	-	-
B1	1,5 min (cave)	28 + 4 + 0,5	1 x 0,8	-
B2	cave	10	-	-
Souterrain Durand	cave	5	1,3 x 1	
B3	9 min	17 + 12		oui
B4	-	18	-	-
B5	6 - 8	65 + 10 + 8	1 x 0,5	-
B6	11	15 ?	-	-
B7	-	15 ?	-	-
B8	3 8	30 ?	-	-
B9	-	-	-	-
B10	9 - 10	25	-	-
B11	8	10	-	oui
C1	2 - 6 env	300	0,6 - 1,1 x 0,6	oui
C2	2 - 5 min	375 11	1,1 x 0,5 1,8 x 0,9	oui oui
C3	2 -6 env	137	1,7 x 0,6	oui
D1	3 - 4	50	1-1,45 x 0,6	oui
D2	2 – 3,5	33	1,2 x 0,6	-
D3	-	22	1,2 x 0,6	-
D4	2,5 max	48 + 18	0,6 - 1,1 x 0,6	-
D5	1 env	7	0,6 x 0,8	
D6	-	24,5 + 18 ?	-	-
D7	1,5 - 2,5	15	-	-
E1	cave	3 ou 20 ?	1 x 0,6	-
E2	1 - 2	140	1,6 x 1,1	-
E4	?	6	1,8 x 1	oui
Bilan	1 - 11	2000	0,4 - 1,8 x 0,5 - 1,1	-

Tableau 10. Synthèse des données relatives aux conduits : profondeur, longueur et section moyennes, à partir des archives d'exploration (1964-1981) et des mesures 2010. Les plans topographiques existants sont indiqués.

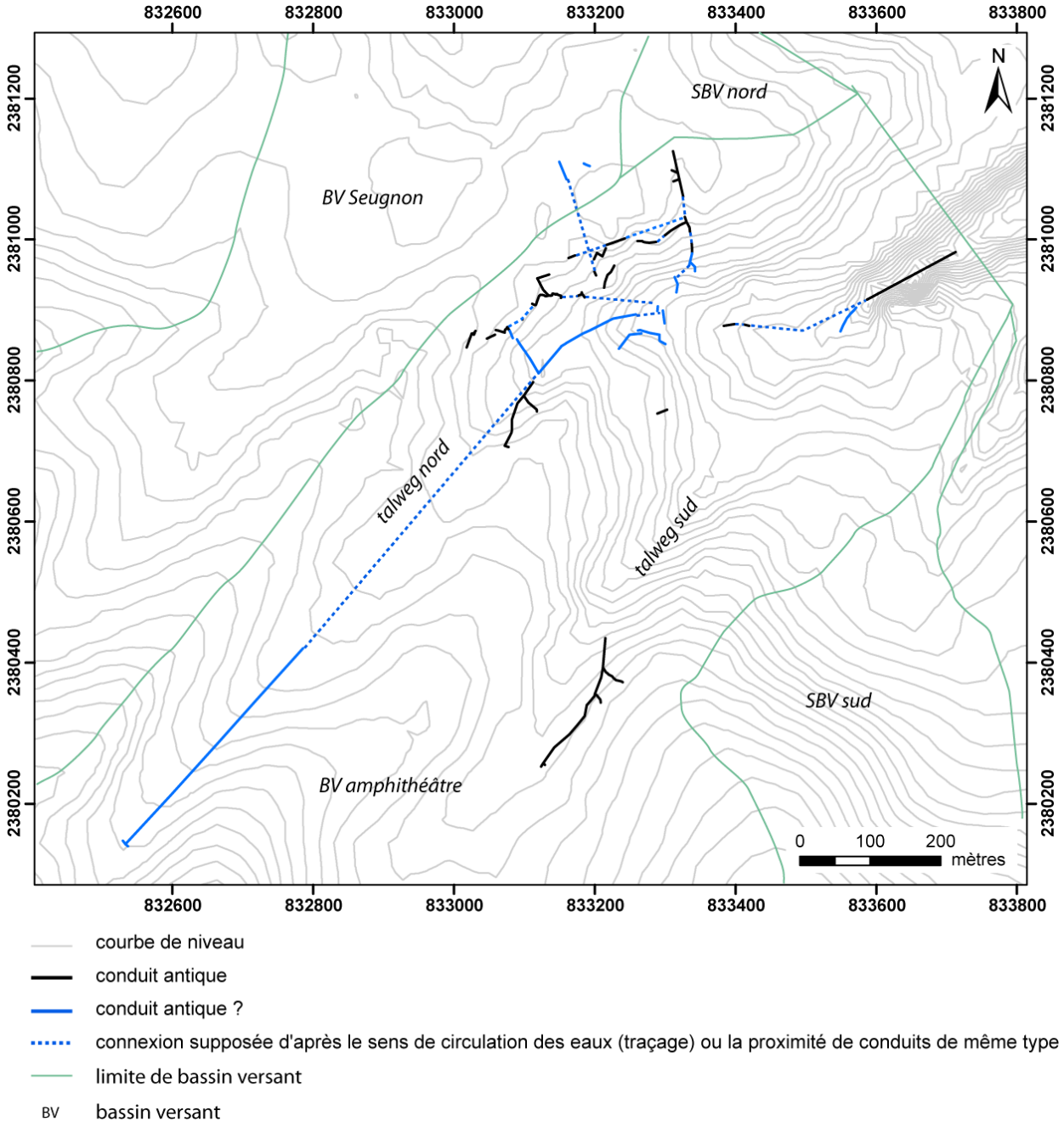


Figure 69. Carte de synthèse : état du réseau souterrain antique exploré à Grand. Localisation des conduits signalés dans les archives d'exploration (Bertaux, 1964-1981). Géoréférencement approximatif en l'absence de levés topographiques précis.

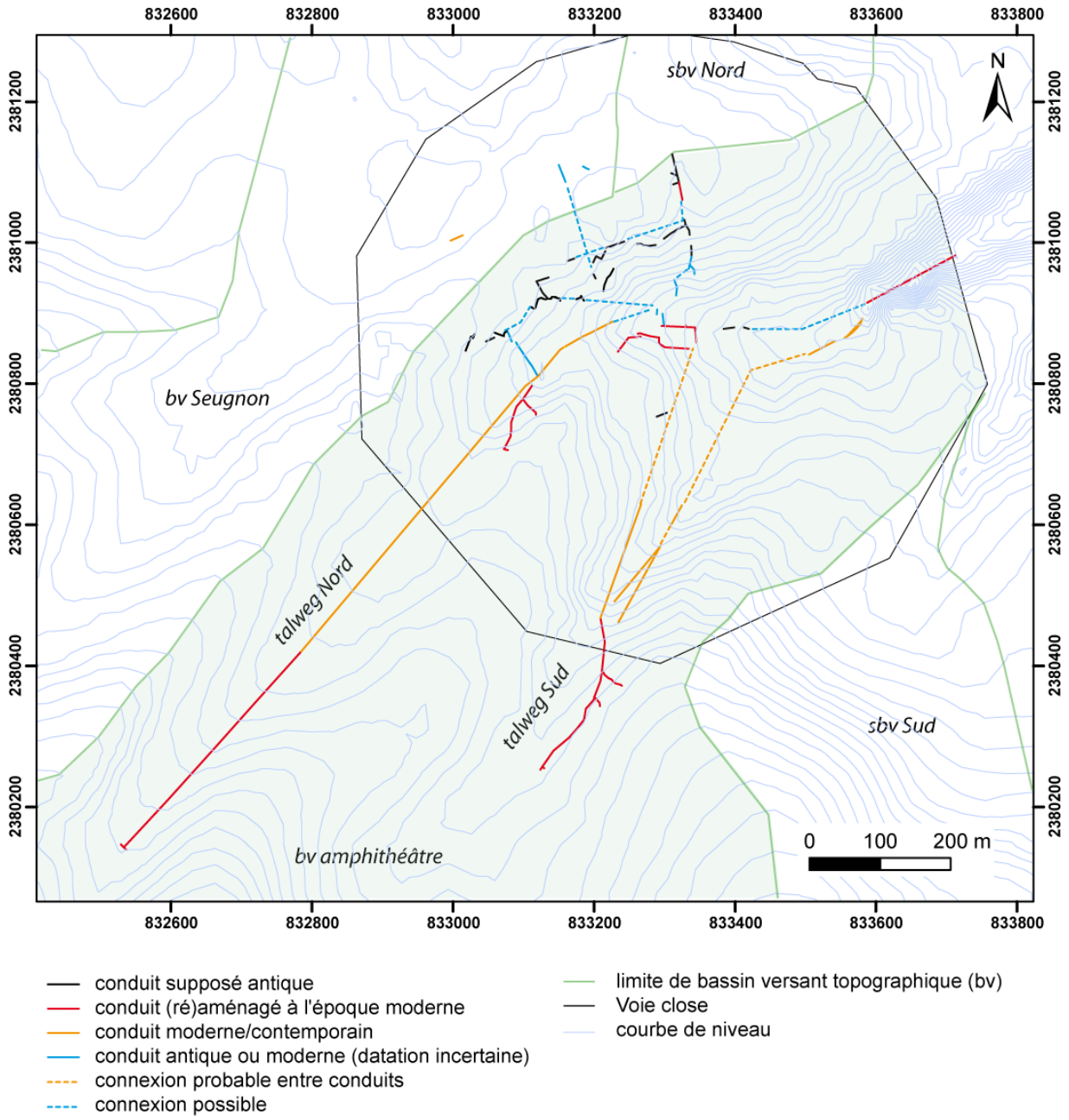


Figure 70. Carte de synthèse : état du réseau souterrain reconnu à Grand. Localisation des conduits signalés dans les archives d'exploration (Bertaux, 1964-1981) et détectés par prospections géophysiques. Géoréférencement approximatif en l'absence de levés topographiques précis. En pointillés : les connexions probables entre tronçons connus.

- Profondeur

D'après les observations de terrain et les descriptions des archives, les conduits sont rencontrés à des profondeurs variables et la pente adoptée semble faible (moins de 2%). En partant de l'hypothèse de conduits sub-horizontaux, un nivellement des tronçons a été réalisé à partir des moyennes des profondeurs supposées (données d'archives) et des altitudes en

surface (estimée à partir des données LiDAR). Le Tableau 11 en présente la synthèse par secteurs géographiques.

Secteur	Côte approximée (m NGF)
Paramel amont (C2)	388
Fontainotte (C1)	384
Groupe scolaire (C3)	381
Grande rue	380-377
Rue des Roises	379
Rue de la Moucherie	375
Passage Coulotte	378
Eglise	375

Tableau 11. Regroupement des tronçons explorés en fonction de leur côte altimétrique. Les valeurs sont approximatives en l'absence de relevé topographique.

La décroissance des côtes d'amont en aval montre que l'eau drainée par les conduits suit un même niveau incliné vers la combe La Roche. La profondeur des puits et des drains a été adaptée à la topographie du terrain pour atteindre ce niveau, rendant possible l'acheminement de l'eau, par gravité, à l'intérieur du site. Ce niveau correspond peut-être à un banc de marne. La présence de marne a bien été observée dans certains conduits mais les indications manquent pour situer l'extension de ce banc sous le village.

- Fonction

La fonction de ces conduits n'est pas encore déterminée. Les descriptions ne permettent pas d'identifier les conduits à des drains, des aqueducs ou à des égouts. L'aménagement n'étant pas saisi dans son ensemble et les relations avec les quartiers ou bâtiments publics n'étant pas encore connues, il est difficile de départager les conduits selon leur appartenance au système d'alimentation ou au système d'évacuation des eaux. Seul le conduit situé sous l'amphithéâtre, en position basse, peut être considéré comme un égout. Il collecte les eaux usées ayant circulé dans le sous-sol de l'agglomération et les rejette probablement dans le vallon (zone d'épandage).

IV. 3. Circulations souterraines

IV. 3. a. Abords de l'église

Entre février et septembre 1990, un suivi piézométrique a été réalisé par V. Bertaux, B. Haguenauer et L. Masson portant sur une douzaine de points répartis autour de l'église et sur les puits dits « devant la mosaïque » et « derrière la mosaïque » (Figure 72) (EDF 1990, 1993 ; André *et al.* 1991). Les résultats mettent en évidence, lors d'épisodes pluvieux exceptionnels (fortes pluies des 15 et 28 février 1990 par exemple), les variations importantes

du niveau d'eau, la rapidité et le synchronisme de mise en charge entre les points « derrière la mosaïque », « abside » et « sortie puits de l'église », et dans une moindre mesure « puits de l'église », « étang », « 1er pilier » et « panneau » (Figure 71). Les mesures obtenues lors de l'orage du 13/08/90 montrent également des variations significatives dans tous les forages situés autour de l'église. Sur le reste de l'année, les petites pluies ont un impact faible sur le niveau hydrostatique.

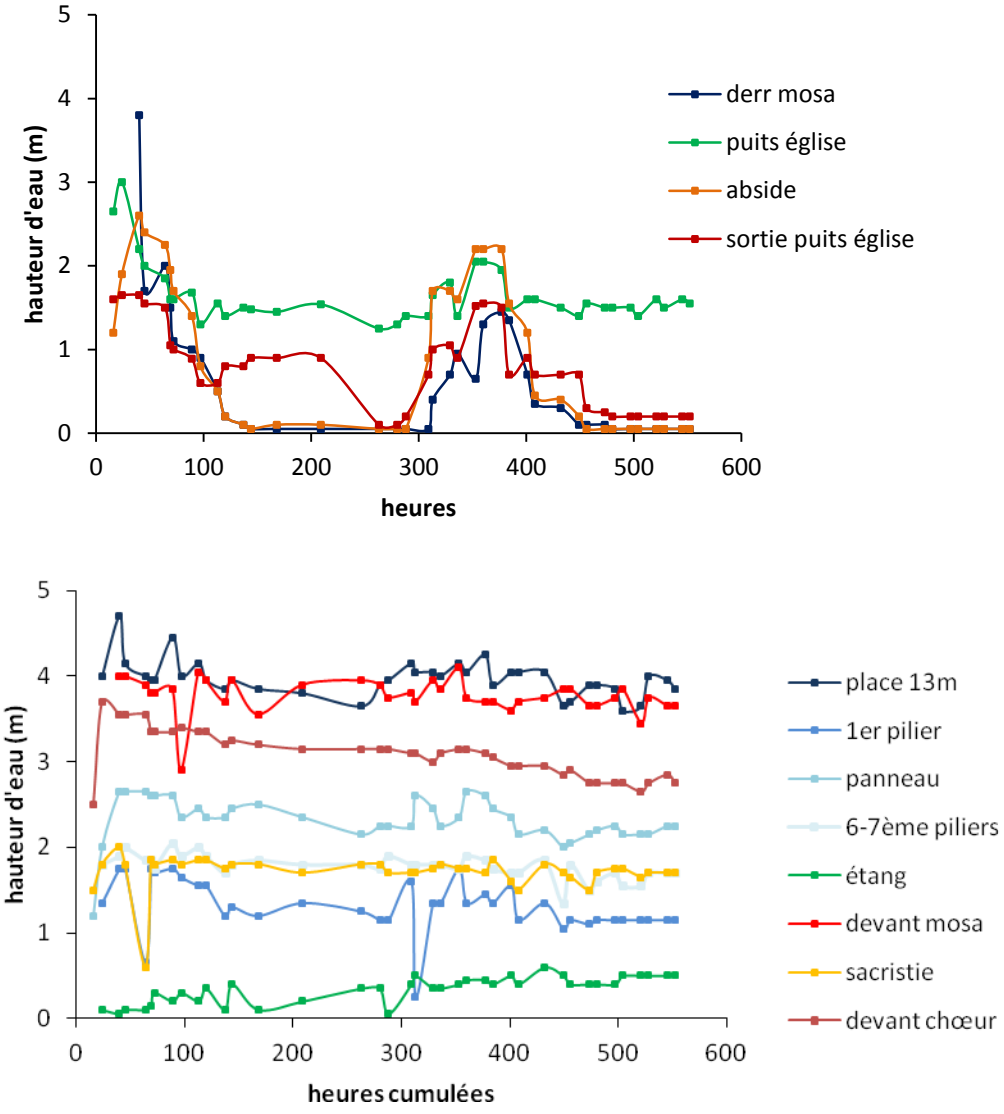


Figure 71. Variations piézométriques relevées autour de l'église et de la mosaïque, entre le 15/02/90 et le 10/03/90 (V. Bertaux). D'après les données fournies par le dossier EDF (1990).

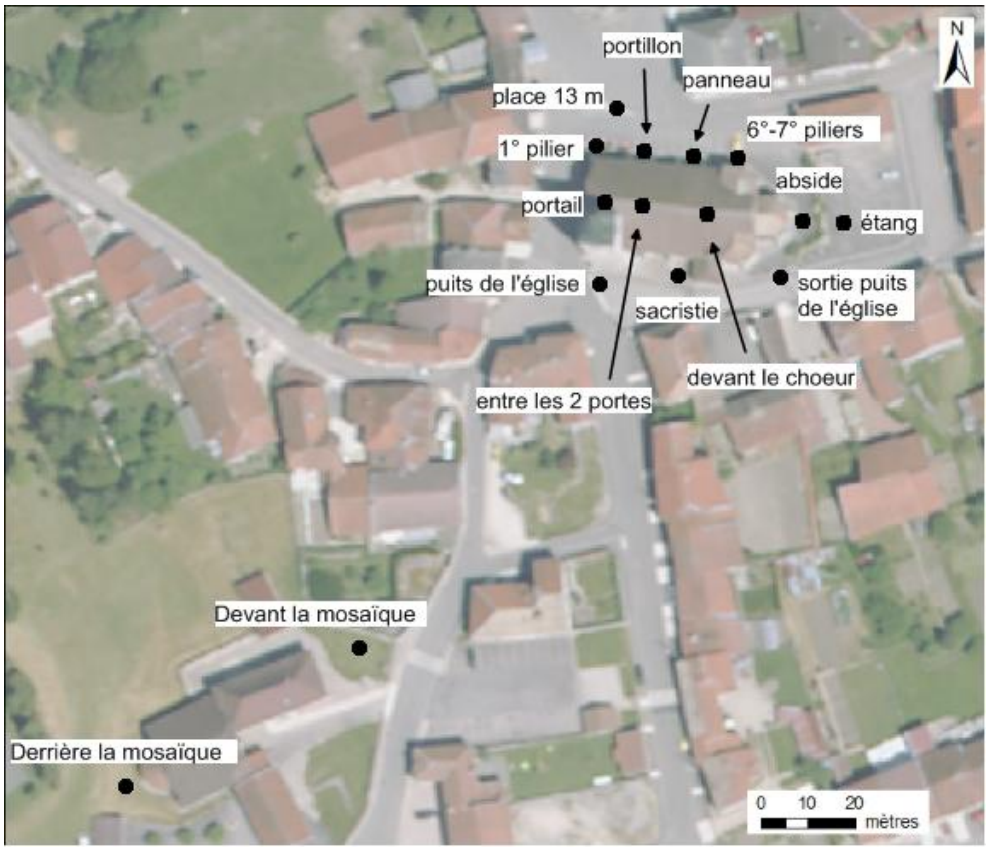


Figure 72. Localisation des forages et puits étudiés autour de l'église et de la mosaïque en 1990.

Des mesures de conductivité et de température de l'eau ont été réalisées aux mêmes points en septembre 1990 par L. Masson (EDF 1990).

D'après les cartes de conductivités (Figure 73-a), il est possible d'isoler un groupe de forages à l'angle NO de l'église pour lesquels les valeurs mesurées sont supérieures à 1200 µS/cm. Les autres valeurs se répartissent entre 300 et 600 µS/cm mais il n'est pas aisé de trouver des tendances d'après les variations observées sur les 4 jours. On constate de plus dans l'un des forages situés à l'angle NO de l'église, que les mesures faites en surface et au fond entraînent des différences très importantes, susceptibles de fausser les interprétations (75,2 µS/cm en surface / 1570 µS/cm au fond). Des remarques sur le caractère douteux de certaines mesures ont par ailleurs été notées dans le dossier EDF (1990). Ces incertitudes sont peut-être liées à la période de levé (fin de l'été).

D'après les cartes de températures (Figure 73-b), les valeurs relevées autour de la mosaïque sont faibles (eau froide). Autour de l'église, les valeurs sont plus élevées (12,5-15°C) et peuvent atteindre 17°C.

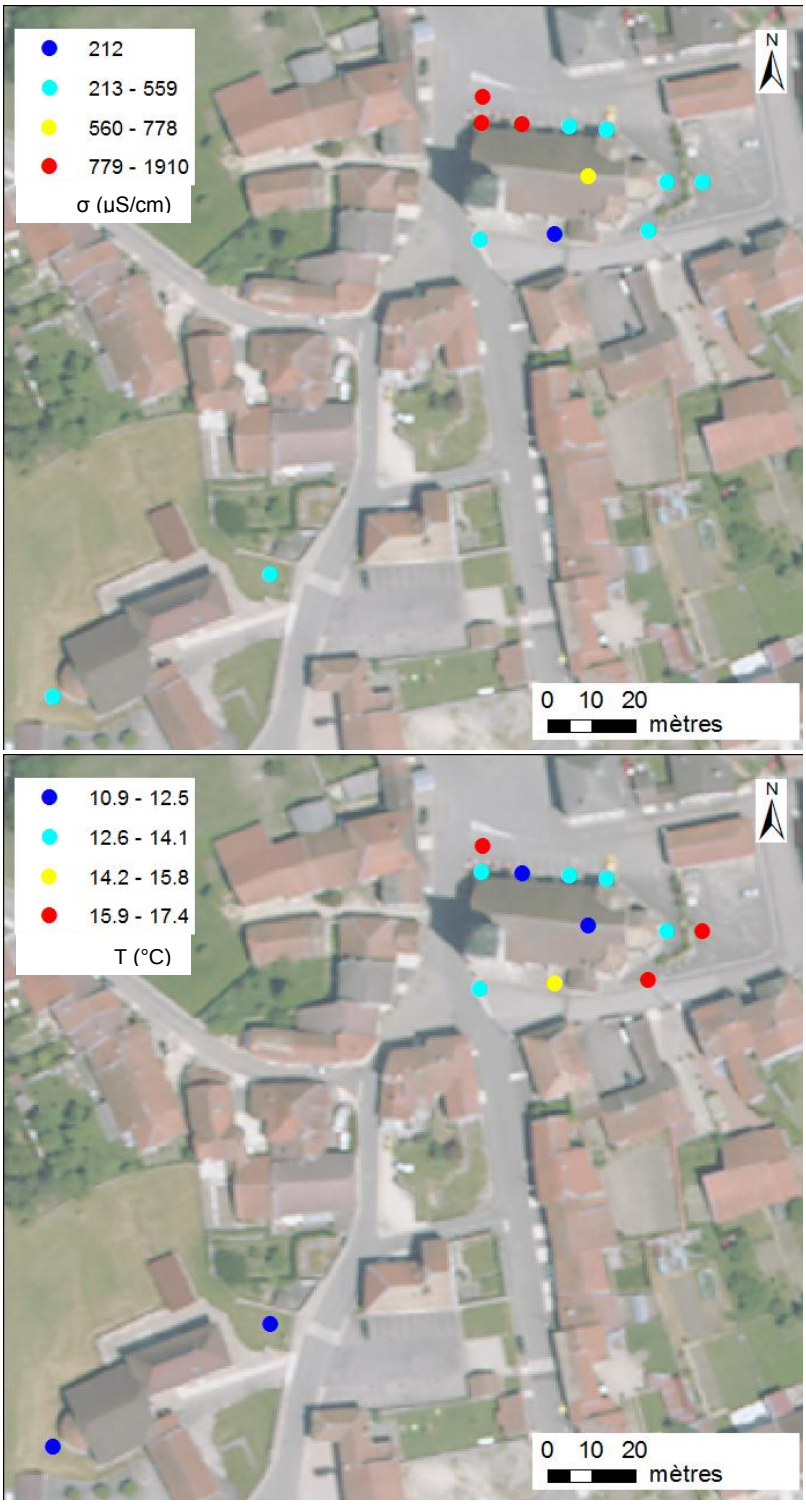


Figure 73. a. Conductivités et b. températures de l'eau relevées aux abords de l'église et de la mosaïque, le 18/09/90 vers 15 h par L. Masson. D'après les données EDF 1990.

Les publications ont conclu à deux arrivées distinctes :

- à l'angle NO : une eau chaude et très conductrice qui circule vers l'est en contournant le bâtiment,
- à l'angle SO : une eau froide et moins conductrice, qui chemine à l'ouest de la mosaïque et sous l'église et se mélange avec la première eau.

Cette interprétation se base sur les éléments connus du réseau souterrain. En effet, un conduit impénétrable orienté SO-NE traverse le puits dit « derrière la mosaïque ». Par ailleurs un écoulement en provenance du SO est capté par le conduit D1 qui aboutit au puits « de l'église ». Une eau froide circulerait entre ces deux points et parviendrait à l'église par l'angle SO. Les aménagements modernes autour du bâtiment (conduits D2, D3 et D4) semblent conditionner le cheminement de l'eau « chaude » arrivant par le nord. Ce modèle, plausible, n'explique cependant pas toutes les valeurs relevées.
Un mélange d'eaux de nature différente semble donc se produire sur la place des Halles. Les fluctuations enregistrées ne permettent pas de définir clairement des groupes d'appartenance et d'identifier avec certitude l'origine et le cheminement de l'eau aux abords de l'église. Le remaniement important du sous-sol de la place en est sans doute la cause.

Les mesures piézométriques montrent l'influence directe de la pluviométrie sur les débits souterrains lors de tempêtes ou d'orages exceptionnels. La rapidité de mise en charge atteste de la faible profondeur de la nappe. Les variations enregistrées tout en long de l'année, à l'exception des périodes de très fortes pluies, sont minimes (EDF 1993). Le niveau hydrostatique demeurant sensiblement le même, le débit du réseau souterrain ne semble pas particulièrement tributaire de la pluviométrie.

IV. 3. b. A l'échelle du site

En septembre 1989, des relevés ont été effectués dans plusieurs puits du village par O. André (EDF 1990). A partir de ces mesures, deux cartes de températures et conductivités ont été réalisées (Figure 74). Certaines mesures ont été écartées en raison de l'identification incertaine des puits. La localisation des points sur ces cartes est par ailleurs approximative.
La répartition des températures et celle des conductivités ne montrent pas d'organisation spatiale évidente, bien que les écarts relevés révèlent des qualités de l'eau différentes. Ces résultats n'ont pas été publiés et n'ont sans doute pas paru concluants, même avec la totalité des mesures et une meilleure connaissance du réseau de galeries explorées.

En mars 2011, de nouvelles mesures ont été réalisées à l'entrée des galeries C1 et C3, au lavoir des Roises et dans une quinzaine de puits.
La distribution des températures (Figure 75-a) fait apparaître 3 zones :

- au sud du talweg Nord : T est comprise entre 6,4 et 8,5°C,
- au nord (Grande rue, Moucherie et bas de la rue des Roises) : T est comprise entre 9,6 et 11,2°C,
- plus au nord (haut de la rue des Roises et lavoir) : T = 9°C.

Ces zones se retrouvent dans la répartition spatiale des conductivités (Figure 75-b) :

- au sud : $\sigma < 600$ µS/cm,
- à l'ouest : σ est comprise entre 600-700 µS/cm,
- au nord : σ est comprise entre 900-2740 µS/cm,
- au lavoir : $\sigma = 670$ µS/cm.

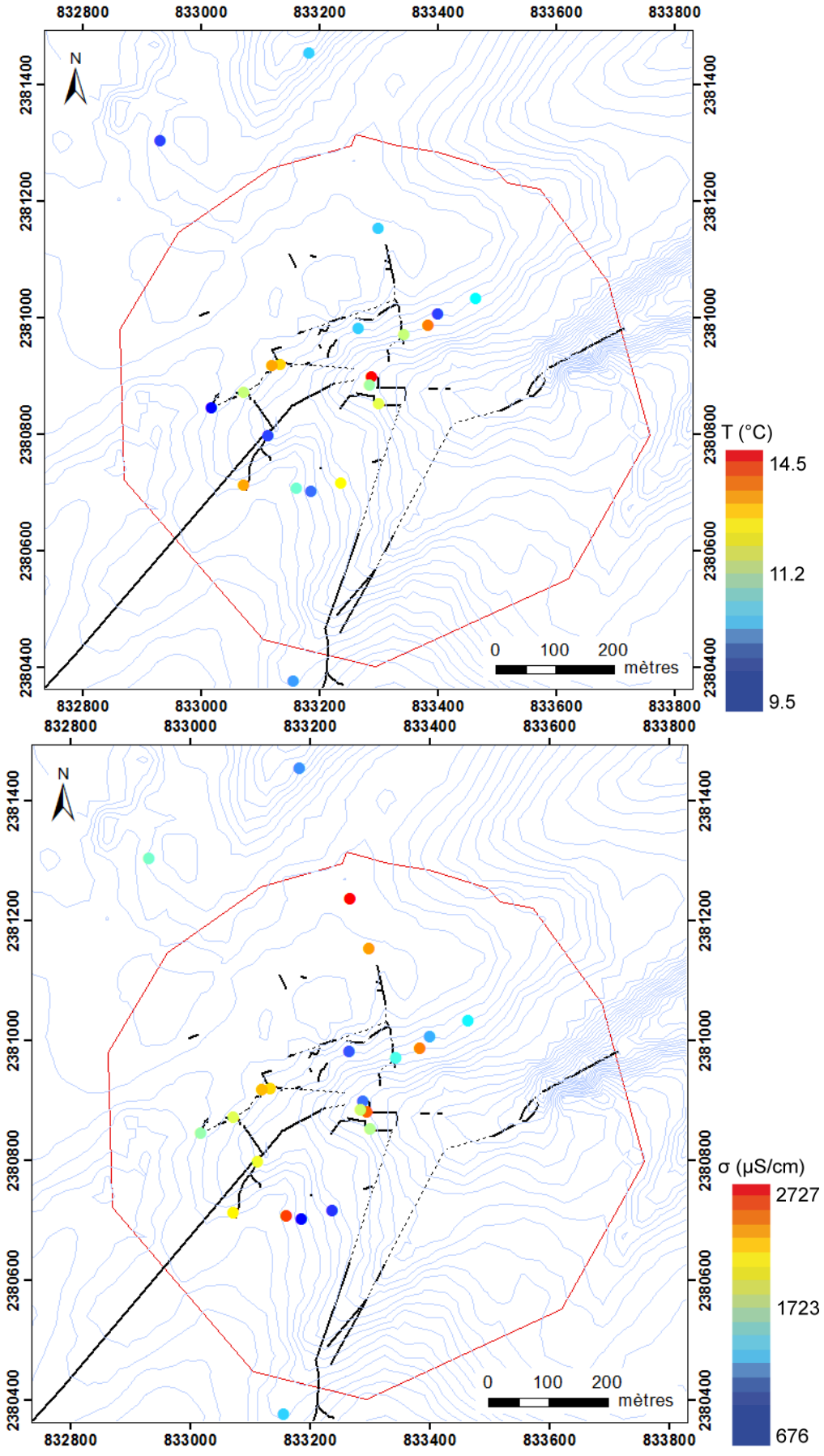


Figure 74. Distribution spatiale des températures (a) et des conductivités (b) de l'eau mesurées dans les puits de Grand (d'après les données EDF 1990).

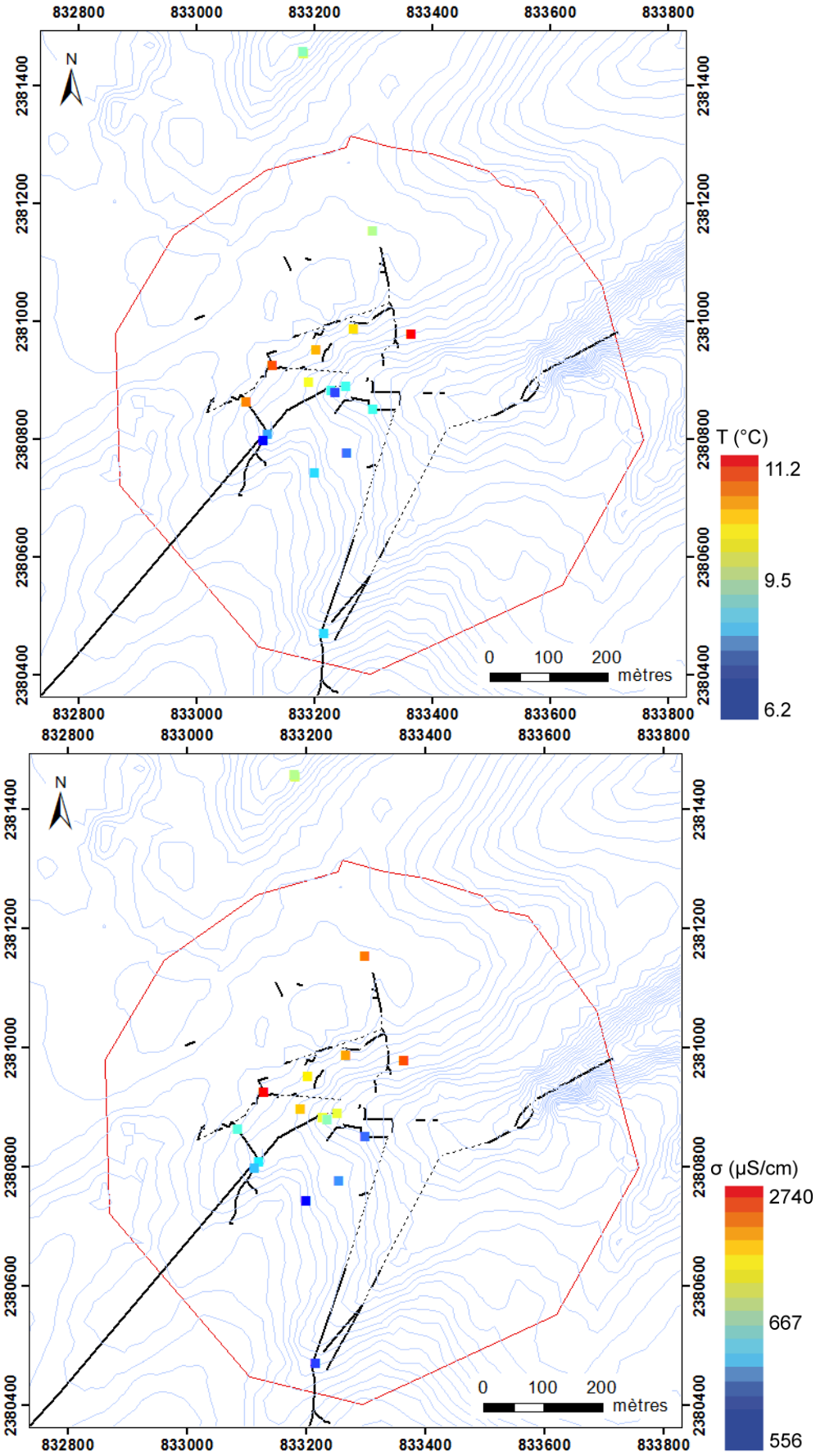


Figure 75. Distribution spatial des températures (a) et des conductivités (b) de l'eau, mesurées dans les puits ou conduits de Grand (données mars 2011).

Deux eaux différentes sont donc mises en évidence.
L'eau circulant dans la moitié sud du village, dans les talwegs amont de la combe La Roche, et au nord, dans la combe des Roises, est caractérisée par des conductivités et des températures faibles (σ <700 µS/cm et T entre 6-9°C).
L'eau circulant dans les conduits développés au nord de la Grande rue est caractérisée par des conductivités et des températures élevées (σ >1000 µS/cm et T entre 9-11°C).
Un mélange des eaux s'opère dans le talweg Nord à la limite des deux secteurs : des valeurs intermédiaires sont relevées entre le fond du vallon et la Grande rue.

IV. 3. c. Bilan

Le test réalisé en 2011 s'avère donc concluant. La répartition cohérente des conductivités et des températures de l'eau permet de dégager deux ensembles pouvant être mis en relation avec le réseau souterrain. Les variations relevées sur la place des Halles montrent la complexité des circulations aux abords de l'église. Elle se situe dans la zone de mélange des eaux qu'on peut également observer à l'ouest, au sud de la Grande rue. Une étude sur la chimie des eaux avec un échantillonnage plus large pourrait préciser les sens de circulation des eaux souterraines.
Un suivi temporel des débits et une étude piézométrique à l'échelle du site permettrait de quantifier l'impact réel de la pluviométrie sur le fonctionnement du réseau souterrain et d'examiner l'hypothèse d'un tarissement de la résurgence en période de basses eaux (EDF 1993). La position de cette ancienne résurgence n'est pas identifiable avec ces mesures malgré l'affirmation contraire publiée (Bertaux *et al*. 1993b, Delétie et Bertaux 1994).

V. LA QUESTION DES « AQUEDUCS » EXTERIEURS

Si l'on se rapporte aux publications récentes (André *et al.* 1991, EDF 1993), plusieurs systèmes d'adduction d'eau coexistent à Grand dans l'antiquité. Des galeries souterraines profondes, creusées dans le sous-sol du site, alimentent la « mare sacrée » du sanctuaire ; la finalité de l'eau est exclusivement cultuelle et interdit toute utilisation profane. Pour les besoins quotidiens, privés ou publics, l'approvisionnement est assuré par les puits et par des aqueducs peu profonds qui acheminent l'eau depuis des captages éloignés de plusieurs kilomètres.
Une distinction a donc été établie entre les conduits selon la destination de l'eau. Elle se fonde sur la répartition géographique des vestiges découverts (tronçons de galeries et hypocaustes). La présence de galeries drainantes à l'aplomb du village ne fait aucun doute (*cf supra*), même si le réseau n'est pas saisi dans sa totalité. Cependant l'existence de deux aqueducs captant les sources de villages voisins pour desservir les thermes de la rue des Roises et de la rue de Liffol est beaucoup moins probante. Par ailleurs ces bâtiments n'ont été que ponctuellement mis au jour au cours de travaux touchant à la voirie et cette fonction de thermes reste à démontrer.
L'argumentation repose donc sur des éléments qui sont partiellement reconnus et sur un parti pris qui consiste à faire du site un sanctuaire de source. Nous avons donc réalisé des

prospections géophysiques sur le tracé supposé de l'aqueduc Grand-Bréchainville pour en vérifier l'existence.

V. 1. « Aqueduc » Sud

V. 1. a. Données bibliographiques

L'hypothèse d'un aqueduc reliant la source du Sauveuil, située au sud de Bréchainville, aux thermes de la rue de Liffol est formulée dans les années 1960. En 1963, un fragment de cunette antique est dégagé lors des travaux d'adduction d'eau à 1 km au sud de Grand, dans les environs de la ferme de La Violette[13]. A partir de cette découverte, E. Salin est le premier à évoquer la possibilité d'un aqueduc desservant le site depuis le sud (Salin 1966). En 1969, deux sondages sont ouverts dans les environs du premier sondage et révèlent de nouveaux tronçons à 1 m de profondeur. Une prospection électrique est alors mise en œuvre et aurait révélé le tracé de la conduite entre Grand et le lieu-dit La Citerne (*cf* chapitre 4). Ce toponyme est attribué à un ancien réservoir romain dont les vestiges auraient été identifiés au niveau d'un pierrier (fosse comblée), arasé depuis. A l'issu de la prospection géophysique un sondage de vérification confirme son passage « en amont seulement » de La Citerne (EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993b).
Au vu de ces affirmations, le tracé d'un aqueduc semble bel et bien avoir été mis en évidence entre le terrain à l'ouest de la ferme de La Violette et Grand, en passant par La Citerne. Mais les indications sur sa localisation exacte restent vagues. Les comptes-rendus annuels d'exploration des galeries incluent régulièrement un schéma sommaire figurant son tracé supposé. Alors que les prospections et sondages ont déjà eu lieu, la position de ce tracé se déplace sensiblement d'un plan à l'autre et l'existence de l'aqueduc est même un temps remise en question (Bertaux 1976) avant d'être de nouveau certifiée dans les années 1990 sur la base des mêmes éléments (EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993b).

V. 1. b. Données géophysiques



Des cartographies magnétiques, électriques et EM couplées à un panneau électrique ont donc été réalisées pour tenter de localiser ce conduit. Les terrains situés immédiatement au sud du village étant inaccessibles, le choix s'est porté sur les parcelles *33* et *35* à 500 m du chemin de ceinture (Figure 76). Le lieu-dit La Citerne y est indiqué sur la carte IGN actuelle et la courbe de niveau 390 suivie par le pointillé représentant le tracé de l'aqueduc (Bertaux 1980) traverse ce secteur. De plus un pierrier se trouve dans un petit bosquet.

[13] D'après un croquis trouvé dans les notes de Counot, malheureusement peu légendé, la cunette non couverte semble avoir été trouvée à 85 cm de profondeur. Elle mesure 55 cm de large et la rigole centrale est profonde de 23 cm pour une largeur de 34 cm au sommet.

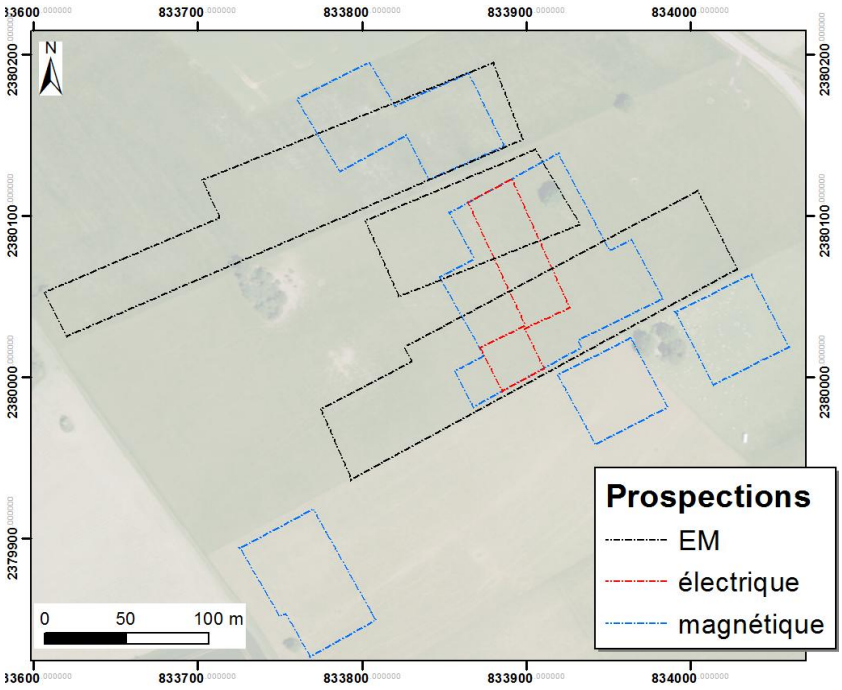


Figure 76. Localisation du secteur d'étude au lieu-dit La Citerne et position des zones de prospections géophysiques.

- EM31

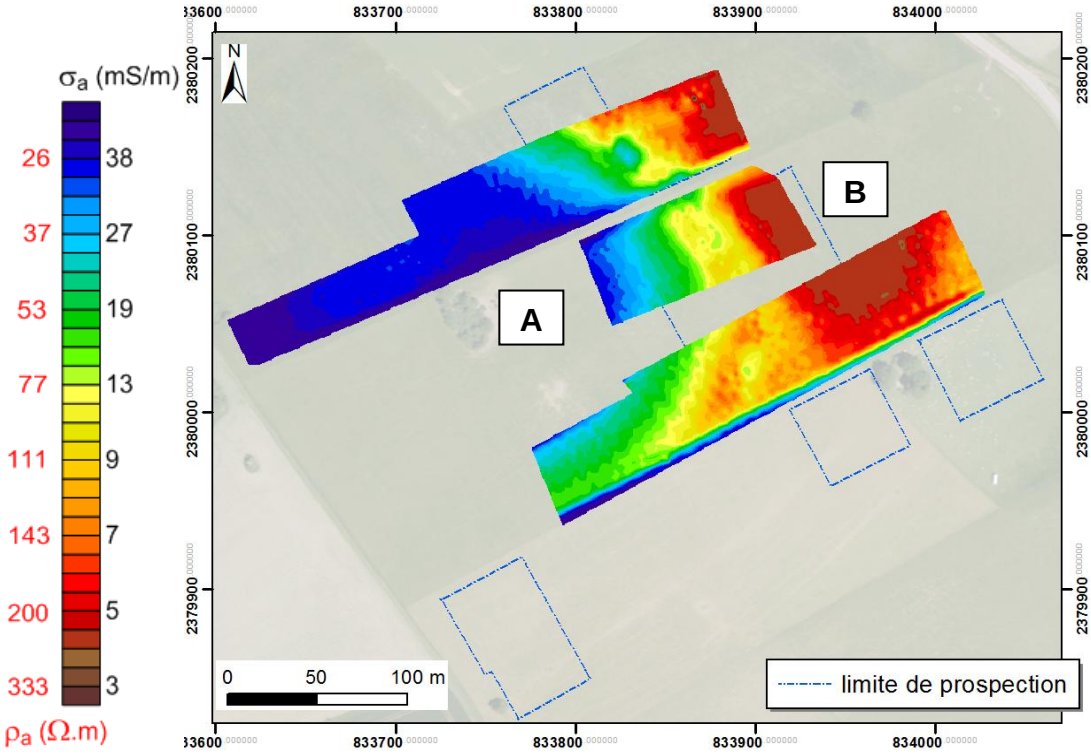


Figure 77. Carte de conductivité électrique apparente (EM31). Lieu-dit La Citerne. Prospection 2009.

Les profils de mesure sont espacés de 5 m. La carte de conductivité électrique apparente (Figure 77) fait apparaitre deux zones bien distinctes. La zone conductrice A (15-50 mS/m)

occupe toute la surface de la butte à l'ouest, et correspond à l'affleurement du banc marneux qui délimite les deux formations calcaires oxfordiennes (*cf supra*). La zone résistante B (5-15 mS/m), à l'est, constitue l'affleurement d'un banc calcaire de l'Oxfordien moyen. Une anomalie linéaire conductrice, parallèle à la frontière des deux zones, est visible au pied de la butte, à 390 m NGF. Sur cette courbe, on repère au nord une anomalie ovale conductrice au niveau d'un creux topographique.

- Prospection magnétique

Une anomalie magnétique linéaire **(1)** se détache très clairement sur un fond magnétique peu contrasté (Figure 78). Longue de 200 m, cette anomalie contourne la butte depuis le sud-ouest en direction du nord. Dans la partie centrale elle est bordée de part et d'autre par un liseré magnétique **(2)** et **(3)**. Au nord, on la suit jusqu'à une anomalie plus étalée **(4)**. A l'ouest de cette zone **(4)**, à 15 mètres, se trouve une anomalie magnétique **(5)** qui marque un angle net à l'emplacement de la cuvette conductrice. A l'est de **(4)**, à quelques 5 mètres, la carte montre une structure magnétique circulaire **(6)**, de 8 m de diamètre, qui se prolonge par un segment de 5 m. Des anomalies ponctuelles fortes sont relevées au niveau de la structure **(4)**. D'autres, **(7)**, sont disposées à peu de distance de **(1)** le long d'un billon, là où le linéament **(3)** disparait. Ces anomalies sont probablement causées par des objets métalliques enfouis ou par des matériaux chauffés.

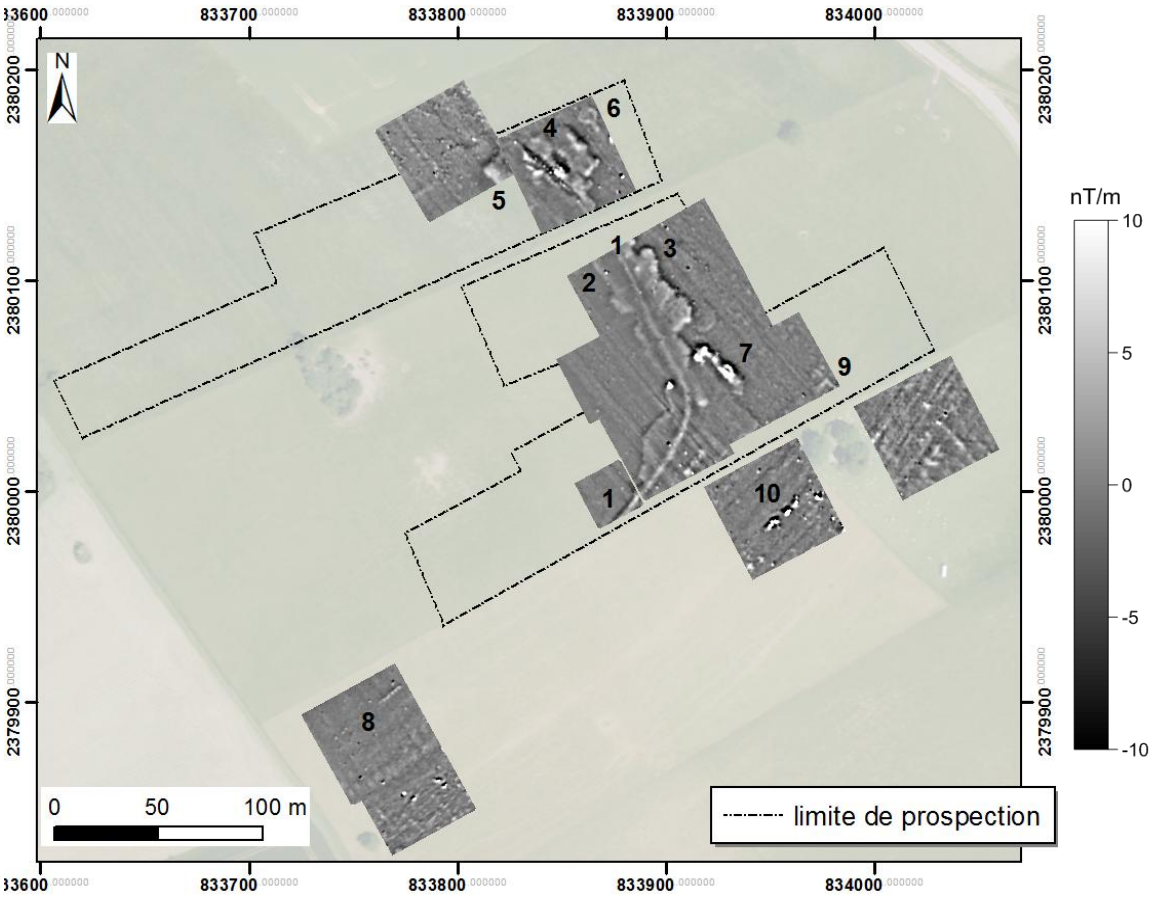


Figure 78. Carte de gradient magnétique vertical. Lieu-dit La Citerne. Prospection 2009.

Au sud, la clôture barbelée séparant les deux terrains se positionne presque à l'aplomb de la structure d'après la direction que prend **(1)**. Cet obstacle nous a contraints à décaler la zone de prospection dans l'angle NO du champ sud pour minimiser son influence sur les mesures. L'alignement des anomalies ponctuelles **(8)** semble constituer le prolongement de **(1)**. Deux autres carrés ont été implantés à l'ouest et à l'est du pierrier. Aucune connexion n'est visible entre celui-ci et la structure **(1)** malgré leur proximité et les petits segments **(9)** qui se dessinent en bordure SE du champ. L'anomalie **(10)** est causée par des amas de céramique et moellons émergeant du billon.
Les traces d'anciens labours et les billons apparaissent sous la forme de segments parallèles orientés NO-SE dans le champ nord et SO-NE dans le champ sud.

- Prospection électrique

On retrouve sur les trois profondeurs d'investigation une zone conductrice enserrée dans un milieu plus résistant (100-200 Ω.m), à l'emplacement de l'anomalie détectée en EM31. Elle est étirée le long d'un linéament conducteur correspondant à l'anomalie magnétique **(1)**. Ses frontières sont définies par les anomalies **(2)** et **(3)** dans la partie centrale, et par les anomalies **(2)** et **(1)** à partir du coude formé par **(1)** (lorsque **(3)** s'interrompt). Cette distribution des résistivités correspond à une structure en creux incisée dans le substrat calcaire au pied de la butte. Elle constitue une zone de circulation d'eau et/ou comblée par un sédiment plus argileux. Les variations observées au sein de cette zone reflètent une épaisseur de remplissage variable et une constitution lithologique différente (selon l'altération du calcaire, la proportion d'argile, *etc.*).

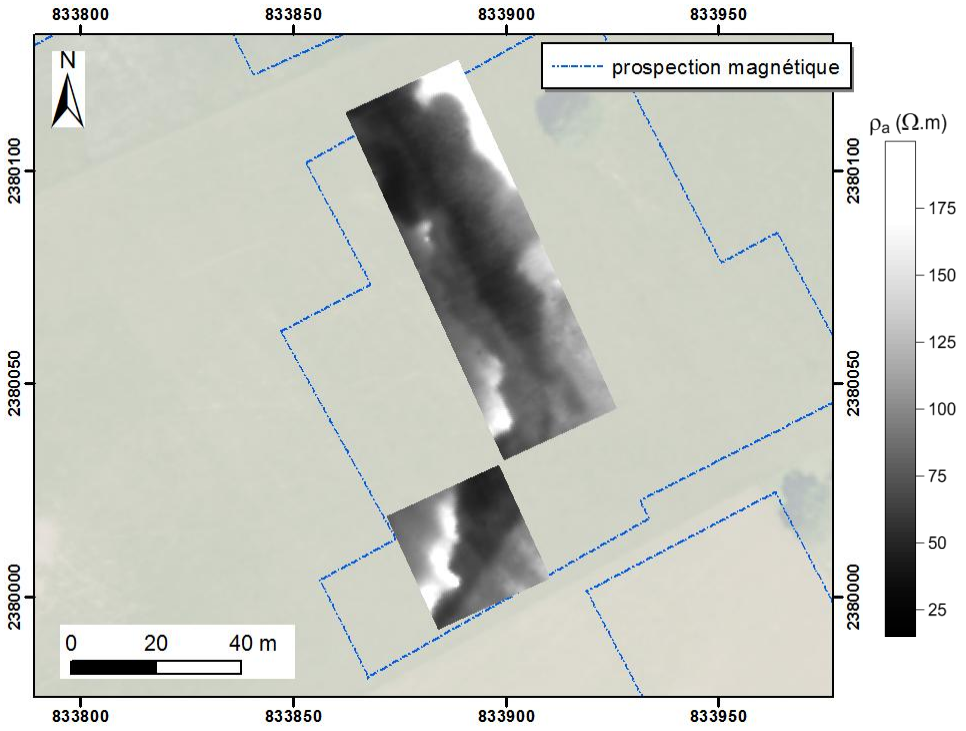


Figure 79. Carte de résistivité électrique (épaisseur de sol pris en compte 0-50 cm, configuration pôle-pôle). Lieu-dit La Citerne. Prospection 2009.

➢ ERT

Pour déterminer l'évolution des résistivités en profondeur et trouver la base de cette structure en creux magnétique et conductrice, un profil ERT de 30 m a été défini perpendiculairement à l'anomalie curviligne (Figure 80). Il est centré sur **(1)** et recoupe les anomalies **(2)** et **(3)**. 96 électrodes espacées de 31 cm ont été plantées sur ce transect. Deux configurations ont été testées : Wenner-Schlumberger et dipôle-dipôle. Les résultats de l'inversion sont très similaires et très corrects, avec une erreur RMS inférieure à 2%. Nous présentons les résultats du Wenner-Schlumberger en Figure 80-b. La profondeur atteinte est d'environ 6 m ; le modèle intègre la correction de topographie.

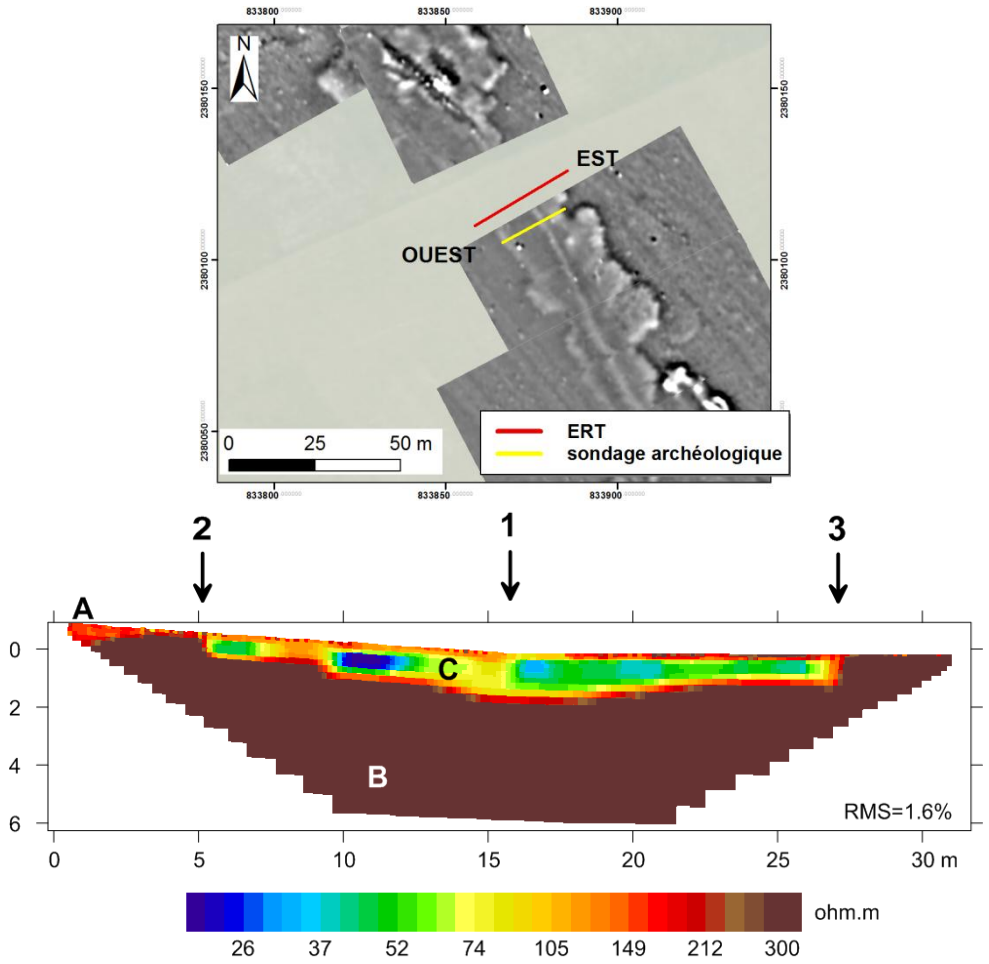


Figure 80. Positions du profil ERT et de la tranchée de sondage par rapport aux anomalies magnétiques détectées. Résultats de l'inversion des données électriques (configuration Wenner-Schlumberger - 96 électrodes). Lieu-dit La Citerne.

La tomographie montre deux ensembles de résistivités : une zone résistante B (150-300 Ω.m) et une zone conductrice C (25-150 Ω.m). L'interface conducteur/résistant est bien marquée et comprend plusieurs paliers à des profondeurs variant entre 0,5 et 1,5 m. L'anomalie conductrice C qui apparait comme une cuvette creusée dans le substrat calcaire B s'étend sur 22 m en surface et ses bords coïncident avec les positions de **(2)** et **(3)**. A l'extrémité ouest du

panneau, on remarque sur le versant de la butte une zone plus conductrice qui correspond à l'amorce de la couche marneuse (anomalie A cartographiée en EM).

- Bilan des explorations géophysiques

Les résultats obtenus présentent une grande cohérence et mettent en évidence l'existence d'une structure linéaire magnétique et conductrice qui contourne la colline. Elle est positionnée au centre d'un creux conducteur découpé dans le substrat calcaire, large d'une vingtaine de mètres dans son extension latérale maximale et profond de 0,5 à 1,5 m depuis les bords vers le centre. D'un point de vue géophysique, la structure centrale pourrait être une galerie drainante ou un fossé drainant et donc être assimilable à l'« aqueduc » recherché.

V. 1. c. Sondage archéologique

Pour identifier avec certitude la cause des anomalies géophysiques détectées en 2009, un sondage archéologique est organisé au cours de l'été 2010. Une tranchée de 20 m de long pour 1,5 m de large est ouverte à l'aide d'une mini pelle afin d'obtenir une coupe transversale du terrain à quelques mètres du profil ERT (Figure 80).

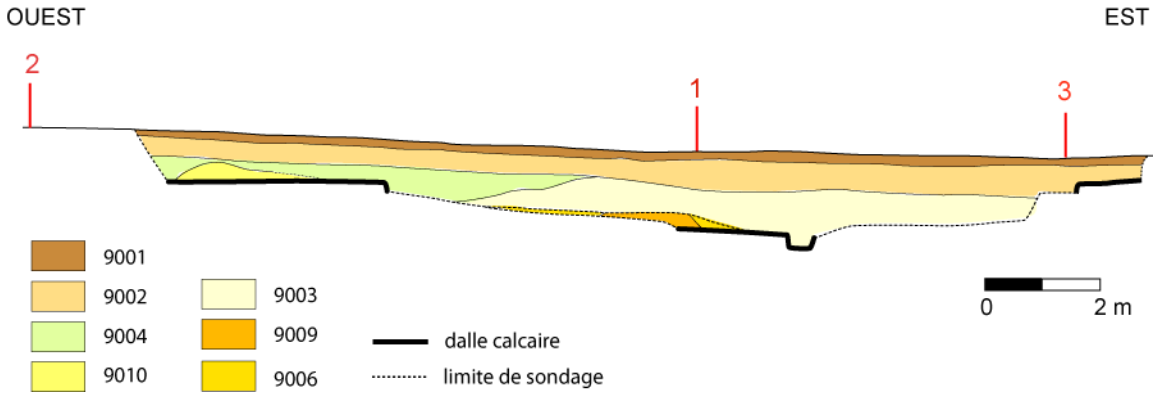


Figure 81. Coupe stratigraphique des terrains situés entre les anomalies magnétiques 1 et 3. Sondage archéologique du lieu-dit La Citerne (juillet 2010). D'après la coupe de J.-M. Tur (rapport du PCR 2010).

Nous reprenons les observations qui ont été faites par J.M. Tur, responsable de ce sondage (Dechezleprêtre 2010) :
« Sous la terre végétale [US. 9001], épaisse d'une dizaine de centimètre, les différents niveaux naturels, composés essentiellement de terre brune et de cailloutis [US. 9002-9004], se succèdent jusqu'au substrat calcaire. Celui-ci est atteint à 0,90 m à l'ouest sous la forme d'une dalle régulière [US. 9005] et à 0,40 m à l'est par la présence de fines plaques calcaires [US. 9008]. La dalle calcaire ne comportait pas de traces de taille. Les indices d'anthropisation ne sont pas pour autant absents. Ils coïncident d'ailleurs avec l'anomalie magnétique centrale. À cet endroit, trois clous de même facture et un fragment de céramique sont découverts à plus

d'un mètre de profondeur dans une terre brune, dense en cailloutis, et comprenant quelques inclusions charbonneuses [US. 9009]. En dessous, la dalle calcaire est atteinte à 1,20 m de profondeur [US. 9007]. (…) Un autre sondage, réalisé sur la même parcelle quelques mètres plus au nord, dans le prolongement de l'anomalie magnétique, a livré les mêmes résultats. » Les résultats de la coupe (Figure 81) et du profil ERT (Figure 80) sont donc exactement corrélés et des éléments antiques sont bien trouvés au niveau de l'anomalie **(1)**. Aucun vestige maçonné n'est découvert.

V. 1. d. Vues aériennes

Les clichés issus des campagnes aériennes de 2010 réalisés dans des conditions de prise de vue particulièrement favorables apportent des informations complémentaires. Les orthophotographies accessibles sur Geoportail ont été mosaïquées et géoréférencées.

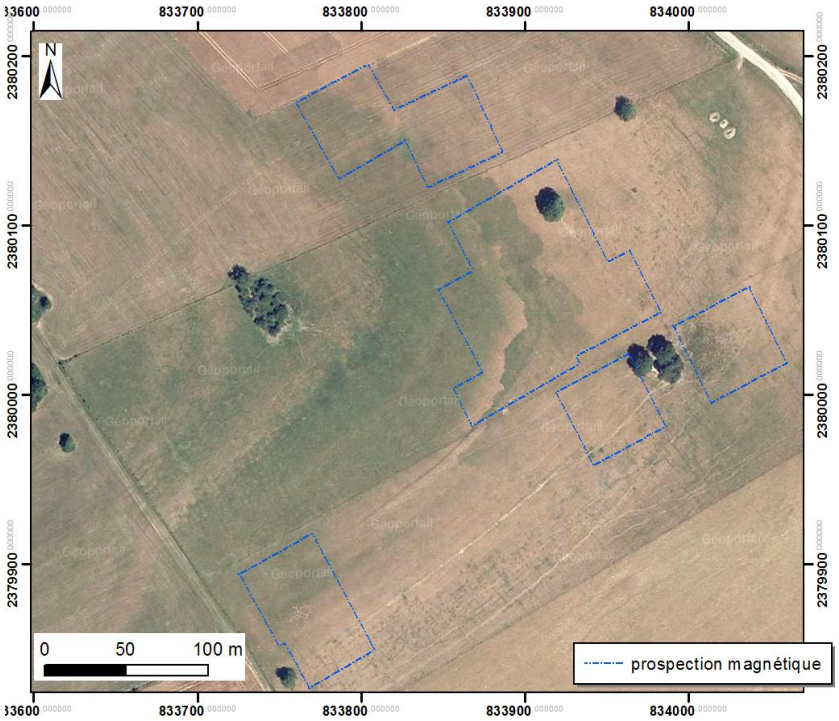


Figure 82. Vue aérienne du lieu-dit La Citerne (Géoportail 2010).

Au lieu-dit La Citerne, les anomalies phytographiques (Figure 82) sont en parfaite concordance avec les anomalies détectées en prospection géophysique. L'étroite correspondance entre les anomalies aide à caractériser certains éléments.

L'anomalie **(1)**, dont la cartographie a été limitée par la clôture barbelée, trouve son prolongement dans le champ sud jusqu'aux segments **(8)**. Au sud, la photo permet donc de mettre en relation les anomalies **(1)** et **(8)**. Cependant au nord elle ne permet pas de déterminer l'extension de **(1)** hors de la zone prospectée : le tracé s'estompe et disparait alors qu'il est encore décelable sur les cartes géophysiques. On ne peut donc pas conclure à l'absence de structure par l'absence de linéament.

La vue aérienne montre également dans ce pré les changements de faciès lithologiques. La végétation est plus drue à l'ouest au niveau des zones conductrices, notamment au droit de

l'affleurement marneux. On observe également une zone de fracturation, développée à 100 m à l'est du contact des deux couches géologiques. Elle explique le signal magnétique plus contrasté mesuré à cet endroit. Les anomalies n'y sont pas seulement la manifestation de l'ancien alignement d'arbres (dont les restes visibles sont matérialisés par des billons plus accentués et des amas de pierres) mais également la réponse du remplissage magnétique des diaclases.
Les différentes anomalies cartographiées sont rassemblées sur la Figure 83.

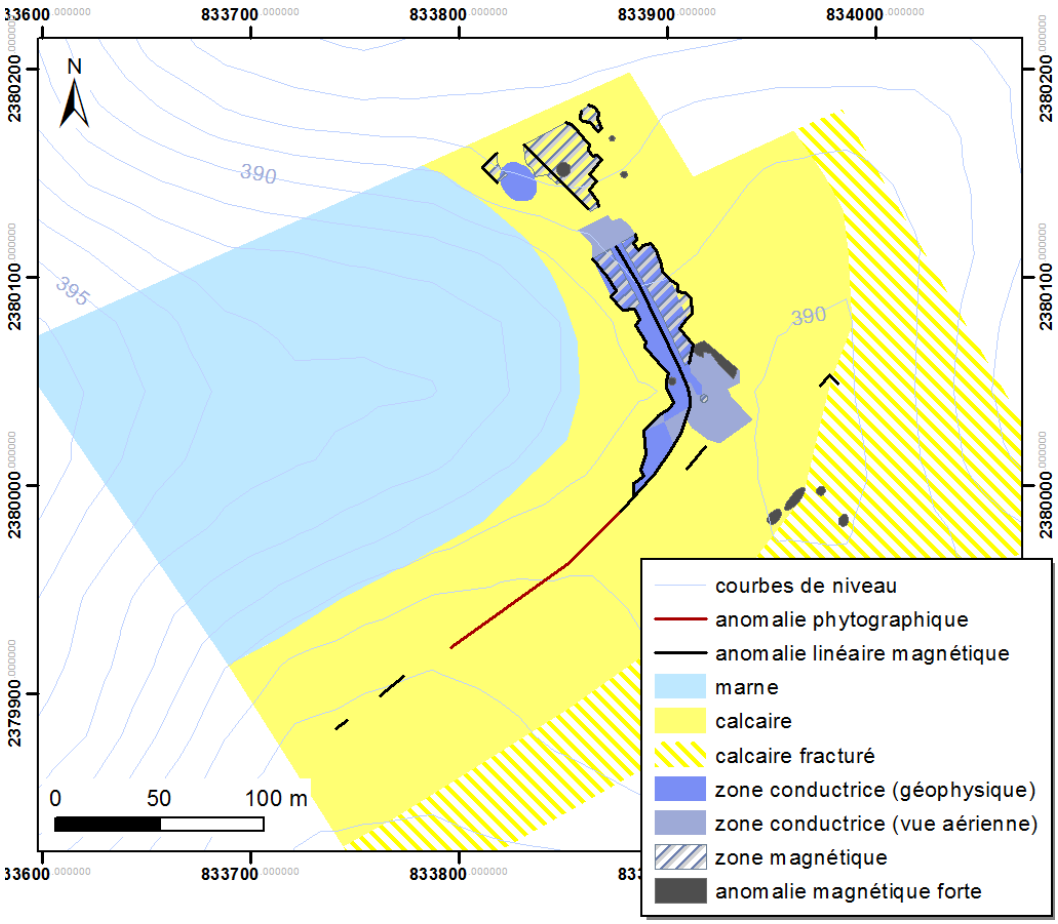


Figure 83. Interprétation des anomalies révélées par les prospections géophysiques et les photographies aériennes. Lieu-dit La Citerne.

Les photographies obliques prises par G. Salvini la même année mettent en évidence à l'ouest de la ferme de La Violette et au sud de Bréchainville (Figure 84) des traces d'aspect très comparable à celui de la structure **(1)**. La présence de ces anomalies dans le champ où se situeraient les trois sondages de 1963 et1969 constitue un indice convaincant du passage d'une galerie drainante. Elles sont partiellement visibles sur les photographies prises en 1949 (IGN).
Le redressement des clichés obliques ne s'étant pas révélé très satisfaisant, ces nouveaux linéaments ont été localisés et incorporés au SIG grâce aux orthophotographies saisies sur Geoportail (Figure 85).

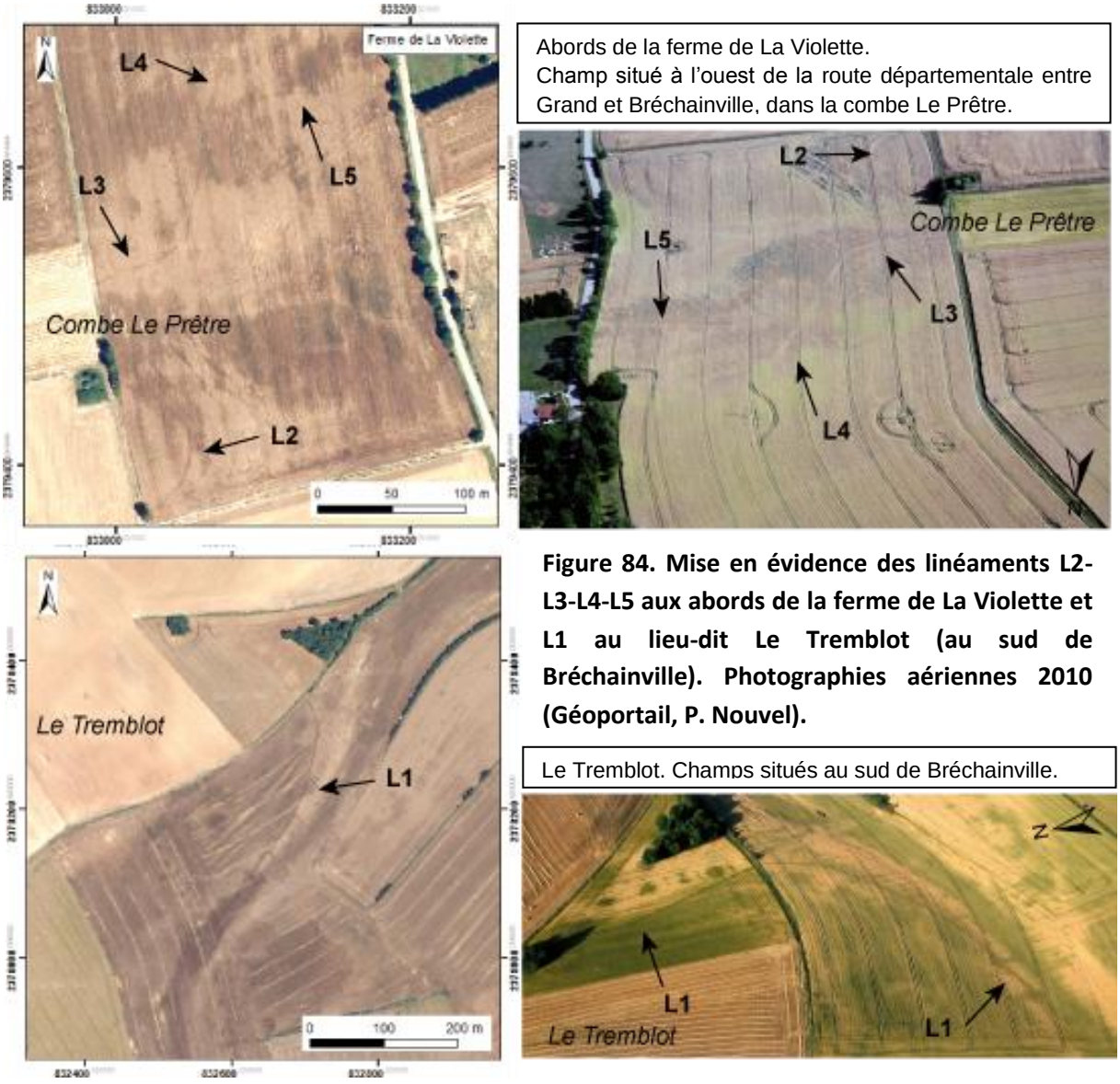


Figure 84. Mise en évidence des linéaments L2-L3-L4-L5 aux abords de la ferme de La Violette et L1 au lieu-dit Le Tremblot (au sud de Bréchainville). Photographies aériennes 2010 (Géoportail, P. Nouvel).

Au regard de la topographie (Tableau 12 et Figure 85), les segments L1, L2, L3, L5 s'inscrivent à des altitudes décroissant de 396 à 390 m entre le Tremblot et La Citerne. Il est possible que ces segments appartiennent à la même conduite et que celle-ci aboutisse aux thermes de Grand situés à une altitude de 372 m. L4, qui ne respecte pas la pente adoptée, semble se raccorder à L5, mais ces deux segments peuvent aussi être des entités indépendantes.

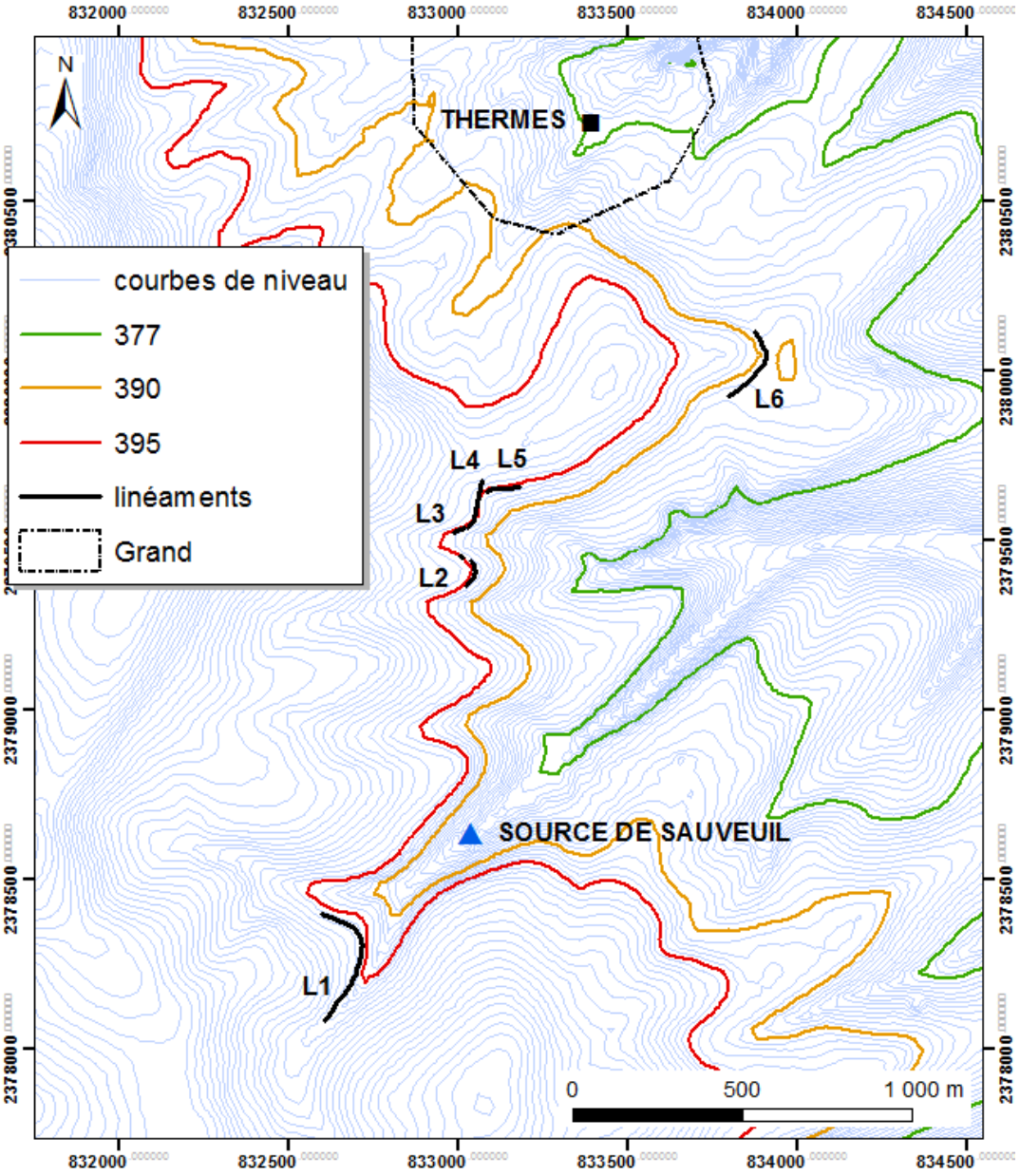


Figure 85. Localisation des anomalies linéaires L1 à L6, géoréférencées à partir des cartes géophysiques et des photographies aériennes.

Elément	Altitude	Longueur
L1 (Le Tremblot)	398-396 m	300 m
L2 (La Violette)	395 m	120 m
L3 (La Violette)	395 m	70 m
L4 (La Violette)	397-395 m	115 m
L5 (La Violette)	395 m	100 m
L6 (La Citerne)	389 m	325 m
Source du Sauveuil	383 m	-
Thermes	377 m	-

Tableau 12. Altitude moyenne et développement des linéaments repérés.

V. 1. e. Cadastre ancien et LiDAR

La consultation des cadastres anciens confirme l'absence d'habitation au lieu-dit La Citerne depuis plus d'un siècle (renseignement obtenu auprès de M. Morlot, propriétaire du terrain). L'orientation des billons repérés en prospection correspond bien à celle du parcellaire avant remembrement encore visible dans les micro-reliefs (Figure 86). Les pierriers présents dans le paysage sont également indiqués sur le cadastre de 1887.

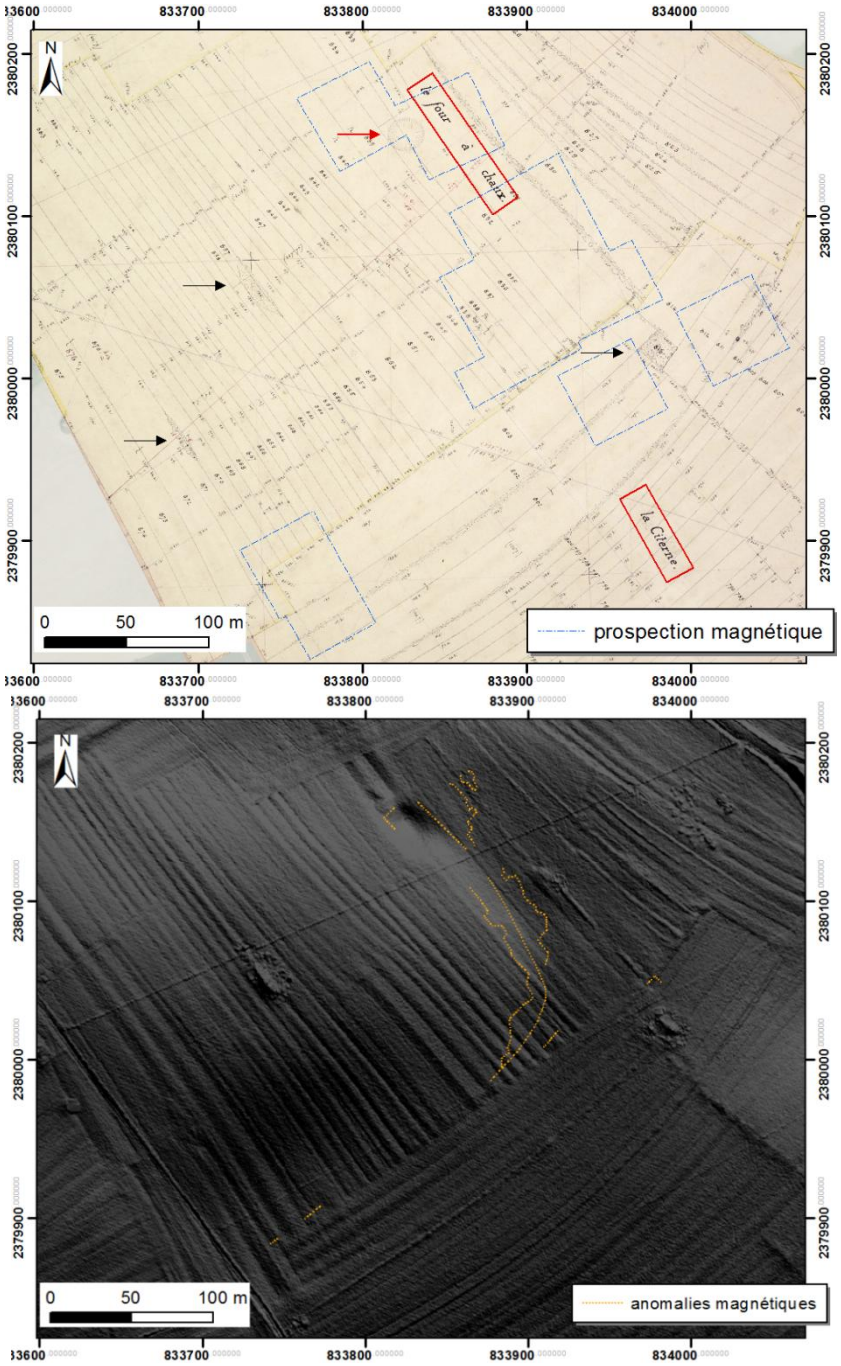


Figure 86. Cadastre de 1887 géoréférencé (feuille C7) et microreliefs (LiDAR, visualisation avec un éclairage artificiel 30°/30 m) au lieu-dit La Citerne. Les flèches noires indiquent les pierriers, la flèche rouge la dépression conductrice associée au lieu-dit Le Four à chaux. Les anomalies magnétiques inscrites au pied de la butte ont été représentées.

Ce même cadastre nous apprend que « Le four à chaux » est le toponyme associé au terrain s'étendant au nord du lieu-dit La Citerne. L'étiquette est accolée à une zone circulaire de 20 m de diamètre coïncidant avec la dépression du terrain et l'anomalie conductrice détectée en EM31. Le creux pourrait être le témoin de la fosse de refroidissement de la chaux éteinte ou une fosse d'extraction de calcaire.

V. 1. f. Synthèse et discussion sur le tracé

De fait, l'hypothèse d'un aqueduc Bréchainville-Grand nait de la découverte à La Violette d'une cunette antique dont nous savons peu de chose si ce n'est que des fragments ont été trouvés dans trois sondages en 1963 et 1969. Nous en avons connaissance à travers la bibliographie qui reste vague sur la structure et sur sa localisation. Les propriétaires du terrain sondé, MM. Grelot, que nous avons sollicités ont aimablement cherché à retrouver l'emplacement des tranchées, sans succès.
Les vues aériennes prises en 2010 révèlent dans ce terrain des traces linéaires qui suivent la courbe de niveau 395 et, à 600 m au lieu-dit La Citerne, une trace identique à 390 m NGF. Les cartes géophysiques prolongent ce tracé jusqu'à la parcelle *33* où la reconnaissance a malheureusement été interrompue par l'interdiction du propriétaire de poursuivre les prospections. Une fosse conductrice et plusieurs anomalies magnétiques agencées y sont détectées et sont probablement les restes d'un ancien four à chaux signalé sur le cadastre de 1887. En 2010 le sondage archéologique ouvert à la limite des deux parcelles sur le tracé de la structure linéaire produit quelques éléments de mobilier antique mais aucun vestige maçonné.

A partir de ces données plusieurs hypothèses peuvent être avancées.
Cas 1. Les différents linéaments appartiennent à un aqueduc romain qui chemine à fleur de coteau depuis le Tremblot jusqu'à Grand, en passant par La Violette et La Citerne. Pour preuves les blocs monolithes découverts à La Violette et « seulement en amont de La Citerne ». L'hypothèse de l'aqueduc Bréchainville-Grand est vérifiée et son tracé identifié.
Cas 2. Les différents linéaments sont indépendants. Les traces de La Violette correspondent à un aqueduc partiellement mis au jour qui emprunte un chemin plus direct pour atteindre Grand. Il suit la courbe de niveau 395 et se situe à 200 m à l'ouest des traces de La Citerne.
Cas 3. Les linéaments ne sont pas causés par un conduit antique. Les restes d'un aqueduc Bréchainville-Grand découverts à La Violette ne sont pas localisés et le tracé de cet aqueduc est inconnu.
Cas 4. Les tronçons dégagés à La Violette (localisés ou non grâce aux traces) sont des fragments de conduite antique appartenant au système d'alimentation ou d'évacuation d'une villa. L'aqueduc Bréchainville-Grand n'existe pas.
Cas 5. La cunette découverte à La Violette n'est pas antique et l'hypothèse d'un aqueduc Bréchainville-Grand n'a plus aucun fondement.

Dans le cas 1 où le tracé de l'aqueduc est identifié à La Violette et à La Citerne, l'absence de cunette dans le sondage 2010 pourrait alors trouver deux explications : une canalisation en bois faisant suite à une canalisation en pierre ou une récupération ultérieure des pierres. La

proximité du four à chaux et la dépression entaillée dans le substrat calcaire de part et d'autre de la structure linéaire pourrait conforter cette deuxième supposition. La cunette se trouvant à moins d'un mètre de profondeur (Bertaux *et al.* 1993b), le matériau est facilement accessible. Le creusement du substrat pourrait alors résulter de l'exploitation du calcaire élargi à partir de la structure, pour la fabrication de chaux.
Si l'anomalie **(1)** n'est pas l'empreinte d'un aqueduc romain (cas 2 à 5), elle peut être la trace d'une conduite qui alimentait le four à chaux. Elle peut également correspondre à une ancienne tranchée de palissade. Le matériel archéologique trouvé daterait la structure de l'époque gallo-romaine. Mais il peut aussi s'agir de vestiges allochtones qui proviennent de la hauteur où se trouve la villa de La Violette : ils ont pu être entraînés et déposés par les eaux de ruissellement au pied de la butte.

Concernant la structure en creux qui s'étale autour de l'anomalie **(1)**, deux interprétations ont été envisagées. La première, présentée ci-dessus, l'assimile à une carrière fonctionnant avec le four à chaux. La seconde renvoie à une origine géologique, en relation avec sa position à la limite de deux horizons lithologiques différents (zone d'altération préférentielle d'un calcaire fracturé au contact du banc marneux ?). Toutefois les photos aériennes ne montrent aucune figure d'altération semblable dans les environs, ce qui en fait une originalité locale.

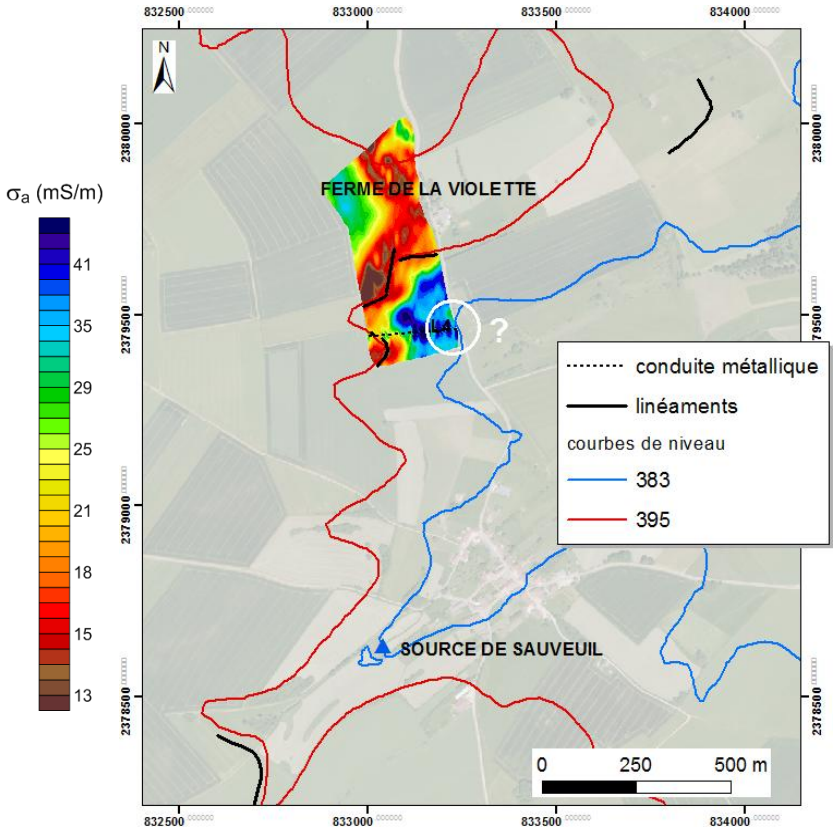


Figure 87. Variations des conductivités électriques apparentes (EM31) des terrains situés au SO de la ferme de La Violette : détection d'une conduite métallique (en pointillés noirs) en travers du champ. Le cercle blanc indique l'emplacement possible des sondages de 1963 et 1969, d'après les positions de la conduite, de la route départementale et du tracé de la courbe de niveau 383 m NGF.

Concernant les vestiges découverts au cours des recherches antérieures, ils n'ont pas été localisés. Beaucoup de flou subsiste sur l'emplacement des sondages et du réservoir. Un plan (EDF 1993) les place vers 386 m NGF mais le figuré est approximatif et les distances données ne concordent pas. Si l'on ne tient pas compte des linéaments (cas 3), la cunette a peut-être été trouvée à proximité de la route de Bréchainville, vers 382 m NGF. Un croquis peu lisible retrouvé dans les notes de Counot semble situer la découverte à 300 m de la ferme de La Violette et à 45,5 m à l'ouest de la route. Cette position (Figure 87) présente l'avantage de correspondre à l'altitude de la source du Sauveuil, de recouper la conduite métallique détectée en EM31 (prospection 2011) et de justifier un retour coudé à 50 m au nord (EDF 1993).

Pour finir, on doit constater que les données actuelles sont encore trop peu assurées pour conclure sur l'existence d'un aqueduc aboutissant aux thermes de Liffol. Les prospections magnétiques menées *intra muros* (parcelles *29-30-32-49*) n'ont pas permis d'identifier un possible tracé aval de cet hypothétique aqueduc (*cf infra*). Sans preuve indiscutable, on doit se contenter d'échafauder des hypothèses et proposer des pistes de recherche. De nouvelles études (prospections, sondages, analyse des micro-reliefs, des sources) sont nécessaires pour étayer ou infirmer l'existence de cet aqueduc.

V. 1. g. Bassins versants

Une étude du potentiel hydrologique des cas 1-2-3 postulant à l'existence de l'aqueduc desservant les thermes de la rue de Liffol a été réalisée. 3 captages ont été envisagés et comparés : un captage de la source de Sauveuil, un captage au Tremblot et un captage au niveau de la mare d'Aillianville (Figure 88). Les débits ont été calculés à partir de la valeur de lame d'eau écoulée définie au paragraphe I. 1. c. (soit 500 mm/an). Le Tableau 13 présente les résultats obtenus.

Point de captage	Distance aux thermes	Surface drainée	Débit
Source du Sauveuil	4900 m	3,37 km²	4620 m³/j
Extrémité amont de L1	4200 m	2,39 km²	3275 m³/j
Source d'Aillianville	+ 2200 m	+ 0,63 km²	+ 850 m³/j

Tableau 13. Comparaison des potentiels hydrologiques d'un conduit drainant desservant les « thermes » de la rue de Liffol (Grand) selon des tracés théoriques partant de la source de Sauveuil, Le Tremblot (extrémité amont du linéament L1) et la mare d'Aillianville.

Un captage de la source du Sauveuil à 383 m NGF nécessite un développement de près de 5 km pour un débit de 4600 m^3/j.
Un aqueduc passant par chacun des segments (cas 1) ou du moins par ceux de La Violette (cas 2) ne capterait donc pas la source du Sauveuil située en contrebas mais irait chercher une source au-delà de Bréchainville. Deux éventualités sont à considérer :

- l'extrémité amont de L1 constitue la terminaison de l'aqueduc au Tremblot

Le développement total de l'aqueduc atteint 4,2 km et le débit 3300 m^3/j. Un captage de la nappe en amont de la source permet ainsi une économie de 700 m de galeries mais perd 1300 m^3/j.

- l'aqueduc se prolonge en amont du Tremblot, peut-être jusqu'à Aillianville comme le suggère la bibliographie (des galeries antiques y sont signalées)

Un captage à Aillianville rallonge le parcours de l'aqueduc Tremblot-Grand de 2,2 km et augmente le débit de 850 m^3/j, ce qui porte le développement total à 6,4 km pour un débit total de 4100 m^3/j. En comparaison, le captage de la source du Sauveuil produit 500 m^3/j de plus pour une longueur inférieure de 1,5 km.

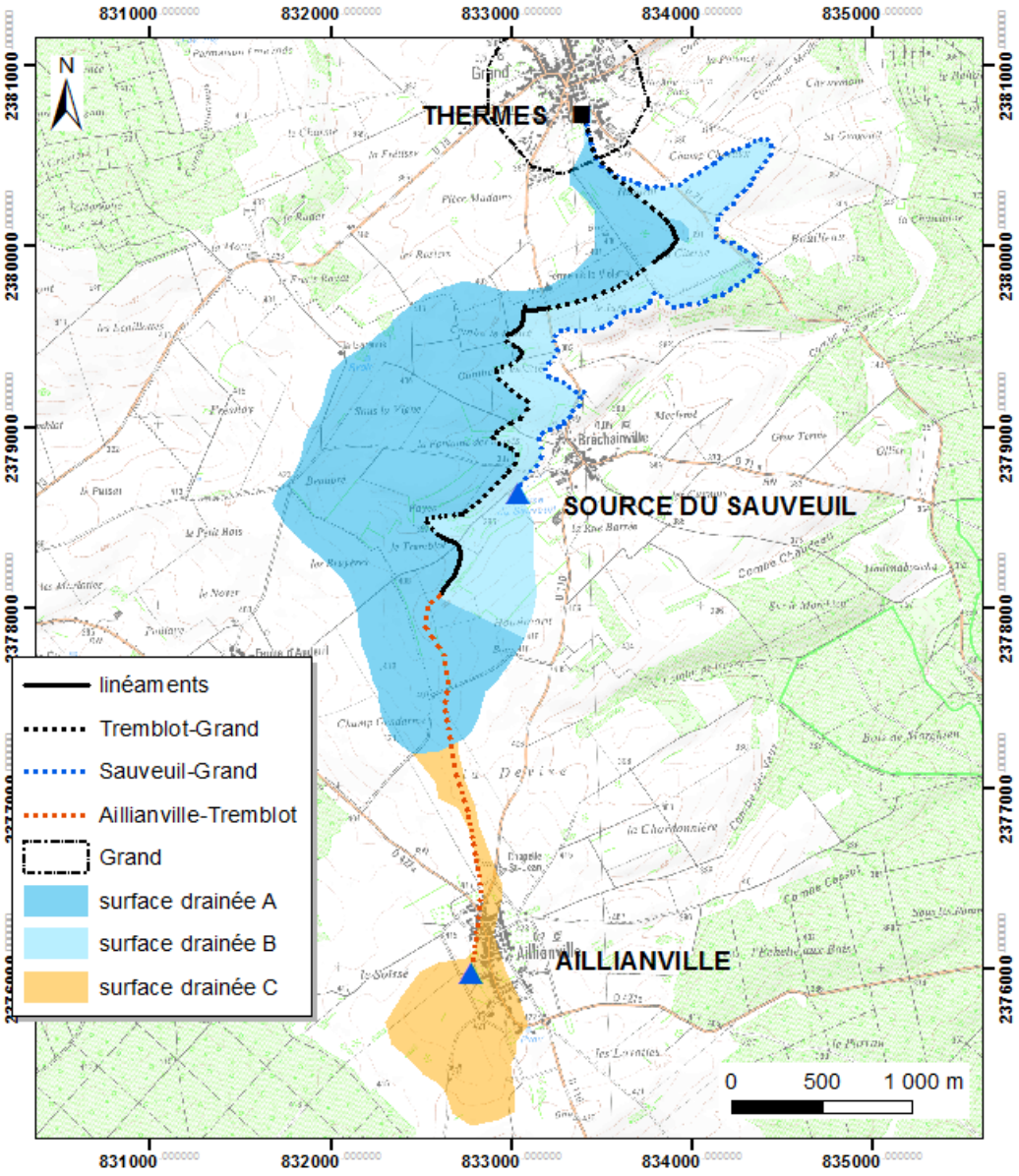


Figure 88. Bassins versants topographiques définis selon les tracés théoriques d'un drain alimentant les « thermes » de la rue de Liffol (Grand). Le tracé Sauveuil-Thermes (pontillés bleus) correspond à la surface drainée A+B. Le tracé Tremblot-Thermes passant par les linéaments (pointillés noirs) correspond à la surface drainée A. Le prolongement du drain jusqu'à la mare d'Aillianville augmente l'aire d'alimentation totale d'une surface drainée C

Au vu de ces calculs, le captage de la source du Sauveuil parait la solution la plus avantageuse. Il est conforme avec l'hypothèse formulée précédemment sur un emplacement possible des sondages de La Violette (et donc de la cunette) à proximité de la route et n'exclut pas un prolongement en amont jusqu'à Aillianville.
Malgré un débit plus faible, un captage au Tremblot peut néanmoins être préféré au captage de la source même dans le but de raccourcir le parcours de l'aqueduc. Le prolongement jusqu'à la mare d'Aillianville, suivant le tracé théorique défini par les linéaments (cas 1 et 2), présente peu d'intérêt puisque le rapport production/longueur est inférieur à celui de la source du Sauveuil.

V. 2. Autres « aqueducs »

La littérature fait état de l'existence d'autres « aqueducs » acheminant vers Grand l'eau de sources éloignées de plusieurs kilomètres. Les indices sur la position des vestiges qui ont donné naissance à cette hypothèse sont minces ou inexistants.
Au nord-est de Grand, un conduit a été signalé à Jollois à « 1800 m environ, sur le chemin qui conduit à Chermisey ». Les sondages qu'il pratique révèlent « quelques morceaux de grosses pierres de taille et fragments d'architecture », éléments qui lui semblent insuffisants pour conclure à un aqueduc (Jollois 1843). En 1983, un conduit est trouvé au sud d'un virage de la route d'Avranville (Combe Larousse ?) lors d'une prospection de surface (Khan 1983). La galerie, mal localisée en raison du manque de précision du rapport, pourrait correspondre au conduit indiqué par Jollois.
Au sud-ouest de Grand, un plan de J.-P. Bertaux représente le tracé d'un aqueduc hypothétique, parallèle à la route de Trampot (Bertaux 1976). Aucun détail n'est fourni.

L'implantation d'habitats gallo-romains dans la région est attestée. Les structures drainantes découvertes dans les environs de Grand (Trampot, Aillianville, Liffol-le-Grand…) ne se rattachent pas nécessairement à son réseau d'adduction. En l'absence d'informations permettant de localiser les vestiges évoqués ci-dessus et d'envisager ainsi une exploitation des ressources en eau en-dehors du bassin versant hydrographique (défini au paragraphe I.2.), ces éléments n'ont pas été retenus dans le cadre de cette étude. Celle-ci s'est concentrée sur le cas de l'aqueduc Sud pour lequel les possibilités de tracé étaient mieux contraintes, à défaut d'être fondées sur des indications initiales très précises.

VI. SYNTHESE

Si le manque d'eau sur le plateau s'est fait ressentir jusque dans les années 1960, l'étude des données hydrologiques régionales montre que la pluie efficace moyenne y est importante : elle a été estimée à 500 mm/an. A travers les différentes approches - documentaire, géophysique, hydrologique et spéléologique, on a cherché à comprendre les modes d'approvisionnement en eau de l'agglomération antique. On a dans un premier temps étudié l'environnement hydrogéologique du site pour localiser la ressource puis, dans un deuxième

temps, on s'est efforcé d'identifier les options prises par les Gallo-Romains pour atteindre et exploiter cette ressource. Eloigné des cours d'eau pérennes, le site de Grand a pu tirer parti des écoulements superficiels, des résurgences et de la nappe.

- Contexte hydrogéologique

Le village est implanté sur le contact de deux formations de l'Oxfordien calcaire, qui se caractérisent par des gammes de résistivités électriques et des propriétés hydrodynamiques distinctes. Elles ont été déterminées grâce aux prospections géophysiques (sondages RMP, électriques, TDEM, panneau électrique, prospection EM31).
A l'est du site, les calcaires de l'Oxfordien moyen forment une unité globalement homogène. La gamme de résistivités rencontrées correspond à des calcaires riches en eau. La teneur en eau volumique est de l'ordre de 15%.
A l'ouest, l'Oxfordien supérieur est constitué d'une succession de bancs calcaires et marno-calcaires. La résistivité électrique et la perméabilité à petite échelle en sont nettement diminuées. La teneur en eau volumique libre mesurée est inférieure à 5%.

En dépit de ressources plus abondantes à l'est, les Gallo-Romains ont recherché dans le sous-sol du site les eaux d'un aquifère superficiel. Cette préférence pour les ressources proches est probablement liée aux contraintes topographiques (l'exploitation de l'aquifère de l'Oxfordien moyen imposant des aménagements plus importants) et à la présence de conduits karstiques, reconnue à l'aplomb du village actuel. Les calcaires de la base de l'Oxfordien supérieur sont en effet affectés par un karst dont la mise en place est favorisée par l'alternance des bancs marneux et calcaires, comme l'a montré l'étude des morphologies karstiques du Bois de Trampot. Dans le secteur de Grand, l'existence d'une résurgence a pu indiquer la proximité d'une nappe locale et devenir un facteur déterminant dans la mise en place et le maintien de l'agglomération. Ni la position originelle de cette résurgence ni ses aménagements ultérieurs ne sont cependant identifiés.

Pour délimiter l'extension des niveaux aquifères drainés, fonction de la position des bancs marneux, les prospections géophysiques aident, dans un contexte stratigraphique complexe, à localiser certaines couches (ou ensembles de couches), à l'affleurement et en profondeur.
Les inversions jointes des sondages permettent de positionner sans ambigüité, sur les transects réalisés, le contact des deux unités géologiques. De plus, une couche conductrice qui correspond à un niveau de calcaires marneux (peut-être les Marnes de Maxey) prend place à la base de l'Oxfordien supérieur et marque la transition entre les deux unités oxfordiennes. Elle est mise en évidence au sud de Grand par la cartographie des variations latérales de résistivité électrique apparente superficielle (mesures EM31). Elle semble se poursuivre à l'intérieur du village, décalant légèrement vers l'est la limite définie par la carte géologique. Faute de données au nord et dans certains secteurs à l'ouest, il est difficile de décrire complètement son tracé. Elle a été retrouvée en profondeur (données ERT dans le secteur de la « *villa* La Violette », et données de sondages).

On a également cherché à caractériser par méthodes géophysiques la structure et l'environnement de morphologies karstiques développées dans les calcaires de l'Oxfordien supérieur, au NO de Grand. Les résultats obtenus demandent à être complétés par des observations permettant de distinguer plus finement les couches calcaires/marno-calcaires présentes.

Le bassin hydrographique de Grand s'inscrit essentiellement dans l'Oxfordien supérieur. La lame d'eau écoulée (ruissellement et infiltration), qui constitue la recharge potentielle de l'aquifère, a été estimée à partir des observations régionales (plateaux du Barrois et du Haut-Pays). Les débits mis en jeu dans les limites du bassin versant et susceptibles d'être utilisés, s'élèvent à 4000 m^3/j. Récupérés dans leur intégralité ils sont amplement suffisants à l'alimentation quotidienne d'une ville de 20000 habitants.

- Aménagements hydrauliques

Pour utiliser au mieux ce volume, des systèmes de drainage et de stockage ont été mis en place à l'époque antique. Le réseau hydraulique a été partiellement redécouvert au cours d'explorations spéléologiques réalisées entre 1960 et 1980. En partie réutilisé et modifié par les installations modernes, l'aménagement romain est aujourd'hui difficile à identifier et à localiser précisément.

Les publications et les rapports que nous avons pu consulter font état d'un nombre important de puits (plus de 300 dans le village) dont la profondeur ne dépasserait pas 15 m, mais aucune description exhaustive (ni relevé exact) ne permet actuellement de distinguer dans ce nombre les structures gallo-romaines et de les intégrer dans le SIG. On ne peut en effet les identifier de manière sure comme antiques que si la fouille complète de leur remplissage fournit un *terminus ante quem*. Deux catégories principales ont été distinguées :
- les puits destinés à l'alimentation en eau qui représenteraient les ¾ de ces structures,
- les cheminées (72) d'accès (ou d'aération) qui seraient, elles, en relation avec l'ancien réseau visitable mais ont été retrouvées obstruées ou réutilisées (*in fine* en puisards).
Ces dernières sont associées à des galeries souterraines situées à moins de 12 m de la surface du sol.

La synthèse du réseau de conduits, réalisée à partir des données d'archives, s'est appuyée sur de nouveaux relevés topographiques en 2010. Les conduits explorés ont ainsi été identifiés et le développement du réseau connu a été réévalué à 2 km. Les observations très sommaires et le géoréférencement de ces conduits, approximatif par manque d'indications, permettent cependant de faire les remarques suivantes.

Des galeries, qui correspondent à des conduits drainants plutôt qu'à des aqueducs, ont été creusées pour collecter les eaux circulant au sein du bassin versant du site. L'orientation des tracés est souvent guidée par la fracturation et plusieurs conduits sont développés à l'aplomb des vallons. Les parois sont parementées et le toit dallé en fonction de l'instabilité du milieu traversé. Aucune mention d'enduit d'étanchéité n'est rapportée. L'appartenance des tronçons

découverts au système d'adduction plutôt qu'au système d'évacuation des eaux est difficile à établir (excepté dans le cas de la *cloaca* de l'amphithéâtre).

Ces conduits (pour l'adduction) recueillent les eaux d'infiltration et récupèrent les arrivées d'eau circulant à travers la fracturation (ils peuvent aussi en perdre). Ils suivent une pente inclinée vers l'intérieur du site, peut-être déterminée par un horizon marneux qui est parfois signalé mais ne peut être positionné en l'état des connaissances. La structuration du réseau respecte la topographie pour assurer un écoulement gravitaire de l'eau. L'évacuation s'effectue naturellement par la combe La Roche ; le collecteur des eaux usées y a été mis au jour dans le sous-sol du corridor de l'amphithéâtre. La confluence des deux talwegs Nord et Sud au niveau de la place des Halles et le raccord probable des drains au collecteur principal semblent expliquer l'aspect convergent des conduits vers l'église. L'hypothèse selon laquelle le réseau de galeries alimentait une « source sacrée » n'est pas vérifiée. La capture des eaux de deux bassins versants détournés au profit de la « source » n'est pas non plus prouvée. L'argument en faveur de l'existence d'une telle source réside dans le fait que l'église a été construite sur un sol meuble (cf. chapitre 4), situation peu propice à l'édification d'un tel bâtiment.
La place des Halles appellerait une prospection complète au radar (maille de 20 cm) pour comprendre le détail des structures souterraines successives, nécessitant un arrêt complet de la circulation sur deux jours.

En l'absence de descriptions et d'une topographie précises, le positionnement exact du réseau dans la stratigraphie ne peut être fait. Les données diverses, fournies par la carte EM31, les panneaux électriques réalisés à l'intérieur du village, les explorations et les fouilles de puits et de conduits, ne sont pas suffisantes pour déterminer le nombre, la profondeur et l'extension du (ou des) horizon(s) de marne rencontré(s). Une campagne de sondages électrostatiques ou électriques visant à identifier les variations du substrat sous la ville est indispensable à cette fin.

Les sens des circulations souterraines sont mal définis dans le sous-sol du site et l'exutoire du système n'est pas encore identifié. Une correspondance entre la répartition des conductivités et des températures de l'eau d'une part et les écoulements drainés par les conduits d'autre part a été mise en évidence (mesures 2011). Une opération de plus grande envergure pourrait donc être envisagée pour reconnaitre les cheminements souterrains et la provenance des eaux drainées. Dans cette perspective les tests réalisés en 1989 dans les forages autour de l'église n'apportent aucun élément nouveau qui n'était déjà su par l'exploration des galeries. Les variations piézométriques révèlent la rapidité et la quasi simultanéité de mise en charge enregistrées entre certains de ces points, lors d'épisodes pluvieux exceptionnels. Un suivi temporel généralisé à l'ensemble du site (échantillonnage plus large) permettrait de situer le niveau de la nappe et déterminer des circulations préférentielles.

Les circulations souterraines au travers de calcaires karstifiés et les débits réels demeurant pour le moment inconnus, une partie de l'écoulement total, estimé à partir de données régionales, peut échapper au bassin versant. L'inverse peut également survenir et l'aire du

bassin versant réel se révéler supérieure à l'aire de réception des eaux de pluie. En supposant que l'installation de galeries drainantes à l'intérieur du bassin versant est insuffisante et que leur rendement est trop faible pour les besoins de l'agglomération, des moyens annexes chargés de fournir un complément ont été envisagés hors du bassin versant. L'hypothèse d'aqueducs captant des sources éloignées a été énoncée dans les années 1960. L'origine de l'eau servant à l'alimentation des édifices publics (thermes) se trouvait ainsi expliquée dans la mesure où l'on considérait que l'eau drainée par les galeries aménagées dans le sous-sol du site aboutissait à la seule « mare sacrée ».
Les indices tangibles justifiant cette supposition sont rares, et les traces de vestiges de conduits sont mal localisées par les archives. L'existence d'un conduit drainant, développé au sud de Grand, qui desservirait les « thermes » de la rue de Liffol depuis Bréchainville ou Aillianville, a été examinée. Le tracé n'est pas clairement établi bien que des anomalies linéaires pouvant signaler son passage aient été détectées en prospection géophysique, au lieu-dit La Citerne, et sur les photographies aériennes, dans les environs de la ferme de La Violette et au Tremblot. Plusieurs tracés possibles ont été étudiés. La comparaison des surfaces drainées montre que l'installation d'un conduit depuis la source du Sauveuil doublerait le potentiel hydrologique du site.

Enfin des systèmes de réserve ont été mis en place : plusieurs citernes ont ainsi été dégagées au cours de la fouille de la rue de l'Amphithéâtre (Boulanger-Bouchet 2006).

- Bilan

Les reconnaissances géophysiques, spéléologiques et hydrologiques effectuées dans le cadre de ce travail et la remise à plat des données anciennes rendent compte de l'état de l'aménagement connu et définissent les grandes lignes du contexte hydrogéologique local.
Une étude hydrogéologique plus poussée devra être menée pour caractériser les circulations d'eau souterraines dans les calcaires karstifiés, mesurer les débits aux sources et évaluer l'impact des variations saisonnières sur le système. Ces éléments permettront de quantifier les volumes d'eau réellement mis en jeu et de voir si les fluctuations pluviométriques auraient pu obliger à rechercher des ressources éloignées, en particulier en périodes de basses eaux.
L'identification de la fonction des puits rendra possible l'exploitation complète des mesures hydrologiques réalisées dans le cadre du Mécénat EDF, certaines données ayant été écartées compte-tenu de la localisation incertaine des points de mesure.
De nouveaux relevés systématiques des structures hydrauliques sont également nécessaires pour permettre une analyse croisée fine des données hydrogéologiques, géologiques et archéologiques.
Une investigation par prospections radar et électrostatique à l'intérieur du village est indispensable pour déterminer la composition du proche sous-sol du site et positionner les horizons marneux.

Après avoir présenté l'environnement hydrogéologique du site et les techniques employées pour accéder à la ressource disponible, l'articulation du réseau hydraulique avec la trame urbaine doit à présent être analysée.

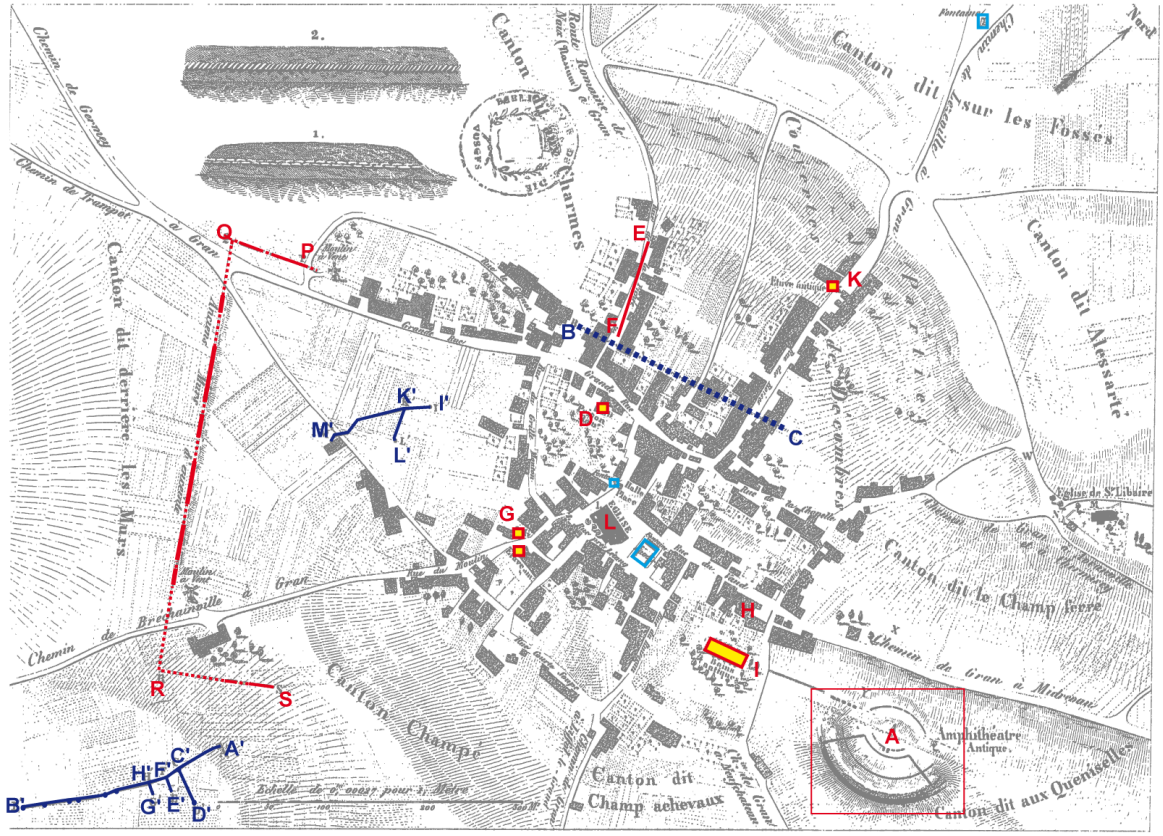
CHAPITRE 4

ORGANISATION SPATIALE

I. CARTE ARCHEOLOGIQUE

I. 1. Carte Jollois

En 1843, Jollois publie un plan du village de Grand qui constitue l'un des premiers documents cartographiques du site antique. Les principaux vestiges romains connus à cette époque y sont représentés et légendés. Cette carte apporte des informations précieuses sur l'état et la position de structures qui ont pu être détruites ou recouvertes par les constructions postérieures.



« **A.** Emplacement de l'amphithéâtre.
BC. Conduit souterrain dont l'existence a été reconnue sur une longueur d'environ 200 mètres.
[**A'G'** et **I'M'**. Conduits souterrains.]
D. Prison romaine dans la maison du sieur Reignier.
EF. Restes d'une muraille au niveau du sol dans la rue de la Pichée, sur une longueur de 70 mètres.
G. Maison du sieur Nicolas Louis, où l'on a retrouvé beaucoup de fragmens d'architecture, en faisant des fouilles à la surface du sol.
H. Maison de M. Collin, dans le jardin de laquelle le propriétaire a trouvé un grand établissement de bains.
I. Restes de cet établissement de bains.
K. Endroit où l'on a trouvé des restes d'un autre établissement de bains, dans la rue des Roises.
L. Eglise du village de Grand, dont le clocher est bâti avec les débris du théâtre de Gran.
PQRS. Restes d'un ancien mur d'enceinte. Il existe sur une longueur de 600 mètres environ.
1.2. Profils de la chaussée romaine conduisant de Gran à Naix *(Nasium)* »

Figure 89. Carte des vestiges bâtis du site, établie par Jollois. D'après la planche 2 (Jollois 1843).

I. 2. Informations connues en 2008 sur la cartographie des vestiges à Grand

Le site de Grand ne dispose pas de carte archéologique répondant aux normes actuelles. Plusieurs synthèses partielles existent. En 1974, Chantal Bertaux consacre un mémoire de maîtrise à la topographie antique du site (Ch. Bertaux 1974). En 2008, une compilation acritique des sources écrites disponibles est réalisée dans le cadre du projet de création d'une ZPPAUP sur le territoire communal (dossier d'étude 2008). En 2010, J.M. Tur étudie la question de l'habitat au nord du rempart dans un mémoire de M2 (Tur 2010). Un inventaire des opérations archéologiques est entrepris dans le cadre du PCR (2010).

En l'absence de bilan exhaustif débarrassé de toutes interprétation et restitution hypothétiques, la documentation accessible a été consultée pour identifier la nature et la position des vestiges dégagés. Les éléments suivants ont été reportés sous SIG (Figure 90) afin de compléter la carte des découvertes antérieures.

- Les notes de Counot, qui a assuré le suivi archéologique des travaux d'adduction d'eau en 1963, ont été étudiées. Les feuillets contiennent des croquis sommaires accompagnés d'indications laconiques. Une centaine d'éléments (carrés rouges) ont été localisés au niveau de la voirie du village : des structures maçonnées, murs, pierres, éboulis, conduits, hypocaustes, puits, foyers, dallages, hérissonnages, des objets et de nombreuses structures indéterminées.
- Les archives archéologiques du suivi des travaux d'assainissement de 1978 et 1980 ont fourni quelques éléments (représentés par des triangles verts). Les résultats des sondages négatifs ont également été intégrés (exemple : au carrefour de la route de Trampot, du chemin des Remparts et de la rue du Bois, le rempart n'a pas été observé dans les tranchées).
- Enfin, les emplacements des sondages et des fouilles ont été signalés par des symboles jaunes.

La carte indique la position des structures que nous avons pu identifier à travers une lecture des archives qui reste à achever. Les conduits et les puits « romains » n'ont par exemple pas été figurés. Cette étude des archives était nécessaire à l'interprétation des données géophysiques.

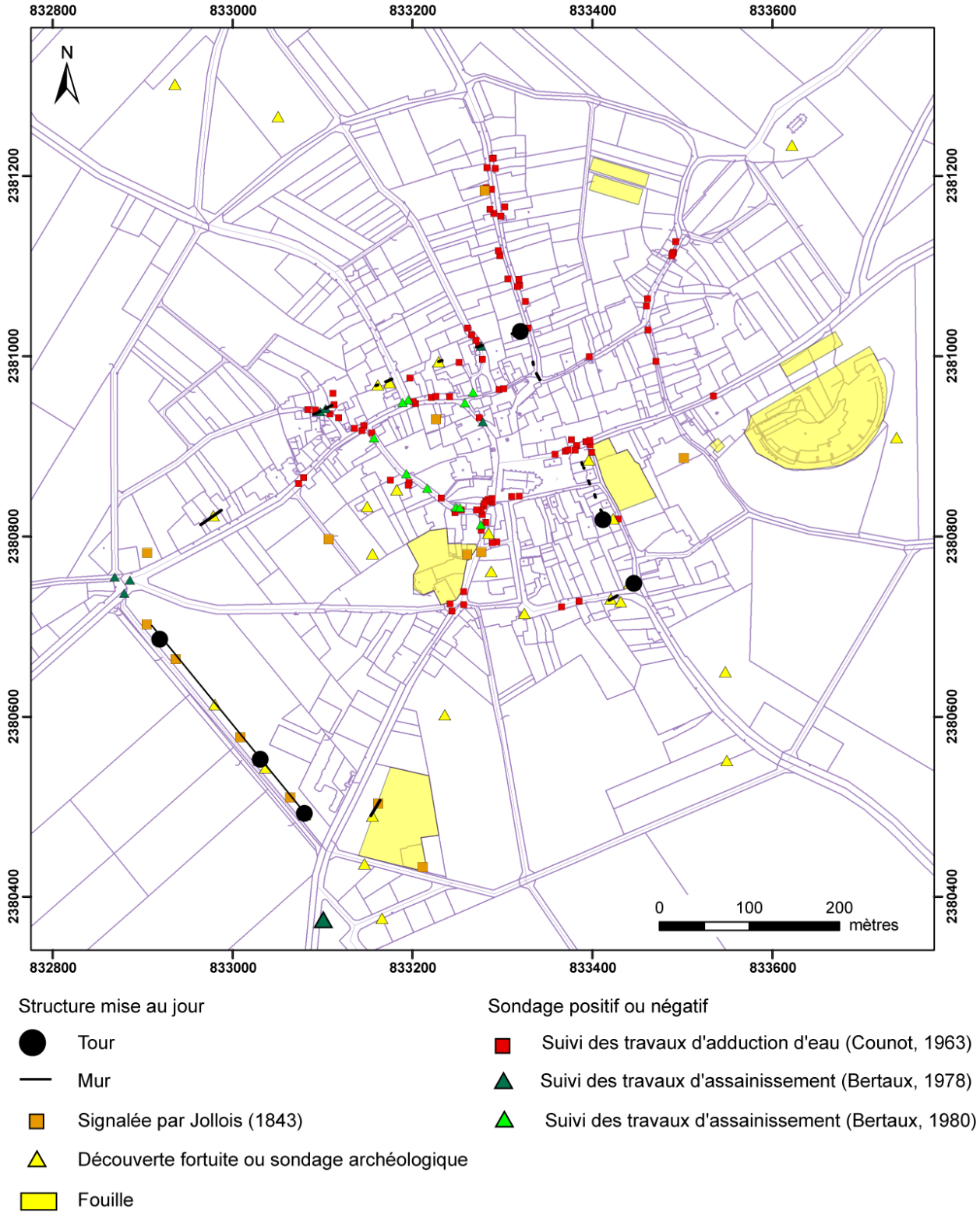


Figure 90. Carte des secteurs explorés à Grand réalisée à partir des données enregistrées dans les archives.

II. APPORT DE LA GEOPHYSIQUE

II. 1. Les premières applications à Grand : 1959-1989

II. 1. a. Historique

L'approche géophysique comme moyen de reconnaissance des traces d'occupation ancienne est très tôt employée à Grand grâce au soutien d'E. Salin, membre de l'Institut et président de la Société d'Archéologie Lorraine. Ancien élève de C. Schlumberger aux Mines de Paris, il porte un intérêt particulier pour ces méthodes d'investigation dont les applications, alors principalement industrielles, sont encore peu utilisées en archéologie française. Lorsqu'en **1959**, P. Mieg de Boofzheim (Société d'Etude pour la France et l'Etranger, SEFE) lui propose d'expérimenter sur un site archéologique de son choix les techniques de prospection géophysique, il voit là l'occasion de réaliser une « première en France » et de vérifier l'hypothèse de Jullian sur l'existence du fameux temple de Grand (Salin 1960b, 1963). Ils s'entendent pour mettre en place une prospection bénévole menée par la SEFE suivie de vérifications par prospection aérienne et sondages archéologiques (Salin 1959). Ceux-ci sont à la charge de la Société d'Archéologie Lorraine et subventionnés par le Conseil général du département (Salin 1960b). Après quelques sondages préparatoires, une prospection électrique est réalisée en octobre 1959 (Hugon 1959).

E. Salin s'est accordé avec R. Billoret sur l'emplacement supposé du « quartier des monuments officiels » et du temple hypothétique. Ils le placent tous deux dans les environs de l'édifice à plan basilical (Salin 1960b), secteur qui avait été sondé auparavant par Voulot, Toussaint et Jollois (Billoret 1963b).

Les mesures exécutées au lieu-dit Grand jardin sur des structures connues (conduits entre les puits) prouvent la validité de la méthode retenue : il y a étroite corrélation entre les pics de résistivité et la position des éléments maçonnés (mur ou canalisation, dallage de cour ou paroi de puits). L'affleurement du substrat calcaire est détecté en bord de vallon tandis qu'une zone de remblai et d'éboulis est mise en évidence près du jardin Huguet dans un terrain argileux (Hugon 1959, Salin 1960b). E. Salin se réjouit du succès de ces essais qui « incitent vivement à des fouilles systématiques » (Salin 1960a). Elles vont « [confirmer] l'exactitude du point de vue des géophysiciens » (Salin 1960b) : la tranchée ouverte le long du profil électrique E10 met par exemple au jour le mur du portique dont le contraste avec le terrain naturel avait été repéré en prospection. L'objectif de « démontrer les possibilités d'utilisation des méthodes géophysiques pour la recherche archéologique » (Hugon 1959) est donc atteint. Les résultats géophysiques sont alors déterminants dans la suite des opérations à Grand. E. Salin laisse de côté les résultats obtenus aux lieux-dits Croix rouge et Sur les Roises (Hugon 1959) et élimine temporairement la zone du Grand jardin. Il concentre les recherches sur le voisinage du jardin Huguet, lançant là un programme qui va durer de 1960 à 1966, avant l'étude de l'amphithéâtre.

En **1969**, R. Billoret, devenu Directeur des Antiquités Historiques de Lorraine, initie une nouvelle campagne de prospections géophysiques avec le concours d'ingénieurs de l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs d'Electrotechnique et d'Electronique de la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Ville de Paris (directeur G. Proebster) (Bertaux *et al*. 1993b). Une prospection électrique est réalisée sur le tracé hypothétique de l'aqueduc Grand-Bréchainville, entre le lieu-dit La Citerne et Grand. La découverte en 1963 d'un fragment de cunette au SO de la ferme de La Violette dans une tranchée des travaux d'adduction d'eau motive en 1969 l'ouverture de deux autres sondages dans les alentours. Le dégagement de nouveaux vestiges renforce l'hypothèse d'une conduite se dirigeant vers Grand et décide de la mise en œuvre d'une prospection géophysique pour en vérifier le cheminement (EDF 1993). Des sondages de vérification sont définis sur les pics de résistivités. A un mètre de profondeur, est dégagée « seulement en amont de La Citerne, une cunette taillée dans de grands blocs monolithes ». L'existence d'un aqueduc alimentant les « thermes » de la rue de Liffol sera alors admise (Bertaux *et al*. 1993b, EDF 1993).

A l'issu des sondages positifs de Ch. Bertaux l'année précédente, des tests géophysiques sont également menés dans le secteur de la « *villa* La Violette », au commencement de la fouille dirigée par J.-C. Berçot (Berçot 1973b). Les résultats n'ont pas dû être concluants car celui-ci ne les mentionne guère. S'il reconnait que sa fouille a bénéficié de « techniques archéologiques modernes : mesures électriques de résistivité des terrains et surtout photographies aériennes », il n'a exploité que ces dernières.

Enfin, la prospection électrique est vue comme un moyen de reconnaissance du réseau souterrain après la défection des spéléologues sollicités par E. Salin. Des mesures sont réalisées « pendant un mois » mais n'apportent rien de nouveau (Bertaux 1974b).

Une 3ème phase de recherche s'ouvre en **1975** (Bertaux *et al.* 1993a). De fait, J.-P. Bertaux, agent technique attaché à la Direction des Antiquités Historiques, apparait comme l'un des promoteurs[14] de la prospection géophysique pour la détection de structures archéologiques. Il entreprend ponctuellement des mesures électriques pour caractériser des vestiges inaccessibles par des voies classiques ou trop couteuses. La commercialisation en 1975 du contrôleur de terre Chauvin-Arnoux Terracontrole V, que met à sa disposition R. Vindevoguel, directeur de l'Agence Régionale des Ets Chauvin-Arnoux (Nancy), rend accessible une technique « réservée jusqu'alors aux spécialistes ». Elle lui permet de mener ses propres prospections sans l'aide de géophysiciens. Des essais sont réalisés sur la section ouest du rempart qui n'est pas dégagée mais dont le tracé est connu. Trois profils perpendiculaires espacés de 80 m et un profil recoupant une tour sont réalisés. Il contrôle la répétitivité des mesures en différentes saisons, sur des profils espacés de 260 m (Bertaux

[14] Dans un article paru en 1983, il met en relief, à partir de l'exemple de l'enceinte de Grand, les avantages de ce type de prospection, appliqué également sur les remparts de Soulosse (Vosges), Toul (Meurthe-et-Moselle), sur les habitats de Bliesbrück-Sarreinming (Moselle), sur le sanctuaire de Deneuvre (Meurthe-et-Moselle), sur les abbayes de Clairlieu et Beaupré (Meurthe-et-Moselle) et Mureau (Vosges) (Bertaux 1983, Bertaux *et al*. 1993b).

1983). Alors que les résultats des premières prospections électriques de 1969 lui semblent très limités en raison de l'appareillage utilisé (Bertaux 1983), ceux-ci sont très satisfaisants et permettent un « relevé de sa configuration exacte » impossible autrement à obtenir « aussi rapidement » (Bertaux *et al.* 1993b).

De nouvelles prospections auraient été entreprises pour localiser les conduits situés à faible profondeur et auraient « apporté des résultats très positifs » (Bertaux 1975). Bertaux envisage de généraliser la méthode. Mais, comme nous l'avons dit au chapitre 3, aucun résultat sur la reconnaissance du réseau hydraulique par géophysique n'est publié - même si cette méthode figure parmi les moyens répertoriés pour la recherche des galeries (Bertaux 1978). Il semble qu'aucune suite n'ait été donnée à ce projet, peut-être en raison de l'acquisition de nouveau matériel (électropompe, treuil électrique, etc.) en 1976 qui relance l'exploration spéléologique (Bertaux 1977).

Grand compte en 1976-1977 parmi les sites lorrains les plus importants en termes d'activité archéologique grâce aux crédits accordés par le Secrétariat d'Etat à la Culture et le Conseil Général des Vosges, avec trois fouilles programmées et trois interventions de sauvetage. Le dégagement de l'amphithéâtre a débuté en 1975 sous la direction de R. Billoret avec le déblaiement de la moitié sud qui se poursuit en 1976 par le dégagement des ¾ de la moitié nord. En **1977**, ne subsiste qu'une bande de cailloutis, en bordure du mur de l'arène, que les premiers sondages disent stérile malgré les observations antérieures (Burnand 1978). Plusieurs profils électriques sont réalisés par J.-P. Bertaux dans l'arène et mettent en évidence sur le pourtour, en avant du mur, des blocs de grandes dimensions, séparés par des zones d'éboulis. A partir des résultats géophysiques, la décision est prise de retarder l'évacuation du recouvrement alluvionnaire pour dégager au préalable ces éléments d'architecture potentiels. La fouille du talus nord met au jour deux murs maçonnés séparés par des éboulis appartenant à une pièce symétrique à celle fouillée dans le talus sud (Billoret 1977, 1978 ; Burnand 1980).

Le rempart semble avoir fait l'objet de nouvelles prospections en 1977. Ch. Bertaux qui travaille sur l'enceinte inclut cette technique parmi les moyens employés pour déterminer son tracé, en particulier dans les endroits difficiles d'accès (jardins privés) où elle s'est « révélée parfaitement appropriée ». La section NO et la tour d'angle SO auraient été reconnues de cette façon (Ch. Bertaux 1977, 1979 ; Burnand 1978). Pourtant, dans sa synthèse sur l'enceinte (Ch. Bertaux 1982, 1983, 1985), la section NO figure comme une section mal appréhendée et dont le tracé hypothétique n'a été confirmé par aucun élément, à l'instar des autres sections. Quant à la tour d'angle SO elle n'a manifestement pas été mise en évidence par les prospections car elle est également classée parmi les tours hypothétiques.

En **1983**, M.-D. Waton, ingénieur des fouilles historiques de Lorraine, dirige une fouille de vérification sur le plateau au sud de l'amphithéâtre, dans une zone sondée par J.-C. Berçot en 1968 puis par J.-P. Legendre en 1982. Ils avaient conclu à un secteur d'installations légères liées au fonctionnement de l'amphithéâtre (boutiques) et à une zone d'épandage (Berçot 1968, Legendre 1982, Waton 1983). Deux profils de résistivité sont réalisés par J.-P. Bertaux le long de la fouille. L'un montre l'absence de structure en dur et l'existence d'une zone remaniée ou

occupée dans l'antiquité. L'autre signale la présence de blocs de pierre dans la galerie de circulation, indices de la dégradation du mur extérieur. La fouille confirme ces interprétations (Waton 1983). L'année suivante, la fouille se poursuit et l'implantation des sondages archéologiques s'appuie sur les résultats de la prospection électrique de 1983. De nouveaux profils sont réalisés au niveau des vomitoires mais apportent peu d'information ; ils révèlent seulement l'absence de structures en pierre (Waton 1984).

En 1988, l'étude hydrogéologique du site parait incontournable et prend désormais le pas sur les autres travaux archéologiques. Si le site est indubitablement un sanctuaire de source, selon J.-P. Bertaux, l'origine et la finalité de l'eau n'en restent pas moins problématiques. La place des Halles, lieu de convergence des circulations souterraines, devient le nœud de ce sanctuaire et l'église se retrouve au cœur de la question. L'hypothèse qui prévaut est que le sous-sol de la place renferme des vestiges monumentaux sur les remblais desquels est construite l'église. Mais les moyens de reconnaissance font défaut dans ce secteur complexe qui a été très remanié. Les aménagements successifs - destruction de la chapelle Sainte-Libaire à la fin du 18ème siècle, remblai de la fontaine, construction du réservoir devant l'église au 19ème siècle, etc. - ont modifié les circulations souterraines depuis l'Antiquité. Les conduits aux abords de l'église sont impraticables ; le colmatage sédimentaire et la dégradation avancée des maçonneries empêchent d'y pénétrer. L'exploration spéléologique montre ses limites et les sondages archéologiques dans l'église ne sont par ailleurs pas envisageables. Le recours à la géophysique apparait comme une solution. La dernière étape du programme de recherches géophysiques à Grand est donc atteinte en juillet **1989** avec la signature de la convention de mécénat technologique EDF. L'étude géophysique est menée de front avec l'étude hydrologique (*cf* chapitre 3) sous la direction de P. Delétie, ingénieur à EDF, responsable scientifique de l'association ADMITECH. L'objectif principal est de définir la continuité du réseau de galeries souterraines dans cette zone inaccessible aux spéléologues et d'identifier l'environnement anthropique de la résurgence (Bertaux 1989, EDF 1990, 1993, Bertaux *et al.* 1993, Delétie et Bertaux 1994, Albouy *et al.* 1990-1994).

Plusieurs techniques géophysiques couplées à des sondages géotechniques sont employées pour localiser structures bâties, cavités et souterrains : EM31 (CPGF), radar (Société Geomega, Centre d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics CEBTP), thermométrie, gravimétrie. Quelques tests sont également effectués ponctuellement dans l'amphithéâtre, sur la mosaïque, sur le rempart, sur le terrain de foot et dans la chapelle Sainte-Libaire du cimetière communal.

Contrairement aux attentes, aucune structure maçonnée n'est découverte au niveau de l'église. Les mesures gravimétriques et les sondages montrent que le sous-sol y est constitué de sédiments fins et non pas de remblais anthropiques. L'absence d'aménagement monumental au point de convergence du réseau hydraulique en fait donc un plan d'eau naturel, une « mare sacrée ». La morphologie de cette dépression est rapprochée de celles des formes karstiques du bois de Trampot. Conclusion est tirée de l'existence de deux dolines sécantes reliées par un chenal : l'eau provenant des conduits aboutit dans la doline amont, circule quelques mètres à

l'air libre puis s'évacue par la doline en aval (EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993a, Delétie et Bertaux 1994, Bertaux et Delétie 1997).
L'emplacement du point de convergence des conduits et de la source, supposé se trouver au niveau du Grand puits rebouché vers 1800, est retrouvé à l'angle NO de l'église grâce aux mesures EM31, gravimétriques et de compacité (EDF 1990, 1993). Ces mêmes données EM31 permettent de localiser, sur la place des Halles, le puits de Sainte Libaire, abrité par l'ancienne chapelle et recomblé lors de son arasement au 19ème siècle. Une structure probablement en relation avec les vestiges antiques dégagés à quelques mètres est également repérée aux abords NE de l'église (EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993b). Les données radar reflètent bien elles aussi l'hétérogénéité du terrain et fournissent une « ébauche de carte d'anomalies susceptibles de correspondre à des conduits » car certaines se superposent parfaitement aux galeries connues (Géraads 1991).

Enfin les résultats des prospections viennent compléter la connaissance de certains édifices. Les profils radar mettent en évidence dans l'amphithéâtre, en plus de la *cloaca* déjà connue, d'autres anomalies qui restent à identifier (mur, petit drain, tranchée fondation du mur d'arène) (Géraads 1991, EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993b). Dans l'édifice à plan basilical, un mur est détecté à la base de l'abside dans le prolongement des murs latéraux existants, et pourrait appartenir à un état antérieur du bâtiment (Géraads 1991, Bertaux *et al.* 1993b). Les résultats des prospections EM31 sur le rempart sont « significatifs » tout comme ceux obtenus sur le terrain de foot où le tracé du réseau karstique a été « localisé avec précision » (Bertaux *et al.* 1993b). Cette opération de mécénat s'achève sur un bilan positif de l'emploi de ces différentes méthodes et sur la conclusion qu'une application systématique est à présent nécessaire pour arriver à un « inventaire exhaustif des structures archéologiques du sous-sol » (Bertaux *et al*. 1993b).

II. 1. b. Relecture des données

- Grand jardin (Hugon 1959)

6 profils de résistivité électrique parallèles (E1-E6) d'une longueur comprise entre 26,5 et 41 m (mesures tous les 0,5 ou 1 m, sans que la configuration des électrodes soit donnée) ont été réalisés dans le pré derrière le Centre du patrimoine. Le substrat calcaire affleure sur le versant sud du talweg et est détecté sur E1 (100 à 300 Ω.m). Le changement lithologique est très net et se traduit par une brusque chute des résistivités autour de 50 Ω.m. Cette valeur moyenne se retrouve sur les profils E2 à E4 puis augmente sur les profils E5 et E6 (80 Ω.m environ). Ces mesures correspondent à une zone plus conductrice en fond de vallon qui devient plus résistante vers l'est. Le terrain plus argileux permet de visualiser très clairement le passage des conduites par des pics de résistivités (> 200 Ω.m). Le diverticule de la galerie du Groupe scolaire est détecté sur E1 (Figure 91) ; E2, E3, E4 montrent le tracé de la galerie principale ; E5 et E6 celui du conduit partant du puits *222*. En 1959 Hugon n'a apparemment pas connaissance de l'existence de tous ces conduits. L'exactitude de son interprétation sera vérifiée par l'exploration des souterrains.

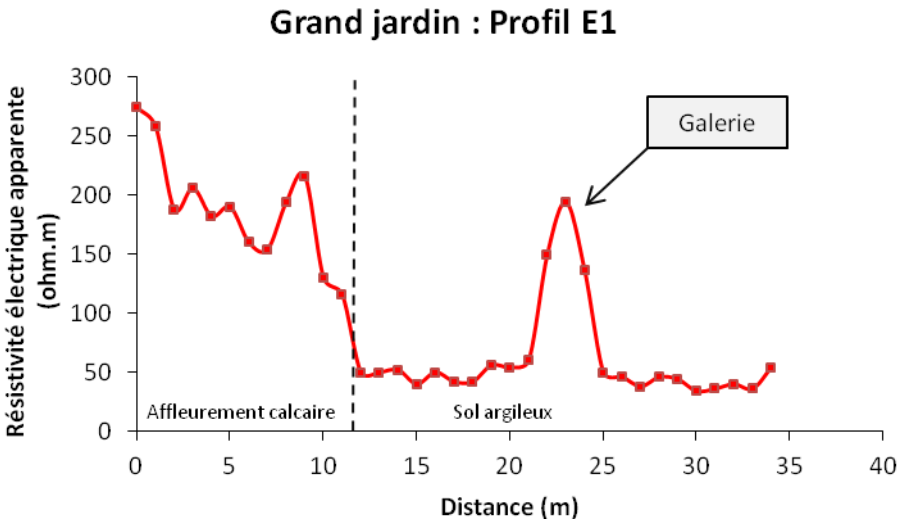


Figure 91. Profil de résistivité électrique E1 obtenu au lieu-dit Grand jardin (parcelle 17) en octobre 1959. D'après les données du rapport (Hugon 1959).

- Derrière la mosaïque (Hugon 1959)

4 profils électriques (E7-E10) longs de 13,5 à 70 m (pas de mesure : 0,5 ou 1 m) sont implantés au nord de l'édifice à plan basilical.

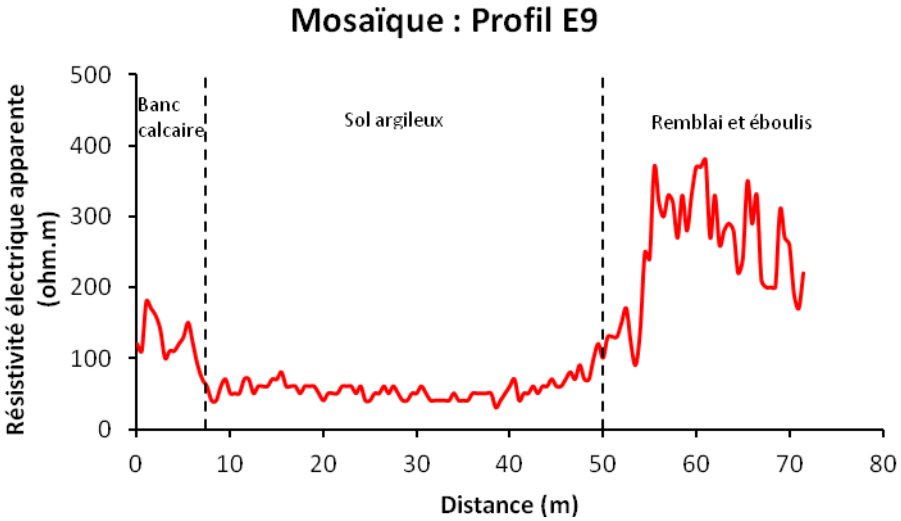


Figure 92. Profil de résistivité électrique E9 obtenu dans le secteur du bâtiment à plan basilical (parcelles *966-968*) en 1959. Mise en évidence d'une zone remaniée aux abords du jardin Huguet (à droite). Des vestiges antiques y seront dégagés. D'après les données du rapport (Hugon 1959).

Trois zones sont visibles (Figure 92). A l'ouest, une zone résistante (> 60 Ω.m) correspond à l'affleurement rocheux déjà mis en évidence sur l'extrémité du profil E1. Puis une zone plus conductrice (environ 50 Ω.m) s'étend dans l'espace central jusqu'à une zone caractérisée par des valeurs élevées et des variations de résistivité oscillant entre 100 et 600 Ω.m, causées par la présence de nombreux blocs calcaires et éboulis enfouis. Hugon conclut à des matériaux de

démolition partiellement compactés. La fouille du secteur entre les années 1960 et 1966 lui donnera raison.

- Croix rouge (Hugon 1959)

2 profils (E11-E12) de 25 m (points tous les 0,5 m) sont définis dans la parcelle *47*, anciennement propriété Meyer. Les valeurs varient entre 75 et 175 Ω.m avec deux augmentations nettes de résistivité causées probablement par des éléments maçonnés (mur ou canalisation).
2 profils (E13-E14) longs de 26,5 m et 23 m (point tous les 0,5 m) sont implantés au sud du chemin de la Pichée. De fortes variations de résistivité y sont relevées (Figure 93). Les valeurs comprises entre 100 et 125 Ω.m sont attribuées au terrain naturel, les valeurs supérieures à 300 Ω.m au massif calcaire. Les valeurs entre 150 et 275 Ω.m sont causées par un dallage calcaire (voie, cour, place ?) et par des blocs calcaires dont la présence est confirmée par le témoignage du propriétaire (observations lors de la pose d'une canalisation) et par un sondage de vérification.

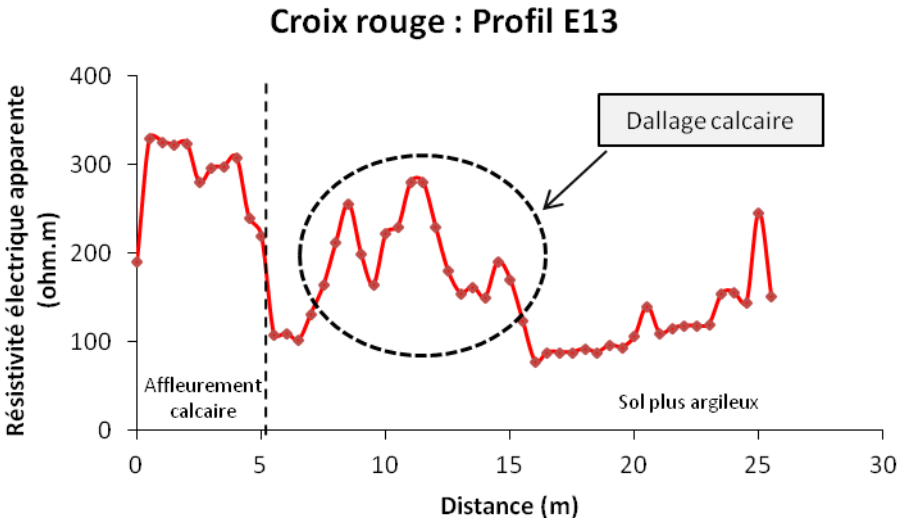


Figure 93. Profil de résistivité électrique E13 réalisé au nord de la Grande rue en 1959. Détection d'anomalies associées à un dallage calcaire. D'après les données du rapport (Hugon 1959).

- Sur les Roises (Hugon 1959)

2 profils (E15 et E16) de 25 m (mesures enregistrées tous les 0,5 m) ont été réalisés au lieu-dit *Sur les Roises* pour y repérer des sépultures. Le terrain moyennement résistant (environ 80 Ω.m) accuse deux augmentations brusques de résistivité dépassant 250 Ω.m (Figure 94). Un sondage pratiqué sur ces deux emplacements a révélé à 0,5 m de la surface dans une argile caillouteuse deux fosses remplies de cailloux non compactés. La conclusion est prudente : il peut s'agir d'anciennes sépultures.

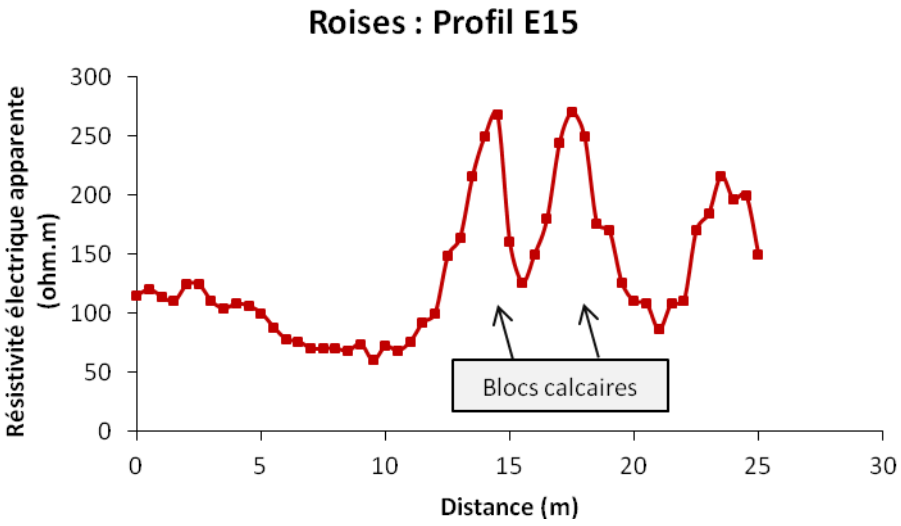


Figure 94. Profil de résistivité électrique E15 réalisé au lieu-dit Sur les Roises en 1959. Deux fosses remplies de blocs sont découvertes après la prospection électrique. D'après les données du rapport (Hugon 1959).

- Aqueduc Sud

Les mesures ont été obtenues en 1969 à l'aide d'un « potentiomètre Cagniard » selon un « dispositif quadripôle Schlumberger ». Le tracé de l'aqueduc a été déterminé par l'augmentation de la résistivité sur son passage (Bertaux *et al.* 1993b). Le graphe qui illustre ces conclusions est inexploitable en l'absence de localisation et d'échelles. De plus le tracé dessiné ne se positionne pas sur les valeurs de plus forte résistivité. Les données manquent donc pour localiser l'itinéraire de cet aqueduc.

- Amphithéâtre

4 profils (Billoret 1977) électriques sont réalisés par J.-P. Bertaux dans l'arène. Peu d'indications accompagnent les graphes, en particulier sur la position des profils, la grandeur représentée et la technique adoptée (sondage Hoffman ?). Les mesures sont effectuées tous les mètres en juin 1977.
- AB : long de 12 m, le profil suit la courbure (?) de l'arène à un mètre du mur nord. Les valeurs, élevées et contrastées, traduisent un milieu résistant et hétérogène. L'hypothèse de nombreux éléments lithiques de grandes dimensions séparés par des éboulis est avancée. Cette supposition est étayée par l'existence de blocs moulurés dégagés aux extrémités est et ouest de la demi-ellipse et est vérifiée par la fouille qui suit la prospection géophysique.
- CD : long de 10 m, le profil est établi sur le talus nord pour rechercher une pièce faisant pendant à la pièce fouillée dans le talus sud. Une zone plus résistante est détectée sur une largeur de 7 m au centre du profil ; les valeurs décroissent de part et d'autre. L'interprétation conclut à la présence d'une maçonnerie en bon état, encadrée par une zone d'éboulis avant de rejoindre le terrain naturel, ce que confirme la fouille.

- EF : long de 15 m, le profil, parallèle au petit axe de l'arène, est placé en travers du corridor pour vérifier l'emplacement de la *cloaca* (Figure 95). Une hausse des valeurs au milieu du profil, sur 5 m, marque son passage. Les valeurs latérales sont plus faibles (de moitié) et correspondent au terrain naturel homogène. Une zone plus résistante est visible à l'extrémité du profil créée probablement par la proximité du talus non fouillé.
- GH : long de 20 m, le profil est parallèle au profil CD dans la moitié sud de l'ellipse. Les valeurs mesurées sont peu élevées et homogènes. Quelques variations locales sont expliquées par une tranchée. D'après ces résultats J.-P. Bertaux et R. Billoret concluent à l'absence de substructions dans l'arène et abandonnent l'hypothèse de vestiges appartenant à un état antérieur de l'édifice.

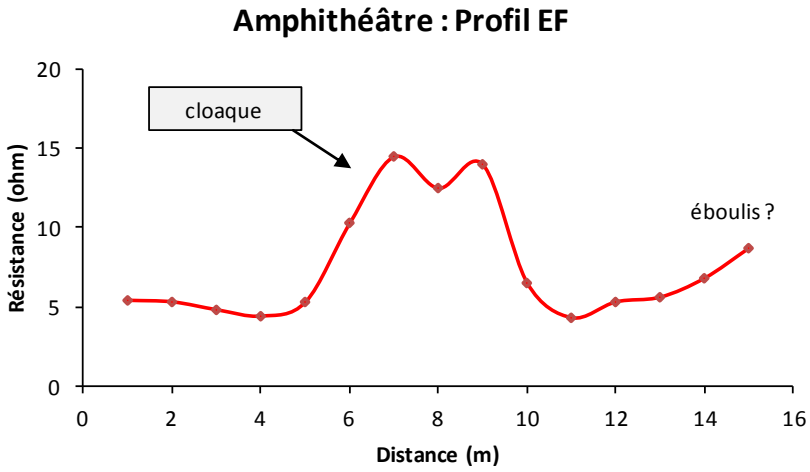


Figure 95. Profil électrique EF réalisé en 1977 dans l'arène de l'amphithéâtre sur un transect perpendiculaire au grand axe. Mise en évidence du passage de la *cloaca* et d'une zone d'éboulis. D'après un graphe de J.-P. Bertaux (Billoret 1977).

Des profils radar sont réalisés en 1989. Les résultats d'un seul transect, parallèle au petit axe de l'amphithéâtre, sont publiés (document GEOMEGA). Ils confirment la position centrale de l'égout et mettent en lumière l'existence de structures insoupçonnées. Ces dernières sont interprétées comme les restes d'un mur arasé, d'un petit drain peu profond et d'une tranchée de fondation du mur d'arène entaillée dans le substrat (Geraads 1991, EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993b).

- Boutiques/Vomitoires

3 profils de 10 à 17 m ont été réalisés : deux le long des sondages de 1983 et un en face d'un vomitoire. Les courbes qui accompagnent le rapport de fouille présentent peu d'intérêt. Ils montrent une augmentation de résistivité aux abords du mur de l'amphithéâtre et quelques variations sur le profil le plus éloigné de l'édifice. Les résistivités mesurées sur ce dernier profil ne permettent pas, à elles seules, d'exclure la présence de structures maçonnées comme l'indique le rapport de fouille (Waton 1983). Les contrastes observés prouveraient même le contraire. En réalité cette interprétation est celle de la fouille qui est étudiée en parallèle.

5 profils (Waton 1984) de 6 à 10 m prennent appui sur l'amphithéâtre et n'apportent aucun élément remarquable. Comme attendu les valeurs sont élevées aux abords du bâtiment, zone d'éboulis et de remblai. Un dernier profil de 20 m de long est réalisé sur une tangente au mur entre deux vomitoires. Il n'est pas non plus exploité car la variation de résistivités constatée n'autorise qu'une interprétation vague.

- Rempart

4 profils électriques sont publiés (Bertaux 1983). Ce sont des transects de 23 m (dispositif Wenner, écartement 1 à 4 m) positionnés sur le tracé de la section ouest du rempart ; leur localisation précise n'est pas donnée. L'emplacement du rempart se manifeste sur chacun des profils par une augmentation nette de résistivité sur une largeur de 7 à 10 m. L'interprétation qu'en propose Bertaux tient compte de l'état du rempart tel qu'il est connu dans les secteurs où il a été dégagé. Ainsi il distingue trois groupes de structures. Les zones les plus conductrices sont associées au terrain naturel. Elles sont réparties de part et d'autre d'une zone résistante centrale, causée par les substructions antiques (tour ou courtine). Avec l'hypothèse que le rempart est large de 2,7 m et renforcé à l'extérieur par un glacis et un fossé, une zone de transition (valeurs de résistivité intermédiaires) est définie entre le terrain naturel et le rempart. Elle est interprétée comme une zone d'éboulis ou un fossé comblé. Elle serait moins étendue à l'intérieur (à l'est) car la variation des résistivités y est plus rapide.
La zone résistante présente à l'extrémité du profil A (Figure 96) serait créée par les restes d'un ancien moulin à vent représenté « sur un document du 18ème siècle ». D'après les cadastres anciens, cette information situerait le profil au sud de la section ouest (Moulin La Dame). D'autre part, un profil semble avoir été réalisé sur le passage de la conduite Paramel au travers du rempart. Quant au profil D, il recoupe une tour qui crée une anomalie résistante plus étalée (Bertaux 1983).

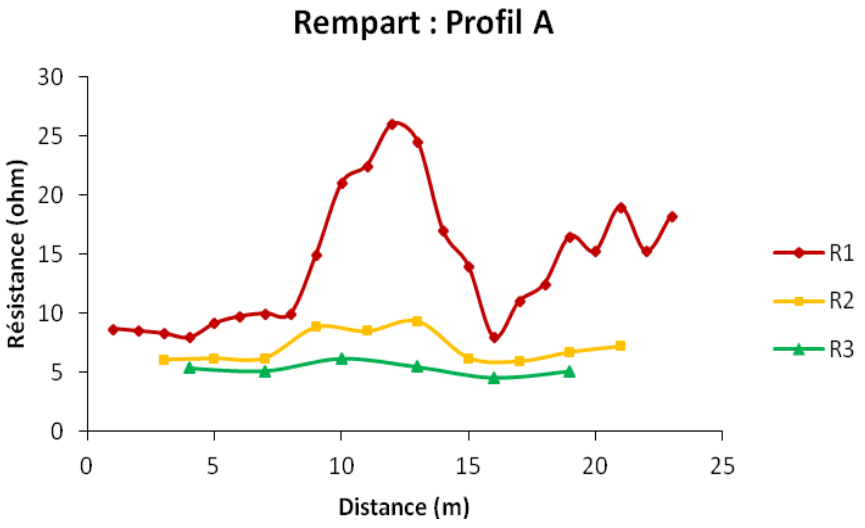


Figure 96. Profil électrique A réalisé sur la section ouest du rempart avec 3 écartements d'électrodes (non donnés). L'augmentation des valeurs est attribuée au centre aux substructions du rempart, au nord (à droite) aux vestiges d'un moulin. D'après un graphe de J.-P. Bertaux (1983).

Concernant la section NO, Ch. Bertaux souligne jusqu'en 1983 le rôle des prospections géophysiques dans la détermination de son tracé. Malgré le caractère apparemment décisif de ces mesures, les résultats ne figurent pas dans les documents consultés. On peut émettre des réserves sur le bilan de ces prospections qui, s'il avait été concluant, aurait certainement été présenté parmi les tests réussis. De nouvelles prospections à l'EM31 sont décidées en 1989 et apporteraient la preuve attendue (Bertaux *et al.* 1993b). Le graphe qui illustre cette affirmation provient du fonds CPGF et montre 3 courbes de conductivité électrique apparente sur des profils d'une trentaine de mètres de longueur. Les variations observées concordent d'un profil à l'autre : une augmentation des résistivités sur 20 m, de 50 Ω.m jusqu'au maximum 80 Ω.m, puis une diminution progressive de 80 Ω.m à 55 Ω.m à l'extrémité du profil. Ces mesures ont en réalité été obtenues sur la section ouest, entre les tours 19 et 20, ainsi que l'indique la légende du même graphe dans les rapports EDF (1990, 1993). 7 profils ont été réalisés sur la section NO mais ne sont pas exploitables car leur localisation n'est pas donnée. L'anomalie que crée le passage du rempart ne peut être distinguée dans les variations enregistrées, d'autant plus qu'il s'agit de terrains remaniés (jardins).
Quant à la tour d'angle SO, la prospection géophysique n'a pas permis de la mettre en évidence.

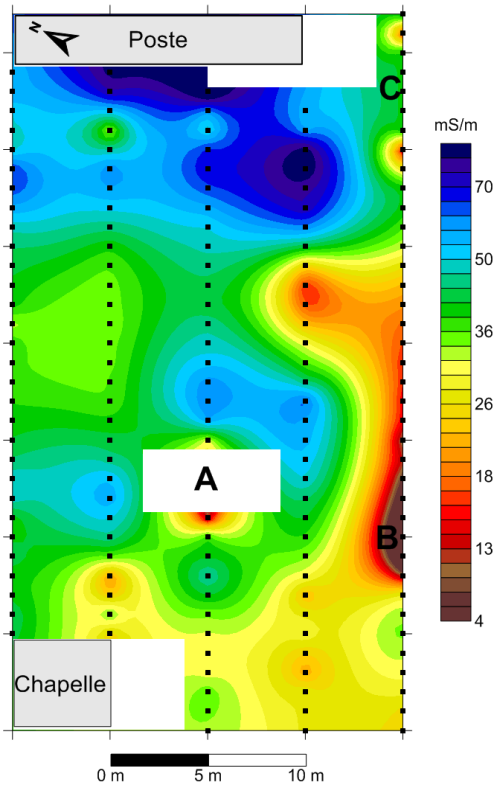
- Terrain de foot

La surface du terrain de foot (104 x 61 m^2) a été cartographiée à l'EM31 en 1989. Les valeurs de conductivité électrique apparente figurant sur un document EDF-CPGF daté de 1991 permettent de visualiser l'affleurement du substrat calcaire dans la moitié sud du terrain. Au nord, une bande conductrice se développe dans l'axe du talweg (*cf* II. 2. b.). L'interprétation qui consiste, sur la base de cette anomalie conductrice, à y « localiser avec précision » (Bertaux *et al.* 1993b) le passage du conduit karstique semble présomptueuse. La topographie du vallon, qui constitue une zone d'écoulement préférentiel des eaux et de dépôts plus argileux, peut expliquer à elle seule les fortes valeurs mesurées à cet endroit.

- Place des Halles

Les données **EM31** - CPGF ont été récupérées sur un croquis trouvé dans les rapports EDF (1990, 1993) et interpolées pour obtenir une carte de conductivité électrique apparente (Figure 97). Les indications sur le protocole d'acquisition sont peu nombreuses. D'après le croquis et les photographies (EDF 1993), les mesures semblent avoir été prises en configuration HCP, en point par point tous les mètres, le long de 5 profils d'une trentaine de mètres espacés de 5 m. Après un géoréférencement approximatif de la carte, basé sur la position des profils par rapport aux bâtiments (petite chapelle, bureau de poste, église), cette hypothèse semble correcte.

Trois zones « à faible conductivité » ont été identifiées (Bertaux *et al.* 1993b, EDF 1990, 1993) :



- **A** correspondant aux fondations de l'ancienne chapelle arasée et reconstruite en 1843 à l'emplacement actuel,
- **B** correspondant au Grand puits rebouché à l'angle NO de l'église lors de la construction du citerneau souterrain en 1857 entre l'église et le passage de la Coulotte,
- **C** peut-être en rapport avec les vestiges (« dallage en grand appareil, cunette, sol paléochrétien ») trouvés à quelques mètres de là en 1985.

Figure 97. Variations de conductivité électrique apparente (EM31) du sous-sol de la place des Halles. Les points de mesure sont figurés en noir. D'après les données du rapport (EDF 1990).

La comparaison des rapports EDF brut et publié montre une divergence des valeurs des anomalies A et C. La publication indique des valeurs négatives pour A et C. Le rapport brut ne comporte aucune valeur pour A et indique une valeur de 40 millimhos pour C. Cette incohérence à l'endroit des anomalies précisément retenues et interprétées ne permet pas de les considérer comme significatives.

L'espacement des profils de mesure pose également problème. Avec ce maillage (5x1 m), il est difficile de localiser des structures de dimensions aussi réduites que celles d'un puits, et l'effet de l'interpolation n'est pas négligeable.

Globalement cette carte montre que le sous-sol de la place est conducteur (25-70 mS/m), assez hétérogène, avec une zone plus résistante à l'ouest et au SO et quelques variations locales. L'anomalie B apparait comme la zone la plus résistante de la carte ; elle se situe à quelques 5 m de l'angle NO de l'église et s'étend sur une dizaine de mètres.

Le relevé des anomalies décrites dans les publications ne parait donc pas justifié au vu des valeurs mesurées et l'interprétation proposée ne peut pas être validée. Cette carte ne permet pas de localiser l'ancienne chapelle et le Grand puits.

D'après les croquis trouvés dans le rapport EDF (1990), deux campagnes **radar** ont été conduites : 9 profils ont été réalisés par Geomega, 6 profils par la CEBTP (antenne 300 MHz) mais les données n'ont pu être retrouvées. Les interprétations, très sommaires, présentent des similitudes. Des réflecteurs en forme d'hyperboles ont été repérés (conduits ?). Certaines anomalies, situées à faible profondeur, peuvent être causées par des canalisations récentes, d'autres, plus en profondeur, par des galeries maçonnées. Des zones de désordre dans le terrain ont également été mises en évidence.

- Eglise

Les mesures **radar** Geomega sont réparties sur trois profils dans le transept, deux profils dans chaque bas-côté et un profil transversal. D'après les interprétations publiées, elles montrent deux endroits du sous-sol très perturbés (chœur et bas-côté nord) qui coïncident avec les zones où les superstructures sont déstabilisées (EDF 1990). Les mesures CEBTP semblent confirmer ces résultats : une anomalie profonde (4-5 m) apparait dans l'allée nord et des « zones humides en profondeur » sont figurées dans le transept et le chœur (EDF 1990). Les données brutes, absentes, n'ont pu être réétudiées.

Un test de **compacité** à la sonde manuelle est décidé (O. André) après les observations faites lors de l'implantation des électrodes (traçage). Il ne constitue pas un véritable essai pénétrométrique : des tiges de fer à béton (1 cm de diamètre) sont enfoncées à la main jusqu'au refus. Trois lignes de mesures (46 sondages) dont la position n'est pas donnée sont réalisées à l'intérieur de l'église. La carte (Figure 98) représente les profondeurs atteintes après nivellement et provient de la digitalisation de courbes interpolées (EDF 1990). Elle donne les épaisseurs minimales de terrain traversé puisque le refus a pu survenir par blocage de la tige sur une hétérogénéité locale.

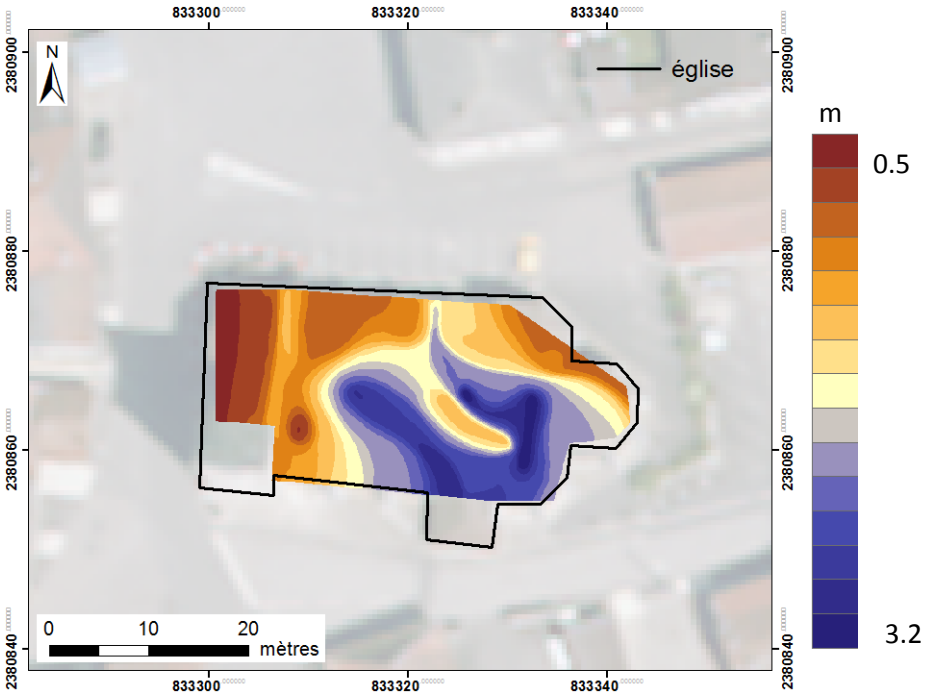


Figure 98. Répartition des profondeurs nivelées atteintes par enfoncement manuel d'une tige métallique dans le sous-sol de l'église. D'après une carte interpolée réalisée par O. André (EDF 1990). La position des points de sondage n'est pas connue.

L'enfoncement de la tige varie de 0,5 à 3 m. Une zone compacte est présente à l'ouest sous les premières travées et le bas-côté nord. Une zone meuble se développe dans un vaste quart SE de l'église. Des hétérogénéités locales semblent être rencontrées (zone plus compacte en forme de banane).

A la suite de ces résultats, 15 forages à la tarière mécanique (6 cm de diamètre) sont réalisés par la Société Bonne Espérance pour analyse de la stratigraphie : 4 dans l'église, 9 à ses abords et 2 sur la place. Ils sont utilisés pour effectuer les mesures hydrologiques (piézométrie, conductivité et température de l'eau – chapitre 3. IV. 3. a.). Ils confirmeraient la présence, jusqu'à une profondeur de 5 m sous l'église, de sédiments argileux provenant du lessivage du karst (Burtin *et al*. 1991, EDF 1993).

Des mesures (CPGF) de **microgravimétrie**[15] sur la place et dans l'église font suite au test de compacité (Burtin *et al*. 1991, Lemoine *et al.* 1991). Les 92 points de mesure ont été localisés approximativement (EDF 1993) et les valeurs interpolées (Figure 100-a). Ainsi qu'il est précisé dans les publications, les mesures brutes de terrain ont été partiellement corrigées. Les corrections d'altitude, heure, dérive de l'appareil ont été appliquées mais non la correction de relief (Lemoine *et al.* 1991, EDF 1993). Les masses des superstructures (église et clocher) n'ont pas été prises en compte car les contrastes de densité relevés ont paru suffisamment importants pour s'en abstenir.

Une modélisation simple de l'anomalie créée par l'église montre cependant l'influence non négligeable de l'édifice sur les valeurs enregistrées au niveau du sol (Figure 99). A l'intérieur du clocher elles atteignent 200 à 300 µGal et sont du même ordre de grandeur que les anomalies du sous-sol. Une nouvelle carte a été réalisée en intégrant cette correction de relief (Figure 100-b). Le résultat obtenu s'accorde mieux avec le résultat des tests de compacité (Figure 98). Il montre un déficit de masse dans le sous-sol de l'église par rapport au terrain environnant. La densité du terrain est plus importante sous les premières travées à l'ouest et diminue vers l'est. Les pics observés sur la carte non corrigée au niveau du chœur et du clocher n'apparaissent pas après correction. Le chenal d'axe O-E situé dans le bas-côté sud reliant deux dépressions (EDF 1993, Delétie et Bertaux1994, Bertaux et Delétie 1997) n'a donc pas de réalité.

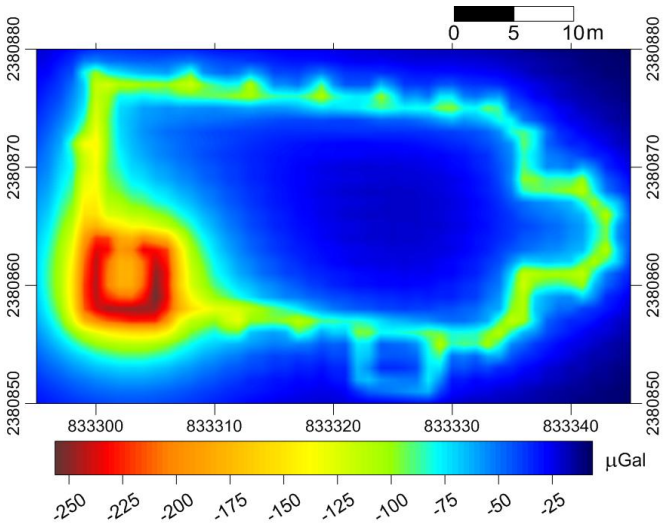


Figure 99. Anomalie gravimétrique créée par les murs de l'église à la surface du sol. La modélisation est faite à partir de volumes élémentaires respectant les dimensions du bâtiment. Une densité moyenne de 2 a été choisie pour les murs. Les plus fortes valeurs sont rencontrées à l'aplomb du clocher.

[15] Gravimètre Lacoste et Romberg modèle D (EDF 1993).

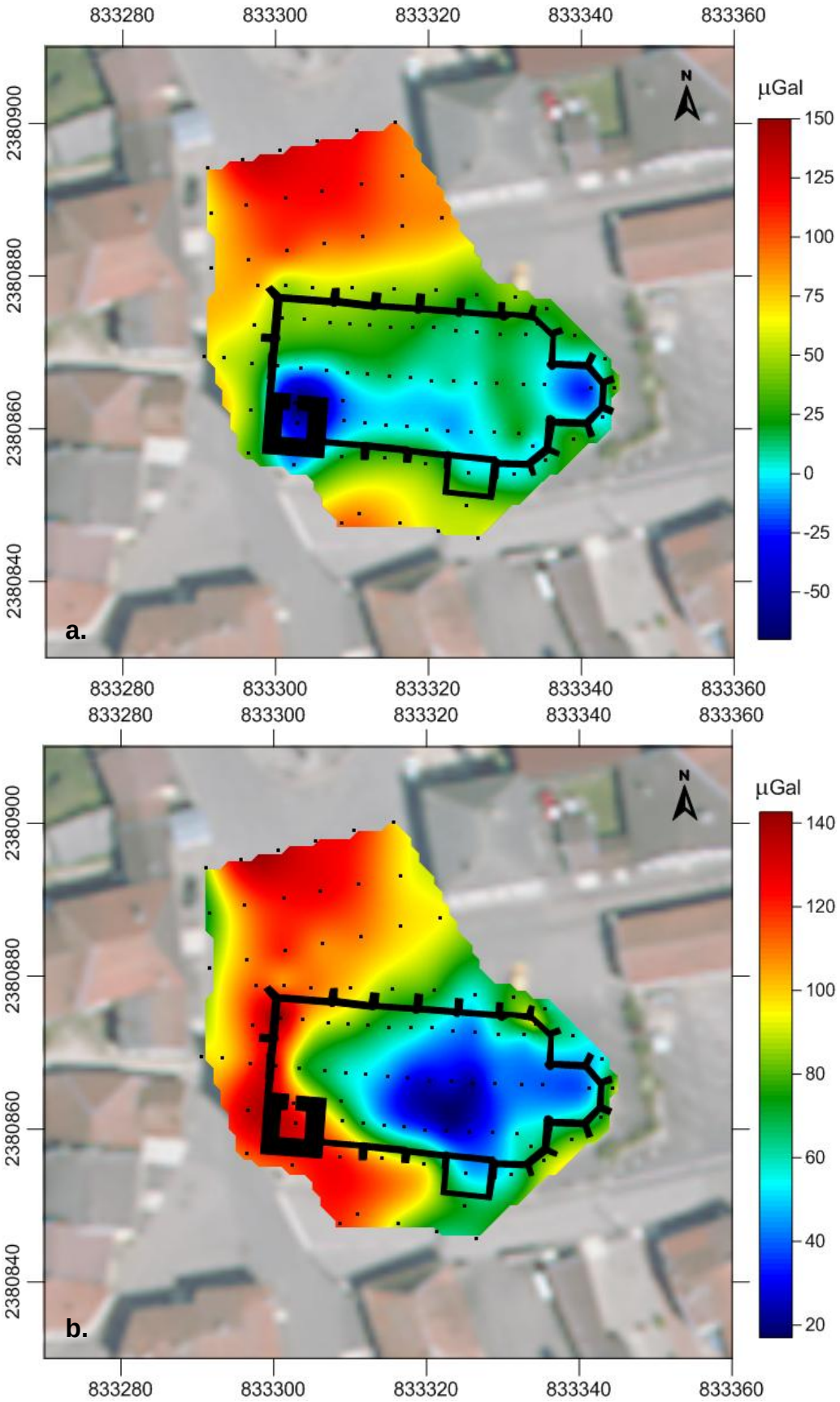


Figure 100. Anomalie gravimétrique créée par les contrastes de densité du sous-sol de l'église et de la place des Halles : a. avant correction, b. après correction. La carte est géoréférencée, les positions des mesures sont indiquées en noir. D'après les mesures faites en 1989 (EDF 1993).

- Mosaïque

Une prospection radar a été réalisée en 1989 consistant en trois profils de mesures (orthogonaux). Les conclusions font état de deux anomalies intéressantes. La première se situe sous l'*emblema* où une différence dans la nature des fondations est visible. La seconde se situe à la base de l'abside où la présence d'un mur est repérée à 0,3 m de la surface du sol. Ce mur large de 1,75 m serait conservé sur une hauteur de 1,2 m et aurait été arasé lors de la pose de la chape de béton de la mosaïque. Il pourrait s'agir des restes d'une fondation entre les deux murs latéraux de l'abside (EDF 1993, Geraads 2006).

II. 2. Nouvelles prospections : 2008-2011

L'ensemble des questionnements que pose le site de Grand nécessite que les grandes lignes du plan de l'agglomération soient reconnues. Cette étape est indispensable pour comprendre les aménagements hydrauliques comme pour déterminer l'extension de l'agglomération et l'agencement des éléments bâtis. Des campagnes de mesures géophysiques systématiques ont été entreprises dans les jardins et les champs périphériques à partir de 2008, dans le cadre de cette thèse et du PCR. Elles ont permis d'accumuler progressivement un certain nombre de données spatiales nouvelles. L'identification et la mise en relation des structures qui composent les habitats, les édifices publics, la voirie et le réseau hydraulique passent nécessairement par une interprétation de l'ensemble des anomalies détectées. Les systèmes d'approvisionnement en eau ne peuvent être reconnus qu'à partir d'une compréhension globale de la structuration de la trame urbaine.

On propose donc une analyse détaillée des données de prospections électriques, magnétiques et EM. L'origine, naturelle ou anthropique, des anomalies cartographiées sera explicitée lorsque la connaissance du secteur étudié l'autorise. L'interprétation géophysique tiendra compte à la fois des observations de terrain effectuées lors de l'acquisition et des informations relatives aux aménagements du sous-sol et aux découvertes passées. Elle intègrera donc les données fournies par les photographies aériennes, le LiDAR, les cadastres napoléoniens, et les données de fouille et de sondage consignées dans les archives.

L'étude qui suit contribue ainsi à la construction d'un plan d'occupation diachronique du site, par la réalisation :

- de campagnes de mesures géophysiques entre décembre 2008 et juillet 2011,
- d'un travail de traitement et d'interprétation de l'ensemble des données, incluant les données brutes fournies par Géocarta,
- d'une synthèse cartographique qui apporte un début de réponse à la question des relations unissant le tissu urbain et les installations hydrauliques.

Les parcelles prospectées sont présentées par secteur géographique : 5 secteurs pour le village (Nord, Ouest, Sud, Est, Centre) et un secteur pour l'ensemble de La Violette. Le résultat des traitements est présenté sous forme de cartes et de coupes géoréférencées.

II. 2. a. Zone Nord

- *Nord-Ouest intra muros*

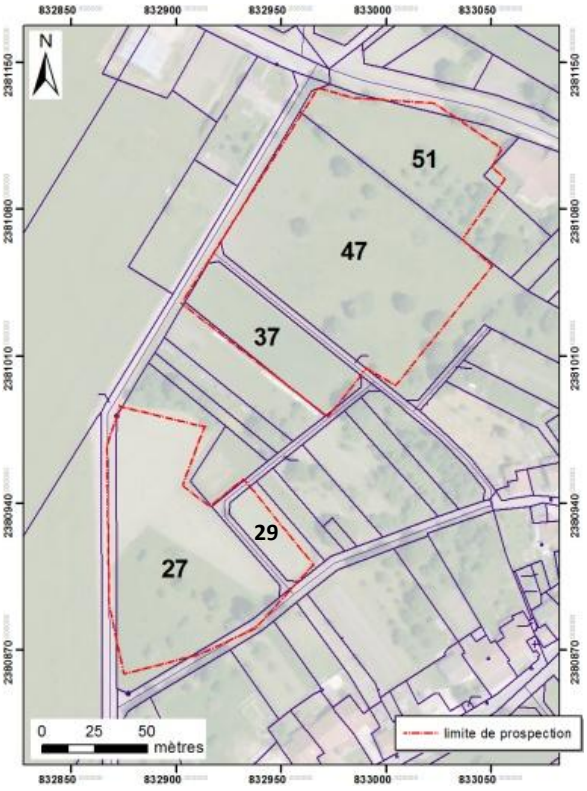




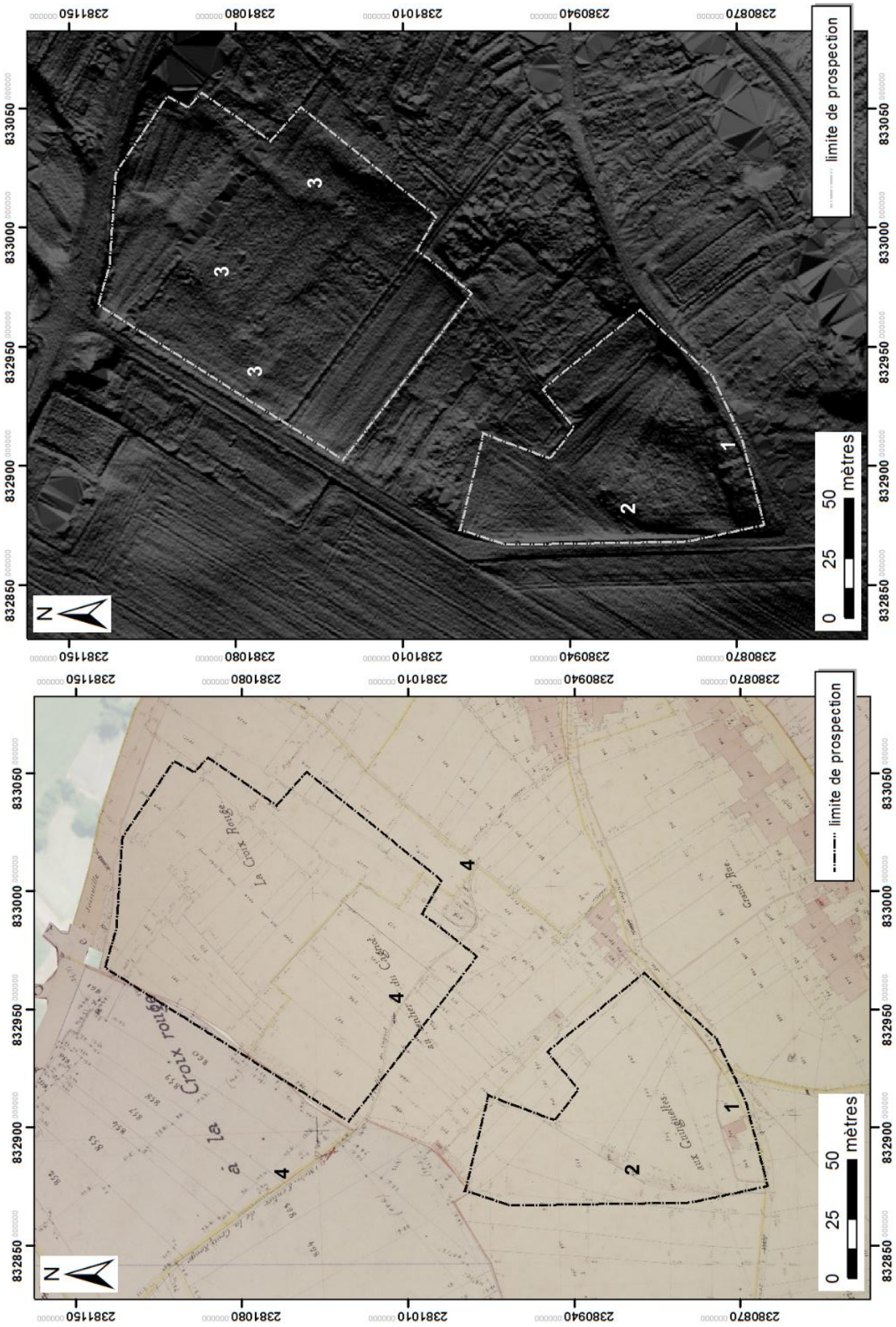
Figure 101. Localisation du secteur prospecté NO *intra muros* : parcelles *27-29-37-47-51* (feuille cadastrale ZP), prés et jardins.

- LiDAR et cadastre ancien (Figure 102)

Les terrains prospectés se situent à une altitude moyenne de 385 m et présentent peu de dénivelé. Au sud de la parcelle *27* une terrasse (**1**) disposée le long du chemin domine le pré. Elle était délimitée au 19ème siècle par un mur ; un petit bâtiment y était implanté (feuille E05 cadastre 1887). En contrebas, d'anciens pierriers enfouis bossellent le terrain et créent l'anomalie la plus marquante (**2**). Au nord, quelques micro-reliefs (**3**) se signalent dans la parcelle *47*. Le terrain est strié par des segments parallèles qui obéissent aux deux directions du parcellaire ancien. Le sentier (**4**) qui sinue à travers la parcelle *37* n'a manifestement aucune incidence sur le relief.

Page suivante :

Figure 102. Secteur NO *intra muros* : Image LiDAR et cadastre napoléonien (1887) géoréférencés. Visualisation des microreliefs sous un éclairage artificiel (90° - 30 m) en relation avec le parcellaire ancien.

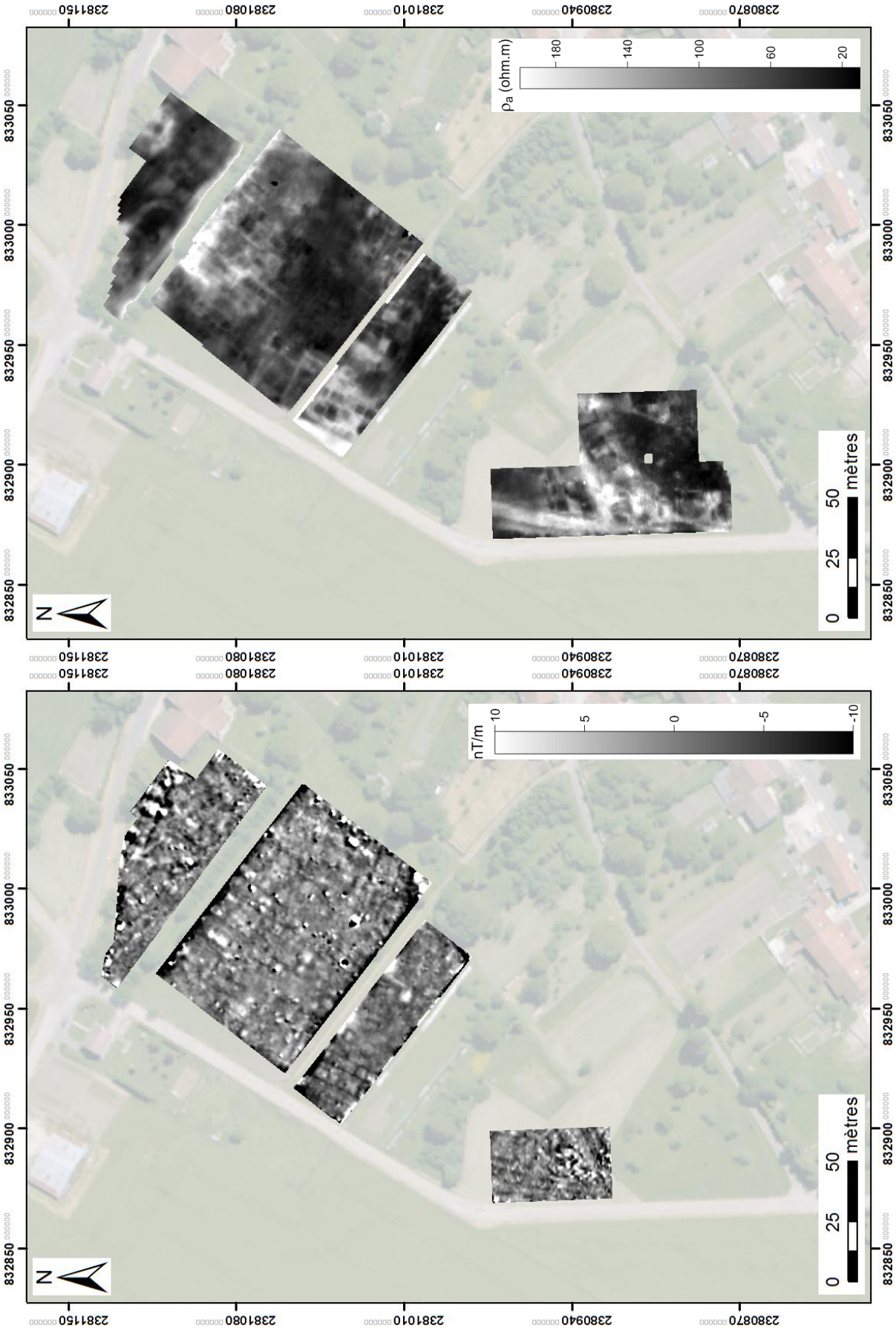

limite de prospection
0 25 50 mètres
N
1
2
3
4
la Croix rouge
La Croix Rouge
Grand Pré
Les Coudrelles
832850
832900
832950
833000
833050
2380870
2380940
2381010
2381080
2381150

- Prospections électriques et magnétique

Les cartes électriques et magnétique (Figure 103) sont très complémentaires et les anomalies cartographiées bien corrélées. On observe que les segments résistants correspondent généralement aux anomalies peu magnétiques et révèlent l'emplacement des murs en calcaire, des voies et autres éléments bâtis, ainsi que des zones d'affleurement du substrat calcaire. Cette concordance permet de proposer une interprétation unique des deux jeux de données (Figure 104).

Dans la parcelle *27*, deux anomalies résistantes larges de 4 à 5 m traversent la zone de prospection. Elles sont bordées d'anomalies linéaires résistantes d'1 à 2 m de largeur. L'une (**5**) est orientée vers l'intérieur du village, l'autre (**6**) marque une légère déviation vers le NE par rapport à la route. Des bandes résistantes (**7**) et (**8**), larges d'environ 15 m, constituées de cellules rectangulaires (conductrices ou résistantes selon qu'il s'agisse de murs, sols pavé, éboulis ou de tranchées) s'appuient sur les anomalies (**5**) et (**6**), à l'est et au sud. Il s'agit vraisemblablement d'un ensemble de constructions distribuées autour de deux voies de circulation. On remarquera que le pierrier (**2**) se traduit par une zone résistante ponctuée d'anomalies magnétiques fortes. Au SE une zone plus conductrice (**9**) se découpe et vient buter sur un linéament résistant (mur). Quelques anomalies éparses, présentant une disposition orthogonale, sont également visibles.

Au nord, les anomalies linéaires s'organisent sur deux axes principaux.
Le premier, NNE-SSO, est proche de la direction de l'anomalie (**6**) : la voie semble se poursuivre dans la parcelle *37* et se traduire par l'anomalie (**10**). Un bâtiment dont le plan est très clair est accolé à cette voie. Les espaces sont bien définis : pièces, sols dallés, puits, cour, etc. Sur l'ensemble de la parcelle le bâti détecté est agencé selon cette même direction, qui se retrouve dans les parcelles voisines. Le tracé du sentier (**4**) est invisible sur les cartes de prospection ; il se placerait à la limite des zones résistante (plus riche en structures) et conductrice.
Dans la parcelle *47*, une deuxième direction vient se superposer à la première et la supplante dans la partie nord. Les pièces et bâtiments sont plus difficiles à individualiser. Les anomalies présentent une structuration certaine ; elles forment des rectangles qui ont les dimensions d'habitations. Mais le contraste avec l'encaissant est moins net, soit parce que la dégradation des structures est plus avancée soit parce que le substrat calcaire est plus affleurant. La parcelle *51* comporte également des structures maçonnées et des structures excavées agencées sur ce même axe, mais leur disposition et leur délimitation restent floues. Le terrain, en partie transformé en verger, a été remanié. On notera toutefois une anomalie curviligne (**11**) (abside ?) et une anomalie ovale conductrice (**12**) dans l'espace intérieur à la courbe. La haie de sapin séparant les parcelles *47* et *51* est responsable de l'anomalie résistante (**13**), également visible sur la carte LiDAR : résistance de contact très importante entre sol et électrodes due aux racines, cailloutis et sol très tassé.


ρa (ohm.m)
180
140
100
60
20
nT/m
10
5
0
-5
-10
0 25 50 mètres
N
2380870.000000
2380940.000000
2381010.000000
2381080.000000
2381150.000000
832850.000000
832900.000000
832950.000000
833000.000000
833050.000000

Page précédente :

Figure 103. Cartes de résistivité électrique apparente (dispositif pôle-pôle, écartement 1 m) et de gradient magnétique vertical du champ total. Secteur NO *intra muros*, lieux-dits Croix rouge et Guinguette.

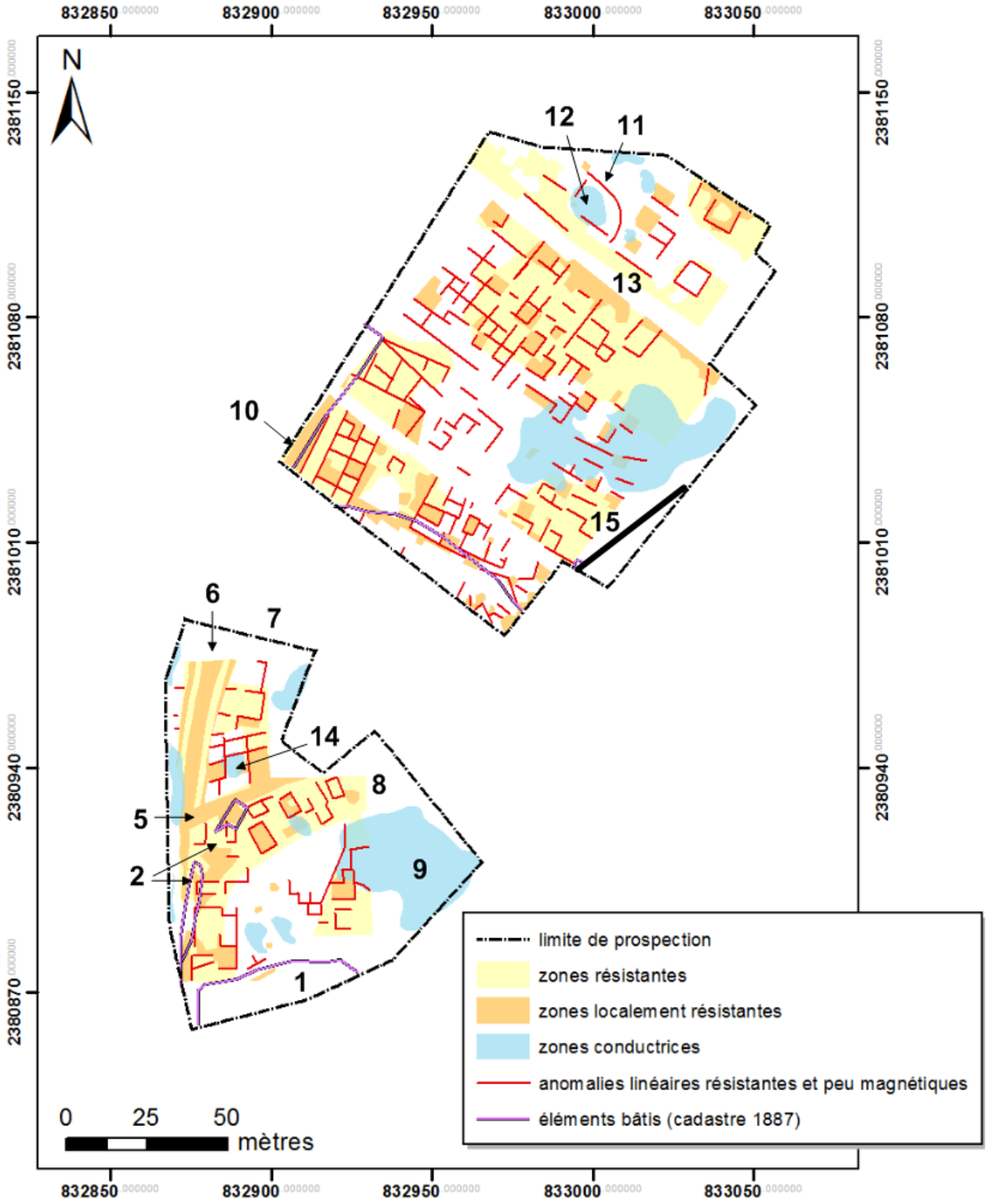


Figure 104. Carte des anomalies interprétées du secteur NO *intra muros* (Lieux-dits Croix rouge et Guinguette).

➢ EM31

Les variations de conductivité électrique apparente cartographiées avec l'EM31 (Figure 105) sont comparables aux variations mises en évidence par la prospection électrique.
On constate que les zones les plus résistantes correspondent aux zones bâties. Ainsi, les valeurs de conductivité les plus faibles se situent au niveau de la terrasse surélevée (**1**), des pierriers (**2**), des voies, des zones densément occupées. Les deux orientations de la parcelle *47* se devinent.
Les zones conductrices sont localisées dans la partie orientale des parcelles *27* et *47*. De petites zones conductrices existent ponctuellement à l'intérieur de « pièces », à l'instar des anomalies (**12**) et (**14**), ou le long de la route. Des éléments modernes métalliques sont par ailleurs causes de plusieurs anomalies fortes : les clôtures barbelées des parcelles *47* et *51* et la canalisation en fonte raccordée au puits situé à l'angle sud de la parcelle *47*. Ces structures créent également de fortes anomalies magnétiques.
Bien que la conduite masque la réponse du terrain sur son passage, on peut supposer que les vestiges (**15**), qui constituent un amas résistant, s'étendent vers le SE.

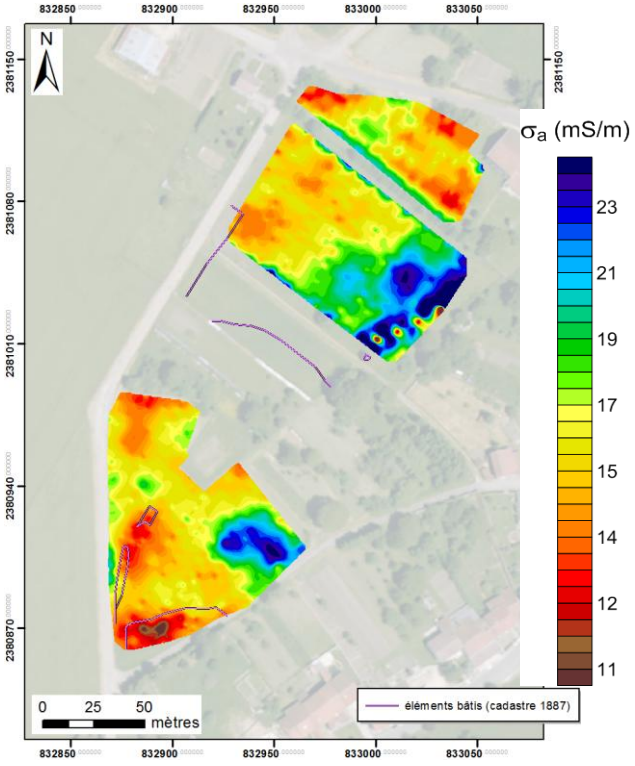


Figure 105. Carte de conductivité électrique apparente (EM31)du secteur NO *intra muros*.

➢ Conclusion

Les cartes de prospection montrent la présence de structures anthropiques sur des parcelles qui n'avaient pas fait l'objet de fouilles par le passé. Le plan du bâti, structuré par trois directions principales, est donné par les cartes électriques et magnétiques. L'organisation apparait plus ou moins clairement selon les secteurs. Certaines anomalies doivent être rattachées à une occupation plus récente. Le propriétaire de la parcelle *27* a par exemple indiqué l'existence de ruchers, à présent disparus, sans pouvoir en préciser la localisation exacte.
Un carrefour de deux voies a été détecté. L'un des deux tronçons, présentant les caractéristiques d'une route romaine, semble confirmer l'hypothèse du chemin périphérique antique. Du moins, il est antérieur au 19ème siècle puisqu'il ne figure pas sur les cadastres.

▪ *Nord-Ouest extra muros*



Les terrains situés à l'ouest de la Voie close ont fait l'objet d'une prospection EM (Figure 106) et d'une prospection électrique réalisée par Geocarta (Figure 107), en 2010. Des photographies obliques prises la même année ont été redressées à l'aide de la carte électrique [16] . Leur géoréférencement a permis d'individualiser des anomalies linéaires dans certaines zones résistantes apparaissant sur les cartes géophysiques.

Des traces de bâti ont ainsi été localisées à l'ouest de la route périphérique sur une bande de 100 m de large. La voie (**5**) décrite au paragraphe précédent se prolonge par une anomalie linéaire, orientée OSO-ENE, visible sur quelques 200 m sur les cartes électriques, les photographies aériennes et l'image LiDAR. Plusieurs constructions sont implantées de part et d'autre. En bordure de route, l'alignement est sensiblement désaxé (N-S). Au nord, un ensemble de segments résistants s'organise autour d'un carrefour de voies qui s'inscrivent dans la continuité des anomalies cartographiées dans la parcelle *47*.
On observe que certaines anomalies suivent les limites cadastrales (1887 - Figure 108). L'occupation antique a pu perdurer dans le parcellaire ancien mais les structures détectées peuvent également constituer les restes de constructions modernes.

La lecture du plan d'occupation est d'autre part compliquée par la présence de structures d'origine géologique. La fracturation du substrat calcaire se traduit par un réseau très net d'anomalies linéaires conductrices (direction principale NO-SE) sur les trois profondeurs investiguées. Plusieurs dolines apparaissent comme des zones circulaires conductrices, sur les cartes EM et électriques. Parmi ces anomalies, il est possible que certaines soient associées à des aménagements (drains, fossés, fosses…).

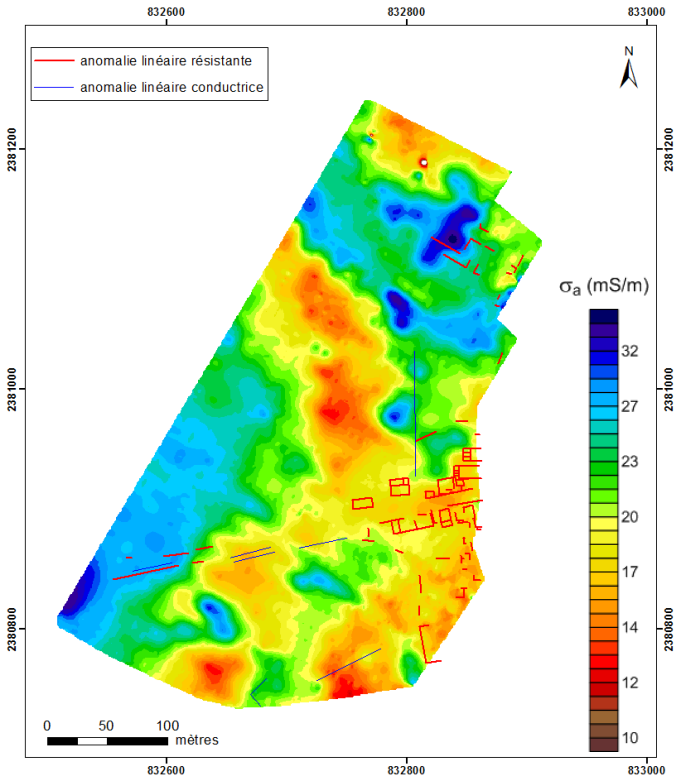


Figure 106. Carte de conductivité électrique apparente (EM31) et anomalies linéaires détectées en prospection électrique. Secteur NO *extra muros*.

[16] Un exemple est présenté au paragraphe Nord-Est.

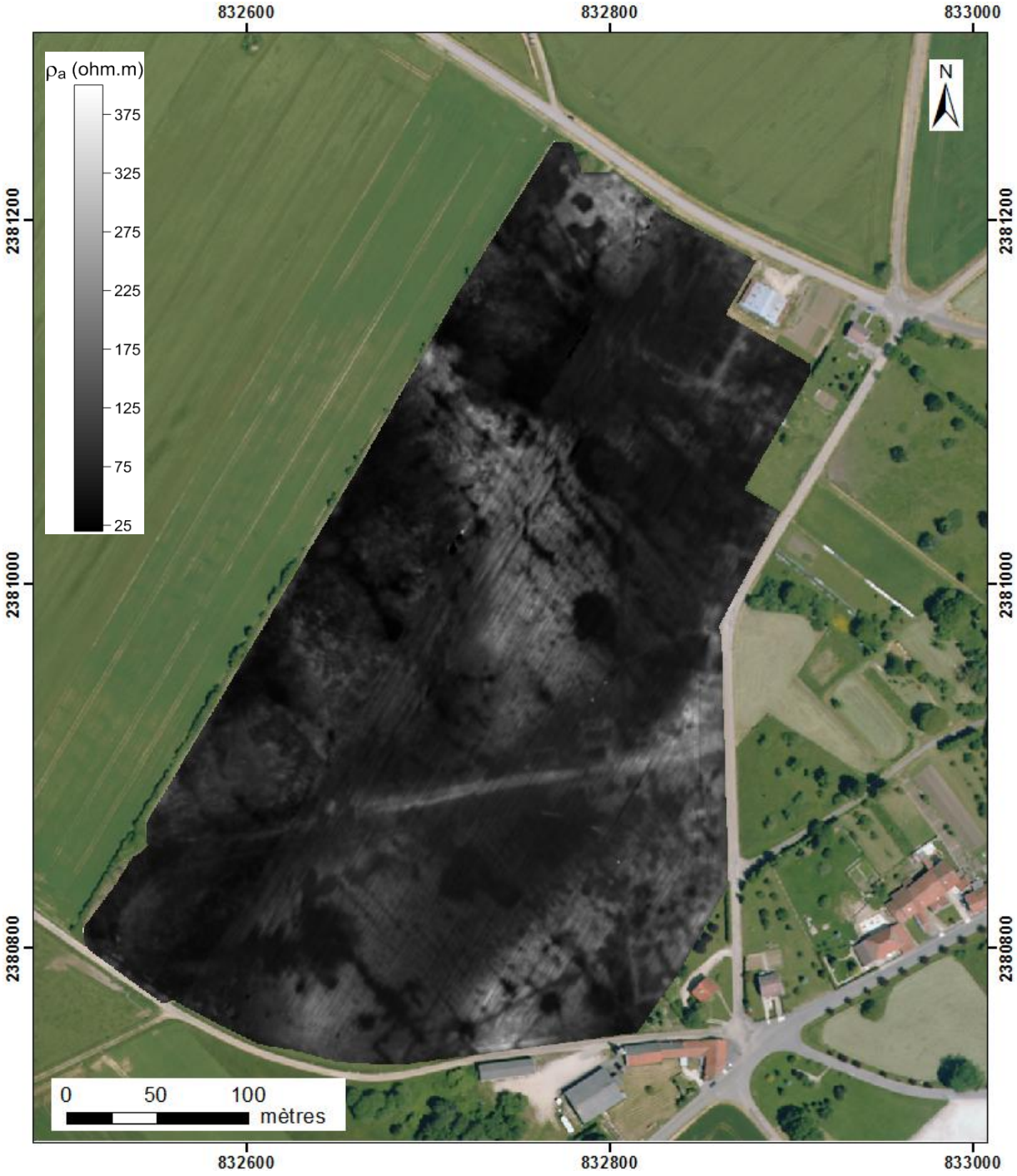


Figure 107. Carte de résistivité électrique apparente (ARP, voie 2) - prospection Geocarta. Secteur NO *extra muros*.

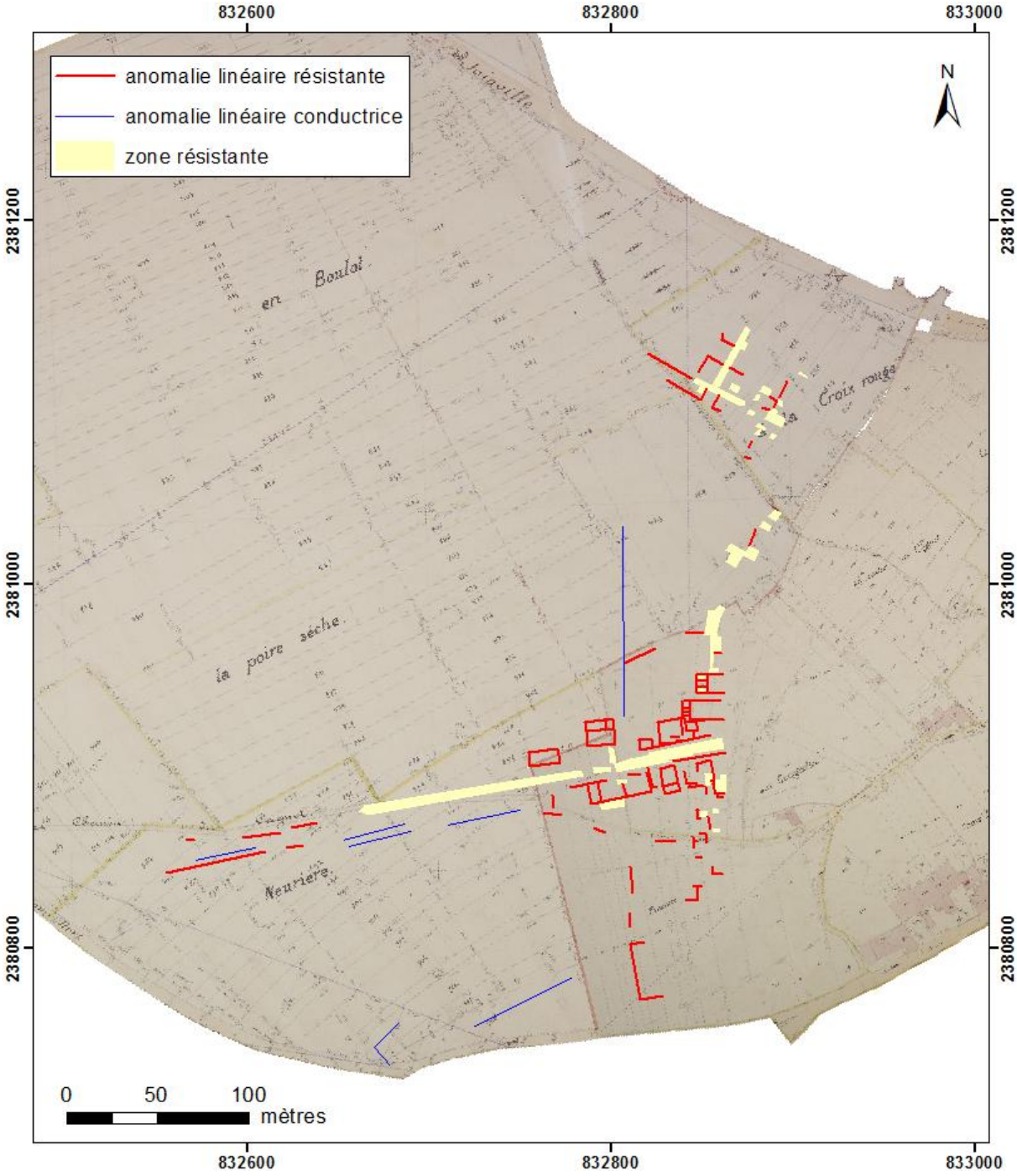


Figure 108. Anomalies linéaires d'origine anthropique détectées en prospection électrique et superposées au cadastre de 1887 géoréférencé (feuilles E5 et D6). Secteur NO *extra muros*.

▪ *La Maladière-Les Roises*



La cartographie (Figure 109) des terrains situés aux lieux-dits La Maladière et Les Roises confirme l'extension de la zone d'habitat au-delà de la Voie close, à l'extérieur de l'hypothétique « *pomerium* ». L'existence de vestiges enfouis dans ce secteur Nord de l'agglomération était déjà connue grâce à quelques sondages anciens (1967) et aux découvertes fortuites réalisées dans les champs labourés.

Le même procédé a été appliqué pour localiser les structures : l'interprétation des données géophysiques a été faite à l'aide d'un redressement progressif des vues aériennes. Les données électriques brutes (prospection Geocarta) ont été réétudiées, permettant ainsi d'améliorer la lecture des différentes anomalies. La restitution proposée en Figure 110 comporte ainsi des différences avec le plan présenté par J.-M. Tur (2010).

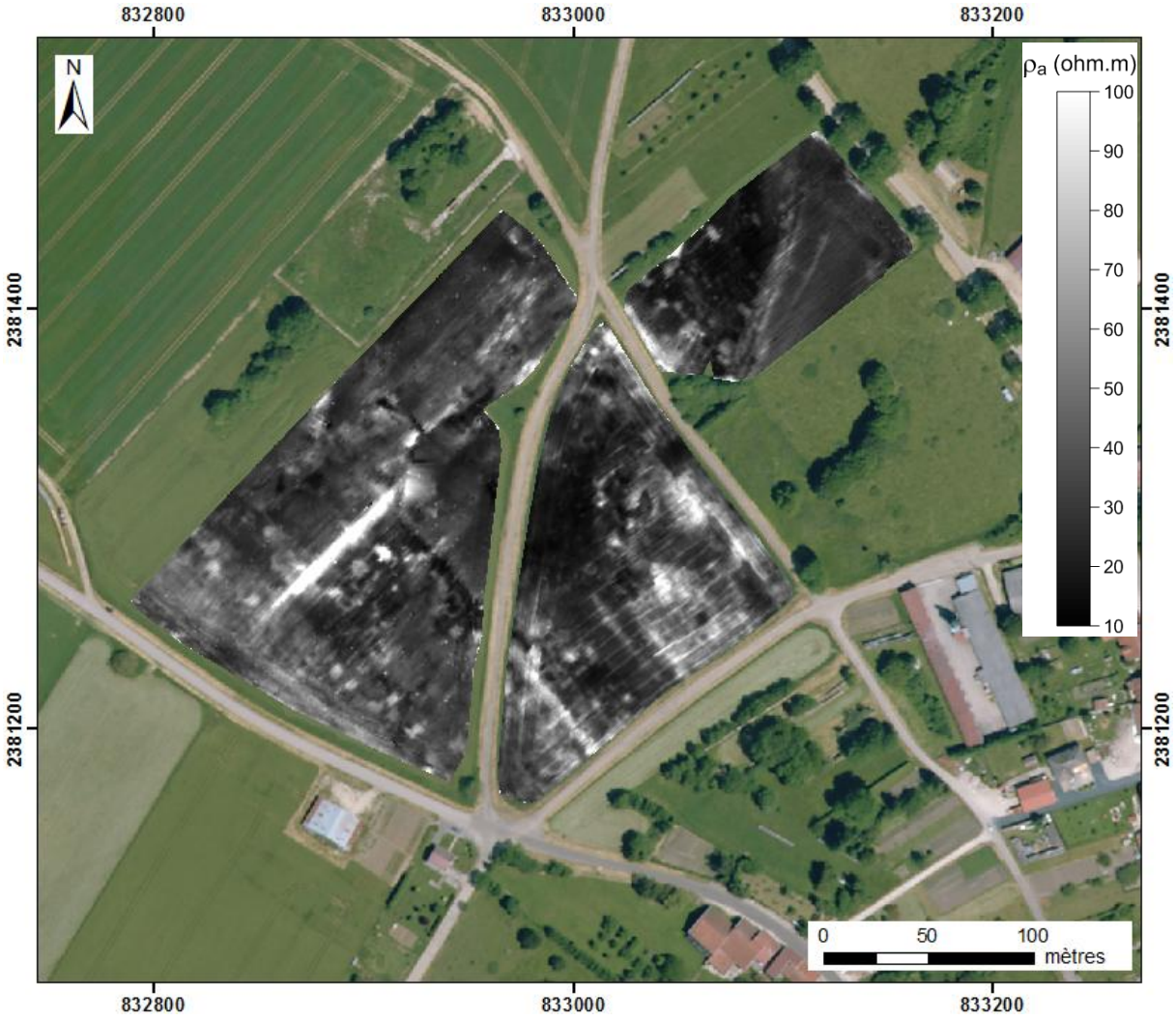


Figure 109. Carte de résistivité électrique apparente (ARP, voie 2) – prospection Geocarta. Secteur Nord aux lieux-dits La Maladière et les Roises.

Le résultat montre une zone de quartiers d'habitation développée sur 200 x 200 m^2. Les îlots sont structurés par plusieurs aires de circulation selon les directions conjuguées NO-SE et SO-NE. Une déflexion est perceptible à l'ouest de La Maladière. La complémentarité des données permet de distinguer les caves, les murs, les puits ou les citernes, les zones excavées. A l'est, le report des anomalies n'a pas été achevé ; d'après les vues aériennes, la zone d'habitat se poursuit au NE de la parcelle.

Au lieu-dit Les Roises, une délimitation nette orientée SO-NE sépare une zone conductrice ponctuée de quelques segments résistants (murs ?) et un terrain plus résistant au SO, en accord avec la topographie. Une anomalie résistante se positionne dans le fond du talweg des Roises et constitue peut-être une structure drainante.

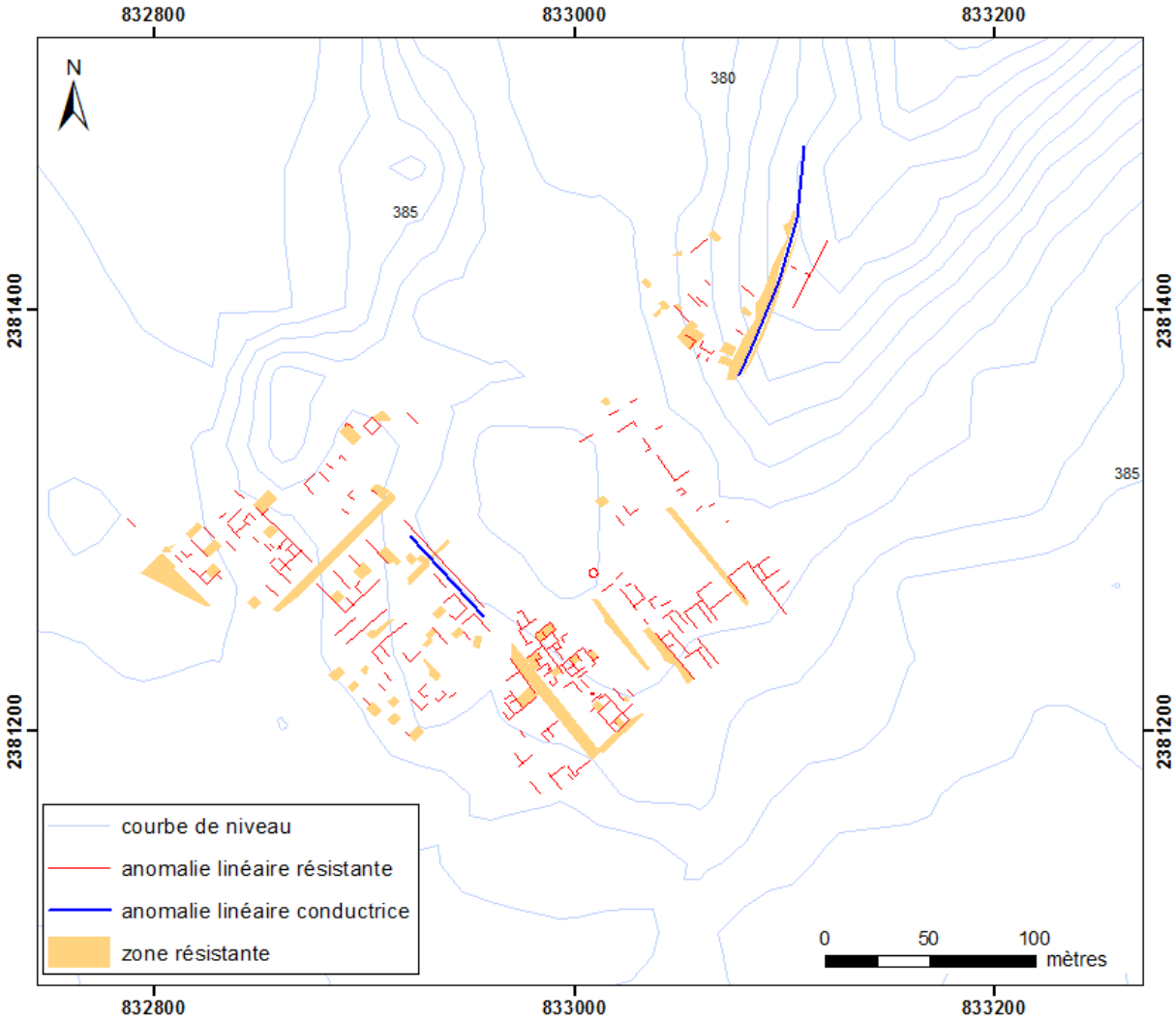


Figure 110. Anomalies linéaires interprétées à partir des cartes de résistivités électriques et les photographies aériennes redressées et géoréférencées. Secteur Nord, lieux-dits La Maladière et les Roises.

- *Nord-Est*



Parcelles	Année	Prospection
129	2009	Geocarta
143	2009 2010	Geocarta Brinon
11-12-13-39	2011	Geocarta

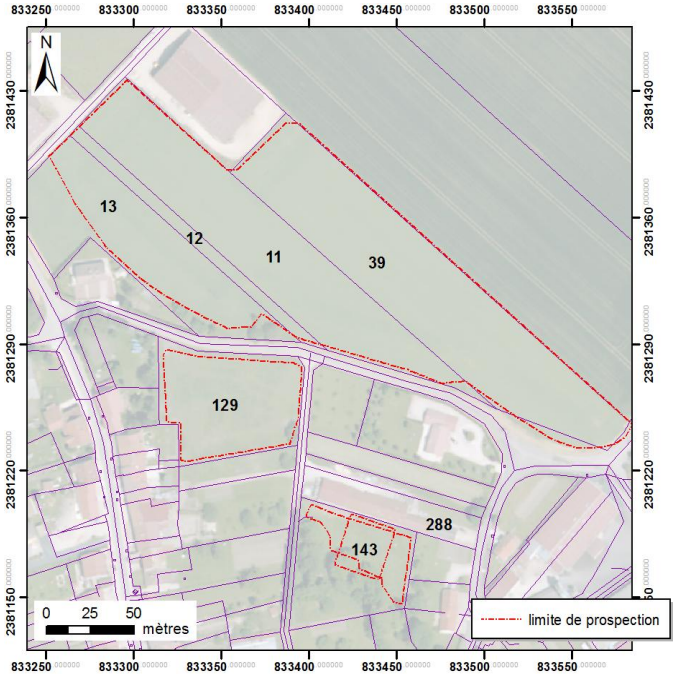


Figure 111. Localisation des prospections électriques du secteur NE.

Ce secteur se situe à une altitude moyenne de 385 m sur un replat, avant l'amorce des combes. Le champ nord accuse une légère pente vers l'est avec un dénivelé de 6 m. Avant la réalisation des prospections, l'occupation gallo-romaine de cette zone était déjà pressentie. De nombreux indices avaient été récoltés ponctuellement au gré des découvertes dans les champs labourés, dans les jardins privés ou au niveau de la voirie actuelle. Les fouilles des parcelles *143* et *288* dans la 2ème moitié du 20ème siècle ainsi que les clichés aériens du champ avaient donné localement une image plus développée de la trame urbaine. Dans la perspective d'une analyse globale des différents éléments, les structures relevées ont été vectorisées et géoréférencées.

Le géoréférencement a rencontré quelques difficultés, liées au repositionnement d'une fouille ancienne sans point de contrôle fiable, et au redressement de clichés obliques sans suffisamment d'amers, rares dans un champ. Plusieurs tentatives ont produit un résultat satisfaisant mais pas très précis quant à la position des anomalies. J.-M. Tur en a proposé un exemple dans son mémoire (2010).
En 2011, la cartographie électrique du champ (Figure 113) réalisée par Geocarta permet de corriger et recaler les photos avec une déformation moindre. L'image géophysique montre en effet les principales structures repérées sur les vues aériennes et est de qualité suffisante pour produire de nombreux points de repère (Figure 112). Une sélection a été opérée parmi les clichés issus des campagnes de G. Salvini (2010). Pour minimiser la distorsion de l'image des portions ont été extraites et redressées. La superposition et la comparaison des cartes électriques et des photos redressées permettent ainsi d'améliorer l'interprétation.

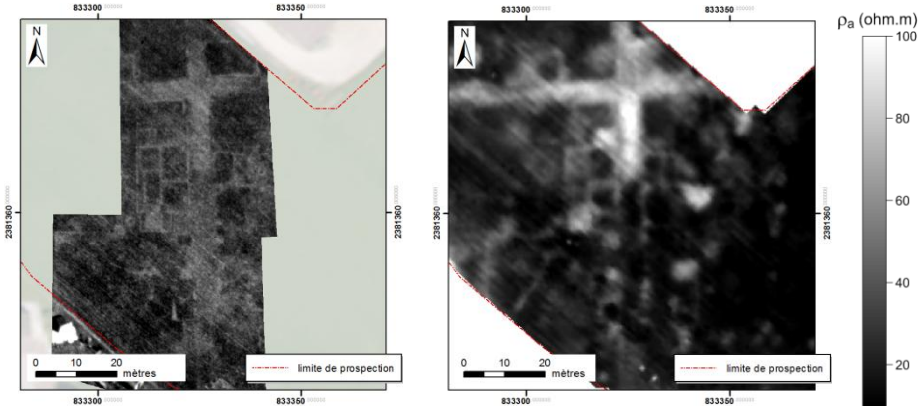


Figure 112. Visualisation des anomalies phytographiques et des anomalies de résistivité électrique du champ Nord. A gauche, portions de photographies aériennes redressées et repositionnées à l'aide de la carte électrique (à droite) du même secteur.

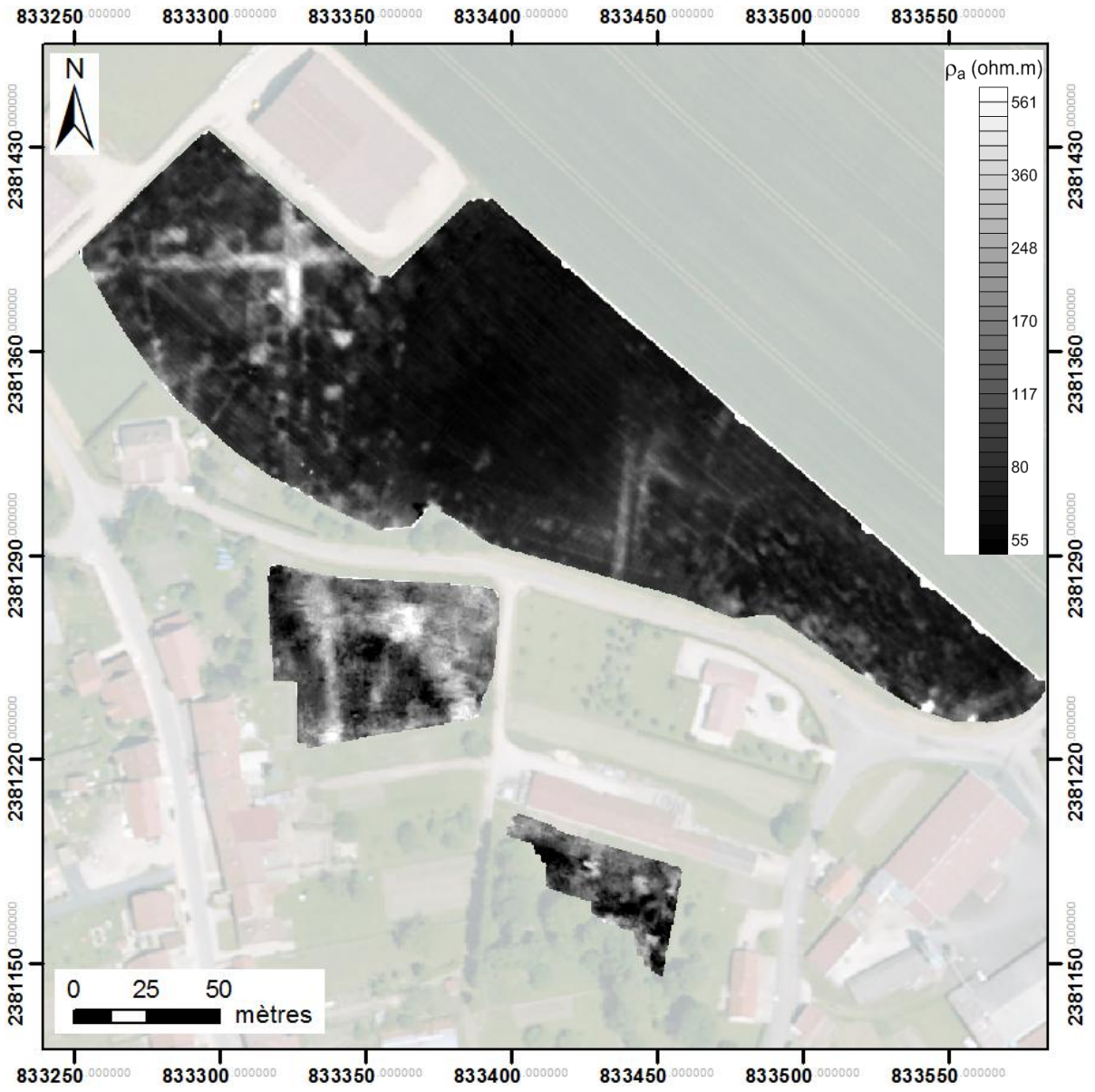


Figure 113. Carte de résistivité électrique apparente (ARP, voie 2) du secteur NE – prospections Geocarta.

- Prospections électriques et vues aériennes (interprétation en Figure 114)

Deux anomalies rectilignes larges de 5 à 6 m se développent selon les directions conjuguées N/S et O/E dans le secteur ouest du champ. Elles correspondent à deux voies autour desquelles sont groupées plusieurs constructions. La première **(1)** se traduit par une zone résistante, bien visible sur 75 m, qui semble connectée à un tronçon à l'ouest, légèrement désaxé. La seconde **(2)** présente des variations le long de son tracé : elle est résistante au nord sur 45 m, puis conductrice sur 40 m, et résistante sur une quinzaine de mètres au sud. Les anomalies phytographiques montrent la même évolution des contrastes bien que celle-ci soit moins nette. La portion centrale de la structure a peut-être été épierrée. Cette voie peut trouver son prolongement au sud de la route : une anomalie résistante **(3)**, longue de 57 m, traverse en effet la parcelle *129* à 27 m de distance. La voie marquerait alors un léger changement de direction vers le SO.

Sur ces deux axes sont alignés plusieurs bâtiments dont le plan est plus ou moins lisible. De nombreux segments résistants (murs) se retrouvent sur les photos, ainsi que des anomalies zonales (puits, cave...). Des tracés isolés associés à des zones résistantes traduisent la présence de bâtiments (ex **4**), tandis que les tracés plus longs constituent plutôt des murs de clôture (ex **5**). La caractérisation de ces éléments est facilitée par la comparaison des photos et des cartes électriques. Les vues aériennes permettent en effet de repérer les éléments fins (murs, puits, bordure des voies, etc.) et d'identifier les limites des structures ; la carte électrique apporte des indications complémentaires sur la localisation et la nature de structures anthropiques invisibles ou difficilement décelables sur les photos. Par exemple, les cercles d'1 à 2 m de diamètre (puits ou citernes probables) visibles sur les photos coïncident avec de petites anomalies résistantes (ex **6**). Une anomalie résistante à l'intérieur d'une pièce renseigne sur le type de remplissage et la nature du sol (ex **7**). Certaines anomalies erratiques, à la géométrie peu régulière, peuvent donc être causées par des sols pavés, puits, fosses, éboulis...

Une deuxième orientation **(8)** est mise en évidence dans la partie est du champ. Une double anomalie orientée SSO-NNE s'étire sur environ 50 m depuis la route. Elle semble créée par un aménagement en dur (voie ? mur ?). Des zones localement plus résistantes ponctuent le secteur sans qu'il soit possible de leur trouver une réelle organisation. L'identification des anomalies de la parcelle *129* se révèle aussi délicate. La cartographie électrique fait apparaitre des contrastes de résistivité mais la forme des anomalies n'est pas claire. Quelques tracés et zones diffuses orientés perpendiculairement à l'anomalie **(2)** peuvent toutefois être pointés. D'autres, très ténus, situés sur la bordure est de la parcelle, respectent sensiblement l'orientation **(8)** figurant à l'est du champ.

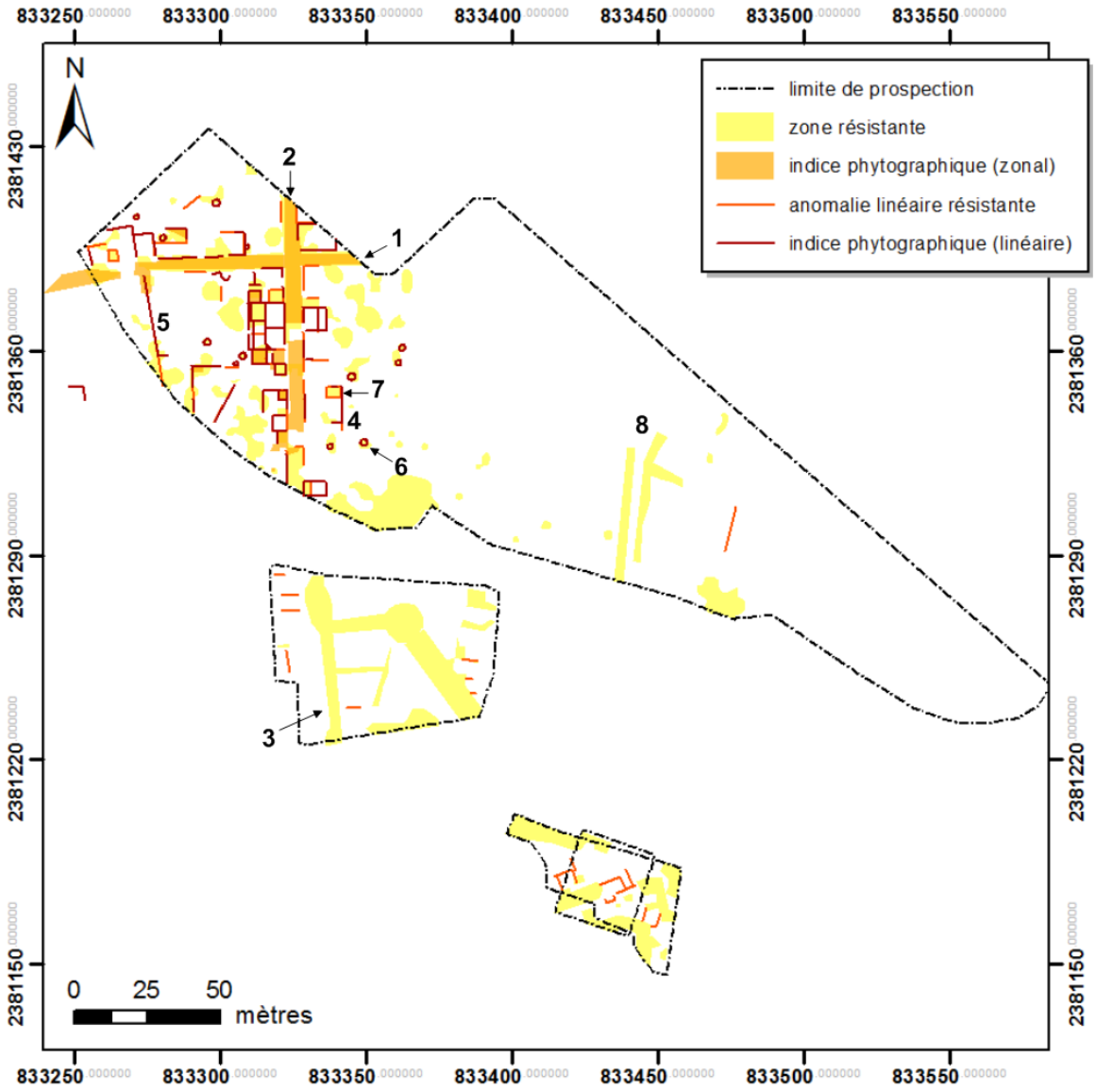


Figure 114. Carte interprétée des anomalies d'origine anthropique décelées en prospection électrique et sur les photographies aériennes. Secteur NE.

- Prospections électriques et fouilles

Parcelle *288* :
La fouille préventive, dite de l'atelier Perrin, a mis au jour en 1995 une voie orientée N/S, séparant deux îlots d'habitation. Les unités reconnues ont été datées du 1er à la fin du 3ème siècle (Tur 2010).

Parcelle *143* :
La parcelle mitoyenne a fait l'objet de sondages entre 1973 et 1977 (menés par J.-C. Berçot) et de fouilles programmées de 1979 à 1984 (dirigées par Lalonde). Deux bâtiments gallo-romains (pourvus de caves, puits, hypocauste, *etc.*) ont été dégagés de part et d'autre d'une aire de circulation. Un troisième bâtiment a été partiellement reconnu dans l'angle NO de la parcelle. Le bilan de cette fouille n'est pas détaillé ici ; seule la position des principales

structures découvertes sera reportée sur le plan. Le relevé de fouille a été vectorisé et géoréférencé.

Deux prospections électriques ont été réalisées sur cette parcelle : 1,3 ha a été cartographié avec le dispositif ARP (Geocarta) et 0,8 ha au moyen du RM15. La surface de recouvrement fournit des résultats comparables mais la qualité de lecture est légèrement meilleure dans le cas de la prospection en point par point. Nous présentons les résultats obtenus sur 1 m car les mesures sur 50 cm sont trop affectées par des effets de surface.

Les cartes permettent de localiser des anomalies étalées qui ont une organisation certaine (Figure 115-a). Quelques tracés conducteurs plus nets se dégagent de l'ensemble et respectent une disposition orthogonale. La direction générale semble en réalité correspondre à celle du damier de fouille plutôt qu'à celle des structures archéologiques mises au jour (Figure 115-b). Les perturbations du sol occasionnées par la fouille rendent délicate la détermination de l'origine des anomalies électriques en regard du plan de fouille. De plus l'emprise de la prospection n'est pas assez importante pour conclure sur la continuité des vestiges en-dehors du secteur fouillé. Les anomalies visibles peuvent correspondre aux déblais et aux tranchées de fouille ou à des structures archéologiques.

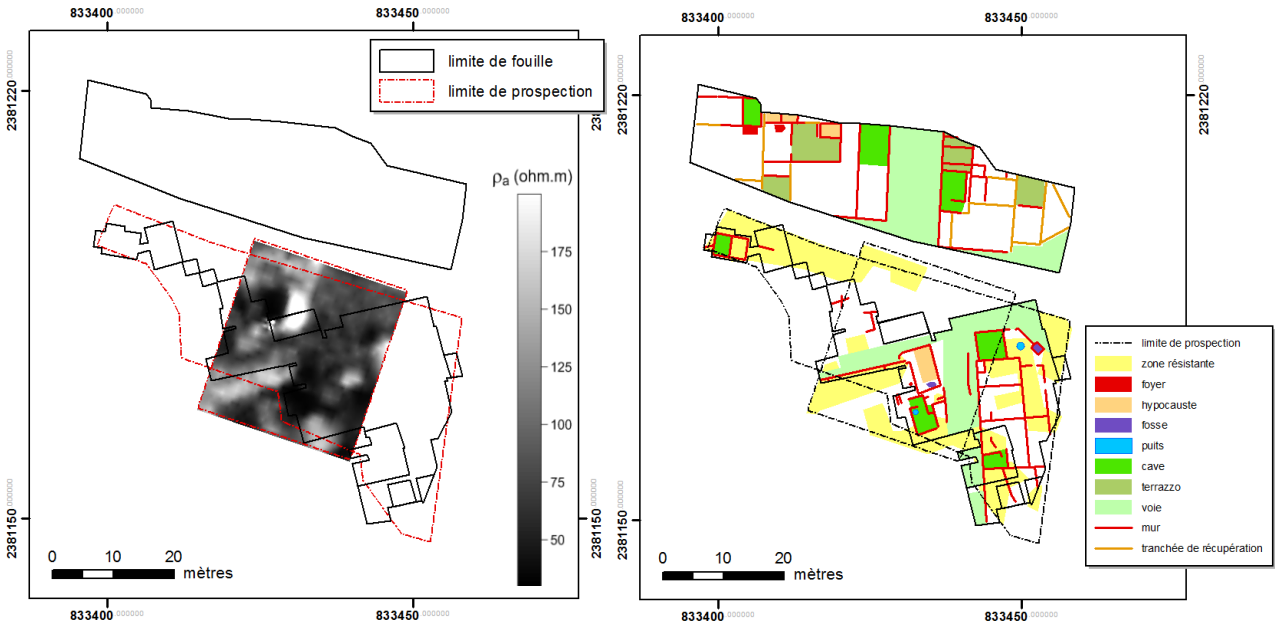


Figure 115. a. Carte de résistivité électrique apparente (pôle-pôle, écartement 1 m). Prospection RM15 de la parcelle *143*. b. Position des structures mises au jour lors des fouilles des parcelles *143* et *288*. D'après le plan de Tur (2010) regroupant les plans de Berçot, Lalonde et Milutinovic.

➢ LiDAR

Une légère surélévation du sol trahit l'emplacement des voies **(1)** et **(2)** dans le champ au nord, avec un point culminant au niveau de leur croisement. La zone résistante **(3)** se situe sur une rupture de pente, avec un décaissement à l'est de la parcelle *129*. Des traces en creux et conductrices (zones excavées) y sont visibles tandis que quelques monticules créent des

anomalies résistantes. Les légères variations de relief qui apparaissent dans la parcelle *143* suivent également cette répartition des conductivités.

- Conclusion

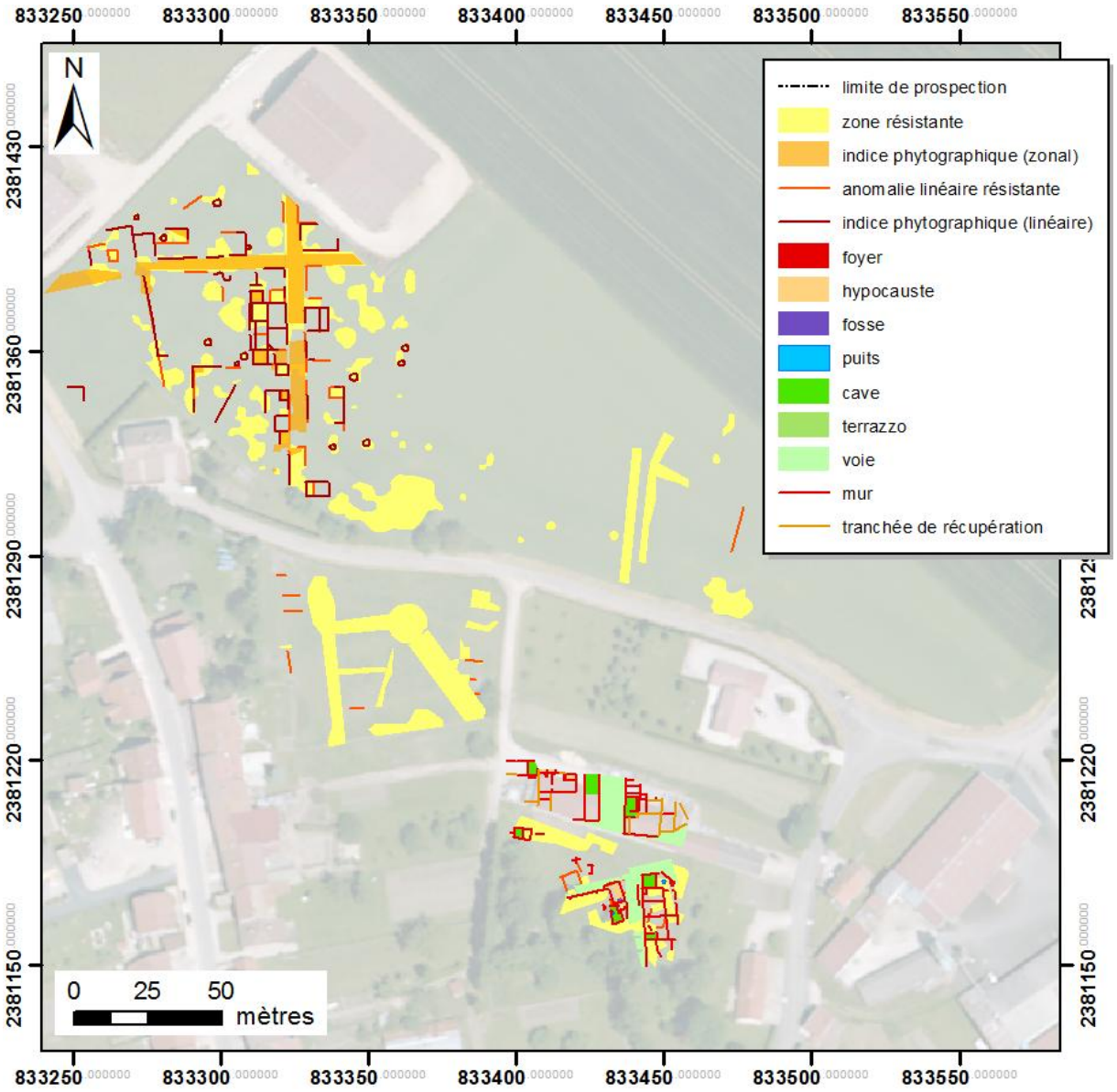


Figure 116. Plan des structures du secteur NE restitué à partir des données de fouille, des prospections électrique et des vues aériennes.

La combinaison des données électriques et des photos aériennes trouve ici tout son intérêt dans la détection des signes de bâti et le géoréférencement des anomalies repérées. L'interprétation croisée permet de mieux saisir la géométrie et la nature de ces anomalies et d'affiner la restitution proposée. La prospection électrique de la parcelle *143* s'est, quant à elle, révélée inopérante ; cet exemple souligne la difficulté à identifier des vestiges dans un terrain fouillé puis recomblé.

L'étude de ce secteur a permis de compléter et/ou de préciser le plan du bâti. Un carrefour de voies associées à un habitat probablement antique existe en position haute, hors du village, à 150 m du Seugnon. Une voie, orientée N/S peut être suivie sur 100 m voire 190 m en bifurquant vers le SE si on lui adjoint la structure principale de la parcelle *129* (*intra muros*). La seconde voie, orientée E/O, oblique vers le SO. Un autre axe est donné par les fouilles, de direction N/S qui se prolonge peut-être *extra muros* en déviant vers le NE. Une partie des anomalies situées à l'est de la parcelle 129 pourraient se rattacher à ce 2ème axe.

II. 2. b. Zone Ouest

- *Grand jardin*

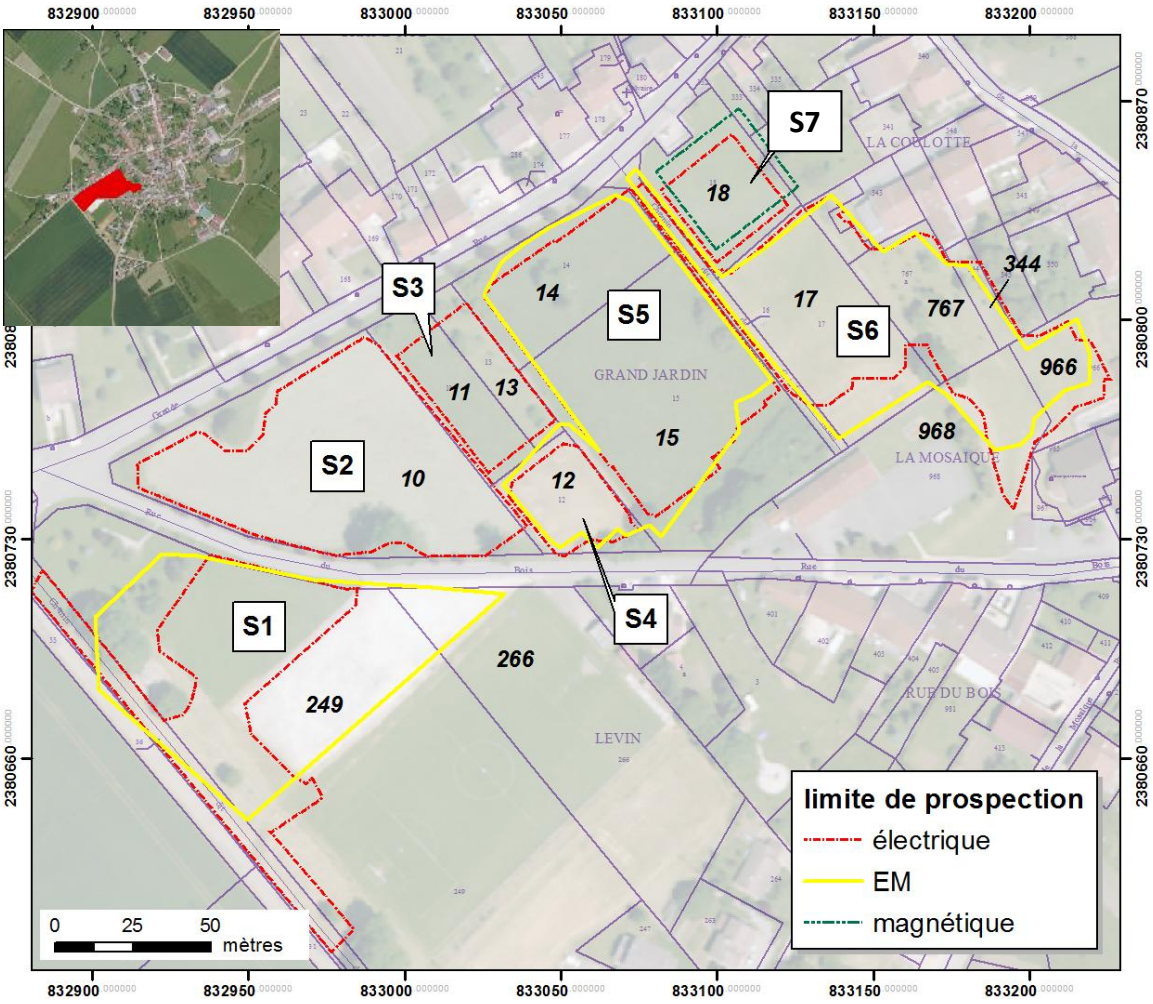


Figure 117. Localisation des zones prospectées au lieu-dit Grand jardin.

Le village est structuré par deux talwegs qui confluent au niveau de la place des Halles pour former la combe La Roche. La surface prospectée comprend l'ensemble des jardins et vergers situés en amont de l'église dans le talweg Nord, dans un espace actuellement vierge de constructions appelé Grand Jardin. Elle s'étend à l'intérieur de l'enceinte du rempart, depuis le tronçon ouest jusqu'à l'édifice abritant la mosaïque à l'est. Cette zone a très peu bénéficié

des recherches réalisées au cours du 20ème siècle ; l'attention était alors principalement portée sur l'amphithéâtre, le monument du jardin Huguet et le réseau hydraulique. Seul le souterrain romain dit du Groupe scolaire, ancré dans l'axe du vallon, est relativement bien connu. Quelques sondages et une fouille partielle menée entre 1966 et 1968 (Guillaume 1968) ont révélé l'existence d'un habitat implanté en bordure sud, à 70 mètres de l'édifice à plan basilical. Il semble que les habitants aient évité de s'installer dans la dépression topographique, sujette à des inondations spectaculaires. En témoignent les restes du mur Gironde, dressé au 18ème siècle en travers du talweg pour faire barrage aux écoulements épisodiques. Néanmoins des vestiges gallo-romains ont été découverts dans le secteur du Centre du patrimoine (murs, foyers, hypocauste) au cours des travaux de 1963 et de 1999.

Pour faciliter la description les parcelles prospectées sont regroupées en 7 secteurs délimités par les clôtures des jardins : S1 (*249*), S2 (*10*), S3 (*11-13*), S4 (*12*), S5 (*14-15*), S6 (*17-767a-344a-966-968*) et S7 (*18*). Ces secteurs sont localisés sur la Figure 117.

- Prospections électriques et magnétiques

La carte de résistivité électrique (Figure 118) rassemble les données acquises avec le dispositif ARP (Geocarta) (secteurs S1, S2, S4 et S6) et les données acquises avec le RM15 (secteurs S3, S5 et S7). La zone ouest présentant des valeurs nettement supérieures à celles rencontrées dans la moitié est, deux échelles ont donc été adoptées pour permettre une meilleure lisibilité des structures anthropiques. Les valeurs s'échelonnent entre 10 et 400 Ω.m pour les secteurs S1, S2 et S3, et entre 10 et 130 Ω.m pour les autres. Bien que seule la carte de la voie 2 soit ici présentée, l'interprétation prend en compte les résultats obtenus avec les voies 1 et 3. Pour minimiser l'influence importante de la géologie, toutes les données ont de plus été filtrées en retirant la composante régionale. Le résultat de ce traitement, qui ne figure pas ici, nous a aidés à individualiser certaines anomalies et à repérer des éléments qui sont probablement de nature anthropique. Le schéma de restitution (Figure 120) comporte ainsi quelques différences avec celui proposé par Th. Dechezleprêtre en 2009 (rapport du PCR 2009).

On constate que des **anomalies linéaires conductrices** tranchent sur l'ensemble et n'ont vraisemblablement pas une origine antique.
La première, de direction SO-NE, traverse S5 sur toute sa largeur. Elle est bien identifiée : elle correspond au passage de la conduite en fonte « Paramel » (**1**) qui coupe la zone prospectée et rejoint les aménagements de la place des Halles (réservoir). La canalisation peut être observée au niveau du puits *222* (*cf supra* zones A et C).
Plusieurs tracés (**2**), orientés NO-SE, sont également visibles dans le terrain S2 et sont rattachés au parcellaire ancien (Figure 119). Ce sont des structures en creux, types drains ou fossés. (**3**) coïncide avec le tracé indiqué à cet emplacement sur le cadastre napoléonien. Comme le souligne Th. Dechezleprêtre (2009), cette structure pourrait aboutir au puits *52* vers lequel elle semble orientée.
Enfin des anomalies conductrices parallèles sont alignées sur la direction de fracturation (NO-SE) qui affecte le plateau et les environs immédiats de Grand. La détection de ces fractures

sur les trois profondeurs d'investigation montre la faible épaisseur de sol recouvrant la roche calcaire dans cette zone, notamment dans le terrain S5.

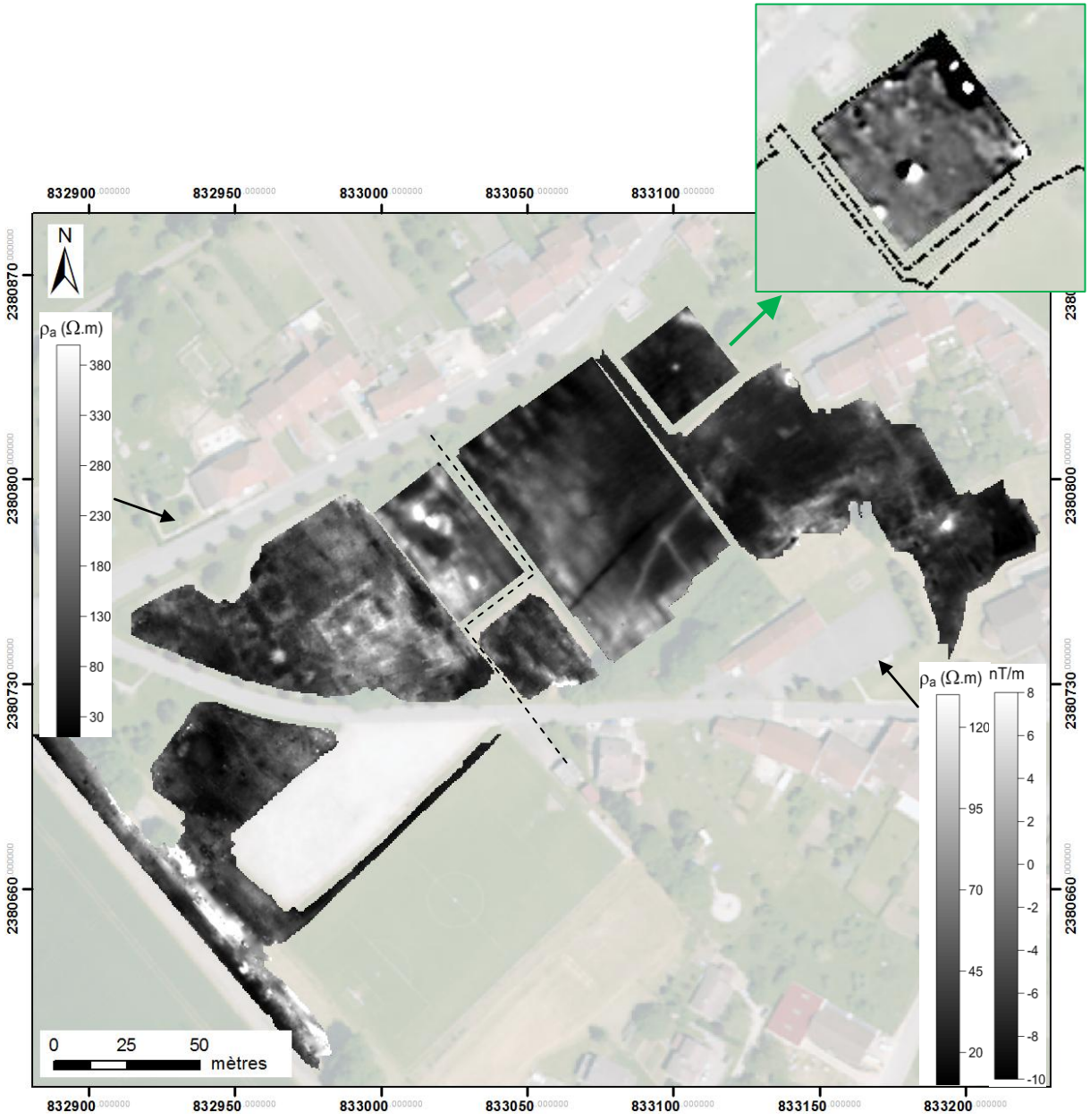


Figure 118. Carte de résistivité électrique apparente (ARP, voie 2 / pôle-pôle, écartement 1 m) obtenue dans le secteur du Grand jardin. Deux échelles de couleurs différentes ont été appliquées de part et d'autre de la ligne pointillée. En haut : carte de gradient magnétique vertical du champ total (Secteur S7 - parcelle *18*).

Les cartes électriques mettent en évidence un **ensemble organisé de bâtiments**. Le secteur S2 se révèle riche en anomalies rectilignes résistantes bien agencées (murs). Les espaces qu'elles définissent ont les dimensions de pièces et de cours et constituent des unités d'habitation.

Si certains linéaments sont aisément identifiables, la réponse de nombreuses structures est confondue avec celle du substrat calcaire. Nous avons choisi de reporter sur le schéma de restitution les zones les plus résistantes. En montrant des limites nettes et en formant des modules rectangulaires, elles viennent éclairer la lecture de la carte et compléter le plan de la zone bâtie, là où les murs sont absents ou dégradés. Elles informent sur le type de remplissage ou de sol rencontré à l'intérieur des « pièces » (pavé, remblayé, éboulis, substrat).
Au faible contraste qu'offre l'affleurement de la roche calcaire avec les structures maçonnées, s'ajoute une autre difficulté. L'orientation générale des constructions est identique à celle de la fracturation et rend possibles les confusions entre tranchées de récupération, fossés, limites de bâtiment et fractures.
On remarquera une anomalie ponctuelle résistante (**4**) disposée au centre d'une aire dégagée. Le cadastre de 1887 (Figure 119) place à cet endroit un point de visée indiquant par là l'existence d'un repère fixe. S'il s'agit d'un puits, il était connu au 19ème siècle.

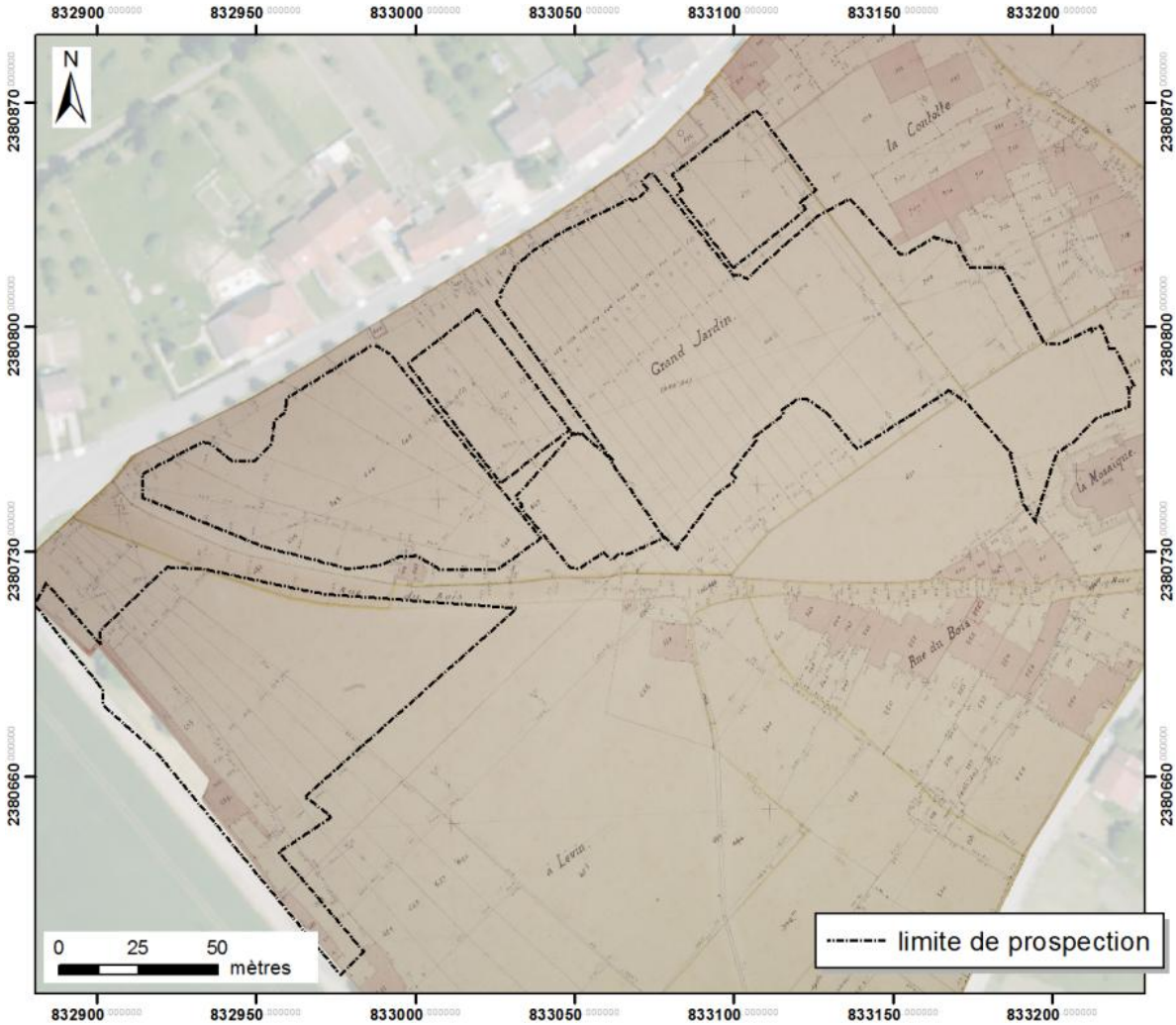


Figure 119. Feuille E4 géoréférencée du cadastre de 1887.

A partir des résultats obtenus sur la parcelle S2, nous avons cherché le prolongement de ces structures dans les terrains voisins.

Au sud, le secteur S1 est séparé de S2 par la largeur de la route (rue du Bois). Dans sa partie nord, il comporte des anomalies **(5)** qui respectent l'orientation (NO-SE) mise en évidence dans S2. Elles appartiennent certainement au même ensemble fonctionnel.
A l'ouest, une zone plus conductrice peu contrastée ne semble pas comporter de vestiges. Elle sert de transition entre la zone d'habitat et le rempart. Le tracé de l'enceinte a été reconnu lors des fouilles et sondages anciens qui ont permis de dégager plusieurs pans et tours de cette section ouest. Sur la carte électrique le rempart se traduit par une bande résistante **(6)** qui s'étale sur 150 m et qui englobe la muraille et les déblais des fouilles. Le fossé supposé longer le rempart n'est pas perceptible dans la zone conductrice à l'ouest. Les traces parallèles doivent être considérées avec prudence (sens des profils de mesures).

Au NE de S2, il ne se dégage aucune structure à la géométrie clairement établie. La zone S3, composée de deux terrains, dont l'un est décaissé est plantée d'arbres fruitiers et est très remaniée. Les anomalies visibles peuvent donc être causées par des pierriers modernes ou par les aménagements du verger. Des anomalies conductrices se remarquent dans un milieu plus résistant. Une organisation selon la direction générale NO-SE se dessine. Dans l'angle NO du secteur S5, on devine des alignements résistants **(7)** qui s'inscrivent dans la continuité des anomalies de S3 et de S2 et forment des espaces rectangulaires. Il est probable que la bande de terrain bordant la route (Grande rue) ait été bâtie à une époque antérieure au 19ème siècle.

Dans le pré S5, l'anomalie la plus visible est créée par la galerie du Groupe scolaire. Une augmentation notable de la résistivité mesurée produit un tracé très net **(8),** en particulier à l'est où le terrain est plus argileux. On suit la galerie principale sur 62 m et le conduit secondaire sur 18 m depuis son embranchement jusqu'au taillis. Dans le terrain S6, le souterrain crée une zone localement plus résistante **(9)** jusqu'à l'entrée maçonnée.

Le terrain S6 est globalement plus conducteur en fond de vallon avec quelques variations locales. Une zone plus résistante se découpe sur le flanc sud du talweg derrière l'édifice à plan basilical. T. Dechezleprêtre situe les tranchées au niveau de l'anomalie résistante (**10)** (Dechezleprêtre 2008). La relation entre les structures mises au jour et les valeurs de résistivités relevées est loin d'être évidente. La détection des structures antiques est doublement gênée par la proximité du substrat calcaire et par les perturbations résultant des travaux réalisés (fouilles du jardin Huguet, aménagement du bâtiment du centre du patrimoine).

Enfin, deux anomalies caractéristiques apparaissent sur les cartes électrique et magnétique du jardin S7 (Figure 118). L'anomalie ponctuelle résistante (**11**) se situe à égale distance du Grand puits et du puits *222* sur le tracé d'une galerie (A10 - *cf* chapitre 3). Elle correspond au regard d'accès signalé par Bertaux en 1964 (Bertaux 1964) mais qui ne figure pas sur le plan topographique réalisé en 1973. L'anomalie magnétique forte qui lui est associée semble indiquer qu'un tampon métallique en protège l'accès.
Une anomalie linéaire résistante et peu magnétique **(12)** marque d'autre part l'emplacement de murets et éboulis visibles en surface. Les fortes valeurs du signal magnétique enregistrées

sont causées par le dépotoir qui occupe le fond de la parcelle et qui a empêché la poursuite des prospections.

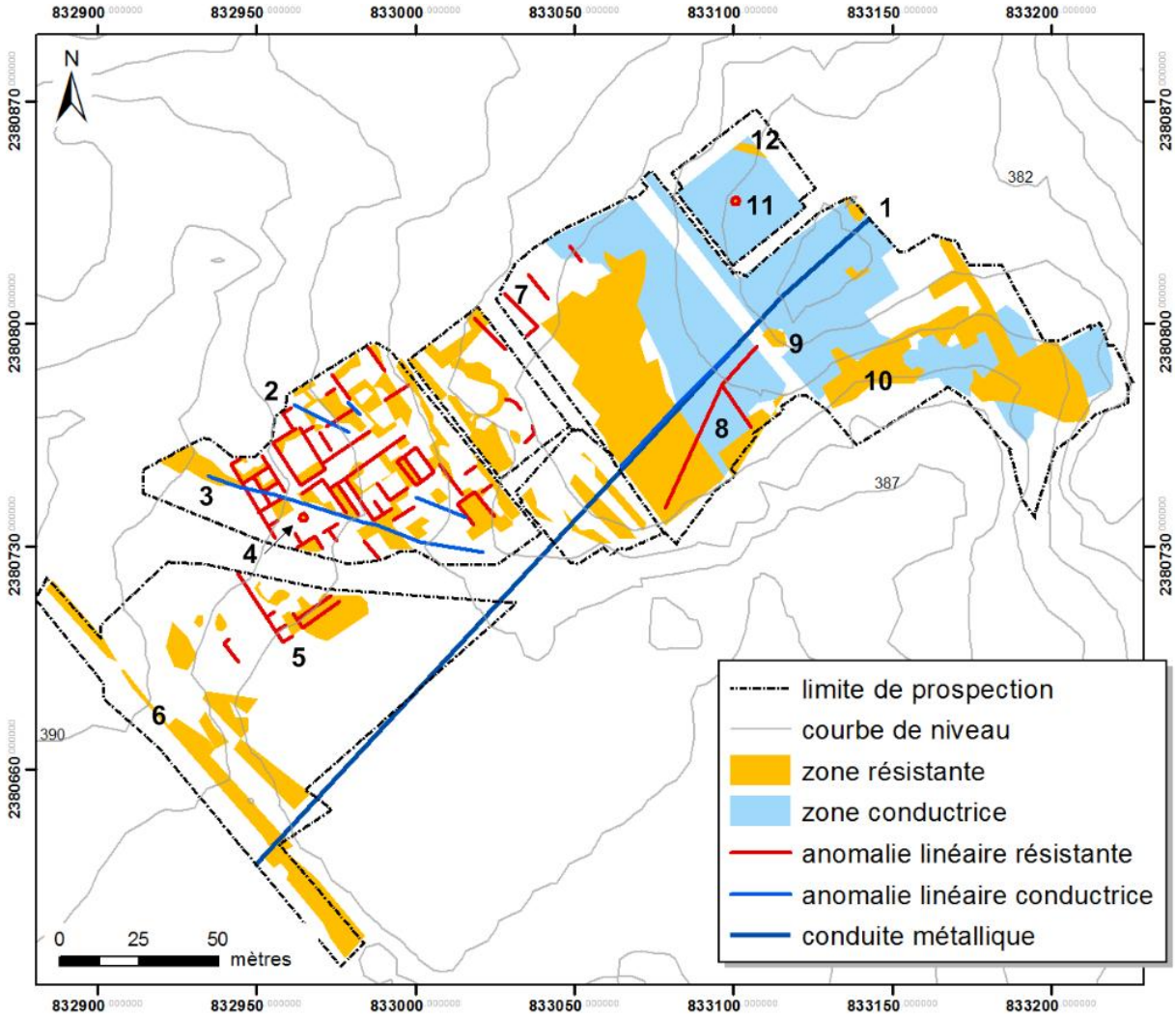


Figure 120. Carte interprétée des anomalies mise en évidence par les prospections électriques et magnétique dans le secteur du Grand jardin.

- LiDAR

La zone étudiée est constituée de surfaces planes étagées : le parking jouxtant le terrain de football, le secteur S5, le secteur S7. Les zones supposées receler des vestiges présentent des anomalies de relief. De petits monticules ou de légères cuvettes sont associés aux endroits les plus résistants ou *a contrario* plus conducteurs. Ces micros-reliefs, qui révèlent la présence d'éléments maçonnés enfouis, étayent l'hypothèse d'un prolongement des structures de S2 dans les terrains S1, S3 et S5.

Les traces du parcellaire ancien, coïncidant avec les anomalies conductrices **(2)** et **(3)**, sont également visibles dans les reliefs. Dans S5, on observe que les alignements parallèles aux limites parcellaires (cadastre 1887) sont plus marqués dans la moitié NE, zone conductrice. L'image LiDAR permet donc de visualiser les variations de la nature de la couche superficielle du sol : le terrain passe d'un affleurement calcaire au SO (résistant et fracturé,

avec une épaisseur de sol plus faible et donc moins empreint à conserver les marques du parcellaire) à un sol plus argileux (conducteur et strié par le parcellaire).

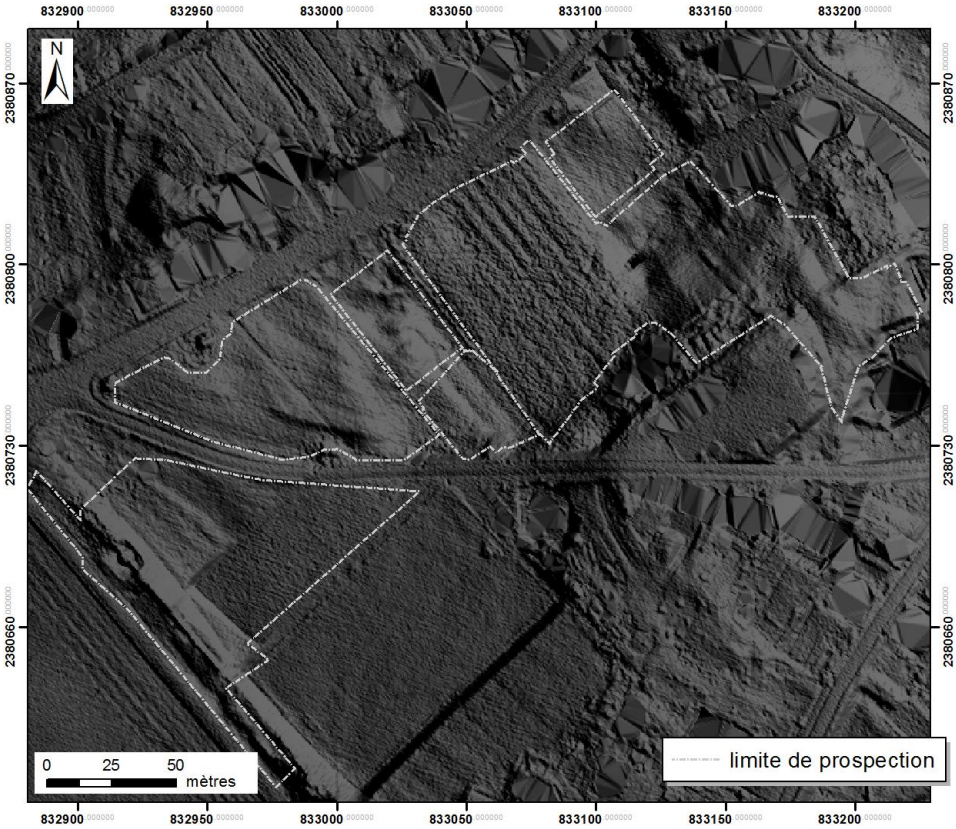


Figure 121. Image LiDAR du secteur du Grand jardin. Eclairage artificiel (30 m/ 60°).

- EM31

La cartographie EM (Figure 122) confirme l'existence d'un gradient de résistivités sur la zone prospectée.

- Le terrain S1 présente des valeurs de fortes résistivités entre la route des Remparts et la rue du Bois.
- Le terrain S5, plus conducteur, se divise en deux zones selon un axe NO-SE. Elles correspondent aux zones établies par la prospection électrique et l'analyse des données LiDAR (résistante à l'ouest et conductrice à l'est).
- Le terrain S6 apparait comme conducteur avec localement des anomalies résistantes. Comme attendu le fond de vallon se révèle plus conducteur que les pentes.

Localement, les masses construites forment des anomalies résistantes plus ou moins perceptibles. Le rempart crée un segment **(6)** plus résistant que l'encaissant. C'est également le cas de la galerie **(8)**. L'anomalie **(5)** peut être attribuée à l'extension de l'habitat de S2 tandis que d'autres peuvent être de nature géologique. Les valeurs de l'anomalie très résistante **(13)** sont comparables à celles du rempart ; une zone empierrée existe peut-être dans l'angle de la parcelle. Elle ne crée cependant aucune surélévation topographique comme c'est globalement le cas des autres secteurs bâtis. Dans l'angle NO de S5 de petites variations

sont visibles (traces d'anthropisation **7**). Dans S6 les ensembles résistants/conducteurs se retrouvent aux emplacements définis précédemment et concordent avec les micro-reliefs.
On observe la réponse prédominante de la conduite métallique Paramel (**1**). La carte EM31 permet de suivre son tracé, déjà repéré sur la carte électrique de S5, sur l'ensemble de la zone prospectée.

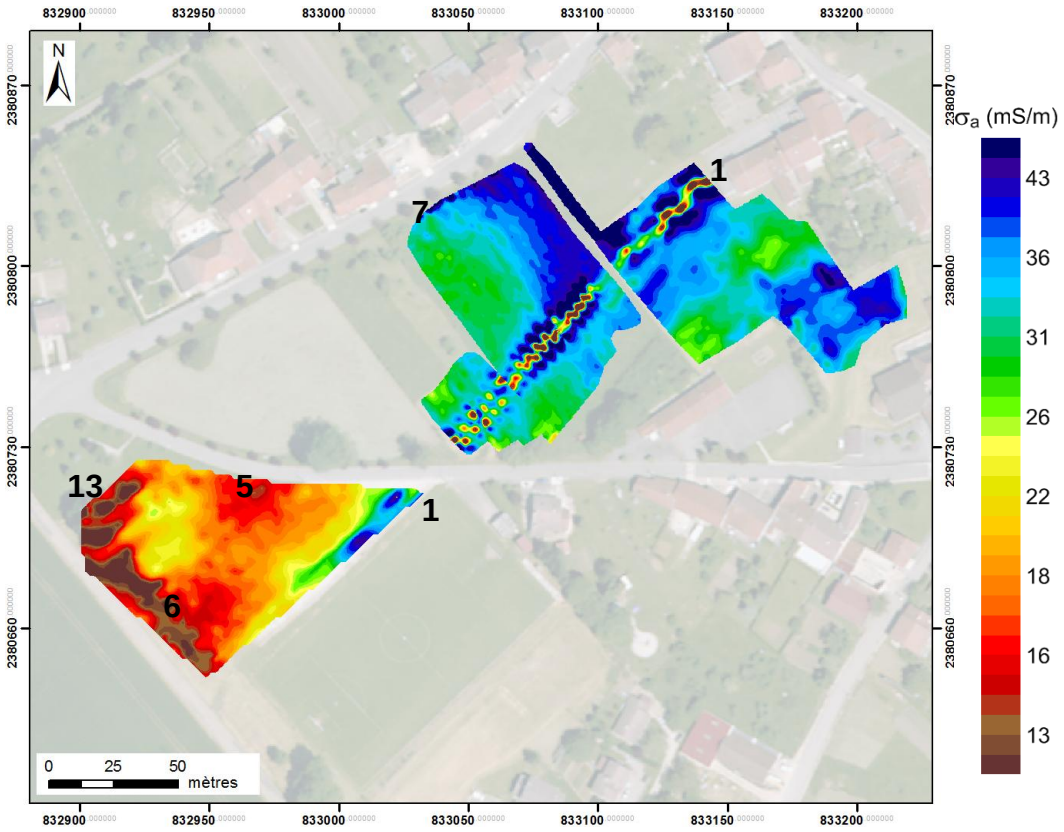


Figure 122. Variations de conductivité électrique apparente (EM31) dans le secteur du Grand jardin.

➢ Conclusion

Au regard des données géophysiques, les conduites hydrauliques sont les seuls signes manifestes d'une installation en fond de talweg alors que les versants nord et sud ont été des zones bâties. S'il s'avère que ces constructions sont d'époque gallo-romaine, l'hypothèse d'un espace dégagé de tout habitat entre le rempart ouest et le cœur du site (forum, « basilique », « temple ») se trouve démentie (Bertaux 1991).
Les cartes de résistivité électrique révèlent un ensemble structuré de constructions sur la pente nord à une quarantaine de mètres du rempart (pour les murs identifiés avec certitude). L'orientation de ces structures est sensiblement décalée par rapport à celle du rempart, mais peut être mise en relation avec l'orientation de la Grande rue et du mur découvert au nord de cette rue (Jollois 1843, Counot 1963, Ch. Bertaux 1985). On peut alors supposer que la route actuelle reprend un axe antique. L'occupation du flanc sud est plus difficile à appréhender. La fouille atteste l'existence d'un habitat antique mais la prospection ne fournit pas d'image claire du secteur. En dépit des remaniements du terrain et de l'impossibilité d'isoler les

structures, les recherches peuvent toutefois être orientées vers les ensembles d'anomalies plus résistantes où des masses bâties sont suspectées. La preuve en est donnée avec les restes de l'ensemble bâti dégagés à l'aplomb du Centre du patrimoine. L'existence probable de déblais de fouille est également à prendre en compte.
La prospection géophysique permet de localiser précisément les deux conduites (Paramel et du Groupe scolaire). La galerie reliant le Grand puits et le puits *222*, trop profonde, n'a pu être détectée mais l'existence du regard d'accès, qui n'est pas signalée sur les plans spéléologiques, est confirmée et le puits localisé.

Les prospections apportent de plus des informations sur la géomorphologie locale. Si certaines anomalies résistantes peuvent être rattachées au bâti enfoui et certaines anomalies conductrices aux dépôts plus limoneux au fond de vallon, il apparait également des variations latérales que ne semble pas justifier la seule topographie du talweg. Il est possible de situer une limite vers 376 m NGF : elle sépare une zone plus résistante à l'ouest d'une zone conductrice à l'est, signifiant ainsi un changement lithologique. Les anomalies conductrices situées sur l'élévation du terrain, au nord de la « basilique », pourraient traduire un affleurement marneux. Par ailleurs la faible épaisseur de sol et l'affleurement du substrat calcaire fracturé sont bien mis en évidence sur les cartes électriques.

- *Rempart Ouest*



La zone délimitée par la section ouest du rempart, la rue du Bois et la rue de Bréchainville se positionne dans le prolongement du secteur du Grand jardin, à l'intérieur de l'enceinte antique, entre les deux talwegs amont de la combe La Roche. Les espaces dégagés, composés de jardins privés, du terrain de sport et du pré s'étendant derrière le lotissement du Rempart, ont été prospectés entre 2008 et 2010.

Des sondages anciens pratiqués sur le tracé du rempart ont permis de dégager les tours 19, 21 et 22 et un tronçon de courtine (1936 par Toussaint, 1966 par Guillaume et 1975 par Ch. Bertaux). Le terrain environnant n'a pas été investigué.
Par ailleurs, le passage d'un conduit karstique a été situé en travers de ce secteur (EDF 1993, Bertaux *et al.* 1993a, 1993b). Visible dans le puits dit « derrière la mosaïque » (*cf* chapitre 3), ce conduit aurait été détecté grâce à une prospection EM31 au fond du vallon en 1989. Il traverserait le rempart à l'aplomb de « l'ensemble 20 », dont l'identification est incertaine et qui a été interprété comme une porte des eaux. Une arrivée d'eau localisée qui inonde la cave du n°13 de la rue du Bois proviendrait de son engorgement et signalerait son passage entre le terrain de sport et le puits « derrière la mosaïque ». La cavité naturelle qui constitue la terminaison amont de la galerie dite du « Groupe scolaire » (conduit C3) se trouve à proximité de ce tracé supposé. Des prospections électriques, EM, gravimétriques et sismiques ont été réalisées dans la parcelle *3* pour déterminer les relations entre ces différents éléments.
Les différents éléments décrits ci-dessus sont représentés sur la Figure 123.

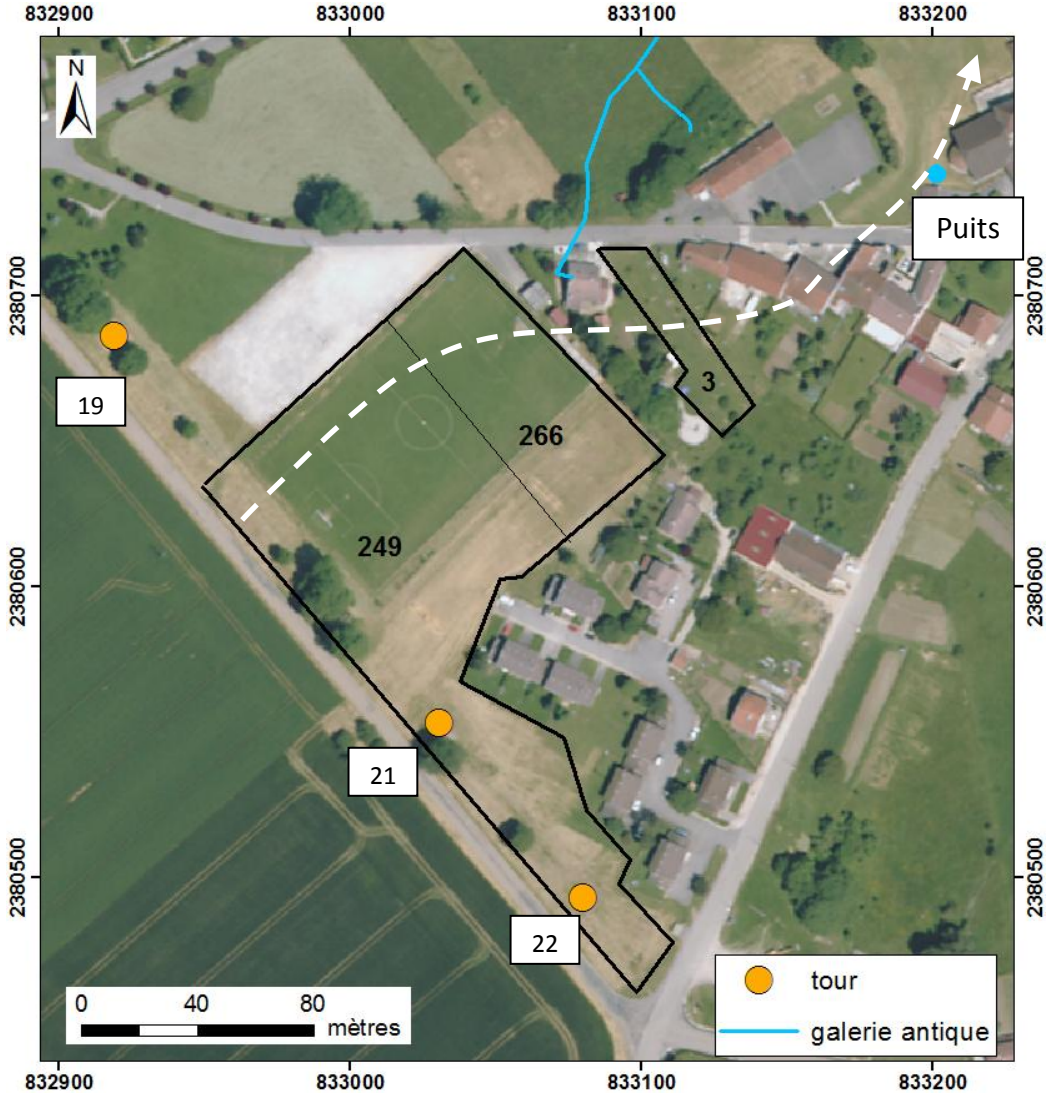


Figure 123. Localisation des zones prospectées (parcelles 249-266-3) et des structures antiques connues (courtine et tours du rempart et galerie C3 dite du Groupe scolaire). Le tracé hypothétique du « conduit karstique » (EDF 1993) traversant le puits dit « derrière la mosaïque » est représenté en traits pointillés blancs .

- Environnement géologique

Les cartes électriques et EM (Figures 124 et 126) montrent que le secteur étudié se situe à l'affleurement d'un banc calcaire fracturé. Le terrain superficiel est résistant (15-20 mS/m). Une zone conductrice se développe dans le fond du vallon. La limite entre le remplissage plus argileux et les bords rocheux sont bien visibles sur les cartes électriques. Au nord de la rue du Bois et au sud de la rue de Bréchainville, le terrain devient nettement plus conducteur (> 35 mS/m) et correspond probablement à une couche marneuse à l'affleurement.

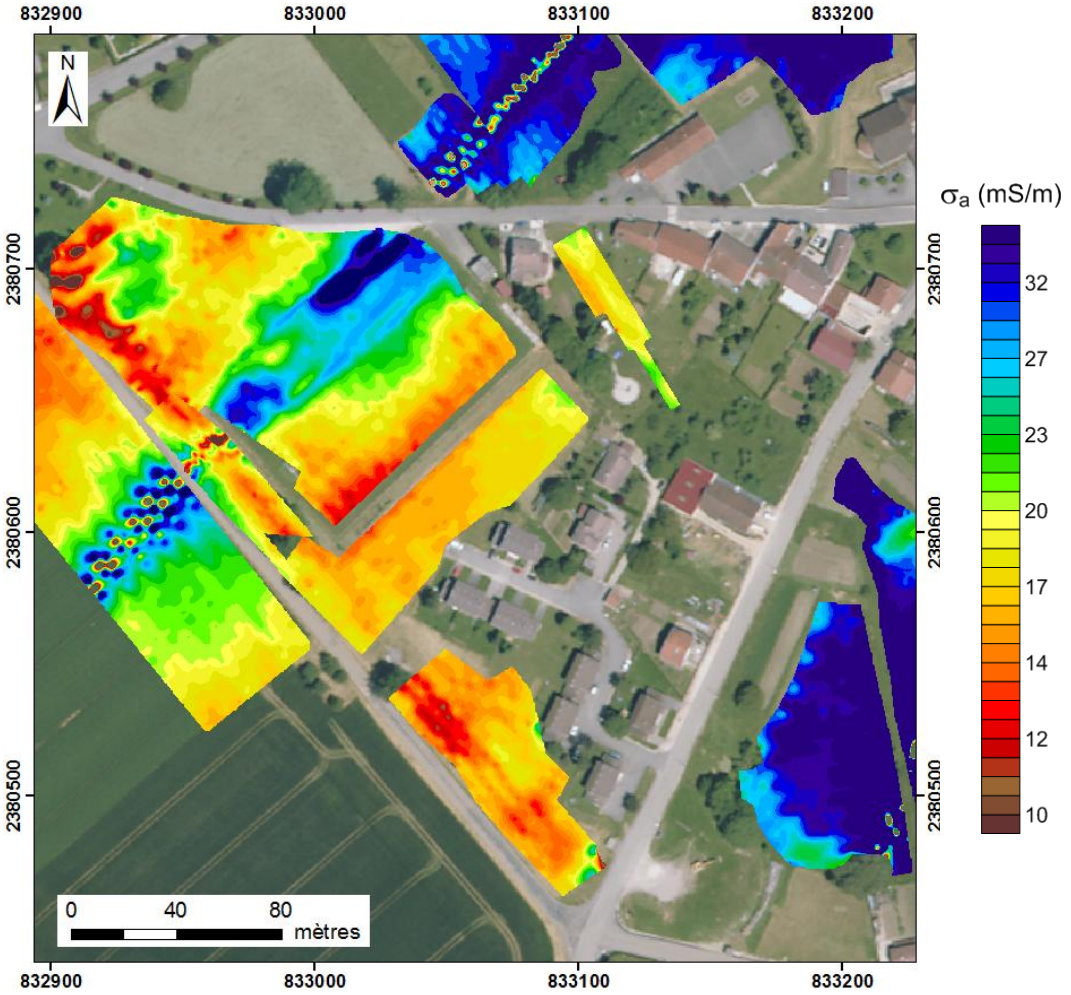


Figure 124. Carte de conductivité électrique apparente (EM31) des terrains situés dans le quart SO du village de Grand (lieux-dit Grand jardin, Levin, Pré Laguerre).

Dans la parcelle *3*, un panneau électrique a été réalisé sur un profil de 72 électrodes espacées d'un mètre en configuration dipôle-dipôle. Les résultats de l'inversion (Figure 125), confirmés par les données géotechniques, font apparaitre un milieu tabulaire composé de trois couches. Un niveau très résistant (300-1000 Ω.m) d'une épaisseur moyenne de 3-4 m se développe entre deux niveaux conducteurs (20-200 Ω.m). L'épaisseur moyenne du niveau sus-jacent est d'un mètre, avec des variations locales (0,5 à 2 m). Le toit du niveau sous-jacent est trouvé vers 4-5 m de profondeur. Cette couche conductrice est visible jusqu'à 10 m de profondeur, limite de détection de l'appareil dans cette configuration. D'après la profondeur du puits d'accès qui se situe à une vingtaine de mètres du profil ERT, le conduit C3 se positionne à la base de la couche très résistante de calcaire compact (données géotechniques).

A 60 m de l'origine, on observe une zone argileuse qui coupe le banc calcaire et remonte jusqu'à la surface. Cette zone, large de 2 m, se traduit par une anomalie conductrice sur les cartes électriques et EM et avait été signalée par le propriétaire.

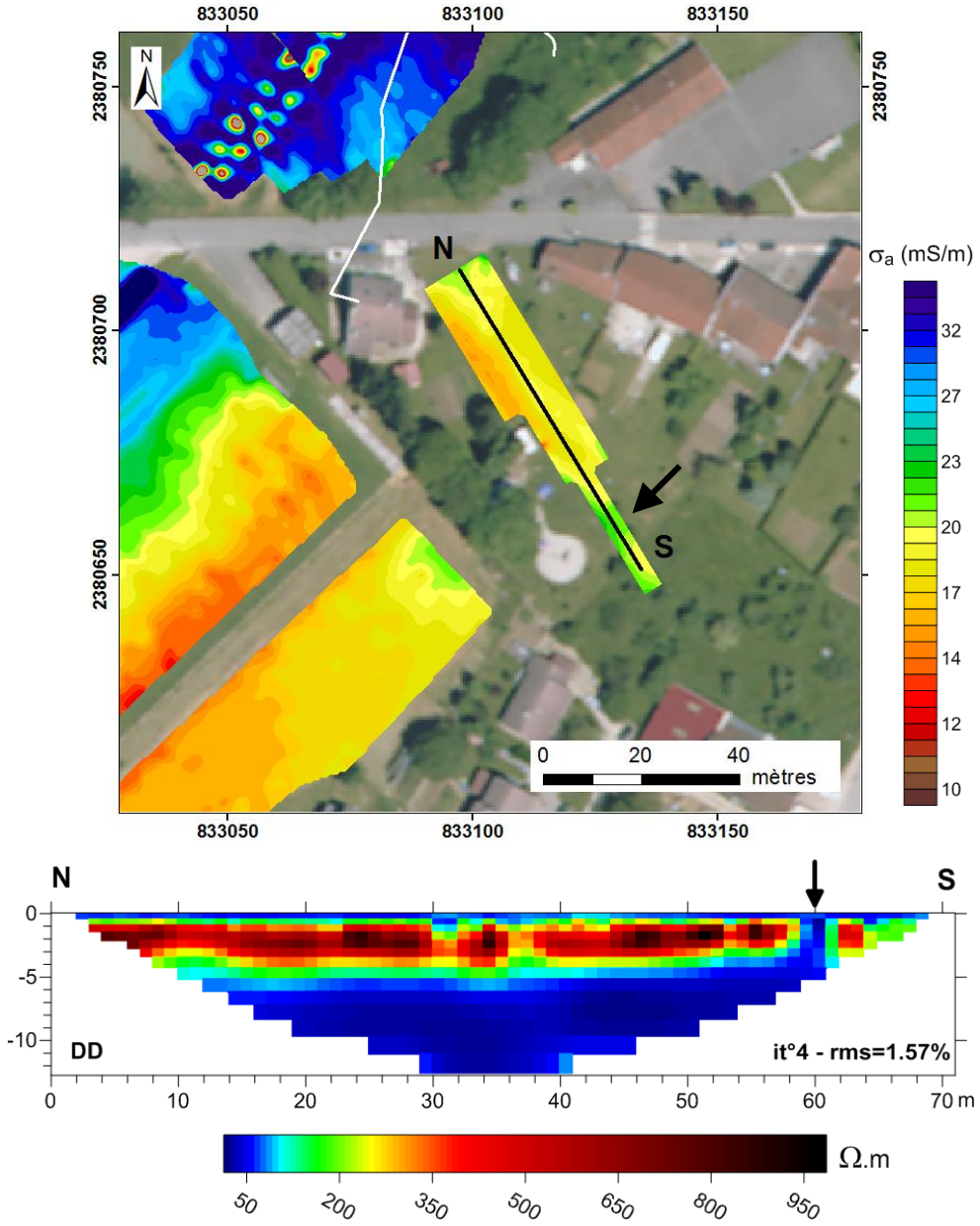


Figure 125. Localisation dans la parcelle *3* du profil ERT, sur la carte de conductivité électrique apparente (EM31), et résultats de l'inversion (configuration dipôle-dipôle, 72 électrodes). La flèche noire indique l'emplacement de la remontée argileuse. Le tracé du conduit C3 est représenté en blanc.

- Bâti (Figure 126 et Figure 127)

Le long de la route des Remparts, deux segments rectilignes parallèles résistants encadrent un troisième moins résistant et magnétique. Ils marquent l'emplacement du rempart sur les cartes électriques, magnétiques et EM. Les tours apparaissent sous forme de masses résistantes (données EM31).

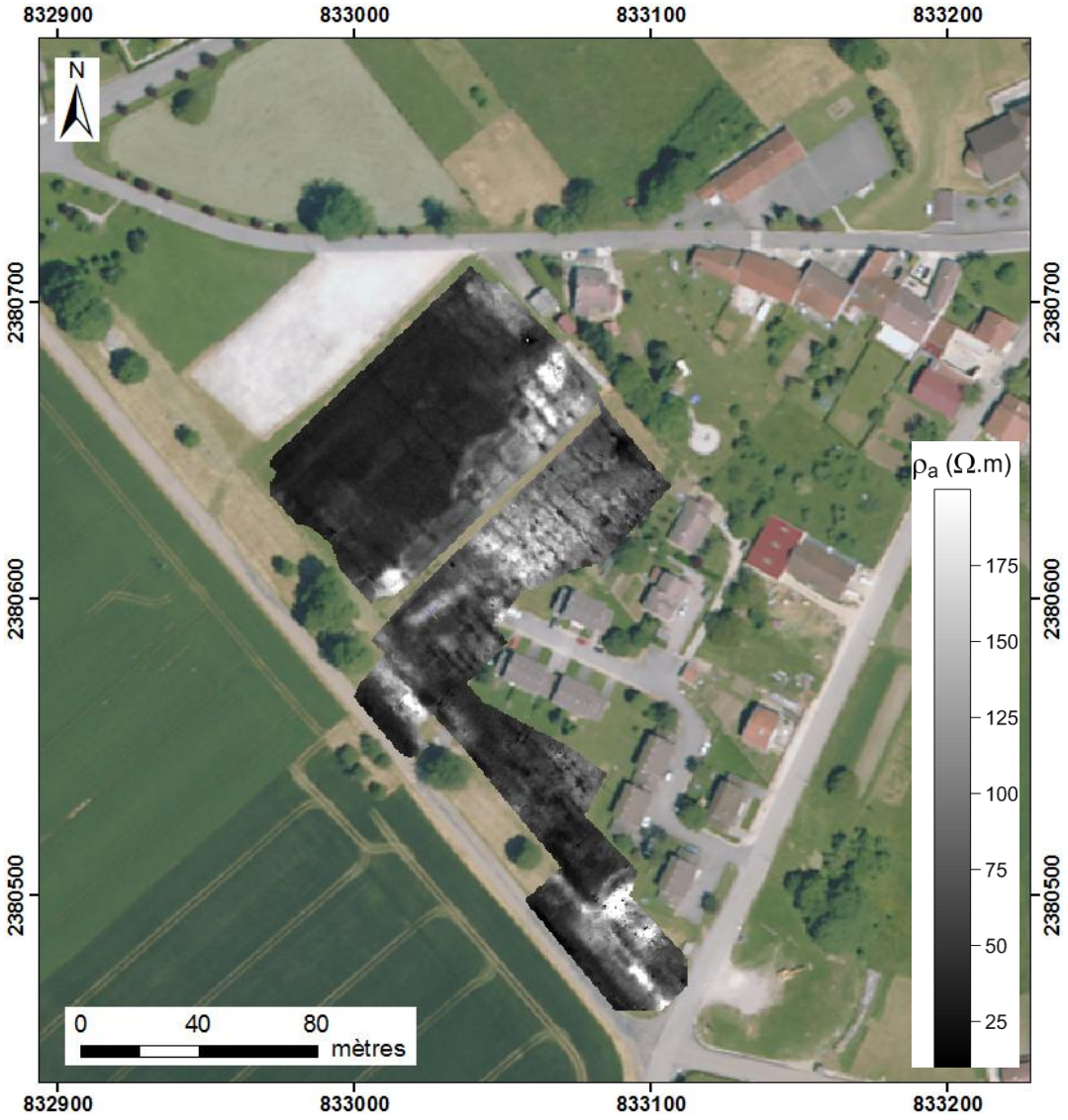


Figure 126. Carte de résistivité électrique apparente (ARP voie 2) au lieu-dit Levin (secteur Rempart ouest). Prospection Geocarta.

Dans le carré de prospection magnétique couvrant le rempart, des anomalies linéaires présentent un agencement qui semble régi par le rempart. Ces anomalies sont décelables sur les cartes électriques et plus nettes sur la carte de gradient magnétique. Elles se distinguent des anomalies créées par les diaclases, qui suivent la même orientation : au-delà d'une trentaine de mètres du rempart, le terrain fracturé apparait comme une zone homogène magnétiquement. Des aménagements semblent donc avoir existé à proximité du rempart. Quelques anomalies résistantes peuvent également révéler la présence de structures anthropiques dans le sous-sol du terrain de sport mais la distinction avec les masses rocheuses n'est pas aisée. A l'extrémité sud de la parcelle, une anomalie circulaire très lisible double une masse résistante : il s'agit des fondations d'un ancien moulin, dont le nom est enregistré dans les cadastres (Moulin La Dame).

Le long de la route, les fouilles anciennes et le pierrier-dépotoir sont à l'origine d'une zone ponctuée d'anomalies magnétiques fortes.

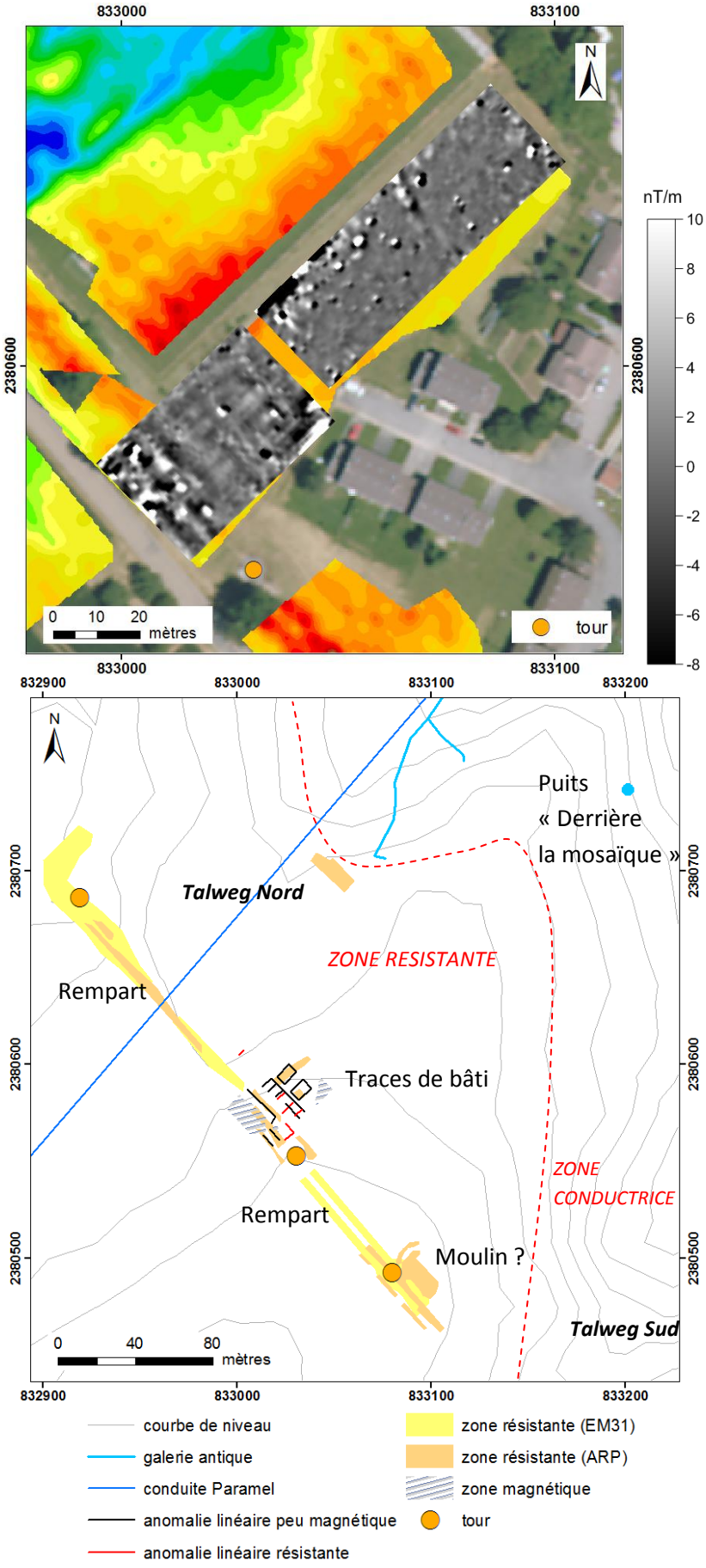
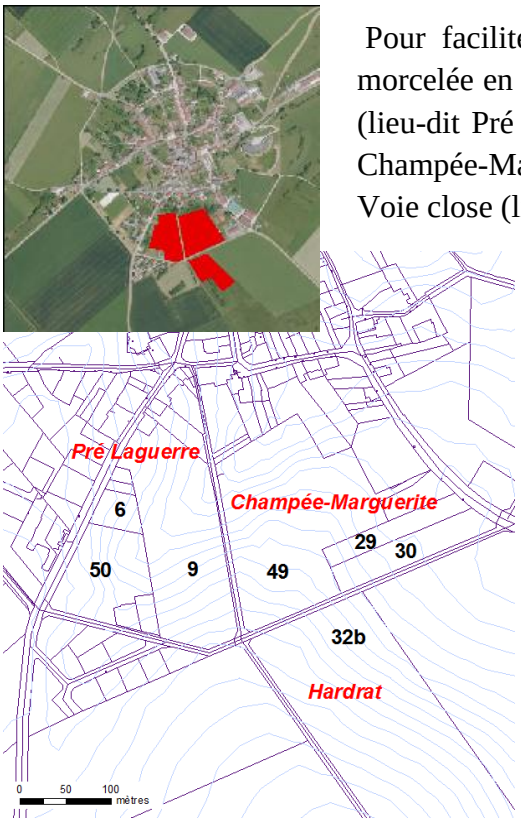


Figure 127. a. Carte de gradient magnétique du champ total superposée à la carte EM31, b. Carte des anomalies interprétées du secteur Rempart ouest (lieu-dit Levin).

➢ Conclusion

Quelques vestiges de constructions alignés avec la courtine ont été mis en évidence à l'est de l'enceinte et des anomalies situées à l'aplomb du terrain de foot pourraient être causées par des aménagements. Les fondations d'un ancien moulin ont également été détectées à proximité de la tour 22. Les données géophysiques permettent de préciser dans ce secteur la position des bancs calcaires et marno-calcaires, à l'intérieur du village.

II. 2. c. Zone Sud



Pour faciliter la description des résultats, la zone d'étude est morcelée en 3 secteurs. Le premier comprend les parcelles *6-50-9* (lieu-dit Pré Laguerre), le second les parcelles *49-29-30* (lieu-dit Champée-Marguerite) et le dernier la parcelle *32b* au sud de la Voie close (lieu-dit Hardrat).

L'ensemble se situe au sud de Grand entre la rue de Bréchainville et la rue de Liffol dans un vaste espace sans constructions, recoupé par le chemin de Bréchainville et par la route ceinturant le village. Le terrain est occupé par des prés (parcs à chevaux, moutons et vaches). Le secteur du Pré Laguerre est traversé par le talweg Sud qui crée une dépression orientée SO-NE en direction de la combe de La Roche.

Figure 128. Localisation des trois secteurs d'étude de la zone Sud : lieux-dits Pré Laguerre, Champée-Marguerite et Hardrat.

➢ Données archéologiques

Lorsqu'on considère la restitution de J.-C. Golvin (Figure 129), on est frappé par la densité de l'habitat au nord et l'indigence apparente au sud du site. Le territoire qui s'étale sur 200 à 300 m à l'extérieur de l'enceinte, au sud de la rue de Liffol, est supposé peu densément occupé dans l'antiquité. La trame urbaine, constituée par quelques villas, y est vue plus lâche, contrairement à l'habitat qui se développe au nord en quartiers organisés autour d'une voirie mieux ramifiée. La topographie du vallon peut expliquer que le Pré Laguerre ait été partiellement évité et qu'une zone régulièrement inondée n'ait pas favorisé une implantation à cet endroit. Toutefois, le secteur de Champée-Marguerite ne connait pas ces mêmes contraintes.

L'absence d'habitations ou d'installations actuelles, constatée déjà sur les cadastres napoléoniens, pourrait avoir accentué l'impression de déséquilibre dans la répartition de l'habitat antique. La connaissance de l'agglomération romaine repose en effet en grande partie sur les découvertes fortuites réalisées à l'occasion des travaux d'aménagement, privés ou publics. L'opportunité de mettre au jour des vestiges s'est donc faite plus rare dans le secteur sud du village, zone de pâture. Les preuves d'occupation datant de l'époque romaine ne sont pourtant pas absentes. Elles n'ont pas toutes été intégrées dans l'aquarelle de J.-C. Golvin.

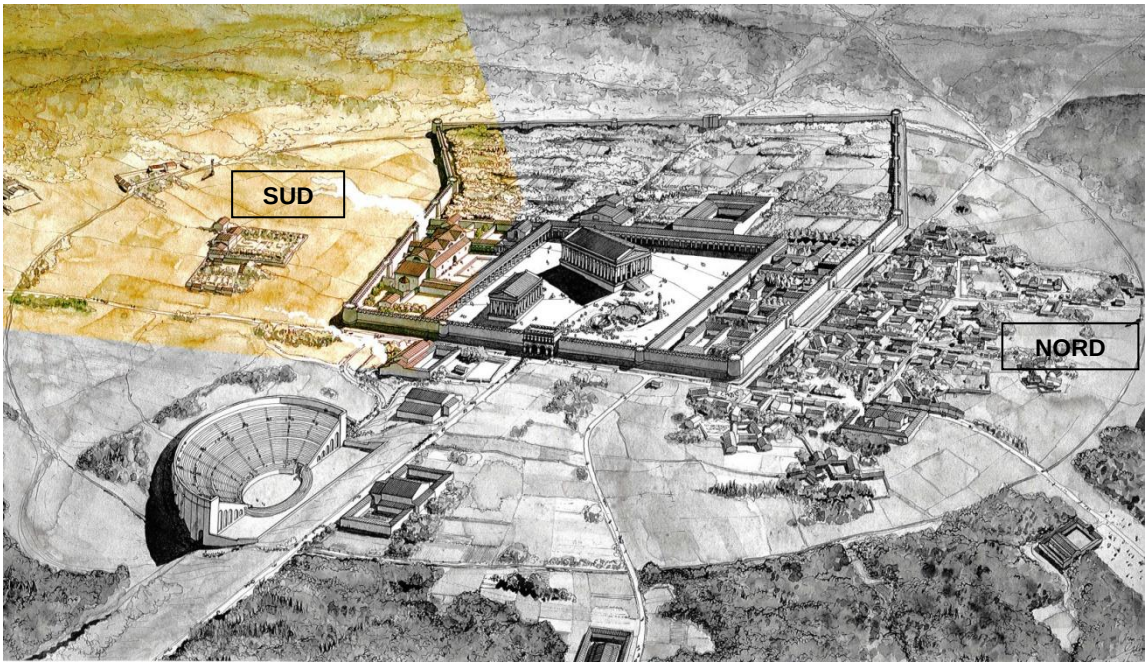


Figure 129. Localisation de la zone d'étude Sud sur le schéma de restitution du site antique par J.-C. Golvin.

Dans les archives, les premières mentions de vestiges gallo-romains concernent les restes du rempart et la galerie de la Fontainotte. Caylus parle de « murs [de] l'ancienne enceinte » qui sont encore visibles au 18ème siècle « du côté du midi » (Caylus 1764). La galerie est quant à elle redécouverte lors des travaux municipaux dans la première moitié du 19ème siècle (*cf* chapitre 3).

En 1885, deux découvertes sont réalisées au lieu-dit Champée-Marguerite. A une centaine de mètres de la route de Liffol, le propriétaire du terrain, Coirnot, trouve à 1,5 m de profondeur un tuyau d'hypocauste. Il en retire une statuette de pierre tendre représentant une femme drapée assise. Dans le même secteur, M. Chaudron extrait d'une citerne romaine, de 3 m de diamètre et 2 m de profondeur, les fragments de la statue dite du groupe équestre. Les objets recueillis font l'objet de communications et sont exposés (Jollois 1843, Toussaint 1948).
Dans son inventaire, Jollois consigne de plus la découverte d'un camée à 300 m du village près de la route de Liffol. Le propriétaire avait ouvert le terrain sur 50 cm pour déterrer et éliminer les restes d'anciens murs (Jollois 1843).
Dans les années 1960, le remembrement cadastral et les travaux d'assainissement créent l'occasion de dégager de nouvelles structures, guère mieux localisées que les découvertes

précédentes. En 1967, le puits *77*, situé sur le passage du chemin actuel du Pré Laguerre, est étudié au cours d'une fouille d'urgence dirigée par J.-P. Bertaux. Le niveau de remplissage antique est atteint vers 3,4 m. Le puits contient de nombreux débris végétaux, des tessons de vases et les fragments en ivoire des deux tablettes zodiacales (Billoret 1968 ; Bertaux 1968, 1974). En 1968-1969, les tranchées de pose du tout-à-l'égout, profondes par endroit de 2,5-3 m, livrent plusieurs indices d'habitat dans la zone HLM du Moulinet. Les restes sont interprétés comme ceux de constructions légères de type cabanes (murs de pierres sèches et toit de chaume) d'après le peu de substructions maçonnées et tuiles de couverture. Le plan manque dans le rapport (Bertaux 1969) pour situer ces structures. Sur le chemin de ceinture, un puits dit « 125 » comblé et rebouché apparait dans la tranchée et est fouillé par Bertaux (Bertaux 1974). Les restes d'un dépôt de débris végétaux y sont recueillis. Le puits traverse des niveaux marneux et est maçonné sur 1,2 m ; la base se situe à 4 m de la surface. Les fondations d'un hypocauste, conservées sur 1 m, reposent sur la maçonnerie du puits. Le sol de la salle de chauffe sus-jacente est trouvé à 2,5 m de profondeur (Bertaux 1969).
Les tranchées d'assainissement croisent le tracé supposé du rempart établi par Counot mais ne le rencontrent pas dans le Pré Laguerre. Le tracé hypothétique est alors modifié et ramené au niveau de la rupture de pente (Bertaux 1969). Il s'accorde ainsi avec la position des 'ruines romaines' indiquée sur le cadastre de 1887 au nord de la parcelle *9*. Il s'agit probablement là du pierrier auquel fait allusion Ch. Bertaux en 1977 qui y place la tour 4 (aussi appelée tour Fèvre en 1980). Elle aurait en effet repéré parmi les pierres le parement d'une tour mais n'obtient pas du propriétaire l'autorisation de fouiller (Ch. Bertaux 1977, 1980). La tour 2 est mise en évidence au cours de l'hiver 1969, grâce à l'élargissement de la tranchée sous l'effet du gel (Ch. Bertaux 1982). En juillet 1969, Ch. Bertaux mène une fouille de vérification sur la dénivellation parallèle à la rue de Bréchainville et aurait dégagé une section de 25 m de l'enceinte (Ch. Bertaux 1982). Aucune description n'est fournie, son rapport renvoie à celui de Billotte (1969), que nous n'avons pu consulter.

Les périodes de sécheresse mettent en évidence l'existence d'au moins deux bâtiments. L'un se situe dans la parcelle *9* contre le flanc du vallon et l'autre dans la parcelle *49*. Les vues aériennes donnent une idée de leur emplacement approximatif. Le propriétaire de la parcelle *49*, J. Duvaux, a enregistré les longueurs des murs quasi affleurants dans son terrain et nous a transmis le croquis de « ses » relevés. Ce plan est reproduit en Figure 130. Il a été publié sans les indications de distances, en 1986, « d'après un relevé de J. Guillaume et D. Parmentelot » (Bertaux et Loiseau 1986). Cet ensemble de bâtiments s'apparente à une *villa* dont le domaine est délimité par un mur d'enceinte. Il est représenté sur l'aquarelle de J.-C. Golvin qui le présente comme l'élément du secteur dont le plan est le mieux appréhendé. J. Duvaux assure que d'autres murs sont enfouis dans sa propriété, notamment au droit des clôtures ou à proximité (difficulté à planter les poteaux qui buttaient sur des niveaux résistants).

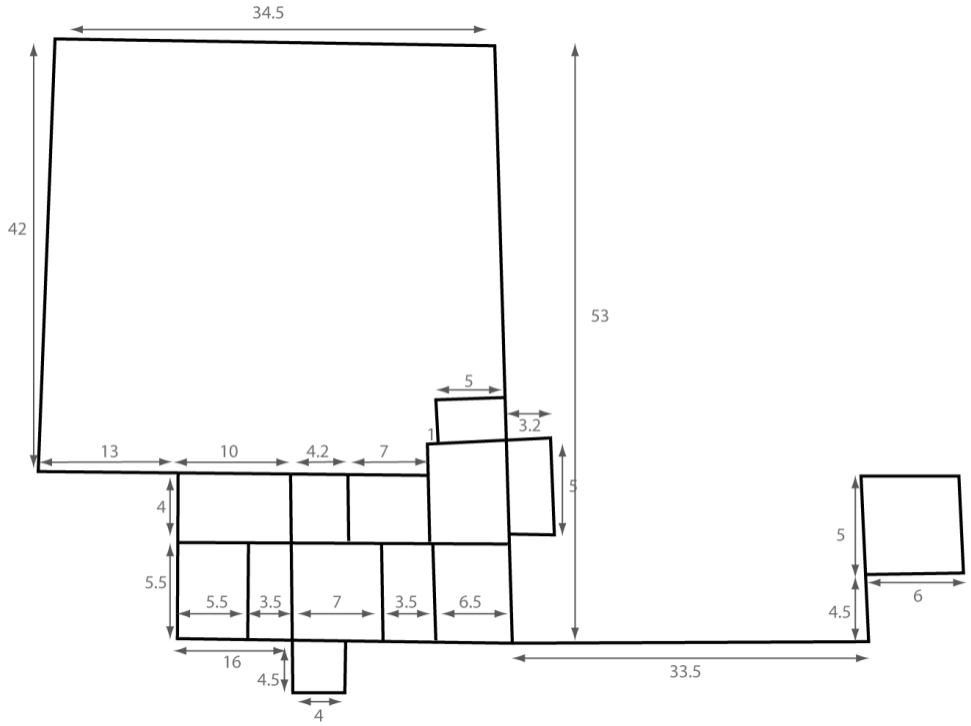


Figure 130. Plan de la « *villa* Duvaux » localisée dans la parcelle *49* (secteur Champée-Marguerite). Reproduction du croquis fourni par J. Duvaux. Les longueurs des murs affleurants sont mesurées au pas. Le plan n'est pas à l'échelle en raison de données manquantes.

Enfin, plusieurs puits sont signalés dans cette zone. A l'est, sous les constructions bordant la rue de Liffol, un puits existe à l'aplomb de la maison Duvaux (renseignement oral du propriétaire), un autre a été mis au jour lors de la construction de l'usine Kayser (renseignement oral du propriétaire). Un autre figure au milieu du pré Champée-Marguerite sur le cadastre de 1887 sous l'étiquette « puits romain ». Le sondage du terrain *32* à proximité de la route a également révélé un puits et des dépressions naturelles (Bertaux 1968, 1981). Enfin, au niveau du lotissement, un dernier puits dit « 126 » est découvert.

- *Pré Laguerre*

La localisation des zones de prospection (EM, électrique, magnétique) est donnée en Figure 131.

- LiDAR et cadastres anciens (Figure 132)

Le paysage du secteur conserve de nombreux vestiges du parcellaire et des aménagements anciens. Plusieurs pierriers et murets visibles dans le pré sont représentés sur le cadastre napoléonien. Le pierrier au tracé irrégulier qui serpente dans la partie haute de la parcelle *9* existe déjà à la fin du 19ème siècle. Le chemin du Pré Laguerre coupe en ligne droite les parcelles alors qu'il adopte avant le remembrement un tracé sinueux. Les murs de la parcelle *9* se prolongent ainsi dans la parcelle mitoyenne à l'est. De même, le parcellaire orienté SO-

NE dans l'angle SE griffe le terrain de parallèles qui se poursuivent dans l'angle de la *49*. Un changement radical dans l'orientation des parcelles s'effectue ensuite.
Le talweg présente un décaissement net. A l'ouest, la rupture de pente, orientée SO-NE, dévie et rejoint les « ruines romaines » au nord de la parcelle *9* tandis que le bord Est traverse les parcelles *9* et *49*. Au SO, une terrasse perpendiculaire barre l'axe du vallon depuis la Fontainotte.
Au fond du talweg, on distingue clairement la trace d'une tranchée d'axe SO-NE. Moins profonds, trois autres sillons d'orientation peu différente se dirigent vers le village. Contre le dénivelé ouest, deux microreliefs créent des surélévations du terrain. Dans l'angle formé par le chemin du Pré Laguerre et la route, des bosses prennent place en rapport avec le parcellaire disparu.

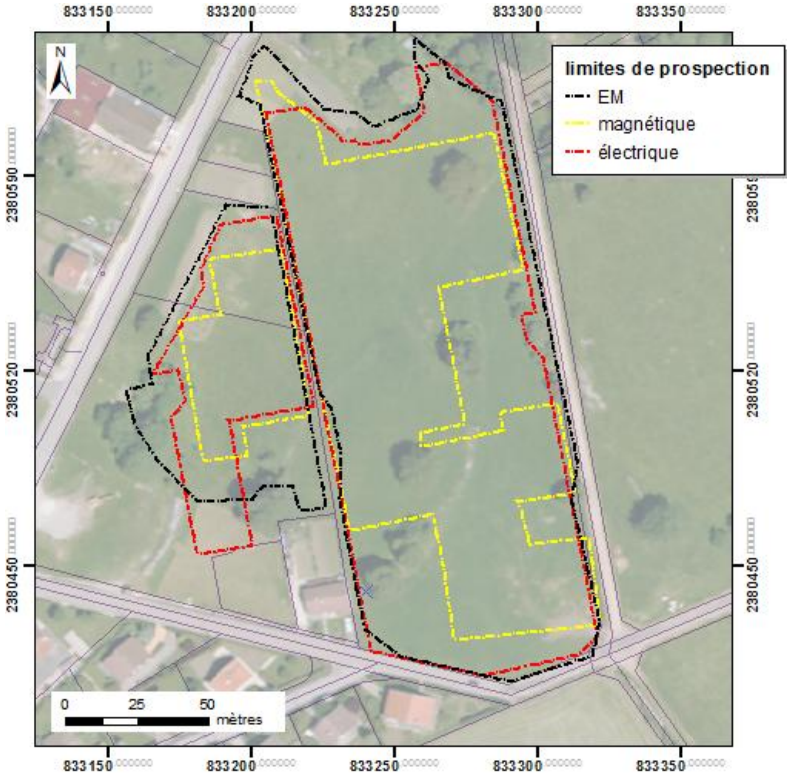
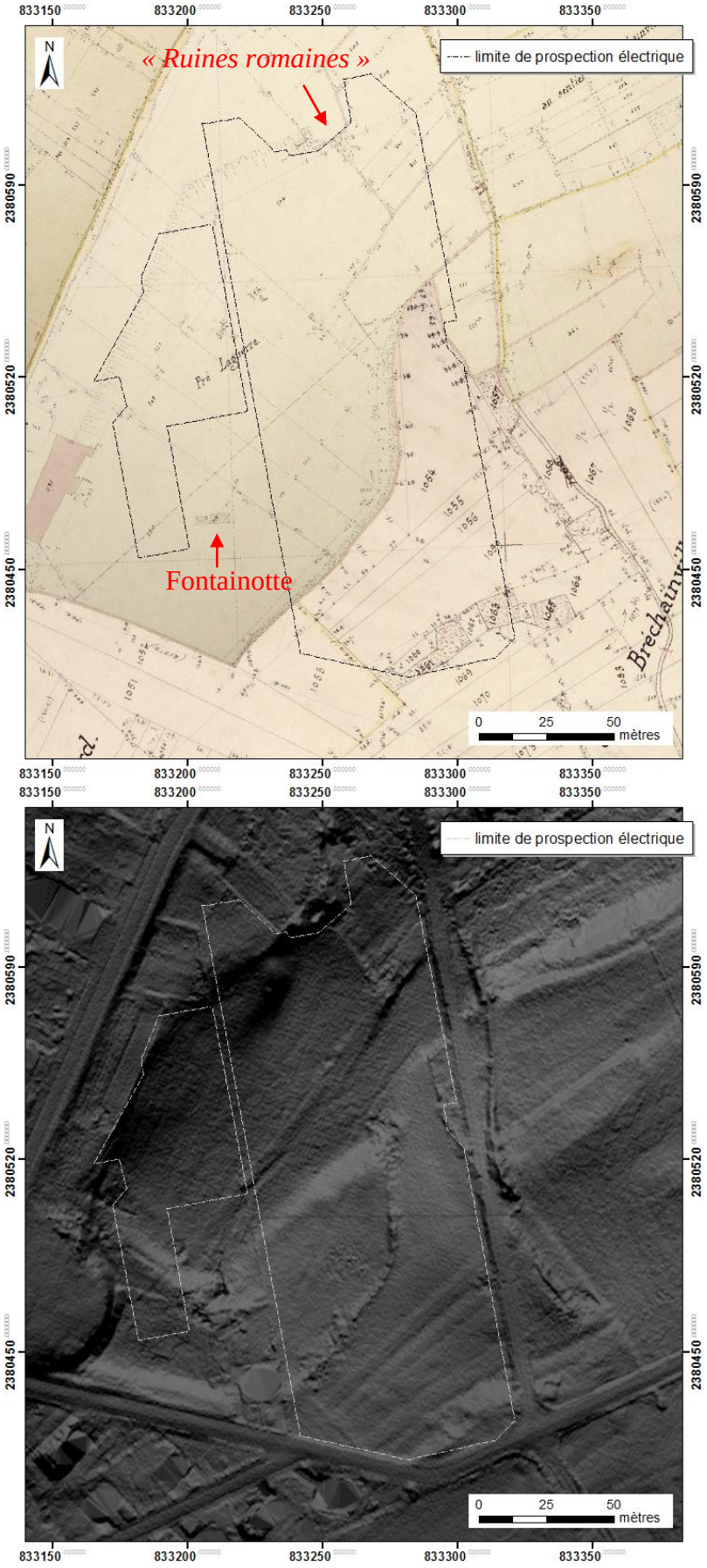


Figure 131. Localisation des zones de prospection dans le secteur du Pré Laguerre.

Page suivante :

Figure 132. Secteur du Pré Laguerre. En haut : Cadastre de 1887 géoréférencé (feuilles E3 et C8). En bas : Image LiDAR (éclairage artificiel 30 m/0°)


833150
833200
833250
833300
833350
2380590
2380520
2380450
N
« Ruines romaines »
limite de prospection électrique
Fontainotte
0
25
50
mètres

- EM31

La Figure 133 montre les résultats obtenus avec un enregistrement en continu sur des profils espacés de 5 m. Le terrain prospecté est conducteur (> 30 mS/m) avec des zones localement plus résistantes créées par les pierriers. Les mesures sont affectées par la réponse prédominante de trois conduites métalliques dont le passage a été repéré sur l'image LiDAR. La première semble relier La Fontainotte au centre du village. Ce conduit (**1)** date probablement des travaux de réfection de la Fontainotte au 19ème siècle et était chargé d'acheminer l'eau jusqu'aux installations publiques de la place des Halles. Les deux autres (**2-3**) se dirigent vers la rue du Ruisseau où elles se raccordent sans doute au collecteur qui part en ligne droite vers l'amphithéâtre et la station d'épuration.

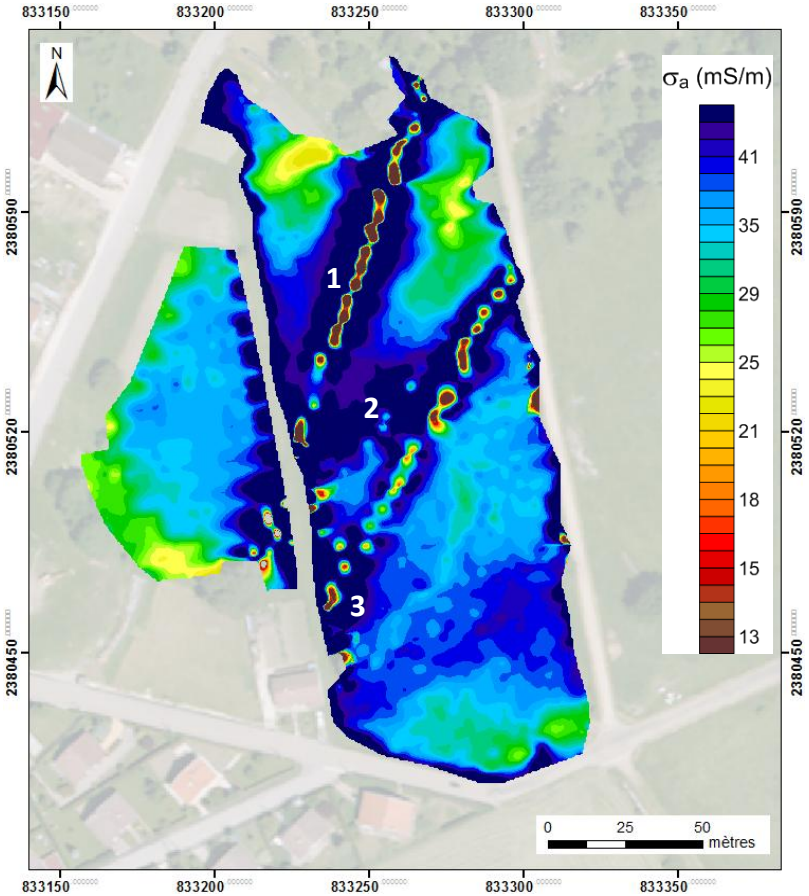


Figure 133. Carte de conductivité électrique apparente (EM31) au lieu-dit Pré Laguerre. Mise en évidence de trois canalisations métalliques et des zones de pierriers.

- Prospections magnétique et électrique

La carte de gradient magnétique (Figure 134) vient préciser les observations faites au sujet des conduites : l'une part bien de la Fontainotte et les deux autres se rejoignent à l'est de la parcelle *9* avant de se diriger vers la combe La Roche. Des regards métalliques sont la cause d'anomalies ponctuelles fortes. Ils sont disposés sur un léger tracé peu magnétique (**4**) qui coïncide avec l'anomalie linéaire de relief très nette précitée. Ces quatre anomalies se

traduisent en prospection électrique par des segments conducteurs (tranchées) bien visibles sur le deuxième écartement (1 m). Le 4ème tracé crée une anomalie résistante au NE de 9. Ces éléments sont rattachés au réseau moderne.
De nombreux éléments métalliques polluent la carte magnétique : piquets, grillages, débris au sol. A l'ouest ils proviennent du dépotoir qui recouvre une partie de la parcelle communale à l'époque de la prospection. A l'est ils sont concentrés dans les pierriers.

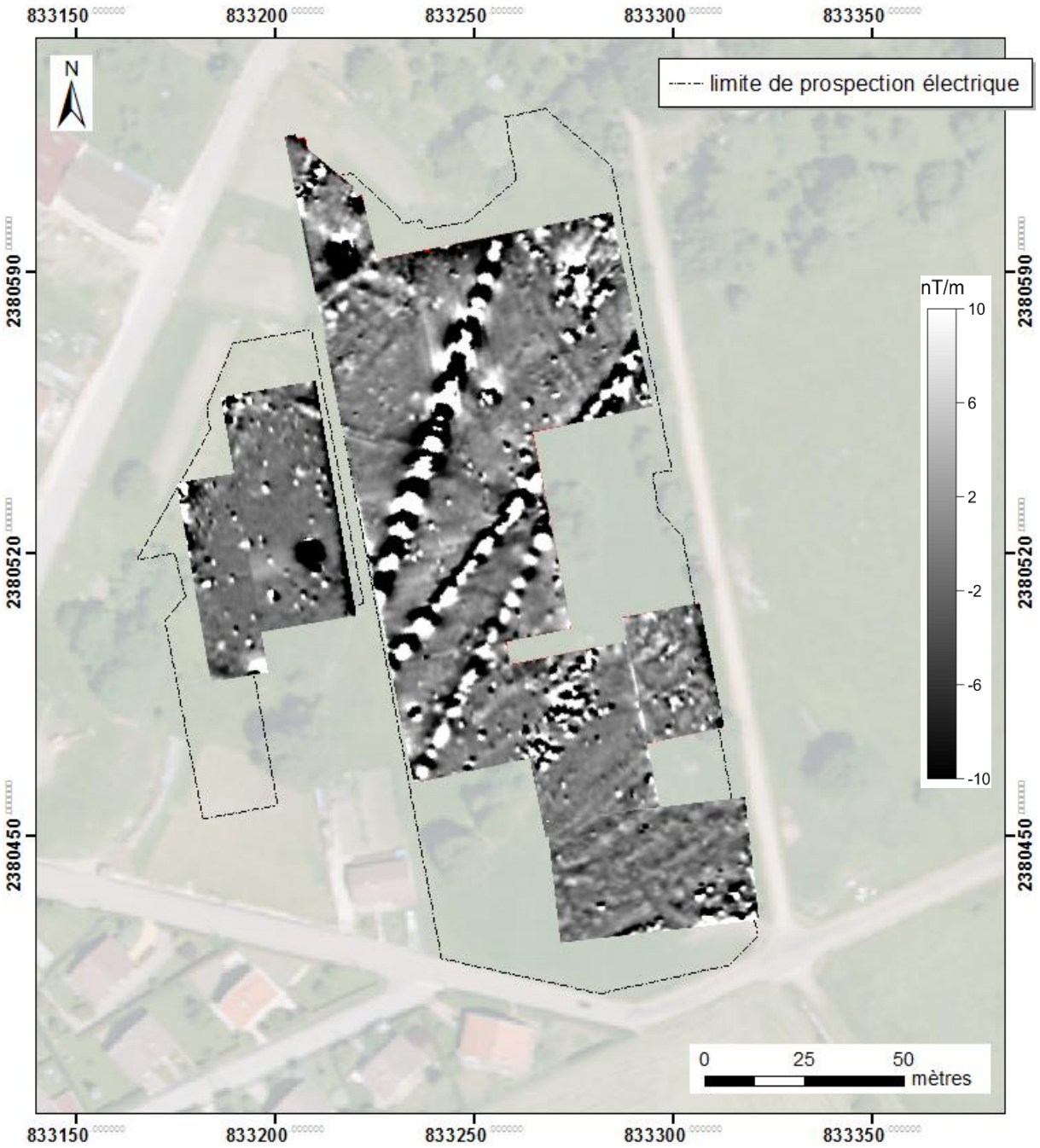


Figure 134. Carte de gradient vertical du champ magnétique total. Secteur du Pré Laguerre.

Plusieurs bâtiments au plan très clair sont mis en évidence sur les cartes de résistivité électrique (Figure 135). Le contraste entre les structures bâties et l'encaissant est amélioré grâce à la nature argileuse du vallon. On les retrouve également sur la carte magnétique. La carte illustrant les interprétations proposée est donnée en Figure 136.

A l'ouest, la dénivellation est associée à une anomalie linéaire résistante (**5**) qui marque une brisure en suivant le relief. Le terrain surélevé au NO de la parcelle *9*, aussi conducteur que le fond de la dépression, permet de déterminer la largeur du résistant (2 à 5 m) qu'on aurait pu attribuer sans cela à un effet de relief. Le segment se poursuit dans l'angle NE après l'interruption créée par l'avancée de la butte, aux pentes trop raides pour être prospectées. Les hypothèses relatives au tracé du rempart semblent se vérifier avec l'existence de cette structure résistante (mur épais).

Deux bâtiments (**6**) et (**7**) sont accolés à cette anomalie résistante. Les espaces intérieurs, les murs, les sols pavés (de cave par exemple) sont parfaitement distincts. Entre les deux bâtiments, prennent place deux murs parallèles espacés de 7 m et une anomalie résistante **(8**) qui descend dans le fond du vallon. Dans la parcelle *9*, deux segments résistants perpendiculaires s'y branchent. Ils sont très nets sur la carte magnétique (anomalies magnétiques). Il peut s'agir d'une voie, d'un conduit, d'un drain. De petites anomalies ponctuelles magnétiques (**9**), angles d'un carré de 3,5 m de côté, existent entre cette structure **(8**), la canalisation **(1)** et le bâtiment (**7**), et révèlent un matériau plus magnétique (fosses ?).

Au SO, plusieurs anomalies (**10**) linéaires organisées ont été détectées au niveau de la terrasse. Le diagnostic INRAP réalisé en 2010 puis la fouille entreprise au cours de l'été 2011 ont permis le dégagement de structures gallo-romaines appartenant à une *villa*, en parfaite concordance avec les anomalies géophysiques cartographiées. Le relevé des structures n'a pu être inséré dans ce mémoire pour des raisons de délais. La bonne corrélation entre anomalies et vestiges a été observée lors de la visite de chantier et établie ici sur la foi des commentaires du responsable M. Gazenbeek. L'origine antique du bâtiment (**6**) qui se trouve en partie inclus dans l'emprise de la fouille a été vérifiée (murs, cave). La petite anomalie ponctuelle résistante (**11**) située à 3 m du mur sud correspond à un puisard.

A l'est (parcelle *9*), le sous-sol renferme des structures bâties sur presque la totalité la parcelle, visibles sur les cartes de prospection, à l'exception d'une zone en fond de vallon (**12**). Celle-ci se situe sur le passage de l'écoulement provenant de la galerie de la Fontainotte : le ruisseau se perd en une mare diffuse dans la moitié ouest du pré. Dans la moitié est, de nombreux alignements résistants et amagnétiques sont des reliquats de murs, pour certains modernes (voir parcellaire 1887). Des anomalies linéaires dont l'orientation diffère des murs récents sont décelées. Trois murs délimitent, par exemple, au milieu du vallon, une structure carrée (**13**) qui respecte l'orientation du bâtiment (**7**) et du « rempart ». Dans cette même disposition apparaissent des espaces géométriques définis par des anomalies linéaires prononcées (mur ou fossé/tranchée de fondation) ou par des zones conductrices/résistantes (empreinte/masses de bâtiments dont l'état de conservation est moins

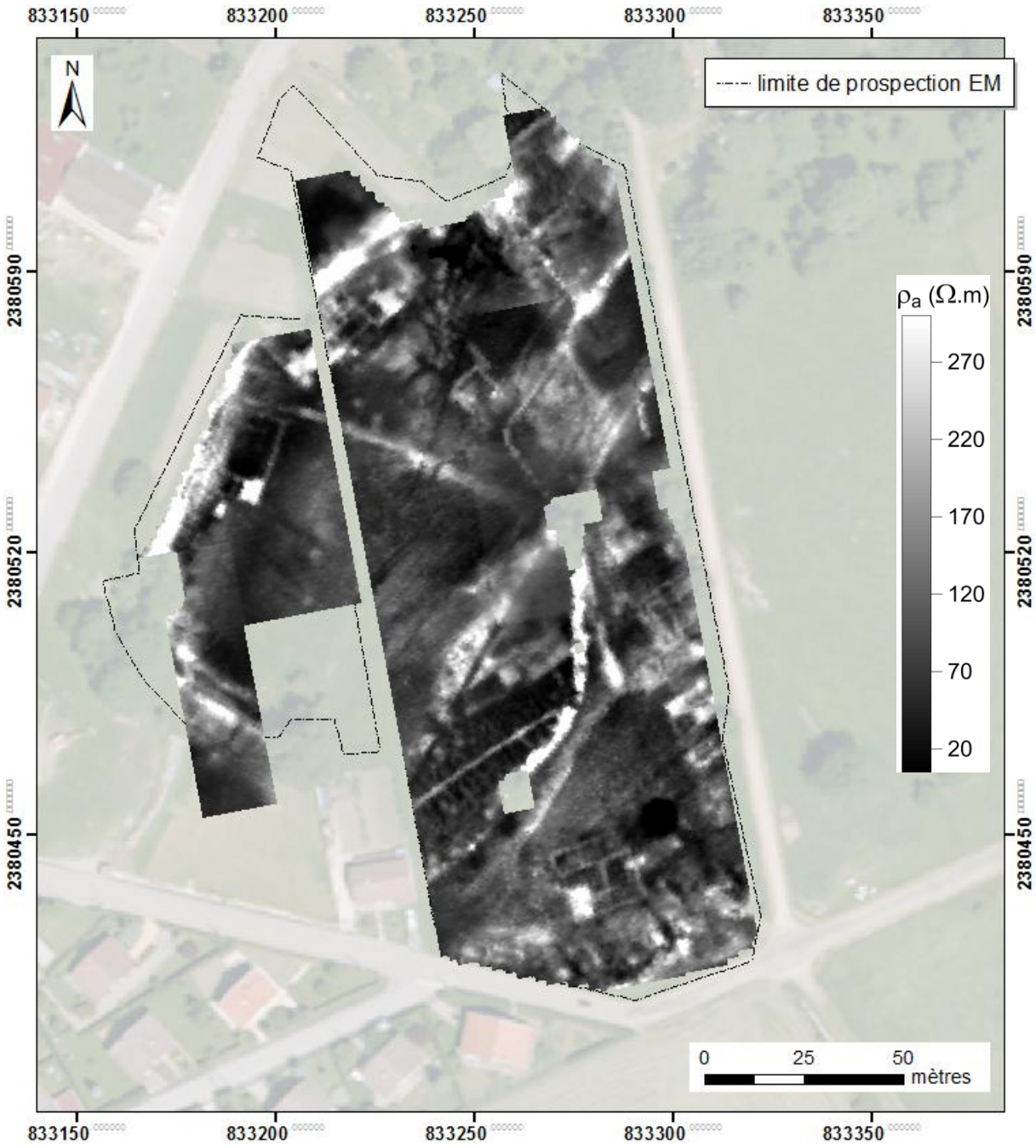


Figure 135. Carte de résistivité électrique apparente (pôle-pôle, écartement 50 cm) du secteur du Pré Laguerre.

bon). La direction générale de ces structures (axe NO-SE) présente un léger décalage par rapport à celle du bâtiment (**7**). Une zone construite apparait en bordure est de la parcelle depuis l'angle NE. De petits modules conducteurs (pièces) et des anomalies résistantes (murs et sols conservés) montrent une organisation de l'espace bien structurée. Ces constructions se situent dans les environs du puits dit 77 « aux tablettes zodiacales » qui participe sans aucun doute de cet ensemble.

A l'ouest, une anomalie résistante (**14**) longue de 46 m obéit à la même orientation. Elle s'inscrit dans une bande de sol conductrice large d'une quinzaine de mètres compartimentée par des anomalies résistantes ténues, perpendiculaires. Cette zone est délimitée au nord par

d'autres figures rectangulaires. La nature de cet ensemble, incontestablement anthropique, n'est pas évidente. Il peut s'agir des restes d'aménagement rassemblant des éléments maçonnés et peut-être des éléments en matériaux périssables (structures légères).

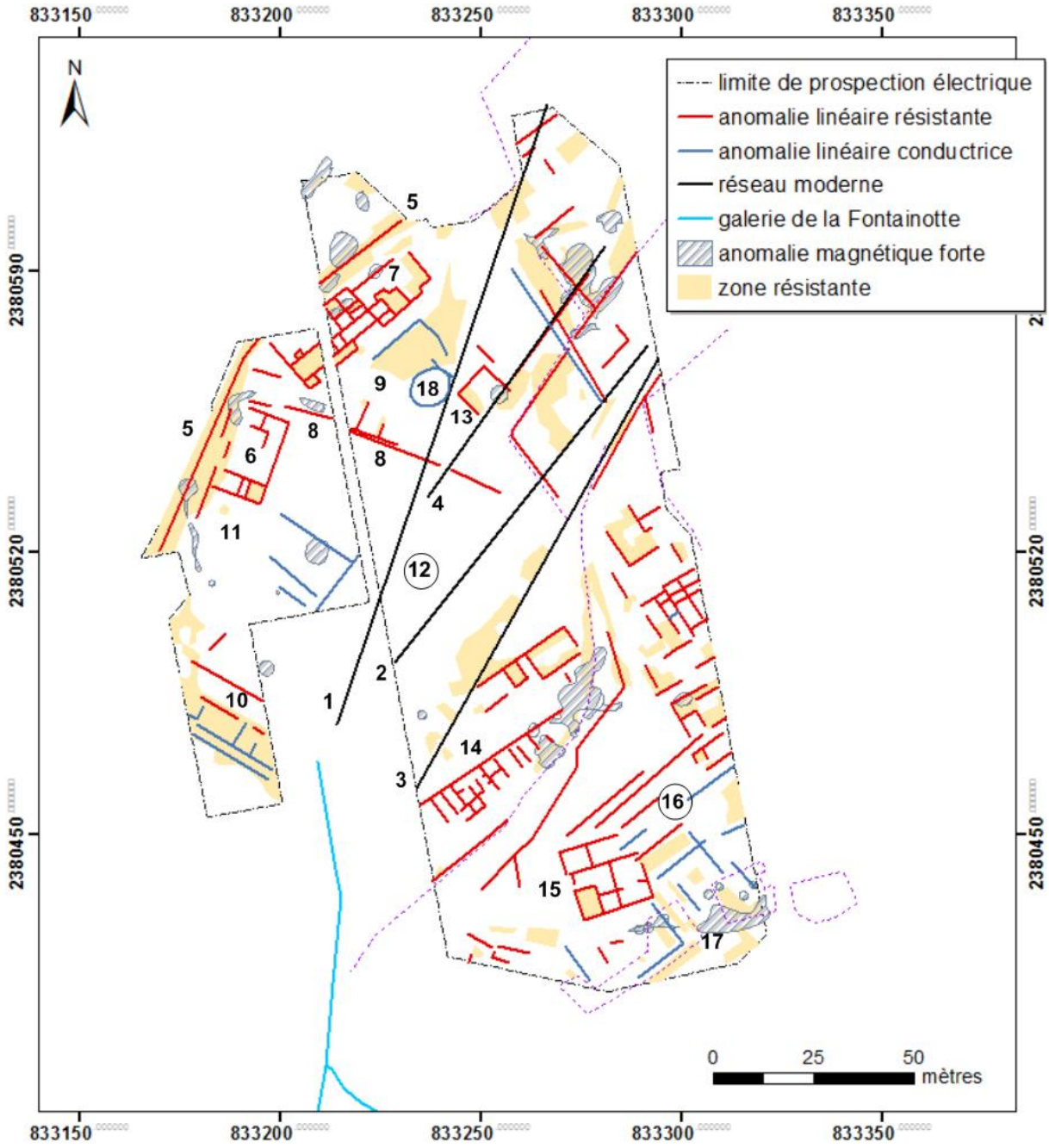
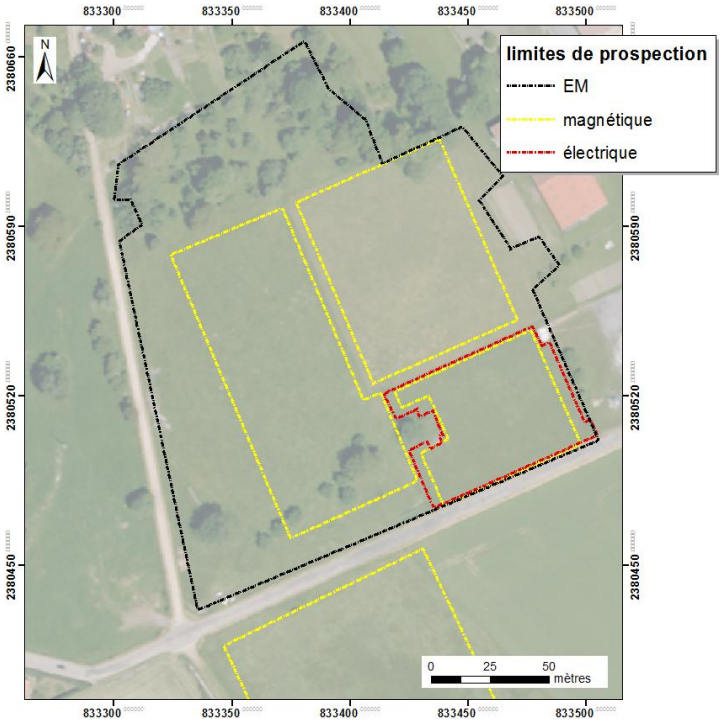


Figure 136. Carte des anomalies interprétées du secteur du Pré Laguerre.

Au sud, un bâtiment (**15**) occupe un espace de 20 x 18 m^2 fragmenté par plusieurs murs conservés. La disposition ne respecte pas les orientations des autres structures bâties. A noter : un tas de fumier est responsable de la baisse des résistivités et de l'anomalie circulaire (**16**), située à 5 m du bâtiment. Dans les environs, le réseau parcellaire est visible. Malgré ces sillons et un noyau résistant (**17**) dans l'angle SE à l'endroit du pierrier, des traces

conductrices et magnétiques (structures en creux) se dessinent. Elles sont liées à des drains fonctionnant avec le parcellaire ou à une zone bâtie.
D'autres traces conductrices sont présentes (exemple (**18**) à 15 m du bâtiment (**7**)) et peuvent indiquer l'emplacement de tranchées anciennes, de zones fossoyées, de drains, d'enclos.

▪ *Champée-Marguerite*



Les prospections EM et magnétique ont été réalisées entre décembre 2008 et mars 2009, la prospection électrique en mai 2010. Le secteur est partagé en deux propriétés. En réaction contre les décisions prises par la municipalité (concernant la candidature de la commune à un éventuel lieu de stockage de déchets FAVL entre 50 et 100 m de profondeur sur son territoire) le propriétaire des parcelles *49* et *32b* a empêché la poursuite de la prospection. Seules les parcelles *29-30* ont donc pu faire l'objet d'une prospection électrique.

Figure 137. Localisation des surfaces prospectées au lieu-dit Champée-Marguerite.

➢ EM31

La carte de conductivité électrique apparente (Figure 138) met en évidence trois ensembles de valeurs. Une première zone, résistante, se situe à l'est (sur la moitié de la parcelle *29-30* avec une amorce dans la parcelle *49*) et dans la partie basse du secteur, occupée par un verger. Une deuxième zone, conductrice, s'inscrit dans la continuité de la zone qui s'étend à l'ouest du chemin du Pré Laguerre. La configuration du terrain et les variations de résistivité à l'échelle de la commune permettent de rattacher ces deux ensembles à un niveau marneux développé à l'ouest et à l'affleurement du substrat calcaire à l'est. Le décaissement de la parcelle au nord et la disparition du niveau conducteur sont sans doute responsables des faibles valeurs mesurées.
Enfin, un troisième ensemble est constitué par des amas résistants, désignés par des lettres sur la figure 138. Ils indiquent l'emplacement de pierriers ou de masses bâties dans le milieu conducteur. La plupart se traduit par des anomalies de relief (Figure 139) : c'est le cas des anomalies **b-c-d-f-h**. L'anomalie **j** indique le passage de la canalisation détectée dans la parcelle *9* et qui se dirige vers la station d'épuration.

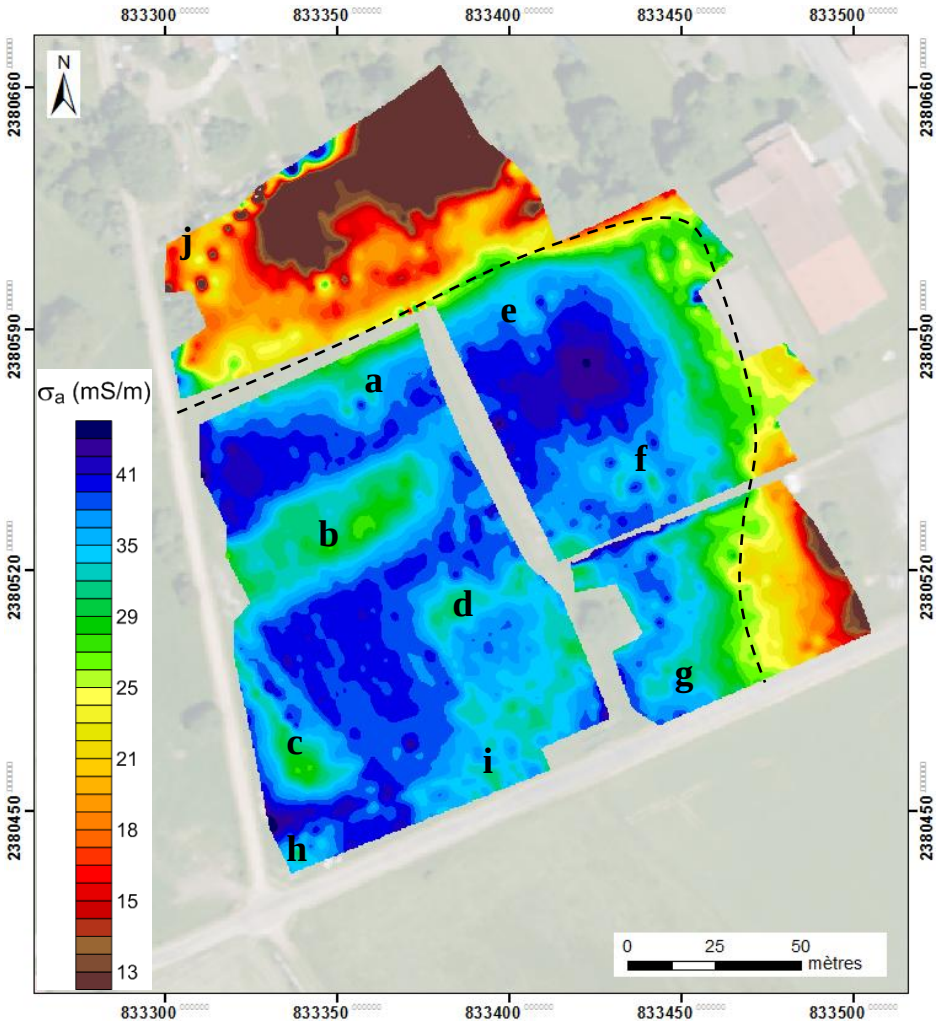


Figure 138. Carte de conductivité électrique apparente (EM31) au lieu-dit Champée-Marguerite.

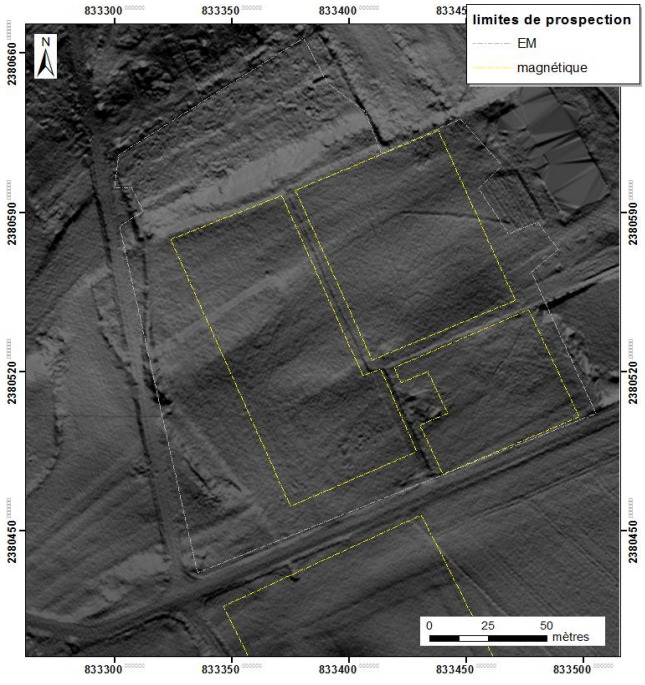


Figure 139. Image LiDAR (éclairage 30 m/0°) du secteur Champée-Marguerite.

➢ Prospection magnétique

La lecture de la carte de gradient magnétique (Figure 140) est rendue difficile par le contraste très faible entre les vestiges et le terrain encaissant. Des zones plus contrastées peuvent cependant être associées à des zones de bâti et des alignements très ténus apparaissent par endroits.

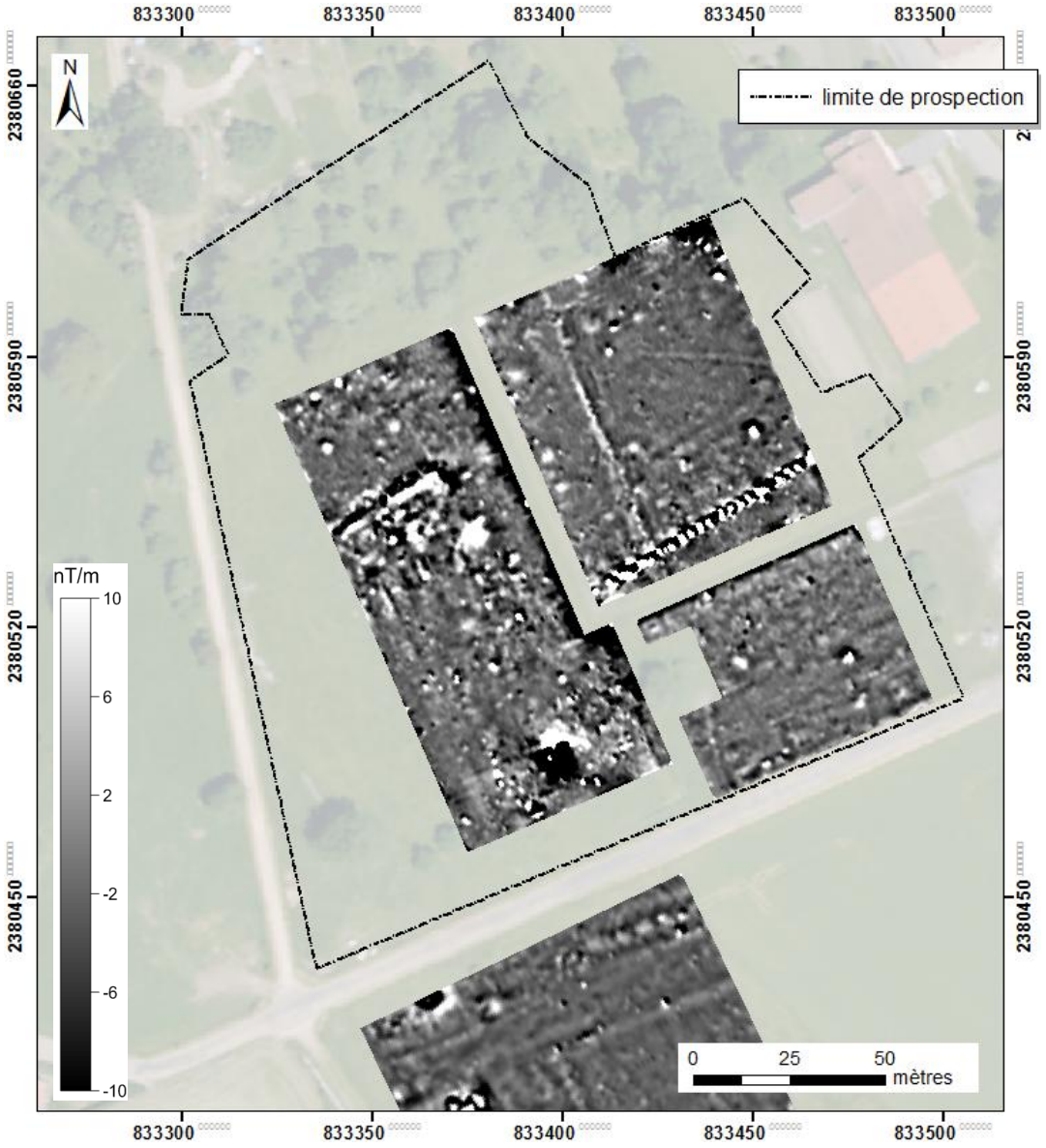


Figure 140. Carte de gradient vertical du champ magnétique total du secteur Champée-Marguerite.

Les restes de la « *villa* Duvaux » se situent ainsi dans une zone contrastée où se devine une certaine organisation des anomalies. Plus nette, une anomalie rectiligne, orientée NNO-SSE, traverse cette zone et la largeur de la parcelle sur 75 m. Etant parallèle à la clôture qui partage le terrain en plusieurs pâturages, cette anomalie peut être la trace d'un parcellaire ancien. Il est possible qu'elle constitue la délimitation du domaine de la « *villa* ». L'hypothèse d'un drain antique est également envisageable car la structure se dirige au sud vers le bosquet, supposé abriter les vestiges d'une citerne romaine (renseignement oral). Dans la parcelle *29-30*, des anomalies linéaires, d'orientation semblable, lui sont peut-être rattachées et pourraient mettre en relation la citerne et la *villa*. L'orientation et le prolongement possible de la structure au sud et au nord, bien que peu lisible, pourrait accréditer l'existence d'un aqueduc desservant le bâtiment antique de la rue de Liffol, en provenance de Bréchainville (*cf* chapitre 3). Un point d'embranchement semble exister au nord avec un retour à angle droit vers l'est. La position

de la zone résistante **(e)** et la présence d'anomalies ponctuelles magnétiques plus fortes sont les indices d'un remaniement du terrain voire d'une occupation ancienne.

On remarquera d'autre part une anomalie magnétique longue de 35 m, orientée O-E, qui se traduit par un creux sur l'image LiDAR. Une autre anomalie rectiligne recoupe le secteur de la « *villa* Duvaux ». Elle suit l'ancien parcellaire et les valeurs enregistrées sont élevées : elle est causée par des éléments métalliques d'origine moderne.

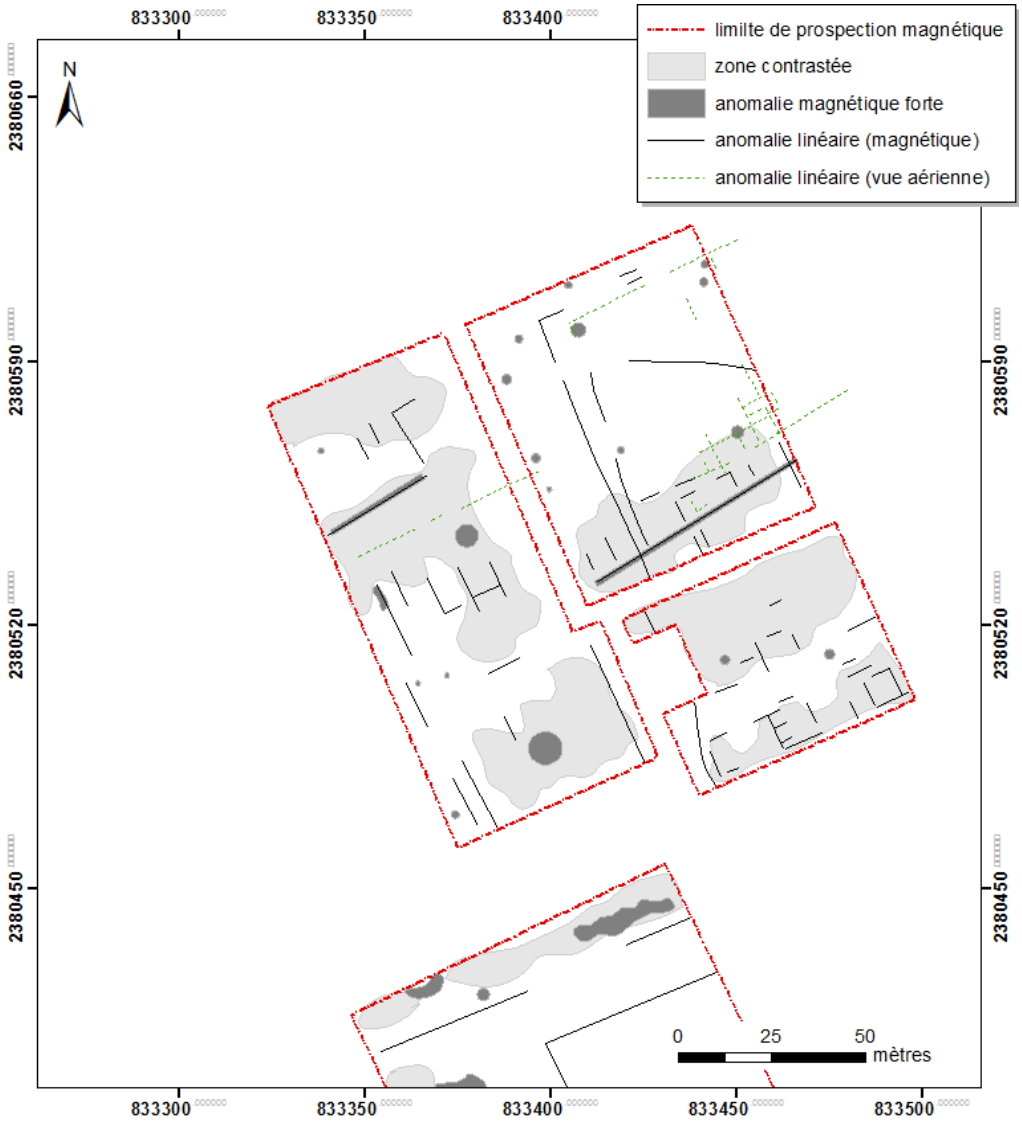


Figure 141. Carte interprétée des anomalies détectées en prospection magnétique dans le secteur de Champée-Marguerite.

Au sud, une bande homogène se détache dans la parcelle *29-30*, entre deux zones plus contrastées. Des modules rectangulaires, qui obéissent aux directions du parcellaire et de la route actuelle, sont perceptibles. Une anomalie ponctuelle forte, au centre du terrain, marque l'emplacement d'un ancien pylône électrique.

A l'ouest, une anomalie linéaire très forte se développe sur la longueur du pierrier actuel. Elle est parallèle à un mur ancien, figuré sur le cadastre napoléonien, et correspond probablement à une accumulation de déchets le long de ce mur.

Enfin, de nombreuses anomalies ponctuelles, situées pour la plupart dans la moitié nord, méritent attention : elles sont créées par des matériaux magnétiques et peuvent, d'après les valeurs du signal magnétique, correspondre à des fosses ou à des éléments chauffés. D'autres, beaucoup plus fortes, résultent de la présence d'objets métalliques (débris au sol, grillage protégeant les arbres). L'une se situe au niveau du « puits romain » (tampon métallique ?).

- Prospection électrique

L'agencement organisé des anomalies magnétiques se trouve confirmé par la cartographie électrique de la parcelle *29-30* : un ensemble de constructions réparties autour d'une aire de circulation est mis en évidence sur les trois profondeurs investiguées (Figure 142).



Figure 142. Carte de résistivité électrique apparente (pôle-pôle, écartement 1 m) obtenue sur les parcelles *29* et *30* (secteur Champée-Marguerite).

Deux directions orthogonales structurent le secteur. Une bande résistante large de 5 m coïncide avec l'espace homogène détecté en prospection magnétique. Bordée d'anomalies conductrices parallèles, elle correspond à une voie et à ses fossés, et sépare deux rangées de bâtiments dont les espaces intérieurs sont relativement bien délimités.
La rangée sud semble partiellement couverte par la route et se poursuit vraisemblablement en dehors de la zone prospectée. A l'est, des vestiges antiques, dont un puits, ont par ailleurs été mis au jour lors de la construction de l'usine Kayser.
Dans le quart NO de la parcelle, les restes de murs enfouis se distinguent très clairement. Leur direction est identique à celle des segments détectés dans la parcelle *49* au niveau de la « *villa* ». Il ne fait aucun doute que ces vestiges de constructions appartiennent au même ensemble.

A l'ouest, la forme et la disposition de la masse résistante **(d)** s'accordent également avec l'orientation des éléments cartographiés dans la parcelle *29-30*. On peut supposer qu'elle renferme des structures bâties contemporaines de l'îlot, qui en constituent le prolongement occidental.
Toutefois, l'orientation du parcellaire actuel étant identique aux directions principales mises en évidence, certaines structures linéaires cartographiées dans la parcelle *49* peuvent être d'époque moderne.

Le schéma de restitution de l'ensemble des anomalies mentionnées est présenté en Figure 143.

- *Hardrat*

Seule une prospection magnétique a pu être réalisée au sud de la route et ne permet pas d'identifier aisément les structures enfouies à cet endroit. La parcelle se compose d'un terrain mis en culture à l'est et d'une partie laissée en prairie à l'ouest. La zone prospectée se situe dans la partie non cultivée mais empiète légèrement sur le champ. La limite n'apparaissant pas sur la carte (Figure 144), on constate que les labours actuels n'ont pas d'influence importante sur les valeurs enregistrées.

Le découpage en lanières du parcellaire ancien est visible sur l'ensemble du secteur sous la forme de linéaments magnétiques parallèles (billons).
Un ensemble d'anomalies ponctuelles très fortes s'étend sur 70 m de long par 12 m de large. Elles sont regroupées autour de l'ancien sentier de Bréchainville (cadastre 1887) qui aboutit à l'extrémité sud de cette zone très magnétique. Il s'agit probablement d'une zone dépotoir. Une dépression topographique ovale, cerclée de jaune sur la Figure 144 et bien visible sur la Figure 145, s'inscrit immédiatement à l'est. Des anomalies rectilignes y sont détectées. Elles sont alignées sur le parcellaire : la direction NO-SE se retrouve dans celles de la haie d'arbres et de l'ancien sentier, et les directions transverses suivent les limites cadastrales anciennes.

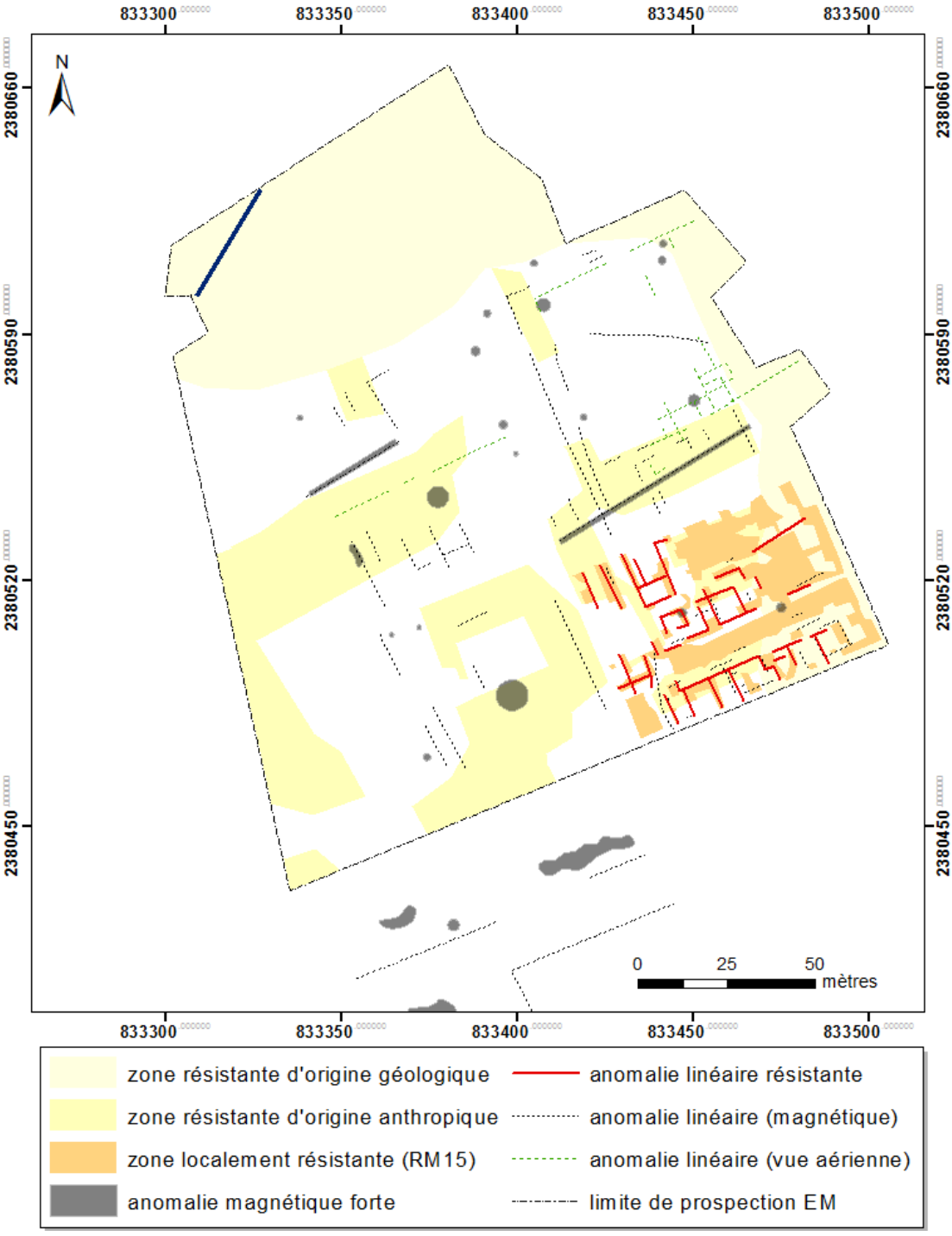


Figure 143. Interprétation des données de prospection électrique, magnétique et EM obtenues dans les parcelles du secteur Champée-Marguerite.

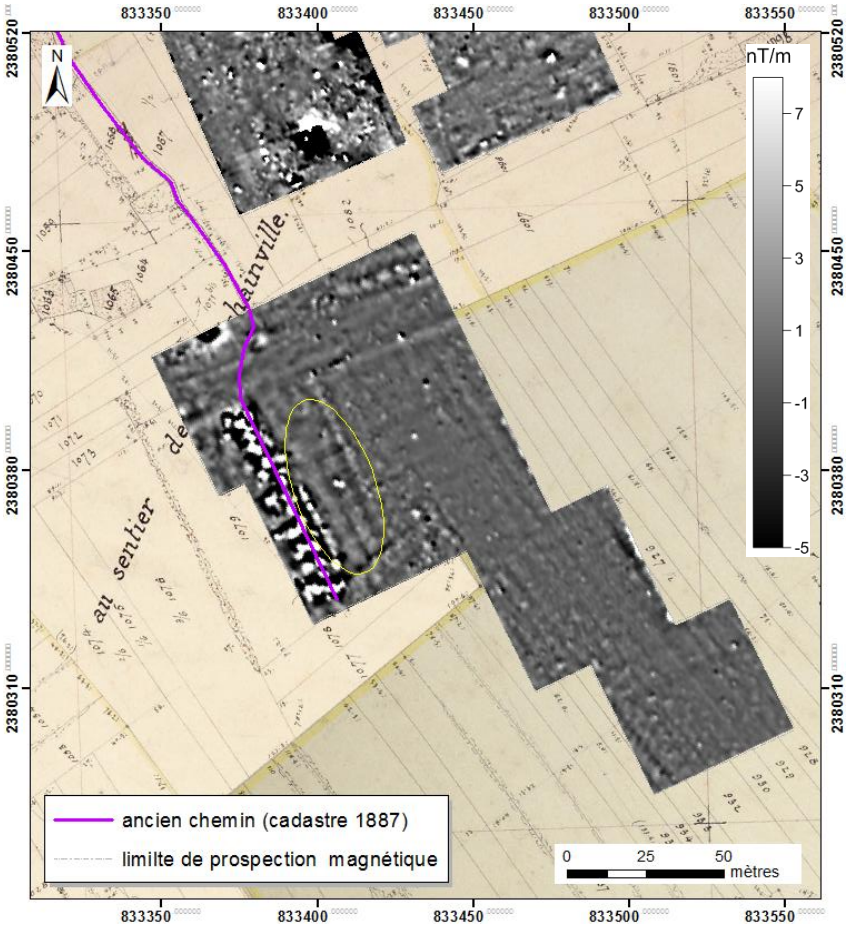


Figure 144. Carte de gradient du champ magnétique total du terrain situé au sud du chemin circulaire (secteur Hardrat), superposée au cadastre de 1887 géoréférencé (feuilles C7 et C8).

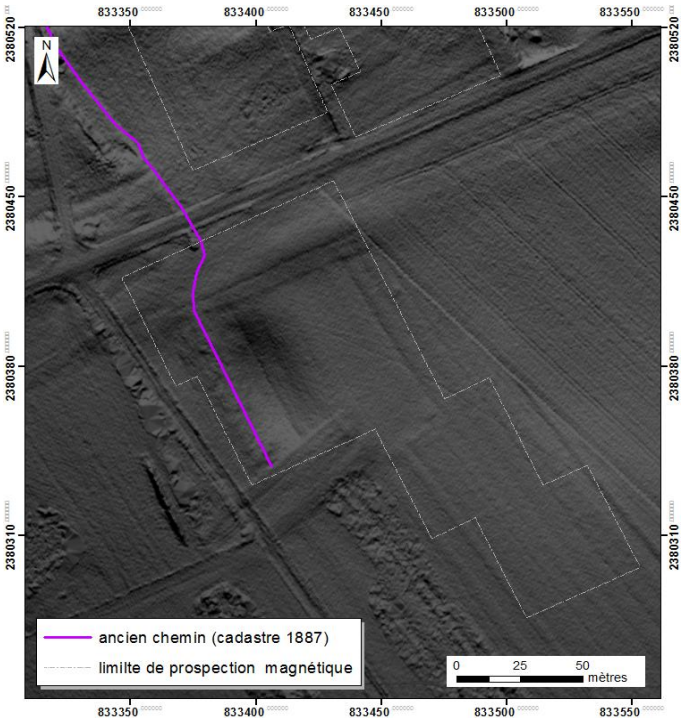


Figure 145. Image LiDAR du secteur de prospection Hardrat (éclairage 30 m/0°).

En bordure de route, un changement d'orientation du parcellaire s'effectue. La proximité des structures antiques dégagées dans les terrains situés au nord de la route laisse présager la présence de vestiges au-delà du « pomerium ». Dans les années 1970-1980 un sondage a révélé un puits romain (Bertaux 1981) qui n'est pas localisé. D'autres sondages ont porté sur des « dépressions » qui se sont avéré « naturelles ». Un alignement de dipôles magnétiques peut être mis en

relation avec les vestiges détectés dans la parcelle *29-30*, à moins de 30 m de distance. La nature de ces éléments n'est pas déterminée. Il peut s'agir de traces de remaniement récent ou de vestiges d'aménagement antique.
De nouvelles données (sondage archéologique, prospection électrique…) éclaireraient la lecture de la carte magnétique et aideraient à identifier l'origine des anomalies cartographiées.

- *Bilan*

L'étude de ce secteur met en évidence l'existence d'une zone d'habitat s'étendant au-delà du talweg Sud. De nombreux vestiges gallo-romains ont été découverts dans ce secteur au cours de sondages anciens et de la fouille récente du terrain communal. Leur présence permet de supposer qu'une partie des anomalies géophysiques cartographiées se rattache à des aménagements antiques.

Au NO, la détection d'un mur très épais semble confirmer le tracé de la section SO du rempart. Une *villa* romaine a été élevée en travers du vallon. La fouille a permis de mettre au jour le bâtiment principal, partiellement reconnu sur les cartes électriques, et ses dépendances. Cet habitat dispose d'un petit bassin et d'un système de drains qui évite l'affouillement des fondations. Un jardin se développe au nord. Deux autres bâtiments sont adossés à la muraille sur la pente du vallon. L'un a été sondé au cours de la fouille et date de l'époque antique. Le plan du second, repéré sur les photographies aériennes, est à présent fourni avec une grande lisibilité par les données géophysiques.

Sur la parcelle *9*, les structures sont organisées selon deux directions conjuguées, dont l'une reprend celle du rempart. Elles se prolongent à l'est du chemin du Pré Laguerre. Le puits aux tablettes zodiacales, bien que mal localisé sur le chemin, se situe à l'intérieur de cet ensemble. Cette disposition générale associe donc la muraille, le bâtiment (**7**), la majorité des segments détectés et le puits romain.

Un deuxième axe apparait à l'est. Il est donné par la voie mise en évidence dans la parcelle *29-30*. Le bâtiment (**15**) situé dans la parcelle *9*, les structures plus ou moins nettes de la parcelle *49*, les constructions de la parcelle *29-30* et certaines anomalies cartographiées dans la parcelle *32* obéissent à cette nouvelle direction.

Une troisième direction existe à l'ouest. Une voie antique, dégagée dans l'angle SE de la parcelle communale au cours de la fouille, semble suivre un tracé parallèle[17] à la route goudronnée. Perpendiculaire au rempart, cet axe rassemble le corps de bâtiment de la *villa* et les segments repérés à l'angle SO de la parcelle *9*.

[17] Le rapport d'opération n'étant pas encore disponible, cette observation a été faite lors de la visite du chantier en octobre 2011 ; elle demande à être vérifiée avec le relevé topographique des structures.

Ainsi trois axes majeurs appuyés au rempart structurent l'ensemble du secteur. Il est probable qu'une ou plusieurs portes s'ouvrent sur la section sud du rempart pour faire communiquer l'espace intérieur et la zone d'habitat. L'accès par la porte orientale, porte reconnue la plus proche, obligerait à un détour important.
Avec la découverte de deux fragments de voies décalés de quelques mètres de la voie actuelle (fouillé dans la parcelle communale et détecté dans la propriété Kayser), l'hypothèse d'un chemin périphérique antique pourrait se vérifier.

La « *villa* Duvaux » n'a pas été clairement localisée. Le redressement approximatif des photographies aériennes, le relevé incomplet des murs donné par M. Duvaux et les résultats de la prospection magnétique se révèlent insuffisants.

Les limites de cet habitat développé au sud du site n'ont pu être déterminées. Les sondages de 1969 ont montré des traces d'occupation dans le secteur du lotissement du Moulinet. La restitution de J.-C. Golvin figure deux ensembles de constructions à l'extérieur du « pomerium ». Ces éléments n'ont pas été identifiés. L'un semble se positionner dans la parcelle *32* et pourrait être rattaché aux anomalies magnétiques décelées. Le second est représenté dans le champ cultivé, par conséquent en-dehors de la surface prospectée. Par ailleurs des vestiges bâtis peuvent être suspectés d'après la disposition géométrique des haies. Toutefois, la prospection géophysique des parcelles situées au sud du chemin de ceinture n'a pu être menée à bien en raison de refus d'accès aux terrains.

Enfin, il apparait que la connexion, établie par traçage des eaux entre la Fontainotte et les abords de l'église en 1973, est réalisée par le biais d'une canalisation en fonte. Le segment figuré sur les plans du réseau de galeries établis par J.-P. Bertaux se superpose en effet à la structure métallique détectée en prospection. Cette conduite a vraisemblablement été posée lors des travaux municipaux effectués au 19ème siècle pour drainer les eaux de la Fontainotte vers les installations publiques de la place des Halles. D'autres conduites appartenant au réseau moderne sont mises en évidence.

II. 2. d. Zone Est

- *La Baronnie*

Le secteur prospecté s'étend entre l'amphithéâtre et la parcelle *805* qui fait actuellement l'objet d'une fouille programmée. Il se situe à l'extérieur du rempart, au sud de la voie orientale (Figure 146). L'enceinte et l'édifice de spectacle ayant mobilisé toute l'attention des chercheurs au cours du 20ème siècle, l'espace qui se développe entre eux deux a été peu étudié et la trame urbaine assez mal caractérisée. Il faut attendre les fouilles récentes pour voir se dessiner localement un agencement du bâti. A l'est, l'habitat qui borde la voie au nord de l'amphithéâtre a été reconnu à l'occasion des travaux d'aménagement de la billetterie en 1999 (Boulanger-Bouchet 2006) tandis qu'à l'ouest il se précise avec la fouille du terrain de l'ancienne usine Lejeune (Dechezleprêtre *et al.* 2010).

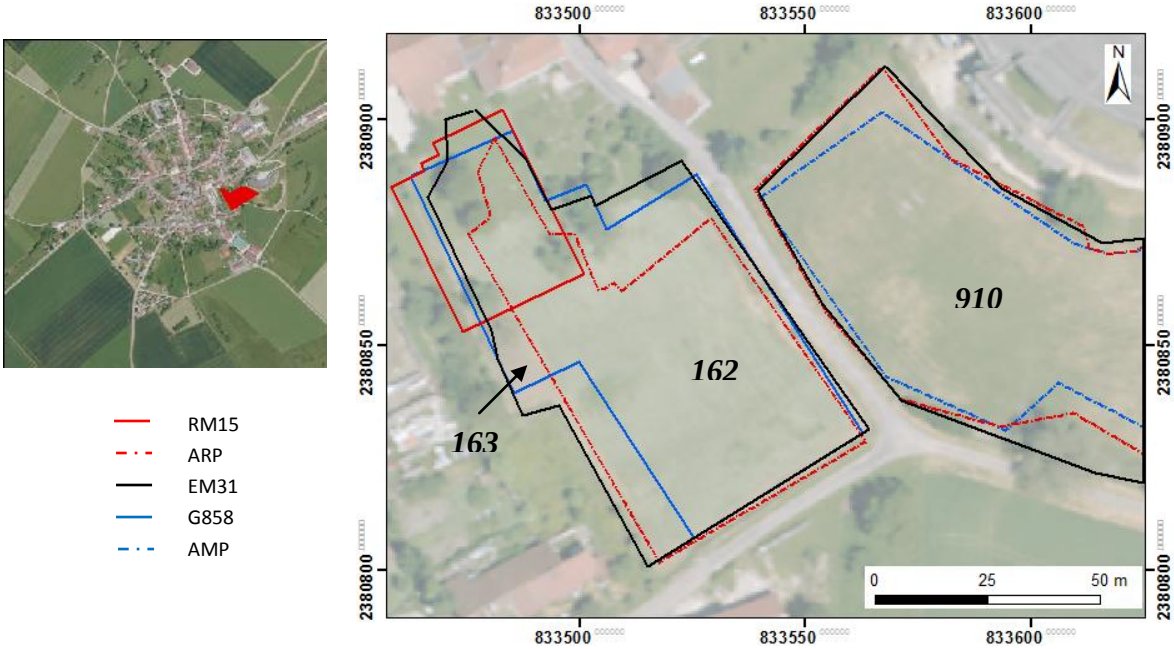


Figure 146. Localisation des prospections au lieu-dit La Baronnie

Au 19ème siècle, le propriétaire de la parcelle *162* entreprend des fouilles dans son jardin et dégage les restes d'un bâtiment romain qui est interprété comme un établissement de bains. Les vestiges ont semble-t-il été détruits après leur exhumation et les objets récupérés. Jollois relate la découverte en déplorant qu'aucun plan des structures ni inventaire n'aient été dressés. Il expose sommairement la nature des vestiges et des trouvailles à partir du journal du sieur Colin et indique l'emplacement de l'ensemble sur le plan de la ville (Jollois 1843). C'est la seule représentation cartographique de ces « thermes » qui nous soit parvenue (Figure 147). Le bâtiment est par la suite intégré dans l'aquarelle de Golvin.

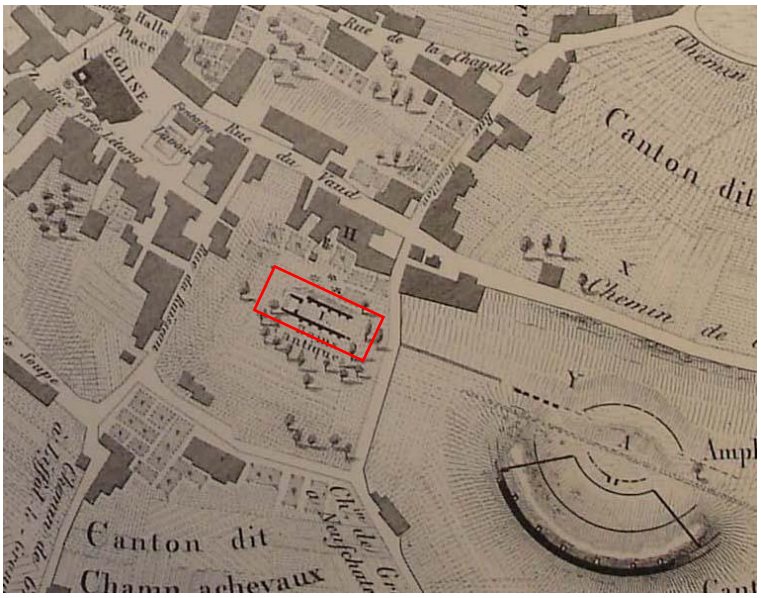


Figure 147. Vestiges des « thermes » découverts dans le jardin de La Baronnie au 19ème siècle. Plan du village dressé par Morlat (Jollois 1843).

Le lieu-dit La Baronnie se situe dans la partie basse du site, dans une zone qui a connu par le passé des écoulements de surface. Les habitants rapportent en effet qu'une mare temporaire se formait jadis à cet endroit en période de hautes eaux. Les plans anciens attestent également l'existence d'un écoulement partant de l'église et se perdant en amont de l'amphithéâtre (Figure 148). Le Gendre figure ainsi un « ruisseau » (Caylus 1764) dont le souvenir est conservé dans le nom de la rue qui longe le rempart. D'un point de vue topographique, le secteur s'inscrit exactement dans la combe La Roche qui rassemble en amont les deux vallons Nord et Sud sur la place des Halles. Ce talweg constitue le couloir naturel d'évacuation des eaux du site et est emprunté par le tout-à-l'égout moderne. Son cheminement est facilement identifié car il est ponctué de tampons métalliques qui en permettent l'accès. Il traverse la zone prospectée avant d'atteindre l'amphithéâtre où il reprend le tracé du collecteur antique à travers le grand corridor, en direction de la station d'épuration.

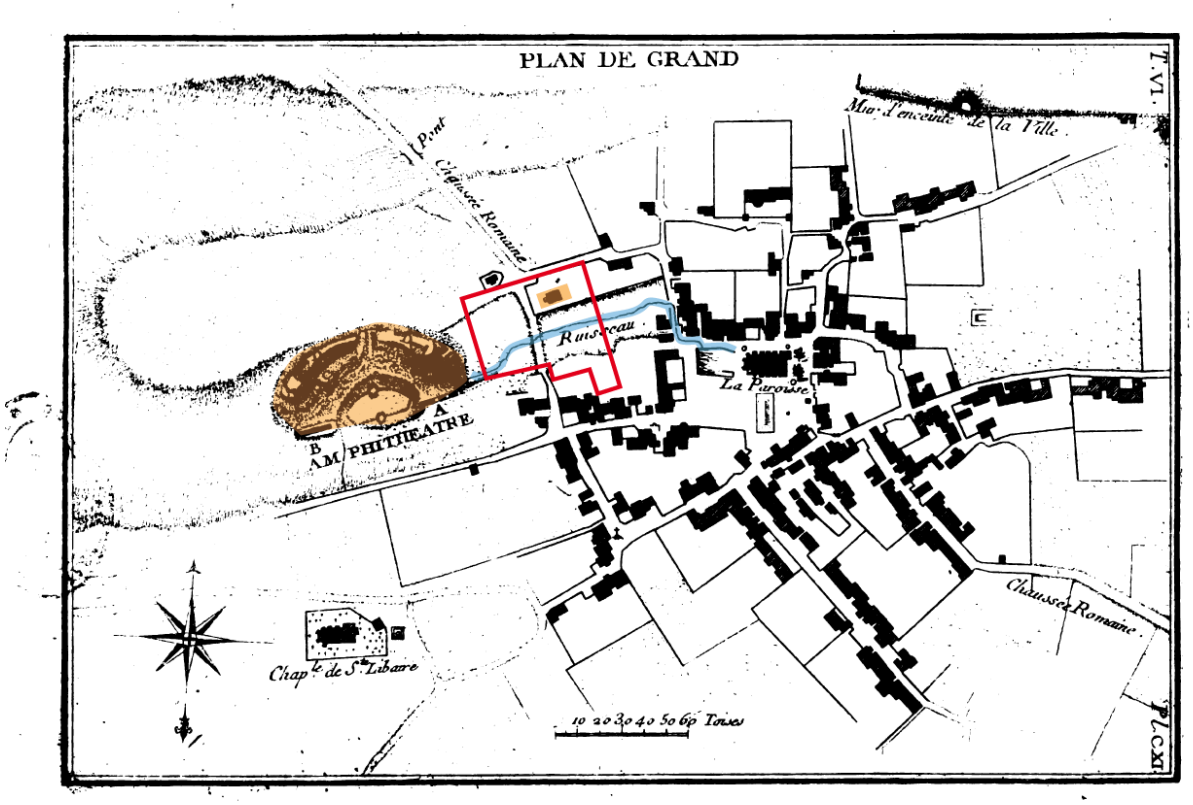


Figure 148. Ecoulement signalé entre la place des Halles et l'amphithéâtre sur le plan du village réalisé au 18ème siècle (d'après Caylus 1764). Le « ruisseau » est surligné en bleu, la zone d'étude est délimitée par un trait rouge. Les constructions décrites dans le texte sont colorées.

Le secteur se positionne donc sur le trajet des eaux entre le point supposé de convergence des galeries romaines et le point de rejet au-delà de l'amphithéâtre. L'inondation épisodique témoigne de la proximité de la nappe ou du moins d'un mauvais drainage qui conduit à un engorgement du réseau souterrain en période de fortes pluies. La pose du tout-à-l'égout et le dégagement des restes supposés d'un bassin de chute antique (Ch. Bertaux 1985) en 1963 explique sans doute l'assèchement de la mare : les eaux ont repris leur cheminement naturel perturbé par le comblement du cloaque antique. Les relations entre le système d'adduction

d'eau en amont de l'église et les éléments découverts en aval sont mal définies. Lors de l'étude du réseau hydraulique, le système d'évacuation des eaux a été laissé de côté. A l'issue des recherches EDF les publications concluent sur la disparition probable de l'eau sous le chœur de l'église. Le rôle du conduit ménagé dans la section est du rempart, de la *cloaca* découverte au cours des fouilles de l'arène, et du système de canaux qui raccordent nécessairement les « thermes » de La Baronnie au reste du réseau n'a pas été pris en compte.

La prospection géophysique du lieu-dit La Baronnie a donc été réalisée pour répondre au triple objectif de :

- localiser le bâtiment fouillé au 19ème siècle
- cartographier de possibles aménagements sur le versant sud du talweg
- détecter le passage de la *cloaca* et des conduits d'évacuation des eaux usées des « thermes »

- LiDAR (Figure 149)

La topographie générale du secteur s'organise autour du talweg La Roche. Les principaux reliefs et aménagements s'ordonnent selon l'axe SO-NE du vallon. L'habitat actuel se répartit de part et d'autre de la dépression centrale en deux rues parallèles séparées par des prés ou des jardins. L'occupation du versant nord, continue depuis la rue du Ruisseau jusqu'à l'amphithéâtre, n'est pas récente, ainsi que le montrent les cadastres anciens et les fouilles. Le versant sud connait une occupation moins dense qui s'interrompt de nos jours à l'angle SO de la zone prospectée.

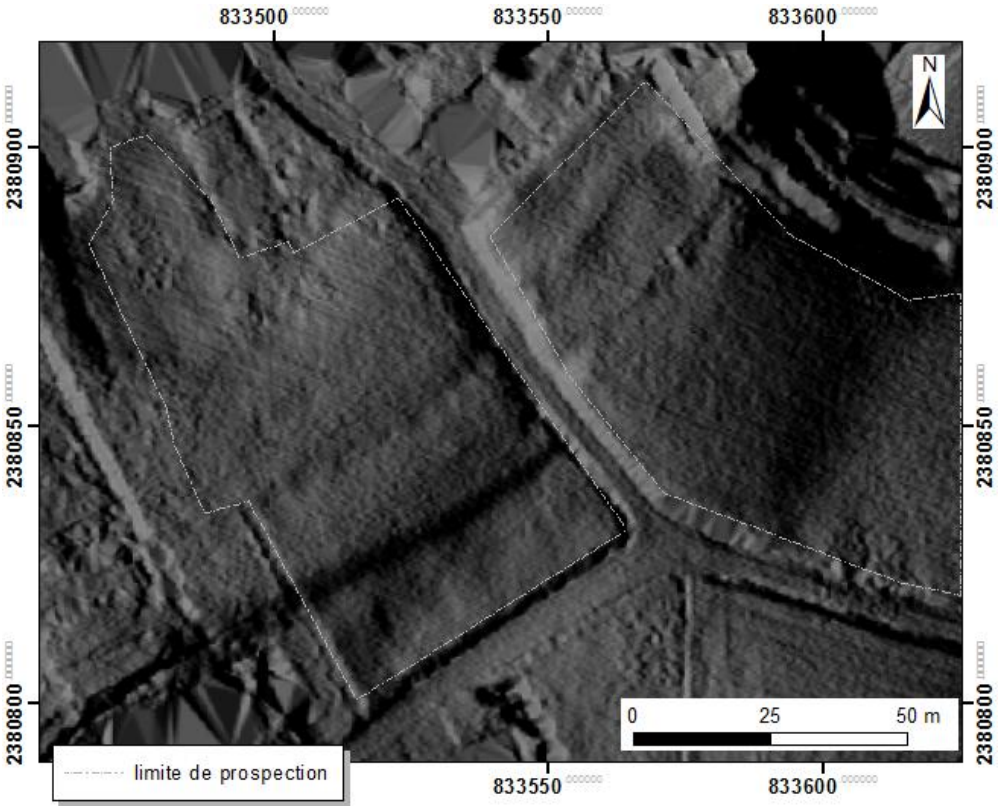


Figure 149. Microreliefs du secteur de la Baronnie. Image LiDAR (éclairage 30 m/ 80°).

Les profils des deux versants du vallon ne sont pas symétriques. Le versant nord présente une pente régulière, perturbée au NO par une surélévation du terrain. Cette bosse se situe à l'emplacement supposé du bâtiment découvert au 19ème siècle. Elle est délimitée par le décaissement du jardin à l'ouest (parcelle *163*) et par la clôture du potager de la parcelle *162*.
Le versant sud adopte une pente peu accentuée dans le pré *910* en arrière de l'amphithéâtre et une pente plus abrupte dans le pré *162*. Une terrasse large de 20 m, parallèle à la rue, prolonge l'alignement des maisons. Quelques légères anomalies du relief rappellent le découpage parcellaire visible sur le plan cadastral de 1810. Ce parcellaire a été modifié au cours du 19ème siècle pour ne former qu'une unique parcelle (cadastre 1887). La terrasse porte donc les traces d'un aménagement ancien du terrain.
L'égout qui traverse le secteur de part en part est clairement visible jusqu'au mur de soutènement qui protège le grand corridor. Deux tranchées profondément marquées dans le sol (parcelle *910*) dessinent une fourche dont l'embranchement se situerait au niveau de la route (rue du Houillon).

- Prospection magnétique

La parcelle *910* a été prospectée en septembre 2008 grâce au dispositif AMP développé par Geocarta. La parcelle *162* a été cartographiée en janvier 2009 à l'aide d'un G858.
Les cartes obtenues (Figure 150) mettent en évidence deux ensembles bien distincts. Le premier occupe le creux topographique et apparait comme une zone homogène peu contrastée A. Il est traversé par l'égout qui crée une anomalie linéaire nette associée à des anomalies ponctuelles fortes causées par les tampons métalliques. De part et d'autre, des linéaments plus ou moins continus, parallèles à l'égout, délimitent le fond du vallon. Le deuxième ensemble B se définit comme une zone plus contrastée dominant le talweg. Il comprend les reliefs au nord, la terrasse sud et la pente au SE de la parcelle *910*. De nombreuses anomalies ponctuelles parsèment le secteur ; certaines sont produites par des éléments métalliques (piquets régulièrement espacés, éléments erratiques disséminés dans l'herbe, etc.).
Au nord, malgré la réponse prédominante de la clôture grillagée et des pollutions de surface, il est possible de déceler des anomalies dont la disposition, difficile à saisir, semble pourtant présenter un agencement régulier. Elles pourraient refléter la présence de structures enfouies ou traduire un remaniement du terrain. La même remarque s'applique au terrain composant la terrasse sud. Certaines anomalies magnétiques pourraient par exemple être attribuées aux restes de fourneaux et aux briques cuites décrits par Jollois et qui semblent avoir été trouvés en abondance (Jollois 1843).
La partie centrale permet une lecture plus aisée des anomalies : une structure quadrangulaire, orientée dans l'axe du talweg (12x6 m^2) apparait à une dizaine de mètres de l'égout. Une anomalie linéaire peu magnétique, longue de 17 m, recoupe l'axe du vallon dans sa direction. Elle semble se prolonger par un segment de 5 m jusqu'à la structure rectangulaire. A l'est de la route, d'autres linéaments sont également visibles, en particulier l'anomalie (pointée par une flèche noire sur la carte) qui coïncide avec l'une des deux branches signalées sur l'image LiDAR.

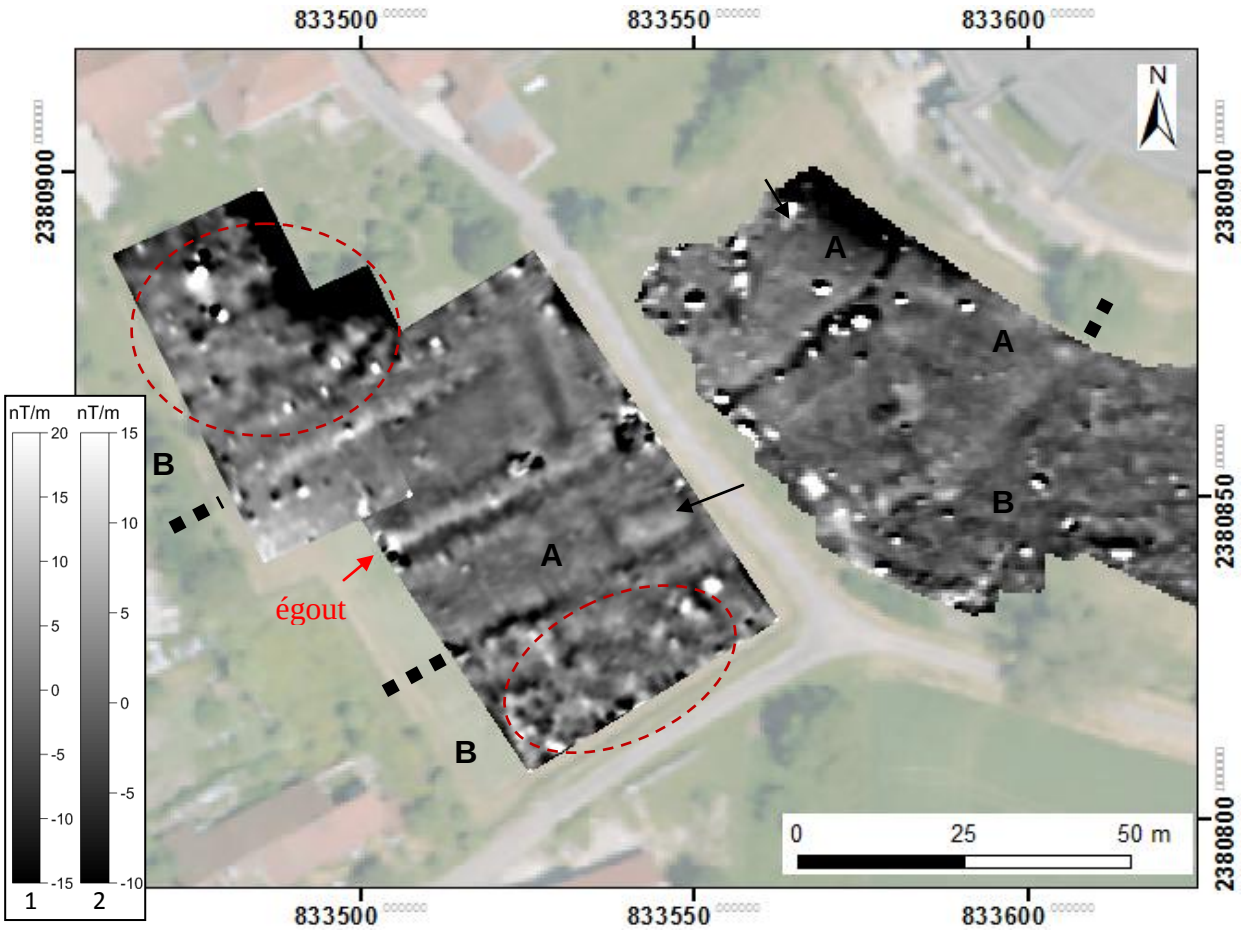


Figure 150. Carte de gradient magnétique vertical du secteur de La Baronnie. Parcelle *162* : prospection G858 – échelle 1. Parcelle *910* : prospection AMP par Geocarta - échelle 2. La zone A correspond au milieu homogène, la zone B au milieu plus contrasté.

➢ Prospection électrique

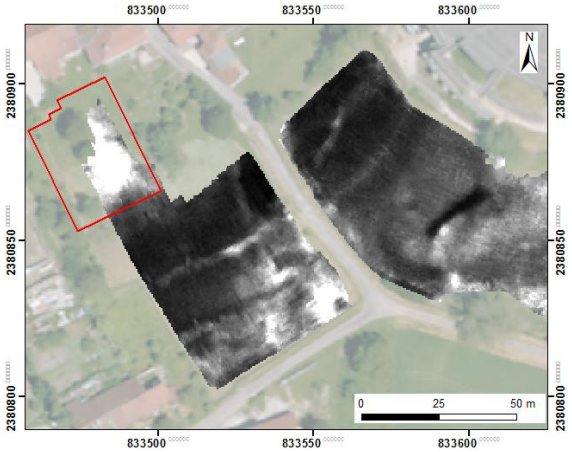
Les deux parcelles ont fait l'objet d'une prospection électrique en septembre 2008 avec le dispositif ARP. Les résultats obtenus sur la voie 2 sont présentés sur la Figure 151. Les ensembles déterminés à partir de la carte de gradient magnétique se retrouvent sur la carte de résistivité électrique apparente. Globalement les valeurs de résistivité, faibles en fond de vallon, augmentent sur les versants.

Le passage de la canalisation crée une anomalie linéaire résistante depuis le SO jusqu'à l'amphithéâtre. Le linéament peu magnétique qui la recoupe perpendiculairement dans la parcelle *162* se traduit également par une anomalie résistante. Il en va de même pour l'anomalie qui dédouble celle de l'égout dans la parcelle *910*.

Plusieurs anomalies conductrices sont également visibles. Parmi celles-ci, une structure oblongue très nette dans la parcelle *910* et la structure rectangulaire située à proximité de l'égout. Ses bords sont plus diffus que les limites reconnues en prospection magnétique.

La terrasse sud, très résistante, présente de nombreuses hétérogénéités. Si la bordure de la terrasse est clairement marquée là aussi, on observe dans la zone intermédiaire (comprise entre la canalisation et cette anomalie) une variation notable des résistivités : à l'est, dans les environs de la structure rectangulaire, la zone résistante mord sur le milieu conducteur.

Au nord, la butte apparait comme une zone localement très résistante. La qualité de l'image électrique se révèle insuffisante pour identifier les anomalies magnétiques détectées, d'autant que la prospection, gênée par la présence des arbres, n'a pu couvrir la totalité de la surface jusqu'aux bâtisses. Une nouvelle prospection a été réalisée en point par point avec le RM15 en décembre 2009 (Figure 151). Après élimination de la composante régionale, un double alignement d'anomalies conductrices est mis en évidence sur les 3 profondeurs. Elles forment un rectangle de 17 x 10 m^2 qui vient éclairer la lecture de la carte magnétique.



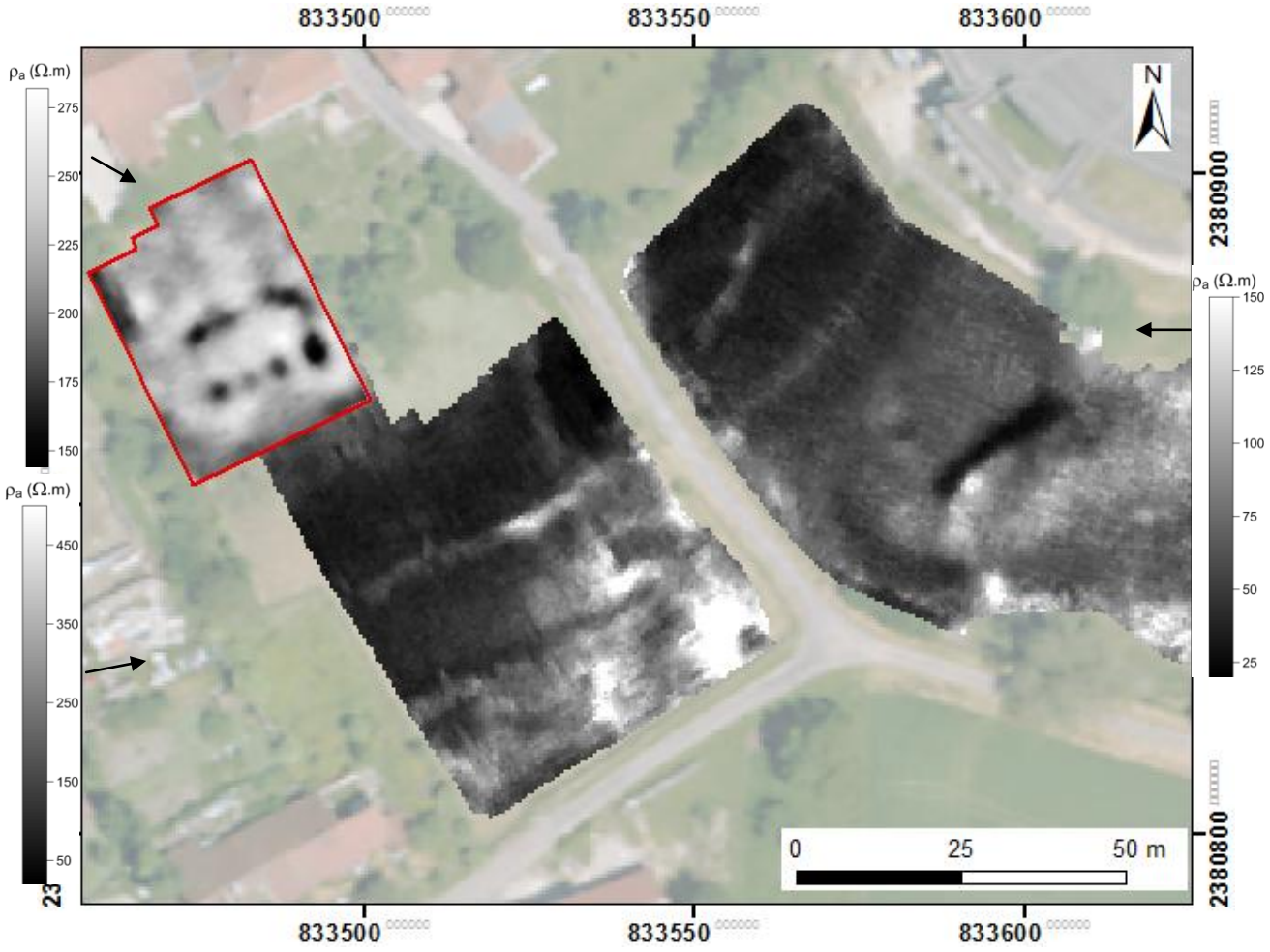


Figure 151. Carte de résistivité électrique apparente du secteur de La Baronnie (parcelles *162* et *910*). En haut : résultat de la prospection ARP (voie 2 - Geocarta - 2008). En bas : résultat de la prospection RM15 (pôle-pôle, écartement 1 m - 2009) superposé à la carte précédente. Des dynamiques de couleurs différentes ont été appliquées pour chacune des zones.

- EM31

Trois prospections EM31 ont été menées sur la parcelle *162* :

- enregistrement en continu sur des profils espacés de 2 m (HCP) en janvier 2009 (la carte figure en annexe),
- configurations HCP et VCP avec une maille carrée 2x2 m en mars 2010 (Figure 152).

Les résultats sont très complémentaires et permettent une nouvelle visualisation des variations de résistivité électrique. Des alignements géométriques se distinguent dans les masses résistantes au nord et au sud du talweg laissant pressentir une organisation des hétérogénéités. L'échelle de couleurs adoptée permet de distinguer les différents secteurs décrits précédemment.

La terrasse sud qui surplombe le vallon se poursuit par une zone résistante sur le quart SE de la parcelle tandis qu'un espace moins résistant, très net en VCP, se développe à l'ouest.
Au nord, deux segments conducteurs parallèles de 12 m de long sont mis en évidence en VCP alors que des segments résistants longs de 17 m sont détectés en HCP. L'ensemble forme un rectangle qui se positionne à l'emplacement des anomalies cartographiées en prospections magnétique et électrique.

- ERT

Deux profils ERT distants d'environ 25 m ont été réalisés en mars 2010 en travers du vallon pour visualiser l'évolution des résistivités en profondeur. Deux lignes L1 et L2 de 72 électrodes espacées d'un mètre ont été implantées dans la parcelle *162*. L'origine de la première est décalée de 17 m vers le nord par rapport à l'origine de la seconde, pour pouvoir recouper au mieux la petite butte au NO et la zone résistante au SE.

Les résultats de l'inversion (Figure 153) concordent bien avec les variations observées en cartographies. Une zone centrale conductrice s'étend entre deux zones résistantes aux extrémités des profils. Les limites déterminées grâce aux cartes de résistivité et de gradient magnétique ont été représentées en pointillés noirs. Les flèches indiquent la position des deux alignements détectés au nord et de la structure rectangulaire au sud. On constate ainsi la très bonne correspondance entre anomalies.

A l'ouest, les limites du conducteur se situent à 44 et 58 m de l'origine de L1 ; à l'est, elles se trouvent à 12 et 40 m de l'origine de L2. Elles coïncident avec celles établies en EM31. L'étendue plus importante de la zone conductrice sur L2 s'explique par l'inflexion du secteur résistant vers le nord, dans l'angle NE de la parcelle.

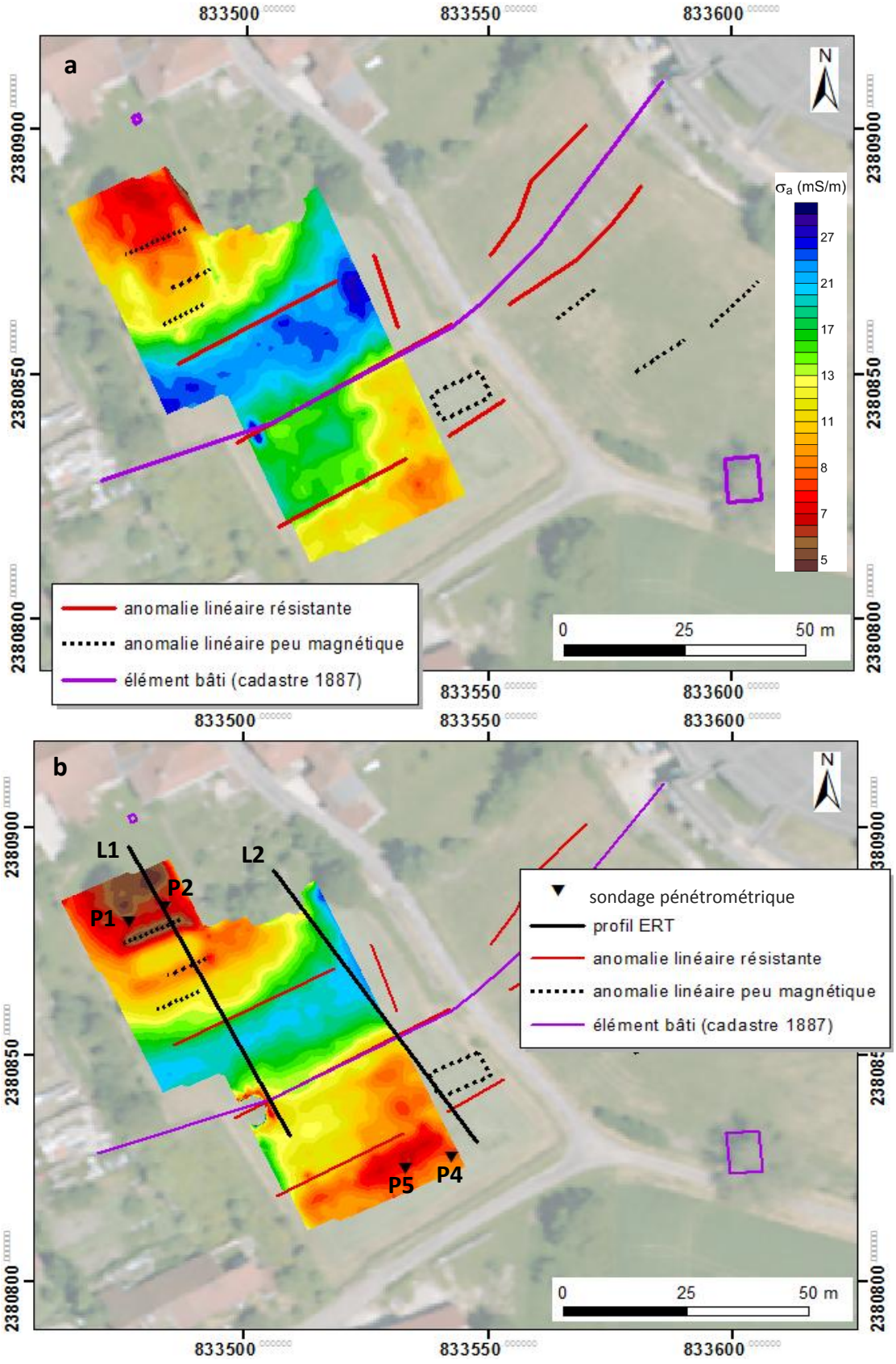


Figure 152. Cartes de conductivité électrique apparente de la parcelle *162* (lieu-dit La Baronnie). Prospection EM31 (2x2 m^2). Configurations HCP (a) et VCP (b). L'échelle de couleurs est identique. Position des profils ERT et des sondages pénétrométriques.

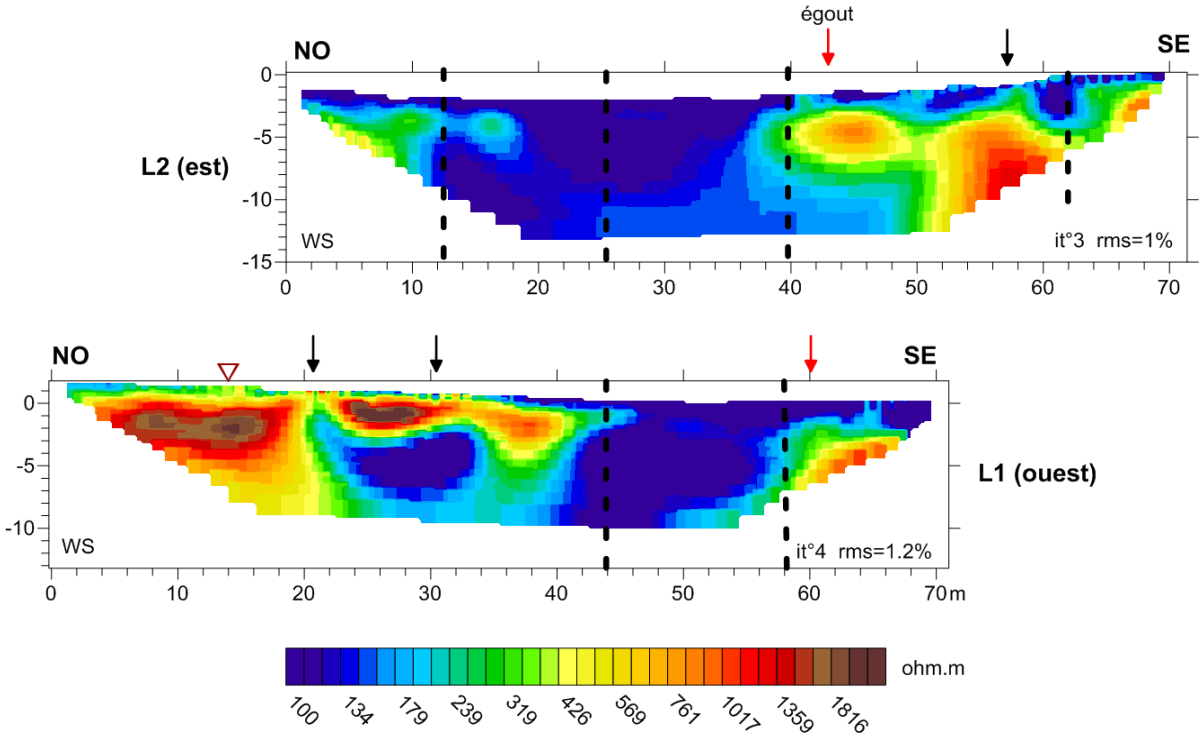


Figure 153. Variations de résistivité électrique interprétée le long des profils ERT L1 et L2 définis dans la parcelle *162* (lieu-dit La Baronnie). Les positions des anomalies remarquables cartographiées sont indiquées par des flèches et des traits pointillés. Le sondage pénétrométrique P2 réalisé sur le profil L1 est figuré par un triangle rouge.

Au nord, une zone résistante se développe à faible profondeur. Sur L1, elle comprend une baisse de résistivités à 20 m. Entre les abscisses 20 et 30 m une structure très résistante, de 2 m d'épaisseur, repose sur un conducteur dont les valeurs rejoignent celles de l'anomalie centrale. Elle se poursuit vers le sud sur une dizaine de mètres. Ces variations bien que moins prononcées se retrouvent à l'est sur L2.

Au sud, la zone très résistante (> 500 Ω.m) est située plus en profondeur sur L1, à 2 ou 3 m de la surface. Sur L2, la profondeur de l'interface résistant/conducteur varie entre 0,5 et 4 m. On observe entre 40 et 50 m une avancée résistante à faible profondeur et une zone conductrice sous-jacente. Cette zone localement résistante à l'est a également été remarquée en prospection.

- Sondages au pénétromètre

4 sondages ont été réalisés en mars 2010 : P1 et P2 sur le versant nord et P4 et P5 sur le versant sud dans les secteurs résistants (positionnement en Figure 152). Les résultats sont présentés en figure 154.
Au nord, P1 et P2 sont distants de 8 m. P2 se situe sur le profil L1 à l'abscisse 14. La résistance mécanique des terrains traversés varie de manière similaire dans les deux sondages.

Une couche très résistante est rencontrée vers 1,8 m de profondeur. En P1, un niveau de résistance moindre, de 0,5 m d'épaisseur, est observé à 2 m de profondeur.
Au sud, la couche résistante est également atteinte vers 1,8 m de profondeur en P5. A 10 m de là, en P4, le refus survient entre 0,5 et 1 m.

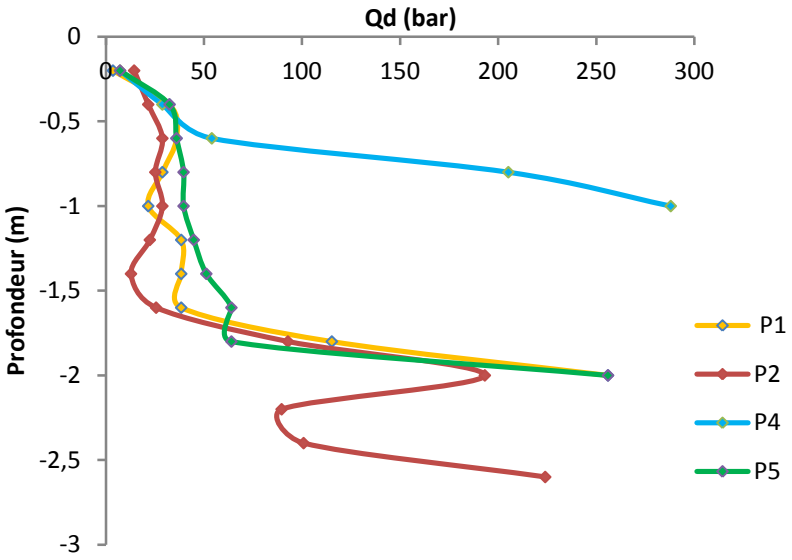


Figure 154. Variations de la résistance mécanique du sol de la butte Nord (P1 et P2) et de la terrasse Sud (P4 et P5). Sondages pénétrométriques réalisés dans la parcelle 162 (lieu-dit La Baronnie).

➢ Synthèse

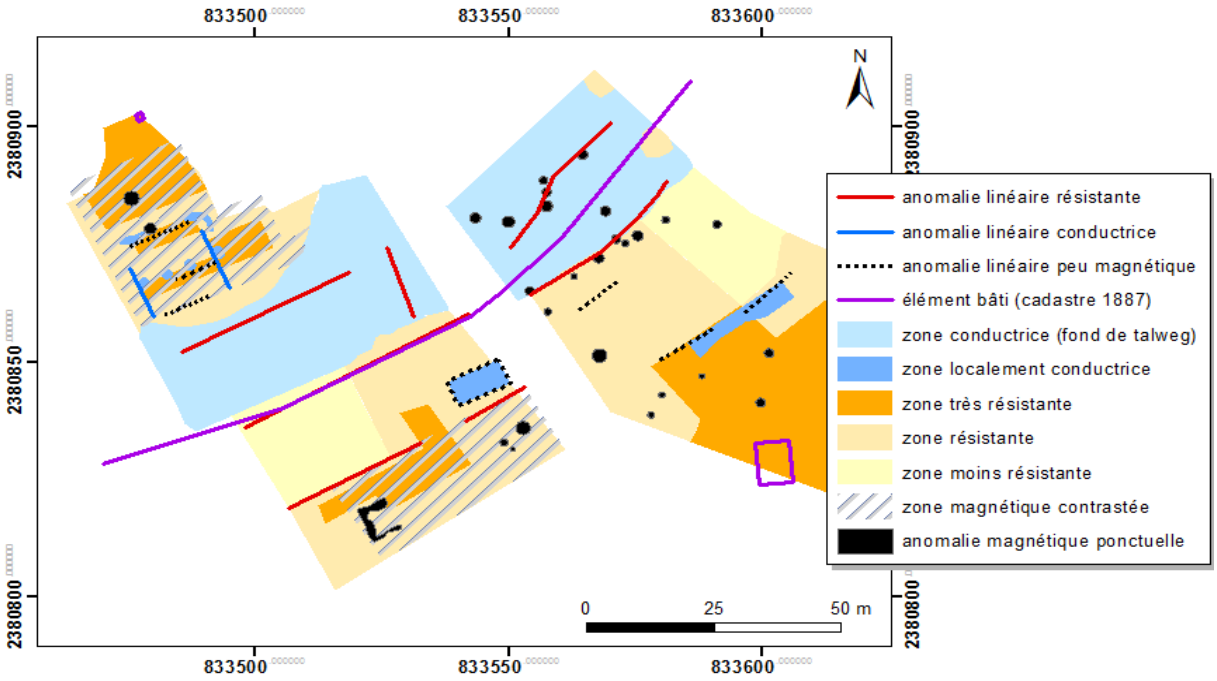


Figure 155. Schéma d'interprétation des anomalies cartographiées en prospection électrique, magnétique et EM dans le secteur de La Baronnie.

La reconnaissance géophysique au lieu-dit La Baronnie apporte un certain nombre d'informations nouvelles. Le creux topographique est caractérisé par des résistivités plus

faibles en relation avec les dépôts plus argileux du talweg et peut-être une teneur en eau supérieure. Des masses résistantes apparaissent sur les flancs du vallon et pourraient s'expliquer par la topographie et le substrat calcaire. Contrairement à d'autres secteurs du site, aucun réseau de diaclases n'est visible. Les anomalies détectées qui présentent un agencement géométrique ne semblent pas résulter d'un état fracturé du massif calcaire et indiquent plutôt une origine anthropique.
Au sommet des pentes, le sous-sol comporte de nombreuses hétérogénéités, mises en évidence aussi bien à partir des contrastes magnétiques que des variations de résistivités électriques et des essais pénétrométriques. La terrasse sud et la butte nord semblent renfermer, sous la couche de terre végétale, une couche de 1,5 m d'épaisseur de remblai, de matériaux de démolition ou de structures bâties en partie effondrées.

Au nord, la petite butte se positionne dans le périmètre des « thermes » signalé par Jollois. Des anomalies organisées y dessinent un secteur rectangulaire de 17 x 12 m^2 qui se poursuit en profondeur sur un peu moins de 2 m. Il pourrait s'agir des restes du bâtiment ou des déblais de la fouille ancienne. Dans ce cas la destruction des vestiges, l'extraction des matériaux et le comblement de la fouille du sieur Colin expliqueraient la difficulté à y retrouver un plan clair. Le mur de clôture et le jardinet qu'il protège ont malheureusement empêché de prospecter l'angle NE de la parcelle pour obtenir une description complète de cette zone.

Au sud, de nombreuses poches conductrices ou résistantes révèlent la nature diverse des éléments qui composent le sous-sol du versant. L'occupation passée du terrain se lit dans les alignements détectés (fosses ou murets) et les masses/creux aux formes géométriques (structures en dur ou remblayées) au sud de l'égout moderne.
La bande de terre, large de 20 m, appuyée à la route résulte très certainement d'un aménagement du vallon. La rupture de pente qui prolonge l'alignement des maisons en avançant nettement sur le versant naturel, est déjà indiquée sur le plan de Le Gendre en 1764. La sobriété de ce plan ne donne que plus d'importance aux éléments représentés et attire l'attention sur cette structure. La simplicité du figuré ne permet cependant pas de déterminer s'il s'agit d'un mur ou du simple dénivelé tel qu'on l'observe de nos jours. L'anomalie linéaire détectée en prospection pourrait venir confirmer l'existence d'un mur de fondation, appartenant à la terrasse ou à un bâtiment important. Ce cas de figure a été rencontré dans le vallon de la Fontainotte, prospecté puis fouillé en 2011 (chantier INRAP), avec la cartographie d'une telle anomalie et le dégagement des fondations du mur de la villa.
L'implantation de bâtiments ou du moins l'existence de parcelles cultivées (vergers par exemple) sur cette esplanade, à l'aplomb du vallon et de la zone inondable, semble tout à fait probante. La présence d'une construction sur le plan de Le Gendre conforte cette hypothèse. Son orientation est identique à celle du parcellaire ancien identifié sur les cadastres du 18ème siècle, des micro-reliefs et des anomalies géophysiques. Cette orientation pourrait témoigner de la fossilisation d'une occupation antérieure remontant peut-être à l'époque antique.

En contrebas, plusieurs structures anthropiques sont mises en évidence. Le tracé de l'égout est bien identifié à travers les deux parcelles. D'autres segments semblent ou se superposer ou se

raccorder à l'anomalie qu'il crée. Ces structures « en dur » peuvent être des vestiges de mur, de conduit ou de voie. L'une part du flanc nord et se dirige vers le collecteur principal. Une autre disposée dans le prolongement de la section de l'égout traversant le pré *162* s'éloigne d'une quinzaine de mètres de la branche principale.

Les résultats géophysiques ne permettent pas à eux seuls de conclure sur l'origine des différentes anomalies décrites. Cependant ils rendent compte d'une occupation ancienne des versants nord et sud du talweg d'évacuation des eaux. La fouille du 19ème siècle daterait alors les vestiges du versant nord de l'époque antique. Le vis-à-vis du versant sud pourrait également y être rattaché.
Concernant le réseau hydraulique, la localisation de la canalisation moderne ne pose aucune difficulté. Reste à savoir si elle reprend également le tracé du collecteur romain en amont de l'amphithéâtre ou si la *cloaca* adopte un autre tracé, peut-être déporté vers le nord. La fouille de la parcelle *805* apportera rapidement de nouveaux éléments puisqu'un conduit antique de grandes dimensions a été dégagé et ne doit pas manquer de se brancher au collecteur principal.

▪ *Derrière l'amphithéâtre*



Les terrains s'étendant au sud de l'amphithéâtre aux lieux-dits *Derrière la Baronnie* et *A la Roche* (parcelles *5*, *910* et *3)* ont fait l'objet de prospections électriques et magnétique avec les dispositifs ARP et AMP (Geocarta). Au SE, le sommet du promontoire (parcelle *67*), dégagé par la confluence d'un petit vallon et de la combe La Roche, a été prospecté au moyen d'un RM15. Compte-tenu de la nature très résistante de l'éperon rocheux deux échelles de couleurs ont été adoptées.

Des traces d'occupation ont été révélées dans les années 1960 au cours du terrassement de la parcelle *3*, préalable à l'aménagement d'un parking à l'arrière du monument. Les éléments dégagés lors des sondages successifs de J.-C. Berçot en 1965-1968, J.-P. Legendre en 1982 et M.-D. Waton en 1983-1984, ont conduit à supposer l'existence d'installations légères en relation avec l'édifice de spectacle (secteur dits « Les Boutiques »). Les plans trouvés dans les archives ont été remis à l'échelle afin de repositionner ces sondages. Le résultat, qui figure en annexe, illustre l'imprécision des relevés effectués.

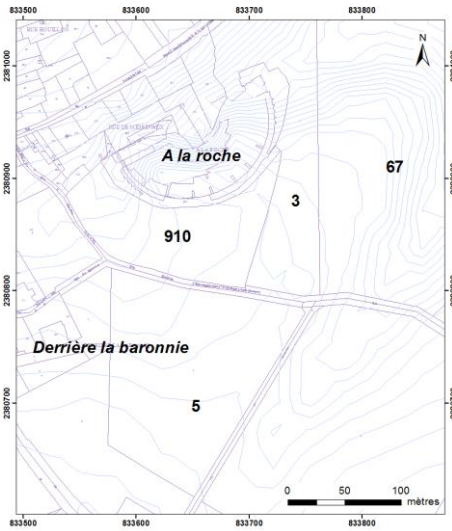


Figure 156. Situation des parcelles prospectées aux lieux-dits Derrière la baronnie et A la roche.

Les vues obliques laissaient suspecter dans le champ *5* la présence de vestiges bâtis. Les cartes électriques et magnétique confirment la présence de plusieurs structures d'origine anthropique développées dans les trois parcelles au sud. Les traces décelées ne s'étendent pas au-delà de 150 m de l'amphithéâtre.

Des alignements résistants orthogonaux se répartissent de part et d'autre du chemin séparant les parcelles *5* et *910*. Ils sont causés par des restes de murs, de voies, de sols conservés. La densité d'anomalies cartographiées est faible ; le substrat calcaire affleurant est peut-être cause d'une mauvaise détection d'éventuelles structures « en dur » mais facilite, à l'inverse, celle des structures excavées.

On observe en effet de nombreuses anomalies conductrices linéaires. Si certaines sont causées par le réseau de diaclases, très net sur la surface de l'éperon rocheux (parcelle *7*), d'autres sont vraisemblablement des drains ou des tranchées. Dans la bande de terrain appuyée à l'édifice, des anomalies conductrices bien localisées se détachent dans le milieu résistant et révèlent l'emplacement de structures excavées. Les limites du décaissement de la parcelle 3 à l'occasion des travaux (parking) sont également bien visibles.

La carte magnétique du pré *910* et de la parcelle *3* (Figure 157) vient compléter l'information apportée par les données électriques. Elle montre quelques anomalies, représentées sur la Figure 159, dont l'origine est difficile à identifier. En revanche, elle offre dans la partie décaissée une vision très claire de la fracturation superficielle du substrat calcaire, sous la forme d'anomalies linéaires magnétiques (dues au remplissage des diaclases) qui trouvent leur prolongement dans les anomalies conductrices de la parcelle mitoyenne. Des essais géotechniques réalisés en mars 2011 ont montré par ailleurs la nature variable de ce remplissage. La dynamique de couleurs choisie pour la représentation des données met en évidence dans ce secteur une série d'auréoles concentriques en relation avec la morphologie de l'éperon. Cette alternance de bandes de résistantes variables est fonction de la nature des couches calcaires qui constituent le promontoire.



Figure 157. Lieu-dit A la roche : prospection magnétique (dispositif AMP - Geocarta).

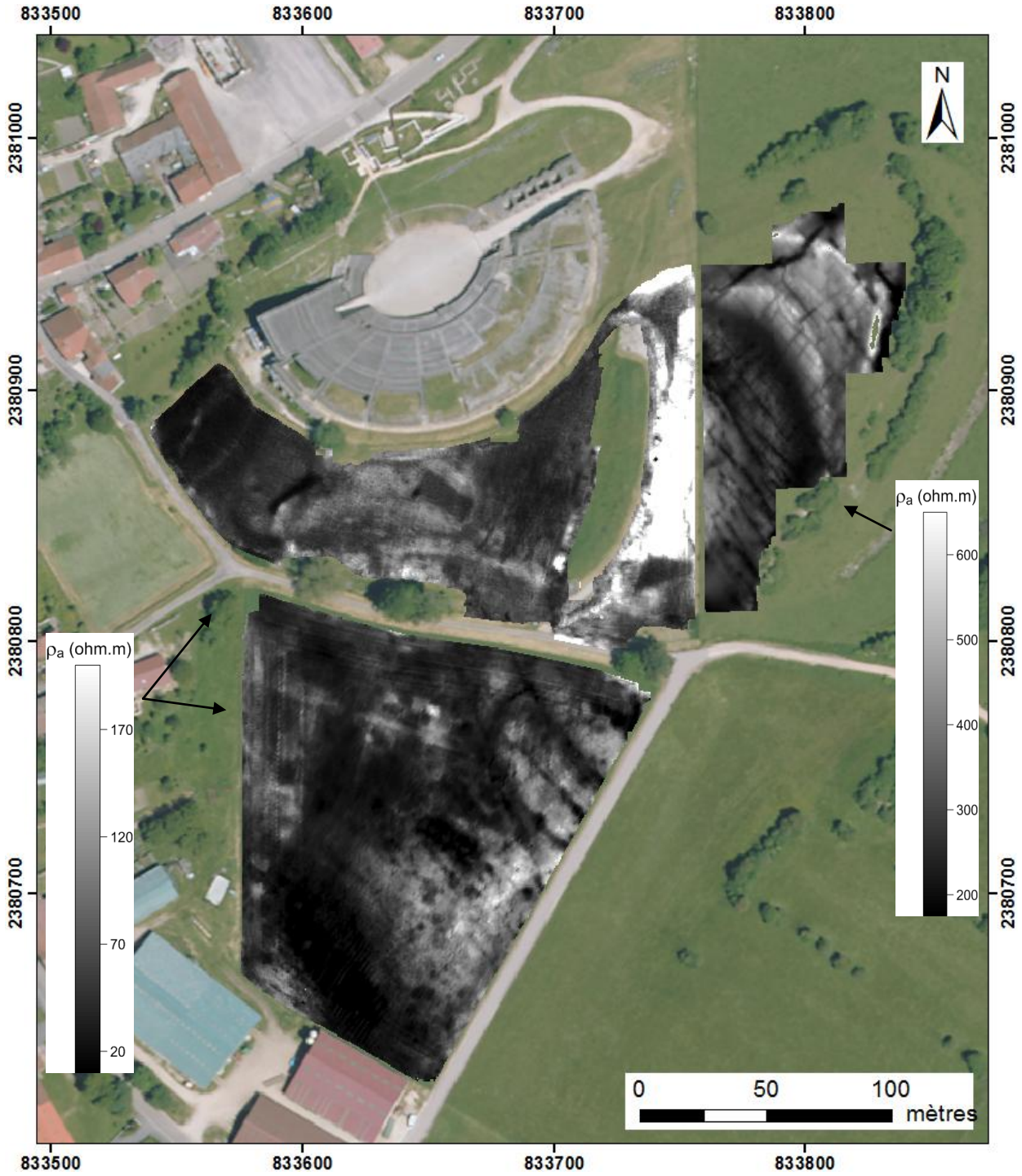


Figure 158. Carte de résistivité électrique apparente du secteur « Derrière l'amphithéâtre » (ARP voie 2 / pôle-pôle 1 m)

Les prospections géophysiques apportent ainsi des éléments nouveaux sur l'extension de l'occupation au SE de l'agglomération. L'étude des terrains périphériques (au-delà du chemin de ceinture) sur le versant sud du petit vallon permettrait de compléter ces données et de poser les limites du site. Des alignements d'arbres laissent envisager de possibles restes de constructions implantées à moins de 200 m de l'amphithéâtre.

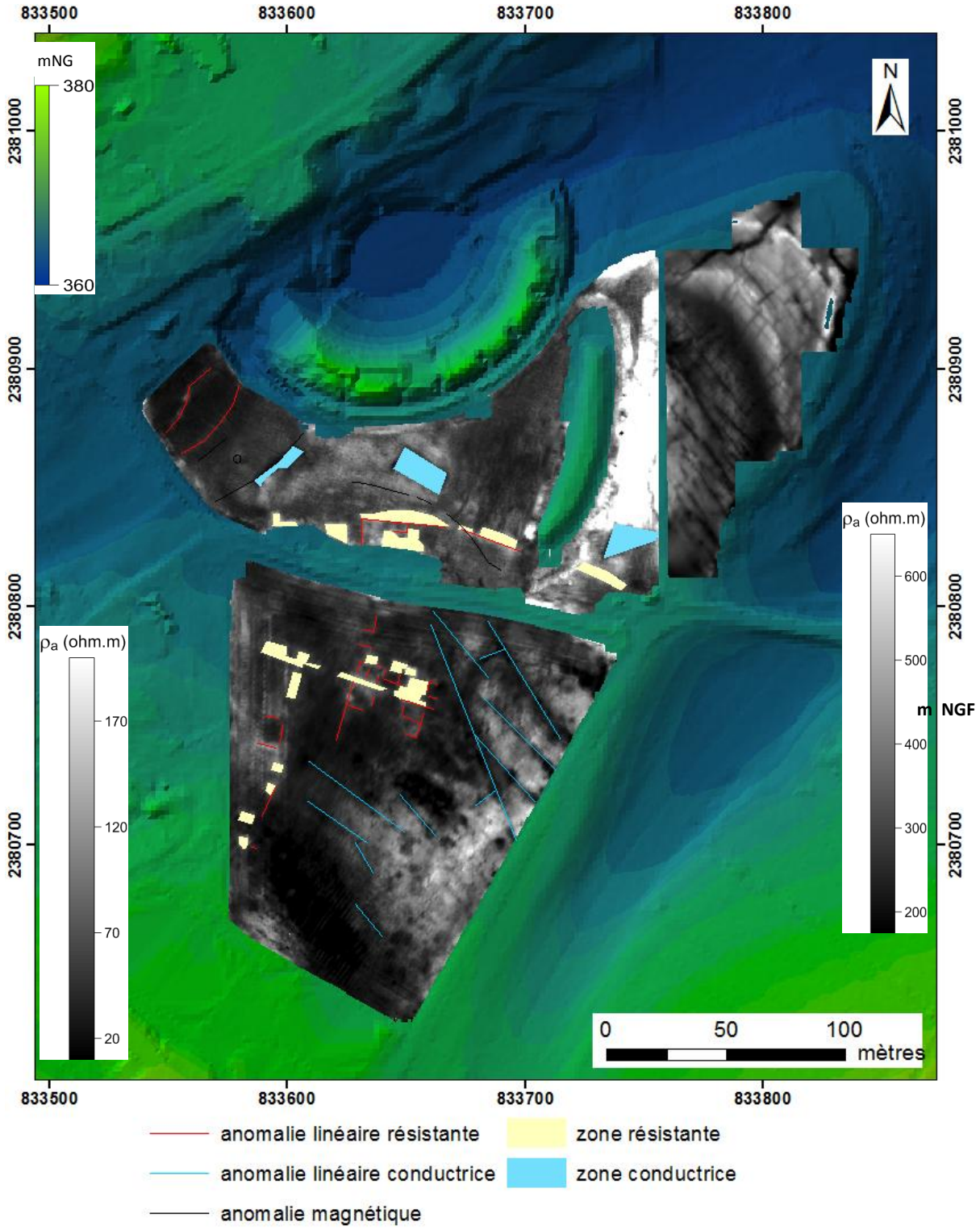
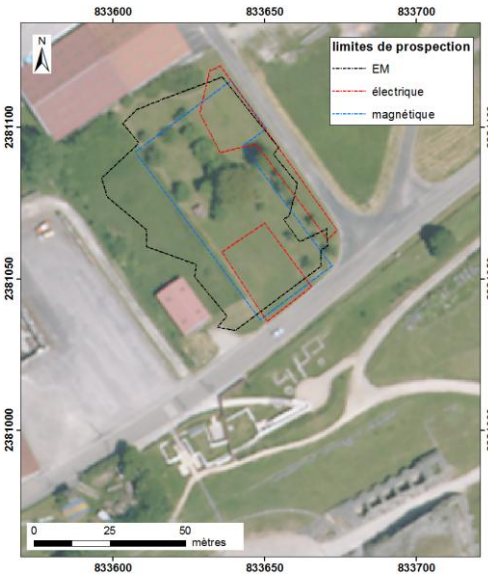


Figure 159. Interprétation des anomalies d'origine anthropique possible. Fond de carte de résistivité électrique apparent (Arp voie 2 / pôle-pôle 1 m).



▪ *Rue de l'Amphithéâtre*

Le projet d'aménagement de la billetterie de l'amphithéâtre a donné lieu en 1998 à une fouille préventive (INRAP) qui a permis de dégager, sur 1600 m^2, les vestiges d'un habitat le long de la voie orientale (Boulanger-Bouchet 2006).
Les bâtiments, construits sur cave pour la plupart, sont implantés sur trois terrasses déterminées par la configuration du vallon. De plan rectangulaire, ils sont alignés sur la chaussée, avec un portique en façade. La partie arrière correspond « à une pièce semi-enterrée, partiellement creusée dans la roche ». Au sud, l'espace est occupé par des cours et des jardins pourvus de drains d'évacuation, de foyers, de fosses de rejet, de puits, de citernes et de latrines. L'abondant mobilier découvert renvoie à des activités domestiques modestes.
Les relations avec l'édifice de spectacle ne sont pas bien déterminées. Il semble que les deux entités aient suivi un développement synchrone entre la fin du 1er et la fin du 2ème siècles. Après le premier abandon de l'amphithéâtre, le quartier privé continue d'être occupé jusqu'à son démantèlement survenu au milieu du 3ème siècle. Sa destruction participe peut-être au programme de remise en valeur de l'amphithéâtre (2nde phase d'occupation au 4ème siècle) (Boulanger-Bouchet 2006).



Le verger situé au nord de la rue de l'Amphithéâtre a été prospecté en 2008 et 2009. Les cartes de résistivité électrique et de gradient magnétique (Figure 160) révèlent un agencement des anomalies semblable à celui des unités fouillées. L'observation des cadastres de 1810 et de 1887 (Figure 161) permet de faire correspondre les alignements avec les anciennes limites parcellaires. Les aménagements modernes et le découpage parcellaire de cet terrain ont peut-être été influencés par les vestiges d'une occupation plus ancienne. Les traces détectées ne peuvent être rattachées avec certitude à une occupation antique.
On peut relever parmi les anomalies cartographiées :

- l'anomalie très forte causée par le cabanon implanté au milieu de la zone et les perturbations créées par l'ancien pierrier,
- de nombreuses pollutions métalliques (anomalies magnétiques ponctuelles fortes)
- une zone résistante de forme rectangulaire qui se détache dans un milieu plus conducteur au nord,
- les segments parallèles aux lignes de pommiers et aux limites cadastrales,
- dans la moitié sud, une zone résistante peut-être bâtie. Deux petites constructions sont d'ailleurs représentées sur le cadastre de 1887.

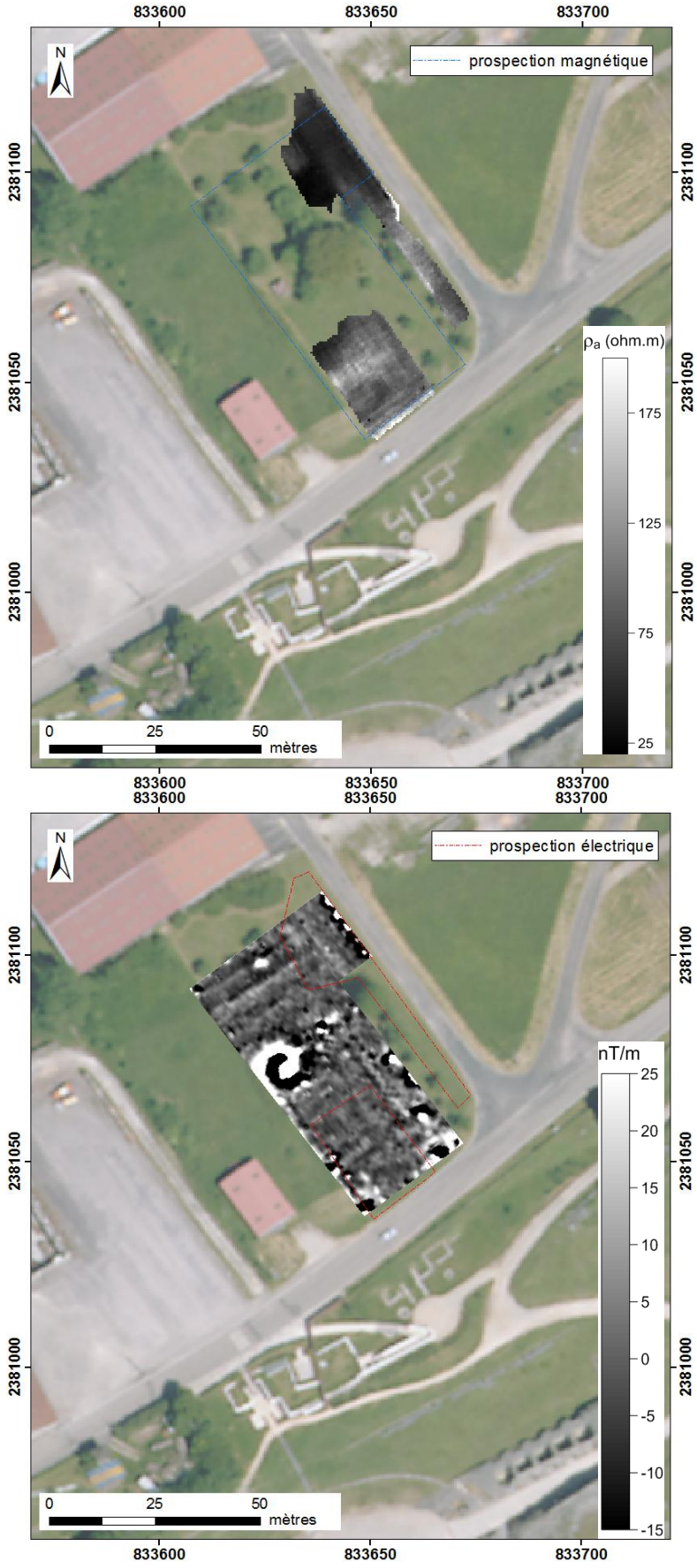


Figure 160. Carte de résistivité électrique apparente (ARP voie 2 – prospection Geocarta). Carte de gradient vertical du champ magnétique total. Rue de l'Amphithéâtre.

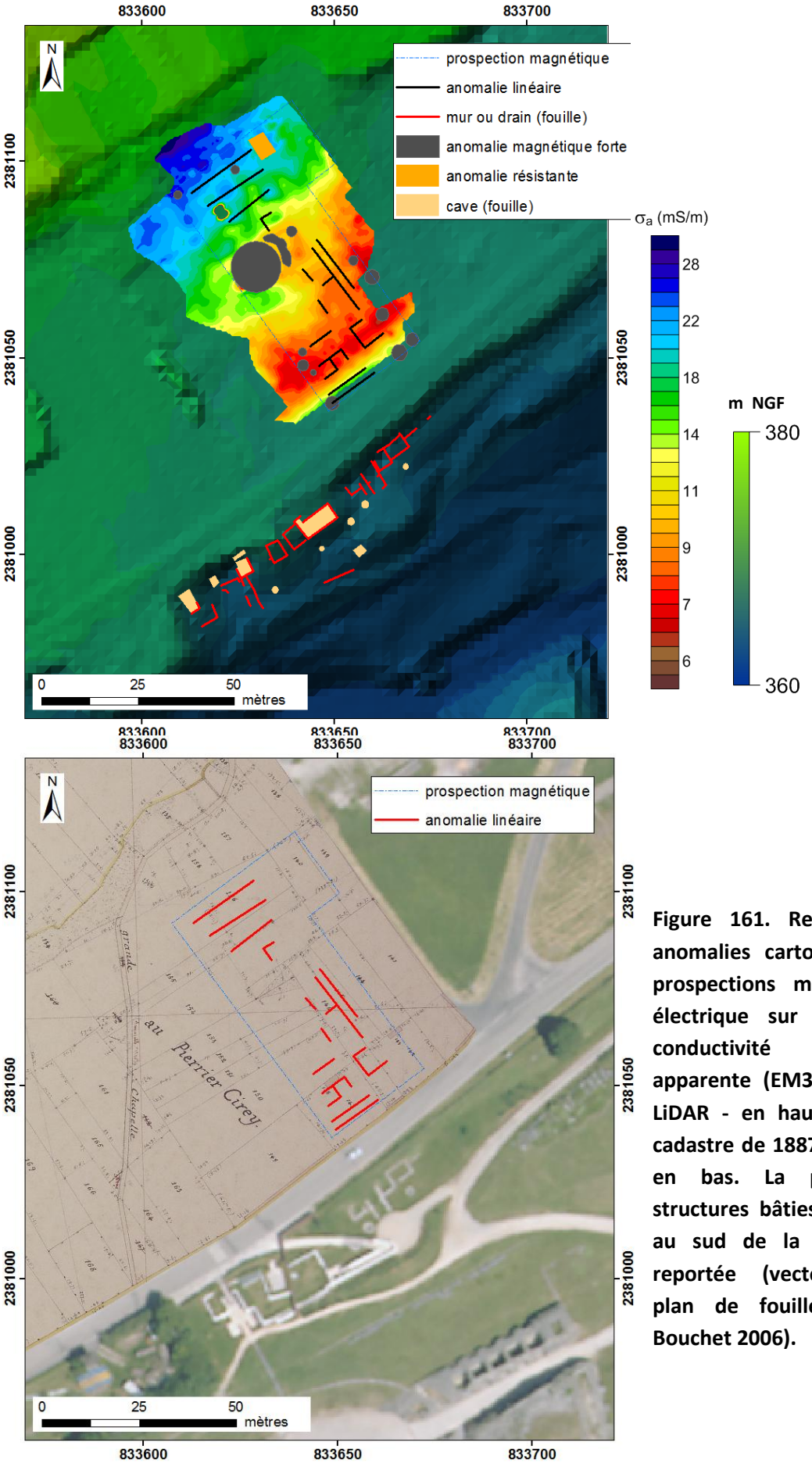


Figure 161. Restitution des anomalies cartographiées en prospections magnétique et électrique sur la carte de conductivité électrique apparente (EM31) et l'image LiDAR - en haut - et sur le cadastre de 1887 (feuille E1) - en bas. La position des structures bâties découvertes au sud de la route a été reportée (vectorisation du plan de fouille Boulanger-Bouchet 2006).

II. 2. e. Zone Centre



Au lieu-dit La place, une série de petits jardins s'étend en arrière des habitations qui bordent la Grande rue et la place des Halles, au nord et à l'est. Deux jardins plus vastes rejoignent la rue de la Coulotte à l'ouest. L'un d'eux a fait l'objet d'une prospection (parcelles *364-367-368-359*) ; l'accès à l'autre (parcelle *370*) n'a pas été obtenu.

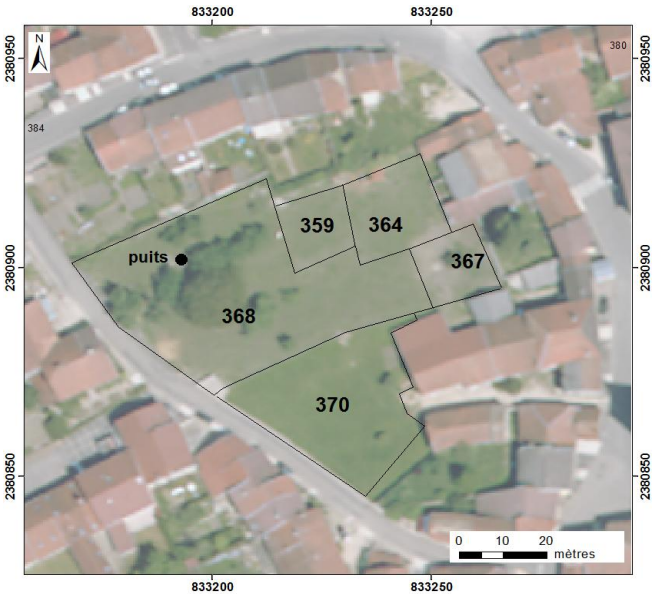


Figure 162. Localisation de la zone prospectée au lieu-dit La Place (parcelles *359-364-367-368*).

Le terrain prospecté se situe à l'est du *Grand jardin* dans la partie avale du talweg Nord, peu avant son embranchement avec le talweg Sud, au niveau de la place des Halles. Le gradient d'altitude est d'un peu moins de 5 m d'ouest en est. Plusieurs points d'eau sont visibles : un puits à l'ouest et des arrivées d'eau dans le coin SE (accès protégé maçonné), à moins d'un mètre du niveau de sol. Ces points ont fait l'objet de mesures de température et de conductivité en mars 2011 (*cf* chapitre 3). Une clôture barbelée sépare le jardin de la parcelle mitoyenne au sud. Dans la partie médiane, une ouverture au ras du sol donne accès à une galerie maçonnée (A10). Ce jardin s'inscrit donc dans une zone traversée par les écoulements : les galeries reconnues à l'ouest et au nord dirigent les circulations souterraines vers la place au travers de ce secteur.

Une zone de micro-reliefs très marqués occupe la moitié nord du terrain, jonchée de pierres. Plusieurs vestiges antiques ont été découverts dans les alentours lors des travaux d'aménagement et d'assainissement. D'après le plan de l'agglomération gallo-romaine restitué dans les années 1990, le jardin se positionne à l'intérieur des remparts, dans l'espace délimité par le portique. Il se trouve à une centaine de mètres du monument du jardin Huguet et de l'édifice à plan basilical, dans le quartier supposé des bâtiments publics.

Il présente donc le double intérêt d'être situé au cœur du site, dans une zone occupée à l'époque antique, et d'être situé à proximité de la résurgence sur le passage de conduits aménagés.

Des prospections électrique et EM et un panneau électrique ont été réalisés au cours du mois de mars 2011 pour détecter les traces de bâti.

- Prospection électrique

La carte présentée en Figure 163 montre un ensemble d'anomalies linéaires résistantes très nettes dans la partie nord du terrain. Elles marquent la présence de murs ou de drains enfouis qu'on devine en surface dans les microreliefs. Certains peuvent être attribués à des constructions modernes : on observe en effet une correspondance entre les murs de clôture de l'ancien parcellaire (cadastre 1887) et certains segments résistants. D'autres alignements franchissent les limites cadastrales et appartiennent probablement à une époque antérieure. Plusieurs niveaux d'occupation semblent se superposer.

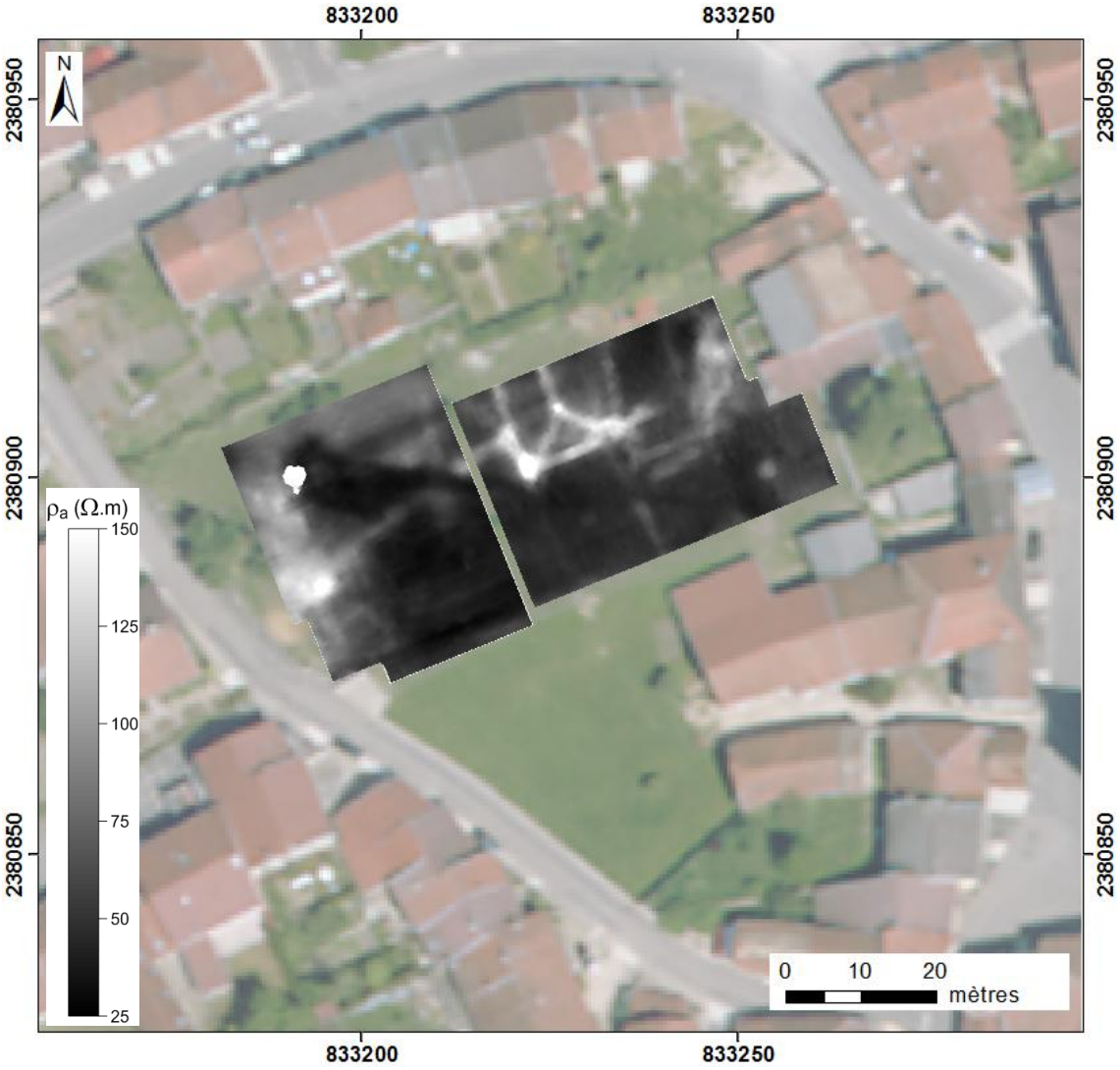
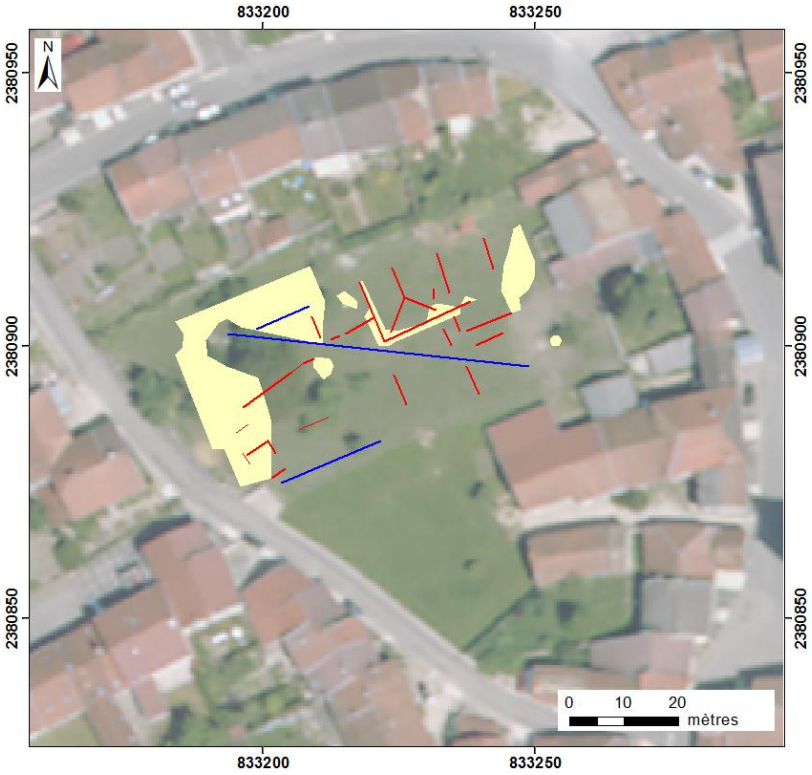


Figure 163. Carte de résistivité électrique apparente (pôle-pôle, écartement 50 cm) au lieu-dit La Place (secteur Centre).



Une bande résistante borde les côtés ouest et nord du terrain, en relation avec les amas de cailloux et les pierriers du jardin. Des petits segments résistants peuvent être décelés dans l'angle NO. Une zone résistante est également présente à l'est, elle provient d'un pierrier et d'un dépotoir modernes.

Figure 164. Schéma d'interprétation des anomalies conductrices (en bleu) et résistantes (en rouge et beige) cartographiées au lieu-dit La Place (secteur Centre).

Des traces ténues, rectilignes, parallèles ou perpendiculaires à la clôture barbelée peuvent être causées par des structures anthropiques. Mais étant alignées avec le sens des profils de prospection (O-E dans le secteur ouest et N-S dans le secteur est), elles peuvent également être un effet d'interpolation, avec le lissage des pics de résistivité (mauvais contact des électrodes sur des pierres).

Une anomalie linéaire conductrice orientée O-E, partant du puits traverse le terrain en direction de la place des Halles. Une seconde anomalie conductrice parallèle à la clôture Sud est également détectée. Elles pourraient traduire le passage de drains.

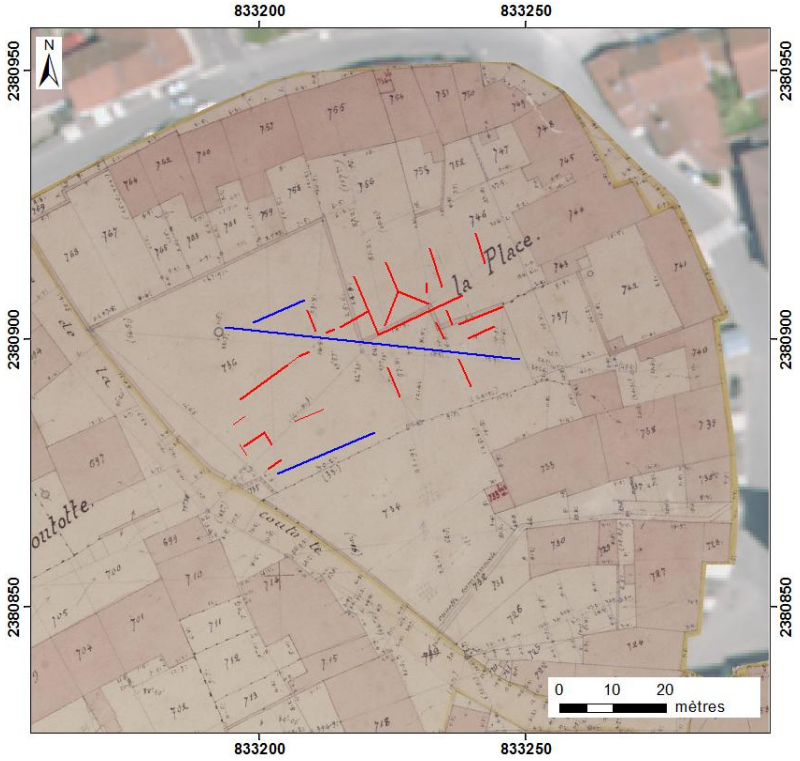


Figure 165. Position des anomalies linéaires résistantes (trait rouge) et conductrices (trait bleu), détectées au lieu-dit La Place, sur le cadastre de 1887 (feuille E4).

➢ EM31 (Figure 166-1)

Le terrain au lieu-dit La Place est conducteur (30-45 mS/m).
Au nord, il comprend une zone plus résistante correspondant au secteur bâti, d'après les données électriques et les microreliefs. Les anomalies locales très résistantes sont causées par les pierriers.
Un élément métallique crée une anomalie très conductrice parallèle à la clôture au sud, qui se superpose à l'anomalie détectée en prospection électrique. Il constitue le prolongement de la conduite « Paramel ».

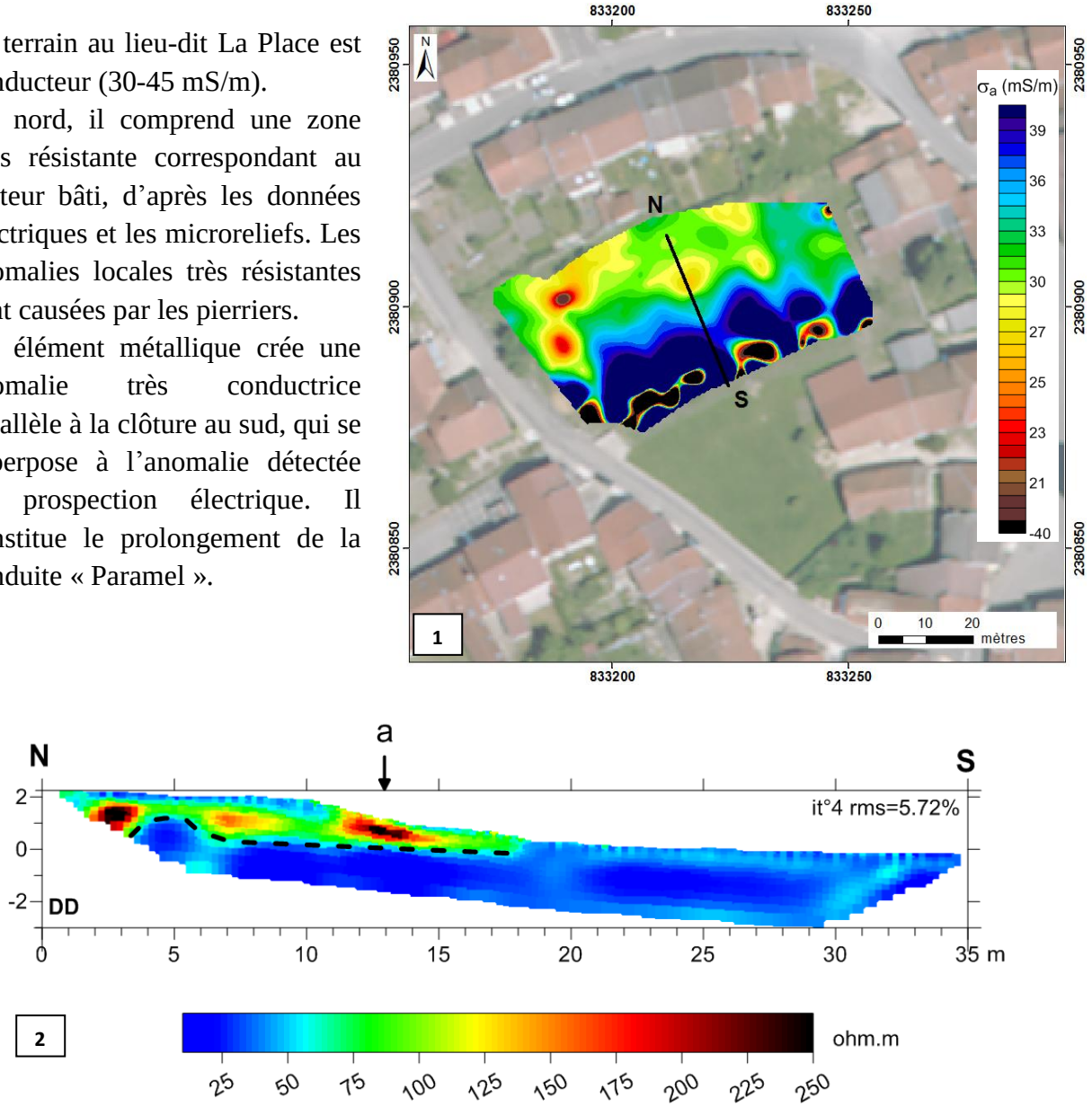


Figure 166. 1. Carte de conductivité électrique apparente (EM31) obtenue au lieu-dit La Place (secteur Centre). 2. Résistivités interprétées le long du profil ERT réalisé sur le même terrain. Configuration dipôle-dipôle – 72 électrodes. L'anomalie (a) indique la position du mur détecté en prospection électrique et recoupé transversalement par le profil ERT. La ligne pointillée sépare la couche résistante (anthropique) reposant sur la couche conductrice (substrat marneux).

➢ ERT

Un panneau électrique (configuration dipôle-dipôle) a été réalisé en travers de la zone bâtie et du vallon. 72 électrodes espacées de 0,5 m ont été plantées sur un profil N-S. Après inversion, le résultat (Figure 166-2) met en évidence la présence d'un terrain conducteur développé sur la longueur du profil. Dans la moitié nord, une couche résistante d'1 à 1,5 m d'épaisseur

repose sur ce conducteur. Elle coïncide avec la zone résistante surélevée, associée à une masse construite d'après les observations de terrain et les cartographies électriques et EM. Un mur détecté en prospection électrique est recoupé perpendiculairement par le profil ERT ; sa position a été indiquée par la lettre (a). Elle correspond effectivement à une anomalie locale plus résistante.

- Bilan

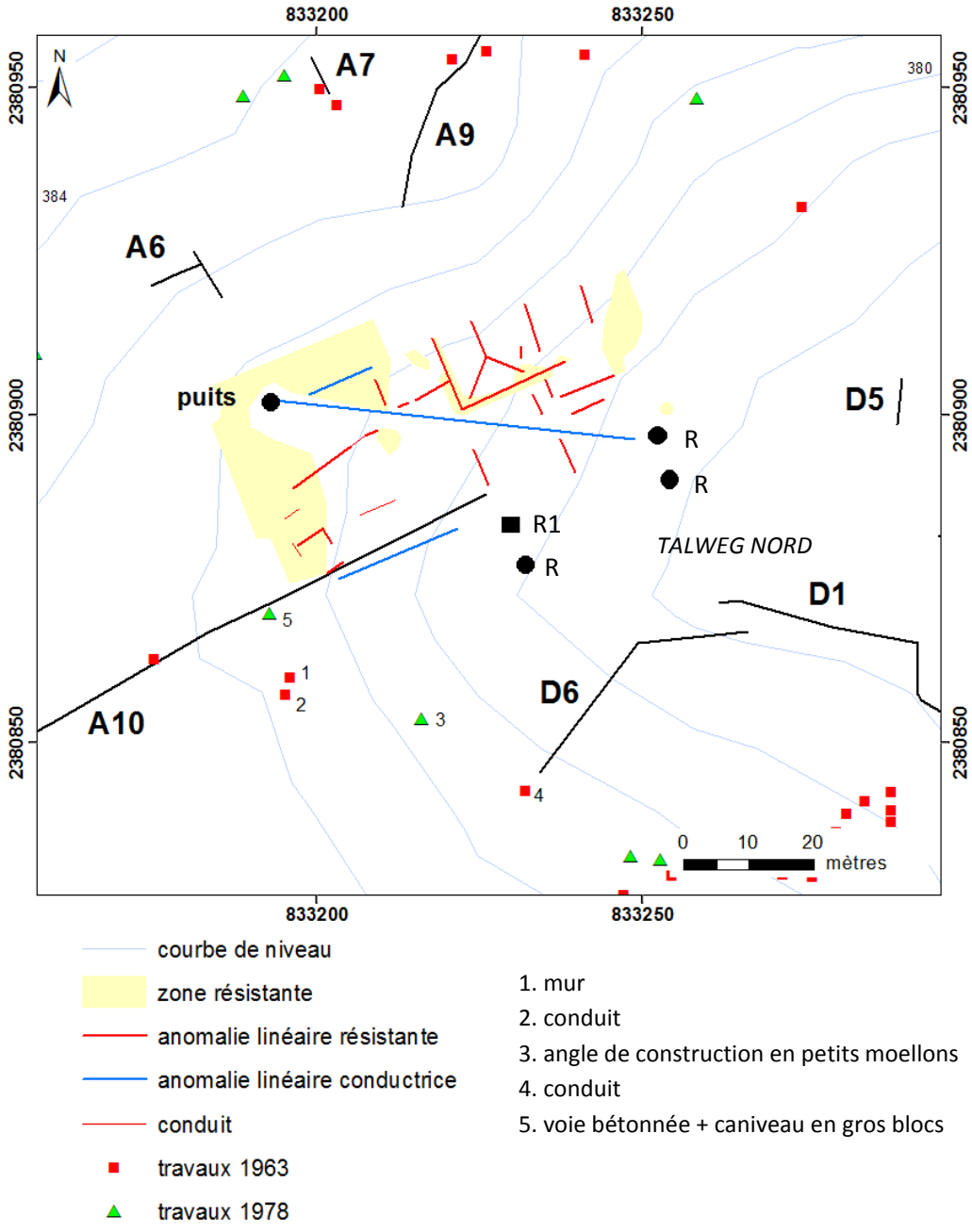


Figure 167. Carte de localisation des anomalies de résistivité interprétées et des principales structures archéologiques connues du secteur Centre (lieu-dit La Place), situé dans le talweg Nord. D'après les levés topographiques des conduits, les découvertes dans les tranchées d'assainissement et les cartes géophysiques.

Ces résultats montrent donc qu'un niveau bâti d'une épaisseur moyenne d'un mètre repose sur le substrat marneux, sur le versant nord du vallon. Parmi les structures cartographiées, une partie peut être rattachée à des aménagements modernes. Malgré les remaniements du terrain, il est possible que certaines anomalies soient créées par des vestiges antiques. L'orientation générale des anomalies identique à celle du bâti moderne ne facilite pas la distinction entre d'éventuelles structures romaines et des structures récentes. Une orientation légèrement déviée est toutefois perceptible dans la partie ouest du jardin.

Plusieurs découvertes ont été signalées dans les alentours : par exemple celle de restes d'hypocaustes sous le bâtiment du CG à l'ouest ou celle de substructions dans la Grande rue. Dans la rue de la Coulotte, un mur et un conduit (1 et 2) ont été mis en évidence en 1963 dans la tranchée d'adduction (notes Counot 1963). En 1978, une voie bétonnée et un caniveau (5) ont été dégagés sous la même route, à proximité de l'angle SO de la parcelle 368 (Bertaux 1979). Ces structures sont mal identifiées. Elles correspondent peut-être au conduit exploré A10, à un conduit non répertorié et/ou à une voie fonctionnant avec le portique. Celui-ci est supposé couper la pointe ouest de la parcelle *368* selon un axe N-S. Une anomalie résistante y est détectée mais la lecture des cartes géophysiques est gênée par la réponse du pierrier actuel. Concernant le système de drains, plusieurs anomalies rectilignes peuvent y être rattachées. Le tracé de la conduite Paramel a été localisé. Une structure raccordée au puits communique sans doute avec l'un des points d'eau (peut-être la fosse remplie d'eau au pied du mur de la maison de Ph. Aubertin) ; la vérification sur le terrain n'a pu être faite par manque de temps. D'autres segments, résistants, peuvent également correspondre à des drains.

L'identification des travaux récents aiderait à interpréter les anomalies. Des tranchées ont été ouvertes dans la parcelle *367* et dans la parcelle *370*. Un drain servirait à rediriger les eaux venant de l'ouest vers le passage de la Coulotte (point R). La cartographie de la parcelle *370* aurait permis d'avoir une vision plus complète du secteur.

II. 2. f. Autres parcelles *intra muros*

Quelques prospections ont été menées à l'intérieur du village sur de petites surfaces. Les résultats, difficilement exploitables, ne sont pas présentés ici. Le terrain très perturbé et une vision trop peu étendue rendent l'interprétation difficile. La prospection du potager de la parcelle *117-118* sur le chemin de la Moucherie en est un exemple. La construction d'un garage (Ménétret) sur la parcelle voisine (*114*) a fait l'objet d'une surveillance archéologique en 2009 par Th. Dechezleprêtre. L'ouverture de quatre tranchées de 60 cm de largeur a mis au jour des murs, un sol en terrazzo, une dalle de terre cuite (Tur 2010).
Une prospection magnétique et une prospection électrique (Figure 168) ont été réalisées pour imager l'extension de cet habitat probable. Les mesures ont enregistré les perturbations

causées par les travaux (anomalies magnétiques fortes). Les données électriques reflètent d'autre part les différences de tassement du sol entre les jardins.
Sans autre élément, il n'est pas possible de proposer une interprétation fine de ces données.

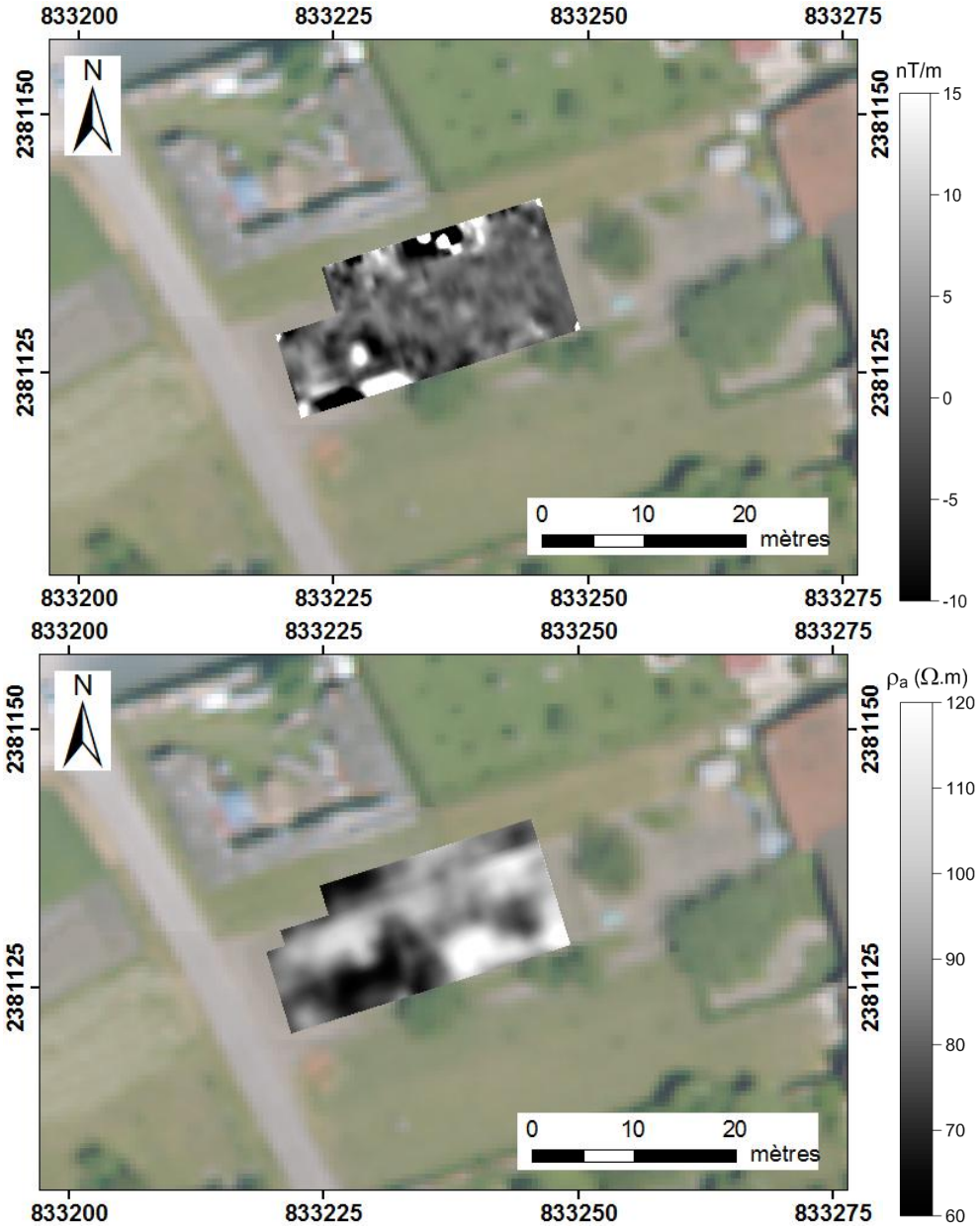


Figure 168. Cartes de gradient du champ magnétique total (a) et de résistivité électrique apparente (b) en configuration pôle-pôle (écartement 1 m). Prospection des parcelles *117-118* donnant sur le chemin de la Moucherie.

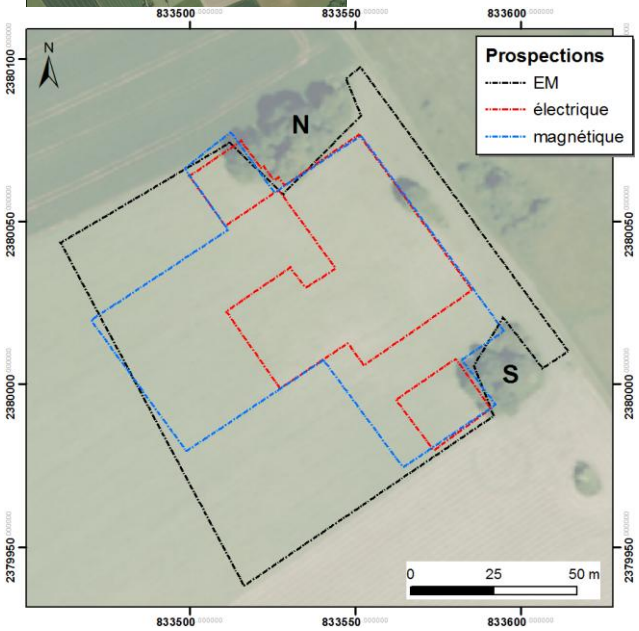
II. 2. g. La Violette

La zone étudiée se situe hors du village, sur un point haut de la commune, à une altitude variant entre 396 et 400 m NGF d'est en ouest. La parcelle *56* est un pâturage s'étendant



depuis la ferme de La Violette à l'ouest et le chemin de Bréchainville à l'est. Deux bosquets appelés N et S marquent les angles de la zone prospectée. N se trouve au sud de Grand à 800 m du clocher de l'église et à environ 400 m de la route périphérique.

Entre 1969 et 1973, une fouille conduite par J.-C. Berçot révèle l'existence d'un ensemble de bâtiments gallo-romains qui est interprété comme une *villa rustica* : un bâtiment principal flanqué de ses dépendances.



Pour localiser les vestiges dégagés et les situer dans le plan d'ensemble d'occupation antique, des prospections géophysiques ont été réalisées en 2009.

Figure 169. Localisation de la zone de prospection (secteur de la « villa La Violette » - parcelle *56*), le long du chemin de Bréchainville. Les bosquets sont désignés par les lettres N et S.

- Les données de fouilles

Les fouilles sont menées sur cinq années consécutives par J.-C. Berçot sur la propriété Grelot, au lieu-dit Le Moulinet (Bertaux et Pineau 1968, Berçot 1970, 1971). Le terrain est déjà un pâturage et l'attention des fouilleurs se porte sur les deux bosquets situés à quelques 600 m à l'est de la ferme de La Violette. Deux pierriers y avaient été dégagés lors du remembrement de 1964 (Bertaux et Pineau 1968) et signalés à R. Billoret (Berçot 1973a). J.-C. Berçot s'appuiera principalement au cours de ses recherches sur les indications des agriculteurs et sur les clichés aériens. Il mentionne l'intervention de « spécialistes [qui] ont procédé à des mesures de résistivité électrique » (Berçot 1973b, 1974) mais ne fournit aucun détail sur ces premières prospections géophysiques et leurs résultats. Les tranchées de sondage ont été faites au moyen de pelles/pioches bien que les fouilleurs aient parfois bénéficié d'une foreuse à poteau prêtée par le propriétaire (Berçot 1972).

Les premiers sondages de 1968 dans chacun des deux bosquets révèlent rapidement des substructions romaines confirmées par un ramassage de surface. Les vestiges de deux constructions datées de la 2ème moitié du premier siècle A. D. sont dégagés au cours des années suivantes.

1. « ***Villa*** **» du bosquet nord** (Figure 170).

Vue comme le bâtiment principal d'habitation elle comporte une cave, un hypocauste et son *praefurnium*, une cour attenante, deux grandes pièces séparées par un corridor, une zone hérissonnée aboutissant à deux petites pièces au SE. J.-C. Berçot observe une dégradation progressive des structures, quasi affleurantes, vers l'est, et la disparition de la partie NE. L'érosion est directement fonction de la topographie, selon le sens de la pente, et est accélérée par la végétation qui occasionne d'importantes destructions (Berçot 1972).

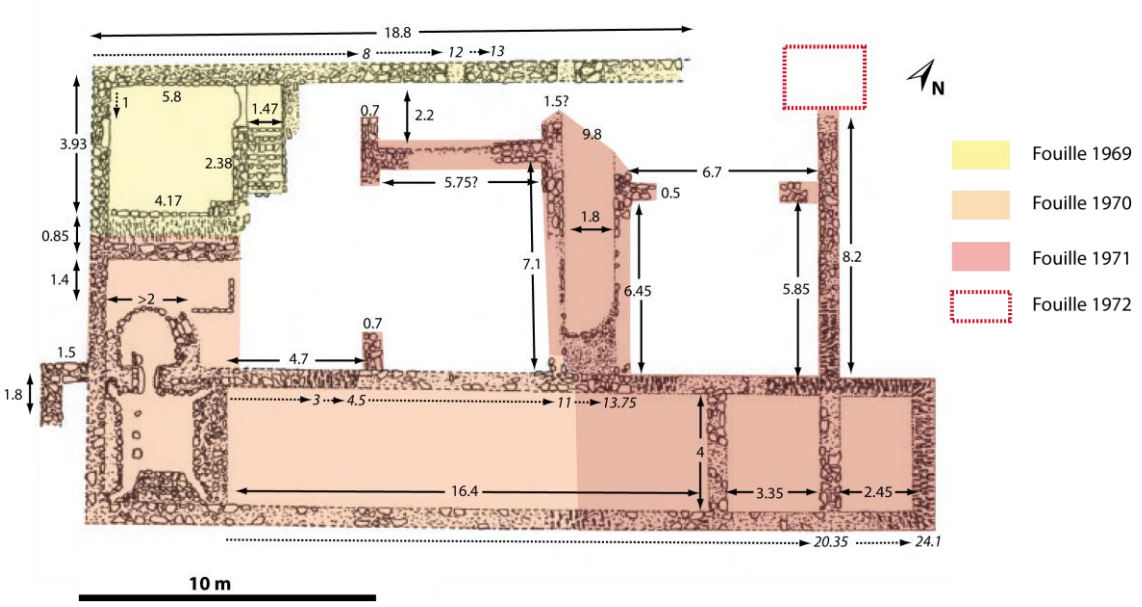


Figure 170. Plan du bâtiment principal (« *villa* ») dégagé dans le bosquet N. Les longueurs ont été reportées d'après les archives de fouilles (Berçot 1969, 1970, 1971, 1972) sur le relevé de J.-C. Berçot (1971). Secteur La Violette.

2. Bâtiment du bosquet sud (Figure 171).

Il est identifié comme un édifice agricole à couverture de tuiles (Berçot 1973a) composé de trois pièces dont la partie conservée se trouve arasée dès la première assise. Les travaux agricoles et les eaux de ruissellement (Berçot 1973b) ont emporté la partie SE. Peu de mobilier y a été retrouvé.

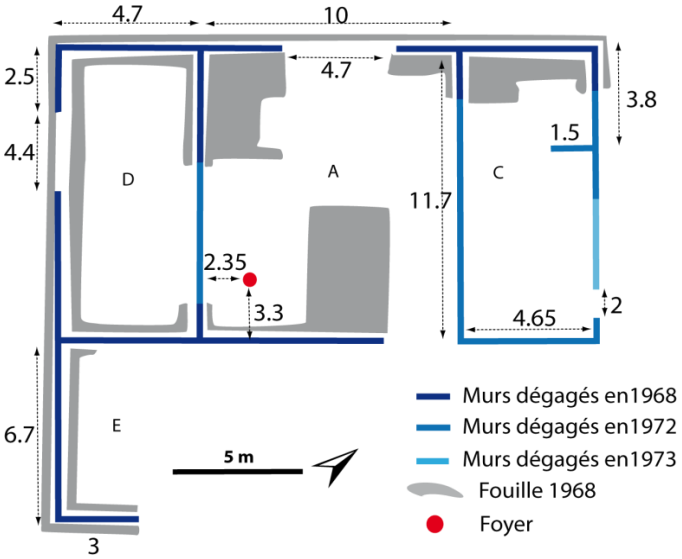


Figure 171. Plan du bâtiment (« grange ») dégagé dans le bosquet S. Les longueurs (en mètres) ont été reportées d'après les indications fournies par les archives de fouilles (Berçot 1968, 1972, 1973a). Secteur La Violette.

Plusieurs tranchées ont été ouvertes dans le pré s'étendant entre les deux bosquets, distants de 80 m, et ont permis de découvrir plusieurs autres constructions antiques (Figure 173).

3. « **Ecurie** » (Figure 172).

J.-C. Berçot relève une anomalie en forme d'équerre au point géodésique 401 sur un cliché aérien (Berçot 1970). A 60 m à l'ouest du chemin et 45 m du grand mur NO de la « *villa* », est mis au jour un bâtiment grossièrement construit, couvert de tuiles et pauvre en matériel (Berçot 1973). Une couche d'incendie épaisse de 15 cm (plus fine vers le nord) est présente sous 25 à 45 cm d'humus mélangé à des cailloux et repose sur le « sol naturel : glaise rougeâtre et cailloutis ». L'intérieur contient une aire dallée avec deux auges en moellons maçonnés. Le bâtiment est interprété comme une écurie, incendiée et effondrée dans le sens de la pente vers l'est.

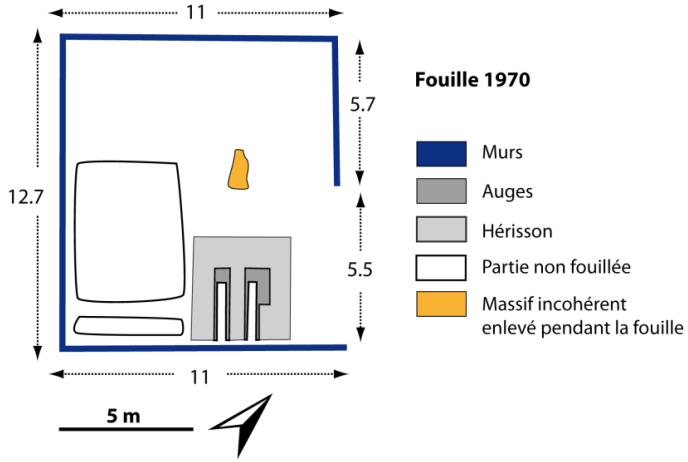
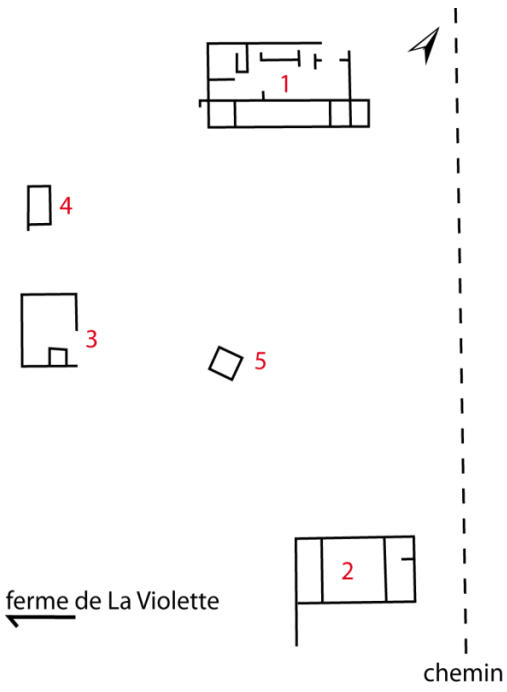


Figure 172. Plan du bâtiment (« écuries ») dégagé dans le secteur de La Violette, à proximité des bosquets N et S. D'après un relevé de J.-C. Berçot (1970).



4. Construction rectangulaire.

J.-C. Berçot note la présence de cinq cercles tangents alignés sur un axe NO-SE. Une première tranchée à 23 m au SE d'un petit buisson, situé lui-même à 35 m au SO du bosquet Nord, produit en 1970 quelques clous. En 1972, un angle de hérisson apparait (à 60 cm du sondage 1970) dans une nouvelle tranchée orientée NO-SE recoupant le 5ème cercle, positionnée entre 25 et 40 m au SE du buisson (Berçot 1972). Ne subsistent que les fondations et quelques moellons taillés (Berçot 1973) d'un bâtiment rectangulaire (8x3,7 m^2 extérieur, 5,3x1,8 m^2 intérieur) à la fonction incertaine.

Figure 173. Positions relatives des constructions constituant l'ensemble de la « villa La Violette ». D'après un schéma de J.-C. Berçot (1973b).

5. « **Fanum** ».

En se basant sur un carré visible sur photo aérienne et sur les renseignements des agriculteurs (moellons), deux sondages sont ouverts en 1971 entre les deux bosquets, respectivement à 50 m et à 60 m du grand mur. Ces sondages se révèlent stériles. Un 3ème sondage à 56 m met au jour les substructions d'un petit bâtiment carré (4,6x5,2 m^2 extérieur, 3,2x3,8 m^2 intérieur). Les murs affleurent et sont très dégradés à l'est. L'hypothèse d'un fanum est avancée mais J.-C. Berçot n'aura pas le temps de poursuivre cette fouille et de sonder le terrain alentour (Berçot 1971).

Les archives signalent plusieurs **autres sondages** qui n'ont produit aucun élément archéologique. Les indications sur l'emplacement de ces sondages sont vagues (*cf* annexe).

En 1969, deux tranchées, larges d'1 m et longues d'environ 20 m, sont ouvertes à 30 m et 60 m du grand mur NO de la « *villa* » dans le but d'établir une possible connexion entre celle-ci et la « grange ». J.-C. Berçot remarque à 30 m une « sorte de soubassement de cailloux damés avec de la glaise » et à 60 m ce qui semble être un « aménagement du banc calcaire » disposé dans l'axe du mur de la cave. Il conclut à des structures naturelles qui constituent des « coïncidences curieuses ». Le sol vierge est trouvé à 0,4 m (Berçot 1969).

En 1970, il repère plusieurs anomalies sur les vues aériennes : un carré situé à égale distance des deux bosquets, un rectangle (15x10 m^2) à 135 m au SO de la cave, et un alignement de cinq cercles à 26,5 m au SO de la cave (voir *supra*). Les sondages ne révèlent aucune structure maçonnée :

- à 27.5 m à l'ouest du chemin, une « faille triangulaire » entaille le calcaire. Orientée NO-SE elle est longue de 4,5 m, large d'1 m au SE et 0,3 m au NO, profonde d'au moins 0,5 m. Remplie de terre rouge et de cailloutis, elle n'a fourni aucun matériel et ne présente pas de trace d'outillage.
- à 147 m au SO de la cave, le banc calcaire orienté NO-SE est signalé à 0,7 m de profondeur (1 m max) sous 35 cm d'humus et 35 cm d'argile rouge. Large d'1,4 m, il ne comporte ni trace d'outil ni mobilier.
- à 26,5 m au SO de la cave, le banc calcaire est trouvé à 45 cm de profondeur. J.-C. Berçot suppose alors que les traces arrondies sont causées par les demi-tours d'attelages parvenus en fin de sillon.

En 1972, plusieurs anomalies sur les photographies aériennes attirent son attention :

- une forme sombre (25x10 m^2) à 50 m au NE d'un arbre (qui n'existe plus actuellement) situé au SO du bosquet N. Une tranchée de 35 m la coupe dans sa largeur. Une série de trous espacés d'1 m est creusée du SO vers NE. Le substratum est rencontré des abscisses 5 à 12 m aux profondeurs suivantes : 0,75 – 0,55 – 0,9 – 0,4 – 0,7 – 0,7 – 0,8 – 0,9 m, le 4ème trou étant à 35 m 90°E de l'arbre. En deux endroits, un ressaut du banc calcaire apparait et dégagé sur 0,8 m de large et 2 m de long entre les abscisses 7 et 9 m. Ce ressaut se retrouve dans un 2ème sondage décalé au SE du premier. De 28 à 31 m, le banc calcaire se trouve à : 0,85 - 0,9 - 1 m de profondeur. Les traces d'aménagement anthropique et de

mobiliers sont absentes et J.-C. Berçot suppose que l'anomalie vue sur le cliché aérien est due, « contre toute vraisemblance, à cette crête calcaire qui retient l'eau ».

- à 85 m à l'est du même arbre, la recherche des traces orthogonales (4x5 m^2) se solde par un échec. Pourtant il rapporte d'après des « témoignages dignes de foi » qu'un sourcier y avait signalé la présence d'eau...

- un rectangle plus foncé le long du chemin, entre 24 et 44 m au SE du grand mur. Trois tranchées sont ouvertes : une parallèle au chemin à 2 m au SO de la ligne d'arbustes, une autre perpendiculaire et une dernière reliant les milieux des deux autres. Il insiste sur la difficulté de creuser dans un agglomérat d'argile et de cailloux, présent sous 10 cm d'humus, et la proximité du banc calcaire. Aucun vestige n'y est trouvé.

Bilan :

Les rapports procurent, à travers les descriptions et les plans de fouilles, des informations sur les éléments dégagés qui ont permis de reporter les dimensions des différentes constructions. Cependant ils mettent en lumière les limites de la technique de fouille et des moyens employés dans les années 70. Le site, partiellement fouillé, n'est de fait qu'imparfaitement reconnu. J.-C. Berçot en a pleinement conscience puisqu'il souligne le caractère arbitraire de la fouille et admet n'avoir pu finir le dégagement du « fanum » et n'avoir pu localiser de puits ou tout autre système d'adduction d'eau.
Il est impossible de déterminer le nombre et l'emplacement des sondages et par conséquent la position des structures découvertes. Pour exemples, on retiendra le report incomplet des tranchées stériles sur les plans, l'absence de point de repère fixe (les repères sont pris sur la végétation ou la clôture), l'approximation des distances dans la description (« à 30 m de la cave »), l'incohérence des relevés sur papier millimétré qui montrent des distances relatives fluctuant d'un rapport à l'autre.
En conclusion le plan apparait impossible à géoréférencer à partir des archives de fouille qui présentent des données de localisation contradictoires et lacunaires. La synthèse publiée en 1974 n'apporte aucun éclaircissement (Berçot 1974).

Remarque :

On constate que la nature du substrat a parfois rendu difficile l'identification des structures. La fracturation du calcaire peut engendrer des confusions entre structures anthropiques et structures géologiques. Le banc calcaire a été aménagé, comme en témoignent les entailles pour assises de murs ou le sol de la cave creusé de rigoles d'écoulement qui aboutissent à des puits perdus (Berçot 1969). *A contrario* il peut prendre une « apparence géométrique, mais [est] indiscutablement naturel et non aménagé » (Berçot 1971). Les résultats des tranchées stériles (*cf supra*) ou du sondage à travers le grand hérisson le prouvent : une amorce de mur peut s'avérer, après élargissement de la tranchée, être un « amas de moellons calcaires naturels formant une sorte de ressaut perpendiculaire à l'axe principal du hérisson » (Berçot 1971).

- Prospections électriques et magnétique

Les cartes de résistivité électrique et de gradient magnétique (Figure 174) montrent des anomalies linéaires disposées selon les deux directions conjuguées NO-SE et SO-NE. On distingue deux catégories d'anomalies.

La première comprend quelques segments résistants et peu magnétiques. Il s'agit des murs appartenant aux constructions partiellement dégagées au cours de la fouille. Immédiatement à l'ouest du bosquet S, le mur nord du bâtiment (**2**) ainsi que les amorces du mur ouest et du mur intérieur ont été détectés respectivement sur 8 et 12 m. Le reste du bâtiment se trouve enfoui sous le bouquet d'arbres qui abrite un pierrier et un dépotoir moderne. La prospection n'a pu s'étendre jusque-là. Les données magnétiques qui ont enregistré ces perturbations en bordure du bosquet, ne présentent pas clairement le schéma des structures archéologiques. Leur réponse est bruitée par le bouleversement du terrain causé par les fouilles anciennes. Les données électriques donnent une image beaucoup plus lisible de la position et de l'agencement des vestiges.

Ce constat est valable pour le bâtiment des « écuries » (**3**). A une cinquantaine de mètres du chemin, un rectangle de 10 x 12,5 m^2 se détache nettement de l'ensemble. On observe un tracé résistant parallèle au mur nord à 5 m créé par un mur qui n'est pas signalé par la fouille. Une extension du bâtiment semble donc exister vers le nord. L'intérieur de cette construction est ponctué de nombreux dipôles magnétiques, résidus probables de la fouille et peut-être de la couche d'incendie décrite par J.-C. Berçot.

A l'est, à quelques 25 m, une petite structure se devine. Elle est délimitée par des anomalies résistantes et présente un remplissage conducteur. De dimensions réduites (4 x 4 m^2), elle forme un carré dont l'un des côtés aurait été tronqué. Il s'agit vraisemblablement du « fanum » (**5**) dont la partie orientale a été arrachée par les labours.

Plus au nord, une anomalie résistante apparait à proximité du bosquet N. Elle est causée par des éboulis provenant du pierrier et d'anciens déblais que dissimule le bosquet. Aucune anomalie correspondant à la réponse de la « villa » n'est décelable ; le bâtiment principal (**1**) se situerait donc en-dehors de la surface prospectée.

Le bâtiment quadrangulaire (**4**) au nord de « l'écurie » n'est pas non plus visible. Il est possible qu'il se trouve hors emprise de prospection ou que des anomalies très tenues **(4?)** s'y rattachent. Dans le premier cas, la position donnée par J.-C. Berçot est alors inexacte, dans le second cas les dimensions ne correspondent pas avec celles qu'il donne. L'absence de données électriques à cet endroit ne permet pas de lever le doute et de préciser si l'anomalie **(4?)** est une structure maçonnée.

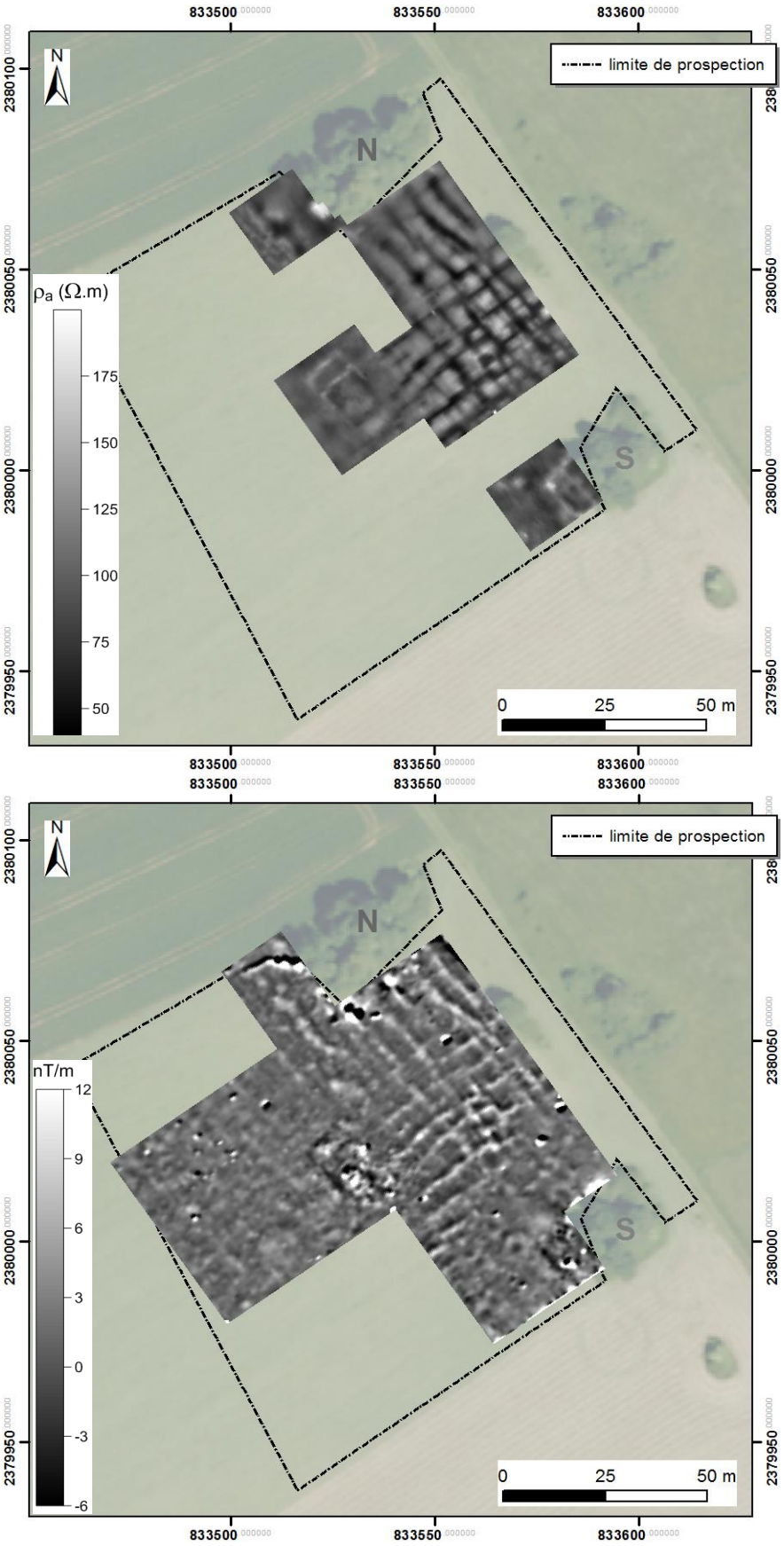
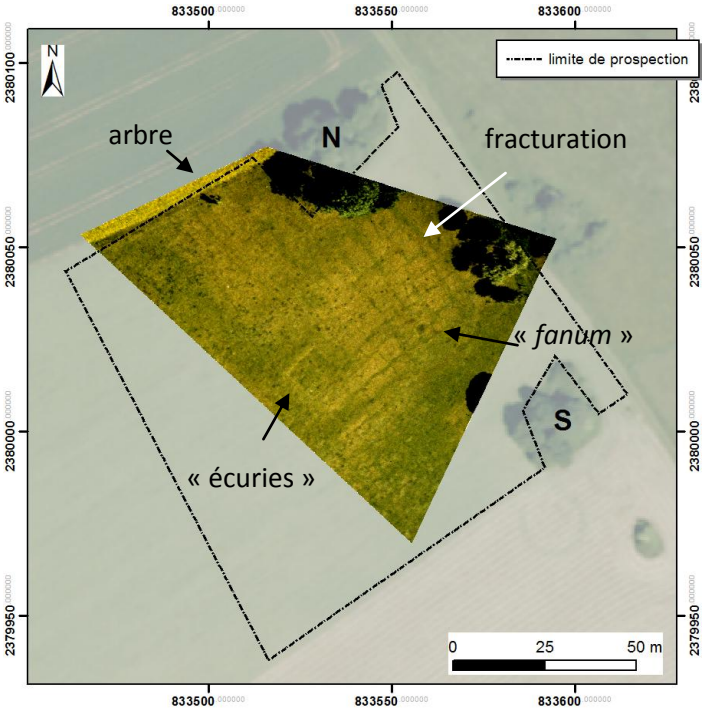


Figure 174. Cartes de résistivité électrique apparente (pôle-pôle, 50 cm) et de gradient magnétique vertical du champ total, du secteur de La Violette.

Enfin, à l'ouest et à l'est, le terrain apparait beaucoup plus homogène, ponctué de quelques rares dipôles (débris métalliques). Certaines anomalies doivent être rattachées à la fouille ; d'autres sont mal identifiées. Par exemple, l'anomalie **(6)** peut s'apparenter à la réponse d'un puits ou d'un amas de pierres (déblais, géologie).

- Photographies aériennes

Un cliché oblique a été redressé (voir ci-contre). Le résultat n'est pas satisfaisant à cause du manque de points de contrôle. Cette image montre les principales anomalies cartographiées en géophysique (fracturation, « *fanum* » et « écuries »). L'arbre situé le long de la limite nord du pré est sans doute l'un des buissons isolés qui ont servi de repères à J.-C. Berçot.



Les anomalies les plus conductrices sont visibles sur l'orthophotographie saisie sur Geoportail (provenant du fonds 2010). Ces photographies n'apportent pas d'éléments nouveaux que n'aient déjà donnés les cartes géophysiques.

- Cadastres anciens

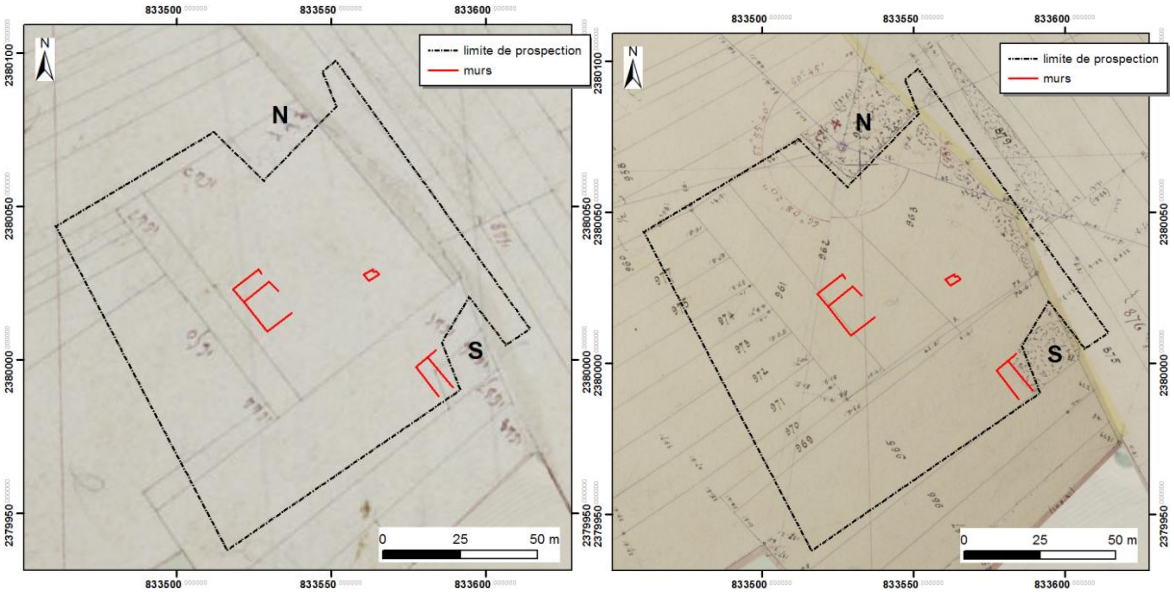


Figure 175. Cadastres géoréférencés centrés sur le secteur de la « *villa* La Violette ». A gauche cadastre de 1810 (Section C - 2ème subdivision), à droite cadastre de 1887 (feuilles C7-C8). En rouge : anomalies résistantes créées par les murs enfouis.

Le cadastre de 1887 (section C feuille 8 et feuille 7 à l'est) figure les deux bosquets N et S et la haie d'arbustes, à présent très diminuée, qui borde le chemin. L'espace entre les bosquets forme une sorte d'enclave dans le parcellaire. On observe en effet, à l'ouest du chemin, des parcelles en lanière orientées selon la direction principale SO-NE. Un rectangle d'environ 75x80 m^2, découpé en trois parcelles orientées NO-SE, rompt cette disposition générale. Ce schéma reprend celui du cadastre de 1810 (section C - $2^{ème}$ subdivision) qui est encore plus net car plus épuré. L'emplacement des vestiges romains dans cette zone et leur orientation identique à celle du parcellaire permettent d'établir une relation entre l'implantation antique et le parcellaire moderne. L'espace antique pourrait avoir perduré dans le parcellaire qui constituerait ainsi un indicateur sur l'extension et les limites du domaine de la « *villa* ». Les cartes géophysiques ne fournissent quant à elles aucun élément sur l'extension de cet habitat. Il n'est pas exclu que le bosquet « 879 » (cadastre 1887) appartienne au même ensemble et recouvre des vestiges.

- LiDAR

Les limites de parcelles évoquées au paragraphe précédent sont profondément marquées dans le sol. L'image LiDAR (Figure 176-a) le montre très clairement à travers les linéaments rectilignes parallèles qui sillonnent le terrain et représentent les anciennes limites de parcelles, pour les plus prononcés, et les traces des labours pour les autres. « L'écurie » se traduit par un petit talus surcreusé en son centre excepté dans l'angle intérieur sud. L'identification de ce micro-relief est certaine puisque J.-C. Berçot n'a pas fouillé précisément ce coin du bâtiment. Le « fanum » est également bien visible et forme une petite surélévation. Les murs ouest de la « grange » se détachent également du bosquet S sous la forme de bourrelets. Ils ne se prolongent pas au-delà des arbres signifiant par là que le bâtiment ne s'étend pas vers le sud ou qu'il est très dégradé ou simplement qu'il ne se manifeste en surface par aucun micro-relief. Cette dernière supposition se vérifie pour le bâtiment quadrangulaire et pour le mur extérieur nord de « l'écurie » repéré en prospection géophysique. Quelques linéaments transversaux très légers sont peut-être le produit des tranchées de fouille.

- EM31

La carte EM31 (Figure 176-b) montre une répartition bipolaire des résistivités selon une limite N-S : une zone résistante à l'ouest et une zone conductrice à l'est. D'après les conclusions présentées dans le chapitre précédent, le terrain recouvre ici le contact de deux couches géologiques en se positionnant au niveau de l'affleurement d'un horizon calcaire à l'ouest et d'un horizon plus marneux à l'est. Une zone intermédiaire peut être définie entre ces deux zones. Une bande d'une largeur moyenne de 30 m (22-30 mS/m) sépare la couche très résistante de la couche conductrice. Elle correspond à la zone fracturée, cartographiée en prospections électrique et magnétique, qui se développe en surface le long de la limite du banc marneux (voir les photographies aériennes et la carte globale EM31).

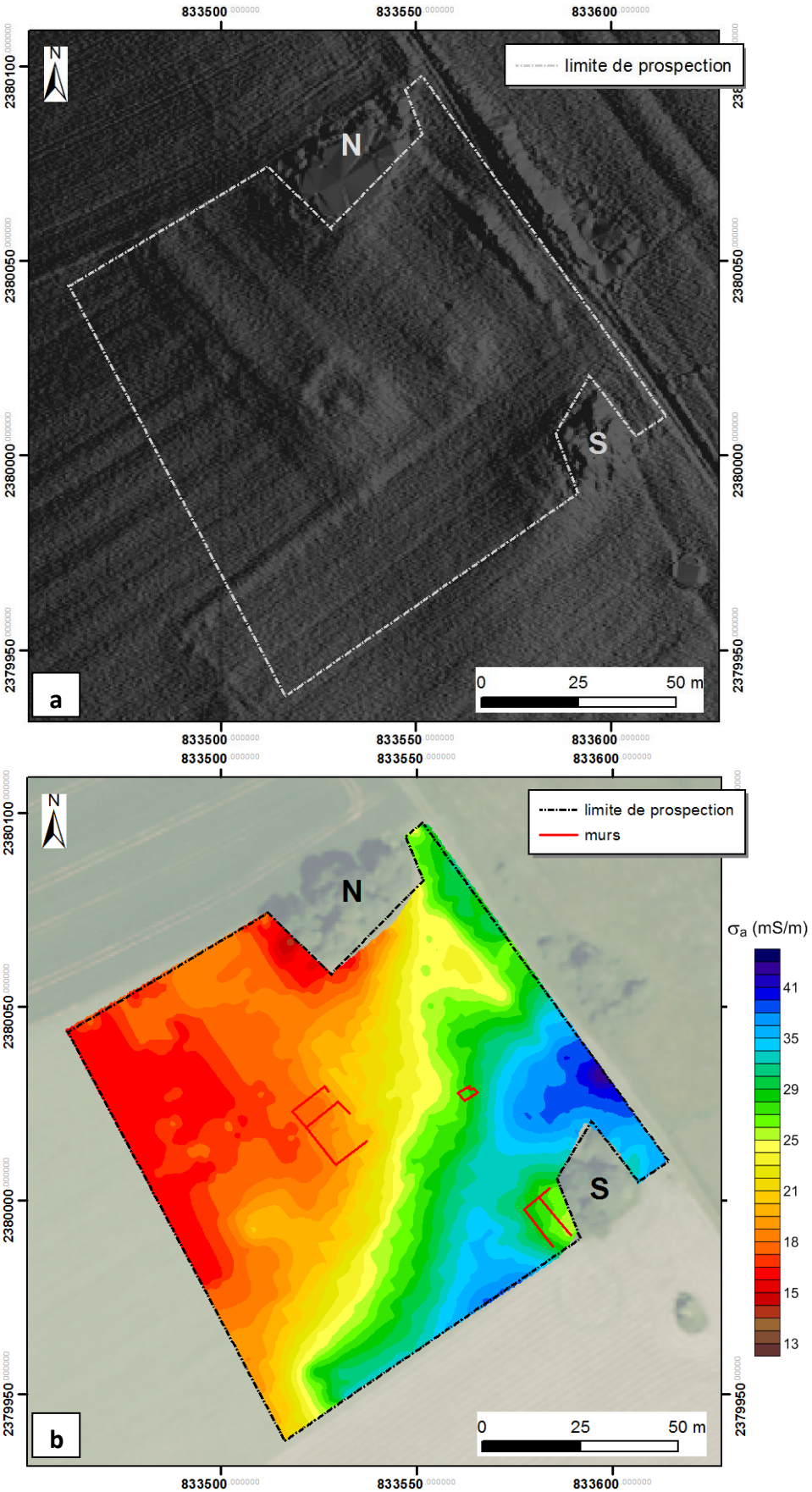


Figure 176. a. Image LiDAR (éclairage artificiel 10 m / 90°) et b. carte de conductivité électrique apparente (EM31) du secteur de La Violette (parcelle *36*).

Des anomalies résistantes locales sont visibles sur la carte. Elles se situent au niveau des bosquets et coïncident avec les pierriers ou le bâti mis en évidence par les autres méthodes. On notera une anomalie plus conductrice également visible sur photographie aérienne, reflétant les hétérogénéités du calcaire (cuvette naturelle ou artificielle).

- Conclusion

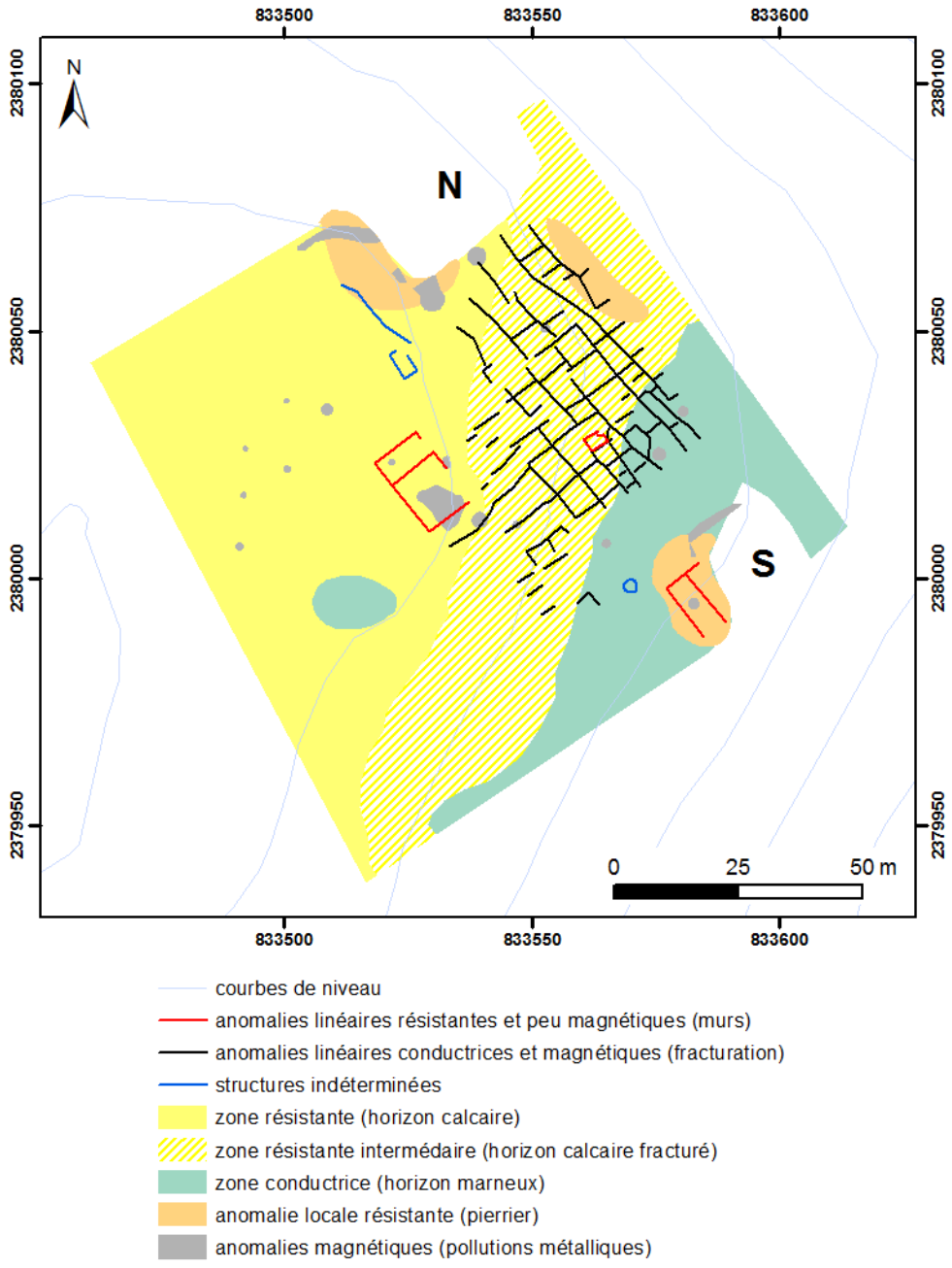


Figure 177. Carte d'interprétation du secteur de la « villa La Violette »

Après un report rigoureux des longueurs indiquées dans les archives de fouilles, on constate qu'un plan de synthèse correct est impossible à dresser. L'étude croisée des différentes données cartographiques (LiDAR, géophysiques, cadastres, photos aériennes) a permis de

déterminer l'emplacement de « l'écurie » et du « *fanum* ». Une partie de la « grange » a été détectée en limite du bosquet S tandis que la « *villa* » se trouve probablement recouverte par le bosquet N. Le bâtiment quadrangulaire n'a pu être repéré. Aucun indice d'autre construction n'est manifeste dans ce secteur mais peut se trouver noyé dans la réponse prédominante du substrat fracturé. Les « fractures » du calcaire (*cf* annexe) obéissant aux mêmes directions que celles du bâti compliquent l'identification des structures. Une prospection électrique plus étendue permettrait de poser les limites de cet habitat antique.

III. SYNTHESE

Les prospections réalisées avant 2008 ont consisté en essais (petites cartes ou profils-tests) épars sur des cibles très localisées. On pense par exemple aux tests de 1959 ou aux profils radar dans l'amphithéâtre et sur la mosaïque en 1989, qui tout en se révélant positifs et « prometteurs » n'avaient pas pour objectif de caractériser complètement l'objet visé. Les prospections anciennes ont donc fourni une information ponctuelle assez disparate ; trop peu étendues, elles étaient difficiles à interpréter si la cible présentait des caractéristiques inattendues. La reprise des données EM31 et gravimétriques de 1989, relatives aux tracés du « réseau karstique naturel » et du rempart, au sous-sol de l'église et de la place, montre ainsi que les résultats publiés ont été à la fois insuffisamment, et parfois mal, interprétés pour leur information géophysique et surinterprétés quant à leur signification archéologique.

La mise en œuvre de prospections systématiques des terrains situés *intra muros* et des terrains périphériques constituait donc une étape nécessaire dans l'appréhension de l'organisation spatiale de l'agglomération. Différentes techniques complémentaires de prospection ont été employées pour obtenir une meilleure description des structures enfouies. La vectorisation et le géoréférencement des anomalies cartographiées a permis de reconstituer un plan du bâti et de donner une vision d'ensemble du site. Leur assemblage dans le SIG met en évidence une trame urbaine structurée, plus développée que celle proposée au début des années 1990.

La restitution proposée en Figure 178 est liée à la répartition des surfaces prospectées. Certaines zones n'ont pu faire l'objet de prospections (obstacles matériels, autorisations refusées, *etc.*), créant des vides apparents sur la carte. Celle-ci renseigne sur la position et l'agencement des structures dont les propriétés contrastent suffisamment avec celles de l'encaissant. L'affleurement du substrat calcaire peut ainsi représenter un facteur limitant dans la détection de structures en dur. La prospection de la parcelle Duvaux (Champée-Marguerite) illustre cette remarque : le plan de la « *villa* » est très peu perceptible sur la carte magnétique. Ainsi, l'image présentée constitue-t-elle un plan d'occupation minimale.
Etant basée sur les données géophysiques, la carte interprétée offre une vision diachronique de l'espace urbain. Cependant, la présence signalée de vestiges gallo-romains dans tous les secteurs prospectés laisse présager qu'un bon nombre des zones bâties détectées date de l'époque antique.

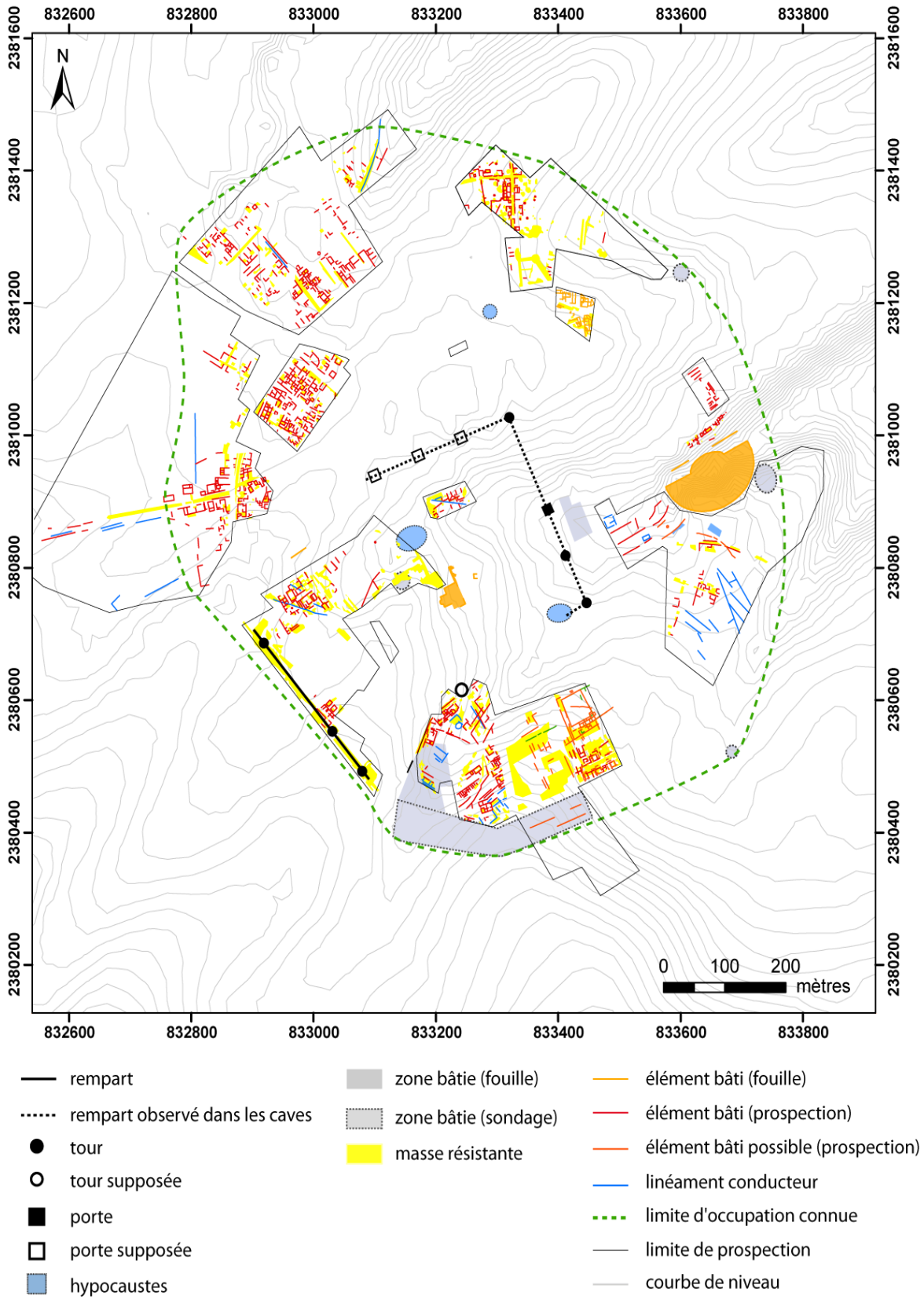


Figure 178. Proposition de restitution des traces d'occupation du site de Grand. Bâti révélé dans les zones prospectées.

- Repositionnement de fouilles anciennes

Les prospections géophysiques ont permis de localiser à l'écart du village les structures fouillées de la « *villa* La Violette ». A l'inverse, les prospections des parcelles *143* (NE *intra muros*) ou *17* (Grand jardin) se sont avérées peu concluantes pour visualiser le prolongement des vestiges mis au jour dans les sondages anciens. Un terrain remanié constitue en effet un environnement peu favorable. Les prospections de La Baronnie mettent en évidence des anomalies d'origine anthropique mais le bâtiment fouillé au 19ème siècle (« thermes ») n'a pas été situé précisément.

- Extension et organisation de l'agglomération

Les limites connues du site sont repoussées au-delà de la Voie close. La surface bâtie représente environ 80 ha, compris dans le périmètre figuré en traits pointillés verts.

A l'extérieur du rempart, des ensembles bâtis se profilent au nord, au sud et à l'est. Les terrains situés à l'ouest n'ont pas été prospectés.
Au **nord**, une zone d'habitat organisée en quartiers se développe depuis l'enceinte jusqu'aux champs périphériques. Elle se trouve en partie recouverte par les habitations actuelles.
Au **sud**, plusieurs villas appuyées au rempart sont implantées en bordure de vallon. La cartographie d'un réseau d'anomalies bien structurées permet à présent de nuancer l'impression d'isolement de ces installations. Un habitat s'étend depuis la section sud de l'enceinte jusqu'au Chemin des Remparts. Le dégagement de constructions au niveau du lotissement du Moulinet, les découvertes réalisées dans le champ contigu à la route et le four trouvé dans le fossé de la route de Liffol montrent que la zone s'étend au sud du « pomerium ».
A l'**est**, des traces d'habitat sont mises en évidence de part et d'autre du talweg La Roche, entre le rempart et l'amphithéâtre, et le long de la voie orientale. L'éperon rocheux au sud de l'amphithéâtre n'a pas révélé de traces d'aménagement. La réponse d'éventuelles structures a pu être noyée dans celle du substrat fracturé, surtout s'il s'agit de constructions légères (secteur fouillé dit « des boutiques »).

A l'intérieur du rempart, le secteur du Grand jardin comprend plusieurs ensembles bâtis répartis sur les flancs du vallon. L'espace enclos par le rempart et le portique ouest a donc connu une occupation passée et ne peut être considéré comme vierge de constructions.

Une carte de répartition des secteurs bâtis reconnus (Figure 179) a été établie en fonction de l'orientation des constructions. Une même couleur a été appliquée aux zones présentant un axe structural identique, sur lequel s'alignent des groupes d'anomalies. Des tracés noirs indiquent ces directions principales (orthogonales). Ils ne symbolisent pas les voies restituées, même si la position de certains peut correspondre avec l'emplacement de voies avérées. Les segments de voies détectés sont représentés en rouge.

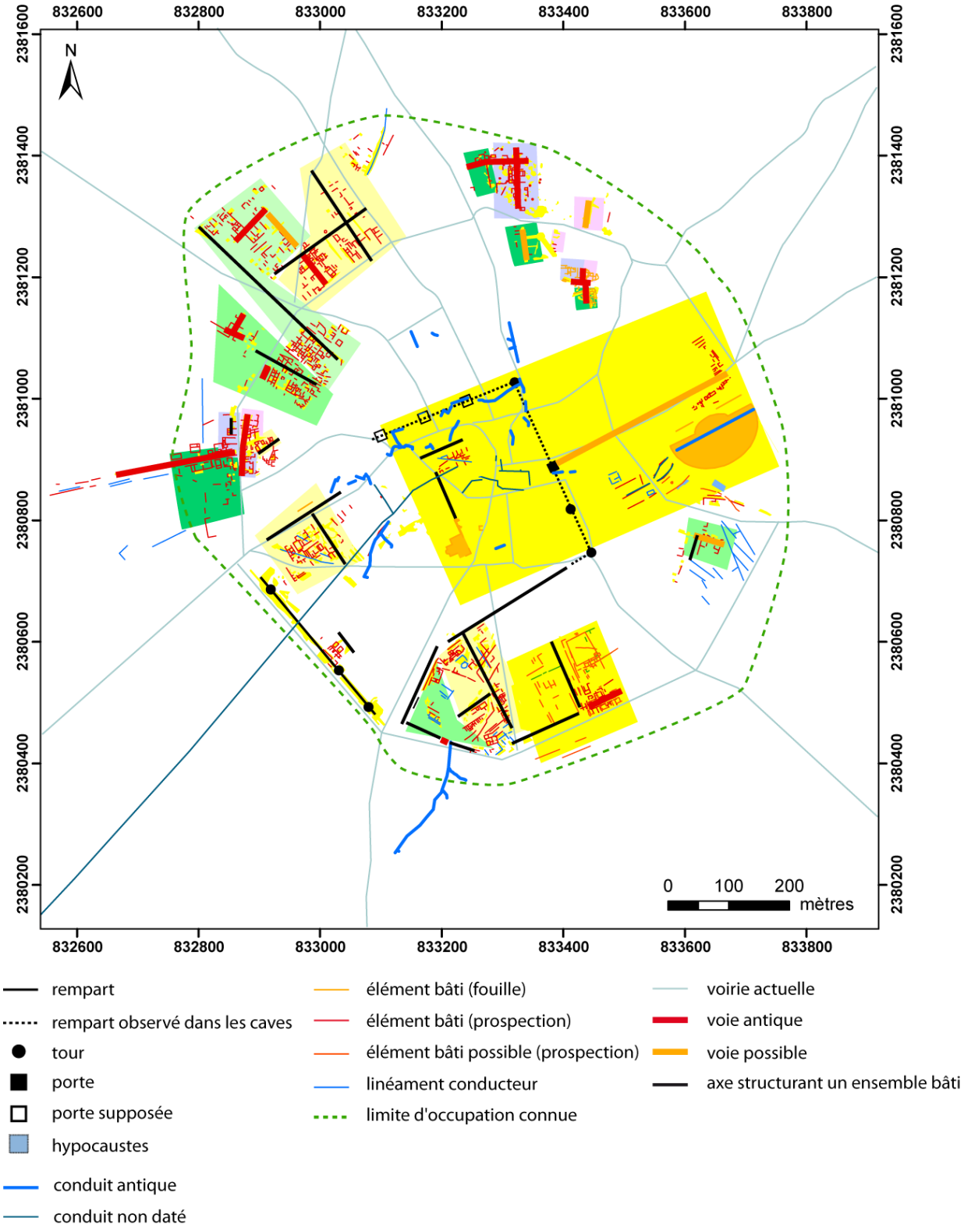


Figure 179. Organisation des structures : mise en évidence des ensembles présentant une orientation identique. Une couleur est associée à une direction majeure (en noir) structurant un groupe ordonné de vestiges. Les voies reconnues sont figurées en rouge.

L'image obtenue met en évidence une organisation radiale du faisceau d'axes dont la structure peut être rapprochée de celle du réseau viaire moderne. 6 ou 7 directions principales se dégagent de l'ensemble. L'existence d'une voie ancienne périphérique qui aurait fossilisé dans le parcellaire sous la forme de la Voie close actuelle semble être confirmée par la détection de tronçons au sud et au NO.
Au centre et au sud, l'implantation des constructions est fonction de la topographie des talwegs : les légères déflexions marquées par les directions du bâti s'expliquent par celles du vallon. Elles sont reprises par les sections du rempart. L'orientation (jaune et jaune pâle) qui domine est celle donnée par la voie qui mène à l'amphithéâtre.
Ce découpage ne correspond pas nécessairement à une répartition par quartiers distincts mais peut renseigner sur des phases d'occupation différentes et sur l'évolution de la trame urbaine.

- Réseau hydraulique

➢ Prospections anciennes

A partir des mesures géophysiques récupérées dans le dossier EDF (1990, 1993), aucune information probante n'a pu être tirée sur l'aménagement souterrain ou sur les circulations d'eau au centre du village (place des Halles). Les données rendent compte de l'état remanié du sous-sol de la place. A l'aplomb de l'église un déficit de masse a été mis en évidence. Le cheminement du conduit karstique repéré dans le puits dit « derrière la mosaïque » n'est pas identifié en amont de la rue du Bois. Les données EM31 du terrain de sport ne suffisent pas à prouver son existence ainsi qu'il a été affirmé dans les publications. Il est possible qu'un drain karstique soit développé sous le talweg Nord mais cette hypothèse demande à être vérifiée.

➢ Nouvelles prospections

En imageant les canalisations métalliques, les prospections ont permis de localiser sur plusieurs centaines de mètres le passage des galeries « Paramel » (conduit C2) et de la Fontainotte (conduit C1). Aux lieux-dits *La Baronnie, La place* et *Grand jardin*, plusieurs anomalies linéaires résultent de l'aménagement de drains récents mais pourraient être associées à des structures plus anciennes.

Des conduits maçonnés antiques situés à faible profondeur ont également été détectés. Les cartes électriques de la parcelle *15* (*Grand jardin*) permettent de repositionner plus exactement le tracé de la galerie dite du « Groupe scolaire » (conduit C3).

Lorsque des informations complémentaires sont disponibles, il est possible de dégager parmi l'ensemble des anomalies cartographiées celles qui sont créées par des structures du réseau hydraulique. La fouille INRAP de la parcelle *50*, les photographies aériennes de *La Maladière* et le rapport d'exploration spéléologique du conduit A10 ont ainsi permis d'identifier certaines anomalies résistantes comme des citernes ou des puits (grâce au dégagement du puisard à l'angle NO de la zone fouillée, au géoréférencement des anomalies circulaires dans les champs Nord et de la cheminée d'accès situé entre les puits *75* et *222* dans la parcelle *18*).

- Relations réseau hydraulique/bâti

On observe (Figure 180) que certaines branches du réseau suivent les axes de la voirie actuelle : Grande rue, rue des Roises et peut-être rue de Joinville.

La connexion entre la Fontainotte et les abords de l'église, révélée par un traçage des eaux dans les années 1970, est réalisée *via* une conduite en fonte (prospections géophysiques). Aucun élément ne permet d'affirmer que ce drain d'époque récente, chargé d'alimenter les abreuvoirs publics, a été posé dans un conduit antique. L'aménagement romain semble donc desservir la zone d'habitat Sud. Dans ce cas le détournement des eaux du talweg Sud au profit de la résurgence ne trouve pas d'argument.

L'approvisionnement en eau des bâtiments dotés d'hypocaustes se trouve facilité par leur implantation dans l'axe des vallons, sur le trajet d'écoulement naturel des eaux.

- « thermes » de la rue de la Coulotte : talweg Nord
- « thermes » de la rue de Liffol : talweg Sud
- hypocauste du chemin des Remparts : talweg Sud
- « thermes » de La Baronnie : talweg La Roche

L'alimentation du bâtiment de la rue des Roises, qui se trouve en position haute, se fait peut-être par un drain qui emprunte le couloir amont de la combe des Roises. Ce système, s'il existe, pourrait également desservir les quartiers Nord. L'identification des puits et des citernes antiques permettrait de préciser les moyens d'alimentation en eau des différents ensembles bâtis.

Le système d'évacuation des eaux usées est reconnu dans la partie avale du réseau. Contraint par la morphologie du vallon, le tracé de l'égout est décalé par rapport à la voie orientale et traverse l'amphithéâtre.

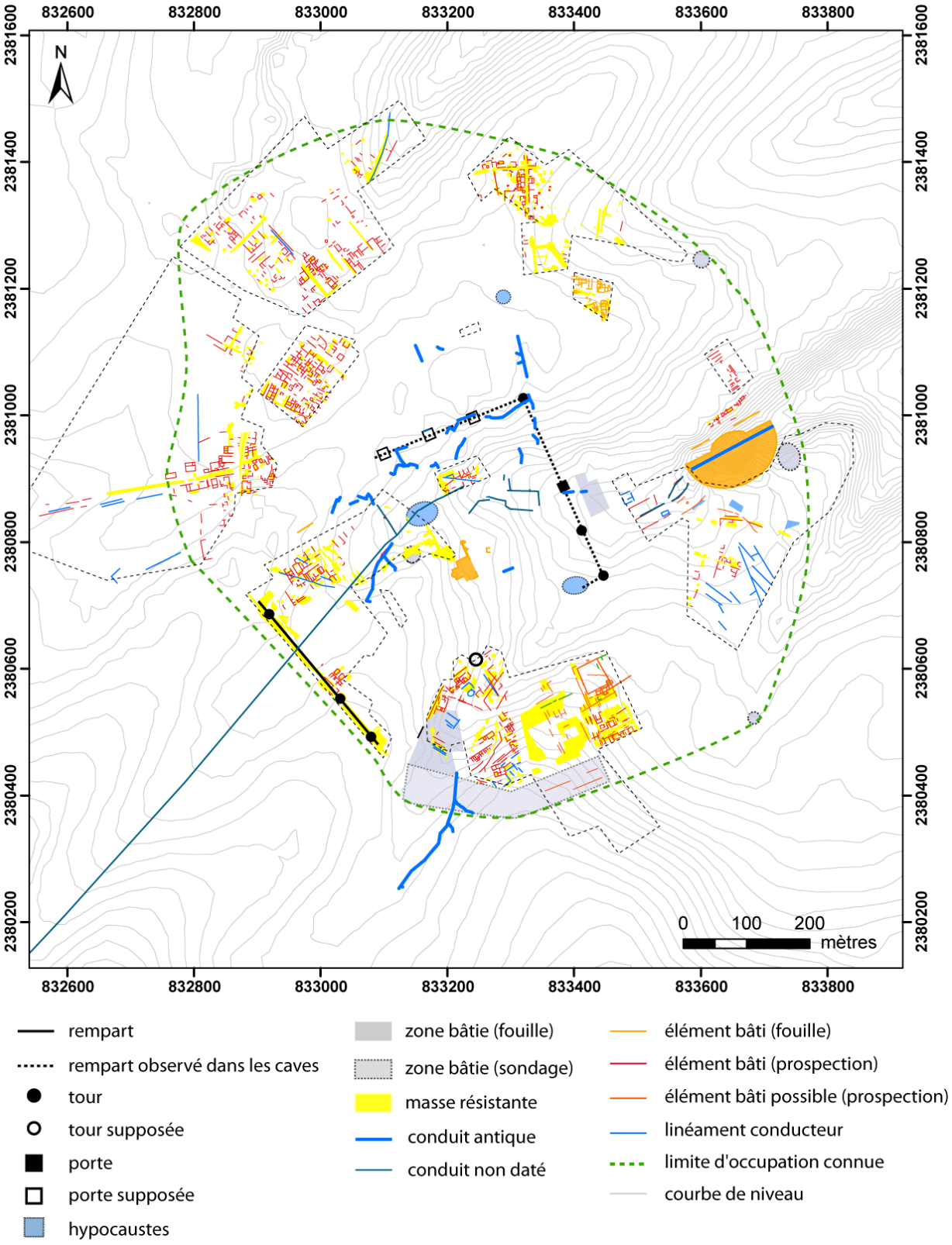


Figure 180. Mise en relation du réseau souterrain et des éléments bâtis supposés antiques révélés dans les zones de prospection géophysique (délimitées par des traits pointillés noirs).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

A Grand, l'étude de la gestion des ressources en eau à l'époque antique s'inscrivait dans un contexte général de remise en perspective des problématiques du site. Comme pour les autres thématiques abordées (habitat, durée d'occupation, épigraphie, …), ce travail contribue à départager les faits observés des faits restitués, dont l'interprétation a pu être biaisée par une série d'hypothèses trop hâtivement formulées comme celle d'un sanctuaire à Apollon. On a donc fait le point sur l'état connu du réseau hydraulique, sur les résultats des études géophysiques et hydrologiques anciennes. On a apporté de nouvelles données sur l'hydrogéologie locale et sur l'organisation spatiale du site. On a proposé un plan d'ensemble de l'agglomération à partir des anomalies détectées qui ouvre de nouvelles perspectives de recherches.

L'agglomération a dû dès l'Antiquité mettre en place un système d'approvisionnement en eau adapté à la géologie du plateau calcaire. La difficulté rencontrée par les habitants du Haut-Pays aux époques modernes et contemporaines pour trouver des solutions satisfaisantes avait très tôt soulevé des interrogations quant aux moyens d'alimentation en eau de la ville gallo-romaine. Les recherches menées aux 19ème et 20ème siècles avaient permis de découvrir dans le sous-sol du site de nombreux vestiges anciens - drains et puits. La question de l'approvisionnement de la ville restait cependant entière puisque les premières hypothèses limitaient l'utilisation de l'eau à l'alimentation d'un plan d'eau cultuel. Pour parvenir à saisir la structure et le fonctionnement du réseau hydraulique, il était nécessaire de caractériser l'environnement hydrogéologique du site, décrire l'aménagement en lui-même puis établir les relations entre les systèmes d'adduction/évacuation et le tissu urbain. La connaissance de l'organisation générale de la ville était donc une étape incontournable.

- L'environnement hydrogéologique

Nos travaux ont montré que l'implantation de l'agglomération au contact de deux formations de l'Oxfordien calcaire bénéficie d'un contexte hydrogéologique local favorable. Un aquifère superficiel karstifié situé à la base de l'Oxfordien supérieur a été exploité. La recharge potentielle est importante en raison d'une pluviométrie régionale élevée ; les débits potentiels mis en jeu dans les limites du bassin versant suffisent à l'alimentation de la ville. D'après les observations passées, un drainage de la nappe a été mis en place au moyen de galeries et de puits peu profonds, recoupant des conduits karstiques et récupérant les eaux d'infiltration, et des systèmes de stockage ont été utilisés. La présence d'une mince couche d'argile atteinte par les structures aurait conditionné le développement du réseau.

Pour caractériser les ressources et l'aquifère drainé, des prospections géophysiques ont été réalisées sur le territoire communal. Les résultats permettent de préciser la stratification des couches géologiques, mal appréhendée dans le secteur. Les études géomorphologiques

soulignent en effet la grande variabilité des faciès lithologiques composant le revers de Côte de Meuse. L'alternance des bancs calcaires et marno-calcaires entraîne l'existence de niveaux aquifères et aquicludes, en particulier à la base de l'Oxfordien supérieur ; elle rend possible les retenues d'eau superficielles et le développement de karst. D'après les résultats d'inversion (données de sondages RMP, électriques, TDEM, profil ERT) et la carte EM31, les deux unités calcaires présentent des propriétés électriques et des caractéristiques hydrodynamiques bien distinctes. L'aquifère de l'Oxfordien moyen apparait comme une formation électriquement résistante (peu d'argile), relativement homogène, une teneur en eau libre élevée, tandis que l'Oxfordien supérieur, plus hétérogène, comprend une succession de couches conductrices insérées dans des niveaux électriquement résistants mais où la teneur en eau libre globale est 3 à 5 fois plus faible. Le mur de l'Oxfordien supérieur, contact avec l'Oxfordien moyen, est assuré par une couche conductrice pouvant correspondre aux Marnes de Maxey, d'après la stratigraphie de C. Carpentier. Elle est mise en évidence au sud de Grand et détectée en profondeur. Les résultats partiels suggèrent que ce niveau se poursuit à l'intérieur du village mais ne permettent pas de le positionner précisément. L'absence d'accessibilité à une partie des parcelles a gêné les investigations géophysiques et n'a pas permis d'entreprendre toutes les prospections envisagées.
La poursuite de ces prospections doit être mise en place pour compléter les données existantes, proposer un positionnement plus fin des bancs marneux et définir l'extension de l'aquifère drainé. La liaison entre les paramètres géophysiques et hydrogéologiques des aquifères pourrait être améliorée par des essais de pompage. L'analyse d'échantillons (provenant de forages, ou à défaut, de ramassages de surface guidés par les variations latérales de résistivité) aiderait à identifier les niveaux en présence.

- Les réseaux

Si le réseau hydraulique antique était apparu comme exceptionnel à la suite des explorations spéléologiques menées jusqu'en 1980, il n'avait fait l'objet d'aucune synthèse publiée. Un inventaire des tronçons reconnus a donc été réalisé à l'aide des rapports d'explorations et de fouilles qui ont pu être consultés. Les conduits mentionnés dans ces rapports et figurant sur la carte restituée du réseau, publiée dans les années 1990, ont été identifiés et localisés. Des vérifications topographiques ont été menées en 2010 dans les galeries accessibles restaurées au 19ème siècle. Cependant les observations ainsi récolées ne sont pas encore assez denses pour permettre une analyse à partir du SIG.

Le développement cumulé du réseau exploré supposé antique atteint 2 km, voire 4 km si l'on prolonge les tronçons visités jusqu'aux connexions possibles. En l'état des connaissances, il est aussi difficile de départager les conduits d'adduction et d'évacuation des eaux usées, que les conduits antiques abandonnés, les conduits remployés et les conduits modernes.
La localisation, même approximative, des conduits montre qu'ils drainent les eaux circulant à l'intérieur du bassin versant topographique du site. Ils suivent un plan incliné qui assure l'écoulement gravitaire des eaux vers l'intérieur de l'agglomération. Ils sont creusés dans le substrat, parementés et dallés selon la nature des terrains traversés ; leur tracé est souvent contraint par la fracturation et guidé par la morphologie des combes. *In fine,* le circuit

d'écoulement naturel est repris par la *cloaca* dans le sous-sol de l'amphithéâtre. La confluence des deux talwegs en amont de la combe La Roche, au niveau de la place des Halles, et le raccord probable des drains au collecteur principal ou aux installations publiques (lavoir, abreuvoir, *etc.*), pourraient expliquer l'aspect convergent des conduits (antiques et modernes) vers l'église. L'alimentation d'une source située à l'angle NO de l'édifice n'est pas démontrée.
La couche de marne d'épaisseur métrique présente dans la moitié ouest du village et atteinte par les conduits, ne peut être délimitée, en dépit des données de fouilles et des profils ERT. De nouvelles observations dans les conduits et les puits accompagnées de levés topographiques précis, ainsi qu'une reconnaissance géophysique (radar, électrostatique) sont indispensables pour déterminer la position du (ou des) horizon(s) marneux et des structures drainantes.

La reprise des données anciennes issues de l'exploration spéléologique et des études menées dans le cadre du Mécénat technologique EDF met en lumière la surinterprétation des résultats. Les hypothèses relatives à la source « sacrée », à la « mare sacrée » et au « réseau karstique » sont fragiles voire contradictoires. L'ancienne « résurgence » n'est actuellement pas localisée. L'étude du sous-sol de la place montre un milieu très hétérogène et perturbé par les aménagements successifs. Les données des prospections radar (1989) n'ayant pu être retrouvées, une nouvelle campagne couvrant la place des Halles aiderait à localiser les structures enfouies, naturelles et anthropiques.

Enfin, les circulations souterraines, complexes à l'aplomb du village, sont difficiles à appréhender : d'une part à cause de l'anisotropie et l'hétérogénéité inhérentes au milieu karstique, et d'autre part car elles ont pu être modifiées par les bouleversements modernes du terrain, par le colmatage des drains ou la dégradation des conduits maçonnés. Il semblait donc pertinent d'entreprendre leur reconnaissance à la suite du bilan des structures drainantes connues. Les tests préliminaires effectués en 2011 montrent une correspondance entre la distribution des températures et des conductivités de l'eau et les circuits imposés par les conduits ; malheureusement, excepté le suivi piézométrique autour de l'église, les mesures hydrologiques de 1989 n'apportent aucune information exploitable.

Une étude hydrogéologique complète (mesures piézométriques, mesures de débits, traçages des eaux), qui n'a pu aboutir dans le cadre de ce travail, devrait permettre, sur le plateau comme sur le site, de déterminer les modalités de circulation au sein des calcaires karstifiés, de quantifier les débits mis en jeu et d'identifier l'exutoire du système. Cette approche permettrait d'envisager un recours éventuel à des solutions annexes de drainage hors du bassin versant, imposé par des déficits en période de basses eaux. Les recherches menées au sud de Grand ne permettent pas d'établir l'existence d'un conduit desservant les « thermes de la rue de Liffol » depuis Bréchainville ou Aillianville, qui est suggérée par la bibliographie. L'indétermination sur l'origine des anomalies linéaires détectées en prospections géophysiques et sur les photographies aériennes pourrait être levée par l'ouverture de sondages archéologiques sur leur tracé. Quoi qu'il en soit, si l'on se base sur la surface du

bassin versant topographique associée au tracé théorique, un développement du drain jusqu'à la source de Sauveuil aurait fourni un complément appréciable au site.

- Le plan d'ensemble de l'agglomération

Pour saisir l'articulation du réseau hydraulique avec le reste du bâti, une connaissance préalable de la trame urbaine antique était requise. Or si les découvertes passées avaient révélé l'importance de l'agglomération, aucune étude globale n'avait encore été menée. Des campagnes de prospections géophysiques ont été organisées à partir de 2008 pour une reconnaissance systématique des espaces accessibles, à l'intérieur du chemin circulaire et dans les champs périphériques. Les techniques d'investigation non destructive (géophysique, photographie aérienne) avaient très tôt été employées à Grand. Un bilan recensant les opérations géophysiques passées (de 1959 à 1989) a été dressé et les données réétudiées. L'absence de carte archéologique complète et objective a également conduit à examiner les archives de fouille et les publications anciennes pour y relever les découvertes touchant les secteurs prospectés.

Les données nouvelles ont été traitées et interprétées en regard des informations archéologiques, des cadastres napoléoniens et des photographies aériennes. Les résultats mettent en évidence la présence de vestiges dans la plupart des secteurs prospectés. Un plan d'occupation diachronique a ainsi été proposé, après géoréférencement de toutes les données.
La poursuite de la construction de la base de données archéologiques du site et la réalisation de sondages archéologiques permettront à terme d'identifier l'origine des anomalies cartographiées et la nature des structures. Les liens unissant le réseau hydraulique antique (citernes, puits, drains) et le tissu urbain (habitats, bâtiments publics, voirie, …) pourront alors être précisés et les modes d'approvisionnement des différentes espaces du site être complètement reconnus.

REFERENCES

Abdulkarim M., **Charpentier** G. - « La gestion de l'eau dans un village des campagnes de la Syrie du Nord », *in* Al-Dbiyat M. et Mouton M. - *Stratégies d'acquisition de l'eau et société au Moyen-Orient depuis l'Antiquité*. Presses de l'Ifpo, Beyrouth, 2009, 149-156.

Albouy M., **Bertaux** J.-P., **Delétie** P. - « L'intervention du mécénat technologique et scientifique d'Electricité de France sur le site antique de Grand (1989-1993) », *in Annales de la Société d'émulation du département des Vosges*. Epinal, n°8, 1990-1994, 7-14.

André O., **Bertaux** V. - « Les aqueducs souterrains construits par les Romains », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule. Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991a, 34-36.

André O., **Bertaux** J.-P., **Nion** S - « Les ressources hydrauliques du site », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule. Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991b, 82-83.

André O., **Bertaux** V., **Masson** L., **Ziller** E. - « Les cheminements préférentiels de l'eau », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule*. *Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991c, 74-76.

Aubry L. - *Acquisition, traitement et restitution des données d'une reconnaissance archéologique : la ville gallo-romaine du Vieil-Evreux*. Thèse de doctorat. Université Paris 6, 2003, 228 p.

Bakalowicz M. - *Connaissance et gestion des ressources en eau souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3*. Lyon, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 1999.

Berçot J.-C. - *Rapport sur le sondage effectué à Grand (Vosges) en juillet 1965.* Rapport dactylographié, 1965, [13 p.]

Berçot J.-C. - *Théâtre romain. Grand. Vosges.* Rapport de fouille. Antiquités Historiques de Lorraine, 1966, [46 p.]

Berçot J.-C. - *Théâtre romain. Grand. Vosges*. Rapport de fouille. 1967, [22 p.]

Berçot J.-C. - *Rapport sur les fouilles effectuées à Grand en juillet 1968*. Rapport de fouille dactylographié. 1968, [30 p.]

Berçot J.-C. - *Vosges. Grand. « La Violette »*. Rapport de fouille dactylographié, 1969, [29 p.]

Berçot J.-C. - *Chantier de La Violette à Grand*. Rapport de fouille dactylographié, 1970, [41 p.]

Berçot J.-C. - *Fouilles de Grand (88). Villa gallo-romaine de La Violette (campagne 1971)*. Rapport de fouille dactylographié, 1971, [38 p.]

Berçot J.-C. - *Vosges. Grand. « La Violette »*. Rapport de fouille dactylographié. Lorraine Antiquités Historiques. Ministère des Affaires Culturelles, 1972, [35 p.]
.
Berçot J.-C. - *Fouilles de Grand (88). Villa gallo-romaine de La Violette (campagne 1973)*. Rapport de sondage dactylographié. Lorraine Antiquités Historiques. Secrétariat d'état à la culture, 1973a, [7 p.]

Berçot J.-C. - *Fouilles de Grand (88). Ensemble gallo-romain de La Violette. Rapport de synthèse*, Rapport de fouille, 1973b, [11 p.]

Berçot J.-C. – « Une villa gallo-romaine découverte à Grand (Vosges) », *in Le Pays lorrain*, 1974, 31-35.

Bertaux Ch., **Pineau** J.-P. - *Grand. Villa de « La Violette »*. Ministère des Affaires Culturelles, 1968, [20 p.].

Bertaux Ch - *Grand (Vosges). Etude archéologique et topographie antique*. Mémoire de maîtrise. Université Nancy 2, 1974, 213 p.

Bertaux Ch. - *Grand. Vosges. Topographie antique. L'enceinte gallo-romaine (campagne 1977)*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1977, [13 p.]

Bertaux Ch. - *Grand. Vosges. Recherches sur le rempart gallo-romain*. Rapport de fouille programmée. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1979, [12 p.]

Bertaux Ch. - *Recherches sur l'enceinte gallo-romaine*. Rapport de fouille programmée. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1980, [24 p.]

Bertaux Ch. - *Recherches sur l'enceinte gallo-romaine*. Rapport de fouille programmée. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1981, [24 p.]

Bertaux Ch. - *Rapport de synthèse 1982 sur les travaux effectués de 1975 à 1982*. Ministère de la Culture, 1982, [36 p.]

Bertaux Ch. – « L'état des recherches sur l'enceinte de Grand (Vosges) », *in* Burnand Y. (dir.) - *Etudes d'architecture gallo-romaine*. Presses universitaires de Nancy, 1983, 65-90.

Bertaux Ch. – « Nouvelles données sur l'économie architecturale de l'enceinte gallo-romaine de Grand », *in Annales de la Société d'émulation des Vosges*. Epinal, 1985, 5-18.

Bertaux J.-P. - *Etude des conduits souterrains de Grand*. Rapport dactylographié, 1964, 21 p.

Bertaux J.-P. - *Grand. Puits antique (fouilles 67-68).* Rapport de fouille dactylographié. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1968, [62 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Assainissement 1969*. Rapport de fouille dactylographié. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1969, 33 p.

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Hydrologie antique. Bilan de dix années de recherches spéléo-archéologiques*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1974a, [13 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Hydrologie antique. Recherches spéléo-archéologiques (campagne 1974)*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1974b, [39 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Hydrologie antique. Recherches spéléo-archéologiques (campagne 1975)*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1975, [17 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Hydrologie antique. Recherches spéléo-archéologiques. (campagne 1976)*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1976, [25 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Hydrologie antique. Recherches spéléo-archéologiques. (campagne 1977)*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1977, [8 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Hydrologie antique. Recherches spéléo-archéologiques. (campagne 1978)*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1978, [27 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Recherches d'hydro-archéologie (campagne 1979)*. Rapport de fouille programmée. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1979a, [49 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Surveillance archéologique des travaux d'assainissement (fouille de sauvetage n°78/01)*. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1979b, [10 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Recherches d'hydro-archéologie (campagne 1980)*. Rapport de fouille programmée. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1980a, [39 p.]

Bertaux J.-P. - *Sauvetage urgent (n°80/05, 7bis). Grand « Village » Vosges. Travaux d'assainissement - 9ème tranche*. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1980b, [5 p.]

Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Recherches sur l'hydraulique gallo-romaine (campagne 1981)*. Rapport de fouille programmée. Direction régionale des Antiquités Historiques de Lorraine, 1981, [43 p.]

Bertaux J.-P. – « La prospection tellurométrique des structures architecturales enfouies à partir de l'exemple de l'enceinte de Grand (Vosges) », *in* Burnand Y. - *Etudes d'architecture gallo-romaine*. Presses universitaires de Nancy, 1983, 91-104.

Bertaux J.-P., **Loiseau** M. – « Du document graphique... à la photographie aérienne : la recherche archéologique à Grand », *in Annales de la Société d'émulation des Vosges*. Epinal, 1986, 3-12.

Bertaux J.-P. - *Grand. Etude du site. Réseau hydrogéologique. Recherches géophysiques/Mécénat technologique.* Note interne. Direction des Antiquités de Lorraine, 1989, [9 p.]

Bertaux J.-P. – « Le sanctuaire de l'eau », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule*. *Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991, 38-41.

Bertaux J.-P., **Delétie** P., **Haguenauer** B. – « Les conduits souterrains de Grand (Vosges). Un aménagement hydraulique au 1er siècle après J.-C. », *in Tunnels et ouvrages souterrains*. n°120. 1993a, 311-317.

Bertaux J.-P., **Delétie** P., **Lemoine** Y. – « De la truelle... au radar : 30 années de recherches géophysiques à Grand (Vosges) », *in BLESA*, 1, 1993b, 235-246.

Bertaux J.-P., **Delétie** P. - *Grand-Vosges. L'église paroissiale Sainte-Libaire. Les données hydrogéologiques*. Rapport SRA, 1997, [14 p.]

Billoret R. - *Fouilles de Grand (Vosges). Campagne de juillet-août 1962*. Rapport dactylographié, 1962, [8 p.]

Billoret R. - *Fouilles de Grand (Vosges). Campagne de juillet-août 1963*. Rapport dactylographié. Secrétariat à la Culture, 1963a, [13 p.]

Billoret R. – « Grand. Le site gallo-romain. Les nouvelles fouilles 1960-1962. La mosaïque », *in Le Pays lorrain*. Nancy, 1963b, 49-76.

Billoret R. - *Fouilles de Grand (Vosges). Campagne de juillet-août 1964*. Rapport dactylographié, 1964.

Billoret R. – « Les fouilles de la Société d'archéologie lorraine à Grand, campagne 1965 », *in Le Pays lorrain*. Nancy, 1965, 147-150.

Billoret R. – « Circonscription de Lorraine », *in Gallia*. 24, fasc 2, 1967, 397-305.

Billoret R. – « Circonscription de Lorraine », *in Gallia*. 26, fasc 2, 1969, 395-403.

Billoret R. – « Circonscription de Lorraine », *in Gallia*. 28, fasc 2, 1971, 304-313.

Billoret R. – « Circonscription de Lorraine », *in Gallia*. 34, fasc 2, 1976, 372-375.

Billoret R. - *Grand. Amphithéâtre gallo-romain. Campagne de fouilles 1977*. Rapport dactylographié, 1977, [20 p.]

Billoret R. - *Grand. La Roche. Amphithéâtre gallo-romain. Campagne de fouilles de 1978*. Rapport dactylographié. Antiquités Historiques Lorraine, 1978, [39 p.]

Bobée C. - *Etude de la ressource en eau et de sa gestion dans l'agglomération gallo-romaine de Cassinomagus (Chassenon, Charente)*. Thèse de doctorat. Université Paris 6, 2007, 381 p.

Boulanger-Bouchet K. - *Grand (Vosges), Rue de l'Amphithéâtre*. Rapport de fouille INRAP. Metz, 2006, 232 p.

Boyette F. – « Comptes-rendus des travaux spéléo-archéologiques à la ville antique de Grand (1973) », *in* Bertaux J.-P. - *Grand. Vosges. Hydrologie antique. Recherches spéléo-archéologiques (campagne 1974)*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1974, [4 p.]

Braemer F., **Davtian** G. – « L'eau du Hauran : captage et gestion depuis le Bronze ancien », *in* Al-Dbiyat M. et Mouton M. - *Stratégies d'acquisition de l'eau et société au Moyen-Orient depuis l'Antiquité*. Presses de l'Ifpo, Beyrouth, 2009, 45-68.

Brinon C., **Simon** F.-X., **Tabbagh** A. – « Rapid 1D/3D inversion of shallow depth resistivity multipole data: examples in archaeological prospection», *in Geophysics*, 2012, sous presse.

Bruxelles L. – *Dépôts et altérites des plateaux du Larzac central : Causses de l'Hospitalet et de Campestre (Aveyron, Gard, Hérault). Evolution morphogénétique, conséquences géologiques et implications pour l'aménagement*. Thèse de doctorat. Université de Provence – Aix Marseille 1, 2001.

Burnand Y. – « Circonscription de Lorraine », *in Gallia*. 36, fasc 2, 1978, 339-344.

Burnand Y. – « Circonscription de Lorraine », *in Gallia*. 38, fasc 2, 1980, 426-430.

Burnand Y. – « Circonscription de Lorraine », *in Gallia*. 40, fasc 2, 1982, 340-343.

Burtin B., **Ferrus** J. – « Les forages de contrôle : l'endoscopie », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule. Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991, p. 81.

Carpentier C. - *Géométries et environnements de dépôt de l'Oxfordien de l'Est du Bassin de Paris*. Thèse de doctorat. Université Nancy 1, 2004, 472 p.

Caylus Comte de - *Recueil d'antiquités égyptiennes, étrusques, grecques, romaines et gauloises*. Paris, 1764, t. 6, 349-352.

Chalikakis K. - *Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques*. Thèse de doctorat. Université Paris 6, 2006, 217 p.

Dechezleprêtre T. - *L'agglomération de Grand (Vosges). Rapport de prospection thématique.* Conseil Général des Vosges, 2008, 32 p.

Dechezleprêtre T. (dir.) - *L'agglomération de Grand (Vosges). Projet collectif de recherche.* Rapport d'activité. Conseil Général des Vosges, 2009, 110 p.

Dechezleprêtre T. (dir.) - *L'agglomération antique de Grand (Vosges). Projet collectif de recherche 2009-2011*. Rapport d'activité. Conseil Général des Vosges, 2010, 138 p.

Dechezleprêtre T., **Tur** J.-M., **Astier** M.-B., **Trommenschlage**r L., **Pieters** M. – « Les sondages archéologiques de la rue du Ruisseau : présentation liminaire », *in* Dechezleprêtre T. (dir.) - *L'agglomération antique de Grand (Vosges). Projet Collectif de Recherche 2009-2011*. Conseil Général des Vosges, 2010, 38-71.

Delétie P. (dir.) - *Géosciences et archéologie. L'exemple du sanctuaire gallo-romain de Grand, Vosges*. EDF/ADMITECH, 1993, 96 p.

Delétie P., **Bertaux** J.-P. – « Géosciences et archéologie : l'exemple du sanctuaire des eaux de Grand (Vosges) », *in L'eau, la santé et la maladie dans le monde grec. Bulletin de correspondance hellénique*. Suppl. 28. Paris, 1994, 345-356.

Denys É. - *Le karst de contact lithostratigraphique du plateau du Haut-Pays : exemple dans la forêt de Trampot (Vosges)*. Mémoire de M1. Université Nancy 2, 2005, 154 p.

Denys-Thomas É. - *Ressources en eau, écoulement de surface et souterrain sur le revers de la côte de Meuse : exemple de la région de Grand (plateau du Haut-Pays)*. Mémoire de M2. Université Nancy 2, 2006, 136 p.

Devos A. - *Hydrologie et aménagements hydrauliques de la Saulx et de l'Ornain (Lorraine)*. Thèse de doctorat. Université de Metz, 1996, 444 p.

Devos A., **Lejeune** O., **Butaeye** D., **Barbin** V. - *Front de karstification et modalités de vidange aquifère en milieu crayeux : l'exemple du bassin de la Vesle en amont de Reims (Marne/France)*. Rapport annuel PIREN Seine, 2005, 25 p.

Gamez P. – « Quelques problèmes d'aménagement et d'environnement dans les zones karstiques lorraines », *in Saar-Lor-Lux. Problèmes de l'environnement. Saarbrücker Geographische Arbeiten*. Saarbrücken, vol 44, 1998, 41-51.

Georges-Leroy M., **Bock** J., **Dambrine** E., **Dupouey** J.-L. – « Le massif forestier, objet pertinent pour la recherche archéologique. L'exemple du massif forestier de Haye (Meurthe-et-Moselle », *in Revue Géographique de l'Est*, 2009, 16 p.

Geraads S. – « La prospection par radar », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule. Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991, 79-80

Geraads S. – « Et sous la mosaïque : l'imagerie géoradar... pour voir », *in* Demarolle J.-M. - *La mosaïque de Grand. Actes de la table ronde de Grand 29-31 octobre 2004*. Metz, 2006, 127-143.

Grand. L'amphithéâtre gallo-romain. Conseil général des Vosges, 1993, 132 p.

Grand. Mission d'étude archéologique préalable à la création d'une Zone de Protection du Patrimoine Architectural Urbain et Paysager. Dossier final d'étude. DRAC Lorraine, 2008, 92 p.

Grenier A. - *Manuel d'archéologie gallo-romaine*. Picard, Paris, 1958.

Guillaume J. - *Sondage au lieu-dit Grand jardin*. Rapport dactylographié, 1968, 9 p.

Guillaume J. - *Sondage des thermes. Route de Liffol*. Rapport dactylographié, 1969, 6 p.

Haguenauer B., **Delétie** P. – « Mythe ou réalité de la ressource en eau du site », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule*. *Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991, 67-72.

Harmand D., **Le Roux** J. – « La Lorraine géographique », *in* Lexa-Chomard A. et Pautrot Ch. - *Géologie et géographie en Lorraine*. Ed Serpenoise, 2006, 132-166.

Harmand D. - *Rapport d'étape n°1 : caractérisation du karst dans les calcaires oxfordiens en bordure sud du secteur Meuse/Marne*. 2008, 7 p.

Hugon A. - *Grand (Vosges). Recherche archéologique par prospection géophysique*. Rapport de prospection. Société d'études pour la France et l'Etranger, 1959, [25 p.]

Jacquemin D. – « Inventaire souterrain du Bois de Trampot », *in Les cahiers spéléologiques de Lorraine, Hadès*, n°8, 1994, 99 p.

Jaillet S. - *Un karst couvert de bas-plateau : le Barrois. Structure. Fonctionnement. Evolution*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux 3, 2000, 543 p.

Jaillet S., **Losson** B., **Brulhet** J., **Corbonnois** J., **Hamelin** B., **Pons-Brachu** E., **Quinif** Y. - « Apport des datations U/Th de spéléothèmes à la connaissance de l'incision du réseau hydrographique de l'Est du Bassin parisien », *in Revue Géographique de l'Est*, vol 42/4, 2002, 15 p.

Jollois J.-B. P. - *Mémoire sur quelques antiquités remarquables du département des Vosges*. Paris, 1843, 1-56, 156-172.

Jullian C. - *Histoire de la Gaule*, vol 2, réed Hachette. Paris, 1993, 1270 p.

Khan L. *Prospection de la surface. Campagne de 1983. Commune de Grand (88)*. Rapport dactylographié. 1983, [24 p.]

Laplaige C. – *Comparaison de signaux (géophysique, LiDAR) utilisés dans l'étude des dynamiques anthropiques et naturelles*. Thèse de doctorat. Université de Franche-Comté, 2012, 2 vol., 321+174 p.

Lathuilière B., **Pautrot** Ch. – « L'Oxfordien et les milieux récifaux de la Meuse », *in* Lexa-Chomard A. et Pautrot Ch. - *Géologie et géographie en Lorraine*. Ed. Serpenoise, 2006, 118-124.

Laurent J. – « Rapport sur les fouilles faites dans le courant avril », *in Annales de la Société d'émulation des Vosges*, 1860, 213-218.

Le Borgne E. – « Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel », *in Annales de géophysique*, 1955, vol 11, 399-419.

Legchenko A., **Beauce** A., **Guillen** A., **Valla** P., **Bernard** J. – « Natural variations in the magnetic resonance signal used in PMR groundwater prospecting from the surface », *in European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 2, 1997, 173-190.

Legchenko A., **Shushakov** O. – « Inversion of surface NMR data », *in Geophysics*, 63/1, 1998, 75-84.

Legchenko A., **Valla** P. - « A review of basic principles for magnetic resonance sounding measurements», *in Journal of Applied Geophysics*, 50, 2002, 3-19.

Legendre J.-P. - *Sondage n°82/11. « Les boutiques »*. Rapport de sondage. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1982, 10 p.

Lemoine Y., **Baron** J.-P. - « La microgravimétrie », *in Grand, prestigieux sanctuaire de la Gaule. Les Dossiers d'archéologie*, n°162, 1991, p. 78.

Leveau Ph. - « Les aqueducs de la colonie romaine d'Arles et l'exploitation des eaux souterraines (ground water) : conflits d'usage, changement d'utilisation des eaux, évolution des environnements dans un massif karstique », *in Vers une gestion intégrée de l'eau dans l'empire romain*. Actes du colloque international. Université Laval, 2006, 187-200.

Linington R. E. - « The magnetic survey at Metapontum, Italy », *in Prospezioni archeologiche*, 7-8, 1972-1973, 135-149.

Louis M. - « Grotte du flanc Nord, grotte du Cul-du-Cerf, Orquevaux », *in Cahiers spéléologiques lorrains, Hadès* n°8, 1994, 94-98.

McNeill J. D. - *Electrical terrain conductivity measurement at low induction numbers*. Geonics Limited, 1980, Technical Notes TN6, 13 p.

Mangin A. - *Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques*. Thèse de doctorat. Université de Dijon, 1975, 298 p.

Mechling J.-M. - *Les géomatériaux utilisés par les Romains pour l'aménagement du site de Grand*. Mémoire de maîtrise. Université Nancy 1, 1995, 48 p.

Milutinovic M. - *Grand amphithéâtre Tranche n°2*. SRA Lorraine, 1996, 68 p.

Nabighian M. N., **Macnae** J. C. - « Time domain electromagnetic methods », *in Electromagnetic methods in applied geophysics.* Ed. Nabighian M. N., 1992, vol 2, chap 6, 427-520.

Nicod J. - *Pays et paysages du calcaire*. Presses universitaires de France, Paris, 1972, 239 p.

Petit J.-P. et **Mangin** M. (dir.) - *Les agglomérations secondaires. La Gaule Belgique, les Germanies et l'Occident romain. Actes du colloque de Bliesbrück Reinheim / Bitche, 21-24 octobre 1992*. Paris, Ed. Errance, 1994, 294 p.

Plagnes V. - *Structure et Fonctionnement des aquifères karstiques. Caractérisation par la géochimie des eaux*. Thèse de doctorat. Université Montpellier 2, 1997, 376 p.

Porte P. - *Le Cul du Cerf : étude géomorphologique d'une reculée*. Mémoire de maîtrise. Université Nancy 2, 1997, 183 p.

Rachet V. (dir.) – *Grand, Vosges, Pré Laguerre. Nouvel habitat gallo-romain extra muros*. Rapport final d'opération de diagnostic archéologique, INRAP GEN. Metz, 2010, 88 p.

Recherches pluridisciplinaires : hydrologie, hydrogéologie, géophysique, archéologie, archives, sur le site antique de Grand. Vosges. Etat du rapport au 30 septembre 1990. EDF/ADMITECH, 1990, np.

Resch A. - *L'apport de l'étude du cadastre napoléonien et du relevé LiDAR à la compréhension d'un territoire : le cas des voies de Grand (Vosges)*. Mémoire de M1. Université Paris 1, 2011, 97 p.

Salin É. - *Etude géophysique du site de Grand*. Musée historique lorrain, 1959, [2 p.]

Salin É. – « Fouilles de Grand (Vosges), campagne de 1960 », *in Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 1960a, n°1, 294-297.

Salin É. – « De la géophysique à l'archéologie », *in Annales de l'Est*. Nancy, 1960b, 119-122.

Salin É. – « La reprise des fouilles de Grand », *in* Billoret R. – « Grand. Le site gallo-romain. Les nouvelles fouilles 1960-1962. La mosaïque », *in Le Pays lorrain*. Nancy, 1963, N°2, 49.

Salin É. – « Fouilles de Grand (Vosges), découvertes de puits et d'un réseau de canalisations », *in Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 108, n°1, 1964, 7-9.

Salin É. – « Aperçu général de la ville antique de Grand », *in Comptes-rendus des séances de l'année 1965. Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*. Paris, 1965, 75-86.

Salomon J.-N. - *Précis de karstologie.* Presses Universitaires de Bordeaux, 2006, 245 p.

Scheid J. – « Introduction », *in Sur les traces d'Apollon. Grand la Gallo-Romaine*. Somegy Editions d'art. Paris, 2010, 10-11.

Scollar I. - « A magnetometer survey of the Colonia Ulpia Trajana near Xanten, West Germany », *in Prospezioni archeologiche*. 6, 1971, 83-89.

Simon F.-X. – *Apport de l'outil géophysique à la reconnaissance et à la caractérisation de sites en archéologie préventive, méthodes et prespectives : exemples en Alsace*. Thèse de doctorat. Université Paris 6, 2012, 312 p.

Sirhan A. – *Méthodes électrique et électromagnétique d'exploration rapide du sous-sol : application à l'hydrogéologie et nouveau développement instrumental*. Thèse de doctorat. Université Paris 6, 2010, 169 p.

« Site de Meuse/Haute-Marne : histoire géologique et état actuel (le) ». *in Dossier 2005 Argile. Référentiel du site de Meuse/Haute-Marne.* Andra, 2005, t. 1, 713 p.

Spies R. B., **Frischknecht** F. C. - « Electromagnetic sounding », *in Electromagnetic methods in applied geophysics.* Ed. Nabighian M. N., 1992, vol 2, chap 5, 285-425.

Sur les traces d'Apollon. Grand la Gallo-Romaine. Somegy Editions d'art. Paris, 2010, 127 p.

Thivet M. - *Méthodes nouvelles de l'archéologie appliquées au site antique de Mandeure/ Mathay (Doubs). Reconnaissance spatiale, évolution chronologique, statut urbain*. Thèse de doctorat. Université de Franche-Comté, 2008, 2 vol., 165+125 p.

Toussaint M. - *Répertoire archéologique du département des Vosges (période gallo-romaine).* Epinal, Archives départementales, 1948, 79-130.

Tur J.-M. - *Habitats du secteur nord de l'agglomération antique de Grand (Vosges)*. Mémoire de M2. Université de Franche-Comté, 2010, 73 p.

Valois R. - *Caractérisation structurale de morphologies karstiques superficielles et suivi temporel de l'infiltration à l'aide des méthodes électriques et sismiques*. Thèse de doctorat. Université Paris 6, 2011, 238 p.

Vouillamoz J.-M., **Legchenko** A., **Albouy** Y., **Bakalowicz** M., **Baltassat** J.-M., **Al-Fares** W. – « Localization of karst aquifer with magnetic resonance sounding and resistivity imaging », *in Ground Water*, 41, 2003, 578-587.

Waton M.-D. - *Grand. Des boutiques (Vosges). Au sud-est de l'amphithéâtre gallo-romain. Campagne de sondage 1983*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1983, 18 p.

Waton M.-D. - *Grand. Des boutiques (Vosges). Au sud-est de l'amphithéâtre gallo-romain. Campagne de sondage 1984*. Direction des Antiquités Historiques de Lorraine, 1984, 20 p.

Nota :

[EDF 1990] = *Recherches pluridisciplinaires : hydrologie, hydrogéologie, géophysique, archéologie, archives, sur le site antique de Grand. Vosges. Etat du rapport au 30 septembre 1990*. EDF/ADMITECH, 1990.

[EDF 1993] = Delétie P. (dir.) 1993.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1. LOCALISATION DE GRAND DANS LA LORRAINE ANTIQUE AUX 1ER-2EME SIECLES DE N.E. (*IN GRAND L'AMPHITHEATRE*, 1993, D'APRES Y. BURNAND, *IN* PARISSE M. (DIR.) - HISTOIRE DE LA LORRAINE, 1977) 9

FIGURE 2. TOPOGRAPHIE RESTITUEE DU SITE ANTIQUE SUR LE RESEAU VIAIRE ACTUEL. PROPOSITION DE J.-P. BERTAUX (1991). LOCALISATION DE L'AMPHITHEATRE, DE L'EDIFICE A PLAN BASILICAL (« BASILIQUE ») QUI ABRITE LA MOSAÏQUE, DU PORTIQUE, DU MONUMENT DIT DU JARDIN HUGUET (« TEMPLE »), DES « THERMES DE LA RUE DE LIFFOL », DU REMPART RYTHME PAR 18 TOURS ET 4 PORTES (9-12-13-14), DE LA VOIRIE, DU « *POMERIUM* », ET DE LA SOURCE (« RESURGENCE ») QUI SE DEVERSE DANS LE « PLAN D'EAU » SITUE SOUS L'EGLISE. CE SCHEMA MELE ELEMENTS RECONNUS ET RESTITUES..... 10

FIGURE 3. VESTIGES ROMAINS A GRAND. TOUR 19 (SECTION OUEST DU REMPART). MOTIF DE LA MOSAÏQUE (EDIFICE A PLAN BASILICAL). GALERIE DRAINANTE (DITE DE LA FONTAINOTTE). CL. BRINON 2010..... 11

FIGURE 4. RESTITUTION DU SITE ANTIQUE PAR J.-C. GOLVIN EN L'ETAT DES CONNAISSANCES EN 1990. 11

FIGURE 5. EXTRAIT DE LA CARTE DE CASSINI CENTREE SUR GRAND (FEUILLE 112 - HTTP://CASSINI.EHESS.FR)..... 12

FIGURE 6. BLOC DIAGRAMME REPRESENTANT UN PAYSAGE KARSTIQUE (BAKALOWICZ 1999). 18

FIGURE 7. MNT CONSTRUIT A PARTIR DES DONNEES LIDAR. RELEVE CENTRE SUR LE VILLAGE DE GRAND (DELIMITE PAR LE TRAIT NOIR) SUR UNE SURFACE DE 52 KM^2..... 29

FIGURE 8. VARIATION DE L'INTENSITE DU CHAMP CREEE PAR UNE STRUCTURE MAGNETIQUE ENFOUIE (SIMON 2012, D'APRES HESSE 1978 ET HULIN 2007)..... 31

FIGURE 9. MAGNETOMETRE G858 (PROSPECTION LIEU-DIT LA CITERNE)..... 32

FIGURE 10. MISE EN ŒUVRE D'UN SONDAGE ELECTRIQUE (GRAND)..... 33

FIGURE 11. DONNEES D'UN PANNEAU REALISE EN AVAL DE L'AMPHITHEATRE (GRAND) : A. PSEUDO-SECTION DE RESISTIVITES APPARENTES MESUREES, B. PSEUDO-SECTION DE RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES CALCULEES, C. MODELE : SECTION INVERSEE DE RESISTIVITES. A DROITE : MISE EN ŒUVRE D'UN PANNEAU ELECTRIQUE AVEC 96 ELECTRODES ESPACEES DE 33 CM, AU LIEU-DIT LA CITERNE (GRAND)..... 34

FIGURE 12. PROSPECTION RM15 (GRAND). SCHEMA DU PORTE-ELECTRODES ET VOLUMES DE SOL INVESTIGUES POUR CHAQUE MESURE..... 35

FIGURE 13. DISPOSITIF ARP (GEOCARTA) : POSITIONS DES POINTS D'INJECTION AB ET DE MESURES MN POUR LES 3 ECARTEMENTS, ET MISE EN ŒUVRE (SITE DU VIEIL-EVREUX)..... 35

FIGURE 14. RESULTAT D'UNE PROSPECTION ELECTRIQUE (GRAND) REALISEE AVEC UN RM15 (POLE-POLE). CARTES DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE OBTENUES POUR CHACUN DES TROIS ECARTEMENTS (0,5/1/1,5 M). 36

FIGURE 15. SCHEMA DE PRINCIPE. DIFFUSION DES LIGNES DE COURANT (SONDAGE TDEM). 36

FIGURE 16. PROSPECTION EM31 A GRAND..... 38

FIGURE 17. SCHEMA D'UNE SEQUENCE EMISSION/RECEPTION EN FONCTION DU TEMPS. 40

FIGURE 18. DIAGRAMME ANNUEL DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES RELEVEES A GRAND, CIRFONTAINES ET SAILLY (DEVOS 1996)..... 46

FIGURE 19. HYDROGRAPHIE REGIONALE. 47

FIGURE 20. BASSINS VERSANTS TOPOGRAPHIQUES DU SITE DE GRAND..... 49

FIGURE 21. POSITION DU SITE DE GRAND (EN ROUGE) DANS LE BASSIN DE PARIS (CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE), AU CONTACT DE DEUX FORMATIONS DE L'OXFORDIEN (REPRESENTEES EN BLEU)..... 51

FIGURE 22. EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE NEUFCHATEAU (1/50000)..... 52

FIGURE 23. COUPE GEOLOGIQUE DU PLATEAU DU HAUT-PAYS (DEVOS 1996), MODIFIEE D'APRES LA CARTE GEOLOGIQUE DE NEUFCHATEAU (1/50000). 53

FIGURE 24. COUPE TYPE DE LA SERIE SEDIMENTAIRE OXFORDIENNE IDENTIFIEE PAR CARPENTIER (2004)..... 54

FIGURE 25. MISE EN PLACE DES DRAINS KARSTIQUES ASSOCIES A L'INCISION DES VALLEES ET AU RECUL DES COUVERTURES NON CARBONATEES (JAILLET *ET AL*. 2002)..... 55

FIGURE 26. MORPHOLOGIES KARSTIQUES OBSERVEES SUR LE PLATEAU DU HAUT-PAYS (D'APRES DEVOS 1996). EN ROUGE : LES FORMES KARSTIQUES AYANT FAIT L'OBJET D'ETUDES SPELEOLOGIQUES OU GEOMORPHOLOGIQUES. 57
FIGURE 27. DEVELOPPEMENT DU RESEAU KARSTIQUE HADES LOCALISE DANS LE BOIS DE TRAMPOT (JAILLET *ET AL*. 2002). 58
FIGURE 28. MORPHOLOGIE D'UNE « FONTAINE » DU BOIS DE TRAMPOT, DEVELOPPEE AU CONTACT D'UN BANC ARGILEUX ET D'UN BANC CALCAIRE (DEVOS 1996). 59
FIGURE 29. CONDUIT KARSTIQUE DE LA « MANOISE SOUTERRAINE » DEBOUCHANT AU FOND DE LA RECULEE DU CUL-DU-CERF (JAILLET 2000). 60
FIGURE 30. VUES DE LA MANOISE AU CUL-DU-CERF (AMONT ET AVAL DE LA SOURCE) : ECOULEMENT OBSERVE EN AVRIL 2008 / LIT DE LA RIVIERE A SEC EN JANVIER 2009 (CL. BRINON). 61
FIGURE 31. POSITION DES SONDAGES GEOPHYSIQUES AUTOUR DE GRAND, SUR LA CARTE GEOLOGIQUE VECTORISEE. PROSPECTIONS MARS 2009. 64
FIGURE 32. VARIATIONS DE L'AMPLITUDE DU SIGNAL MESURE EN FONCTION DU MOMENT DU PULSE, A L'EST DE GRAND (SONDAGES RMP2 ET RMP4) ET A L'OUEST (RMP1 ET RMP3) 65
FIGURE 33. COMPARAISON DES VARIATIONS DE PERMEABILITE NORMALISEE, EN FONCTION DE LA PROFONDEUR, POUR LES CAS RMP2 (OXFORDIEN MOYEN) ET RMP3 (OXFORDIEN SUPERIEUR). 66
FIGURE 34. VARIATIONS DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31) OBSERVEES AUTOUR DE GRAND, SUR LA CARTE GEOLOGIQUE (1/50000) VECTORISEE. 68
FIGURE 35. VARIATIONS DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE OBSERVEES AU SUD DE GRAND, SUR FOND DE CARTE IGN. LOCALISATION DU PROFIL ERT IMPLANTE SUR LE CONTACT DES FORMATIONS OXFORDIENNES. RESISTIVITES ELECTRIQUES INTERPRETEES LE LONG DU PROFIL ERT (CONFIGURATION WENNER-SCHLUMBERGER, 96 ELECTRODES). 70
FIGURE 36. SONDAGES TDEM (40X40 M, GEONICS PROTEM 47) ET SONDAGES ELECTRIQUES REALISES DANS LES ENVIRONS DE GRAND : POSITION SUR LA CARTE GEOLOGIQUE DE NEUFCHATEAU ET INTERPRETATIONS JOINTES. 72
FIGURE 37. SONDAGES TDEM (20X20 M, AEMR TEMFAST 48) : RESISTIVITES INTERPRETES. 73
FIGURE 38. RESTITUTION PROPOSEE A PARTIR DES VARIATIONS DE RESISTIVITE ELECTRIQUE MESUREES EN SURFACE (EM31) ET EN PROFONDEUR (SONDAGES ELECTRIQUES ET TDEM) AUTOUR DE GRAND. 75
FIGURE 39. LOCALISATION DES DOLINES, TERTRES ET SOURCES OBSERVEES A PROXIMITE DE LA ROUTE DEPARTEMENTALE ENTRE LANEUVILLE-AU-BOIS ET GRAND ET LOCALISATION DES DEUX ZONES PROSPECTEES (EN ROUGE). FOND DE CARTE IGN GEOREFERENCE. 76
FIGURE 40. CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE OBTENUE EN AMONT DES SOURCES DE L'OGNON AU NORD DE LA D175. POSITION DES TERTRES ET DES PROFILS ERT. 78
FIGURE 41. TOMOGRAPHIES DE RESISTIVITE ELECTRIQUE P1 ET P2 REALISEES EN AMONT DES SOURCES DE L'OGNON EN TRAVERS DU VALLON. RESULTATS DE L'INVERSION, CONFIGURATION DIPOLE-DIPOLE, 96 ELECTRODES. 78
FIGURE 42. TERTRES SITUES EN AMONT DE LANEUVILLE-AU-BOIS AU NORD DE LA D175. OBSERVATIONS LORS DE LA PROSPECTION GEOPHYSIQUE EN OCTOBRE 2009 (VALLON A SEC), ET EN DECEMBRE 2008 (TERTRES EN FONCTIONNEMENT). CL. BRINON. .. 79
FIGURE 43. TOMOGRAPHIES DE RESISTIVITE ELECTRIQUE CENTREE SUR LA DOLINE (BOIS COMMUNAL) AU BORD DE LA D175. RESULTAT DE L'INVERSION, CONFIGURATIONS WENNER-SCHLUMBERGER (WS) ET DIPOLE-DIPOLE (DD), 96 ELECTRODES. 81
FIGURE 44. CLASSIFICATION DES CONDUITS EXPLORES ET LOCALISATION GEOGRAPHIQUE, PROPOSEES PAR J.-P. BERTAUX EN 1978. 87
FIGURE 45. PLAN DE SYNTHESE DU RESEAU DE CONDUITS DRAINANTS ETABLI PAR J.-P. BERTAUX A L'ISSU DES CAMPAGNES D'EXPLORATION SPELEOLOGIQUE EN 1981 (DOCUMENT EDF 1990). 88
FIGURE 46. EVOLUTION DEPUIS L'EPOQUE ANTIQUE DES AMENAGEMENTS ET DES CIRCULATIONS SUPPOSEES AUX ABORDS DE L'EGLISE. D'APRES UN SCHEMA DE J.-P. BERTAUX (1997). LE DESCRIPTIF EST DONNE EN PAGE SUIVANTE. 90
FIGURE 47. VUE D'ENSEMBLE DU RESEAU DE GALERIES DE GRAND ET LOCALISATION DES 5 ZONES D'ETUDE. 92
FIGURE 48. LOCALISATION DES CONDUITS DE LA ZONE A. 93
FIGURE 49. COUPE DU PUITS *5* D'ACCES AU CONDUIT A9 ET SECTIONS DU MEME CONDUIT A. TAILLE DANS LA ROCHE, B. PAREMENTE. LES LONGUEURS SONT DONNEES EN METRES. D'APRES PLAN TOPOGRAPHIQUE ASDUN. 99
FIGURE 50. LOCALISATION DES CONDUITS DE LA ZONE B (NORD AMONT). 101
FIGURE 51. DISPOSITION DE LA SALLE DURAND PAR RAPPORT AU REMPART ET AU SOUTERRAIN DEBOUCHANT DANS LA CAVE MARCHAL (B1). D'APRES UN SCHEMA DE J.-P. BERTAUX PUBLIE (CH. BERTAUX 1985), MODIFIE DANS LE DOSSIER D'ETUDE (2008). . 103
FIGURE 52. COUPE DU PUITS *26* DONNANT AU CONDUIT B3 ET SECTION DE LA GALERIE. LES LONGUEURS SONT DONNEES EN METRES. D'APRES LE RELEVE TOPOGRAPHIQUE ASDUN. 103

FIGURE 53. LOCALISATION DES CONDUITS DE LA ZONE C (SUD-OUEST AMONT). 108
FIGURE 54. LOCALISATION DU CONDUIT C1 (DIT DE LA FONTAINOTTE) SUR LE CADASTRE GEOREFERENCE DE 1887 (FEUILLES E3 ET C8). TOPOGRAPHIES REALISEES EN 1975 ET 2010. 109
FIGURE 55. COUPES DU CONDUIT C1 DE LA FONTAINOTTE. 110
FIGURE 56. VUES DU CONDUIT C1 : GALERIE PRINCIPALE ET CONDUITS SECONDAIRES (CL. BRINON 2009). 112
FIGURE 57. POSITION DU CONDUIT C1 PAR RAPPORT AU TALWEG SUD. TOPOGRAPHIES 1975 ET 2010. LA FONTAINOTTE SE SITUE VERS 385 M NGF. 114
FIGURE 58. MISE EN EVIDENCE DES RELATIONS ENTRE LE CONDUIT C1 ET LE RESEAU DE FRACTURATION. TOPOGRAPHIES 1975 ET 2010 SUPERPOSEES AUX PHOTOGRAPHIES AERIENNES GEOREFERENCEES (P. NOUVEL – REDRESSEE – GEOPORTAIL 2010). LES FLECHES INDIQUENT LE SENS D'ECOULEMENT DES EAUX. 115
FIGURE 59. LOCALISATION DU CONDUIT C2. 116
FIGURE 60. CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31 – PROFILS ESPACES DE 5 M). MISE EN EVIDENCE DU TRACE DU CONDUIT DIT PARAMEL (POINTE PAR LES FLECHES NOIRES). IL SE TRADUIT PAR UNE ANOMALIE LINEAIRE RESISTANTE SUR LE TRONÇON TOPOGRAPHIE C2, ENTRE LE REGARD D'ENTREE ET LE PUITS « PARAMEL » (CERCLES DE NOIR), ET PAR UNE ANOMALIE LINEAIRE CONDUCTRICE (CONDUITE METALLIQUE) DEPUIS LE REGARD D'ENTREE JUSQU'AU CŒUR DU VILLAGE. LES FLECHES BLEUES INDIQUENT LE SENS D'ECOULEMENT DE L'EAU DRAINEE. 117
FIGURE 61. LOCALISATION DES CONDUITS DE LA ZONE D (CENTRE). 120
FIGURE 62. COUPE DU CONDUIT D2 SITUE AU SUD DE L'EGLISE (J.-P. BERTAUX *IN* EDF 1990). 121
FIGURE 63. POSITION DU CONDUIT EXPLORE D5 PAR RAPPORT A LA CHAPELLE SAINTE-LIBAIRE SITUEE PLACE DES HALLES. TOPOGRAPHIE ASDUN (1976). SECTIONS DU CONDUIT (COUPES ASDUN 1976). 123
FIGURE 64. LOCALISATION DES CONDUITS DE LA ZONE E (AVAL). 125
FIGURE 65. COUPE DU CONDUIT E1 AU NIVEAU DE LA COURTINE DU REMPART (SECTION EST). 126
FIGURE 66. CONDUIT E2 DEGAGE AU COURS DES FOUILLES DE L'AMPHITHEATRE PAR JOLLOIS. 127
FIGURE 67. VUE DE L'EGOUT ANTIQUE DEGAGE DANS LE CORRIDOR DE L'AMPHITHEATRE EN 1965 (CH. BERTAUX 1985). 127
FIGURE 68. COUPE STRATIGRAPHIQUE N-S DU SOUS-SOL DE L'ARENE. SONDAGE REALISE EN 1995 (TRANCHEE D'ALIMENTATION ELECTRIQUE) SUR LE TRACE DE L'EGOUT ANTIQUE C2. D'APRÈS MILUTINOVIC 1996. 128
FIGURE 69. CARTE DE SYNTHESE : ETAT DU RESEAU SOUTERRAIN ANTIQUE EXPLORE A GRAND. LOCALISATION DES CONDUITS SIGNALES DANS LES ARCHIVES D'EXPLORATION (BERTAUX, 1964-1981). GEOREFERENCEMENT APPROXIMATIF EN L'ABSENCE DE LEVES TOPOGRAPHIQUES PRECIS. 132
FIGURE 70. CARTE DE SYNTHESE : ETAT DU RESEAU SOUTERRAIN RECONNU A GRAND. LOCALISATION DES CONDUITS SIGNALES DANS LES ARCHIVES D'EXPLORATION (BERTAUX, 1964-1981) ET DETECTES PAR PROSPECTIONS GEOPHYSIQUES. GEOREFERENCEMENT APPROXIMATIF EN L'ABSENCE DE LEVES TOPOGRAPHIQUES PRECIS. EN POINTILLES : LES CONNEXIONS PROBABLES ENTRE TRONÇONS CONNUS. 133
FIGURE 71. VARIATIONS PIEZOMETRIQUES RELEVEES AUTOUR DE L'EGLISE ET DE LA MOSAÏQUE, ENTRE LE 15/02/90 ET LE 10/03/90 (V. BERTAUX). D'APRES LES DONNEES FOURNIES PAR LE DOSSIER EDF (1990). 135
FIGURE 72. LOCALISATION DES FORAGES ET PUITS ETUDIES AUTOUR DE L'EGLISE ET DE LA MOSAÏQUE EN 1990. 136
FIGURE 73. A. CONDUCTIVITES ET B. TEMPERATURES DE L'EAU RELEVEES AUX ABORDS DE L'EGLISE ET DE LA MOSAÏQUE, LE 18/09/90 VERS 15 H PAR L. MASSON. D'APRES LES DONNEES EDF 1990. 137
FIGURE 74. DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPERATURES (A) ET DES CONDUCTIVITES (B) DE L'EAU MESUREES DANS LES PUITS DE GRAND (D'APRES LES DONNEES EDF 1990). 139
FIGURE 75. DISTRIBUTION SPATIAL DES TEMPERATURES (A) ET DES CONDUCTIVITES (B) DE L'EAU, MESUREES DANS LES PUITS OU CONDUITS DE GRAND (DONNEES MARS 2011). 140
FIGURE 76. LOCALISATION DU SECTEUR D'ETUDE AU LIEU-DIT LA CITERNE ET POSITION DES ZONES DE PROSPECTIONS GEOPHYSIQUES. 143
FIGURE 77. CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31). LIEU-DIT LA CITERNE. PROSPECTION 2009. 143
FIGURE 78. CARTE DE GRADIENT MAGNETIQUE VERTICAL. LIEU-DIT LA CITERNE. PROSPECTION 2009. 144
FIGURE 79. CARTE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE (EPAISSEUR DE SOL PRIS EN COMPTE 0-50 CM, CONFIGURATION POLE-POLE). LIEU-DIT LA CITERNE. PROSPECTION 2009. 145

FIGURE 80. POSITIONS DU PROFIL ERT ET DE LA TRANCHEE DE SONDAGE PAR RAPPORT AUX ANOMALIES MAGNETIQUES DETECTEES. RESULTATS DE L'INVERSION DES DONNEES ELECTRIQUES (CONFIGURATION WENNER-SCHLUMBERGER - 96 ELECTRODES). LIEU-DIT LA CITERNE. 146
FIGURE 81. COUPE STRATIGRAPHIQUE DES TERRAINS SITUES ENTRE LES ANOMALIES MAGNETIQUES 1 ET 3. SONDAGE ARCHEOLOGIQUE DU LIEU-DIT LA CITERNE (JUILLET 2010). D'APRES LA COUPE DE J.-M. TUR (RAPPORT DU PCR 2010). 147
FIGURE 82. VUE AERIENNE DU LIEU-DIT LA CITERNE (GEOPORTAIL 2010). 148
FIGURE 83. INTERPRETATION DES ANOMALIES REVELEES PAR LES PROSPECTIONS GEOPHYSIQUES ET LES PHOTOGRAPHIES AERIENNES. LIEU-DIT LA CITERNE. 149
FIGURE 84. MISE EN EVIDENCE DES LINEAMENTS L2-L3-L4-L5 AUX ABORDS DE LA FERME DE LA VIOLETTE ET L1 AU LIEU-DIT LE TREMBLOT (AU SUD DE BRECHAINVILLE). PHOTOGRAPHIES AERIENNES 2010 (GEOPORTAIL, P. NOUVEL). 150
FIGURE 85. LOCALISATION DES ANOMALIES LINEAIRES L1 A L6, GEOREFERENCEES A PARTIR DES CARTES GEOPHYSIQUES ET DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES. 151
FIGURE 86. CADASTRE DE 1887 GEOREFERENCE (FEUILLE C7) ET MICRORELIEFS (LIDAR, VISUALISATION AVEC UN ECLAIRAGE ARTIFICIEL 30°/30 M) AU LIEU-DIT LA CITERNE. LES FLECHES NOIRES INDIQUENT LES PIERRIERS, LA FLECHE ROUGE LA DEPRESSION CONDUCTRICE ASSOCIEE AU LIEU-DIT LE FOUR A CHAUX. LES ANOMALIES MAGNETIQUES INSCRITES AU PIED DE LA BUTTE ONT ETE REPRESENTEES. 152
FIGURE 87. VARIATIONS DES CONDUCTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES (EM31) DES TERRAINS SITUES AU SO DE LA FERME DE LA VIOLETTE : DETECTION D'UNE CONDUITE METALLIQUE (EN POINTILLES NOIRS) EN TRAVERS DU CHAMP. LE CERCLE BLANC INDIQUE L'EMPLACEMENT POSSIBLE DES SONDAGES DE 1963 ET 1969, D'APRES LES POSITIONS DE LA CONDUITE, DE LA ROUTE DEPARTEMENTALE ET DU TRACE DE LA COURBE DE NIVEAU 383 M NGF. 154
FIGURE 88. BASSINS VERSANTS TOPOGRAPHIQUES DEFINIS SELON LES TRACES THEORIQUES D'UN DRAIN ALIMENTANT LES « THERMES » DE LA RUE DE LIFFOL (GRAND). LE TRACE SAUVEUIL-THERMES (PONTILLES BLEUS) CORRESPOND A LA SURFACE DRAINEE A+B. LE TRACE TREMBLOT-THERMES PASSANT PAR LES LINEAMENTS (POINTILLES NOIRS) CORRESPOND A LA SURFACE DRAINEE A. LE PROLONGEMENT DU DRAIN JUSQU'A LA MARE D'AILLIANVILLE AUGMENTE L'AIRE D'ALIMENTATION TOTALE D'UNE SURFACE DRAINEE C. 156
FIGURE 89. CARTE DES VESTIGES BATIS DU SITE, ETABLIE PAR JOLLOIS. D'APRES LA PLANCHE 2 (JOLLOIS 1843). 165
FIGURE 90. CARTE DES SECTEURS EXPLORES A GRAND REALISEE A PARTIR DES DONNEES ENREGISTREES DANS LES ARCHIVES. 167
FIGURE 91. PROFIL DE RESISTIVITE ELECTRIQUE E1 OBTENU AU LIEU-DIT GRAND JARDIN (PARCELLE 17) EN OCTOBRE 1959. D'APRES LES DONNEES DU RAPPORT (HUGON 1959). 173
FIGURE 92. PROFIL DE RESISTIVITE ELECTRIQUE E9 OBTENU DANS LE SECTEUR DU BATIMENT A PLAN BASILICAL (PARCELLES *966-968*) EN 1959. MISE EN EVIDENCE D'UNE ZONE REMANIEE AUX ABORDS DU JARDIN HUGUET (A DROITE). DES VESTIGES ANTIQUES Y SERONT DEGAGES. D'APRES LES DONNEES DU RAPPORT (HUGON 1959). 173
FIGURE 93. PROFIL DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE E13 RÉALISÉ AU NORD DE LA GRANDE RUE EN 1959. DÉTECTION D'ANOMALIES ASSOCIÉES À UN DALLAGE CALCAIRE. D'APRÈS LES DONNÉES DU RAPPORT (HUGON 1959). 174
FIGURE 94. PROFIL DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE E15 RÉALISÉ AU LIEU-DIT SUR LES ROISES EN 1959. DEUX FOSSES REMPLIES DE BLOCS SONT DÉCOUVERTES APRÈS LA PROSPECTION ÉLECTRIQUE. D'APRÈS LES DONNÉES DU RAPPORT (HUGON 1959). 175
FIGURE 95. PROFIL ELECTRIQUE EF REALISE EN 1977 DANS L'ARENE DE L'AMPHITHEATRE SUR UN TRANSECT PERPENDICULAIRE AU GRAND AXE. MISE EN EVIDENCE DU PASSAGE DE LA *CLOACA* ET D'UNE ZONE D'EBOULIS. D'APRES UN GRAPHE DE J.-P. BERTAUX (BILLORET 1977). 176
FIGURE 96. PROFIL ELECTRIQUE A REALISE SUR LA SECTION OUEST DU REMPART AVEC 3 ECARTEMENTS D'ELECTRODES (NON DONNES). L'AUGMENTATION DES VALEURS EST ATTRIBUEE AU CENTRE AUX SUBSTRUCTIONS DU REMPART, AU NORD (A DROITE) AUX VESTIGES D'UN MOULIN. D'APRES UN GRAPHE DE J.-P. BERTAUX (1983). 177
FIGURE 97. VARIATIONS DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31) DU SOUS-SOL DE LA PLACE DES HALLES. LES POINTS DE MESURE SONT FIGURES EN NOIR. D'APRES LES DONNEES DU RAPPORT (EDF 1990). 179
FIGURE 98. REPARTITION DES PROFONDEURS NIVELEES ATTEINTES PAR ENFONCEMENT MANUEL D'UNE TIGE METALLIQUE DANS LE SOUS-SOL DE L'EGLISE. D'APRES UNE CARTE INTERPOLEE REALISEE PAR O. ANDRE (EDF 1990). LA POSITION DES POINTS DE SONDAGE N'EST PAS CONNUE. 180
FIGURE 99. ANOMALIE GRAVIMÉTRIQUE CRÉÉE PAR LES MURS DE L'ÉGLISE À LA SURFACE DU SOL. LA MODÉLISATION EST FAITE À PARTIR DE VOLUMES ÉLÉMENTAIRES RESPECTANT LES DIMENSIONS DU BÂTIMENT. UNE DENSITÉ MOYENNE DE 2 A ÉTÉ CHOISIE POUR LES MURS. LES PLUS FORTES VALEURS SONT RENCONTRÉES À L'APLOMB DU CLOCHER. 181

FIGURE 100. ANOMALIE GRAVIMETRIQUE CREEE PAR LES CONTRASTES DE DENSITE DU SOUS-SOL DE L'EGLISE ET DE LA PLACE DES HALLES : A. AVANT CORRECTION, B. APRES CORRECTION. LA CARTE EST GEOREFERENCEE, LES POSITIONS DES MESURES SONT INDIQUEES EN NOIR. D'APRES LES MESURES FAITES EN 1989 (EDF 1993). 182
FIGURE 101. LOCALISATION DU SECTEUR PROSPECTE NO *INTRA MUROS* : PARCELLES *27-29-37-47-51* (FEUILLE CADASTRALE ZP), PRES ET JARDINS. 184
FIGURE 102. SECTEUR NO *INTRA MUROS* : IMAGE LIDAR ET CADASTRE NAPOLEONIEN (1887) GEOREFERENCES. VISUALISATION DES MICRORELIEFS SOUS UN ECLAIRAGE ARTIFICIEL (90° - 30 M) EN RELATION AVEC LE PARCELLAIRE ANCIEN. 184
FIGURE 103. CARTES DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (DISPOSITIF POLE-POLE, ECARTEMENT 1 M) ET DE GRADIENT MAGNETIQUE VERTICAL DU CHAMP TOTAL. SECTEUR NO *INTRA MUROS*, LIEUX-DITS CROIX ROUGE ET GUINGUETTE. 188
FIGURE 104. CARTE DES ANOMALIES INTERPRETEES DU SECTEUR NO *INTRA MUROS* (LIEUX-DITS CROIX ROUGE ET GUINGUETTE). . 188
FIGURE 105. CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE 189
FIGURE 106. CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31) ET ANOMALIES LINEAIRES DETECTEES EN PROSPECTION ELECTRIQUE. SECTEUR NO *EXTRA MUROS*. 190
FIGURE 107. CARTE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (ARP, VOIE 2) - PROSPECTION GEOCARTA. SECTEUR NO *EXTRA MUROS*. 191
FIGURE 108. ANOMALIES LINEAIRES D'ORIGINE ANTHROPIQUE DETECTEES EN PROSPECTION ELECTRIQUE ET SUPERPOSEES AU CADASTRE DE 1887 GEOREFERENCE (FEUILLES E5 ET D6). SECTEUR NO *EXTRA MUROS*. 192
FIGURE 109. CARTE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (ARP, VOIE 2) – PROSPECTION GEOCARTA. SECTEUR NORD AUX LIEUX-DITS LA MALADIERE ET LES ROISES. 193
FIGURE 110. ANOMALIES LINEAIRES INTERPRETEES A PARTIR DES CARTES DE RESISTIVITES ELECTRIQUES ET LES PHOTOGRAPHIES AERIENNES REDRESSEES ET GEOREFERENCEES. SECTEUR NORD, LIEUX-DITS LA MALADIERE ET LES ROISES. 194
FIGURE 111. LOCALISATION DES PROSPECTIONS ELECTRIQUES DU SECTEUR NE. 195
FIGURE 112. VISUALISATION DES ANOMALIES PHYTOGRAPHIQUES ET DES ANOMALIES DE RESISTIVITE ELECTRIQUE DU CHAMP NORD. A GAUCHE, PORTIONS DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES REDRESSEES ET REPOSITIONNEES A L'AIDE DE LA CARTE ELECTRIQUE (A DROITE) DU MEME SECTEUR. 196
FIGURE 113. CARTE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (ARP, VOIE 2) DU SECTEUR NE – PROSPECTIONS GEOCARTA. 196
FIGURE 114. CARTE INTERPRETEE DES ANOMALIES D'ORIGINE ANTHROPIQUE DECELEES EN PROSPECTION ELECTRIQUE ET SUR LES PHOTOGRAPHIES AERIENNES. SECTEUR NE. 198
FIGURE 115. A. CARTE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (POLE-POLE, ECARTEMENT 1 M). PROSPECTION RM15 DE LA PARCELLE *143*. B. POSITION DES STRUCTURES MISES AU JOUR LORS DES FOUILLES DES PARCELLES *143* ET *288*. D'APRES LE PLAN DE TUR (2010) REGROUPANT LES PLANS DE BERÇOT, LALONDE ET MILUTINOVIC. 199
FIGURE 116. PLAN DES STRUCTURES DU SECTEUR NE RESTITUE A PARTIR DES DONNEES DE FOUILLE, DES PROSPECTIONS ELECTRIQUE ET DES VUES AERIENNES. 200
FIGURE 117. LOCALISATION DES ZONES PROSPECTEES AU LIEU-DIT GRAND JARDIN. 201
FIGURE 118. CARTE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (ARP, VOIE 2 / POLE-POLE, ECARTEMENT 1 M) OBTENUE DANS LE SECTEUR DU GRAND JARDIN. DEUX ECHELLES DE COULEURS DIFFERENTES ONT ETE APPLIQUEES DE PART ET D'AUTRE DE LA LIGNE POINTILLEE. EN HAUT : CARTE DE GRADIENT MAGNETIQUE VERTICAL DU CHAMP TOTAL (SECTEUR S7 - PARCELLE *18*). 203
FIGURE 119. FEUILLE E4 GEOREFERENCEE DU CADASTRE DE 1887. 204
FIGURE 120. CARTE INTERPRETEE DES ANOMALIES MISE EN EVIDENCE PAR LES PROSPECTIONS ELECTRIQUES ET MAGNETIQUE DANS LE SECTEUR DU GRAND JARDIN. 206
FIGURE 121. IMAGE LIDAR DU SECTEUR DU GRAND JARDIN. ECLAIRAGE ARTIFICIEL (30 M/ 60°). 207
FIGURE 122. VARIATIONS DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31) DANS LE SECTEUR DU GRAND JARDIN. 208
FIGURE 123. LOCALISATION DES ZONES PROSPECTEES (PARCELLES 249-266-3) ET DES STRUCTURES ANTIQUES CONNUES (COURTINE ET TOURS DU REMPART ET GALERIE C3 DITE DU GROUPE SCOLAIRE). LE TRACE HYPOTHETIQUE DU « CONDUIT KARSTIQUE » (EDF 1993) TRAVERSANT LE PUITS DIT « DERRIERE LA MOSAÏQUE » EST REPRESENTE EN TRAITS POINTILLES BLANCS 210
FIGURE 124. CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31) DES TERRAINS SITUES DANS LE QUART SO DU VILLAGE DE GRAND (LIEUX-DIT GRAND JARDIN, LEVIN, PRE LAGUERRE) 211
FIGURE 125. LOCALISATION DANS LA PARCELLE *3* DU PROFIL ERT, SUR LA CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31), ET RESULTATS DE L'INVERSION (CONFIGURATION DIPOLE-DIPOLE, 72 ELECTRODES). LA FLECHE NOIRE INDIQUE L'EMPLACEMENT DE LA REMONTEE ARGILEUSE. LE TRACE DU CONDUIT C3 EST REPRESENTE EN BLANC 212

Figure 126. Carte de resistivite electrique apparente (ARP voie 2) au lieu-dit Levin (secteur Rempart ouest). Prospection Geocarta..... 213
Figure 127. a. Carte de gradient magnetique du champ total superposee a la carte EM31, b. Carte des anomalies interpretees du secteur Rempart ouest (lieu-dit Levin). 214
Figure 128. Localisation des trois secteurs d'etude de la zone Sud : lieux-dits Pre Laguerre, Champee-Marguerite et Hardrat. 215
Figure 129. Localisation de la zone d'etude Sud sur le schema de restitution du site antique par J.-C. Golvin. 216
Figure 130. Plan de la « *villa* Duvaux » localisée dans la parcelle *49* (secteur Champée-Marguerite). Reproduction du croquis fourni par J. Duvaux. Les longueurs des murs affleurants sont mesurées au pas. Le plan n'est pas à l'échelle en raison de données manquantes. 218
Figure 131. Localisation des zones de prospection dans le secteur du Pre Laguerre. 219
Figure 132. Secteur du Pre Laguerre. En haut : Cadastre de 1887 georeference (feuilles E3 et C8). En bas : Image LiDAR (eclairage artificiel 30 m/0°) 219
Figure 133. Carte de conductivite electrique apparente (EM31) au lieu-dit Pre Laguerre. Mise en evidence de trois canalisations metalliques et des zones de pierriers. 221
Figure 134. Carte de gradient vertical du champ magnetique total. Secteur du Pre Laguerre..... 222
Figure 135. Carte de resistivite electrique apparente (pole-pole, ecartement 1 m) du secteur du Pre Laguerre..... 224
Figure 136. Carte des anomalies interpretees du secteur du Pre Laguerre. 225
Figure 137. Localisation des surfaces prospectees au lieu-dit Champee-Marguerite..... 226
Figure 138. Carte de conductivite electrique apparente (EM31) au lieu-dit Champee-Marguerite. 227
Figure 139. Image LiDAR (eclairage 30 m/0°) du secteur Champee-Marguerite..... 227
Figure 140. Carte de gradient vertical du champ magnetique total du secteur Champee-Marguerite. 228
Figure 141. Carte interpretee des anomalies detectees en prospection magnetique dans le secteur de Champee-Marguerite. 229
Figure 142. Carte de resistivite electrique apparente (pole-pole, ecartement 1 m) obtenue sur les parcelles *29* et *30* (secteur Champee-Marguerite). 230
Figure 143. Interpretation des donnees de prospection electrique, magnetique et EM obtenues dans les parcelles du secteur Champee-Marguerite. 232
Figure 144. Carte de gradient du champ magnetique total du terrain situe au sud du chemin circulaire (secteur Hardrat), superposee au cadastre de 1887 georeference (feuilles C7 et C8). 233
Figure 145. Image LiDAR du secteur de prospection Hardrat (eclairage 30 m/0°). 233
Figure 146. Localisation des prospections au lieu-dit La Baronnie..... 236
Figure 147. Vestiges des « thermes » decouverts dans le jardin de La Baronnie au 19EME siecle. Plan du village dresse par Morlat (Jollois 1843). 236
Figure 148. Ecoulement signale entre la place des Halles et l'amphitheatre sur le plan du village realise au 18EME siecle (d'apres Caylus 1764). Le « ruisseau » est surligne en bleu, la zone d'etude est delimitee par un trait rouge. Les constructions decrites dans le texte sont colorees. 237
Figure 149. Microreliefs du secteur de la Baronnie. Image LiDAR (eclairage 30 m/ 80°). 238
Figure 150. Carte de gradient magnetique vertical du secteur de La Baronnie. Parcelle *162* : prospection G858 – echelle 1. Parcelle *910* : prospection AMP par Geocarta - echelle 2. La zone A correspond au milieu homogene, la zone B au milieu plus contraste. 240
Figure 151. Carte de resistivite electrique apparente du secteur de La Baronnie (parcelles *162* et *910*). En haut : resultat de la prospection ARP (voie 2 - Geocarta - 2008). En bas : resultat de la prospection RM15 (pole-pole, ecartement 1 m - 2009) superpose a la carte precedente. Des dynamiques de couleurs differentes ont ete appliquees pour chacune des zones. 241
Figure 152. Cartes de conductivite electrique apparente de la parcelle *162* (lieu-dit La Baronnie). Prospection EM31 (2x2 m^2). Configurations HCP (a) et VCP (b). L'echelle de couleurs est identique. Position des profils ERT et des sondages penetrometriques. 243
Figure 153. Variations de resistivite electrique interpretee le long des profils ERT L1 et L2 definis dans la parcelle *162* (lieu-dit La Baronnie). Les positions des anomalies remarquables cartographiees sont indiquees par des

fleches et des traits pointilles. Le sondage penetrometrique P2 realise sur le profil L1 est figure par un triangle rouge. 244
Figure 155. Schema d'interpretation des anomalies cartographiees en prospection electrique, magnetique et EM dans le secteur de La Baronnie. 245
Figure 154. Variations de la resistance mecanique du sol de la butte Nord (P1 et P2) et de la terrasse Sud (P4 et P5). Sondages penetrometriques realises dans la parcelle 162 (lieu-dit La Baronnie). 245
Figure 156. Situation des parcelles prospectees aux lieux-dits Derriere la baronnie et A la roche. 247
Figure 157. Lieu-dit A la roche : prospection magnetique (dispositif AMP - Geocarta). 248
Figure 158. Carte de resistivite electrique apparente du secteur « Derriere l'amphitheatre » (ARP voie 2 / pole-pole 1 m) 249
Figure 159. Interpretation des anomalies d'origine anthropique possible. Fond de carte de resistivite electrique apparent (Arp voie 2 / pole-pole 1 m). 250
Figure 160. Carte de resistivite electrique apparente (ARP voie 2 – prospection Geocarta). Carte de gradient vertical du champ magnetique total. Rue de l'Amphitheatre. 252
Figure 161. Restitution des anomalies cartographiees en prospections magnetique et electrique sur la carte de conductivite electrique apparente (EM31) et l'image LiDAR - en haut - et sur le cadastre de 1887 (feuille E1) - en bas. La position des structures baties decouvertes au sud de la route a ete reportee (vectorisation du plan de fouille Boulanger-Bouchet 2006). 253
Figure 162. Localisation de la zone prospectee au lieu-dit La Place (parcelles *359-364-367-368*). 254
Figure 163. Carte de resistivite electrique apparente (pole-pole, ecartement 1 m) au lieu-dit La Place (secteur Centre). 255
Figure 164. Schema d'interpretation des anomalies conductrices (en bleu) et resistantes (en rouge et beige) cartographiees au lieu-dit La Place (secteur Centre). 256
Figure 165. Position des anomalies lineaires resistantes (trait rouge) et conductrices (trait bleu), detectees au lieu-dit La Place, sur le cadastre de 1887 (feuille E4). 256
Figure 166. 1. Carte de conductivite electrique apparente (EM31) obtenue au lieu-dit La Place (secteur Centre). 2. Resistivites interpretees le long du profil ERT realise sur le meme terrain. Configuration dipole-dipole – 72 electrodes. L'anomalie (a) indique la position du mur detecte en prospection electrique et recoupe transversalement par le profil ERT. La ligne pointillee separe la couche resistante (anthropique) reposant sur la couche conductrice (substrat marneux). 257
Figure 167. Carte de localisation des anomalies de resistivite interpretees et des principales structures archeologiques connues du secteur Centre (lieu-dit La Place), situe dans le talweg Nord. D'apres les leves topographiques des conduits, les decouvertes dans les tranchees d'assainissement et les cartes geophysiques. 258
Figure 168. Cartes de gradient du champ magnetique total (a) et de resistivite electrique apparente (b) en configuration pole-pole (ecartement 1 m). Prospection des parcelles *117-118* donnant sur le chemin de la Moucherie. 260
Figure 169. Localisation de la zone de prospection (secteur de la « villa La Violette » - parcelle *56*), le long du chemin de Brechainville. Les bosquets sont designes par les lettres N et S. 261
Figure 170. Plan du batiment principal (« *villa* ») degage dans le bosquet N. Les longueurs ont ete reportees d'apres les archives de fouilles (Berçot 1969, 1970, 1971, 1972) sur le releve de J.-C. Berçot (1971). Secteur La Violette. 262
Figure 171. Plan du batiment (« grange ») degage dans le bosquet S. Les longueurs (en metres) ont ete reportees d'apres les indications fournies par les archives de fouilles (Berçot 1968, 1972, 1973a). Secteur La Violette. 262
Figure 172. Plan du batiment (« ecuries ») degage dans le secteur de La Violette, a proximite des bosquets N et S. D'apres un releve de J.-C. Berçot (1970). 263
Figure 173. Positions relatives des constructions constituant l'ensemble de la « villa La Violette ». D'apres un schema de J.-C. Berçot (1973b). 263

FIGURE 174. CARTES DE RESISTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (POLE-POLE, 1 M) ET DE GRADIENT MAGNETIQUE VERTICAL DU CHAMP TOTAL, DU SECTEUR DE LA VIOLETTE. 267
FIGURE 175. CADASTRES GEOREFERENCES CENTRES SUR LE SECTEUR DE LA « *VILLA* LA VIOLETTE ». A GAUCHE CADASTRE DE 1810 (SECTION C - 2EME SUBDIVISION), A DROITE CADASTRE DE 1887 (FEUILLES C7-C8). EN ROUGE : ANOMALIES RESISTANTES CREEES PAR LES MURS ENFOUIS 268
FIGURE 176. A. IMAGE LIDAR (ECLAIRAGE ARTIFICIEL 10 M / 90°) ET B. CARTE DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE APPARENTE (EM31) DU SECTEUR DE LA VIOLETTE (PARCELLE *36*). 270
FIGURE 177. CARTE D'INTERPRETATION DU SECTEUR DE LA « VILLA LA VIOLETTE » 271
FIGURE 178. PROPOSITION DE RESTITUTION DES TRACES D'OCCUPATION DU SITE DE GRAND. BATI REVELE DANS LES ZONES PROSPECTEES. 273
FIGURE 179. ORGANISATION DES STRUCTURES : MISE EN EVIDENCE DES ENSEMBLES PRESENTANT UNE ORIENTATION IDENTIQUE. UNE COULEUR EST ASSOCIEE A UNE DIRECTION MAJEURE (EN NOIR) STRUCTURANT UN GROUPE ORDONNE DE VESTIGES. LES VOIES RECONNUES SONT FIGUREES EN ROUGE. 275
FIGURE 180. MISE EN RELATION DU RESEAU SOUTERRAIN ET DES ELEMENTS BATIS SUPPOSES ANTIQUES REVELES DANS LES ZONES DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE (DELIMITEES PAR DES TRAITS POINTILLES NOIRS). 278

ANNEXES

ANNEXE 1 : Observations anciennes sur le contexte hydrographique dans la région de Grand

« Ce village, tel qu'on le voit maintenant, construit sur les ruines de l'ancienne ville de Gran, sur un terrain sec, pierreux et aride, manque presque d'eau dans les grandes sécheresses. Comme il est situé dans un terrain plat, environné de montagnes fort douces, on pourroit y amener et ramasser les eaux qui se sont perdues.

Aux environs coule un ruisseau que l'on appelle rivière *maudite* ou *maldite*, et dont le nom est Ornain. On prétend que ce ruisseau portoit autrefois bateaux, et plusieurs des anciens de Grand assurent avoir vu sur les différentes parties du territoire d'Avranville des anneaux scellés dans des roches qui servoient à les attacher.

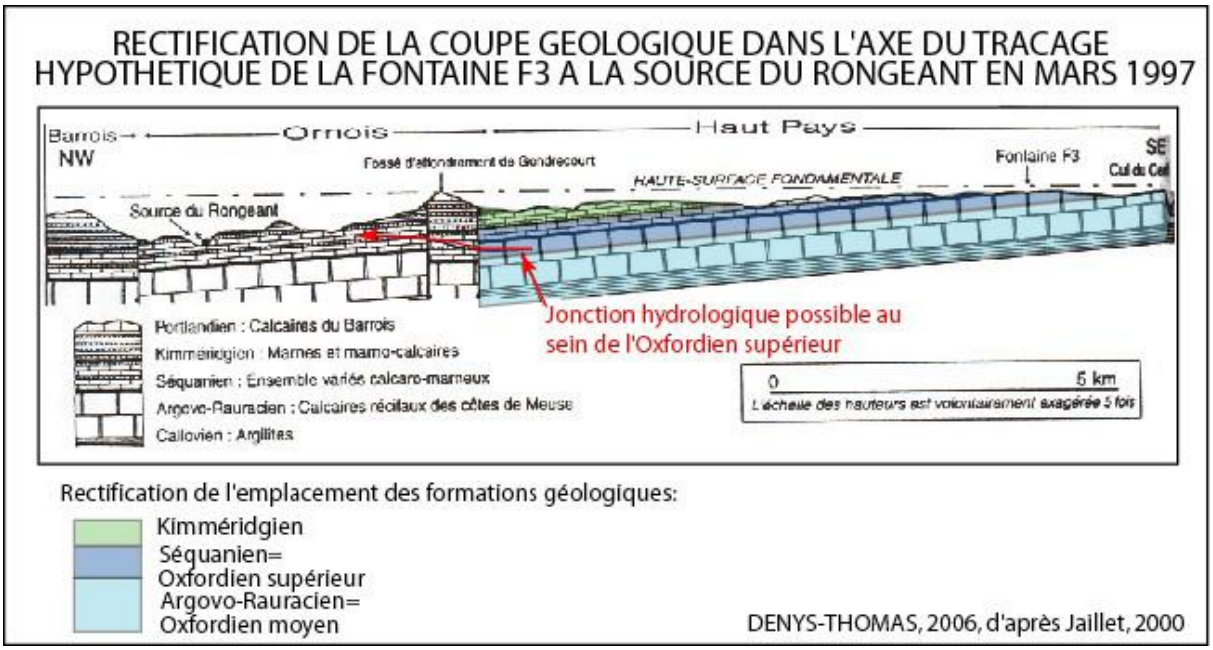
La source s'est perdue sous terre, et est à présent entre le finage de Bréchainville et celui de Grand. Elle commence par plusieurs veines d'eau qui forment un puits appelé de Saint-Gengoud. On lui a donné ce nom d'une chapelle bâtie en l'honneur de ce saint, à deux cent toises environ de cet endroit. Il ne manque jamais d'eau, et en communique à un autre appelé le puits de Bouteville [actuelle source de Routeuil], à un quart de lieue du premier, entre le finage de Grand et celui de Dainville-aux-Forges. Les eaux de la fontaine des Roises, proche Grand, se rendent dans ce puits, et en sortent ensuite pour former un lit qui ne tarit jamais. Elles alimentent les forges de Dainville, un moulin, un fourneau, qui se trouvent au-dessous, et forment après, à Bertheville, un étang qui sert aux forges.

A un quart de lieue de ce village, cette rivière reçoit dans son lit la petite rivière d'Ognon qui vient de Laneuville-aux-Bois, et continuant son cours par Gondrecourt, change dans la prairie de cette ville son nom de rivière *maudite* en celui d'Ornain, passe par Ligny, Bar-le-Duc, Revigny-aux-Vaches, et vient se jeter dans la rivière de Saulx, au-dessous du village d'Etrepy, à quatre lieues au-dessus de Vitry-le-François, et à deux au-dessous de Sermaise. Elle abonde en truites et en brochets. »

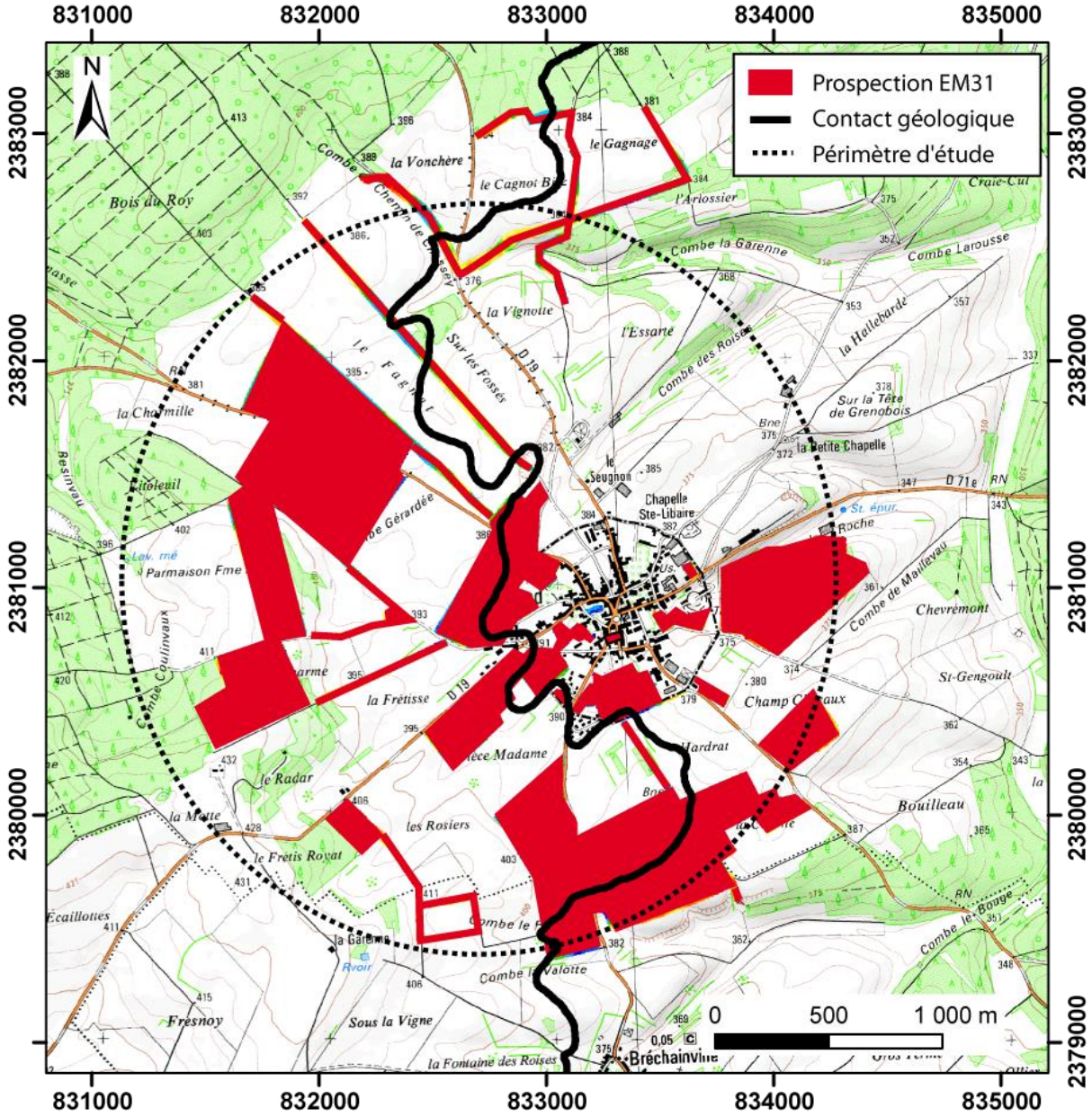
Mémoire sur les antiquités qui se trouvent dans le village de Grand et aux environs, d'après les fouilles faites dans les années 1760 et 1761, Anonyme, *in* Jollois, 1843.

ANNEXE 2 : Traçage du Bois de Trampot réalisé sous la conduite de la Commission Scientifique de la LISPEL (Jaillet 2000, Denys-Thomas 2006)

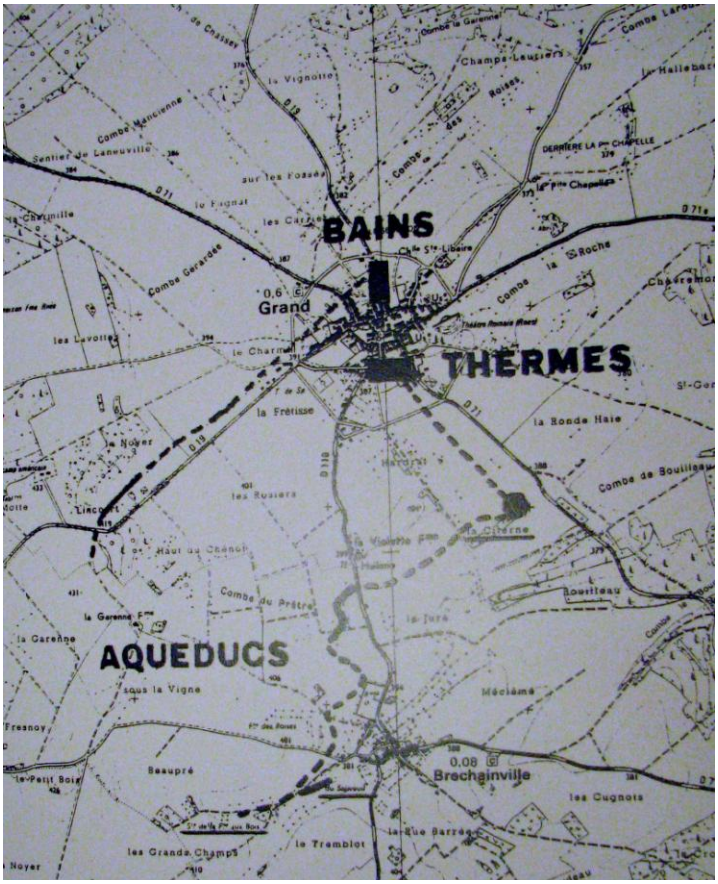
- Lieu d'injection : Fontaine n°3 (dite du Marcassin), bois de Trampot
- Date : 21 mars 1997 à 13 h
- Traceur : Fluorescéine (3 kg) + alcool + ammo
- Débit estimé : 0,25 l/s
- Point de sortie : source du Rongeant, le 27 mars 1997 vers 7 h 30 (témoignage de pêcheurs)
- Temps de transit : 138 h
- Vitesse estimée : 83 m/h



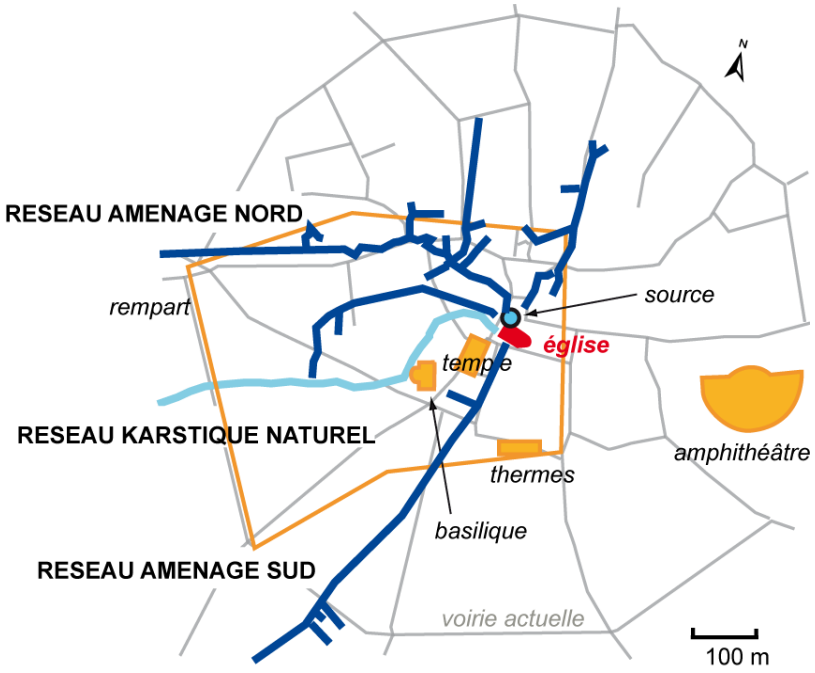
ANNEXE 3 : Zones prospectées en EM31 entre décembre 2008 et mai 2011 sur la commune de Grand



ANNEXE 4 : Tracés hypothétiques de deux conduits drainants desservant les « thermes » de Grand (document J.-P. Bertaux, 1980)



ANNEXE 5 : Plan de restitution du réseau de conduits souterrains (d'après J.-P. Bertaux, EDF 1993)



ANNEXE 6 : Drainage de la nappe : ordres de grandeur

Si l'on considère un conduit drainant de section circulaire placé sous le toit de la nappe, il suintera à travers la surface S du drain un débit Q dépendant de la perméabilité hydraulique K du milieu :
Q = K S (loi de Darcy approximée).
Les volumes quotidiens collectés par un tel conduit ont été calculés pour trois perméabilités différentes et des dimensions variables (diamètre d et longueur L). Les résultats, exprimés en m^3/j, sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

$K=10^{-3}$ $m.s^{-1}$ (calcaire)

d\L	1 m	100 m
0,1 m	27	2713
1 m	271	27130
2 m	543	54260

$K=10^{-5}$ $m.s^{-1}$ (calcaire)

d\L	1 m	100 m
0,1 m	0,3	27
1 m	2,7	271
2 m	5,4	543

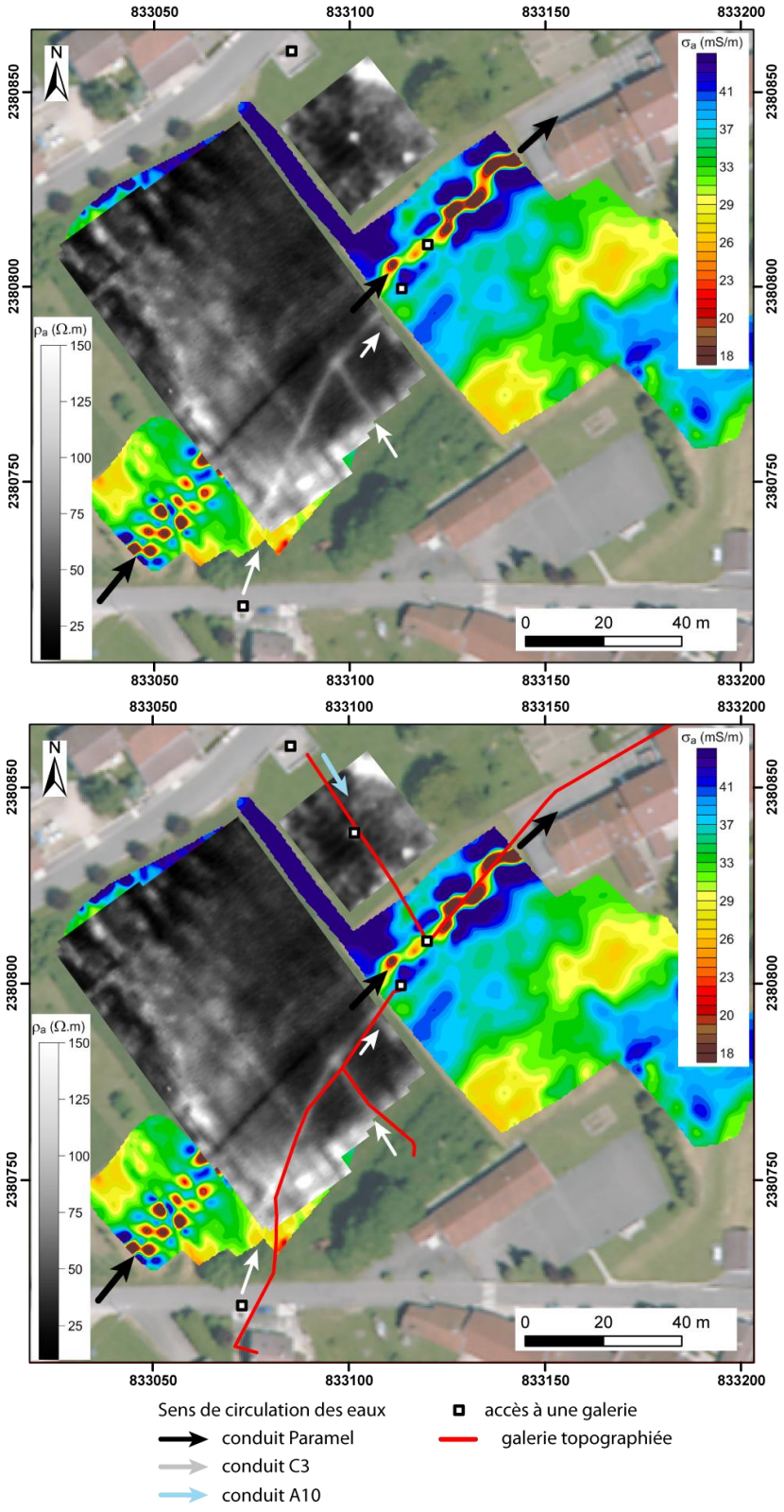
$K=10^{-8}$ $m.s^{-1}$ (argile)

d\L	1 m	100 m
0,1 m	$2,7*10^{-4}$	$2,7*10^{-2}$
1 m	$2,7*10^{-3}$	0,27
2 m	$5,4*10^{-3}$	0,54

Ce calcul global donne une idée sur la longueur de galerie drainante à utiliser en régime permanent.
Un conduit de 10 cm de diamètre, long de 1 km, creusé dans une couche calcaire de perméabilité moyenne égale à 10^{-5} $m.s^{-1}$, drainera quotidiennement 270 m^3, s'il est placé dans la zone saturée de l'aquifère. L'aménagement de 2 km de conduits de 1 m de diamètre dans les mêmes conditions produira un volume quotidien de 5430 m^3.
Si l'on suppose que **4 km** de conduits de **10 cm** de diamètre sont creusés dans un milieu calcaire moyennement perméable (K = **10^{-5} $m.s^{-1}$**) et se trouvent sous le niveau de la nappe, un tel réseau est susceptible de récupérer **25%** des débits potentiels du bassin versant topographique de Grand (soit 1080 m^3/j).
Ces valeurs sont multipliées par 100 si la perméabilité de l'aquifère calcaire est de 10^{-3} $m.s^{-1}$.

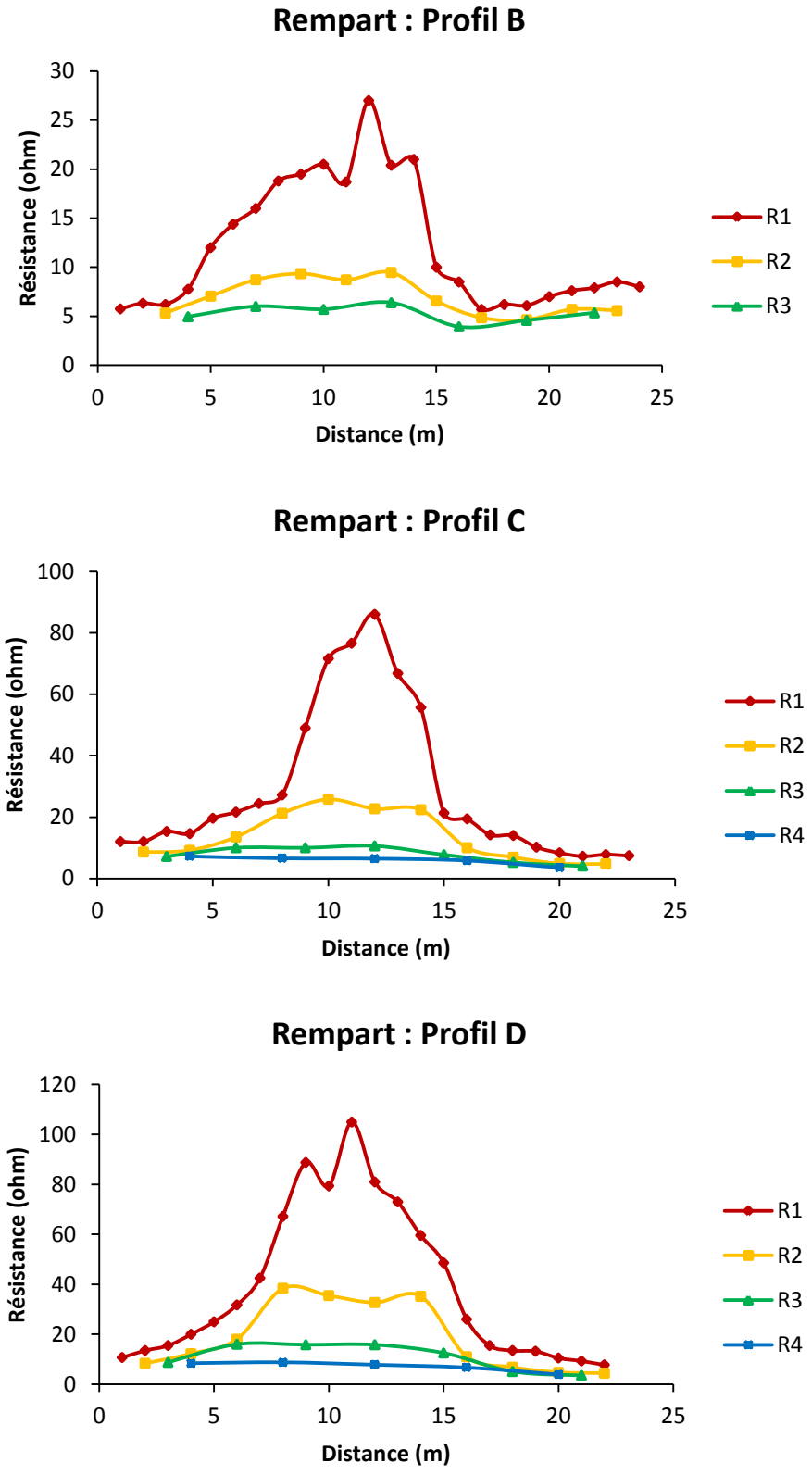
En milieu karstique, le conduit artificiel ou le puits foré peuvent recouper un conduit naturel. Celui-ci détournera les eaux ou au contraire augmentera la production de l'aménagement.

ANNEXE 7 : Cartographie des conduits dit du Groupe scolaire et de Paramel au lieu-dit Grand jardin (Grand). Prospections électriques et EM31 et relevé topographique (par exploration spéléologique).



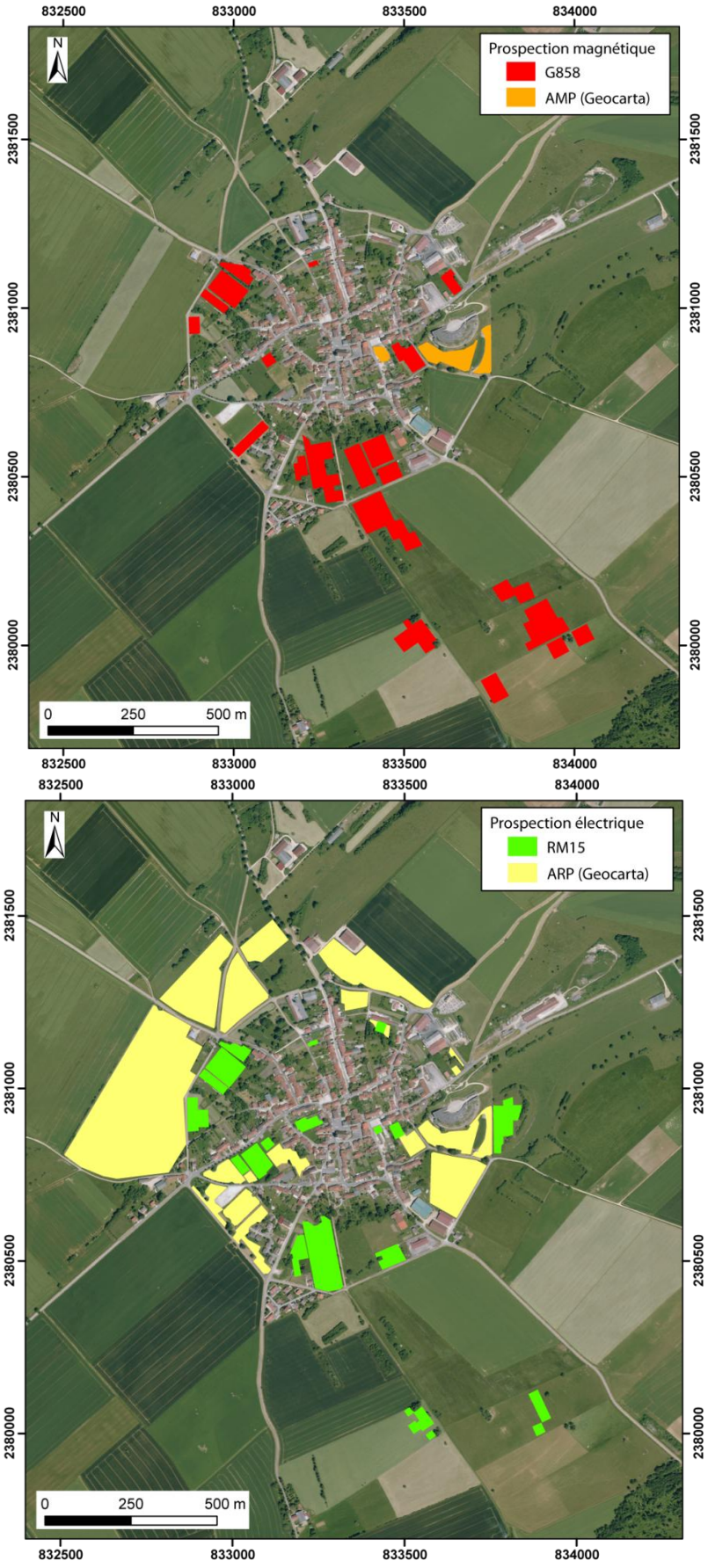
Variations de résistivité électrique apparente (pôle-pôle, 0,5 m) superposées aux variations de conductivité électrique apparente (HCP, EM31).
Mise en évidence des erreurs de relevé introduites lors de la topographie du conduit antique en 2010.

ANNEXE 8 : Reconnaissance du tracé du rempart : données anciennes de prospection électrique

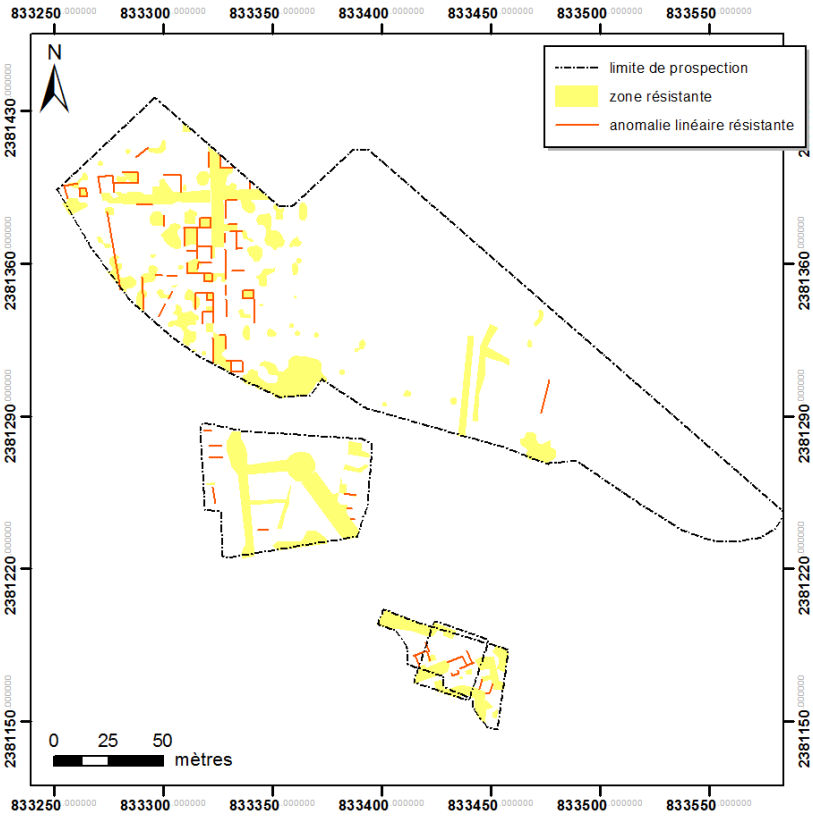


Profils électriques réalisés par J.-P. Bertaux sur la section ouest du rempart. Le dispositif utilisé et l'écartement ne sont pas connus (d'après J.-P. Bertaux 1983).

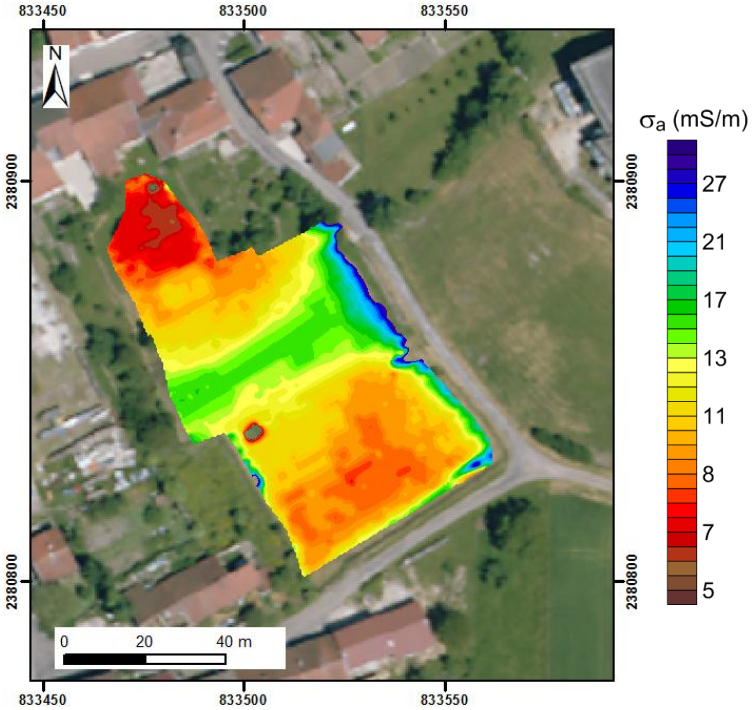
ANNEXE 9: Localisation des prospections magnétiques et électriques réalisées à Grand entre 2008 et 2011.



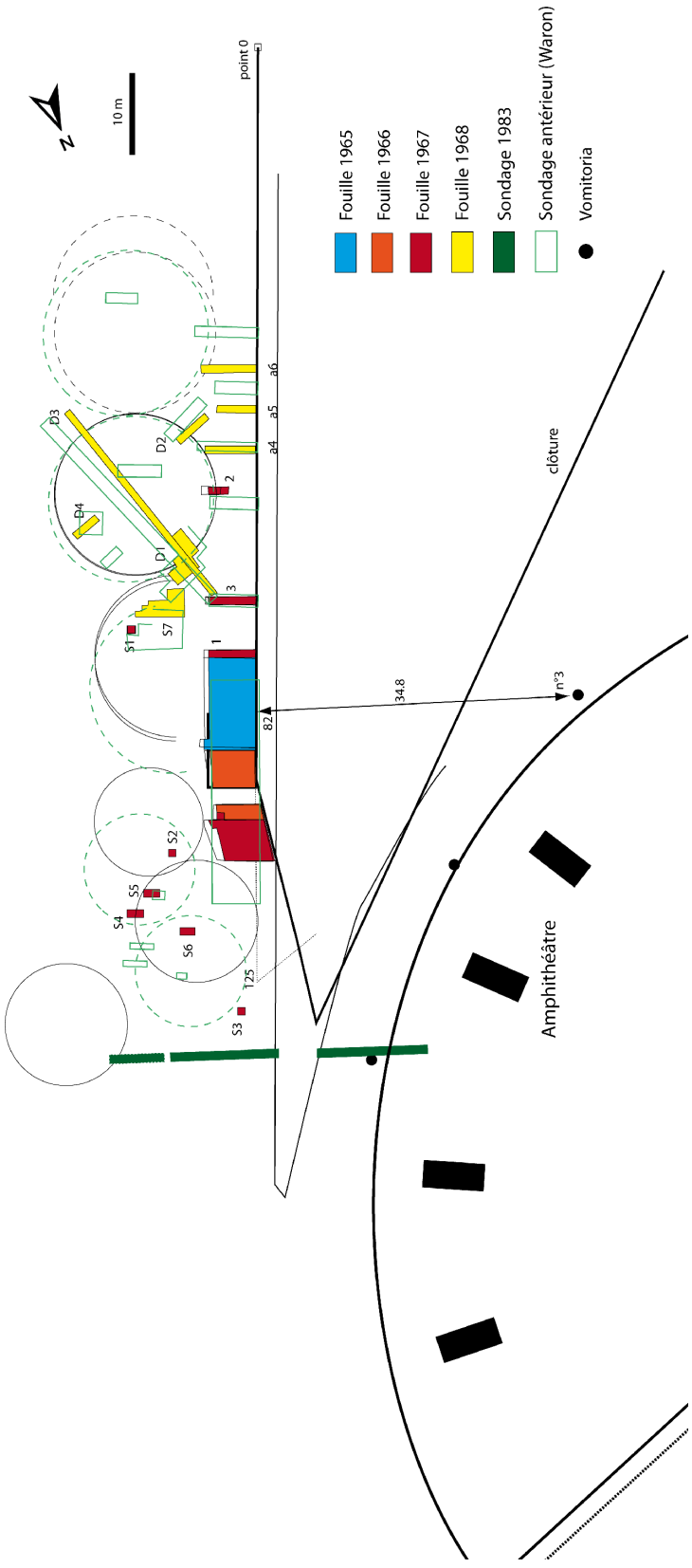
ANNEXE 10 : Carte interprétée des anomalies d'origine anthropique, détectées en prospection électrique. Secteur NE.



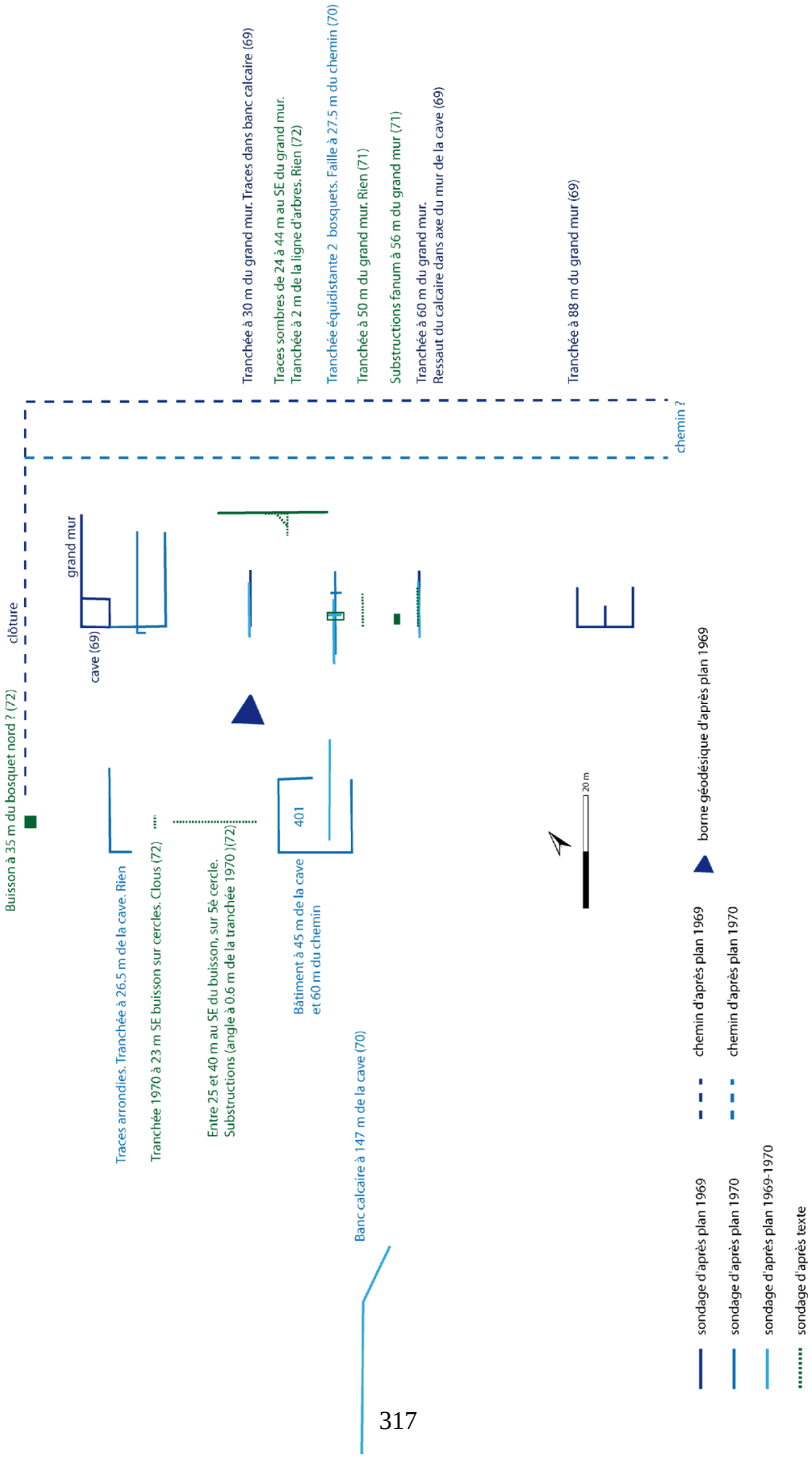
ANNEXE 11 : Prospection EM 31(profils espacés de 2 m, acquisition en continu, HCP) au lieu-dit La Baronnie



ANNEXE 12 : Repositionnement de sondages anciens dans le secteur dit « Les boutiques », au SE de l'amphithéâtre de Grand, d'après les relevés de J.-C. Berçot (1965, 1967, 1968) et M.-D. Waton (1983).



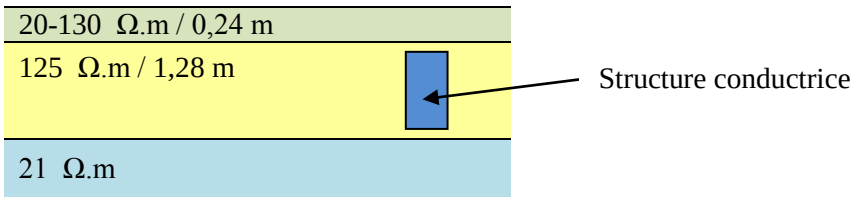
ANNEXE 13 : Repositionnement de sondages anciens dans le secteur dit de la « *villa* La Violette », au sud de Grand, d'après les relevés de J.-C. Berçot réalisés entre 1969 et 1972 et remis à l'échelle.



ANNEXE 14 : La Violette : inversions 1D/3D

Avec le développement des dispositifs multipole mobiles, les prospections à maille fine bénéficient désormais de l'acquisition rapide d'un grand nombre de données et permettent d'obtenir la distribution verticale de résistivité en plus des variations horizontales. L'inversion 3D complète d'un volume très important de données soulève en effet de nombreuses difficultés aussi bien techniques (implémentation de l'algorithme et computing requirements) que d'interprétation (maillages inhomogènes, variations de résistivité plus rapides en z qu'en xy et mieux rendues par un modèle 1D qu'un modèle 3D). Des améliorations sont encore nécessaires pour une exploitation optimale de l'information et ajouter à l'interprétation qualitative des estimations quantitatives. Des solutions différentes existent et sont utilisées selon les objectifs des études.
Un procédé en deux étapes peut être adopté (Brinon *et al.* 2012). Un modèle électrique simple 1D du terrain est déterminé à partir de l'inversion de données de sondage électrique (ou dans le cas présent de l'ensemble des données RM15). Une inversion 3D est ensuite réalisée pour reconnaître la géométrie et les caractéristiques électriques d'un objet simple, archéologique ou géologique (murs, fossés, diaclases) présent dans les niveaux superficiels. L'interprétation 3D porte donc sur une zone localisée. Les corps présents sont définis par un nombre limité de paramètres tels que leur résistivité, leur profondeur (toit et base), leurs dimensions (largeur, longueur) et leur orientation.

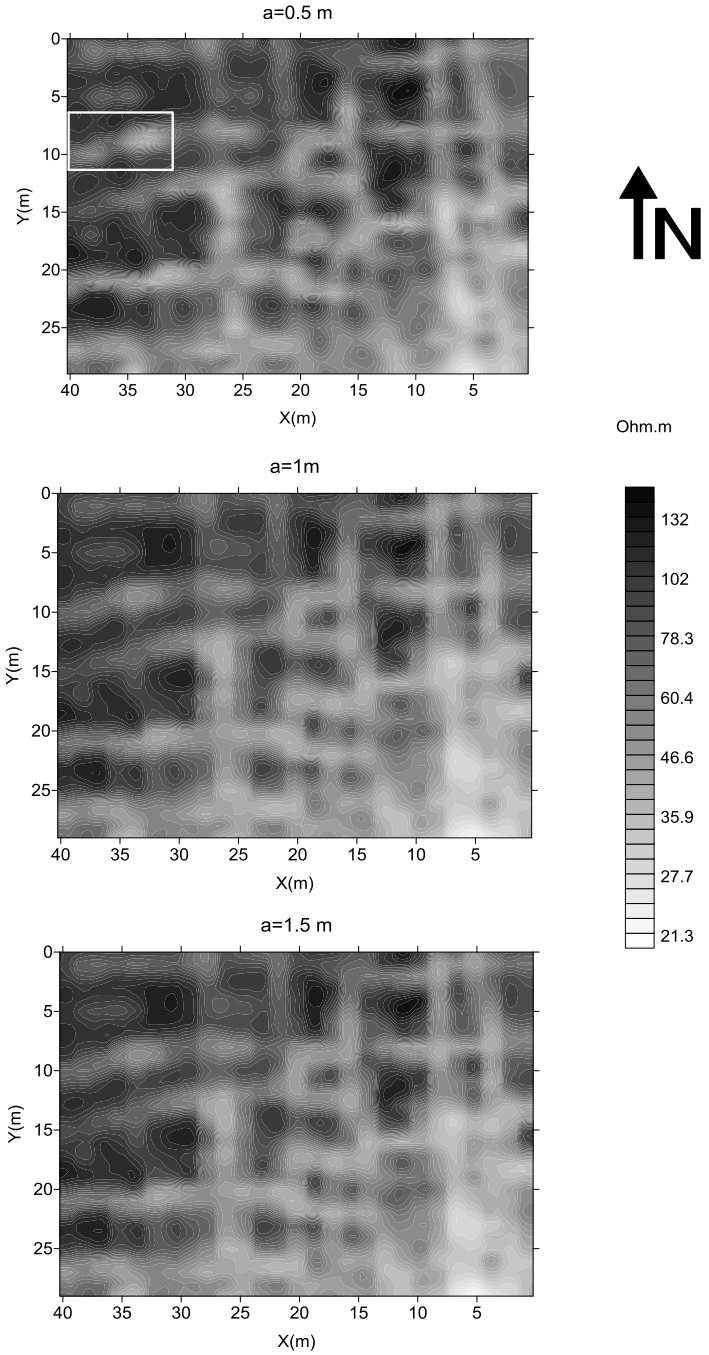
Dans le secteur de la « *villa* La Violette » la prospection électrique a révélé, entre les bâtiments gallo-romains dégagés au cours des fouilles, un réseau d'anomalies conductrices qui sont trop proches et trop irrégulières pour correspondre à des structures anthropiques (de type fossés). Pour parvenir à une meilleure description de ces structures conductrices linéaires, on a cherché à préciser leur géométrie et leur résistivité électrique.
Les trois mesures faites en chaque point avec un RM15 (4 électrodes / configuration pôle-pôle) permettent de construire le modèle 1D suivant (fenêtre de 5 x 5 m^2) :
- un horizon superficiel de 0,24 m d'épaisseur et de résistivité variant entre 20 et 130 Ω.m ;
- une couche résistante, associée à un calcaire non saturé, de résistivité 125 Ω.m et d'épaisseur comprise entre 0,2 m et plusieurs mètres ;
- une couche conductrice (21 Ω.m) qui peut être interprétée comme une couche de marne.
Une zone de 9,5 x 5 m^2, localisée à [30,75 – 40,25 m] sur l'axe des x et [6 – 11 m] sur l'axe des y, recoupée par les structures conductrices a été choisie. La seconde couche déterminée par le modèle 1D est épaisse de 1,28 m, ce qui situe le toit des marnes à une profondeur de 1,52 m (voir schéma ci-dessous).



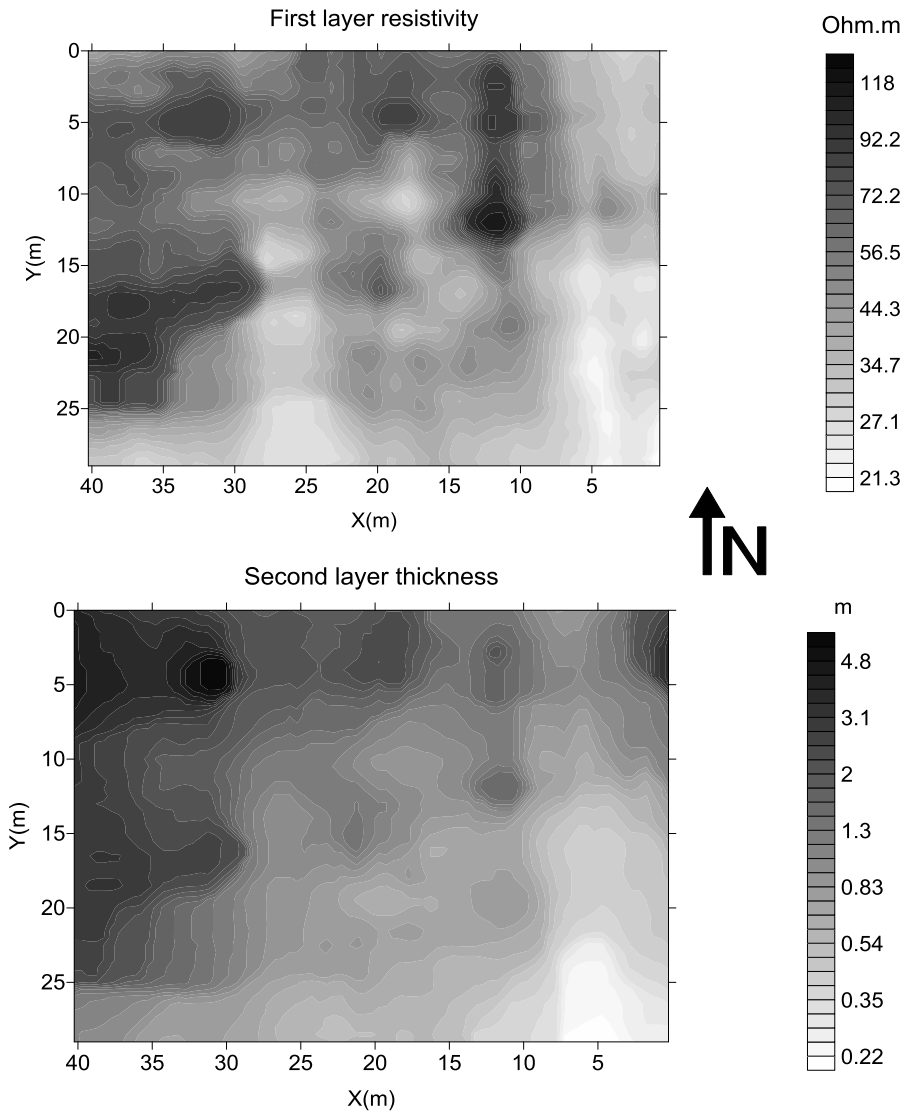
Structure du sous-sol de la zone étudiée

Les caractéristiques de la structure conductrice, obtenues après inversion 3D, sont les suivantes :
- orientation de 15° par rapport à l'axe des x
- centre à x_c = 35,25 m, y_c = 9 m, z_c = 0,88 m
- longueur de 10 m
- section (y_l, x z_l) = (0,68 x 1,2 m)
- résistivité de 27 Ω.m

L’inversion 3D permet donc d’établir que ces structures conductrices, fines, se développent à travers la seconde couche résistante superficielle sur presque toute son épaisseur, et suggère qu’il s’agit de diaclases.



Cartes de résistivité électrique apparente (pôle-pôle, écartements 0,5/1/1,5 m) et localisation de la zone d’étude. Secteur de la *villa* La Violette – Grand.



Inversions des données de prospection électrique (pôle-pôle) du secteur de la *villa* La Violette – Grand : résistivités de la couche superficielle et épaisseur de la seconde couche.

ANNEXE 15 : Réactions des opposants à la candidature de la commune de Grand répondant à l'appel lancé par l'Andra en 2008 pour la création d'un site de stockage de déchets FAVL. Chaque commune a une association de 1901 regroupant ces opposants, celle de Grand s'appelle ASODEDRA, elle a pour président Maurice Michel et pour secrétaire Chantal Bertaux.
Ci-dessous un exemplaire des tracts diffusés lors de notre travail, une lettre de l'ASODEDRA adressée à l'UPMc et la réponse de l'UPMC.

Les potins du collectif anti déchets nucléaires - N° 2

Bulletin de liaison des "Habitants vigilants" de Grand- imprimé par nos soins - AVRIL 2009

Habitants vigilants de GRAND, en décembre 2008, vous avez signé une pétition par laquelle vous avez, courageusement et nominativement, manifesté votre opposition massive au projet d'enfouissement sur notre territoire de déchets nucléaires radiotoxiques.

En janvier 2009, nous avons dénoncé (voir les Potins du Collectif n° 1) le peu de considération que Monsieur le Maire attachait à l'opinion largement majoritaire de la population de GRAND contre un projet qui sacrifie les générations futures.

Eh bien,…

QUE DIREZ-VOUS AUX GÉNÉRATIONS FUTURES ? « JE N'AI RIEN FAIT CONTRE… »

I. Eh bien, l'étau sur GRAND se resserre…

1) Dix-neuf communes sont revenues sur leur candidature, à la demande de la population.

Ainsi, Fréville et Rouvres-en-Xaintois, dans notre département ; Rimaucourt, Foulain-Crenay, Donjeux, Lanty-sur-Aube, Rouvroy, Gudmont, en Haute-Marne ; Badonvilliers, Treveray, Demange-aux-Eaux, Fontaines-Saint-Clair, en Meuse ; Soulaines-Dhuys dans l'Aube, Blesme, Scrupt, Maurupt-le-Montois dans la Marne ; et plus récemment Billy-sous-Mangienne et Rouvrois-sur-Othain dans le nord meusien, Baronville en Moselle, toutes ces communes ont retiré leur candidature. Et peut être bientôt la commune d'Aouze qui a décidé d'une consultation populaire…
Aussi, le nombre de communes « candidates à la candidature », dont GRAND, se restreint-il comme une peau de chagrin, augmentant le risque que notre village figure parmi les communes prochainement présélectionnées par l'Etat.

2) A GRAND, Monsieur le Maire campe obstinément sur ses positions

Mieux encore, dans ses derniers « Potins », Monsieur le Maire diffuse le 4 avril dans toutes les boîtes aux lettres du village un courrier de l'ANDRA, daté du 20 février 2009, dans lequel la directrice générale de l'agence écrit : « *Je vous confirme que les communes présélectionnées seront invitées à délibérer à nouveau à l'issue des investigations géologiques approfondies pour se porter effectivement candidates à l'accueil du centre de stockage... ».*
A en croire l'ANDRA, il y aura une seconde délibération et le site de stockage sera créé sur la base du volontariat. Sans accord de la commune, pas d'enfouissement de déchets radioactifs. Or, il n'en est rien.

3) Certes, il y aura bien une seconde délibération,… mais elle sera uniquement « consultative »

Cette lettre de l'ANDRA cherche à minimiser les propos de Nicolas Lerouge, maire de Braux-Saint-Rémy (Marne)[1], qui à la suite de son entrevue au Ministère de l'Ecologie, a déclaré : « *il nous a été précisé que cette [nouvelle] délibération était en fait seulement « **consultative** » et que l'ANDRA s'engageait à la suivre mais que rien ne l'y obligeait ».*

Le 6 avril 2009, Nicolas Lerouge répondait à l'ANDRA. Il maintient fermement sa position à propos de la délibération que les conseils municipaux seront appelés à prendre pour confirmer ou infirmer : **« /…/ je persiste à dire qu'elle sera consultative »** (Lettre de M. Lerouge, en annexe).

[1] M. Lerouge a été reçu le 23 janvier avec deux autres de ses collègues par Olivier Terneaud, conseiller technique sur les questions nucléaires auprès de Jean-Louis Borloo, Ministre de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire.

4) Une consultation… à l'exemple de Bure

Malgré l'enquête d'utilité publique qui avait largement démontré le refus de la population contre ce projet, Bure a été choisi (décret du 3 août 1999) par le gouvernement et les pouvoirs publics comme lieu "expérimental" pour l'implantation d'un "laboratoire de recherche" sur l'enfouissement des déchets nucléaires en couche géologique profonde. Or, ce qui n'était au départ qu'un "laboratoire", pour étude, est appelé à courte échéance à recevoir des déchets hautement radioactifs.

II) Agir maintenant avant qu'il ne soit trop tard



1) Pourquoi agir maintenant est-il si important ?

Après 2010, les délibérations des communes retenues ne seront que **consultatives**, et n'auront donc pas valeur de décision. En d'autres termes, l'Etat peut s'assoir dessus, comme il l'a fait à Bure ! **C'est dire l'urgence qui s'attache à ce que notre commune retire sa candidature dès maintenant et avant que ne soient connues celles qui seront présélectionnées**. Après, il risque d'être trop tard !

Dans ses « Potins n°4 », Monsieur le Maire affirme que l'ANDRA, dans son courrier, *« confirme clairement ce que nous avons toujours dit et écrit. »*. Non ! Monsieur le Maire, **l'ANDRA prévoit une nouvelle délibération après les investigations géologiques, mais, vous, vous êtes publiquement engagé à ce que le Conseil Municipal délibère à nouveau avant les investigations**. Ainsi, vous avez écrit, dans « les Potins n° 2, de septembre 2008» : **« *Si le conseil décide d'aller plus loin, il devra prendre une délibération pour permettre à l'ANDRA d'effectuer des sondages géologiques* »**.

2) A propos justement d'investigations, qui sont ces mystérieux visiteurs ?

Conduites sur plusieurs terrains du village par des étudiants, des investigations sont en cours depuis début 2009. Ont-elles un lien avec l'ANDRA ? Aucun démenti pour l'instant n'a été apporté.

Nous ne voulons pas croire qu'elles pourraient avoir lieu sans que le Conseil Municipal n'ait eu à en délibérer au mépris de la promesse de Monsieur le Maire. Toujours est-il que ces investigations ont soulevé une vive émotion parmi les propriétaires de terrains, dont **nombre d'entre eux, à défaut d'être rassurés, viennent de saisir officiellement les autorités pour s'opposer à la poursuite de toutes mesures géophysiques et de toutes investigations sur leurs terrains… tant que la commune de Grand n'aura pas retiré sa candidature.**

Nous soutenons cette prise de position courageuse et responsable.

3) De notre côté, qu'avons-nous fait depuis nos « Potins du Collectif de janvier 2009 » ?

Nous comptons vous en informer, plus en détails, au cours de la réunion que nous tiendrons **le vendredi 24 avril 2009 à la *Maison de Tous* à 20h30** (invitation jointe).
En attendant, nous tenons à remercier ceux de nos « Grands Elus » qui se sont positionnés clairement contre le projet, **pour leur clairvoyance et leur sens des responsabilités, Messieurs Drapier, Franqueville et Gaultier**

Nous sommes également solidaires des habitants vigilants des communes « candidates à la candidature » qui, comme nous, se sont mobilisés dans tous les départements concernés. **Aujourd'hui, nous formons un réseau, solidaire, qui ne cesse de s'agrandir** au fil des manifestions régulières comme à Soulosse, Aouze, et le **18 avril à 15 h à Doulaincourt (52).**

Habitants de GRAND, vous qui avez signé la pétition, venez nous rejoindre.
Ne laissons pas notre Territoire devenir une poubelle nucléaire.

De : Maurice Michel
Envoyé : mercredi 20 mai 2009 12:14
À : Président UPMC
Objet : Travaux géophysiques de l' UPMC sur le site archéologique de GRAND (88)

Bonjour Monsieur le président,

Par mail du 3 avril dernier, je vous ai saisi de l'émotion suscitée dans la population de GRAND (Vosges) par l'intervention d'une équipe d'étudiants de votre université sur le territoire du village et je vous en ai donné les raisons. Comme je vous en ai fait part dans mon courriel, et en l'absence de réponse de votre part, plusieurs gros propriétaires terriens ont interdit l'accès de leurs terrains à toute investigation, quel qu'en soit le demandeur, y compris le conservateur départemental. Ils ont avisé par LRAR (lettre recommandée avec accusé de réception) les autorités locales de leur décision.

Il s'avère de surcroît que les investigations conduites jusqu'alors en lien avec le conseil général des Vosges dans le cadre de la préparation de la thèse de doctorat de Melle Claire BRINON (directeur de thèse : Alain Tabbagh) l'ont été sur certaines des parcelles sans l'autorisation formelle desdits propriétaires**. Ils forment en conséquence, m'ont-ils dit, les réserves les plus fermes sur l'utilisation, sans leur accord, des mesures, sondages, valeurs et autres constatations que les étudiants, et ceux qui se sont présentés comme tels, ont faits.**

J'ai avisé les membres de notre association, ASODEDRA (association pour la sensibilisation de l'opinion sur les dangers de l'enfouissement des déchets radioactifs) de l'absence de réponse de votre part, fut-ce un simple accusé de réception, à mon courriel précité du 3 avril 2009. Ils me chargent de vous signaler que si votre comportement est peu compatible avec les règles de la courtoisie administrative, il peut aussi, et plus fâcheusement, entraver le déroulement de la thèse de Claire BRINON, ce qui n'est pour l'heure l'objectif de personne. Plus grave, votre silence a renforcé la suspicion des habitants sur le lien éventuel qui pourrait exister entre les investigations des « étudiants » et le projet de l'ANDRA (agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) de créer un site de stockage de déchets nucléaires.

Monsieur le Président, je me plais à penser que l'autonomie qui a été accordé aux universités, dont la vôtre, ne permet pas à leurs présidents de méconnaître les valeurs de transparence qui fondent leur crédibilité auprès des citoyens. Dans vos propos publics, vous vous référez à ce besoin de transparence. Pouvez-vous avoir l'amabilité de vous y reporter et de nous apporter une réponse claire à la question que je vous ai posée : existe-t-il, oui ou non, un lien direct ou indirect, entre les investigations menées par vos « étudiants » sur le territoire du village et le projet de l'ANDRA ? Faute de réponse claire de votre part dans un délai raisonnable, nous serons conduits à considérer que, selon l'adage « qui ne dit mot consent », nous avons de bonnes raisons de suspecter des liens singuliers entre votre université et l'enfouisseur public de déchets radiotoxiques. Nous le ferons alors savoir à la population, aux membres de votre conseil d'administration, aux organisations syndicales présentes sur le site de l'UPMC, à vos pairs et à vos autorités de tutelle.

Dans l'attente de vous lire, je vous adresse, Monsieur le président, mes salutations empressées.

Maurice MICHEL

Président de l'ASODEDRA
Inspecteur général des affaires sociales honoraire

UPMC
PARIS UNIVERSITAS

Paris, mardi 2 juin 2009

Monsieur Maurice MICHEL
Président de l'ASODEDRA
Inspecteur général des affaires sociales honoraire

N/Réf. : A1/JCP/CN/09-057

Objet : travaux géophysiques sur le site archéologique de Grand (88)

Cher Monsieur Michel,

L'UPMC et ses doctorants se consacrent à la science. L'étude est soutenue par le Conseil Général des Vosges dont les élus de votre canton pourront vous rendre compte. Elle concerne la géologie et l'hydrologie de la région.

Le ton menaçant que vous croyez bon d'adopter ne nous fera pas renoncer à la vérité scientifique. Les universités autonomes ont l'habitude de recevoir des menaces sans pour autant cesser de promouvoir la recherche et la connaissance hors de tous préjugés.

Je vous prie d'accepter, Cher Monsieur Michel, mes salutations distinguées.

Le président

Jean-Charles Pomerol

Cc. : Monsieur le Président du Conseil Général des Vosges

Présidence
4 place Jussieu 75005 Paris
Tél. 01 44 27 33 49 - Télécopie : 01 44 27 38 29
www.upmc.fr