

**UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE**

**ECOLE DOCTORALE « LANGAGE, ESPACE, TEMPS, SOCIETES »**

Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur en

**Archéologie**

**COMPARAISON DE SIGNAUX (GÉOPHYSIQUE, LIDAR) UTILISÉS DANS  
L'ÉTUDE DES DYNAMIQUES ANTHROPIQUES ET NATURELLES**

Vol. 2

Présentée et soutenue publiquement par

**Clément LAPLAIGE**

Le 16 février 2012

Sous la direction de M. le professeur François Favory

Membres du jury :

Philippe Barral : ingénieur de recherche, Université de Franche-Comté

Gérard Chouquer : directeur de recherche, Universités Paris I Panthéon-Sorbonne et Paris X Nanterre

François Favory : professeur, Université de Franche-Comté

Georges-Noël Lambert : chargé de recherche, Université de Franche-Comté

Christophe Petit : professeur, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Rapporteur

Benoit Sittler : Diplom-Geograph, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Alain Tabbagh : professeur, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Rapporteur

**UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE**

**ECOLE DOCTORALE « LANGAGE, ESPACE, TEMPS, SOCIETES »**

Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur en

**Archéologie**

**COMPARAISON DE SIGNAUX (GÉOPHYSIQUE, LIDAR) UTILISÉS DANS  
L'ÉTUDE DES DYNAMIQUES ANTHROPIQUES ET NATURELLES**

Vol. 2

Présentée et soutenue publiquement par

**Clément LAPLAIGE**

Le 16 février 2012

Sous la direction de M. le professeur François Favory

Membres du jury :

Philippe Barral : ingénieur de recherche, Université de Franche-Comté

Gérard Chouquer : directeur de recherche, Universités Paris I Panthéon-Sorbonne et Paris X Nanterre

François Favory : professeur, Université de Franche-Comté

Georges-Noël Lambert : chargé de recherche, Université de Franche-Comté

Christophe Petit : professeur, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Rapporteur

Benoit Sittler : Diplom-Geograph, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Alain Tabbagh : professeur, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Rapporteur

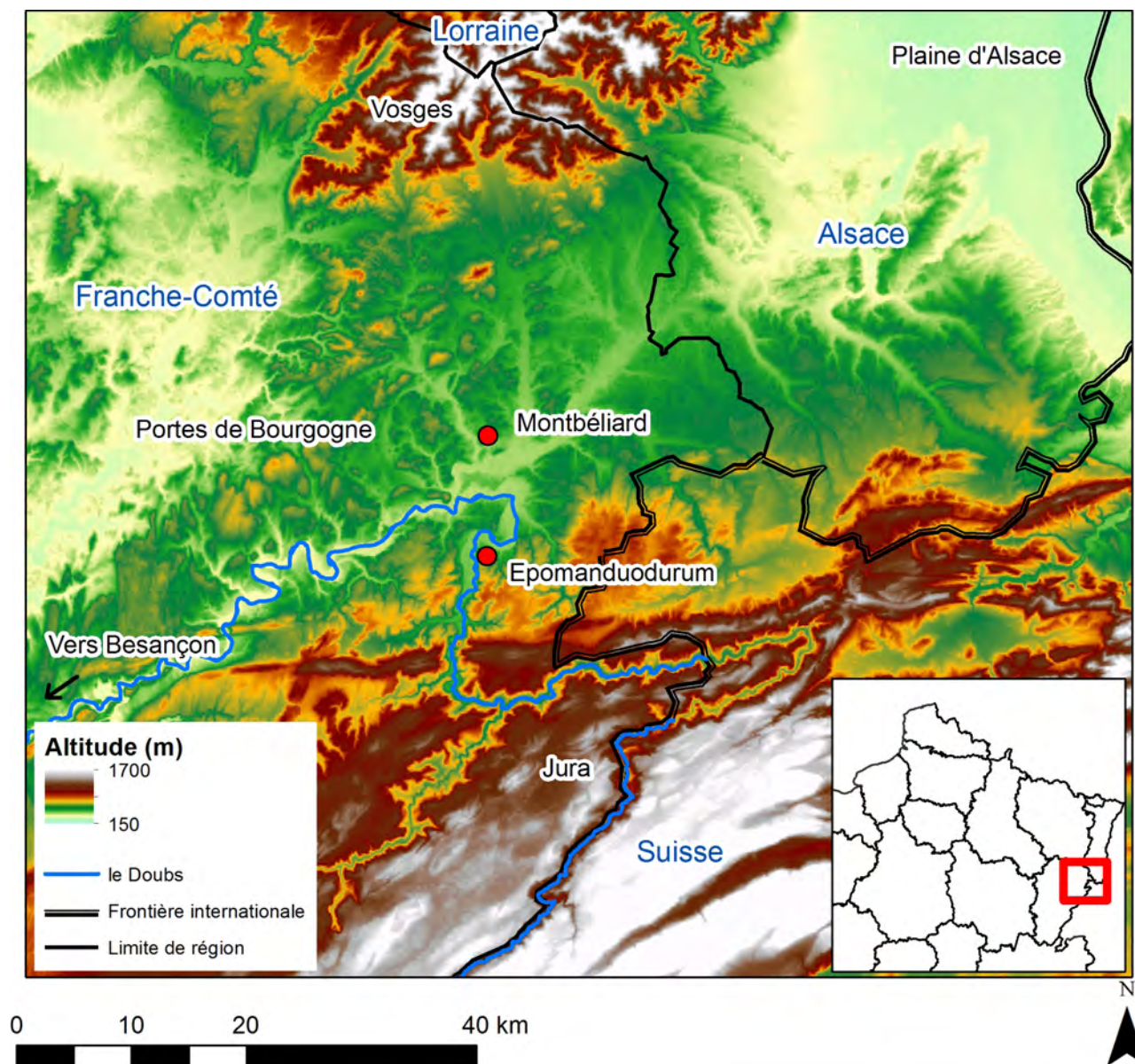


Figure 1. Contexte géographique du Nord Franche-Comté et localisation de la cité antique d'Epomanduodurum (C. Laplaige, 2011 ; données SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, NASA))

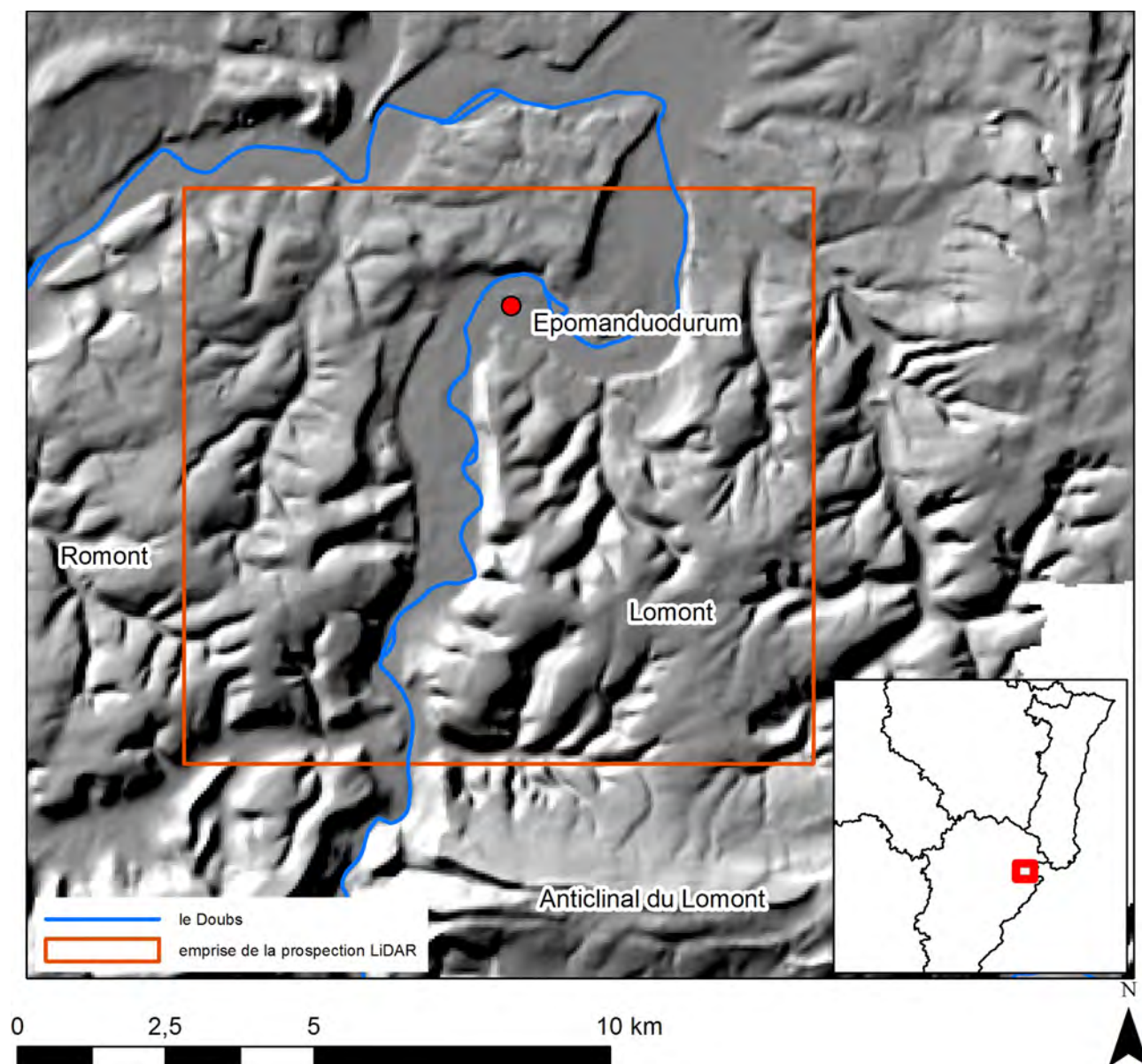


Figure 2. Contexte géomorphologique de la zone d'étude LiDAR. Modèle ombré du terrain, azimuth 315°, élévation 45° (315-45) (C. Laplaige, 2011 ; données SRTM)

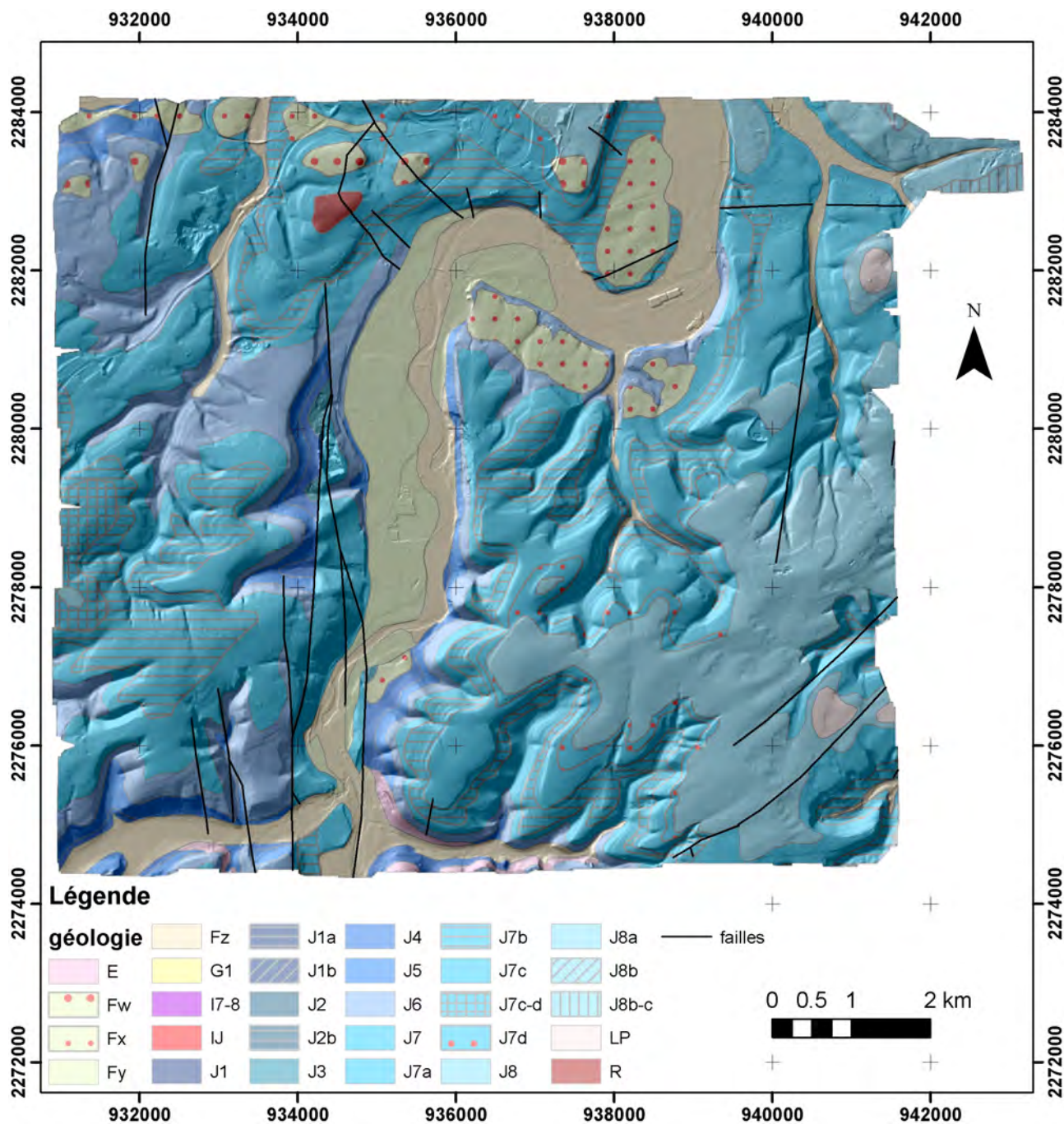


Figure 3. Carte géologique de la zone d'étude drapée sur le modèle ombré du terrain 315-45 (C. Laplaige, 2011 ; données BRGM)

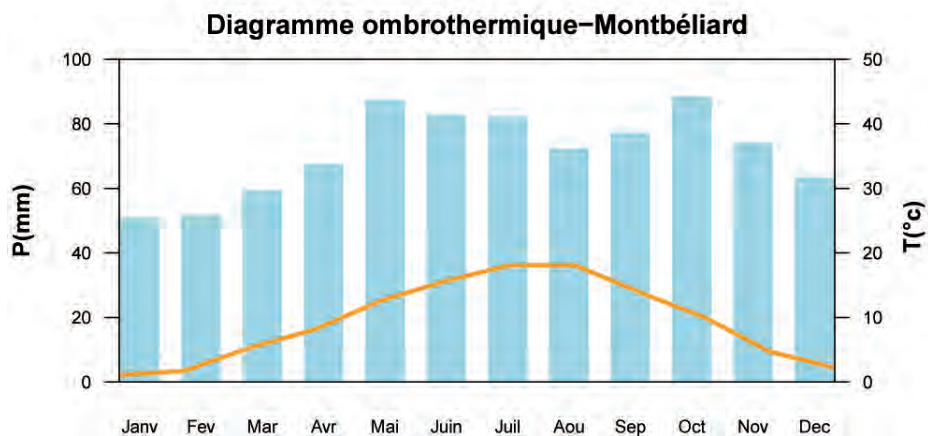


Figure 4. Diagramme ombrothermique de Montbéliard (C. Laplaige, 2011 ; données Météo France 2000-2010)

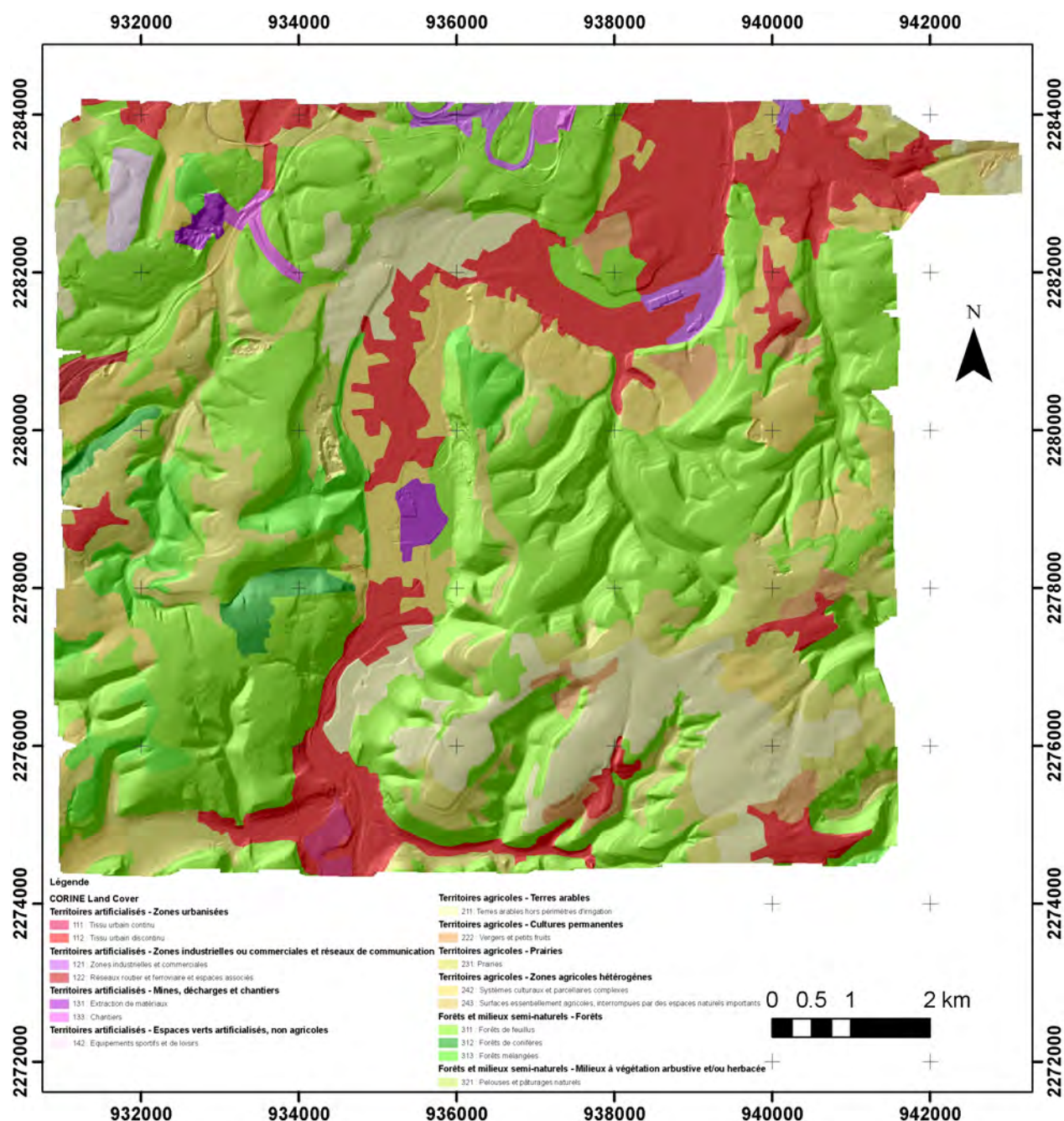


Figure 5. Carte de l'occupation du sol drapée sur le modèle ombré du terrain 315-45 (C. Laplaige, 2011 ; données base Corine Land Cover)

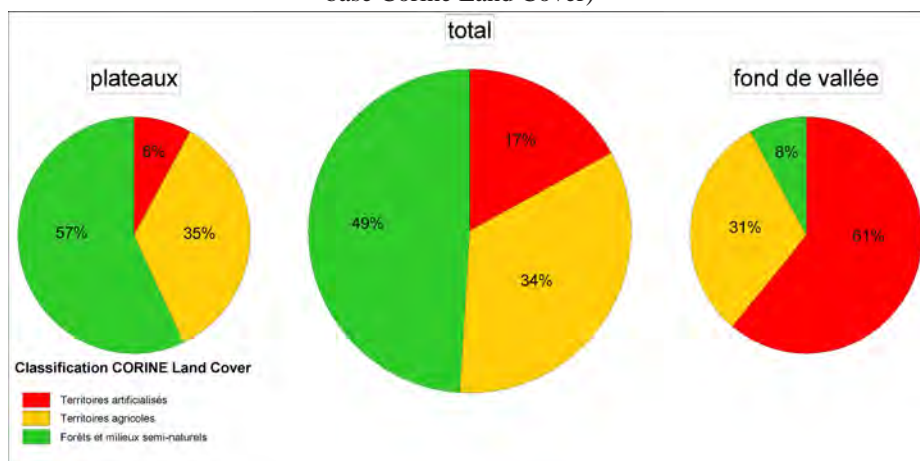


Figure 6. Répartition de la couverture du sol selon le contexte géomorphologique (C. Laplaige 2011 ; données base Corine Land Cover)

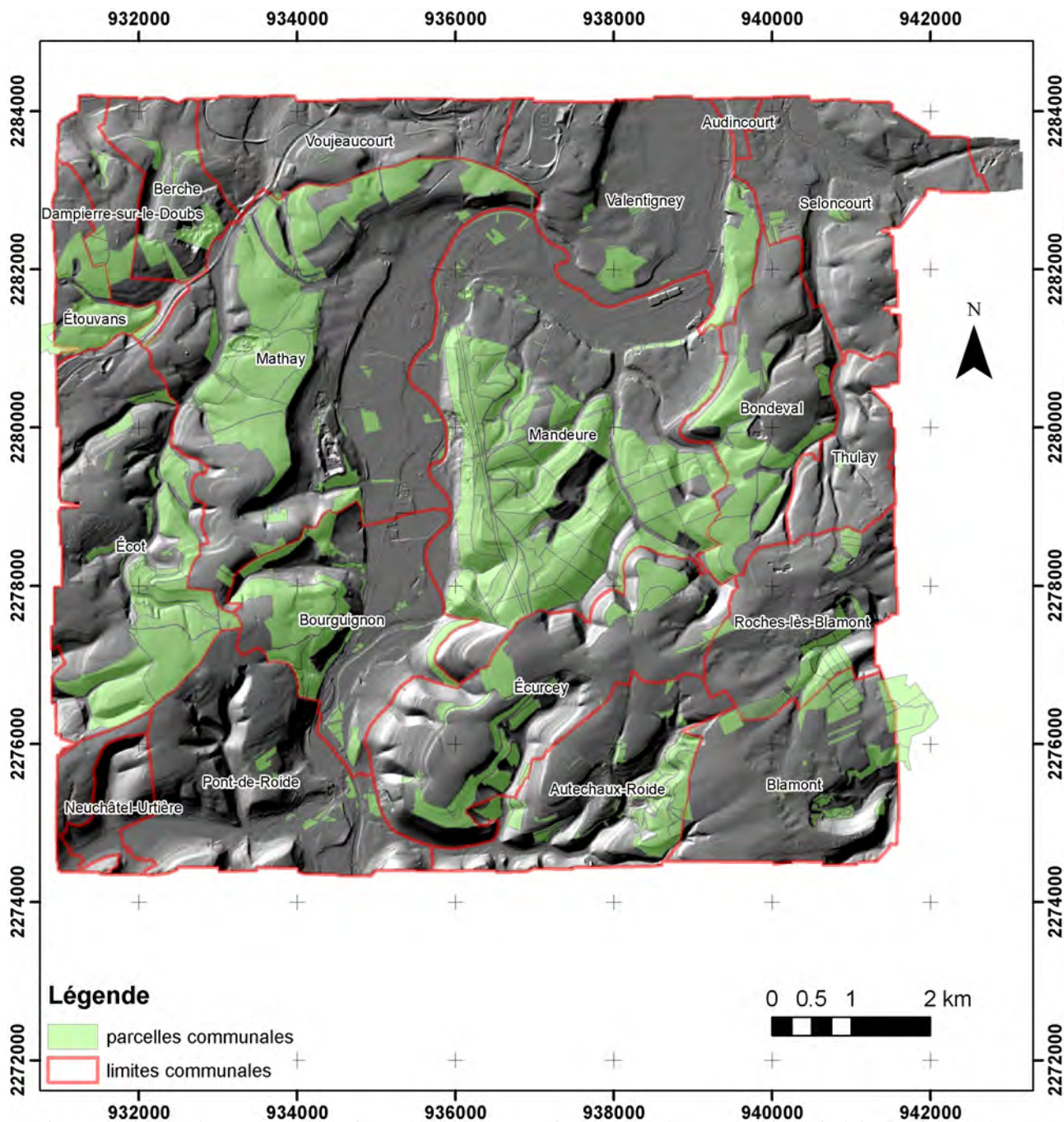


Figure 7. Limites des communes et des parcelles communales superposées au modèle ombré du terrain 315-45 (C. Laplaige, 2011)

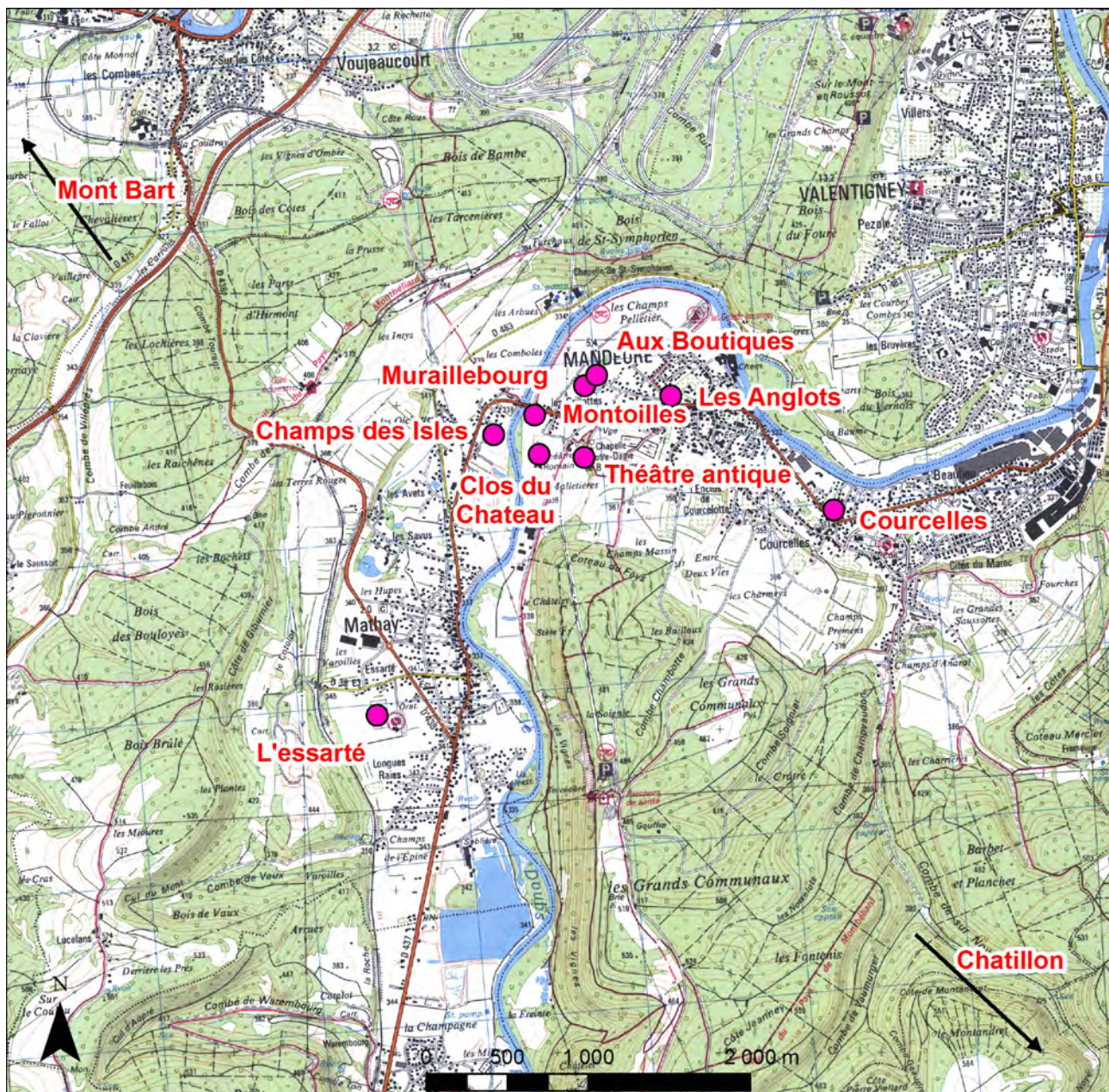


Figure 8. Localisation des fouilles archéologiques anciennes dans la zone d'étude (C. Laplaige, 2011 ; données IGN)



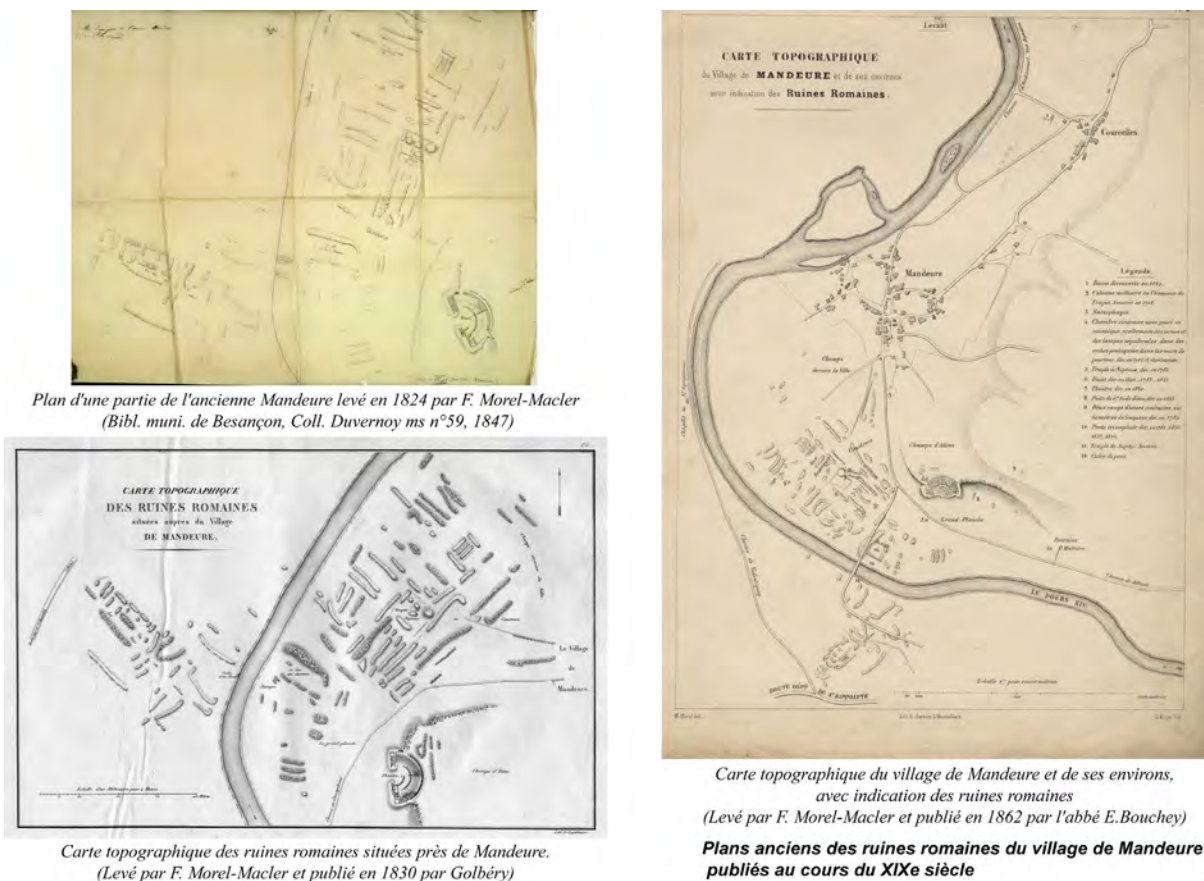


Figure 9. Plans anciens des ruines romaines du village de Mandeure publiés au cours du XIX<sup>e</sup> siècle (G. Bossuet, 2009)



Figure 10. Extrait du plan de P. Barbier au 1/250<sup>e</sup> publié en 1895 par la Société d'Emulation de Montbéliard (C. Laplaige, 2011)

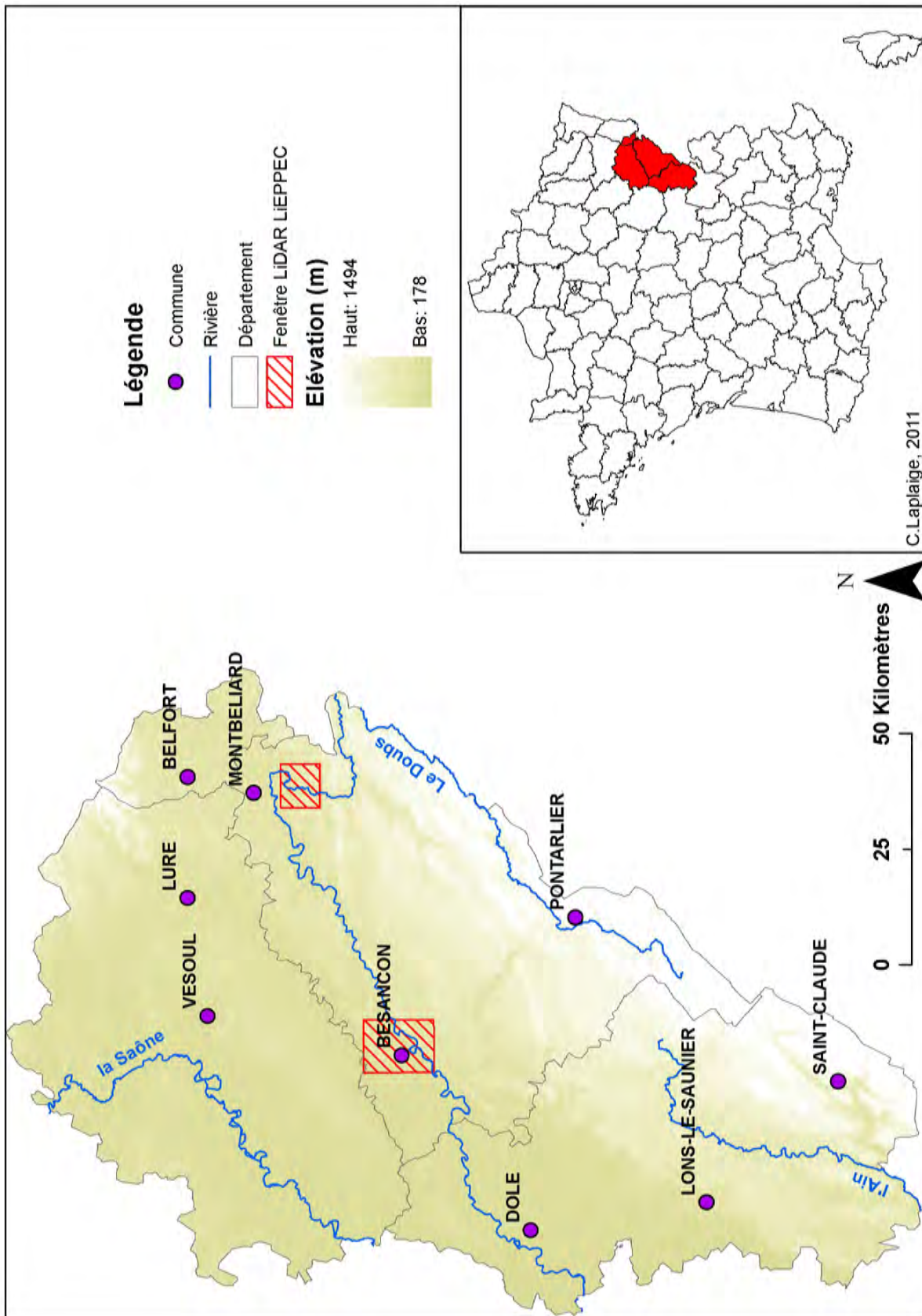


Figure 11. Localisation des prospections LiDAR réalisées dans le cadre du programme LIEPPEC, «LiDAR pour l'étude des paysages passés et contemporains» (C. Lajpaigne, 2011)

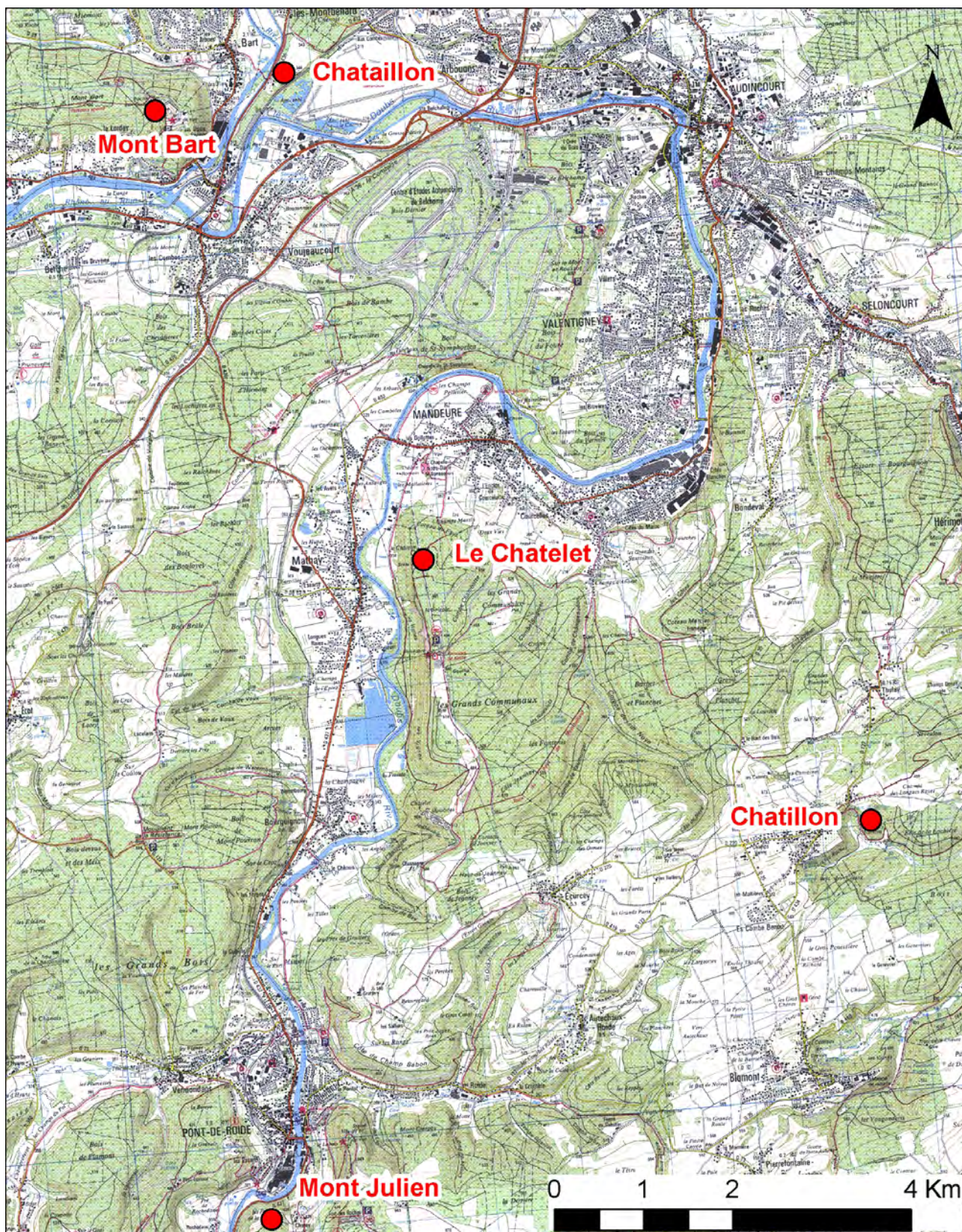


Figure 12. Carte des sites préhistoriques recensés dans la zone d'étude (C. Laplaige, 2011 ; données IGN ; sources PCR Mandeur)

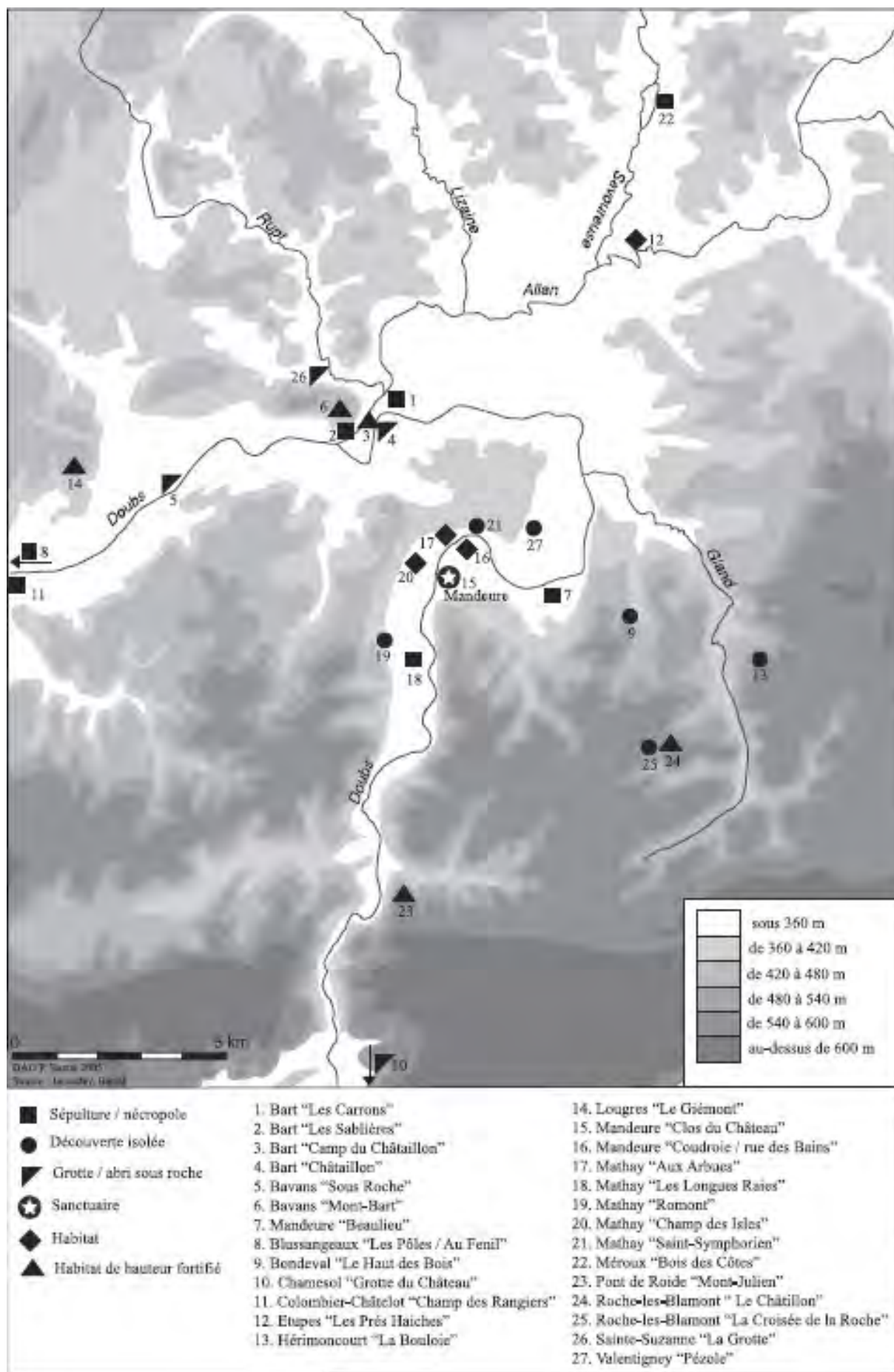
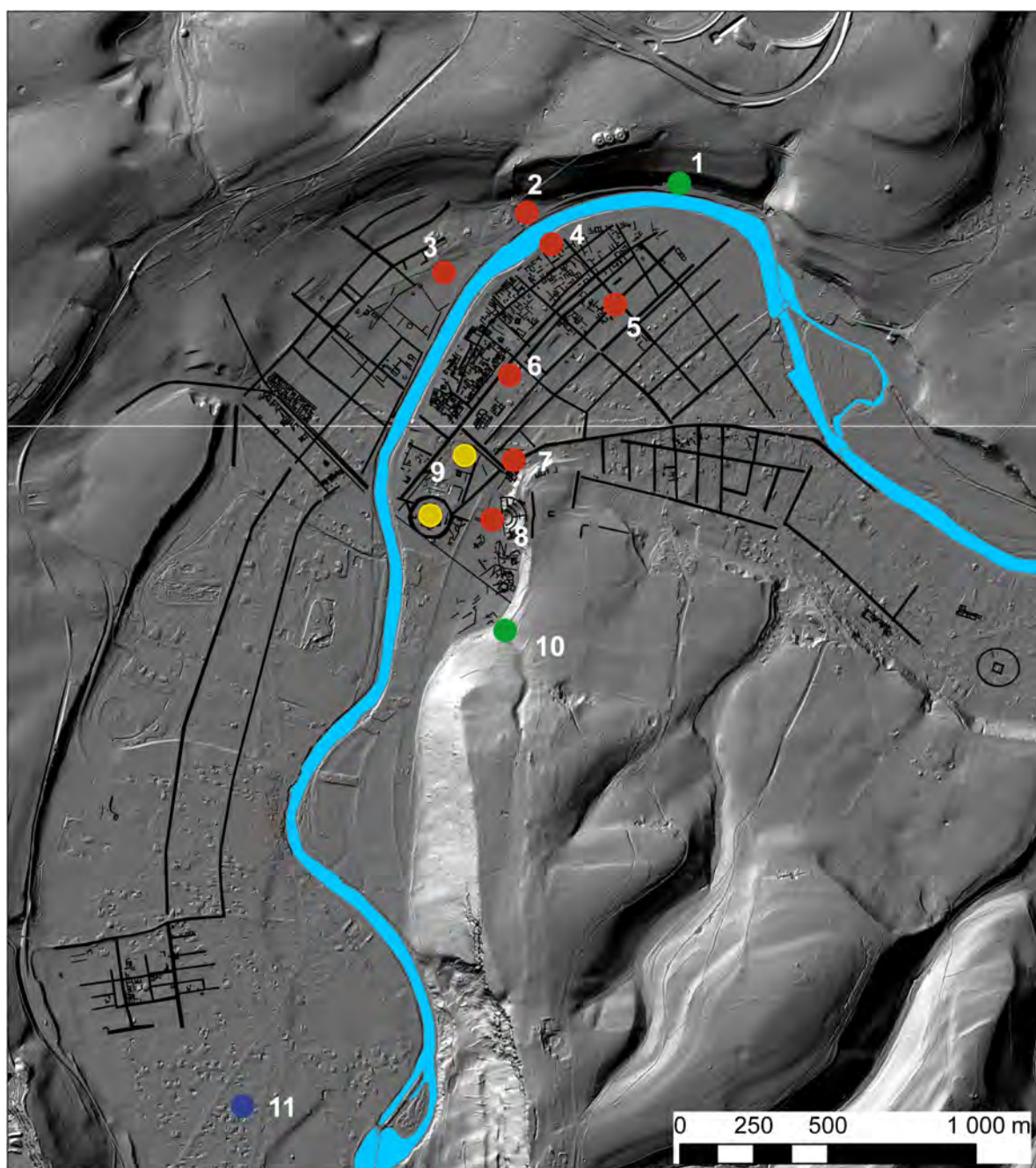


Figure 13a. Carte des sites et découvertes du Second âge du Fer dans le pays de Montbéliard (Barral et Jacotey, in Barral et al., 2007)



- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1. St Symphorien, vers fin XIXe siècle : découverte isolée, LT B1               | ● Contexte d'habitat |
| 2. Aux Arbues, 1959-63 : fonds d'habitats, amphores, fibule, LT D               | ● Sanctuaire         |
| 3. Les Combolles, 2005 : amphores, céramique, monnaie (prospection), LT D       | ● Nécropole          |
| 4. Champs Pelletier, 2005 : fosses, céramique, LT D - Auguste                   | ● Découverte isolée  |
| 5. Coudroie, 1974 : céramique, amphores, LT D - Auguste                         |                      |
| 6. Rue des Bains, 1968 : céramique, amphores, LT D - Auguste                    |                      |
| 7. Sous la Grande Planche; 2005 : céramique, fibules, LT D - Auguste            |                      |
| 8. Les Ouchottes, 2002 : fosses, céramique, LT C-D                              |                      |
| 9. Clos du Château, 1880 - : sanctuaire LT B - Auguste                          |                      |
| 10. Le Châtelet, vers 1990-2000 : monnaies et objets divers (prospection), LT D |                      |
| 11. Les Longues Raies, 1993-95 : nécropole, LT C2 - D1                          |                      |

Figure 13b. Répartition sur le modèle ombré de terrain (315-45) des lieux de découvertes de vestiges de la fin de l'âge du Fer à Mandeuire et Mathay (Doubs)(C. Laplaige, 2011 d'après Barral et Jacotey, 2007)

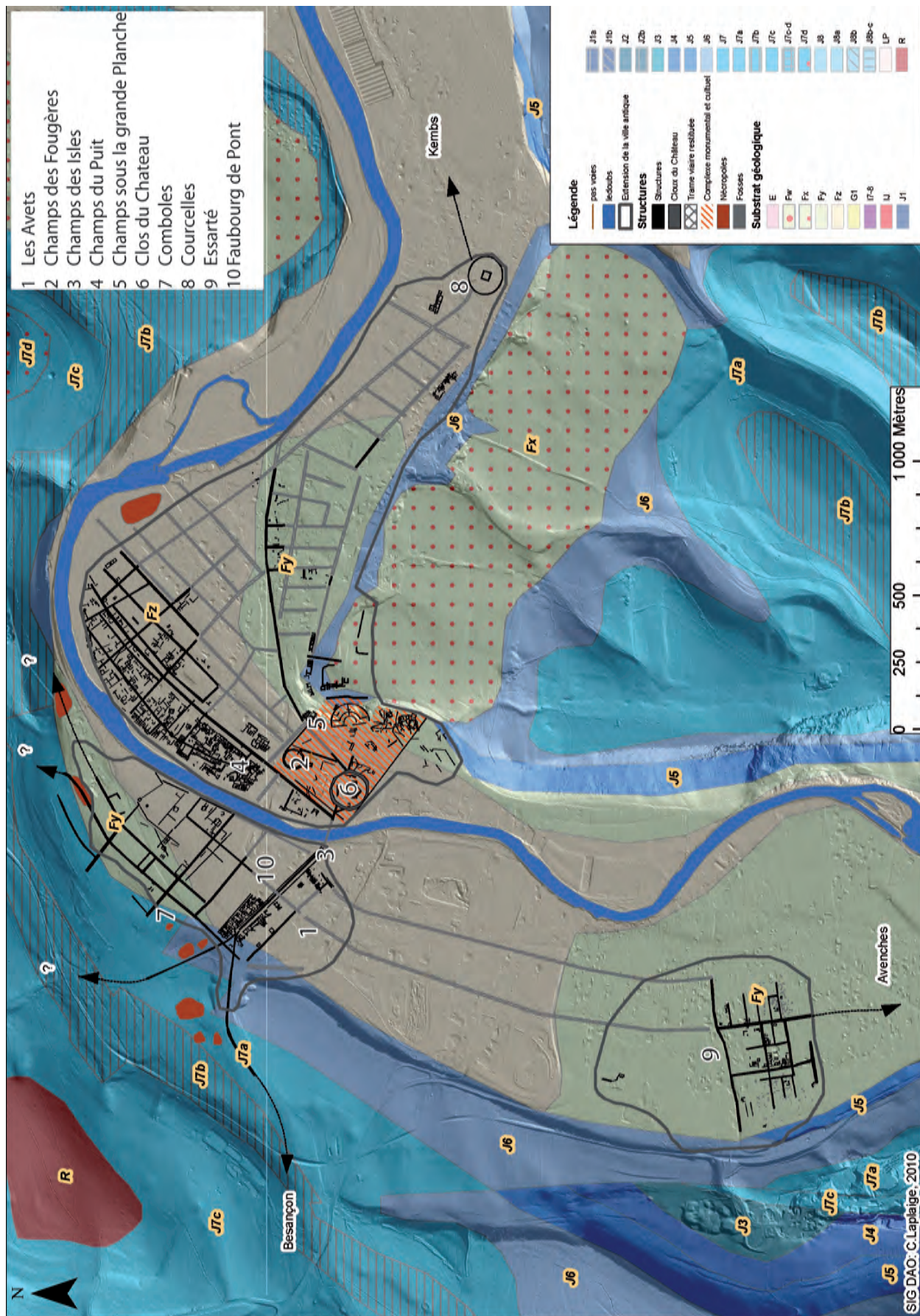


Figure 14. Localisation des prospections LiDAR réalisées dans le cadre du programme LIEPPEC, LiDAR pour l'étude des paysages passés et contemporains (C. Laplaige, 2011)

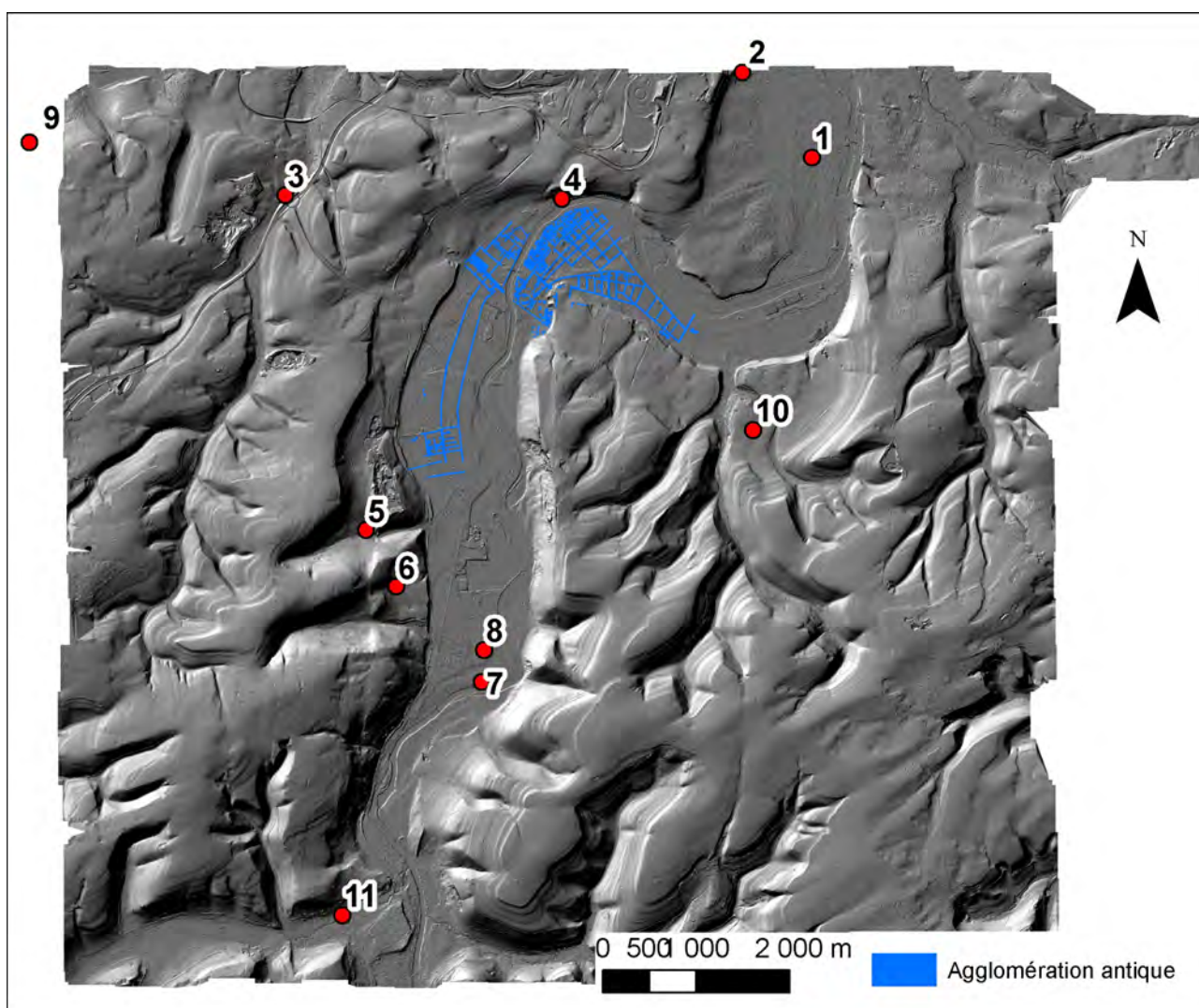


Figure 15. Localisation des établissements ruraux antiques sur le modèle ombré du terrain (C. Laplaige, 2010 ; sources : PCR Mandeur)

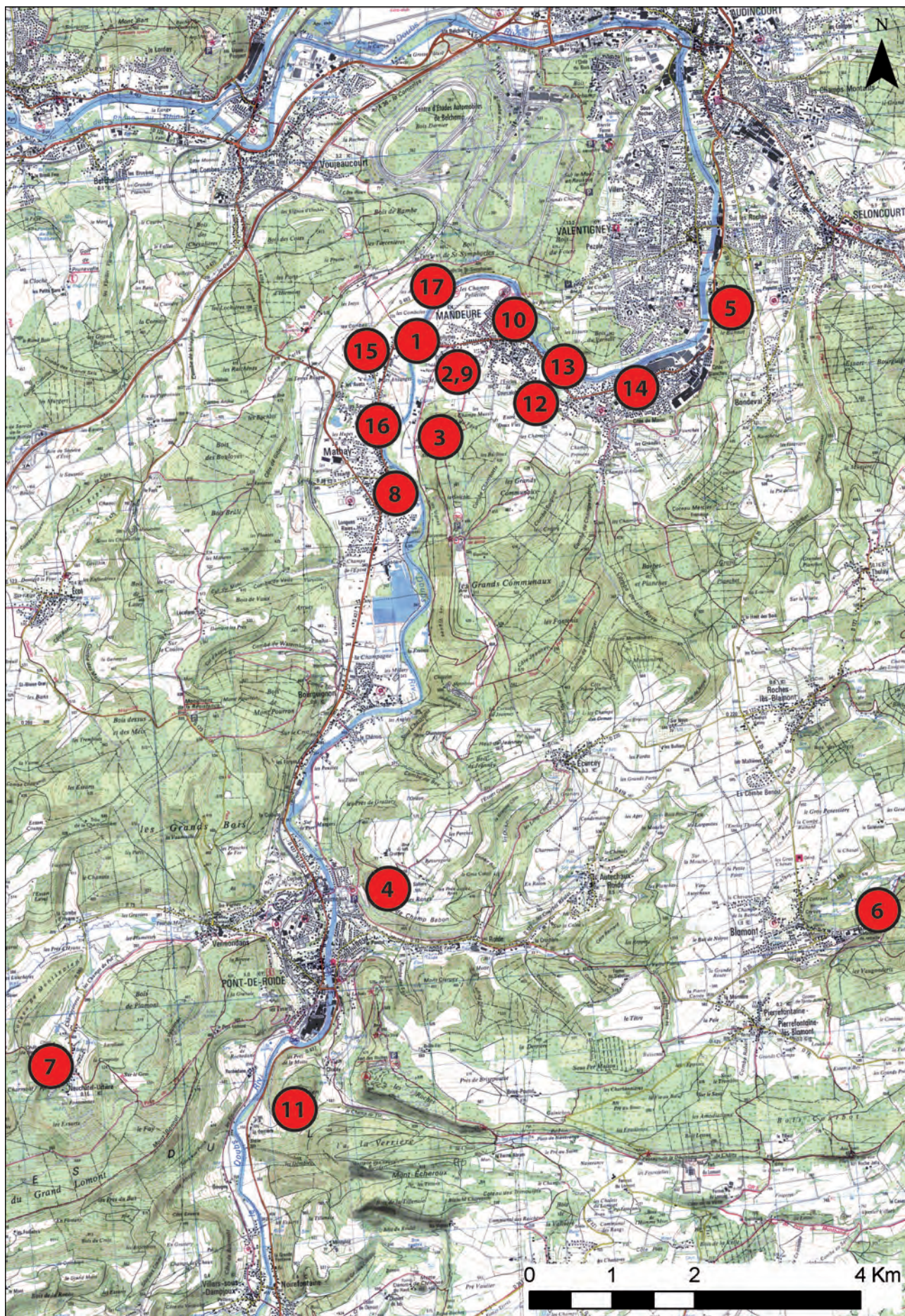


Figure 16. Localisation des sites et des découvertes du Moyen Âge (C. Laplaige, 2011 ; données IGN ; sources PCR Mandeur)





Figure 17. Extrait de la carte « La Franche-Comté divisée en trois grands baillages » établie en 1692 par Alexis-Hubert Jallot et centré sur les villes de Mandeuire et de « Matard », Mathay (Doubs) (C. Laplaige, 2011 ; source BNF)



Figure 18. Extrait de la carte de Cassini centré sur Mandeuire et Mathay (Doubs) avec la figuration des bois (en vert), des vignes (en rose) et des sites fortifiés (cerclés en rouge) (C. Laplaige, 2011)

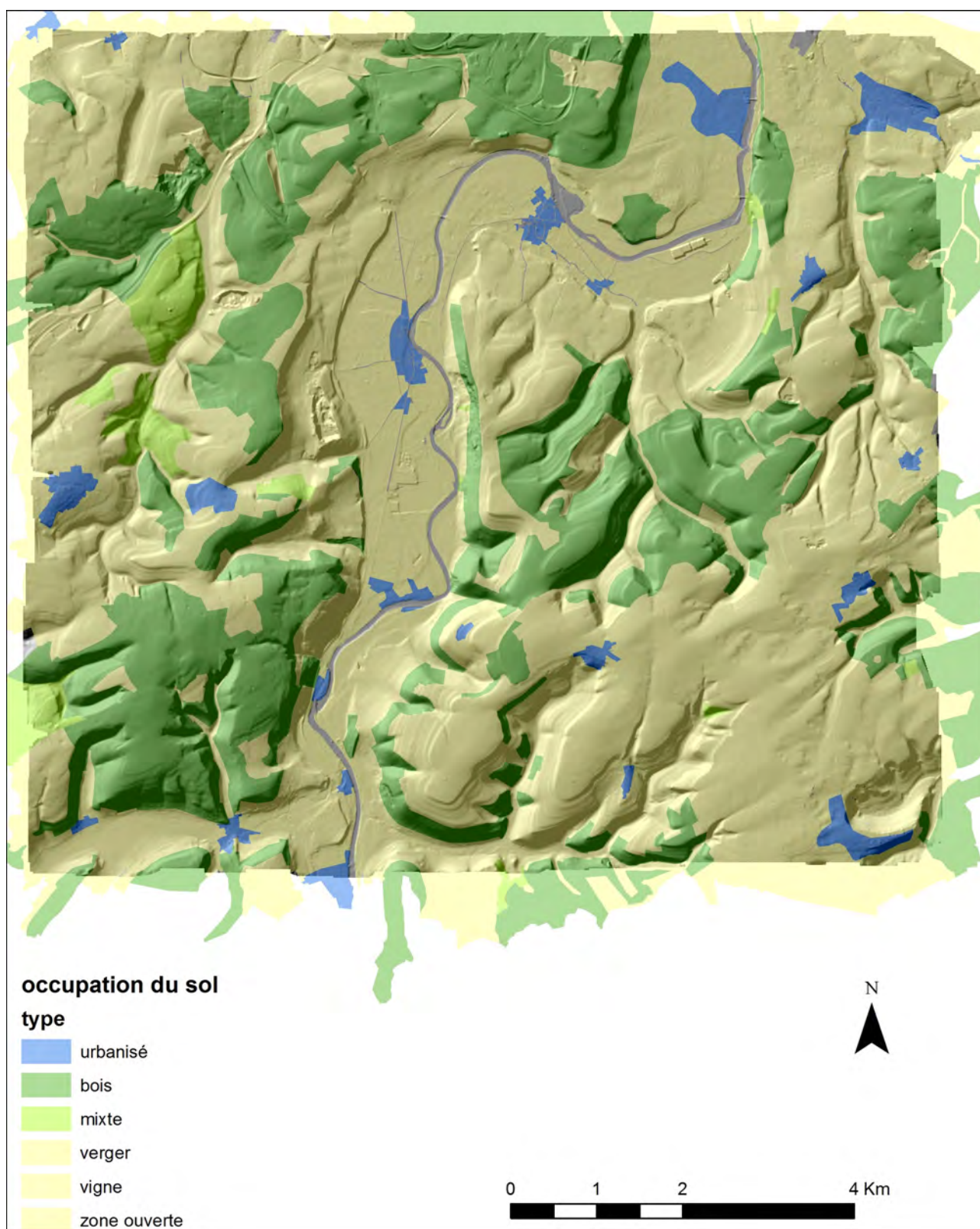


Figure 19. Carte de l'occupation du sol établie à partir du dépouillement du plan cadastral napoléonien, et drapée sur le modèle ombré du terrain (C. Laplaige, G. Bossuet 2011, sources ADD) (C. Laplaige, G. Bossuet 2011, sources ADD)

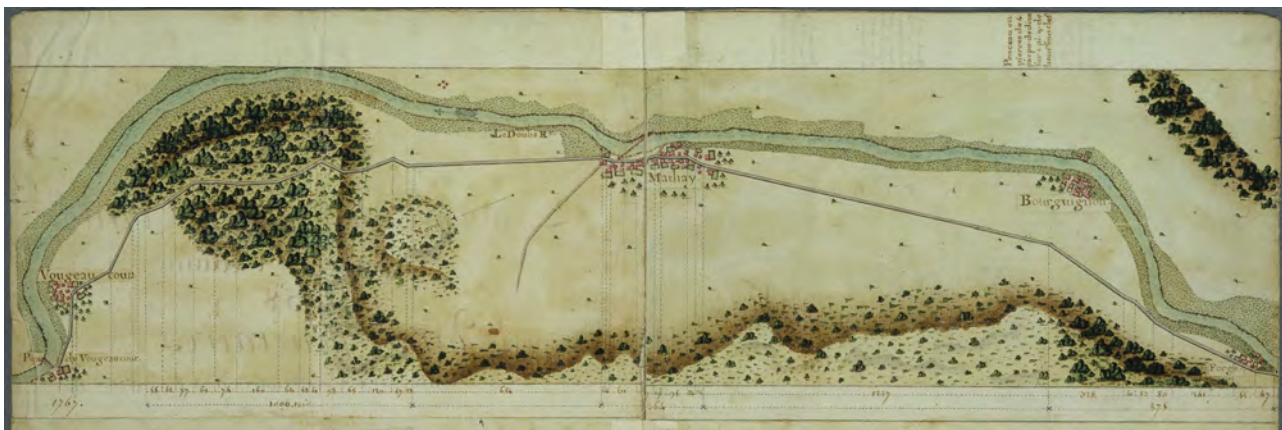


Figure 20. Extrait de la carte des itinéraires routiers établie en 1769 sous la direction d'Henri Frignet, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (C. Laplaige, 2011, sources ADD)



Figure 21. Extrait de la carte de Cassini centrée sur le village de Mathay. Les surfaces boisées sont figurées en vert, les vignes en rose (C. Laplaige, 2011)



Figure 22. Extrait de la carte d'état major au 1/80000e centré sur la ville de Pont-de-Roide (Doubs). (C. Laplaige, 2011)

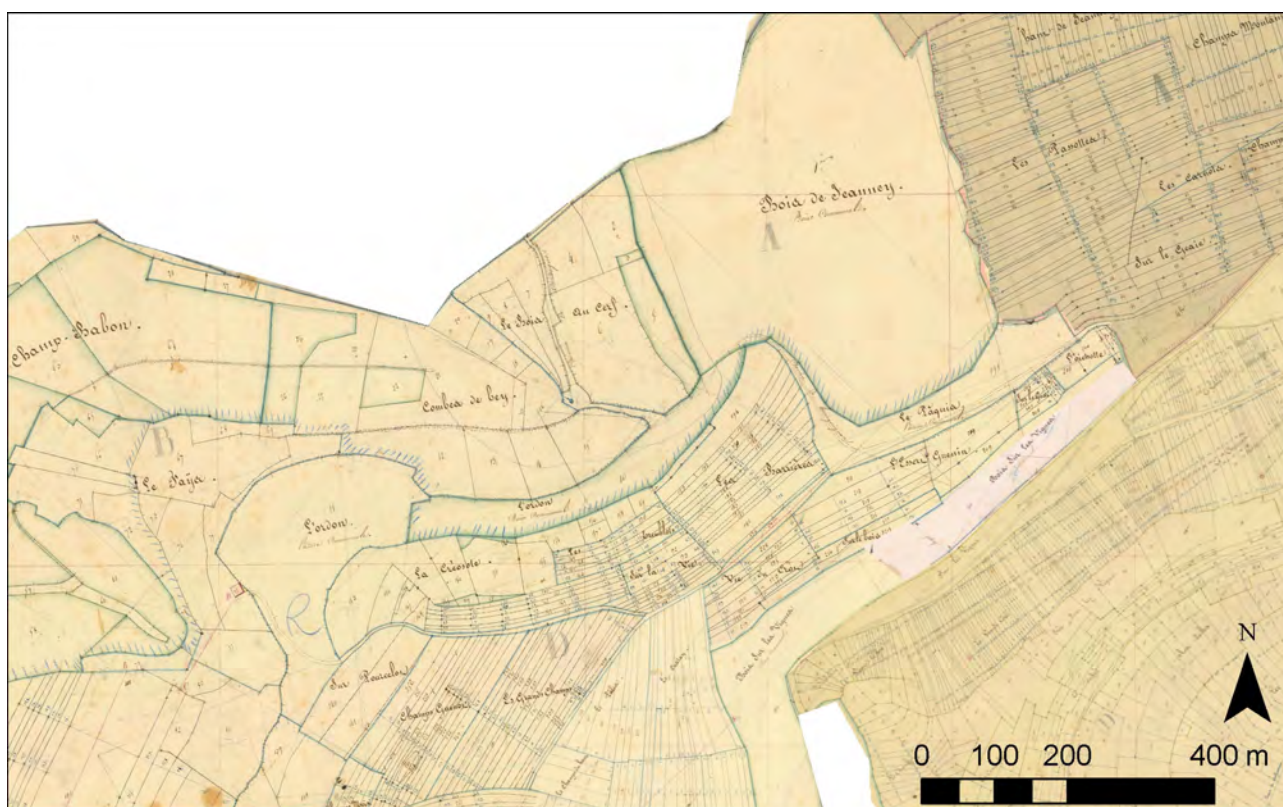


Figure 23. Assemblage et géoréférencement des plans parcellaires cadastraux napoléoniens. Extraits de la 3e feuille de la section B et des 1ères et 2e feuilles de la section C de la commune d'Ecurcy. (Doubs) (Acquisition et traitement C. Laplaige, G. Bossuet 2011, Sources ADD)

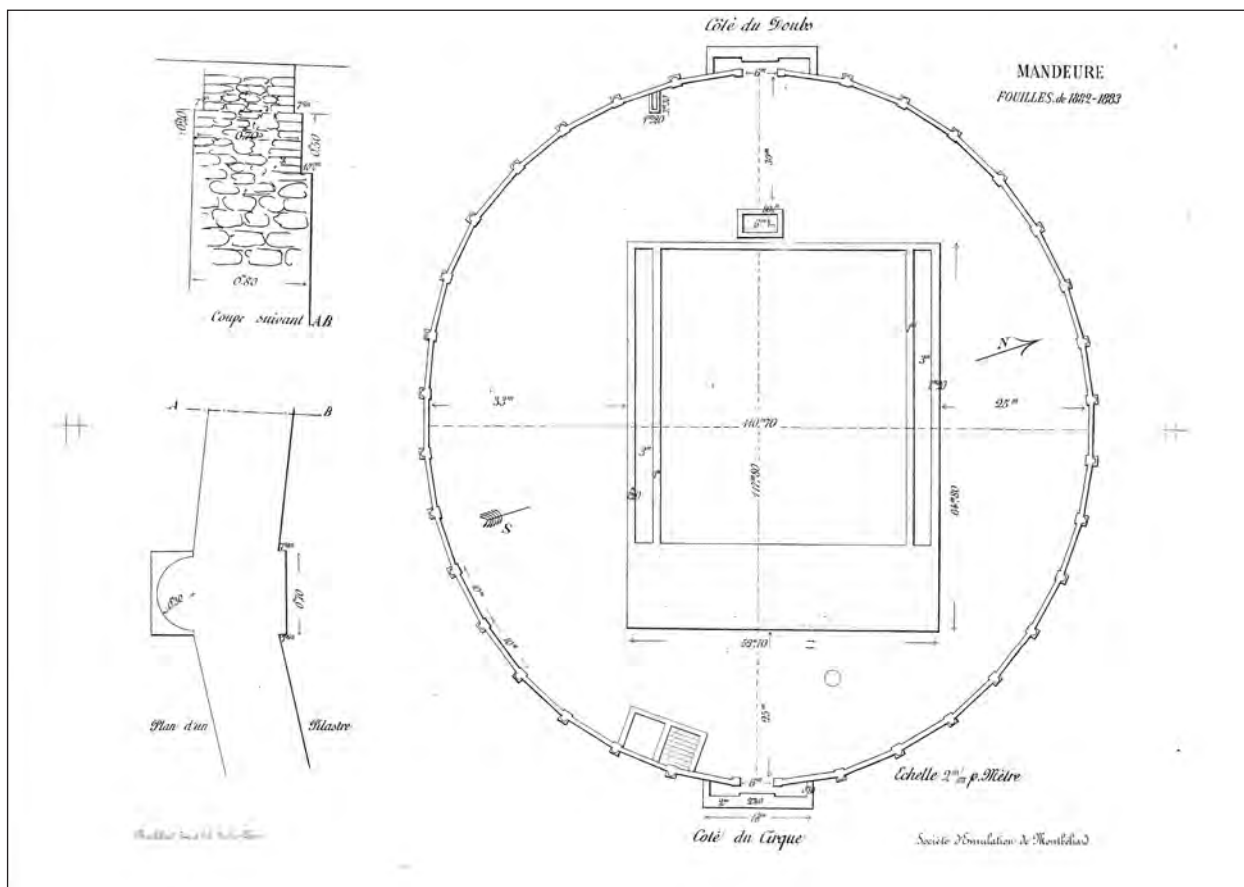


Figure 24. Mandeure (Doubs). Plan du sanctuaire des « Clos du Château » (Cl. Duvernoy, 1883)



Figure 25. Plan aquarellé du château de l'ancienne seigneurie de Blamont (Doubs) (source Service Historique de la Défense)

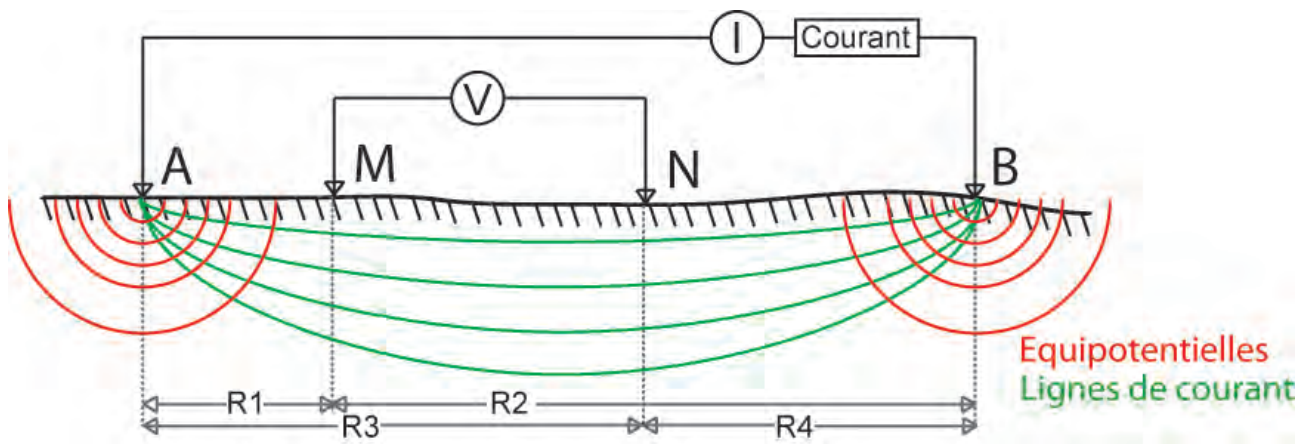


Figure 26. Schéma figurant le principe de la prospection électrique (C. Laplaige, 2011)

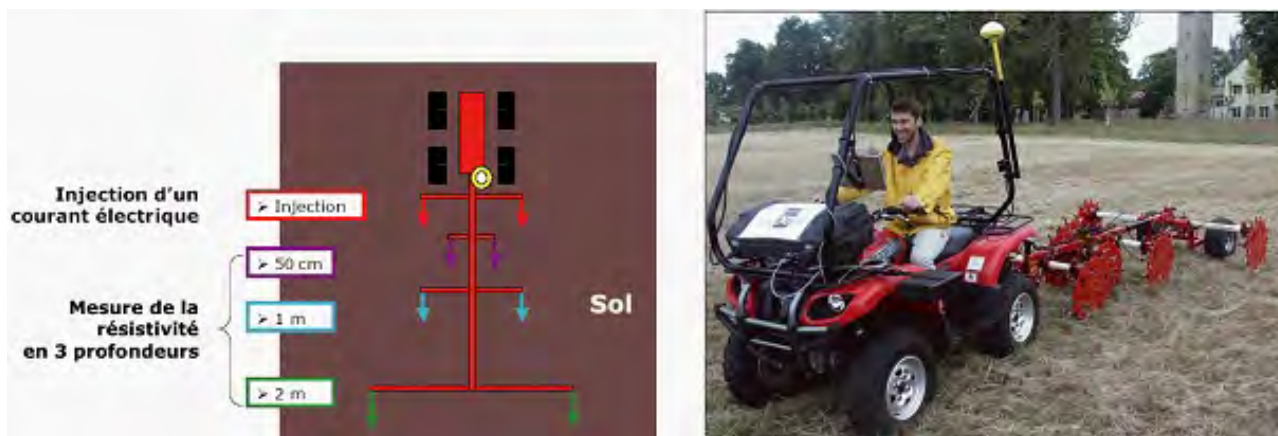


Figure 28. Schéma de fonctionnement et vue du système de prospection électrique automatisée ARP, Automatic Resistivity Profiling (Document GEOARTA)

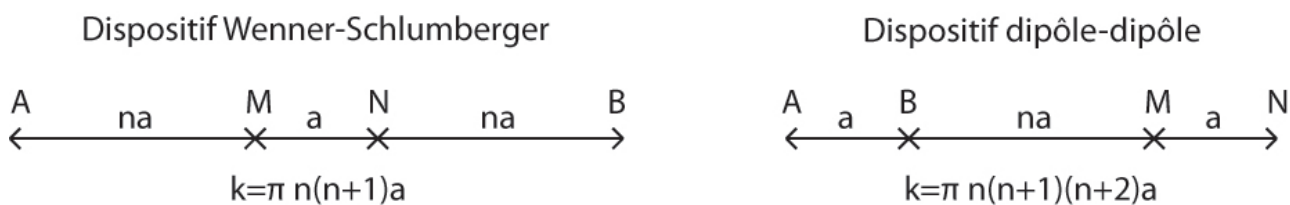


Figure 29. Schémas figurant la géométrie des dispositifs utilisés en prospection électrique (C. Laplaige, 2011)

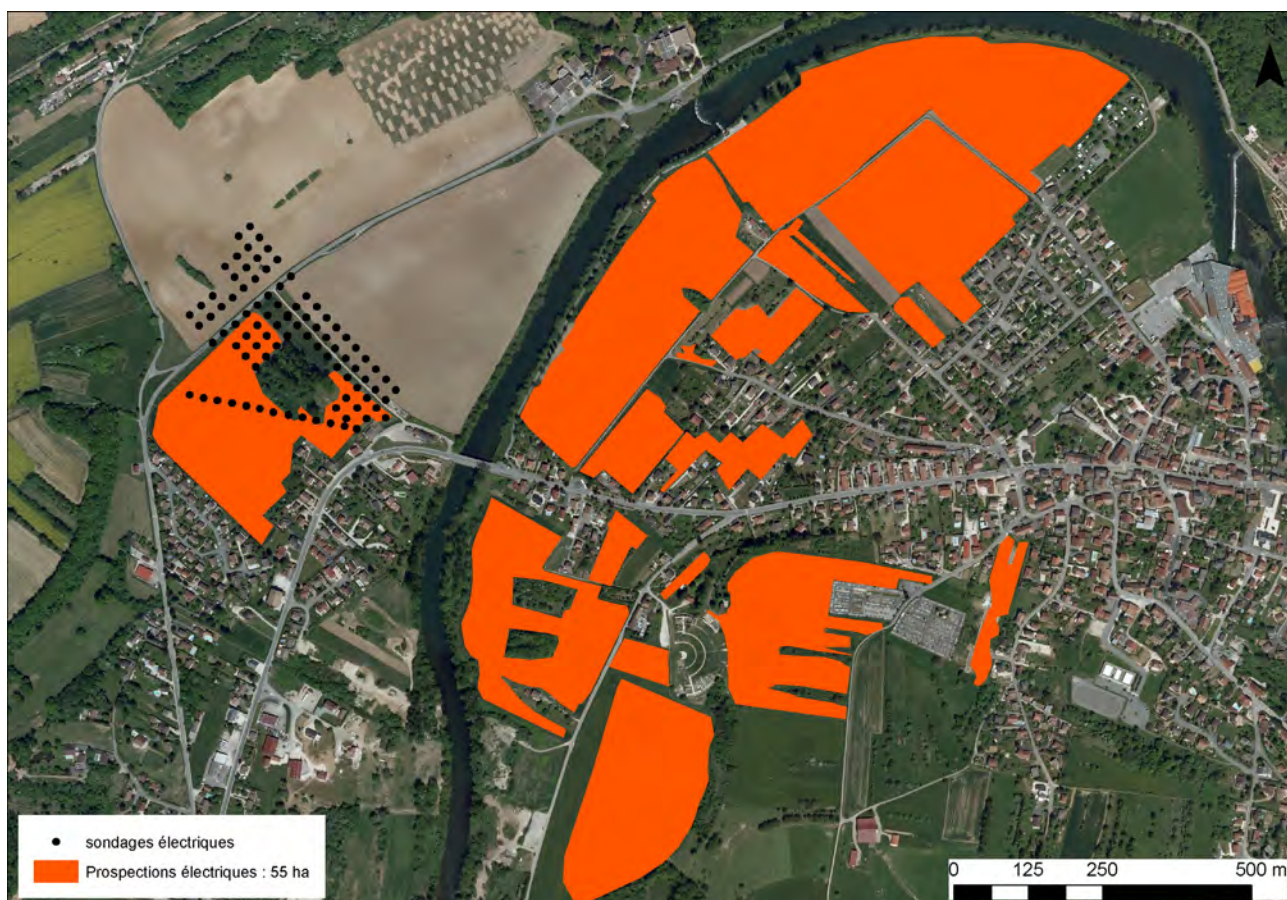


Figure 30. Mandeuire (Doubs). Localisation des prospections électriques (C .Laplaige, 2011)

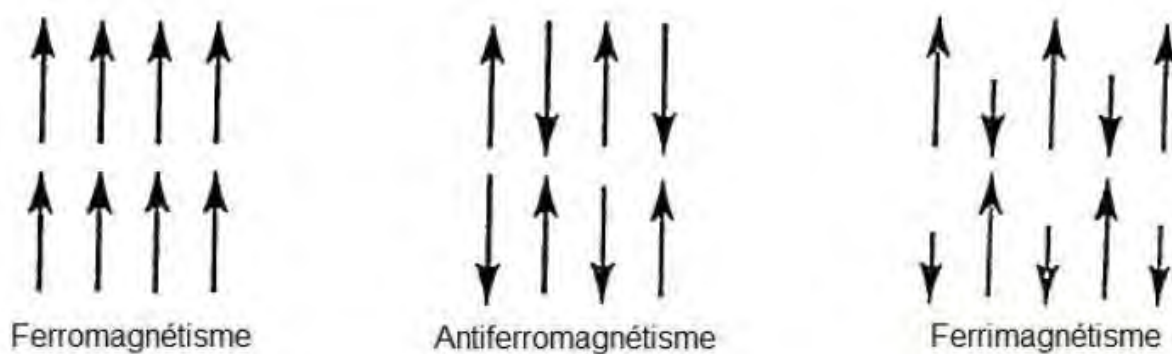


Figure 31. Orientation des aimants atomiques élémentaires dans les domaines magnétiques pour différents types d'aimantation (De Nayer et al., 1979)

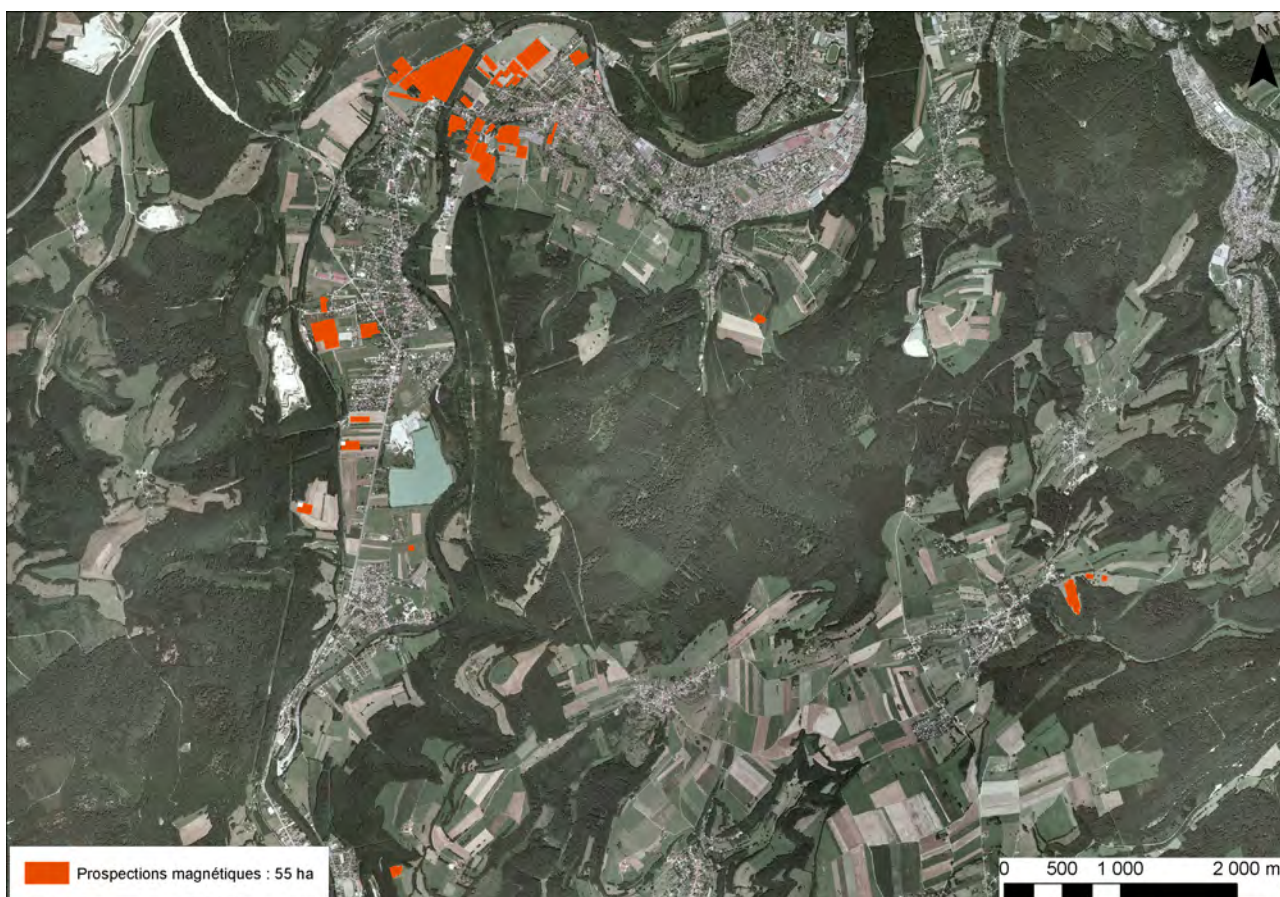


Figure 32. Mandeu-Mathay (Doubs). Localisation des prospections magnétiques (C. Laplaige, 2011)

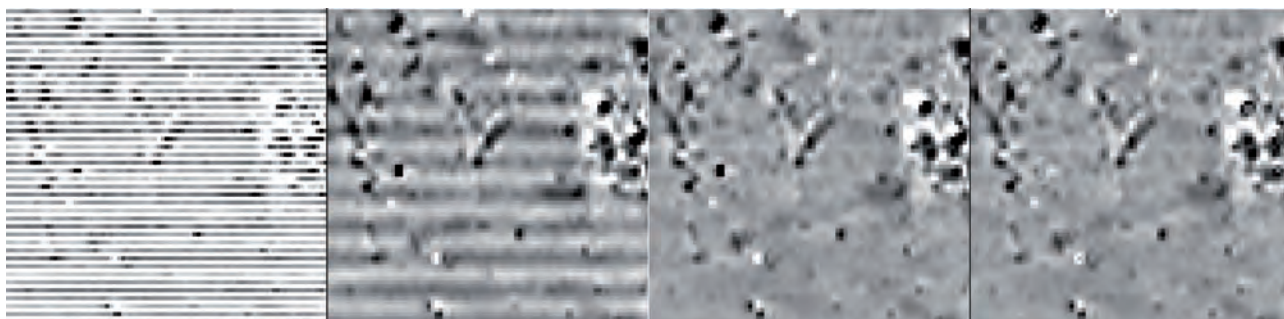


Figure 33. Exemples de traitement réalisés sur les données magnétiques à partir du logiciel Wumap (C. Laplaige 2011)



Figure 34. Vue de l'appareil EM31-MK2, avec le GPS, le système Allegro et le DataLogger, à gauche. Vue de l'appareil en fonctionnement, à droite (Photographies : C. Laplaige)



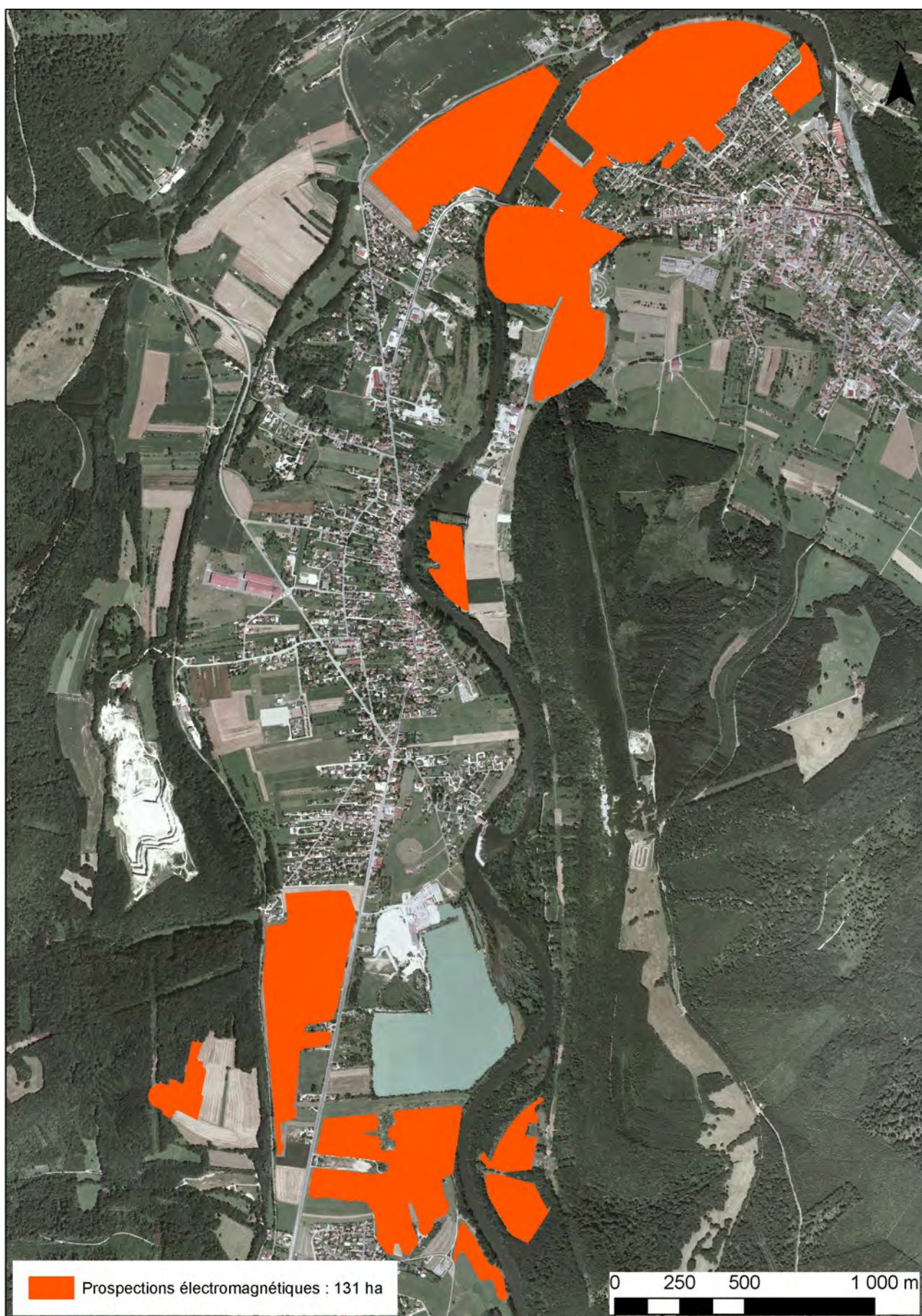


Figure 35. Localisation des prospections électromagnétiques EM31 effectuées sur les communes de Mandeuve, Mathay et Bourguignon. (Doubs). (C. Laplaige, 2011)



Figure 37. Mandeuve(Doubs). Localisation de la prospection radar-sol au sud du théâtre antique (C. Laplaige, 2011)



Figure 38. Dolving (Moselle). Prospection radar de la mardelle de Kholjungswald. Les antennes, embarquées sur la barque ATKEITL sont déplacées grâce à un système de câble (cliché: J-P.Simonnet, 2010)



Figure 39. Cornouailles (Angleterre). « Shadow marks » révélant un système parcellaire médiéval (Cliché : Cornwall County Council Historic Environment Service)



Figure 40. Mandeu. « Soil marks » révélant un habitat rural antique de forme rectangulaire (C. Laplaige, 2011, orthophotographie Aerodata, 2009)



Figure 41. Maisnières (Somme). « Damp marks » révélant les fossés d'enclos circulaires au lieu-dit « Avergnés des Fées » (Source :©Culture.gouv)

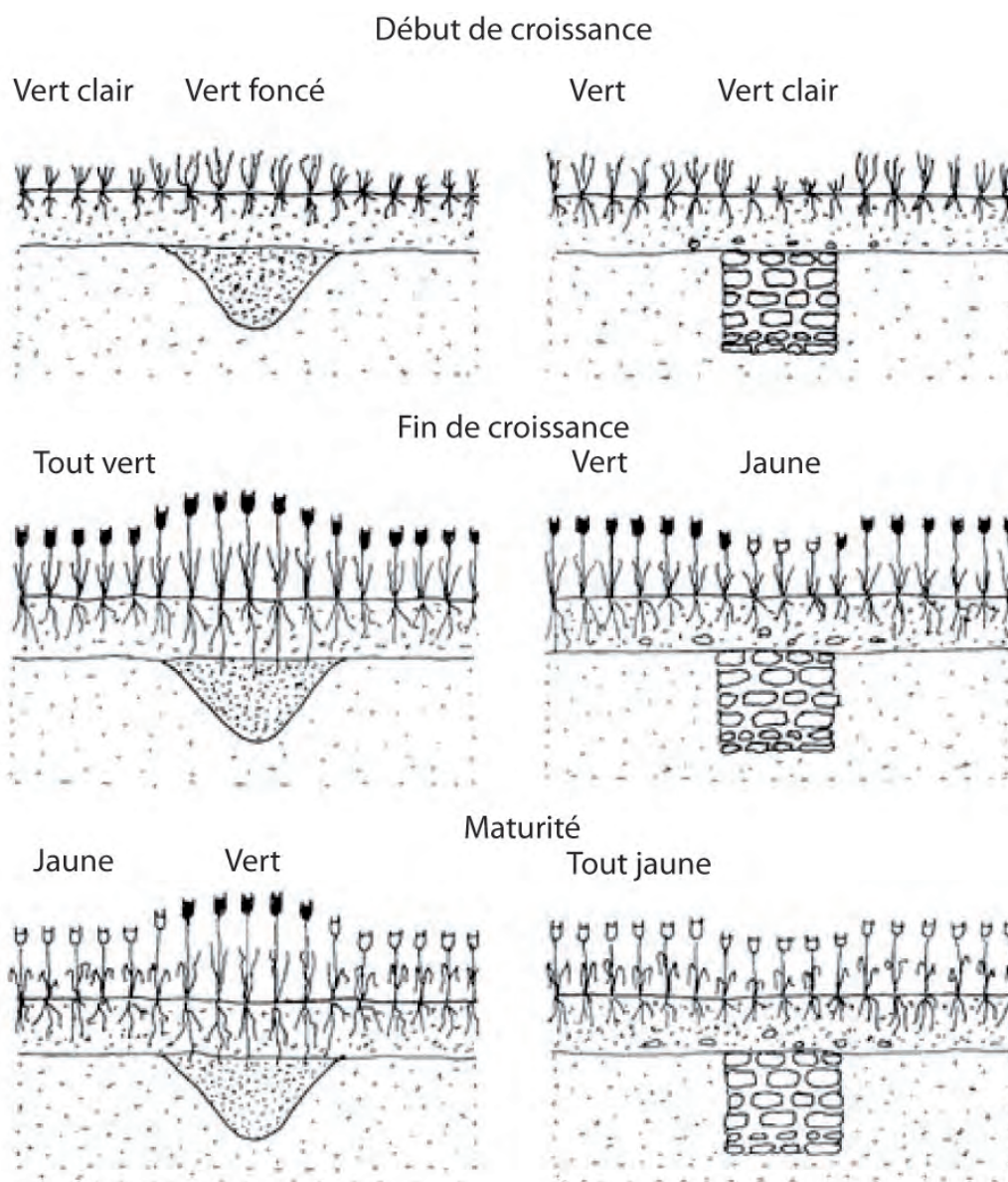


Figure 42. Evolution des anomalies phytographiques d'une substruction et d'un fossé comblé en fonction du cycle de croissance des plantes (Delétang, 1998)



Figure 43. Mandeuire. (Doubs). « Crop marks » révélant les murs de la façade sud du temple du sanctuaire des «Clos du Château » (C. Laplaige, 2011, orthophotographie Aerodata, 2009)



Figure 44. Mandeuire-Mathay (Doubs). Maillage des points microtopographiques relevés au tachéomètre (C. Laplaige, 2011)

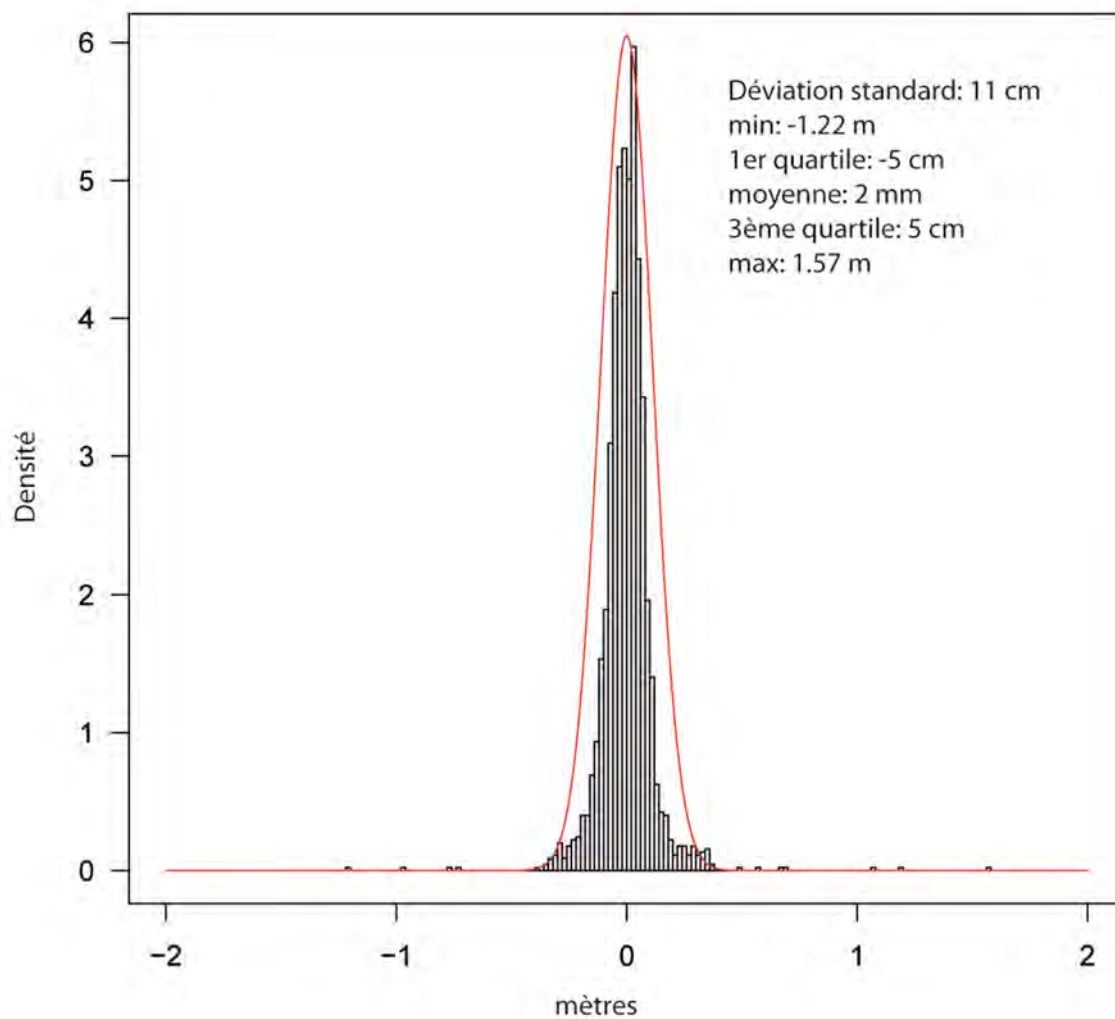


Figure 45. Différence d'altitude entre les points mesurés au tachéomètre et les pixels du MNT de la prospection LiDAR (C. Laplaige, 2011)

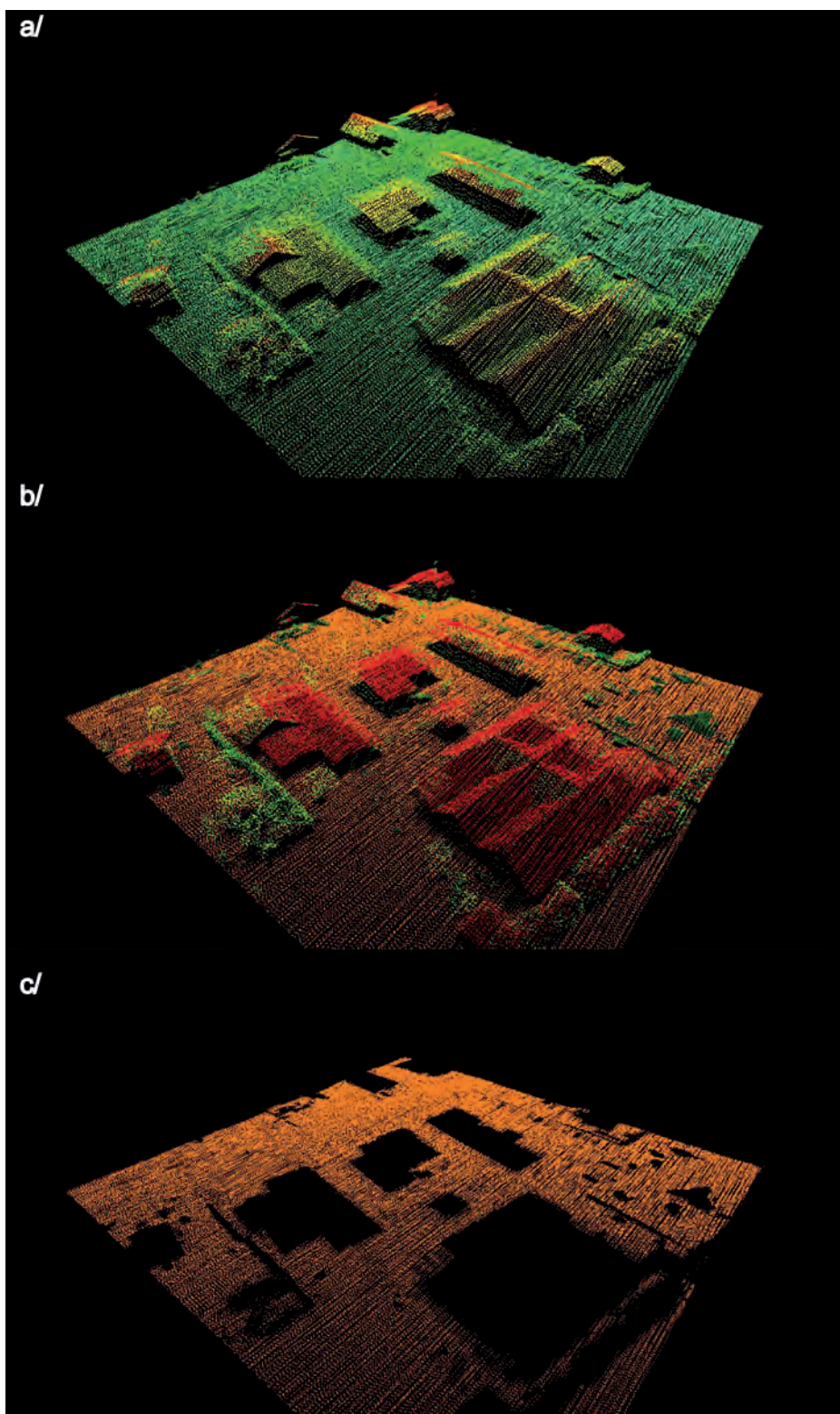


Figure 47. Classification. a) nuage de points sans classification, b) nuage de points classifiés, c) isolation des points correspondants au sol (C. Laplaige, 2011, source : logiciel Terrascan)

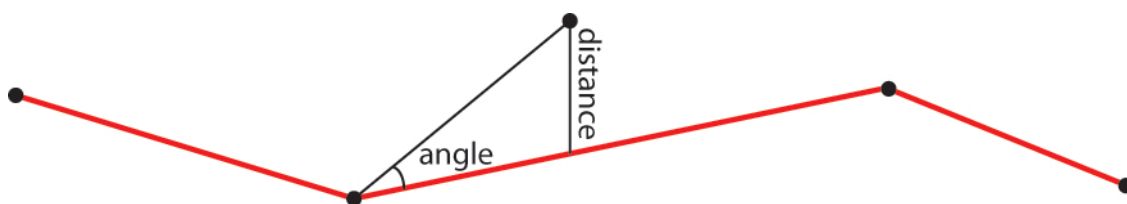


Figure 48. Représentation schématique de l'interpolation utilisée pour générer le MNT (C. Laplaige, 2011)



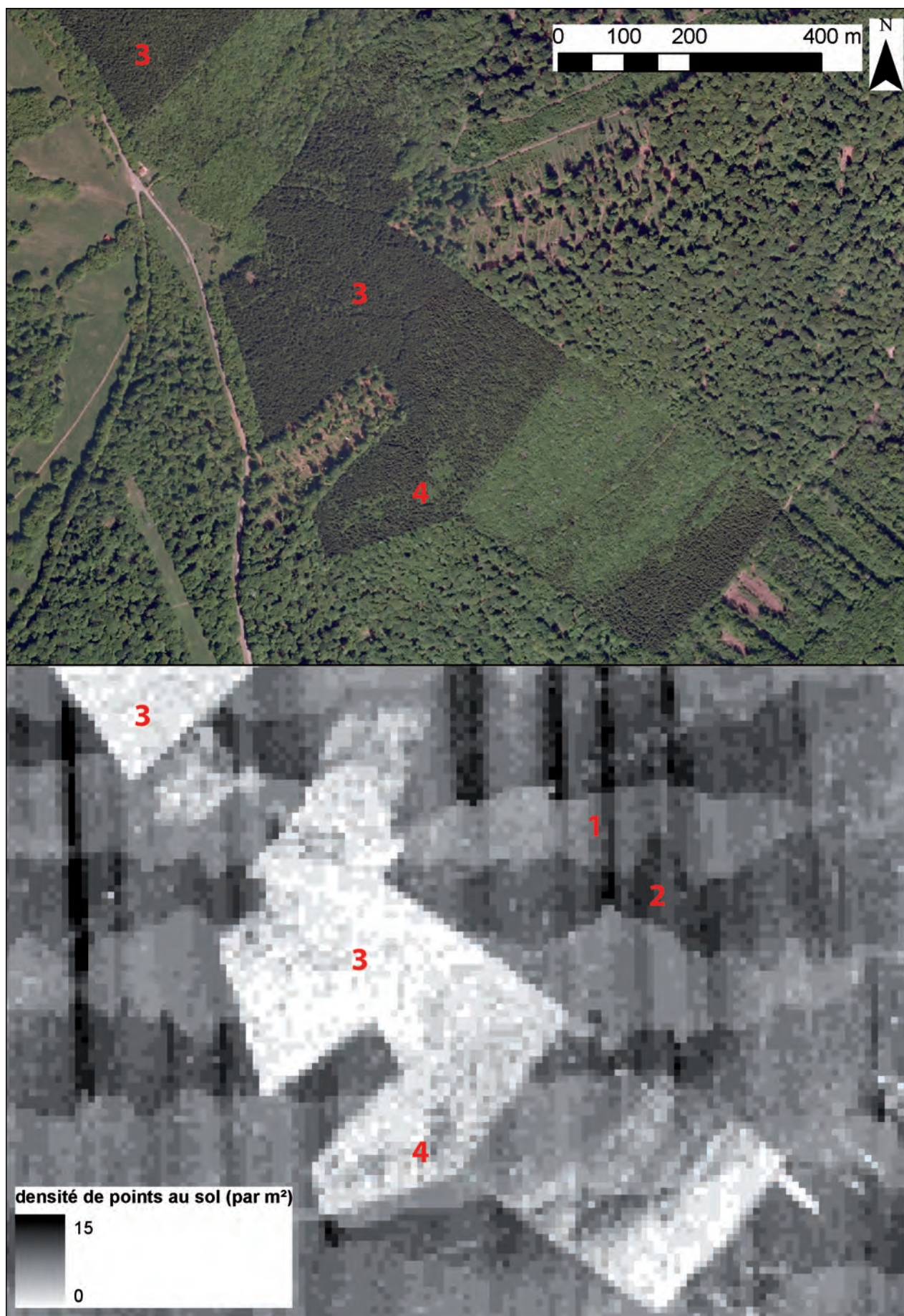


Figure 49. Comparaison entre la densité de points au sol (par m<sup>2</sup>) de la prospection LiDAR et la nature de l'occupation du sol enregistrée par l'orthophotographie (C. Laplaige, 2011, sources : Sté Aerodata)

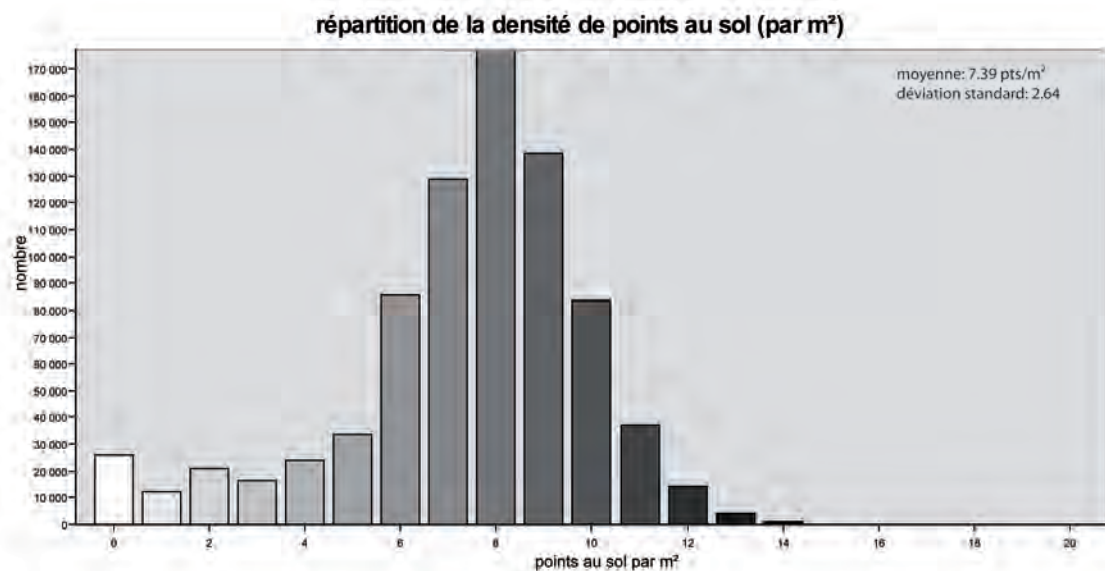


Figure 50. Variation de la densité de points au sol (par m<sup>2</sup>) sur l'ensemble de la surface de la fenêtre LiDAR (81 km<sup>2</sup>) (C. Laplaige, 2011)

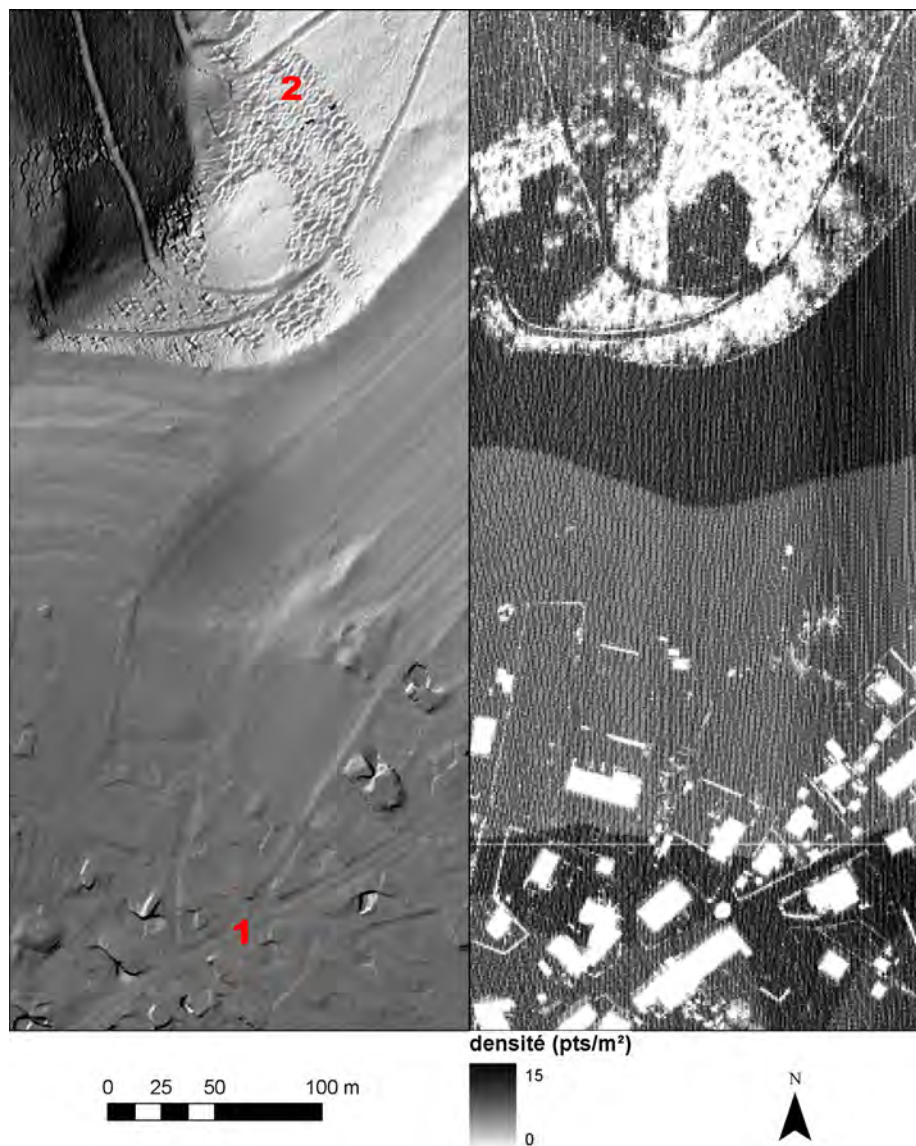


Figure 51. Visualisation des effets de la variation de la densité de points au sol (à droite) sur la résolution du modèle numérique de terrain (à gauche) (C. Laplaige, 2011)

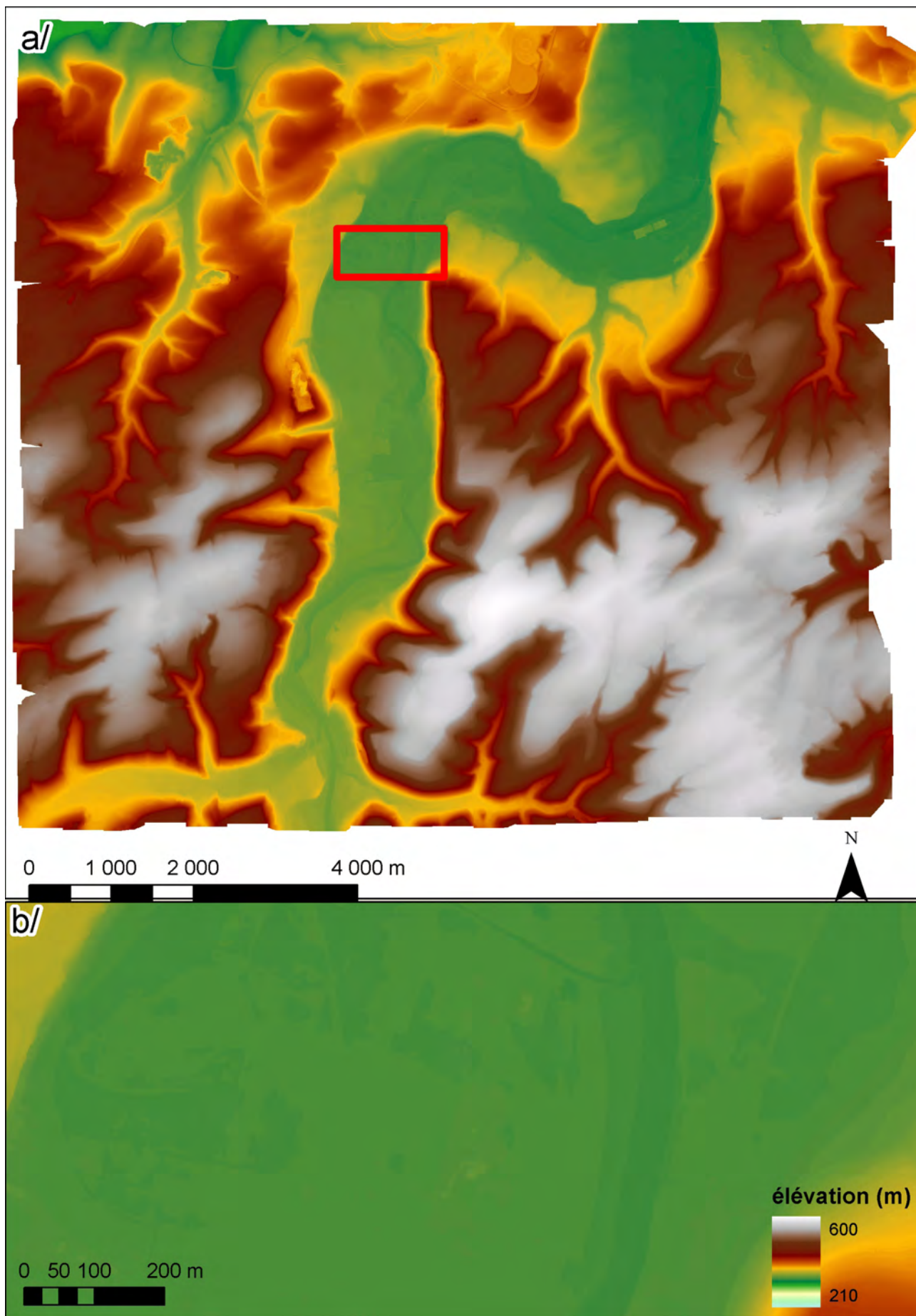


Figure 52. a. Représentation altimétrique entre 210 et 600m de l'ensemble de la zone couverte par la prospection LiDAR ; b. Zoom sur le secteur délimité en rouge (C. Laplaige, 2011)

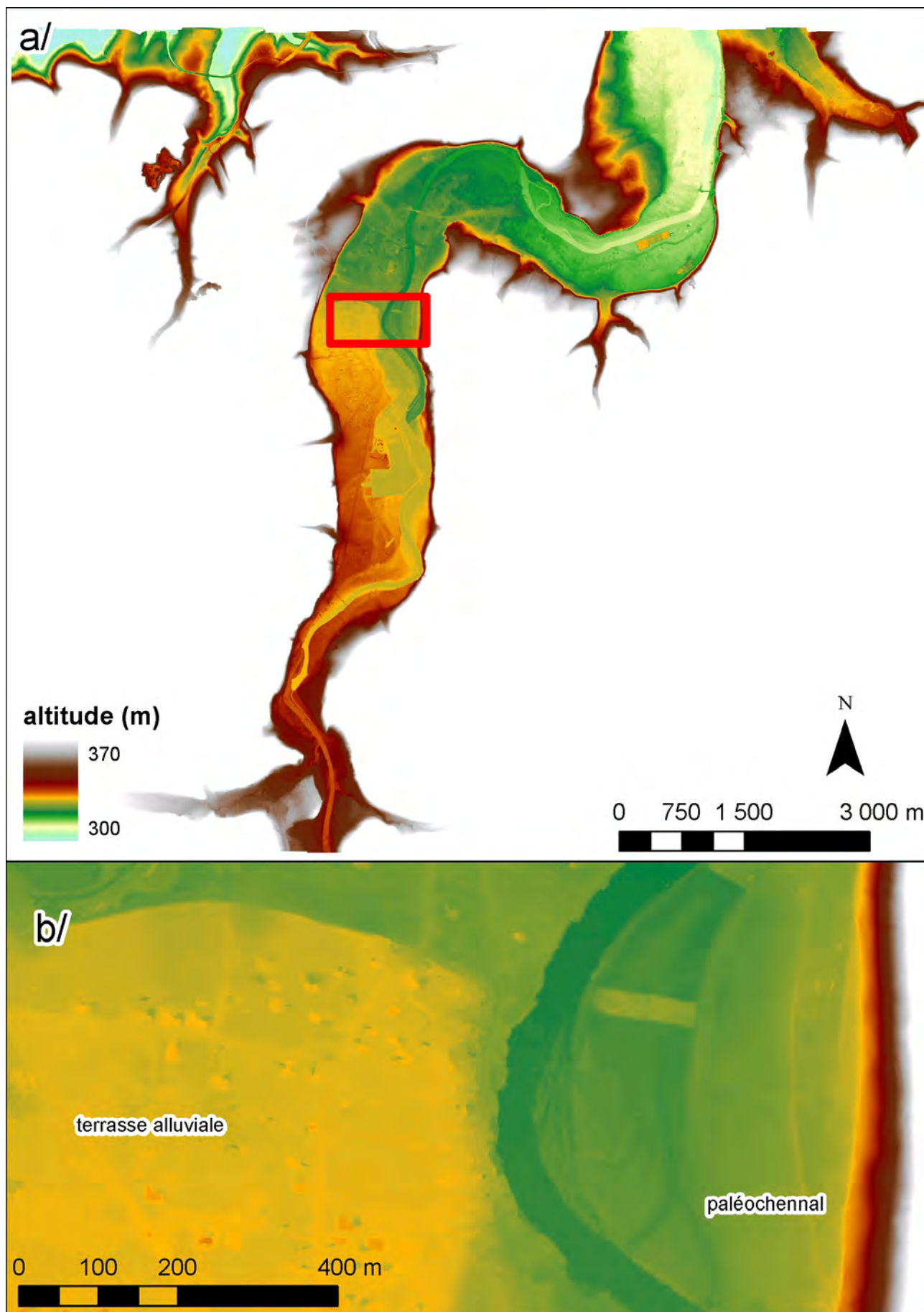


Figure 53a Représentation altimétrique du fond de vallée entre les altitudes 300 à 370 m. 53b. Zoom montrant les contours d'une terrasse alluviale et le tracé d'anciens chenaux (C. Laplaige, 2011)

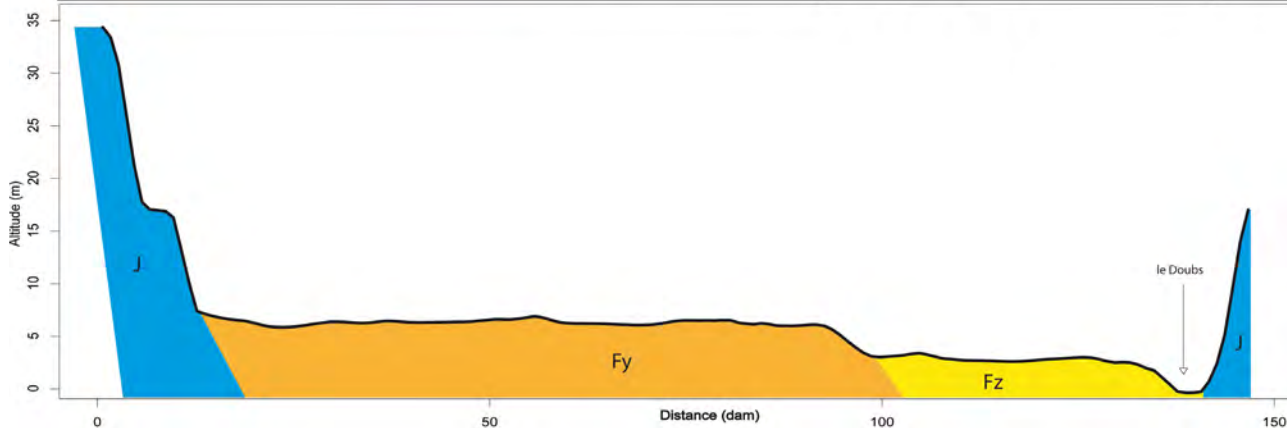
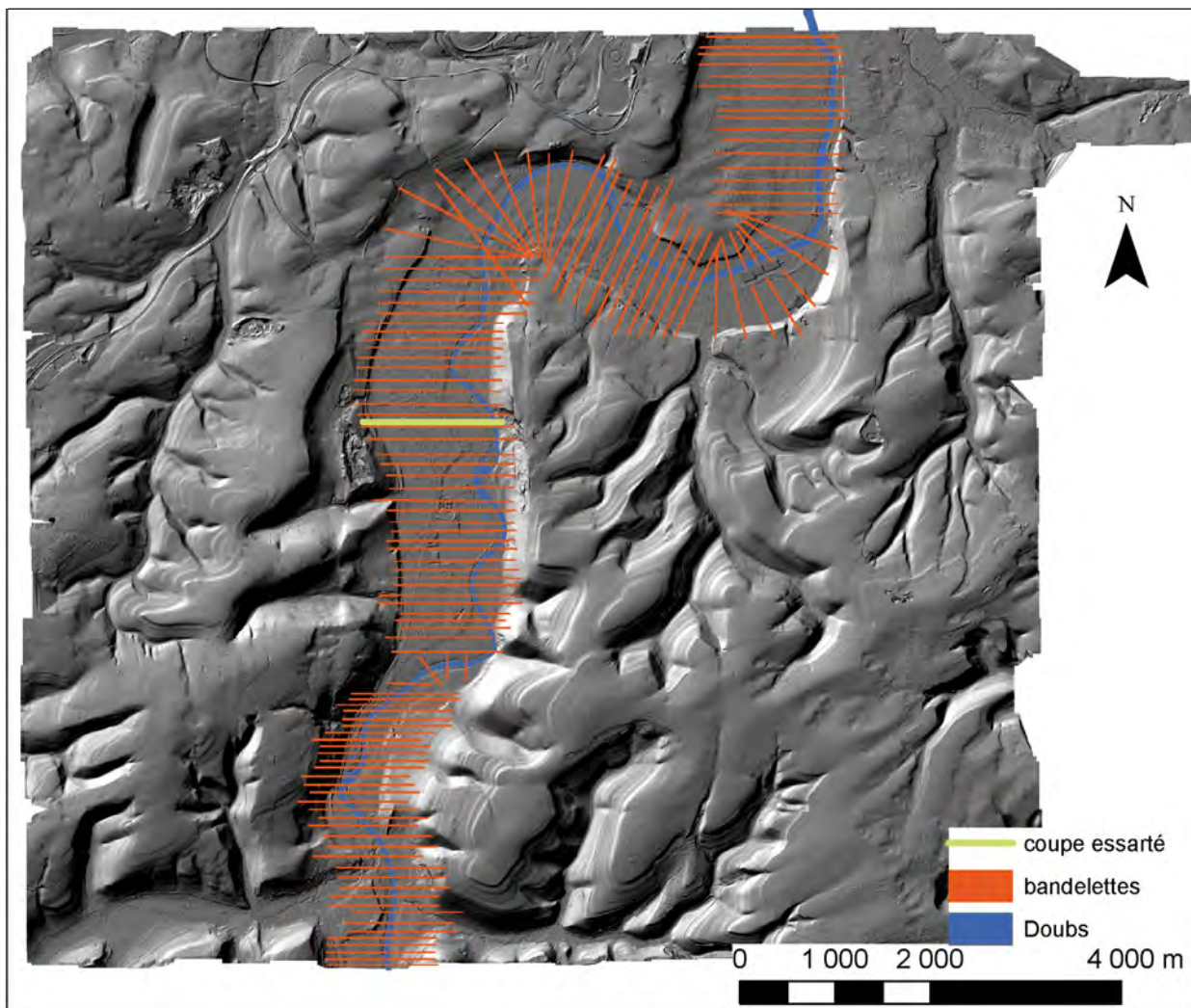


Figure 54. Implantation des bandelettes utilisées pour modéliser le fond de vallée et exemple de coupe résultante (C. Laplaige, 2011)

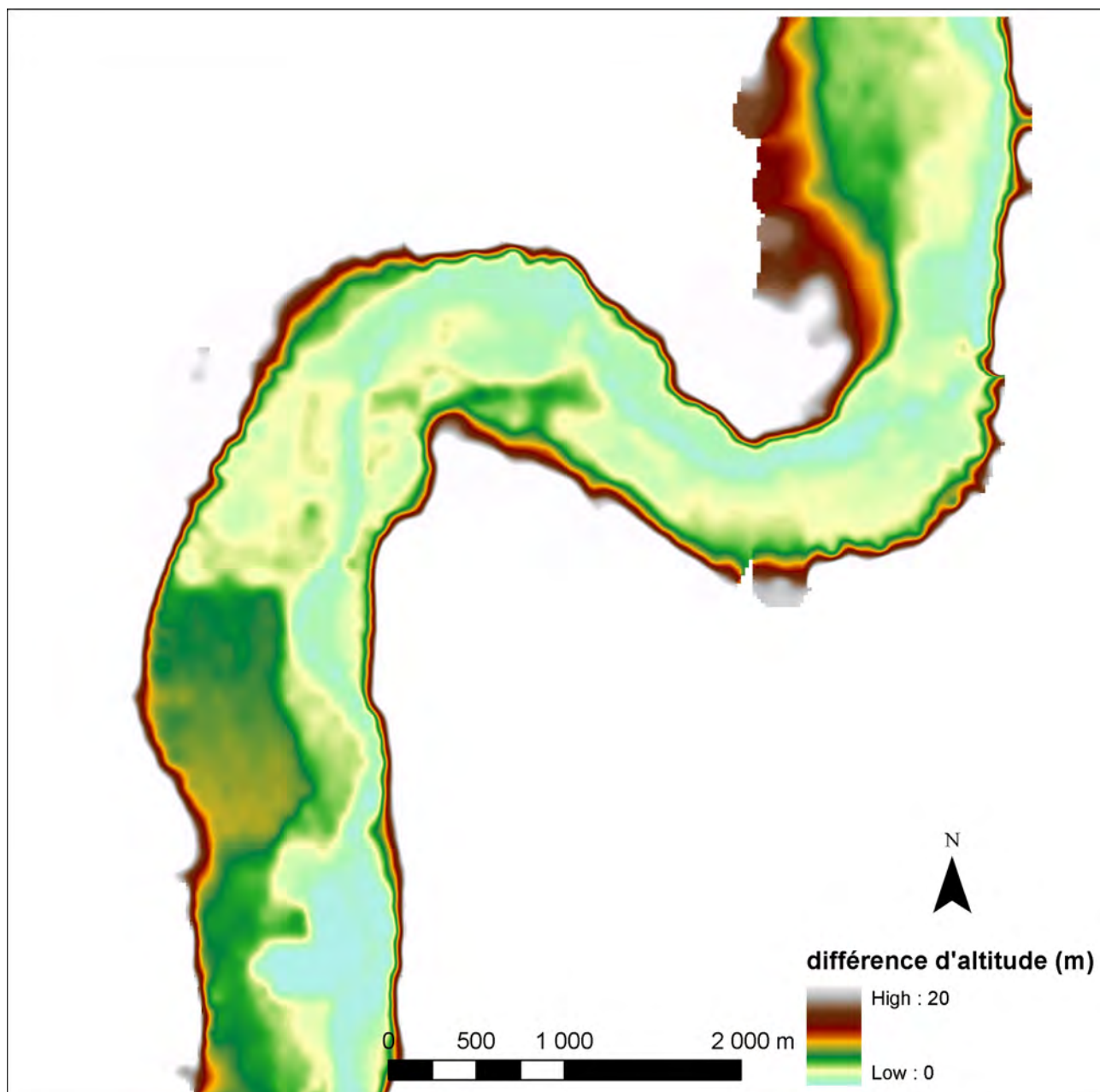


Figure 55. Modèle du fond de vallée obtenu après l'analyse par bandelette (C. Laplaige, 2011)

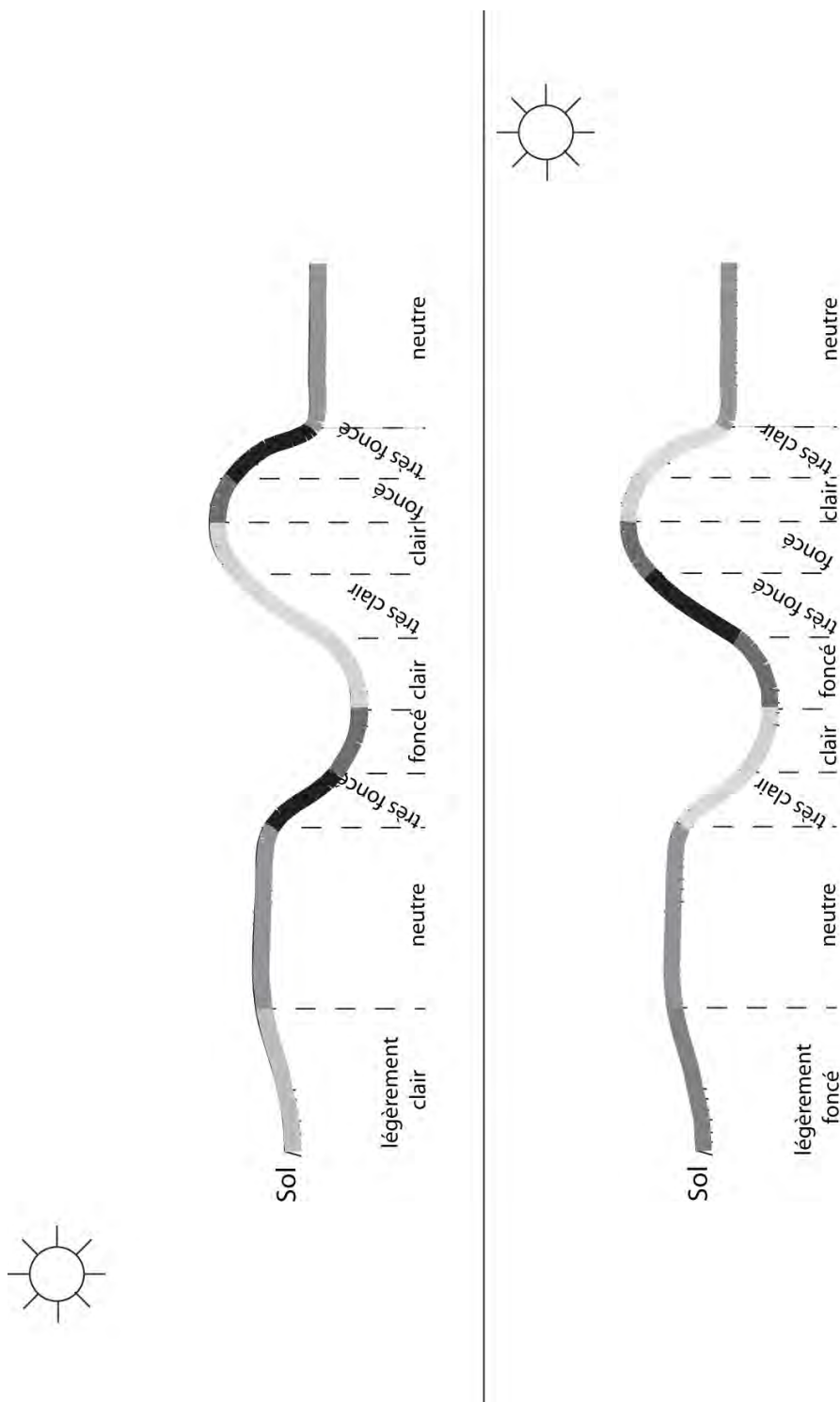


Figure 56. Effet conjugué de la fonction ombrage et de la position de la source d'éclairage sur un exemple d'anomalies micro topographiques (C. Laplaige, 2011)

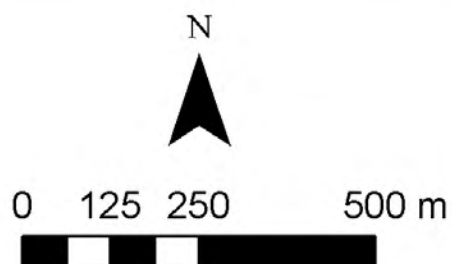
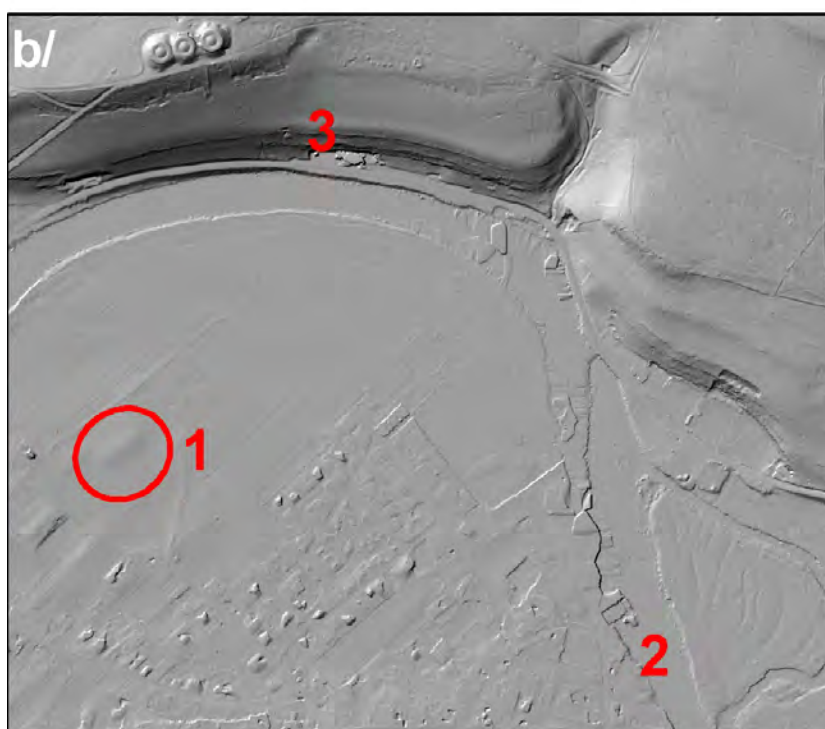
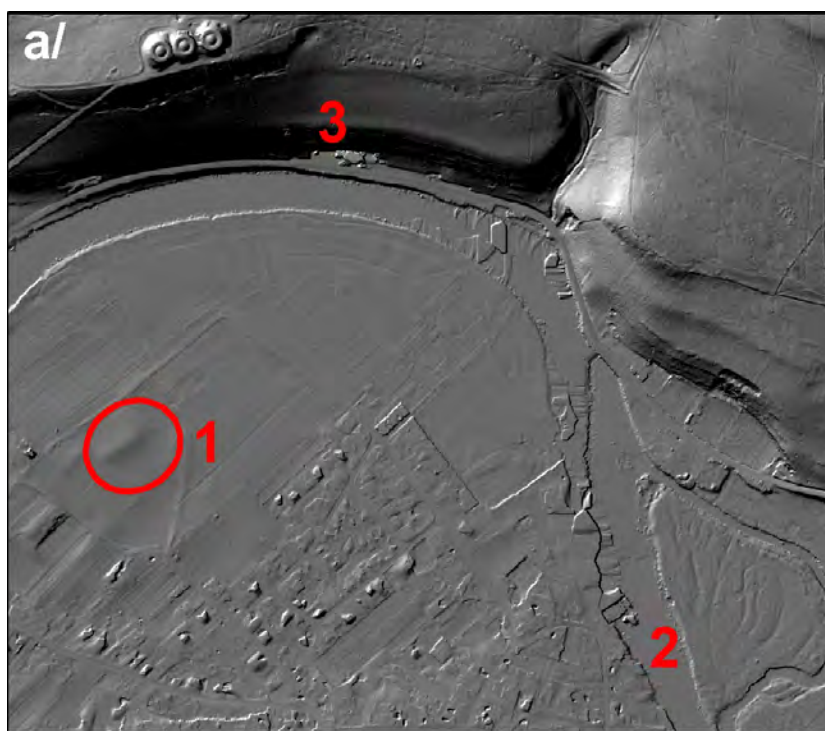


Figure 57 Exemple d'un modèle ombré du terrain et effets de la dynamique du signal sur la détection des anomalies (a = 2 sigmas ; b = 100 %) (C. Laplaige, 2011)



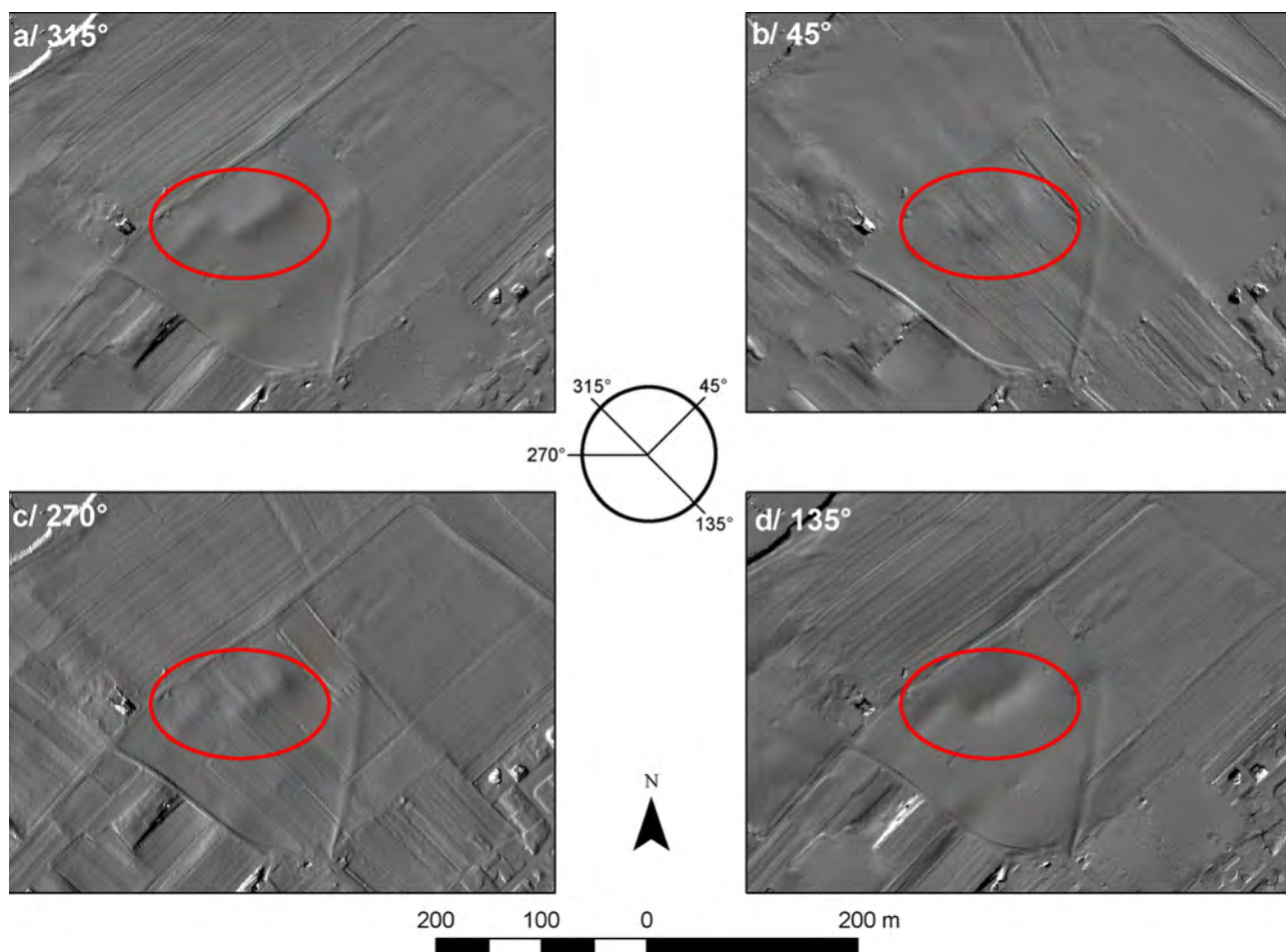


Figure 58 Effets de la variation des angles d'éclairage (315°, 45°, 270° et 135°) sur « l'apparition » d'un tronçon de voie antique (C. Laplaige, 2011)

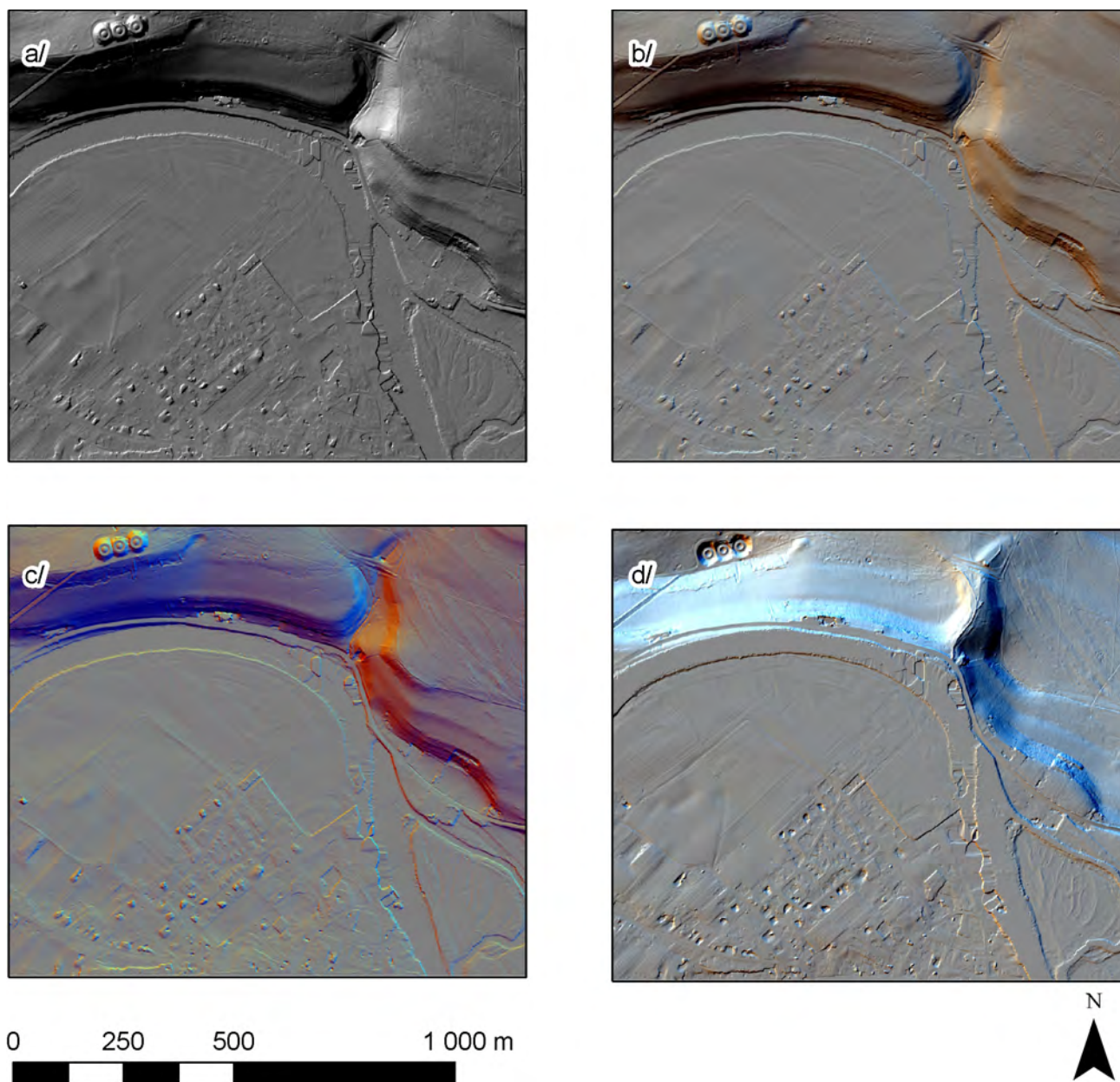


Figure 59. Présentation de plusieurs multi-ombrages, (a) ombrage simple 315-45, (b) ombrage composite R : 315-45, V 337.5-45, B : 0-45, (c) ombrage composite R : 315-45, V 22.5-45, B : 112.5-45, (d) ombrage composite R : 135-45, V 157.5-45, B : 180-45 (C. Laplaige, 2011)

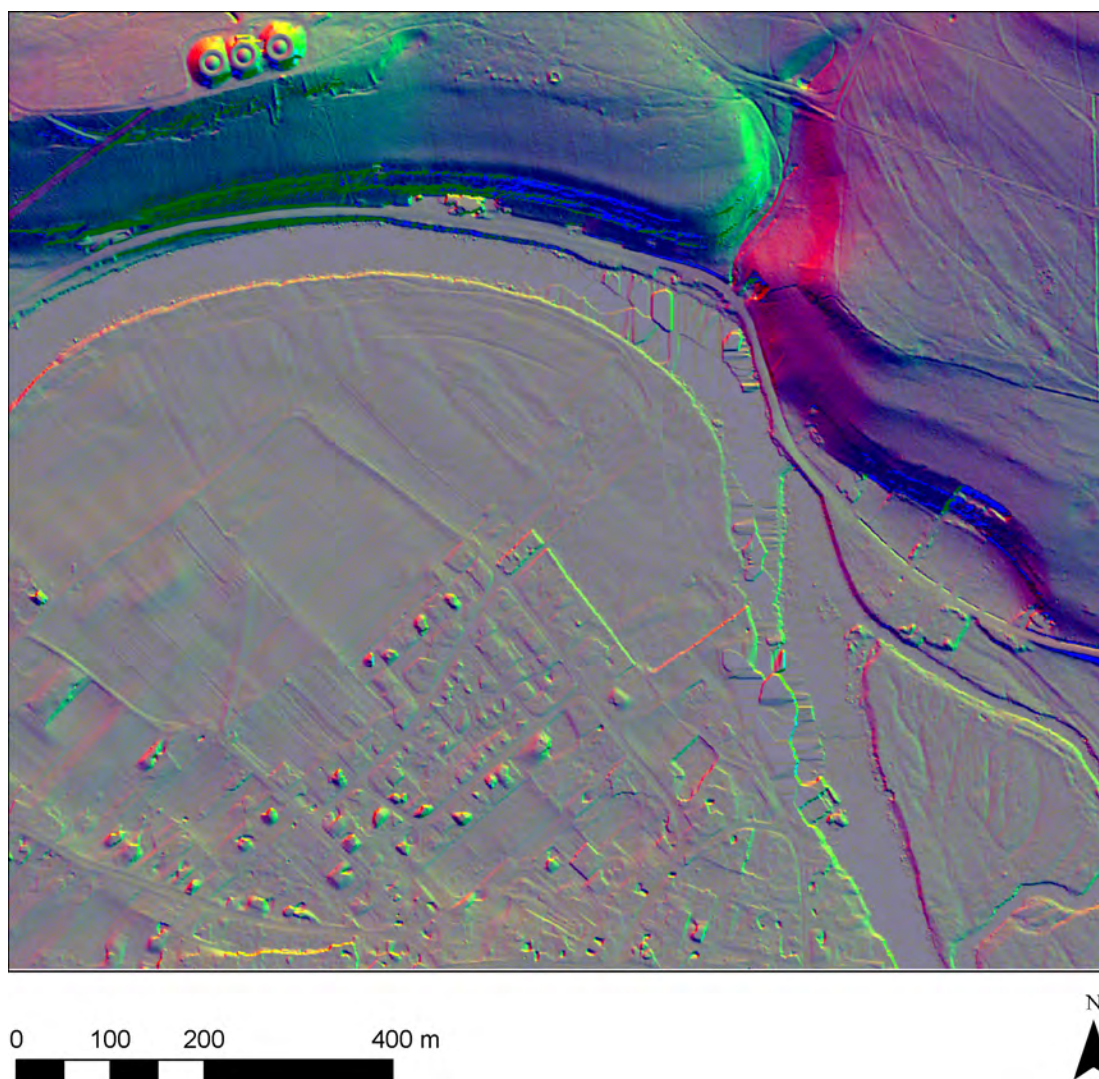


Figure 60. Exemple d'une analyse en composante principale d'un ombrage multiple (C. Laplaige, 2011)

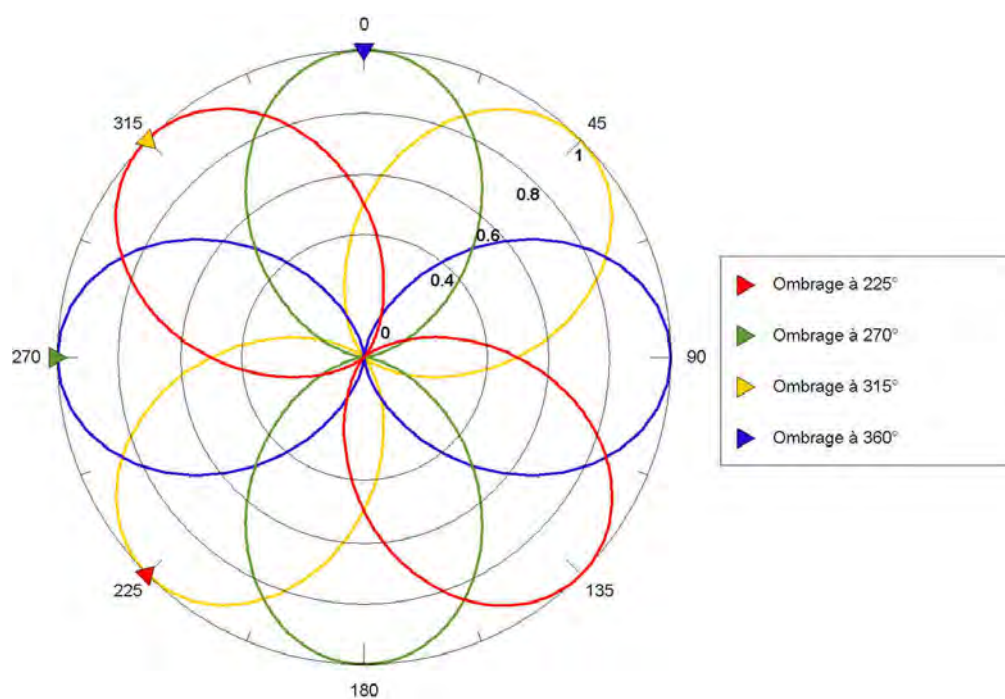


Figure 61. Représentation graphique de la fonction MDOW (C. Laplaige, 2011)

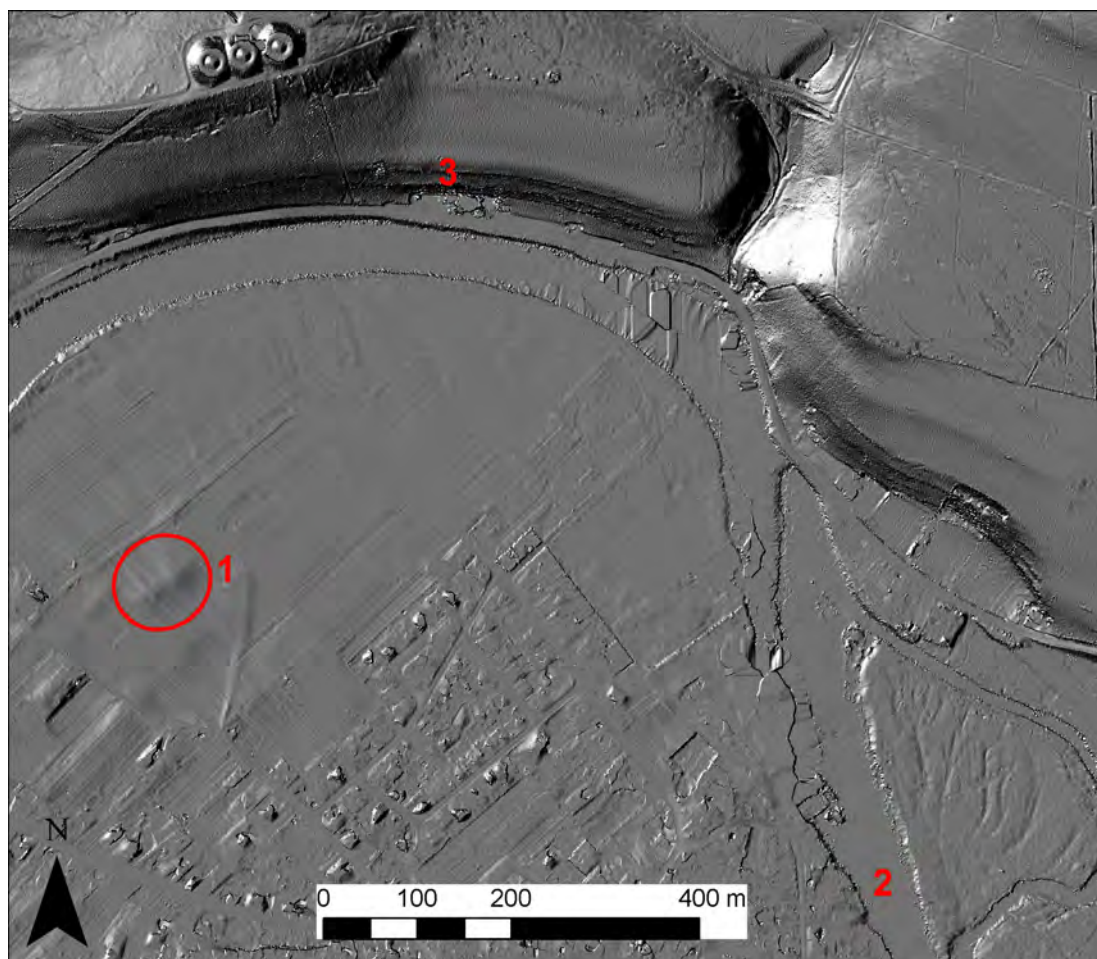


Figure 62. Exemple d'un MNT traité avec la fonction MDOW (C. Laplaige, 2011)

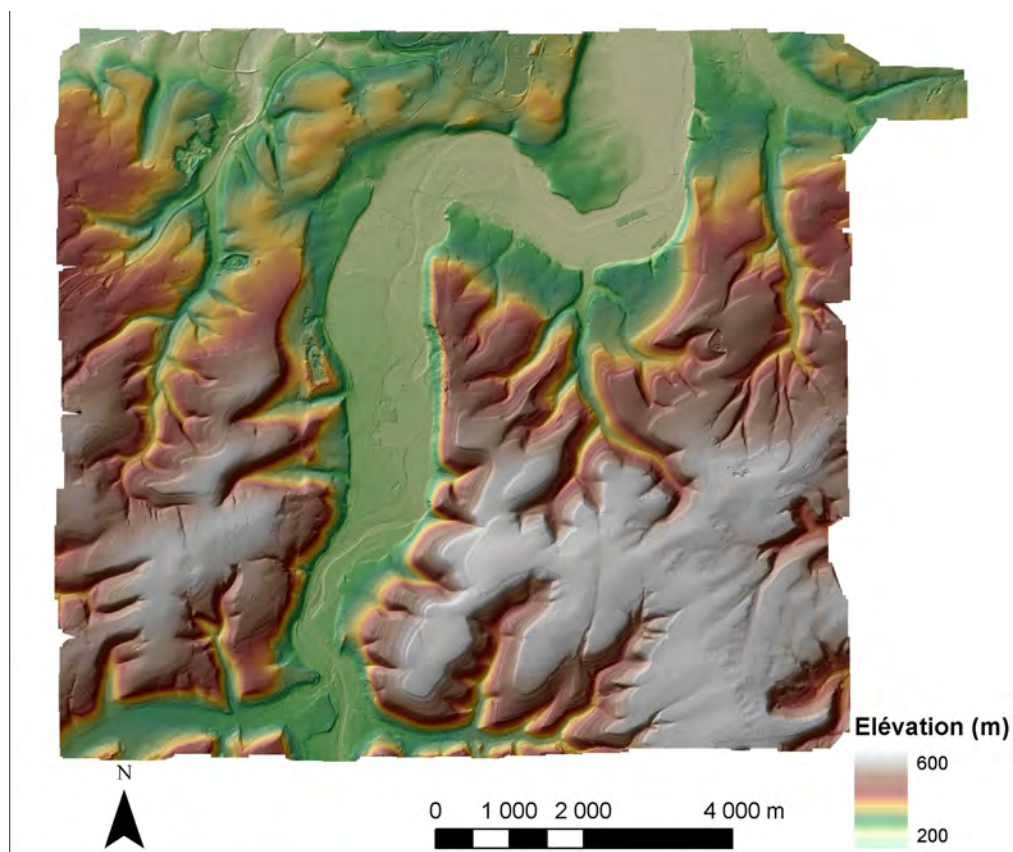


Figure 63 Exemple d'un MNT traité avec la fonction « swiss hillshade » – C. Laplaige, 2011

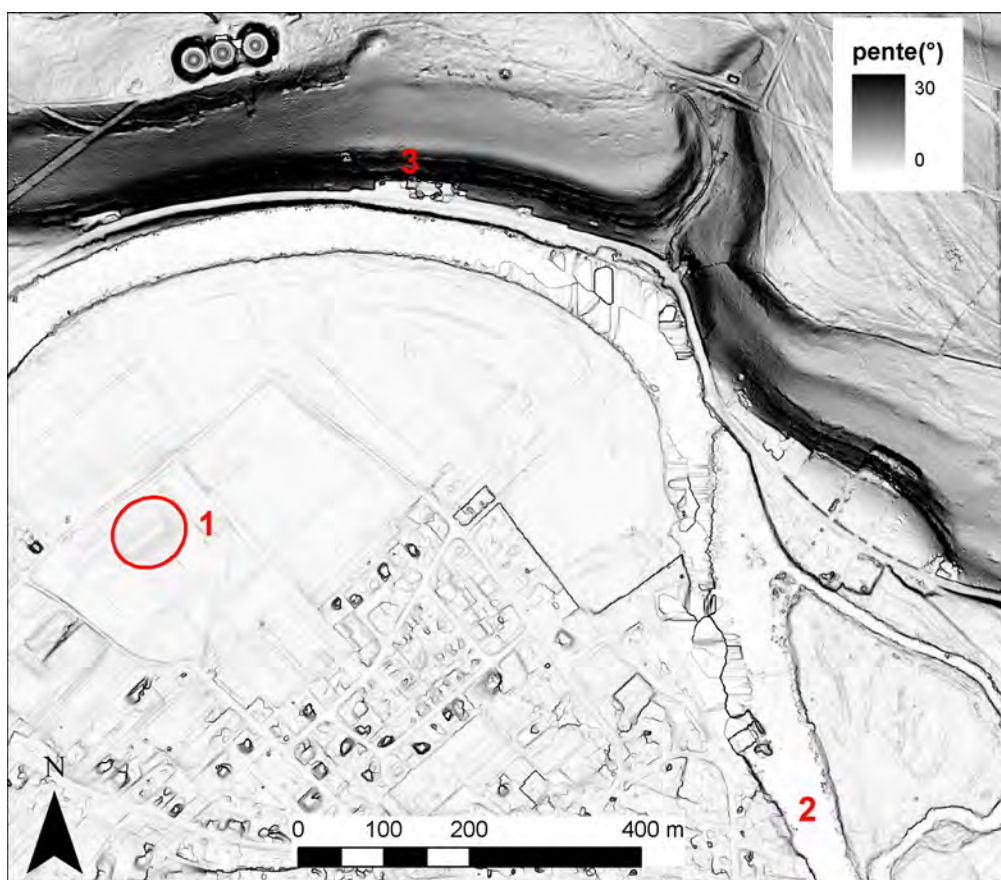


Figure 65. Exemple d'un MNT traité avec la fonction pente (C.Laplaige, 2011)

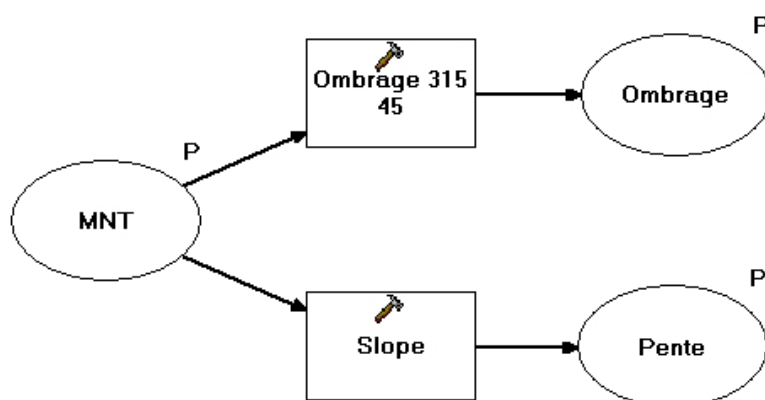


Figure 66. Modèle synoptique de création d'une visualisation d'un ombrage regroupant la pente et un ombrage simple (C. Laplaige, 2011)

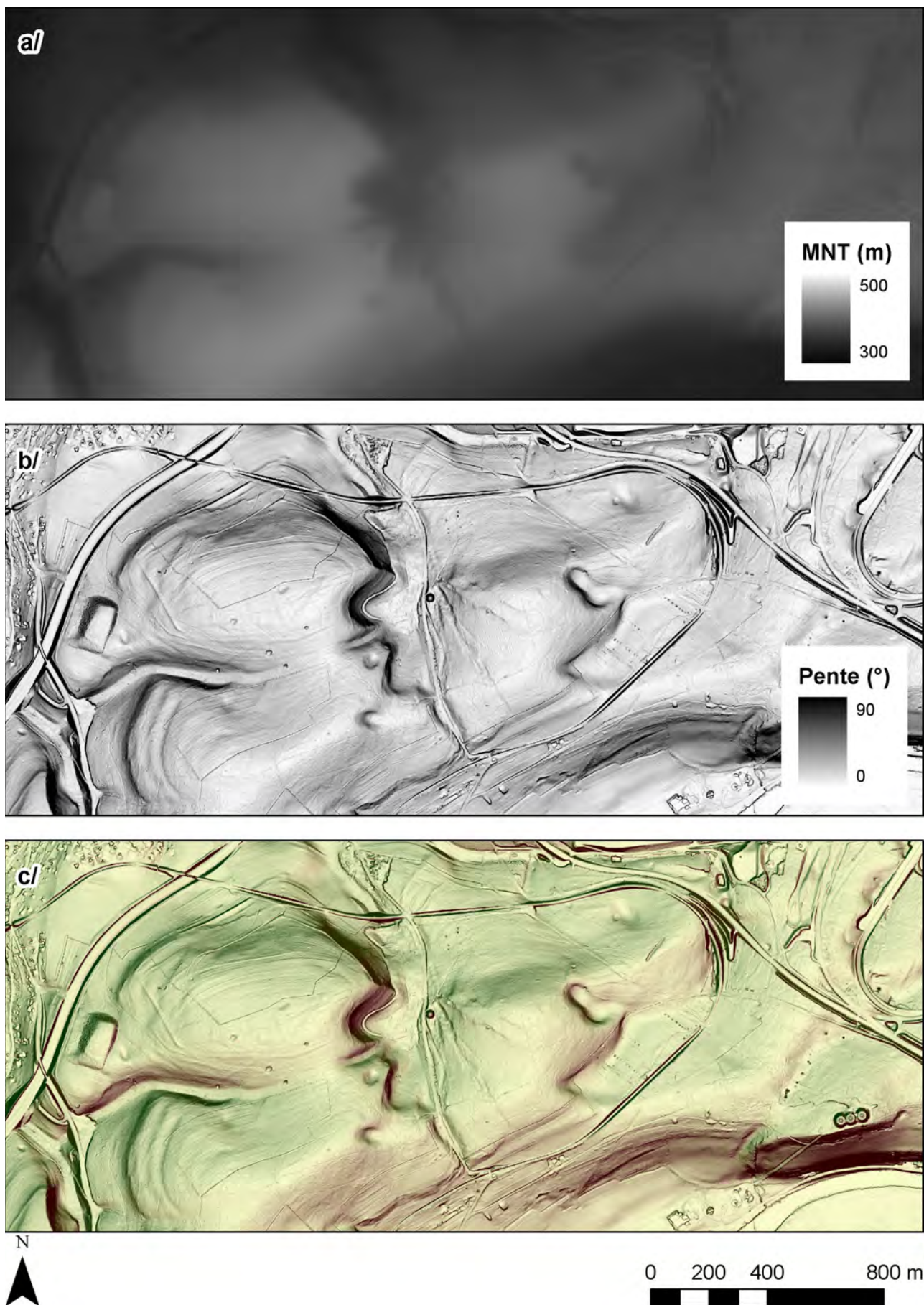


Figure 67. Comparaison d'une représentation altimétrique (a), d'une fonction pente (b) et d'une fonction pente avec un ombrage simple (c) (C. Laplaige, 2011)

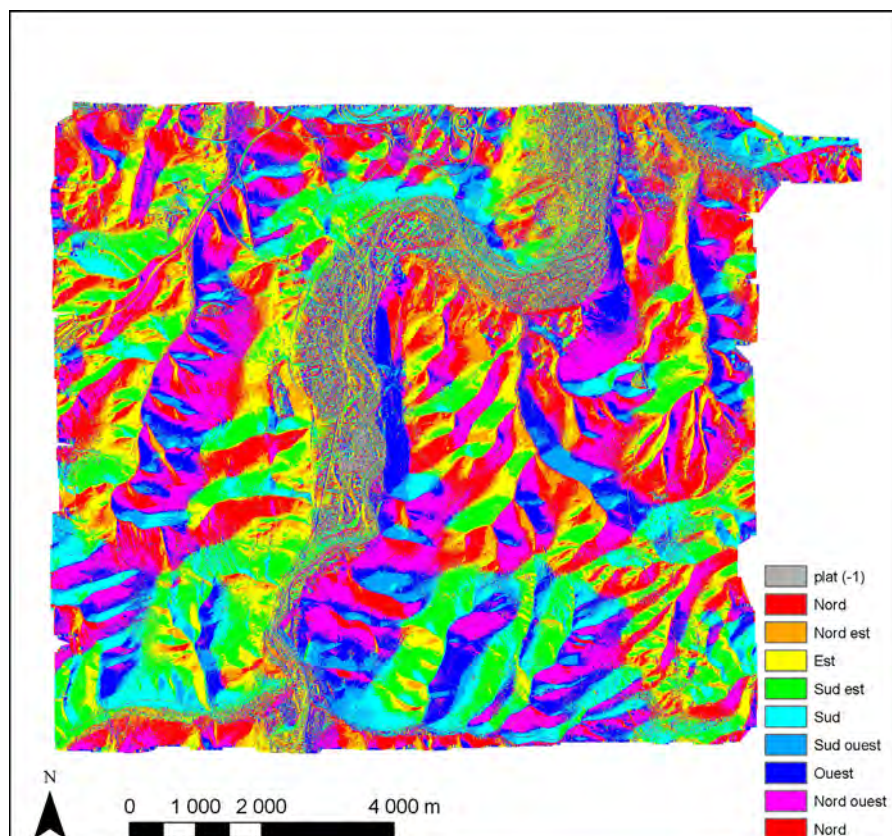


Figure 69. Exemple d'un MNT traité avec la fonction « Aspect » et les orientations regroupées par classes (C. Laplaige, 2011)

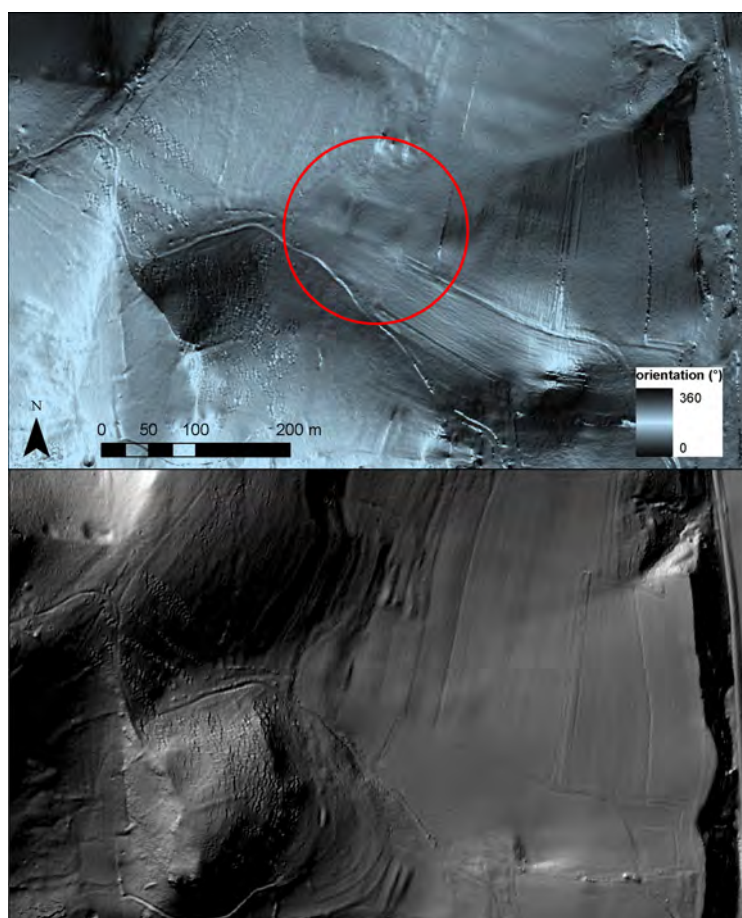


Figure 70. Exemple d'un MNT traité avec la fonction « Aspect » et les orientations représentées sur 256 couleurs. Comparaison avec à un ombrage simple 315-45 de la même zone (C. Laplaige, 2011)



Figure 71. Exemple d'un MNT traité avec la fonction TPI (indice de position topographique)(C. Laplaige, 2011)



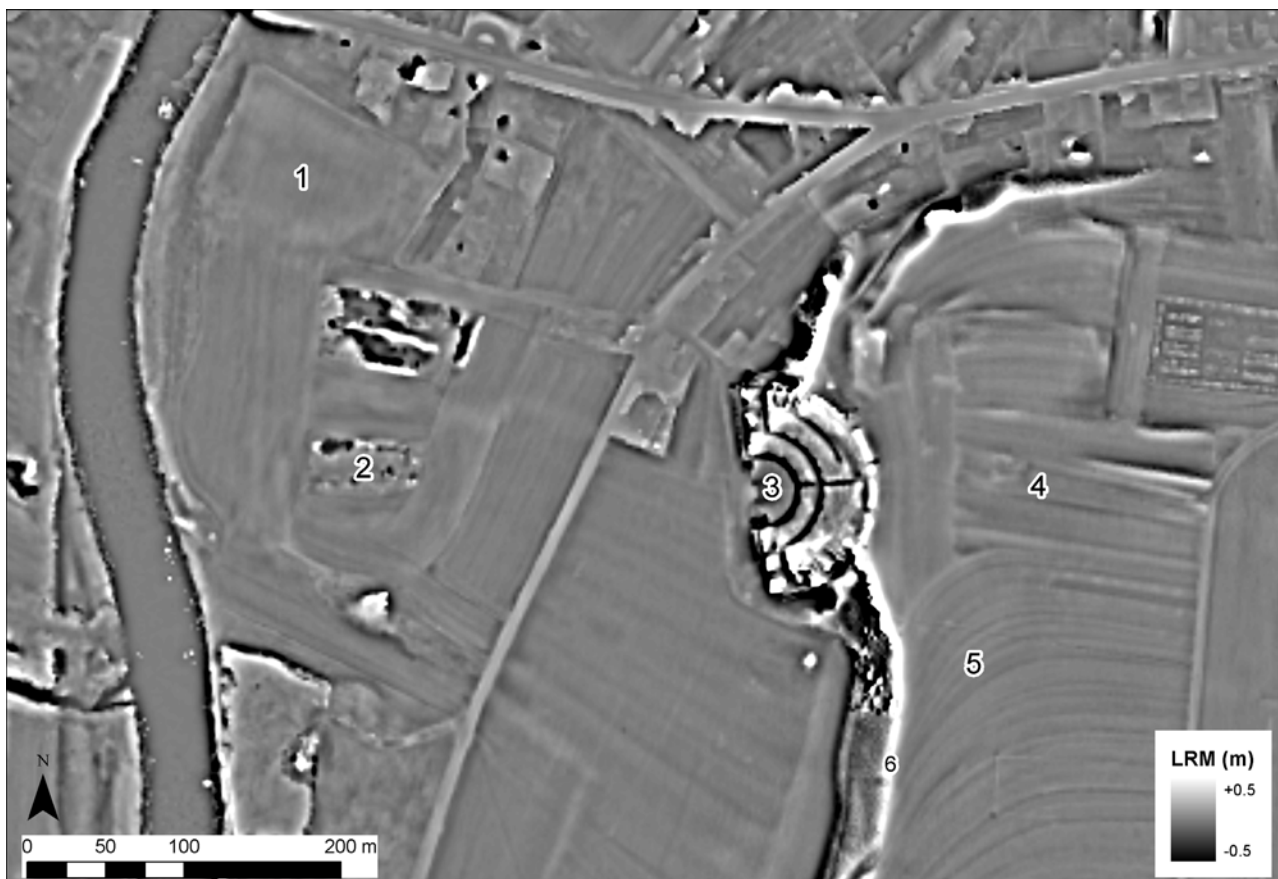


Figure 72. Exemple d'un MNT soustrait par un MNT dégradé grâce à un filtre gaussien (C. Laplaige, 2011, logiciel SAGA GIS)

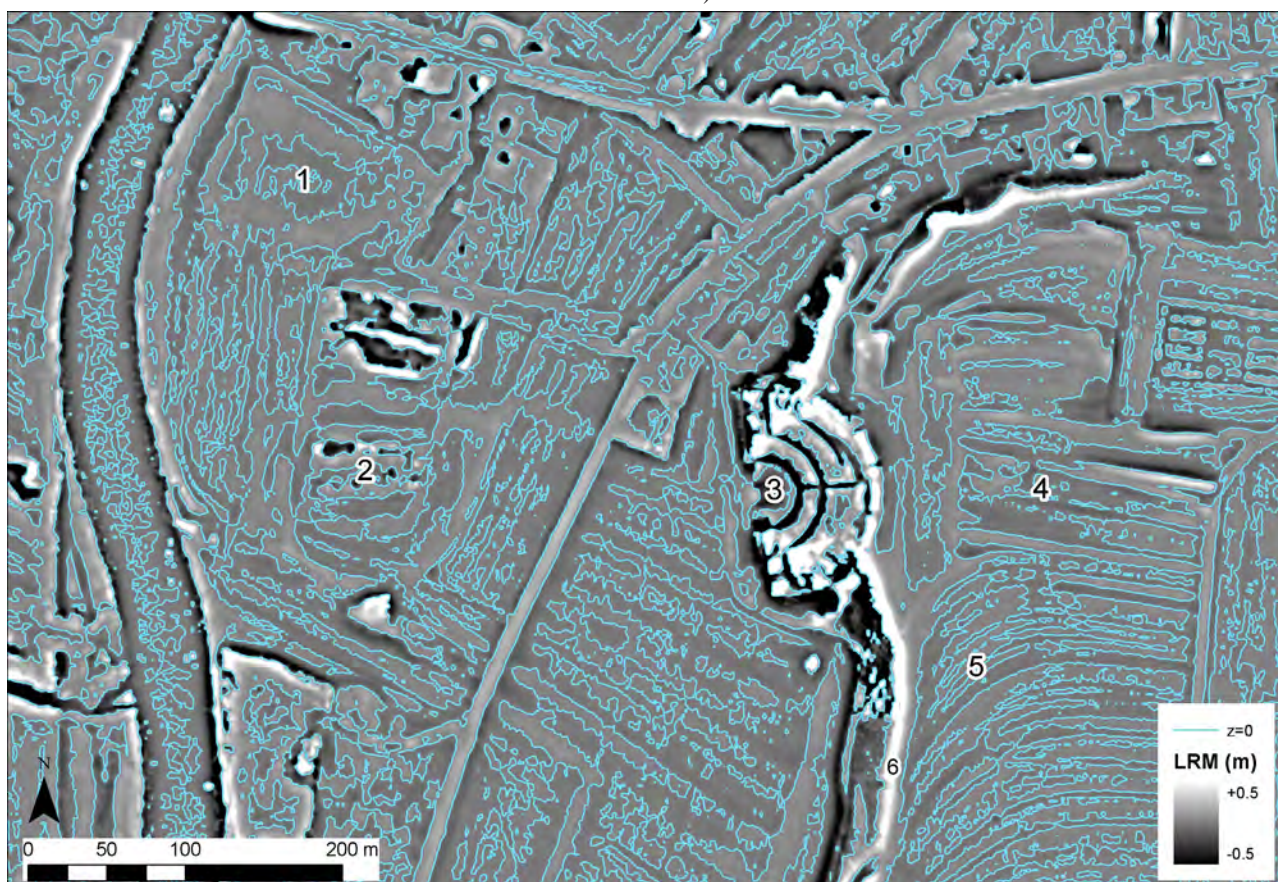


Figure 73. Exemple d'un MNT soustrait par un MNT dégradé grâce à un filtre gaussien (C. Laplaige, 2011, logiciel SAGA GIS)

CripT: Comparateur de la Résistivité et de l'Indice de Position Topographique

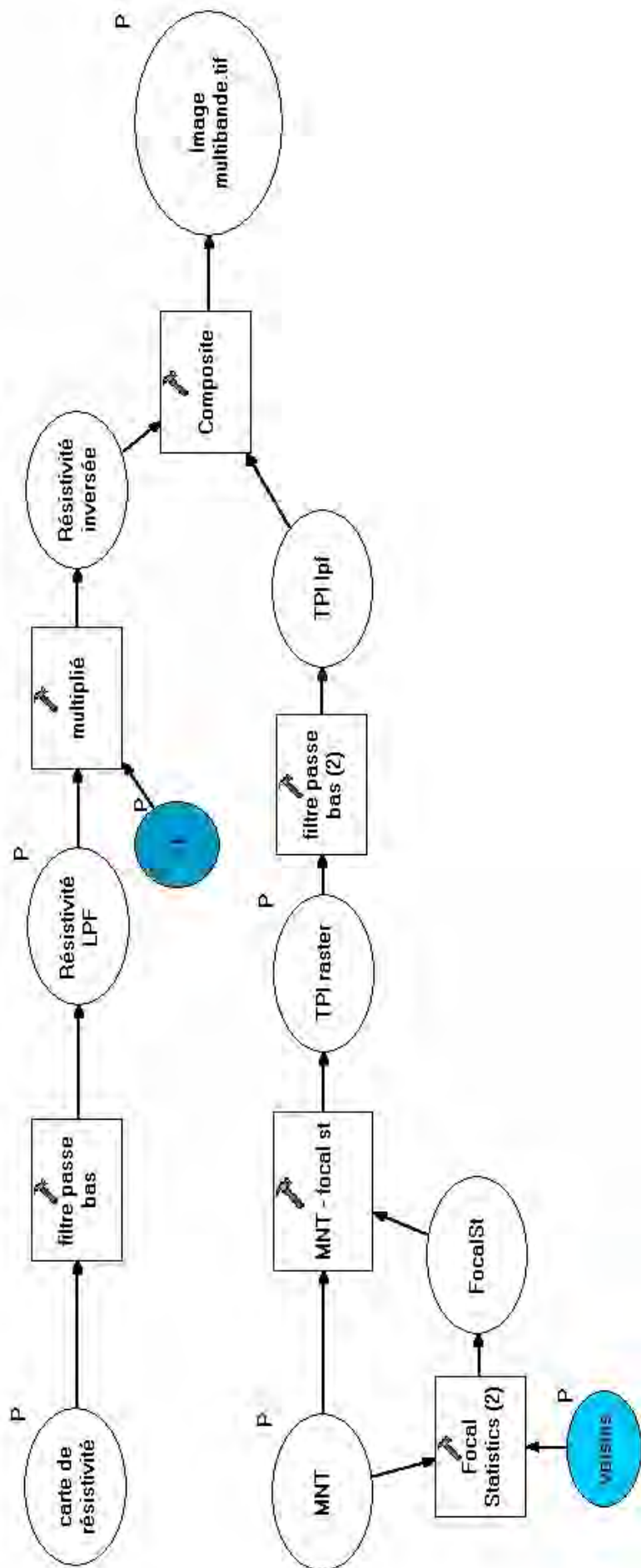


Figure 74. Modèle synoptique du comparateur de la résistivité et de l'indice de position topographique (CripT) (C. Laplaige, 2011)

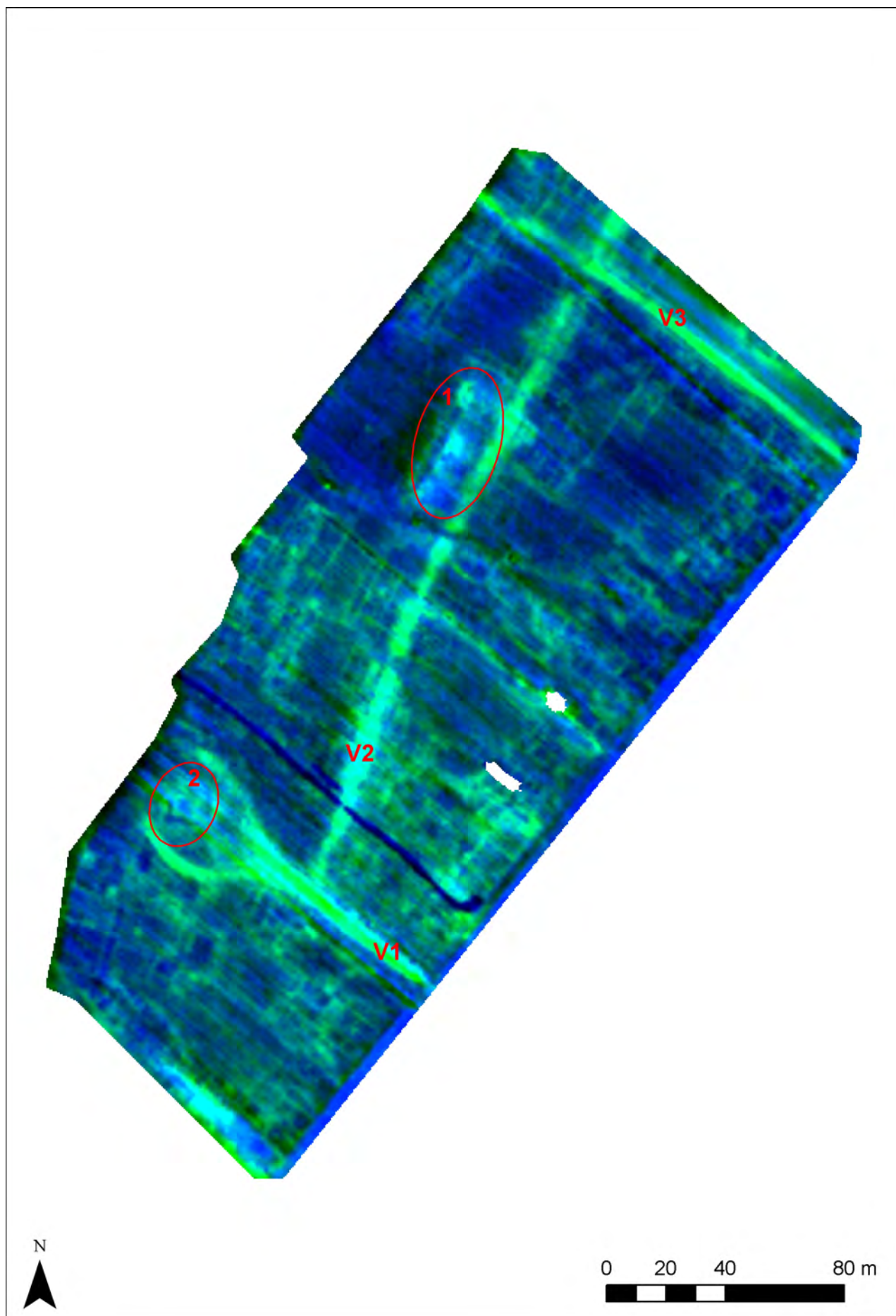


Figure 75. Mandeur. Exemple d'un quartier d'habitation de l'agglomération antique traité avec le comparateur CripT ; V1, V2, et V3 voies, (1) portique, (2.) temple (C. Laplaige, 2011)

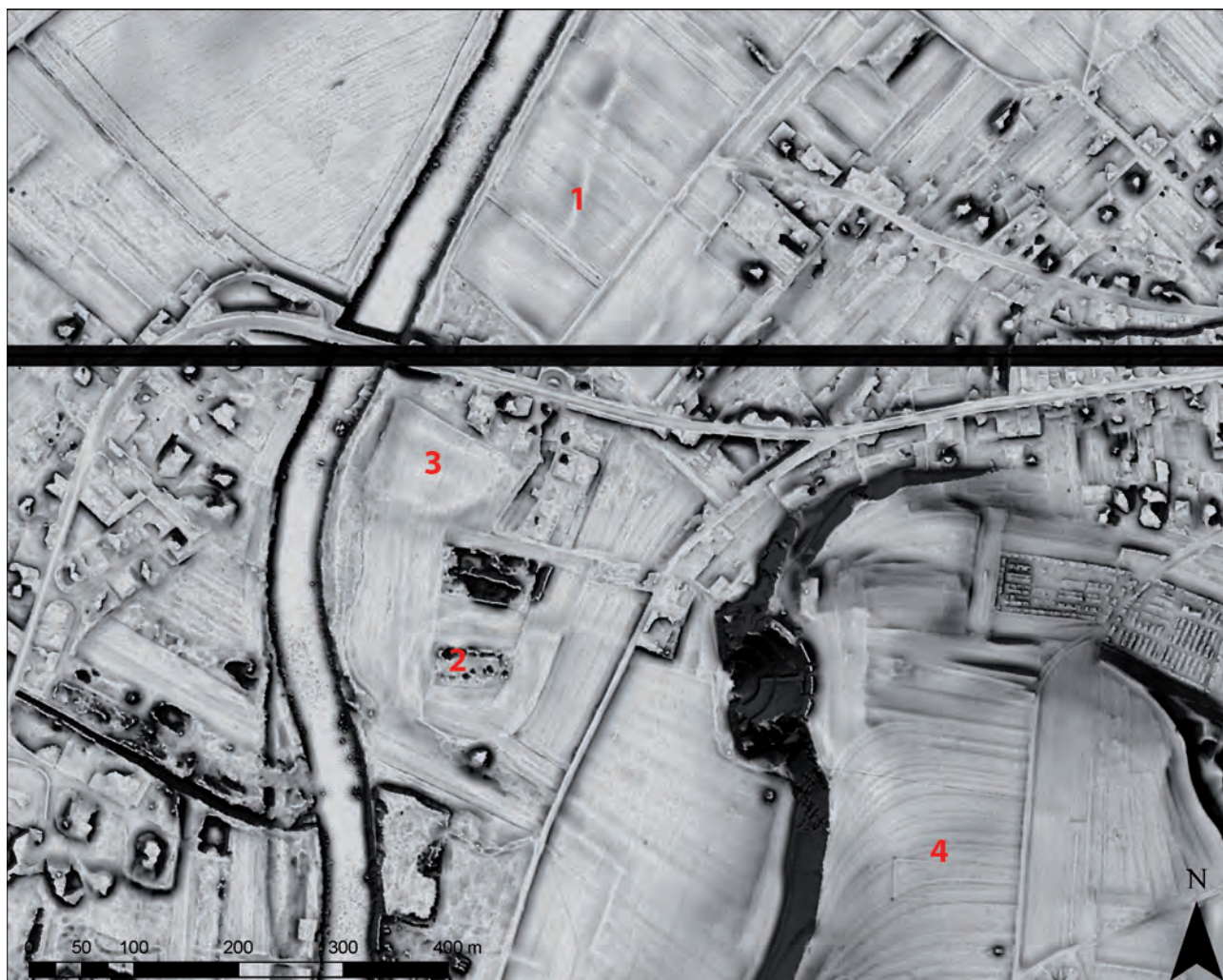


Figure 76. Exemple d'un MNT traité avec la fonction SVF (Sky View Factor) auquel a été ajouté un ombrage simple (C.Laplaige, 2011)

Paramètres observés et/ou mesurés	Méthode	Applications
Concentration de matériaux en surface	Reconnaissance à vue	Limites d'occupations de l'espace, contours de sites, chronologie des aires d'occupations,...
Couleur, humidité, végétation, topographie	Photographie aérienne	Organisation du paysage, structures archéologiques diverses, hydromorphie proche, placages géologiques
Micro-topographie	LIDAR aéroporté	Traces matérielles d'occupation (voies, structures agraires, habitat...), géomorphologie
Permittivité diélectrique	Radar	Structures archéologiques diverses, remplissages sédimentaires
Résistivité	Electrique	Structures archéologiques diverses (constructions en pierres, fossés, fossés,) structures sédimentaires, substrat rocheux....
Susceptibilité magnétique	Electromagnétique	Métaux, structures archéologiques lenticulaires, contours de sites, structures géologiques affleurantes
Aimantation	Magnétique	Structures archéologiques diverses (fossés, fossés, constructions, fours, foyers...)
Succession des couches	Sondages	Reconnaissance des séquences stratigraphiques (mécanismes d'accumulation des couches, ...)

Figure 77. Tableau comparatif des différentes méthodes de prospection utilisées (en bleu, les méthodes internes, en rose, les méthodes externes) (C .Laplaige, G. Bossuet, 2011)

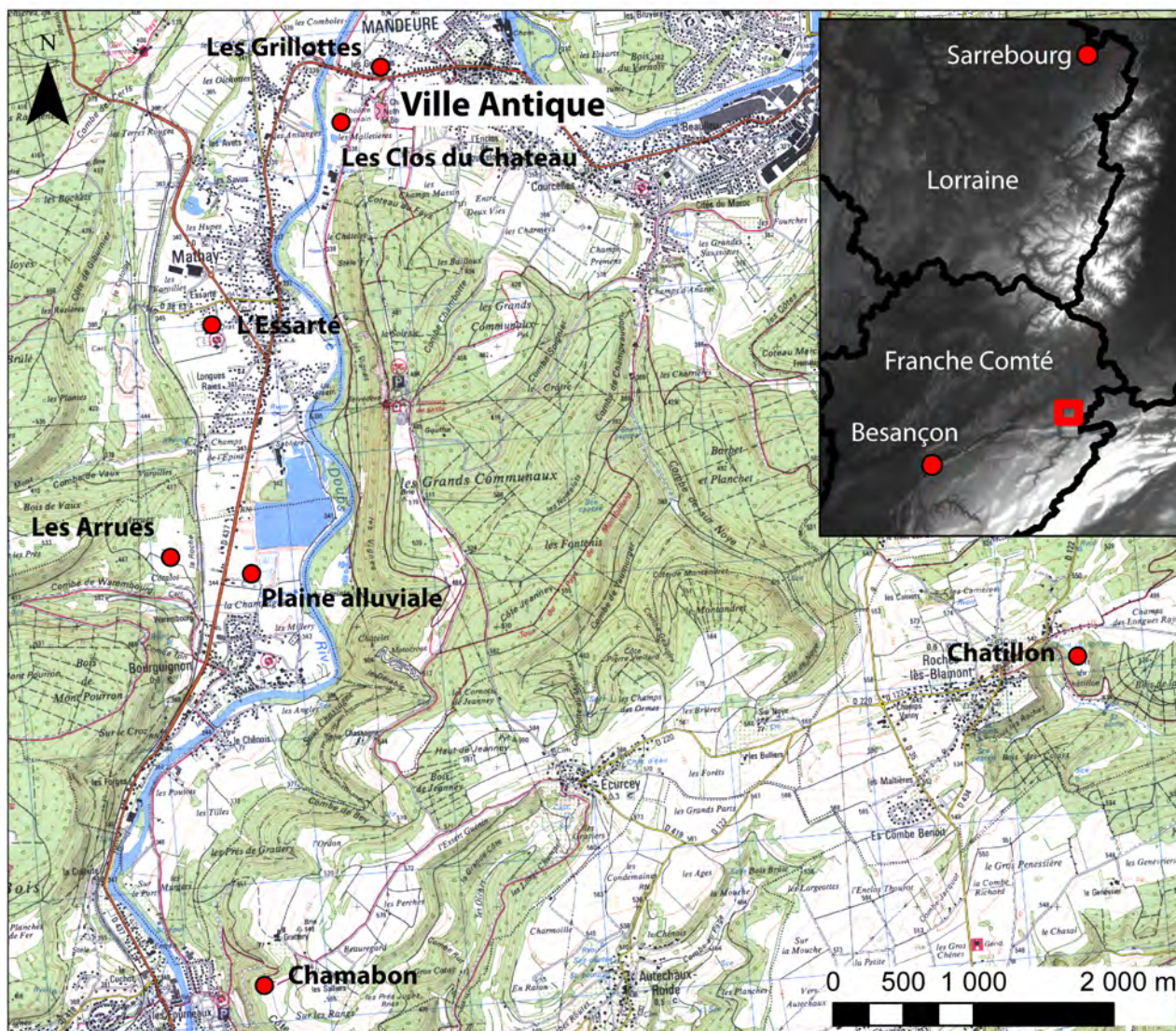


Figure 78. Localisation des sites étudiés dans la 3ème partie (C. Laplaige, 2011)

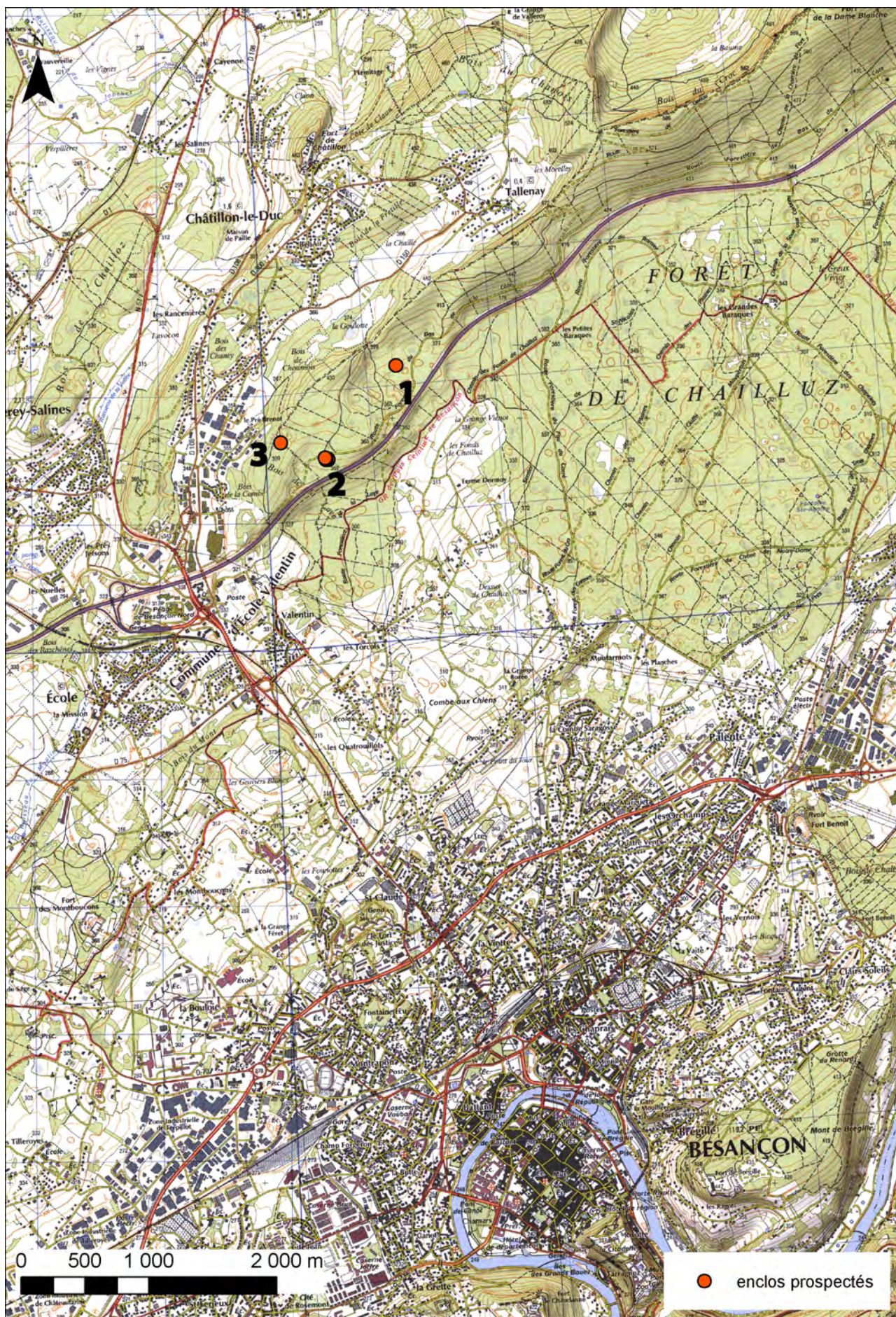


Figure 79. Besançon (Dubs). Localisation des sites prospectés dans la forêt de Chailluz (C. Laplaige, 2011)

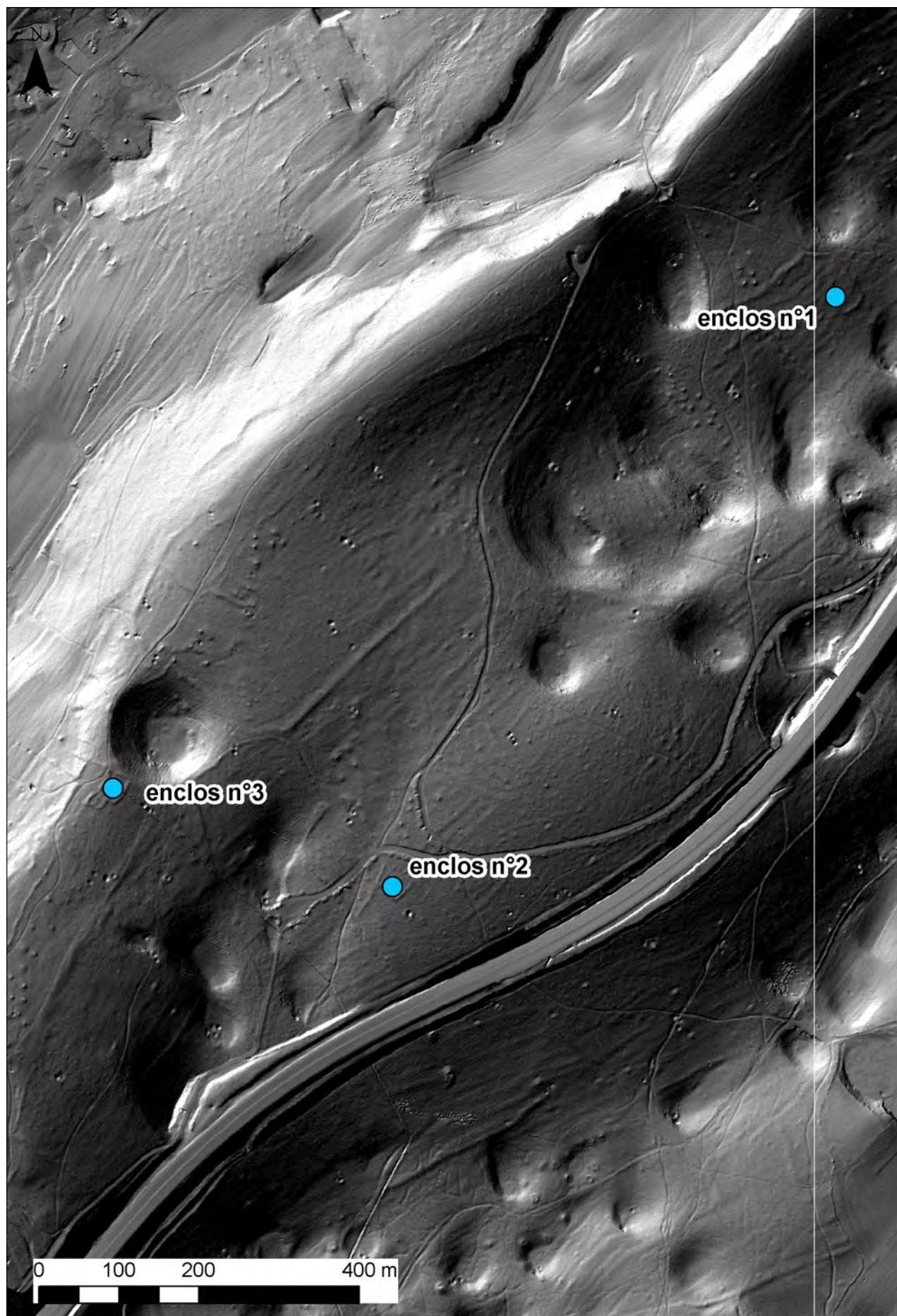


Figure 80. Besançon (Doubs). Localisation des enclos prospectés sur le modèle ombré du terrain 315-45 (C.Laplaige, 2011)



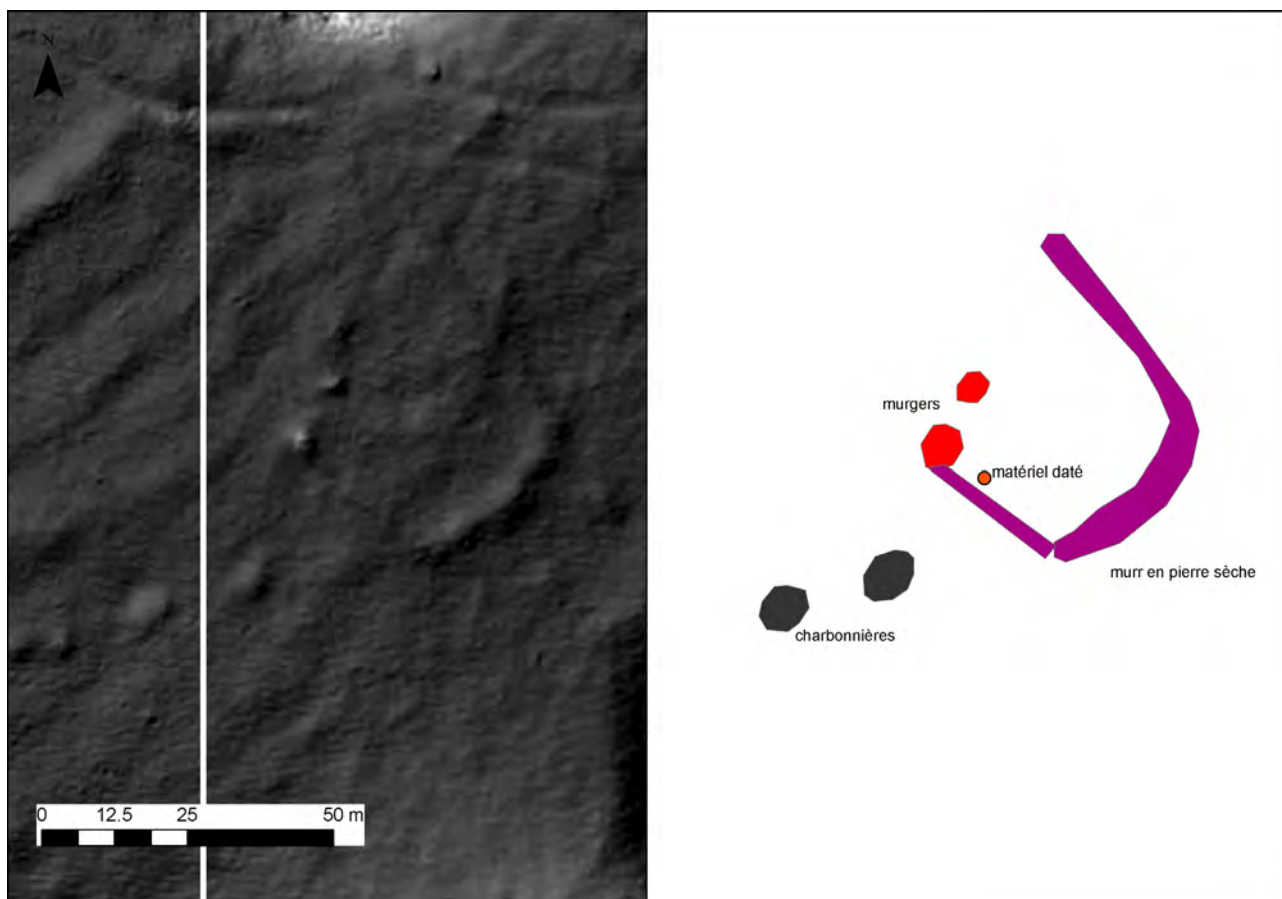


Figure 81. Besançon (Doubs). Modèle ombré du terrain 315-45 et schéma d'interprétation de l'enclos n°1 (C.Laplaige, 2011)

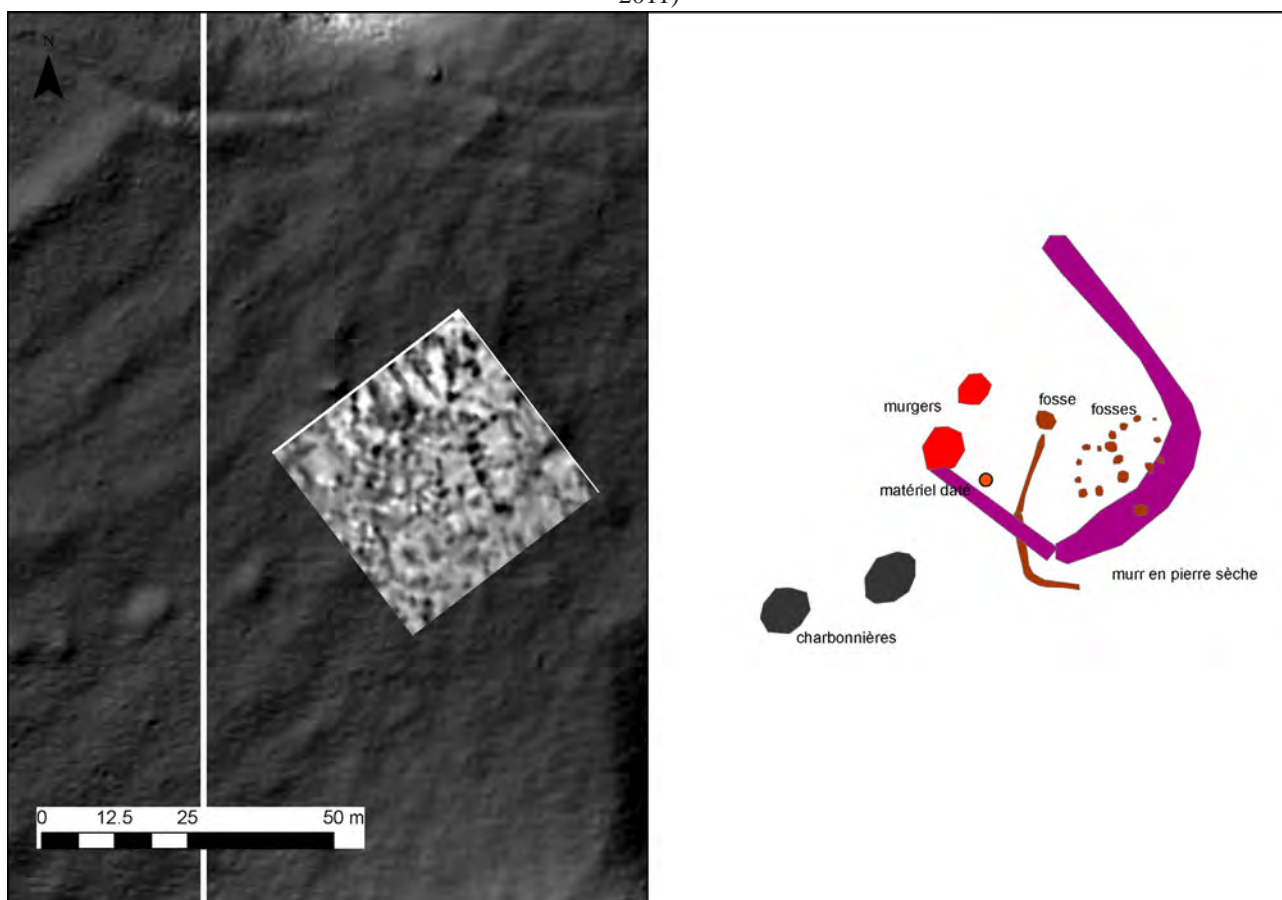


Figure 82. Besançon (Doubs). Prospection magnétique de l'enclos n°1 et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

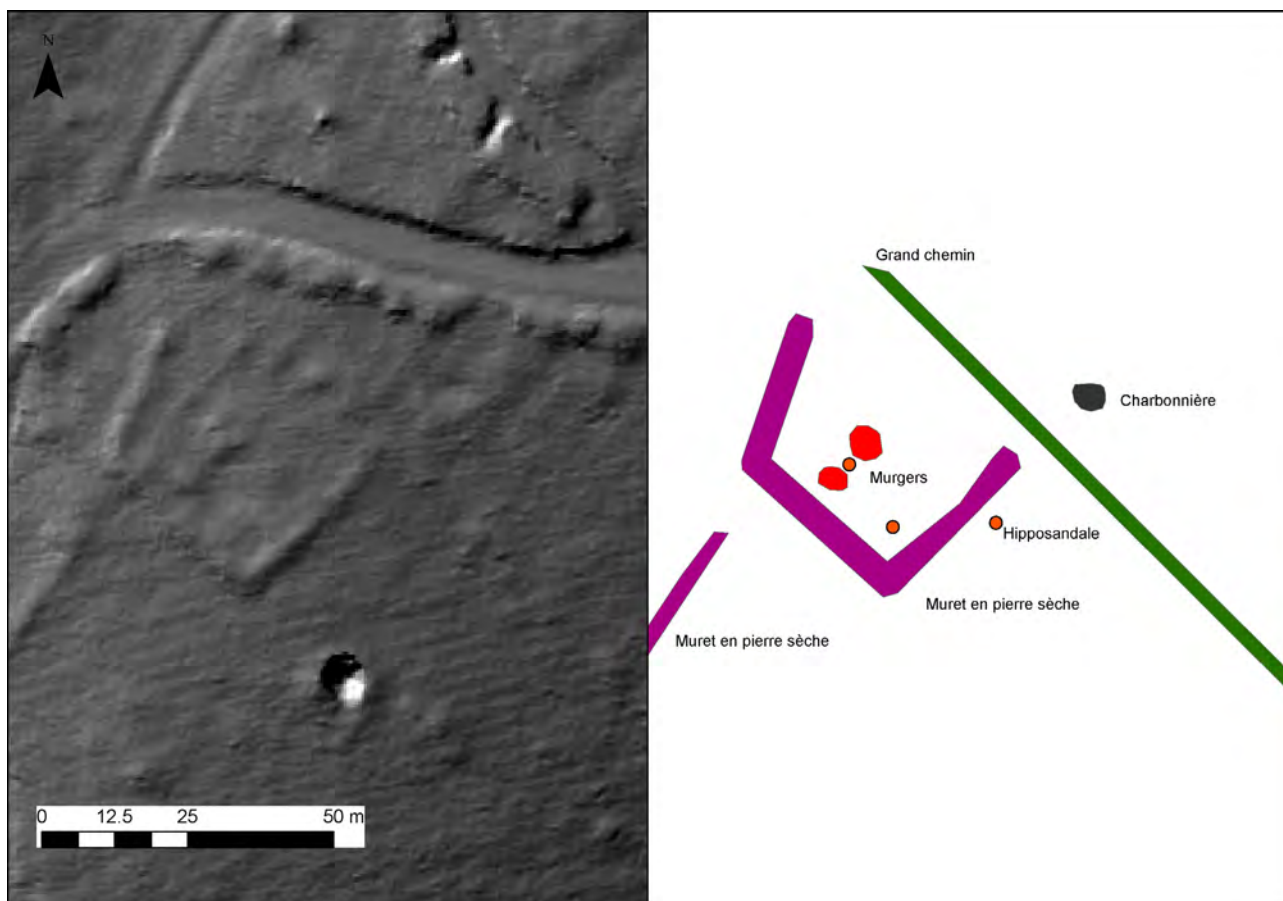


Figure 83. Besançon (Doubs). Modèle ombré du terrain 315-45 et schéma d'interprétation de l'enclos n° 2 (C.Laplaige, 2011)

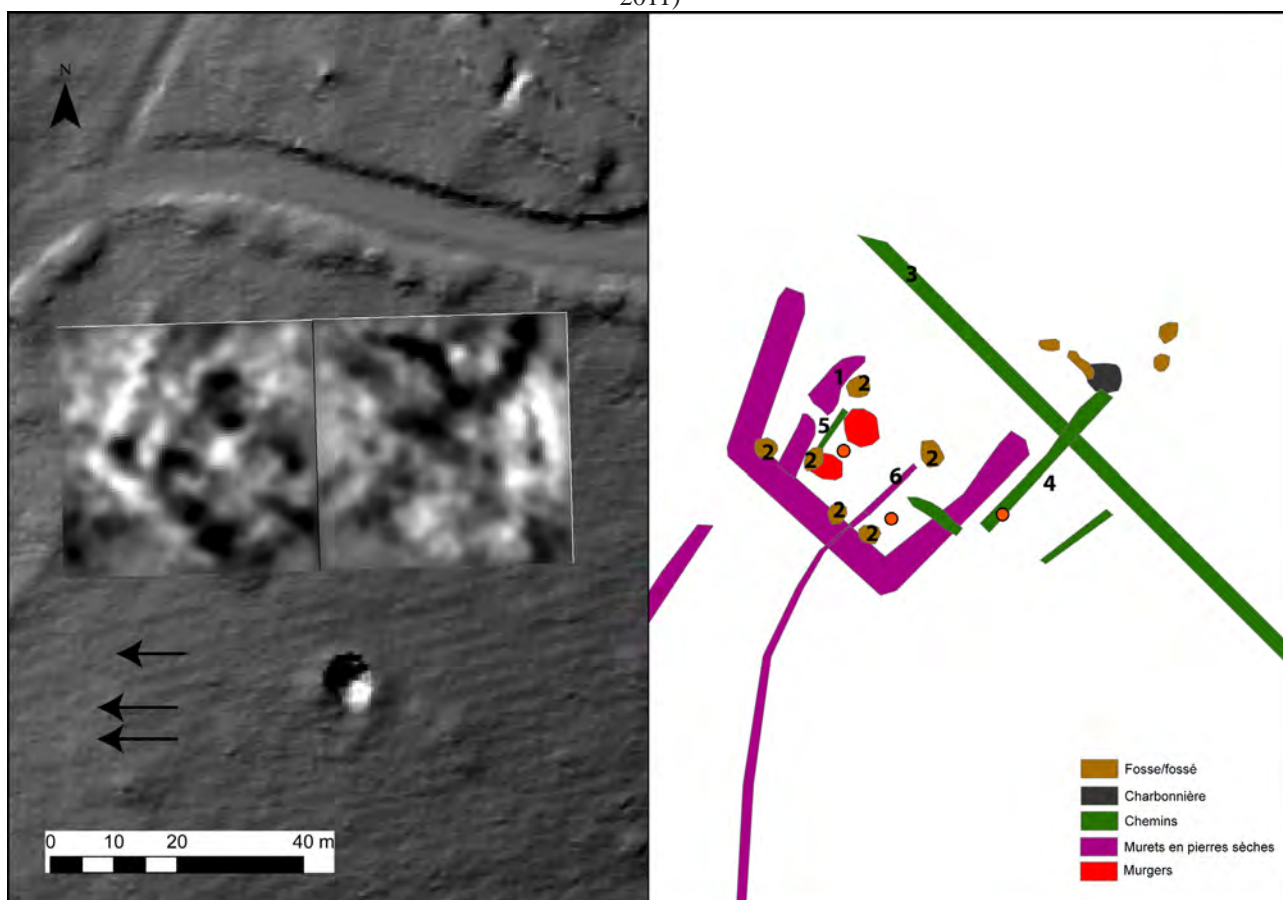


Figure 84. Besançon (Doubs). Prospection magnétique de l'enclos n° 2 et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

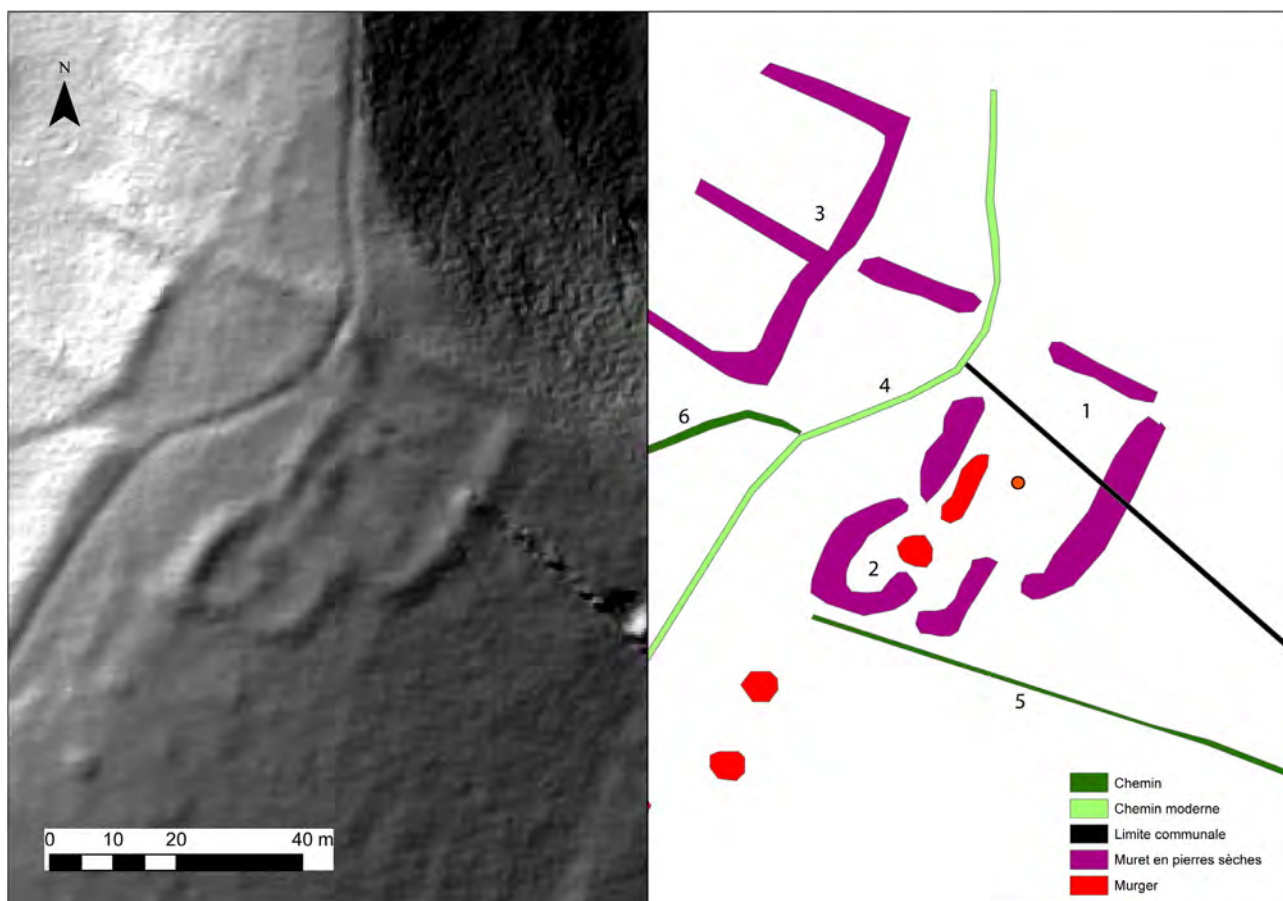


Figure 85. Besançon (Doubs). Prospection magnétique de l'enclos n°3 et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

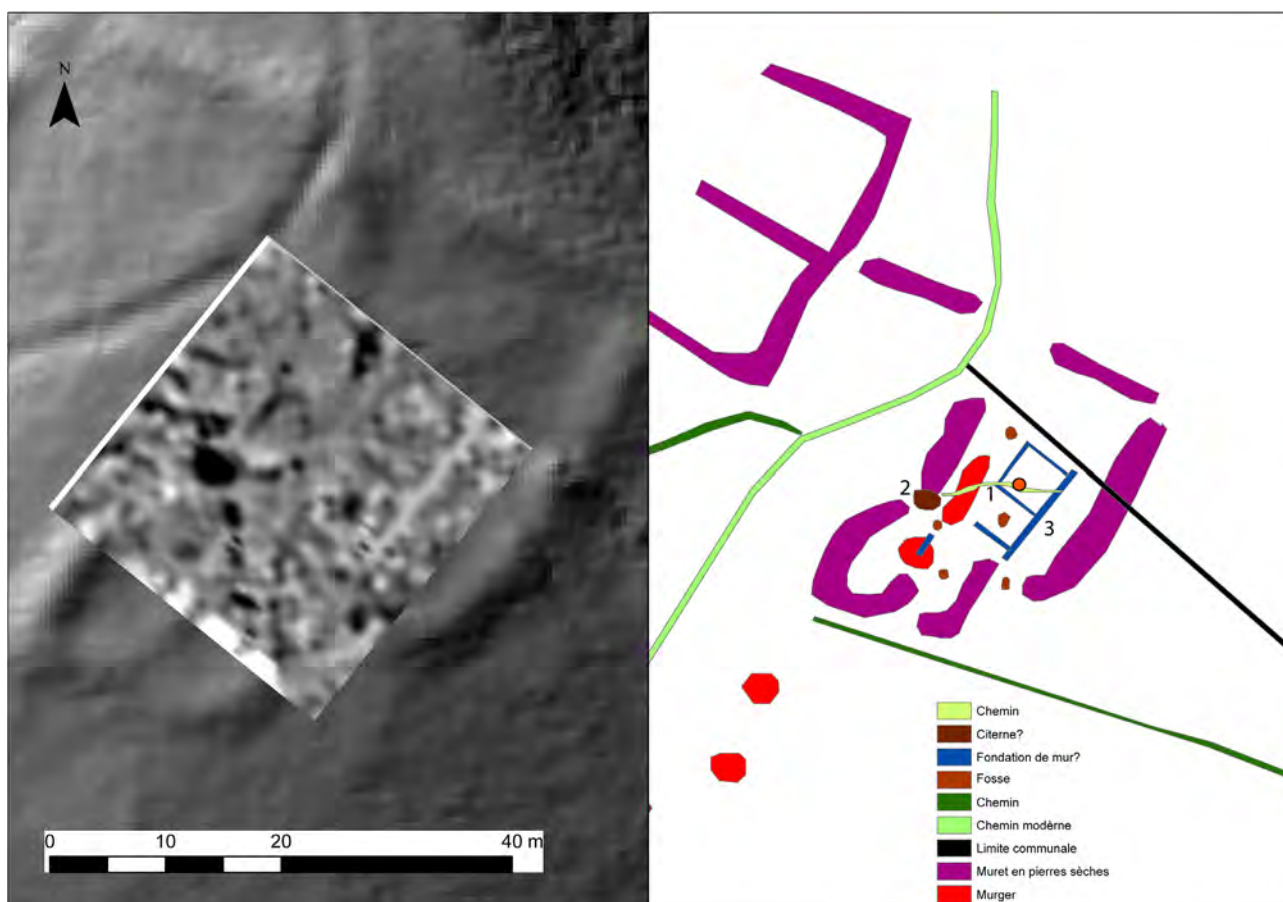


Figure 86. Besançon (Doubs). Prospection magnétique de l'enclos n°3 et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

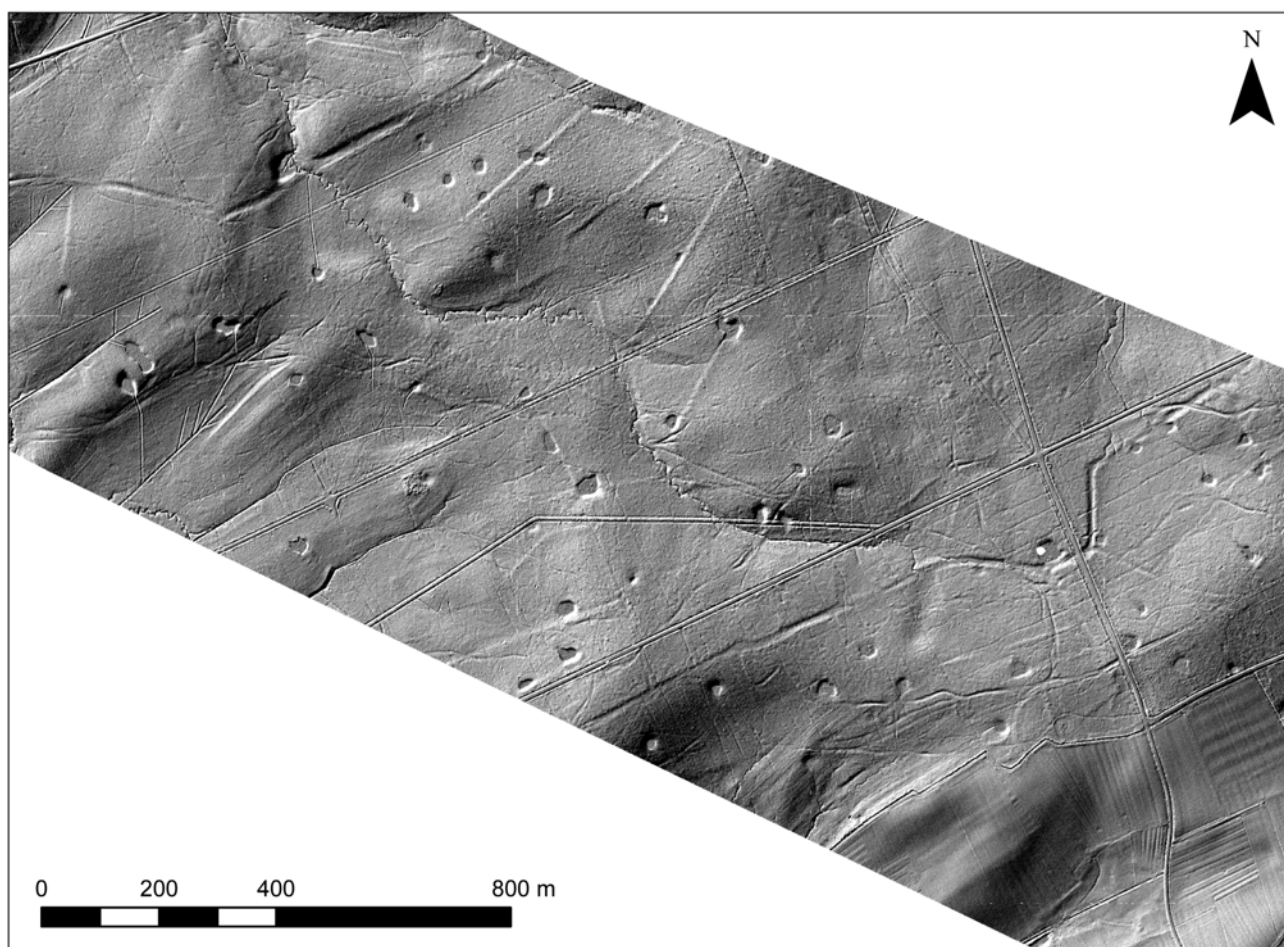


Figure 87. Prospection LIDAR du Plateau Lorrain. Modèle ombré du terrain révélant la densité de « mardelles »  
(Source INRA Nancy, C. Laplaige, 2011)

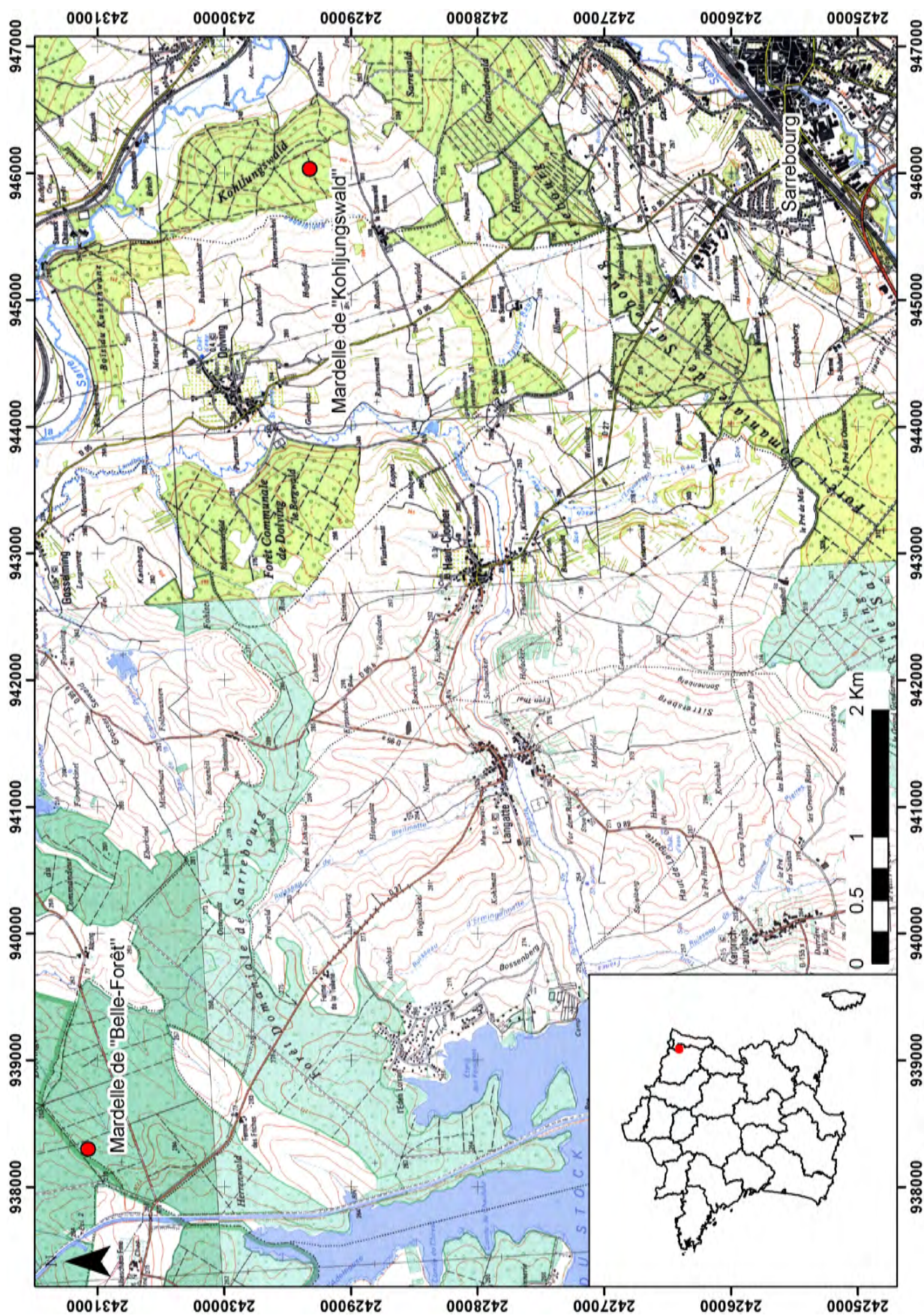


Figure 88. Localisation des « mardelles » de « Belle Forêt » (Bisping, Moselle) et de Kohljüngswald » (Dolving, Moselle). (C. Laplaige, 2011)

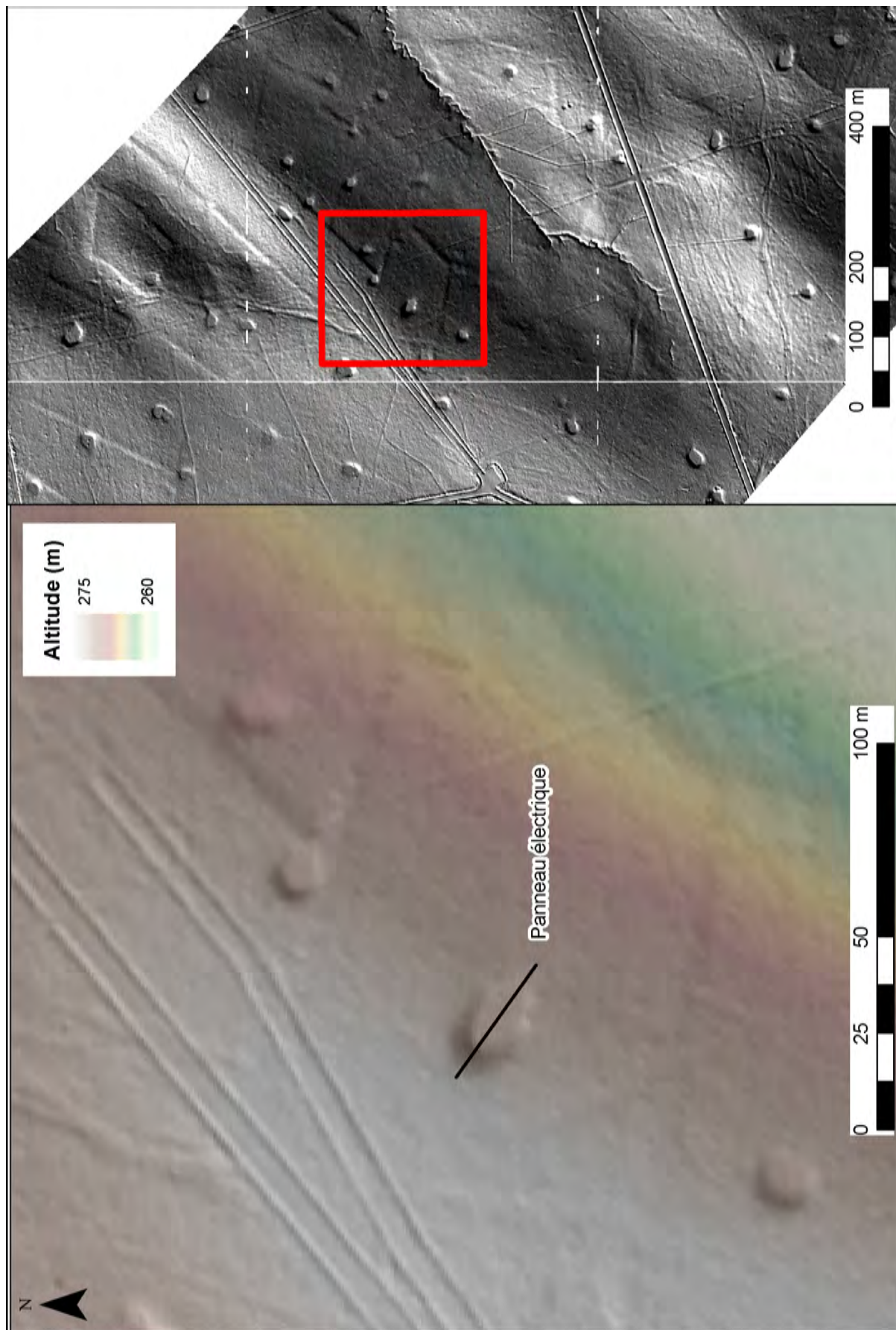


Figure 89. Bisping (Moselle). Contexte morphologique de la « mardelle » de « Belle-Forêt » et localisation du panneau électrique (C. Laplaige, 2011)

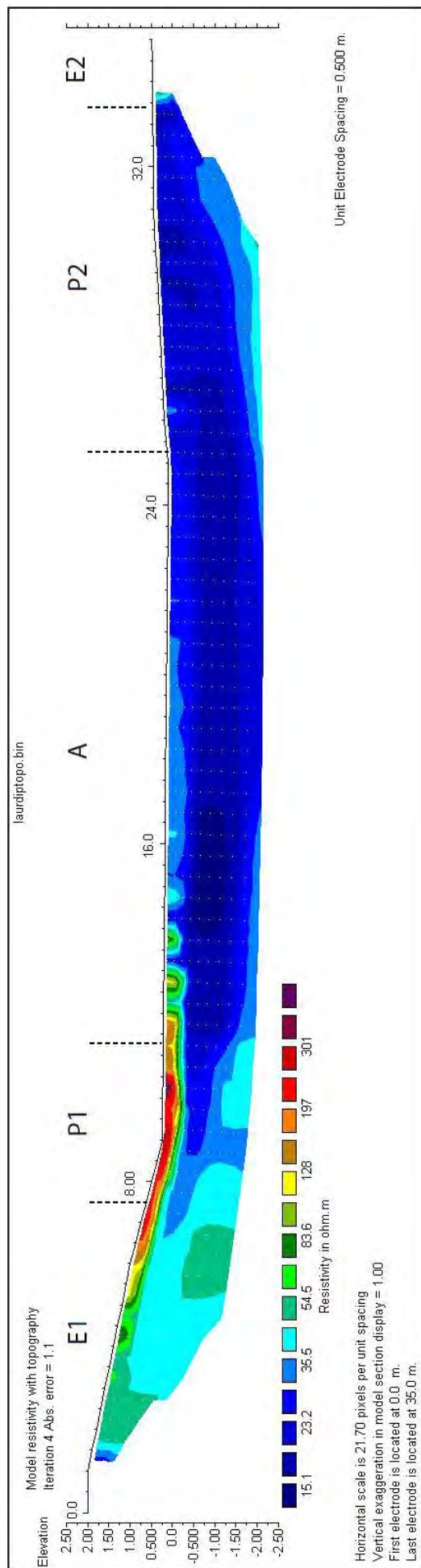


Figure 90. Bisping (Moselle). Tomographie électrique. Résultat de la modélisation du remplissage (C. Laplaige, 2011)

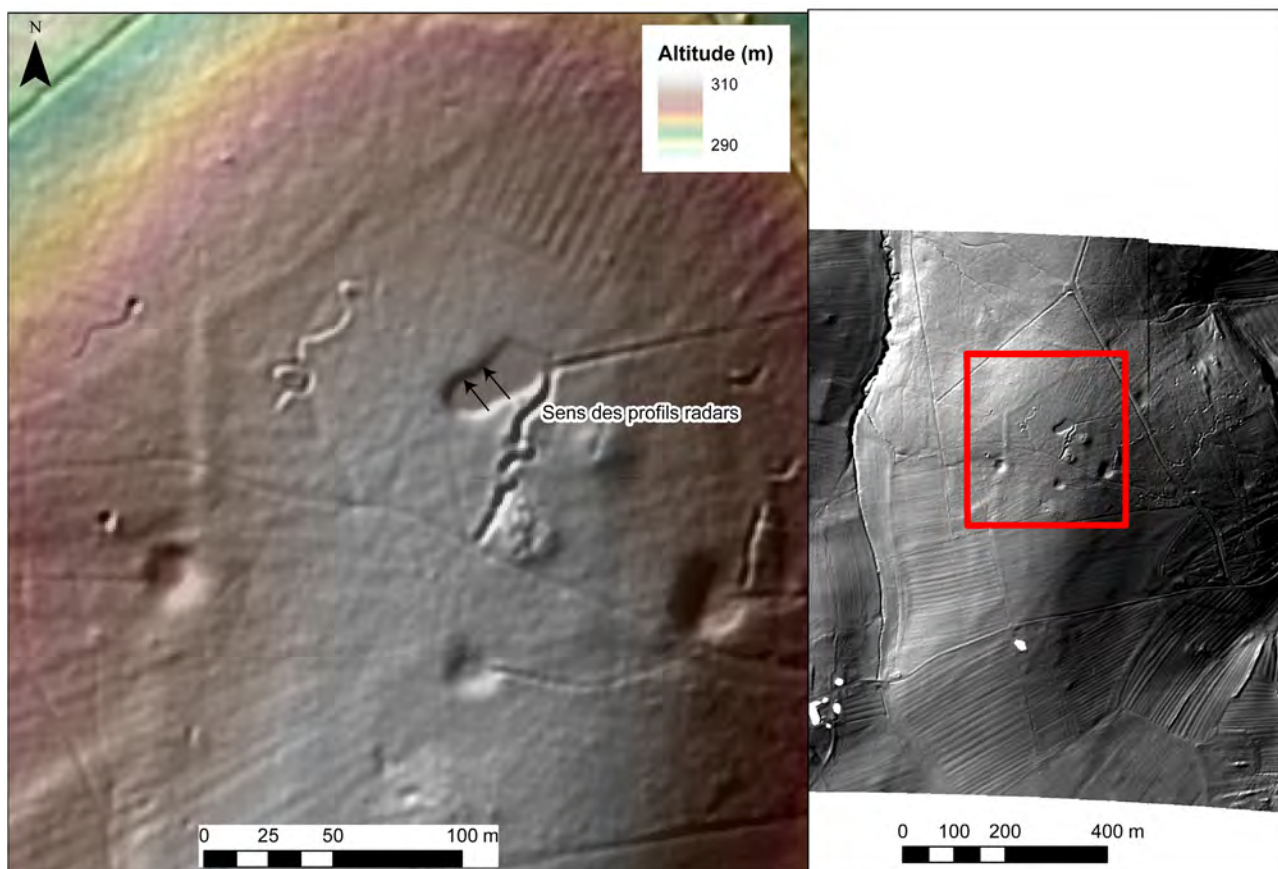


Figure 91. Dolving (Moselle). Contexte morphologique de la « mardelle » de « Kohljungswald » et localisation de la prospection radar-sol (C. Laplaige, 2011)

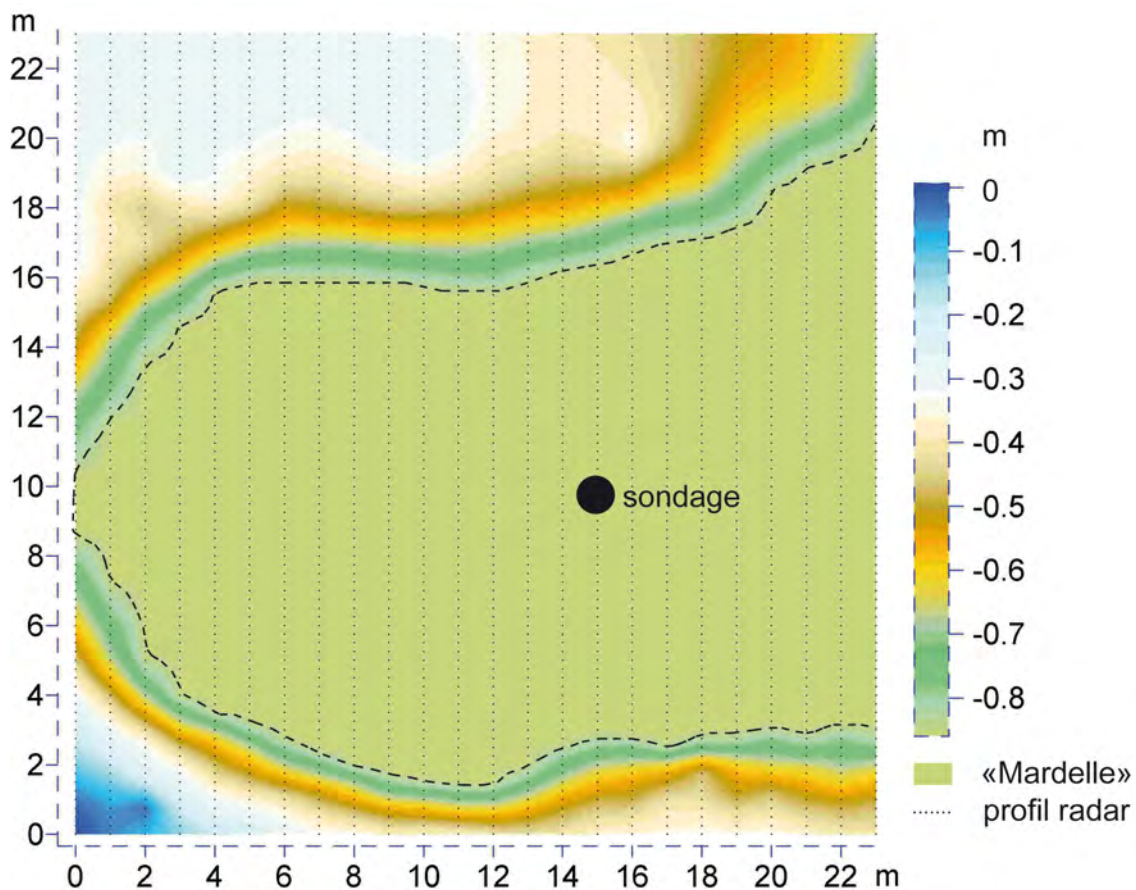


Figure 92. Dolving (Moselle). Modèle numérique de terrain de la mardelle de Kohljungswald. Localisation des profils radar et du sondage carotté (C. Laplaige, 2011)



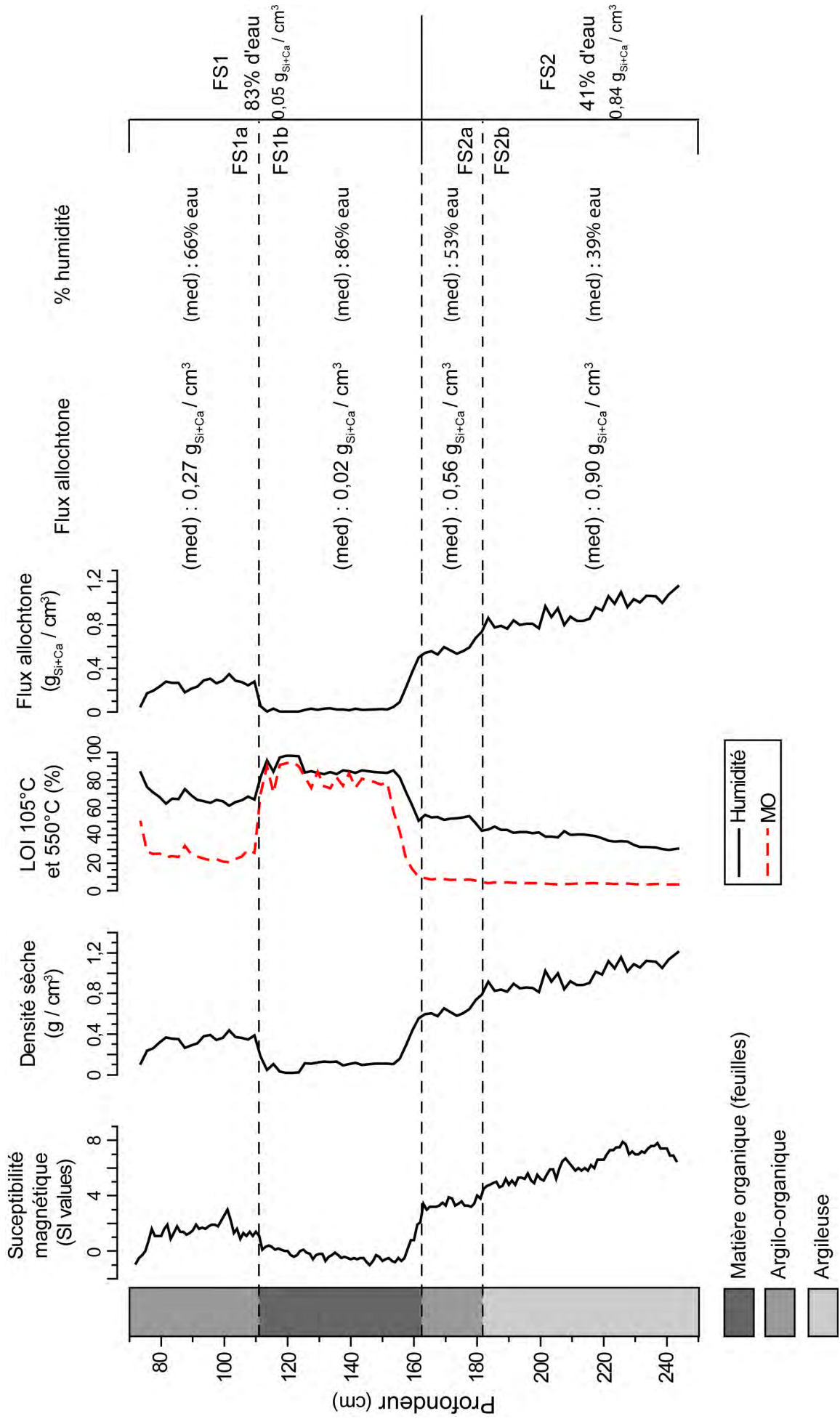


Figure 93. Dolving (Moselle). Diagramme de la susceptibilité magnétique, de la perte au feu et lithofaciès du sondage de Kohlungrswald (C. Laplaige, D. Etienne, 2011)

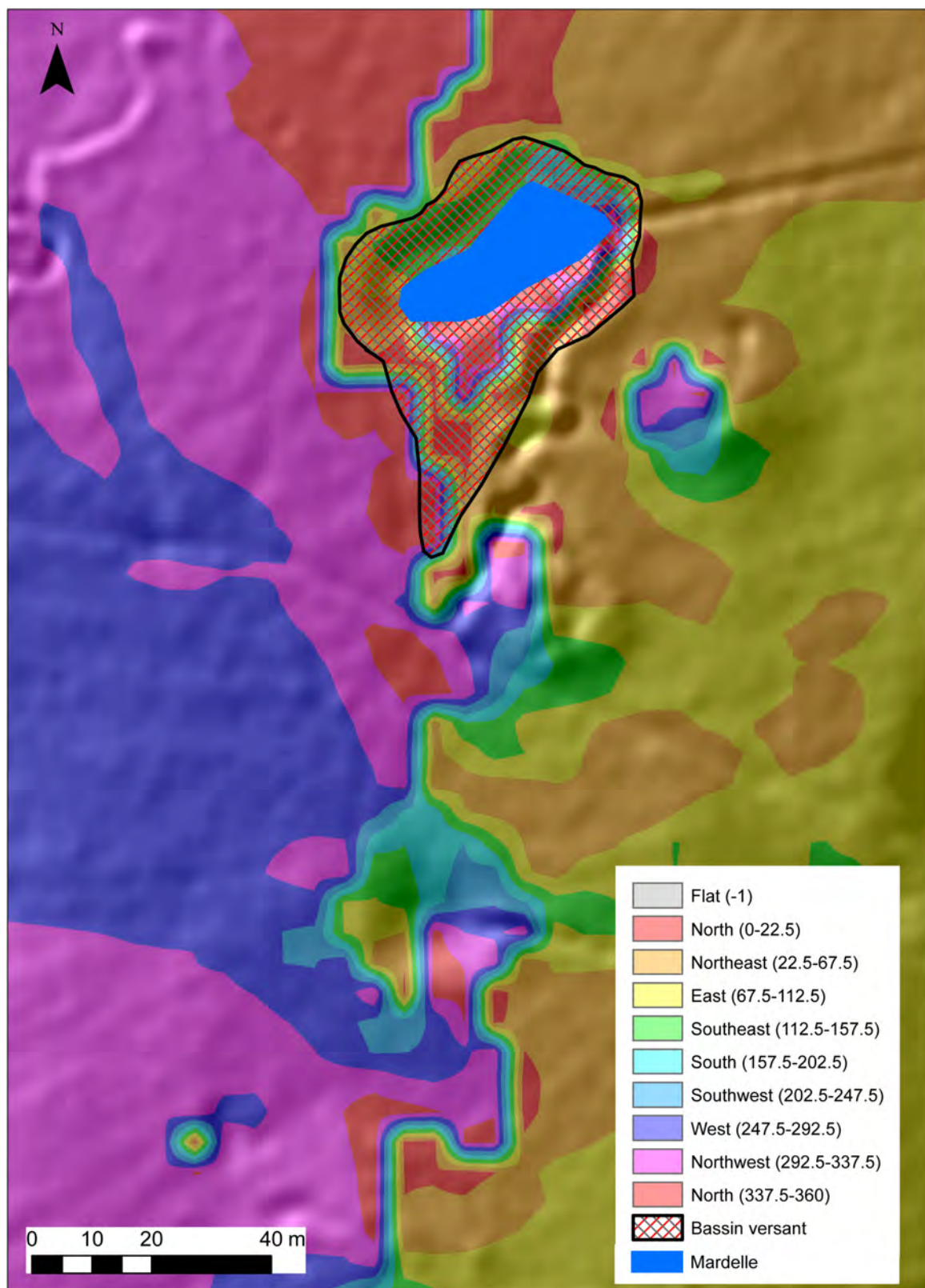


Figure 94. Dolving (Moselle). Délimitation du bassin versant de la mardelle de « Kohljungswald » à partir des orientations de pente (fonction Aspec) et du modèle altimétrique de terrain.

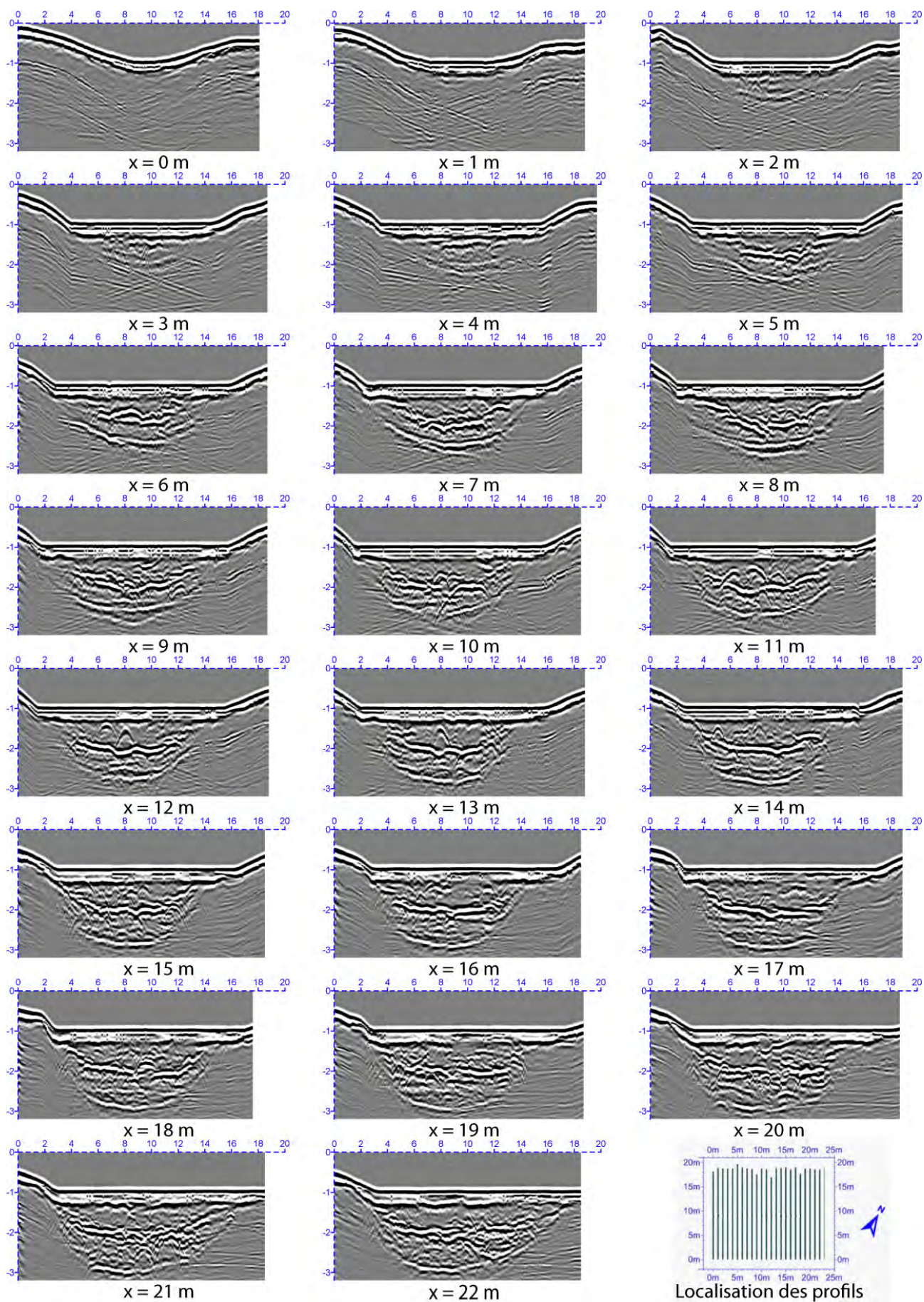


Figure 95a. Dolving (Moselle). Coupes profondeur (Depth slice) des 23 profils radar (C. Laplaige, G. Bossuet, C. Camerlynck, D. Etienne, J.-P. Simonnet, 2011)

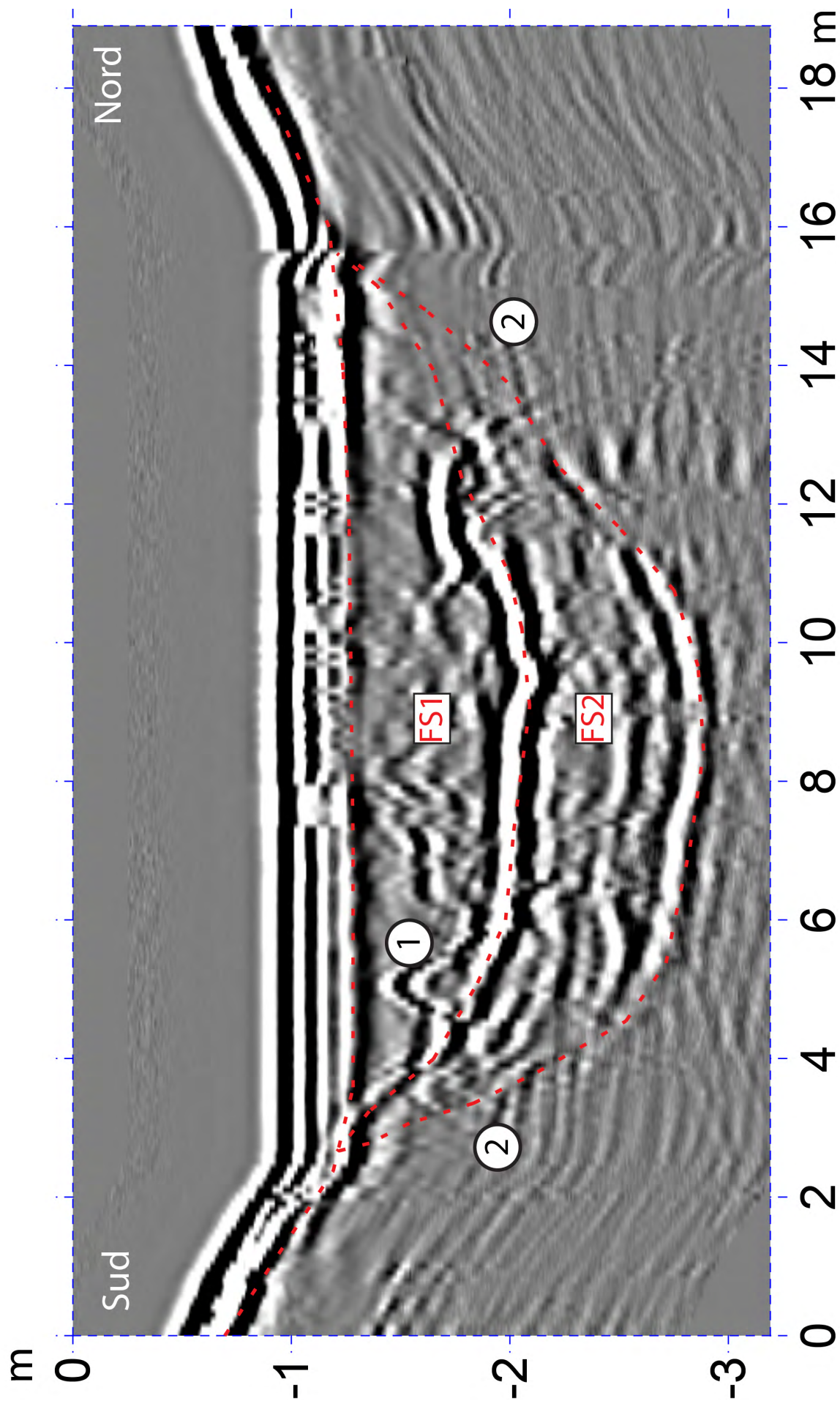


Figure 95b. Dolving (Moselle). Coupe profondeure (Depth slice) du profil radar n°16. Pointage des réflecteurs correspondant aux interfaces entre faciès sédimentaires (C. Laplaige, 2011)

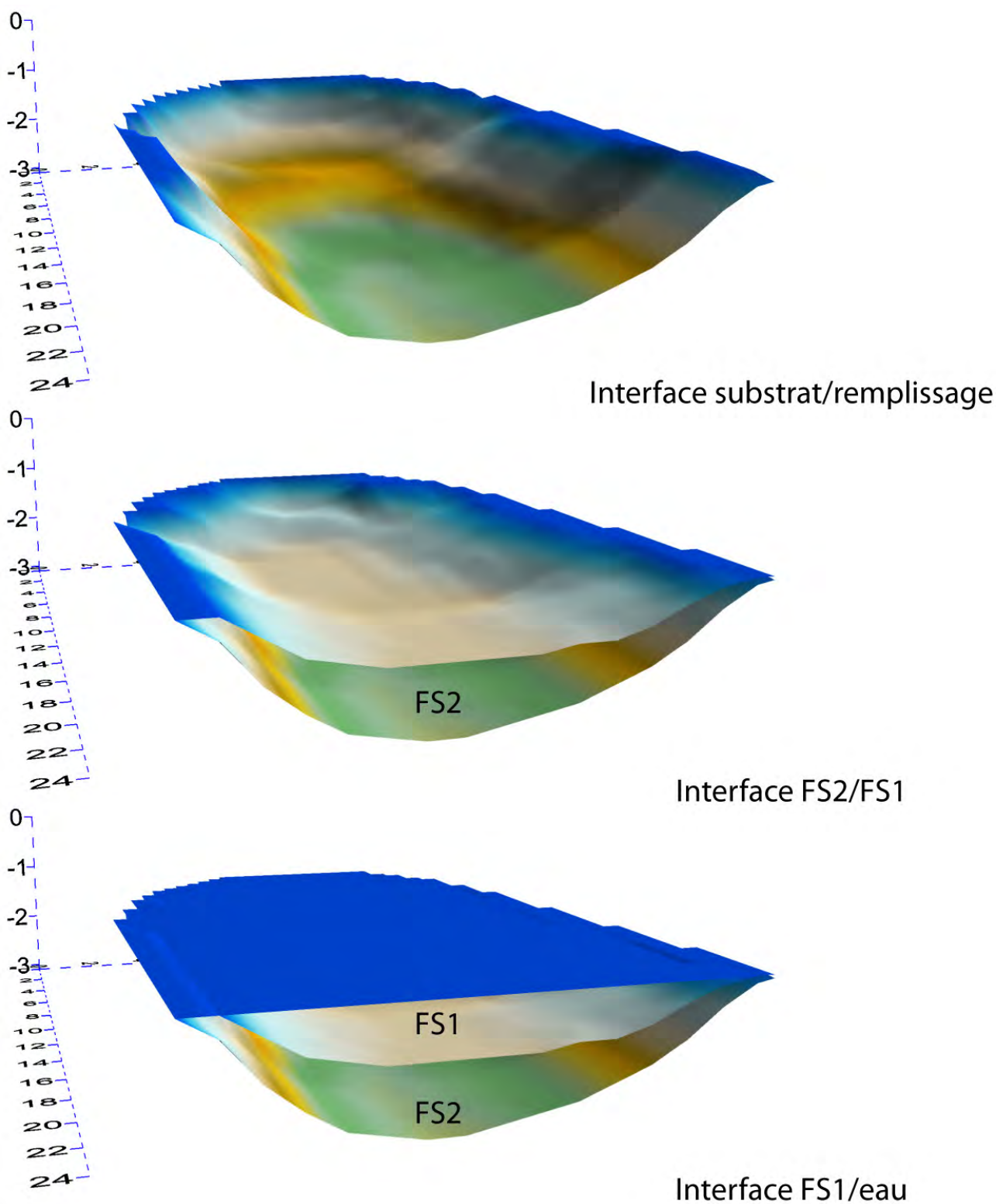


Figure 96. Dolving (Moselle). Reconstitution tri dimensionnelle de la géométrie du remplissage de la mardelle de « Kohljungswald » à partir des 21 profils de la prospection radar-sol (C. Laplaige, 2011)

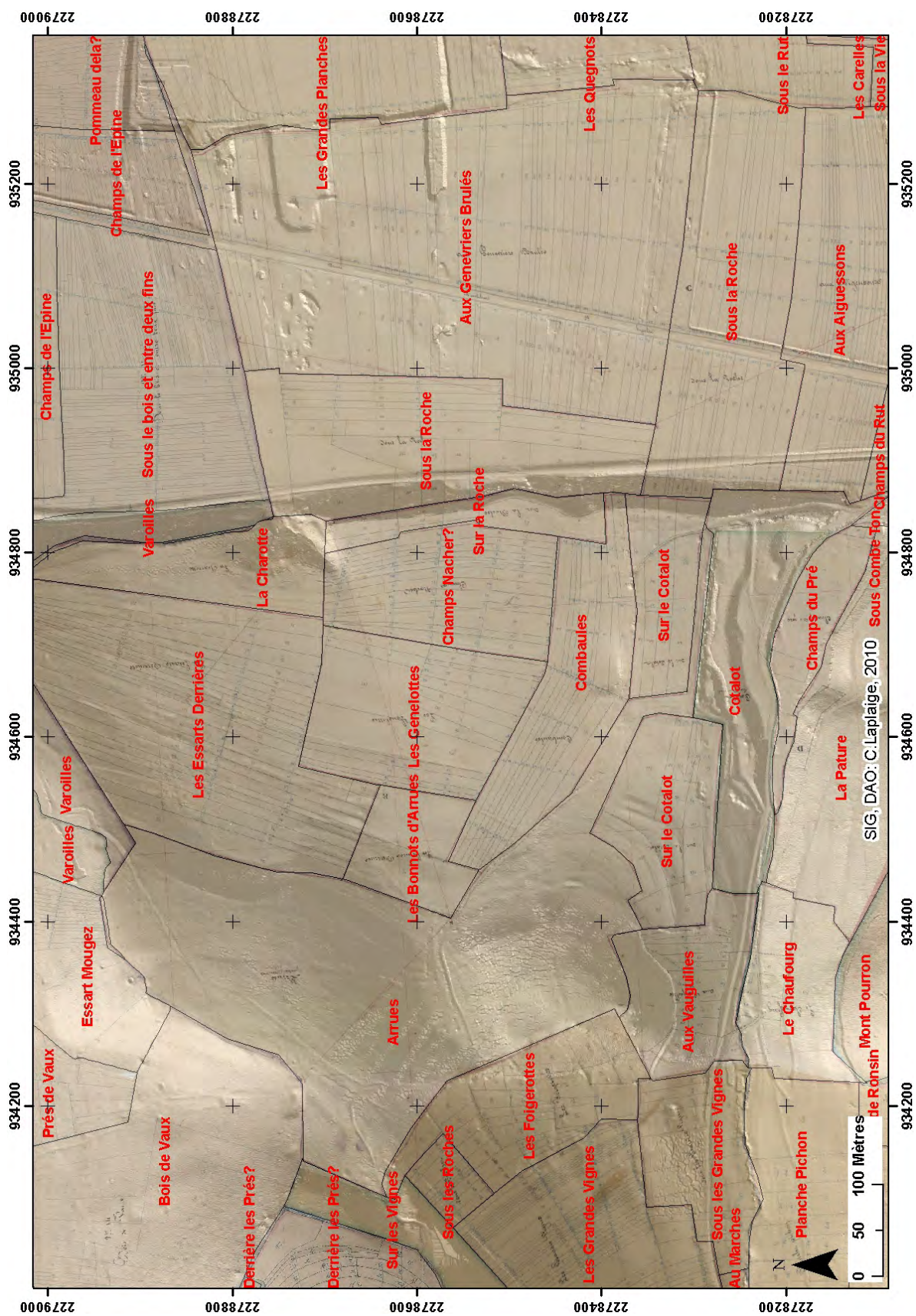


Figure97. Bourgignon (Doubs), Modèle de relief ombré de la prospection LiDAR de 2009 drapé sur l'assemblage des feuilles du plan cadastral napoléonien de 1836 (C. Lapaige, G. Bossuet, 2010)

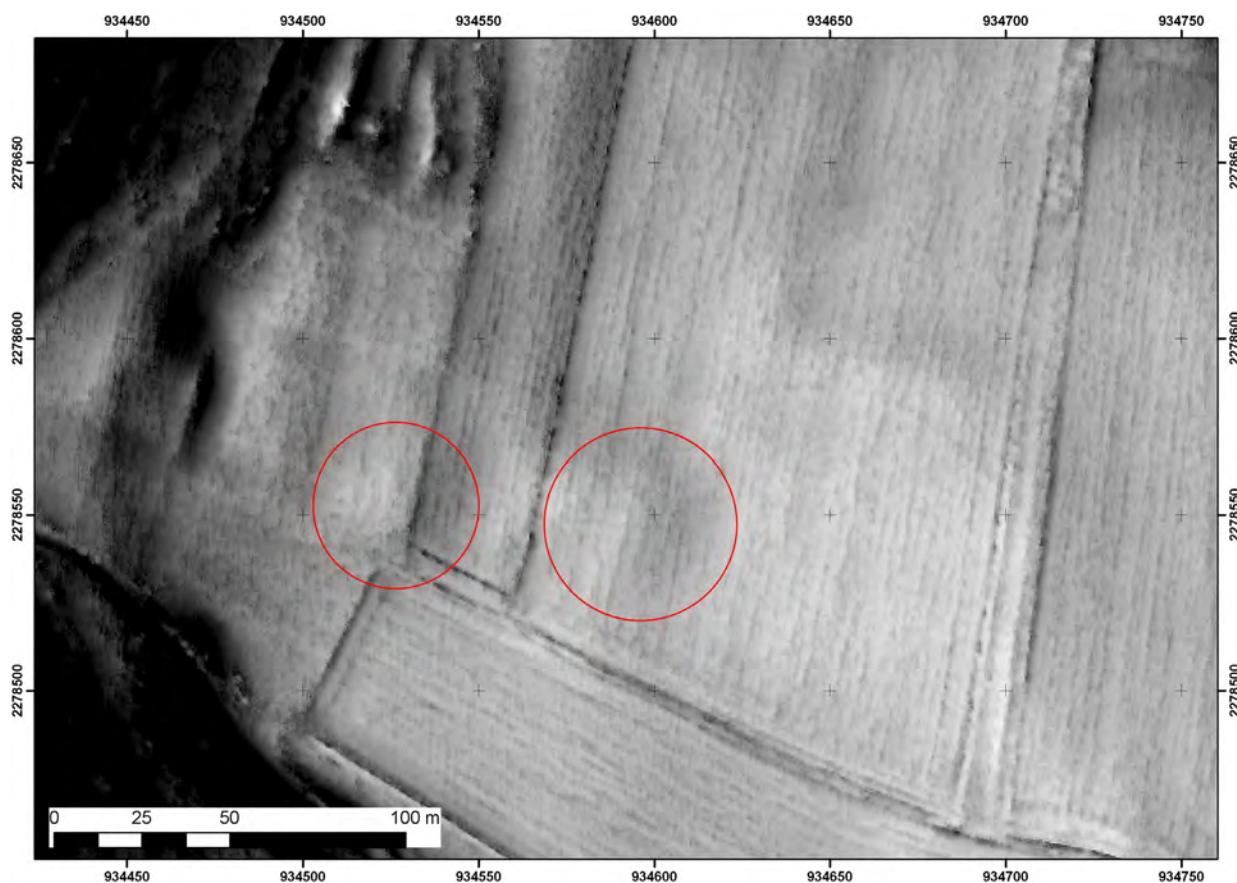


Figure 98. Bourguignon (Doubs), Modèle de relief ombré de la prospection LiDAR 2009. Les cercles rouges localisent les anomalies topographiques correspondant aux concentrations de matériaux archéologiques. (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

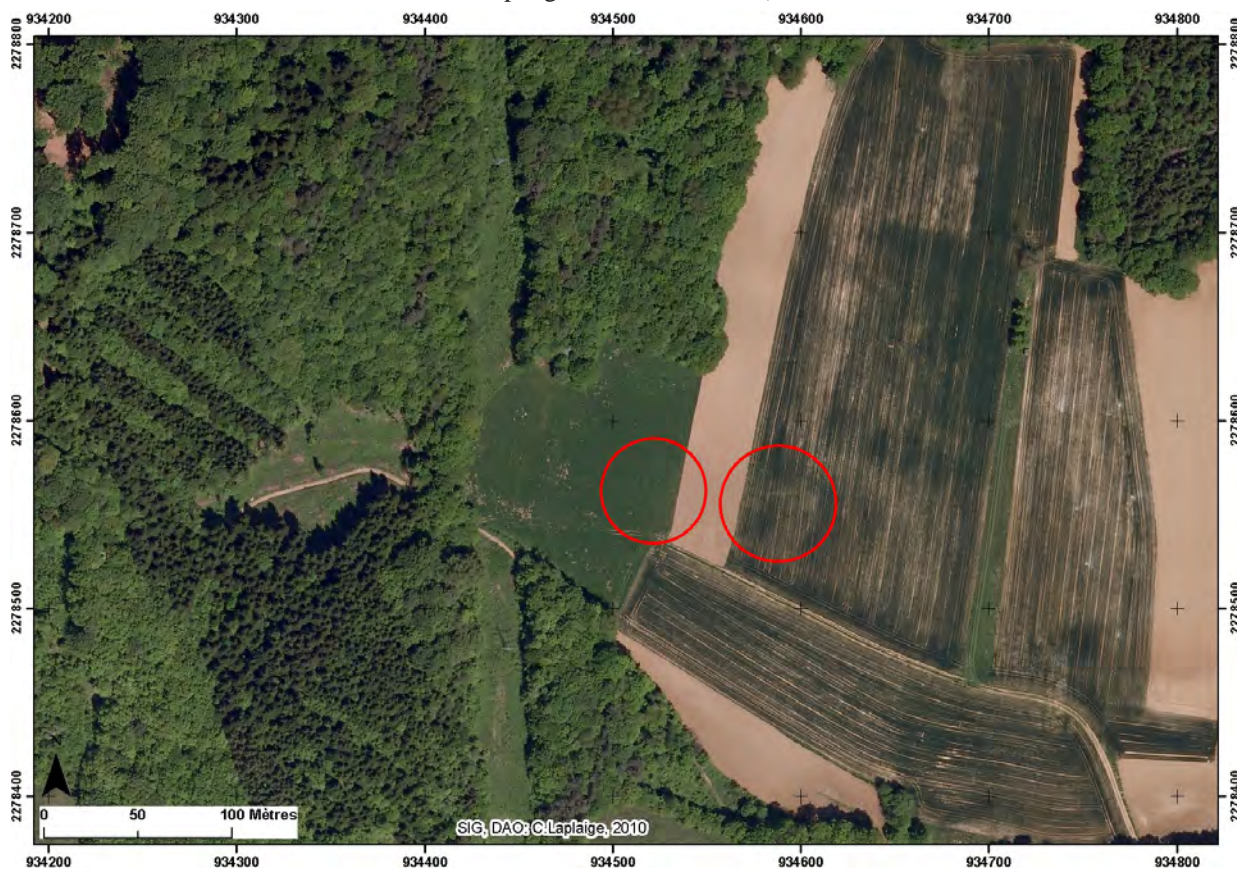


Figure 99. Bourguignon (Doubs), Orthophotographie de 2009 (C. Laplaige, 2010). Les cercles rouges localisent l'emplacement des concentrations de matériaux archéologiques à la surface du sol

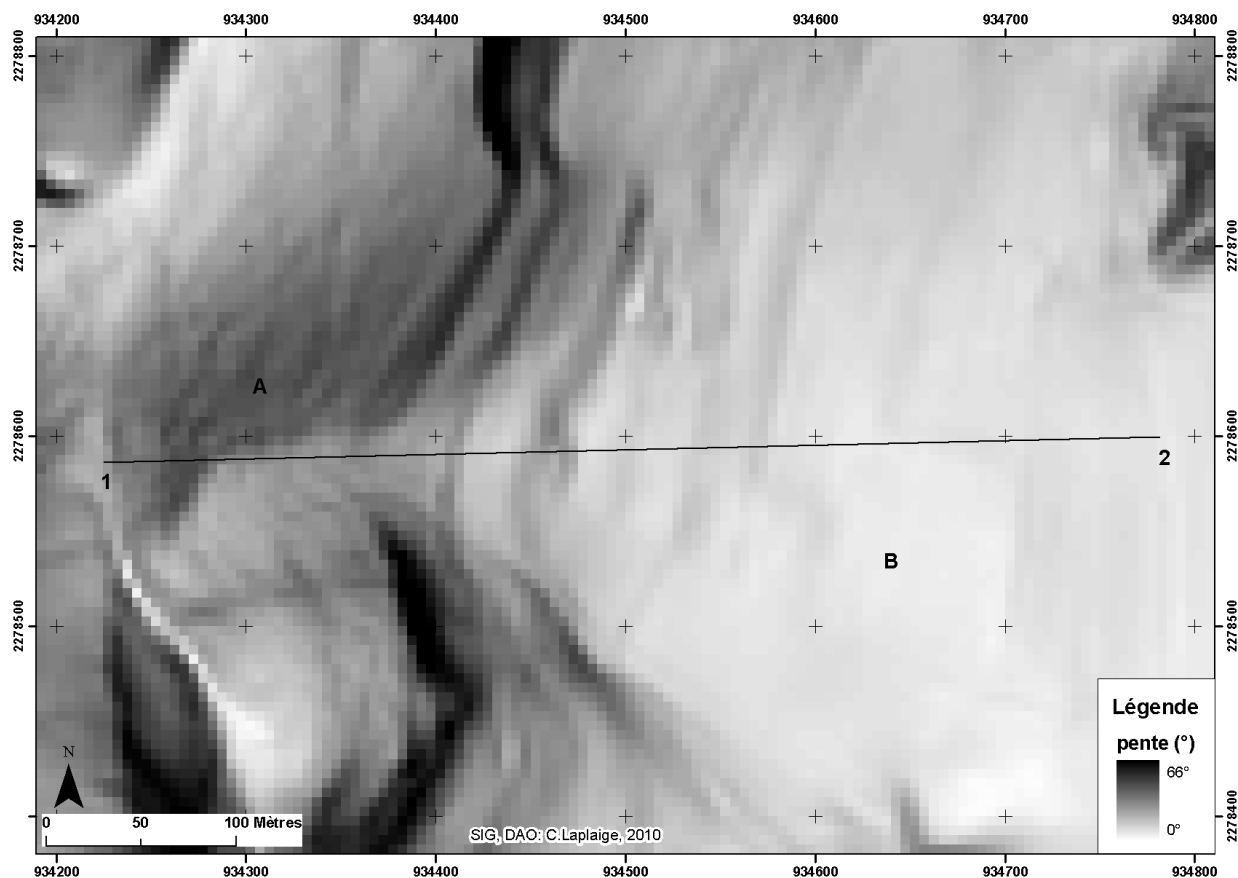


Figure 100. Bourguignon (Doubs). Site antique des « Bonnots d'Arrues ». Carte des pentes et axe du profil topographique (1-2) (C. Laplaige, 2010)

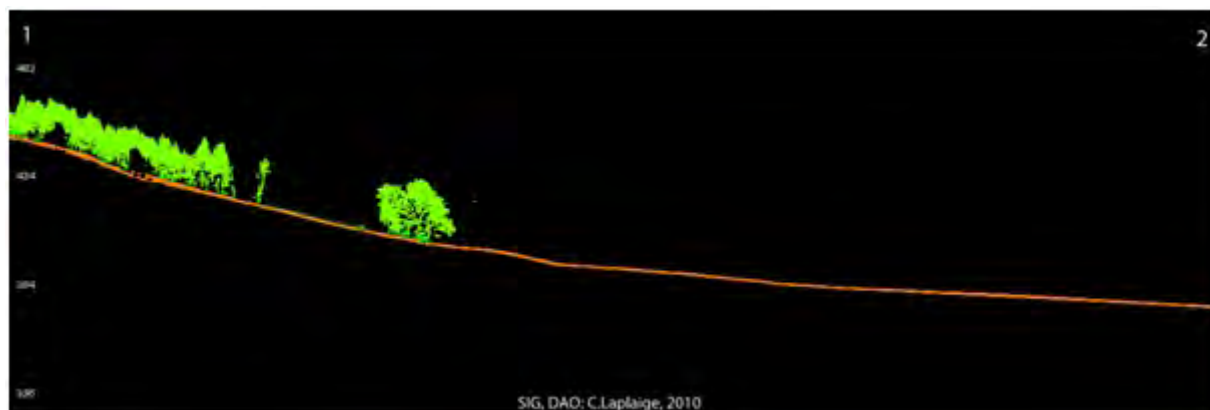


Figure 101. Bourguignon (Doubs). Profil topographique de direction Ouest-Est entre les points 1 et 2 de la carte des pentes (fig. 100) (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)



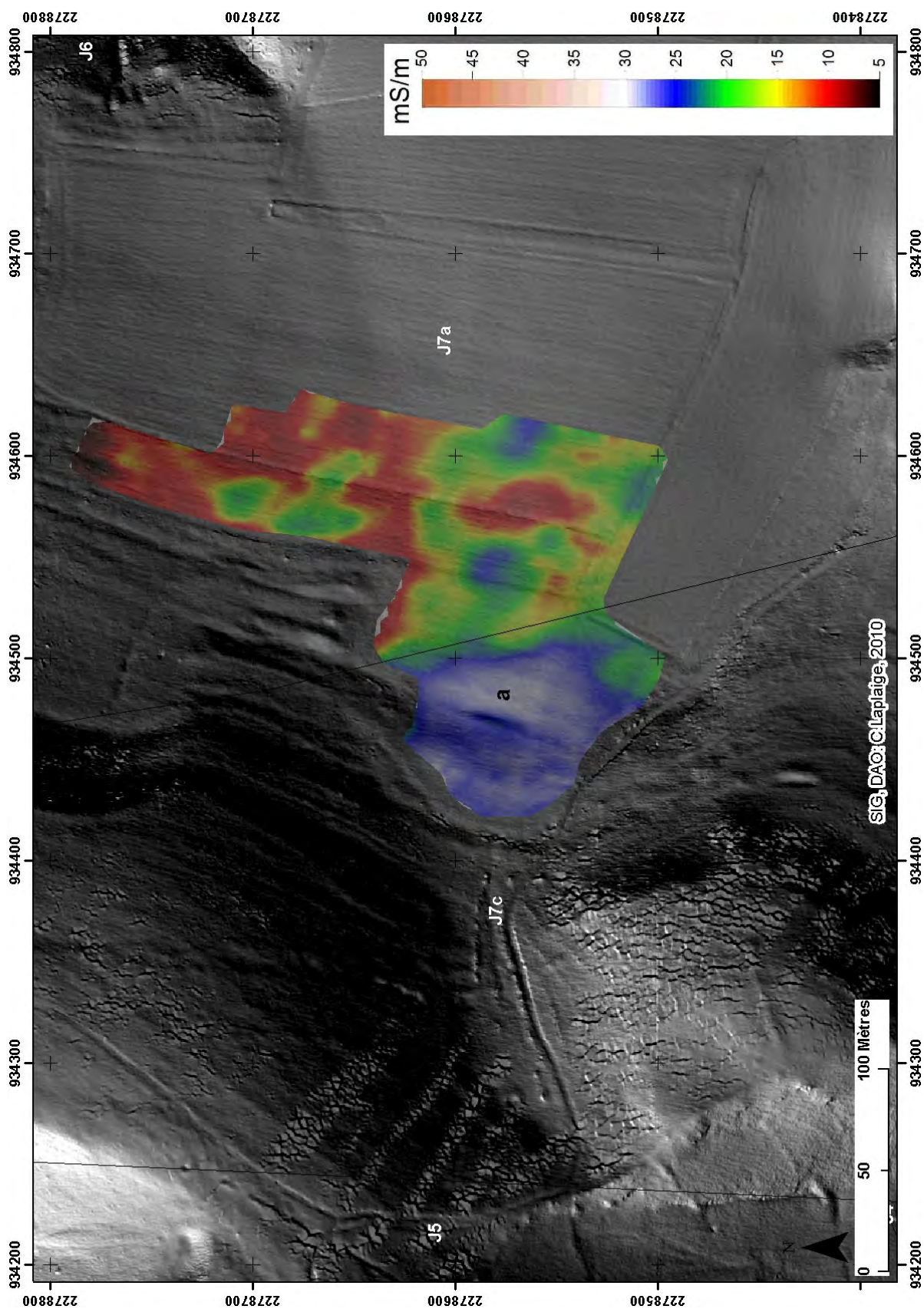


Figure 102. Bourguignon (Doubs). Carte de conductivité électrique drapée sur le modèle de relief ombré de la prospection LiDAR 2009 avec la localisation des formations géologiques, en blanc (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

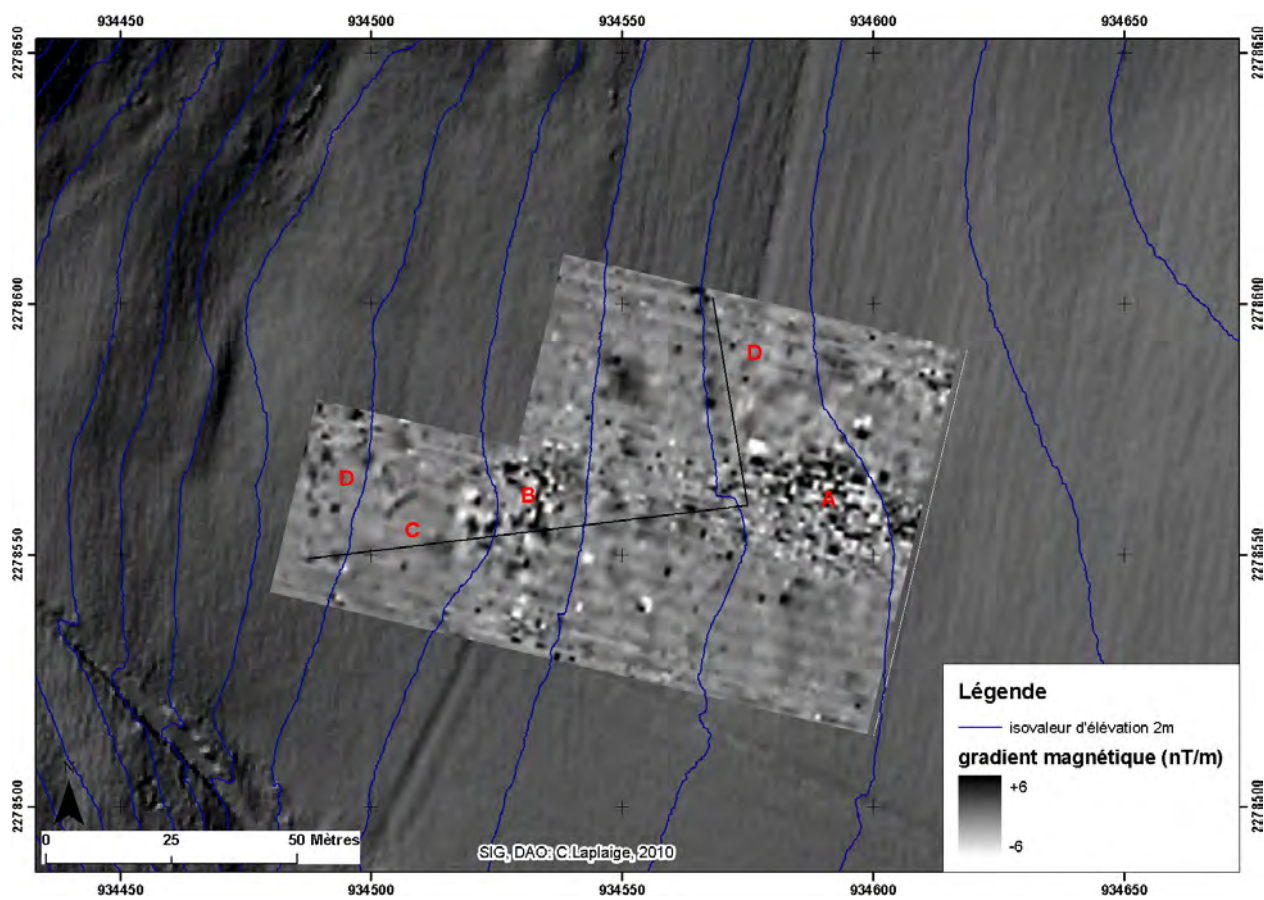


Figure 103. Bourguignon (Doubs). Carte du gradient vertical (-6/+6nt/m) drapée sur le modèle ombré du terrain 315\_45 et les courbes d'altitude (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

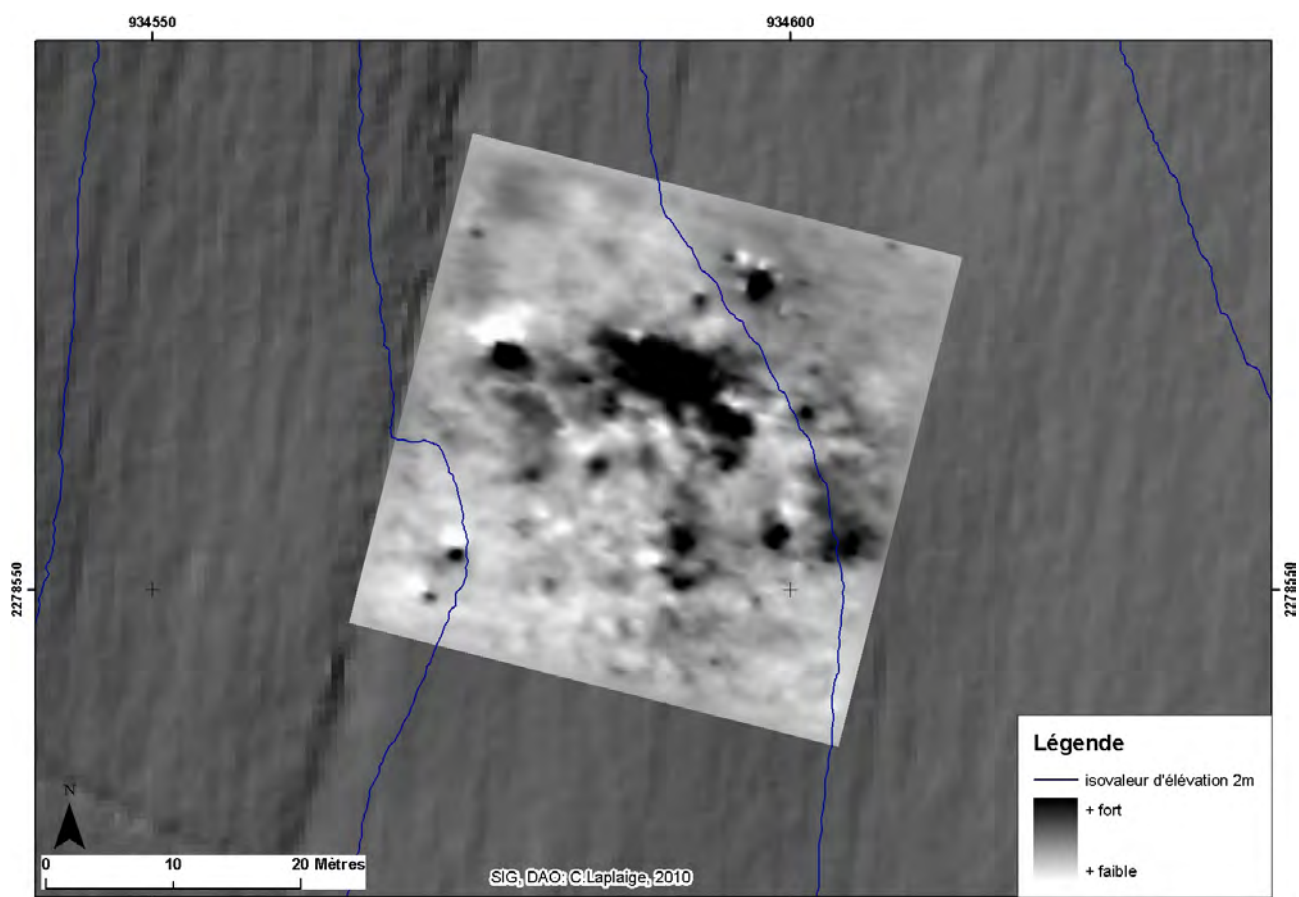


Figure 104a. Bourguignon (Doubs). Champ magnétique total simulé (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

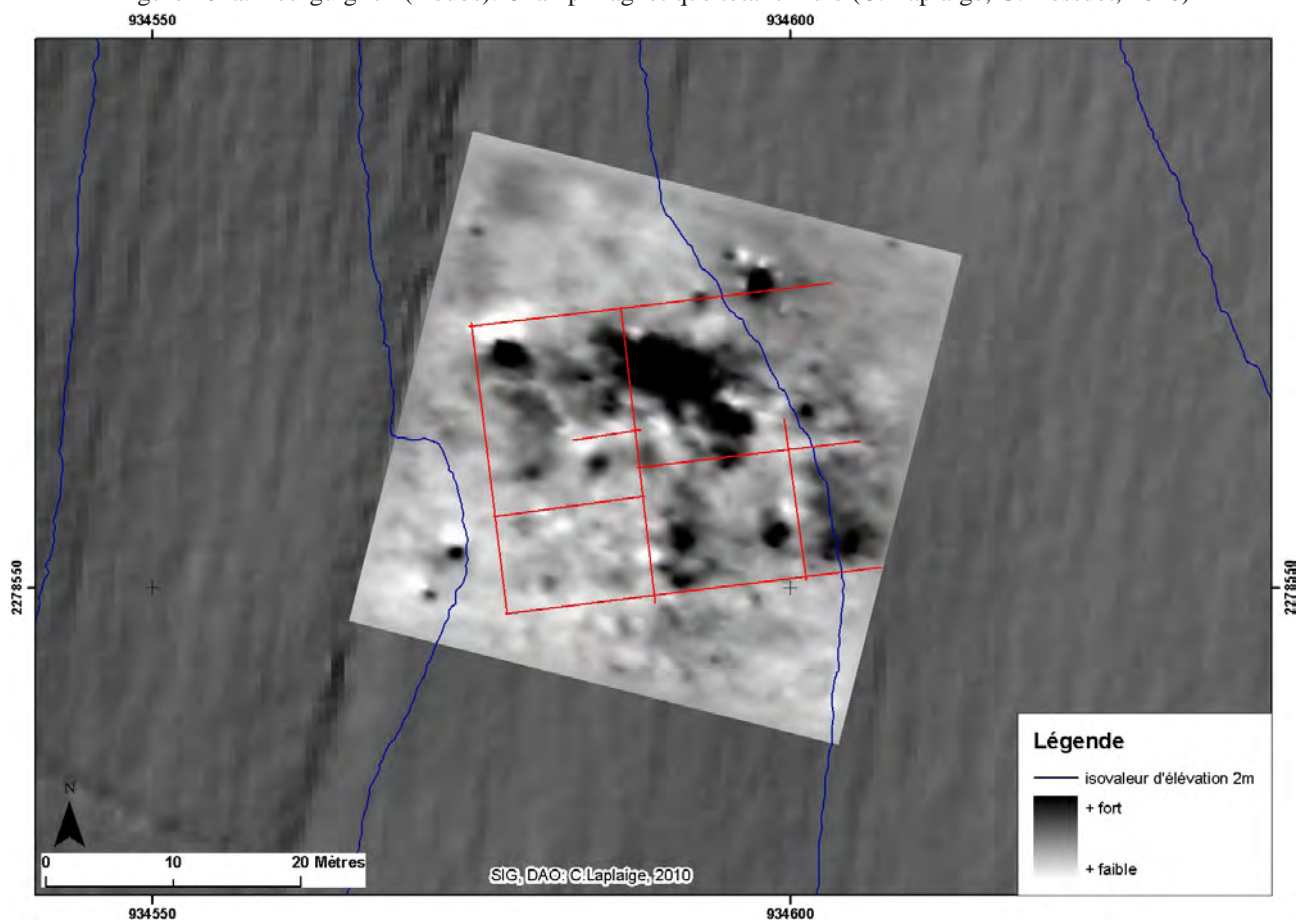


Figure 104b. Bourguignon (Doubs). Schéma d'interprétation de la carte du champ magnétique total simulé (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

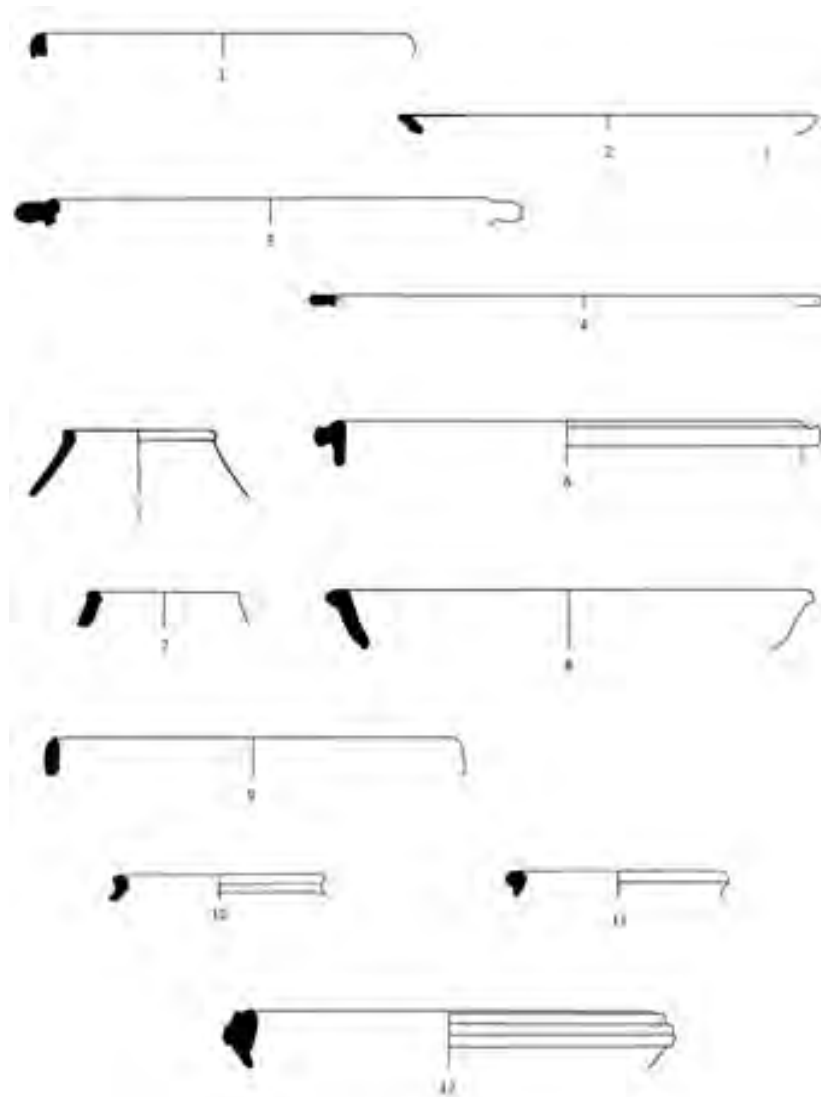


Figure 105. Bourguignon (Doubs). Profils des formes céramiques recueillies sur le site des « Bonnots d'Arrues » (M. Lucaselli, 2010)

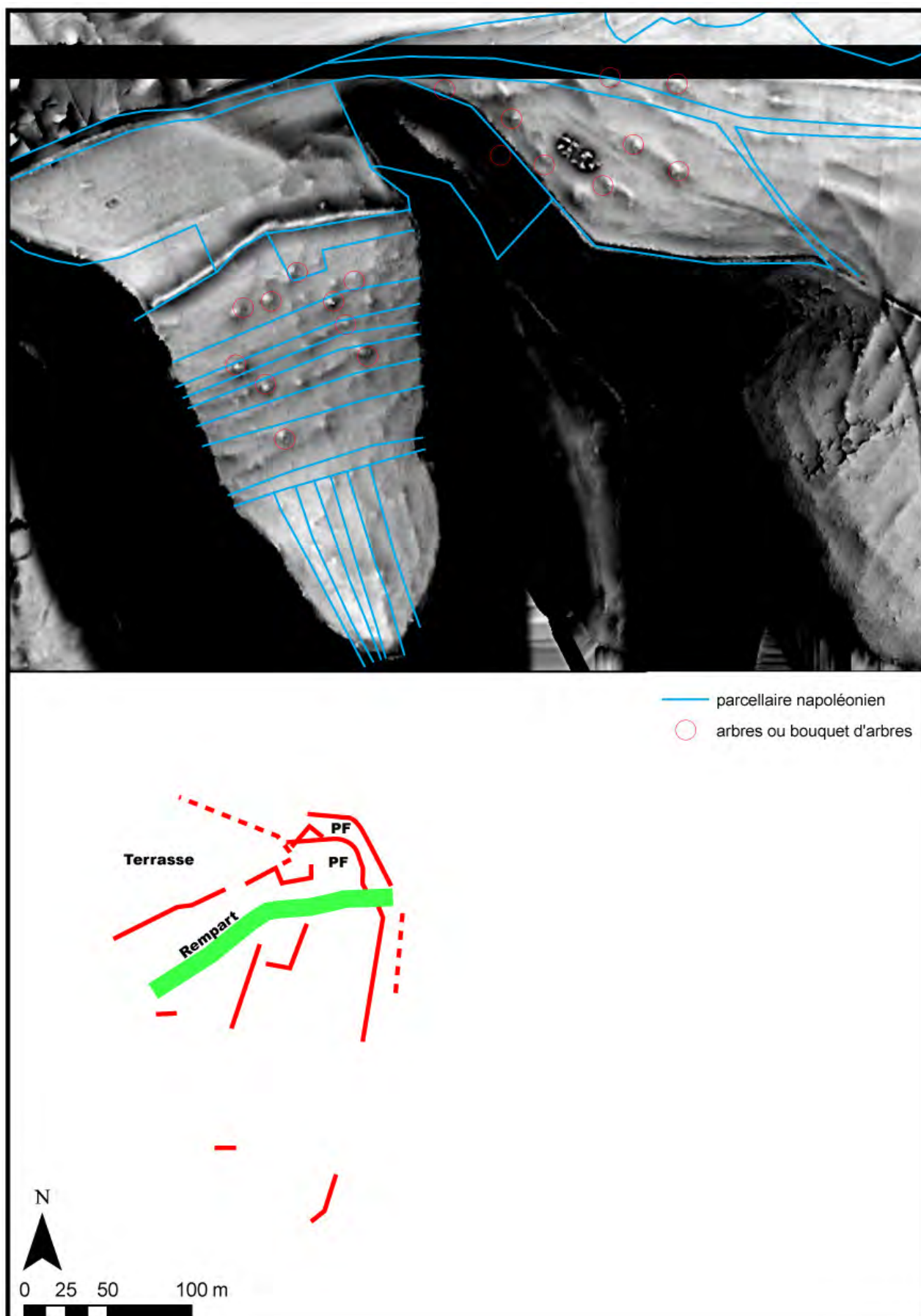


Figure 106. Roches-lès-Blamont (Doubs). Représentation « Sky-View-Factor » de l'éperon barré de « Châtillon » et schéma d'interprétation des anomalies (Traitement : C. Laplaige. Interprétation : C. Laplaige, G. Bossuet 2011)

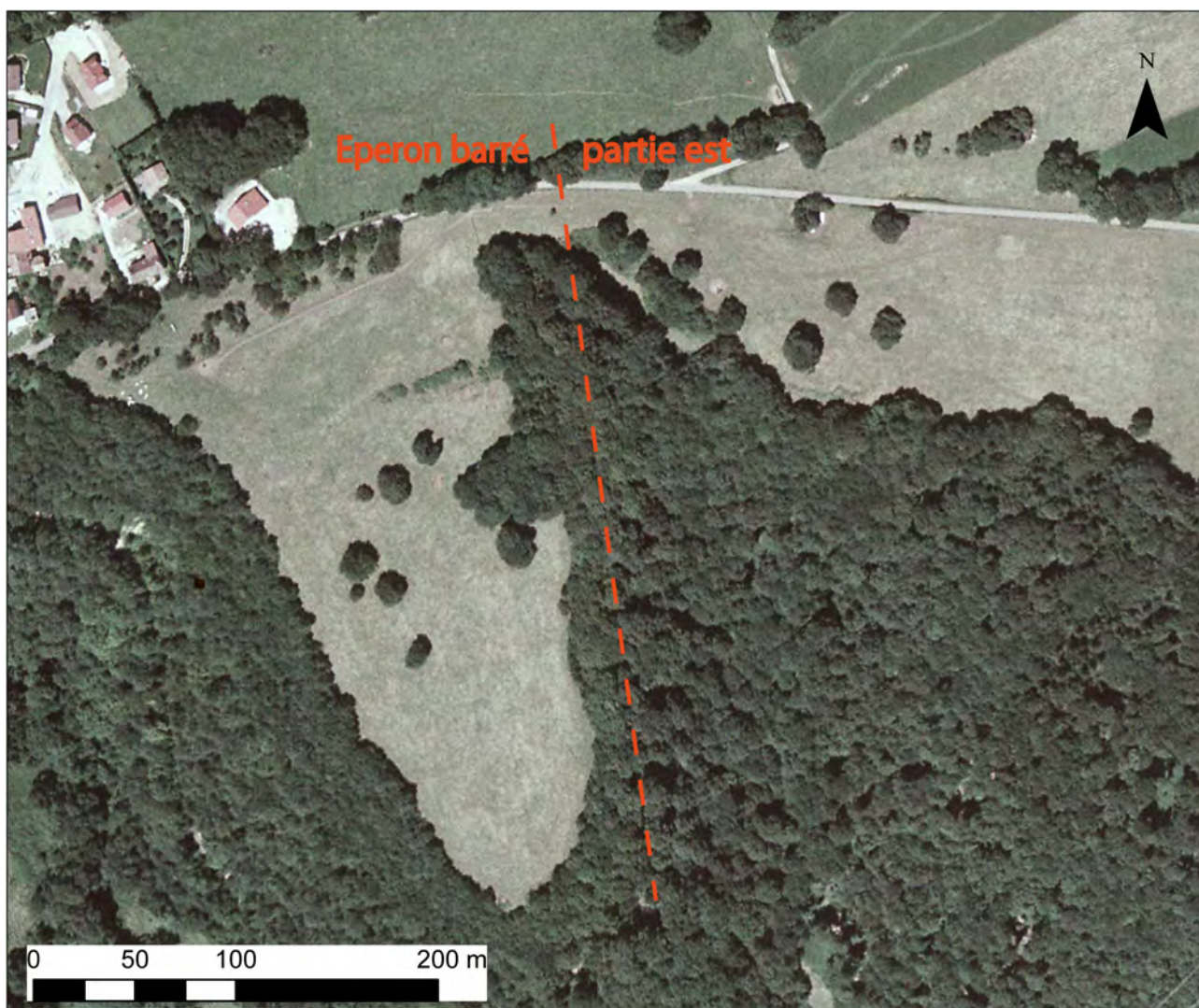


Figure 107. Roches-lès-Blamont (Doubs). Orthophotographie 2004 de l'éperon barré de « Châtillon » (C. Laplaige, 2011)

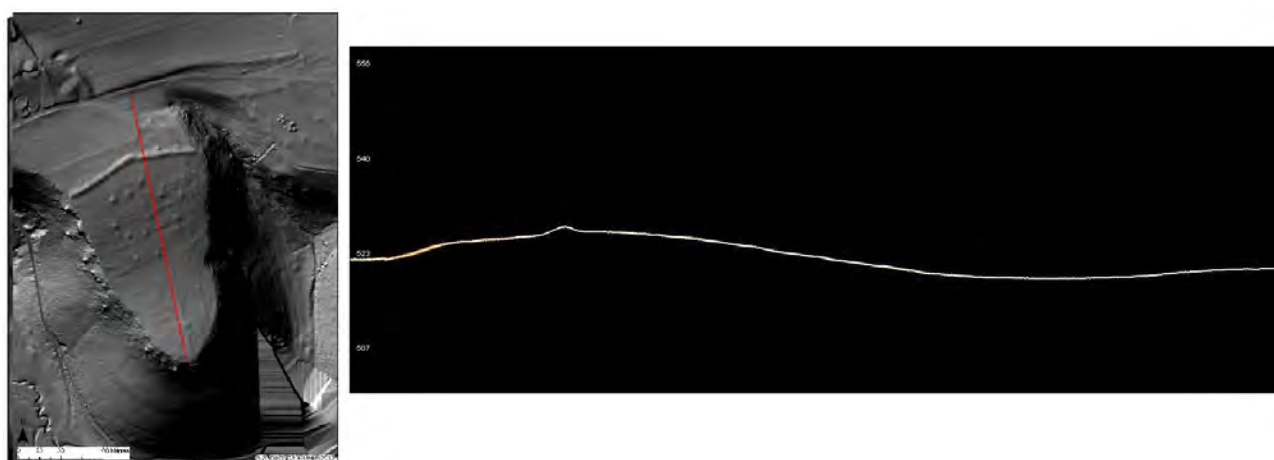


Figure 108. Roches-lès-Blamont (Doubs). Profil topographique de l'éperon selon une direction nord-sud. (C. Laplaige, G. Bossuet 2010).



*Vue de l'éperon barré depuis le Nord*



*Vue de l'éperon barré depuis l'extrémité Sud*



*Amas de pavés et de cailloux des anomalies tumulaires*



*Affleurement par plaques de la roche calcaire*



*Bouquets d'arbres coiffant les anomalies tumulaires*



*Vue de la levée du rempart depuis l'Est*



*Prolongement de la levée sur le flanc Est de l'éperon*



*Traces de structure défensive en bordure de l'escarpement Ouest*



*Vue depuis le Nord du replat au sommet de l'éperon*



*Grad 601-2 Dual gradiometer de Bartington*

Figure 109. Roches-lès-Blamont (Doubs). Vues de l'éperon barré de « Châtillon » (clichés : G. Bossuet)

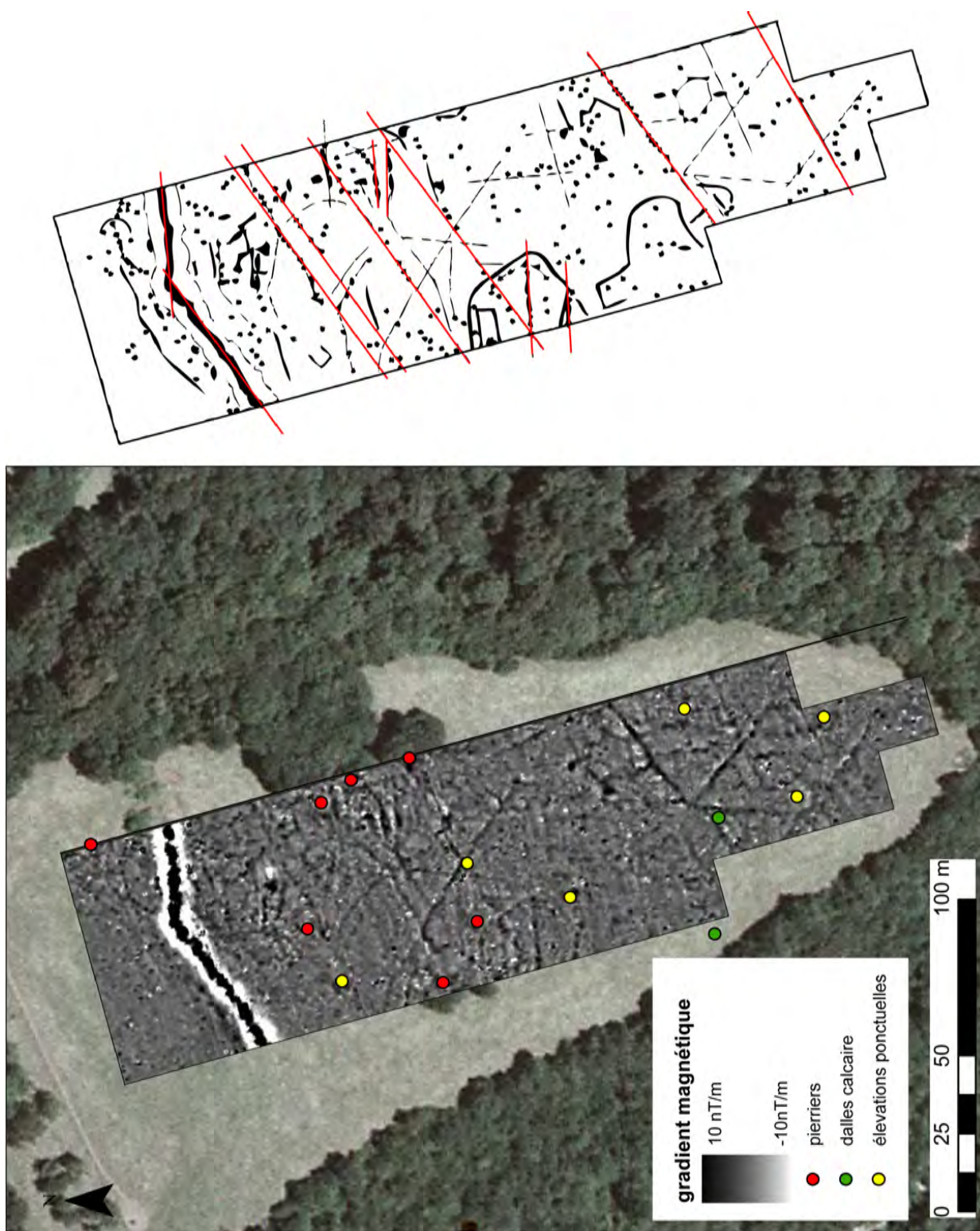


Figure 110. Roches-lès-Blamont (Doubs). Prospection magnétique de l'éperon barré de « Châtillon » et schéma d'interprétation. (C. Laplaige, G. Bossuet, 2011)





Figure 111. Autechaux Roide (Doubs). « le Gros Pennessière ». Réseau de failles et de diaclases au sommet du plateau du Lomont. (Source: Image C 2010 IGN France, C. Laplaige, G. Bossuet, 2011)

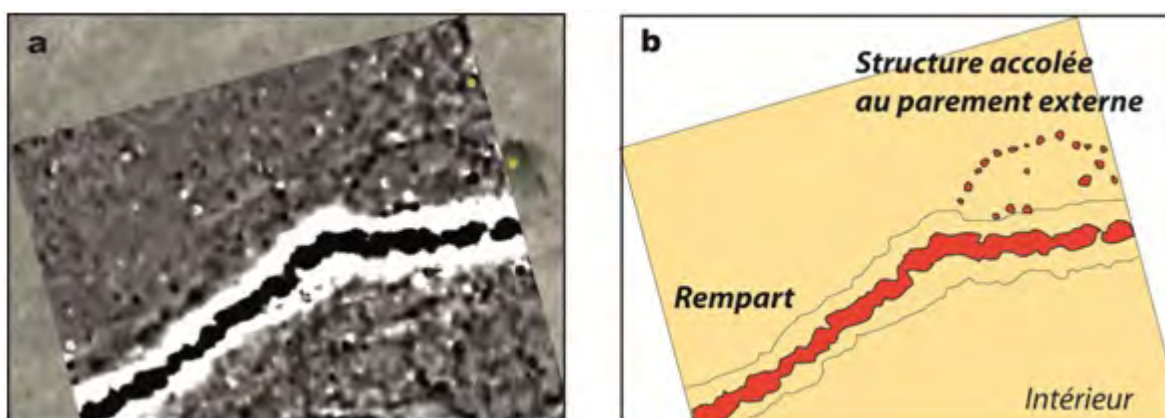


Figure 112. Roches-lès-Blamont (Doubs). Extrait de la prospection magnétique et schéma d'interprétation de la structure accolée au parement externe du rempart (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

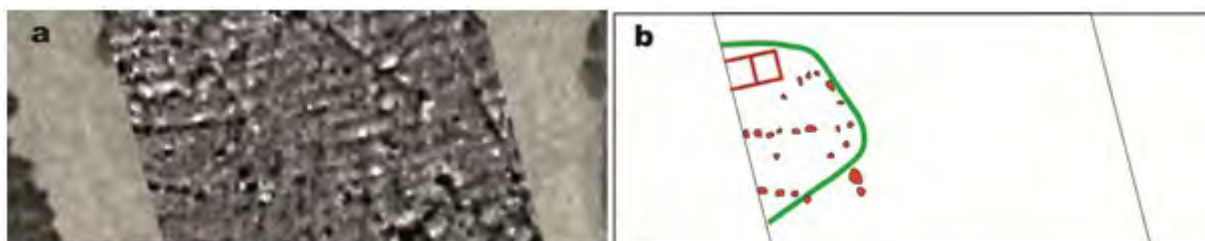


Figure 113. Roches-lès-Blamont (Doubs). Extrait de la prospection magnétique à l'intérieur du camp et schéma d'interprétation de la structure identifiée en milieu de pente (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

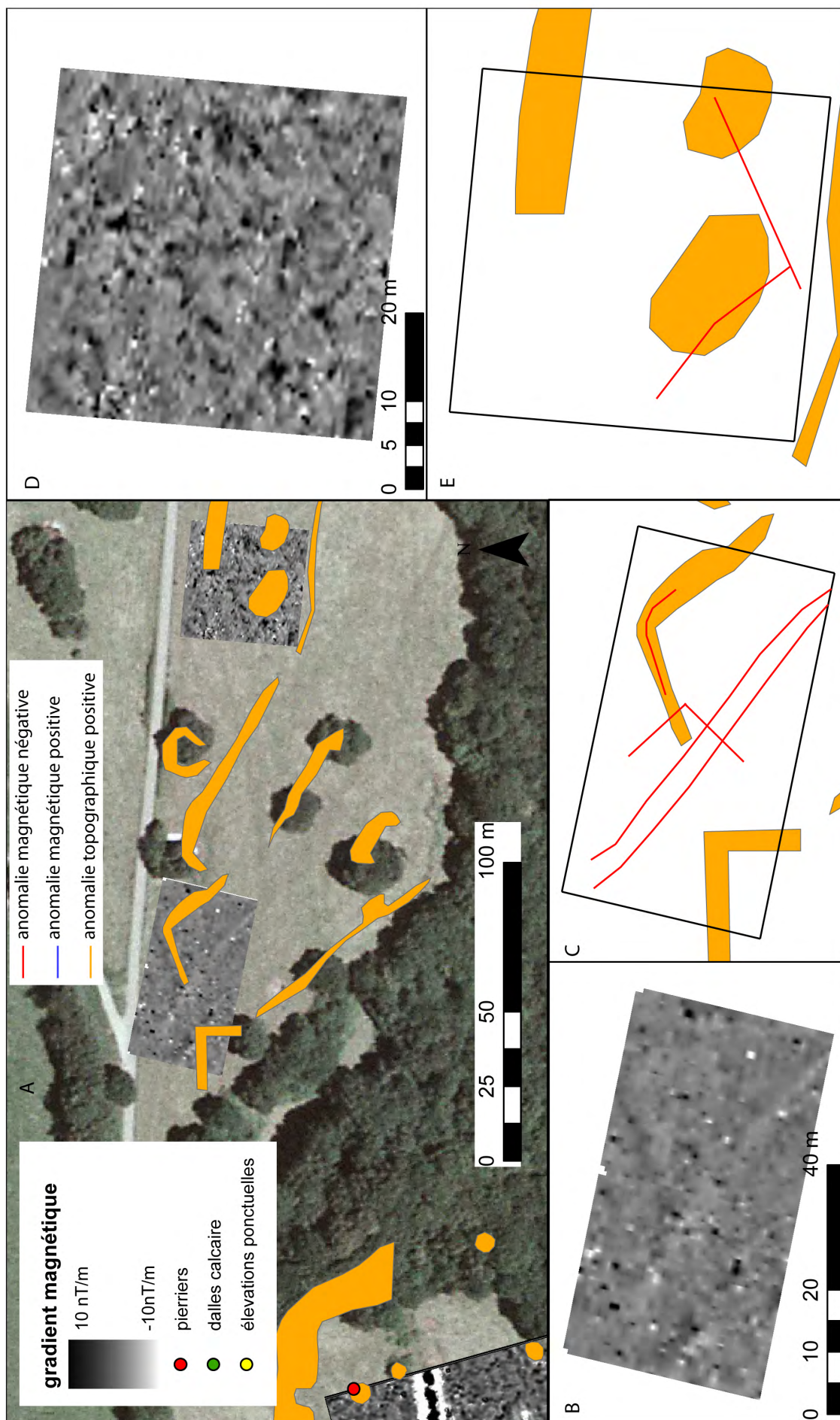


Figure 114. Roches-lès-Blamont (Doubs). Résultats de la prospection magnétique et de la prospection LiDAR menées à l'est de l'éperon (C. Laplaige, 2011)



Figure 115. Roches-lès-Blamont (Doubs). Matériel lithique (1-10) et mobilier céramique (11-12) collectés sur le site de l'éperon barré de « Châtillon » (clichés : C. Laplaige)

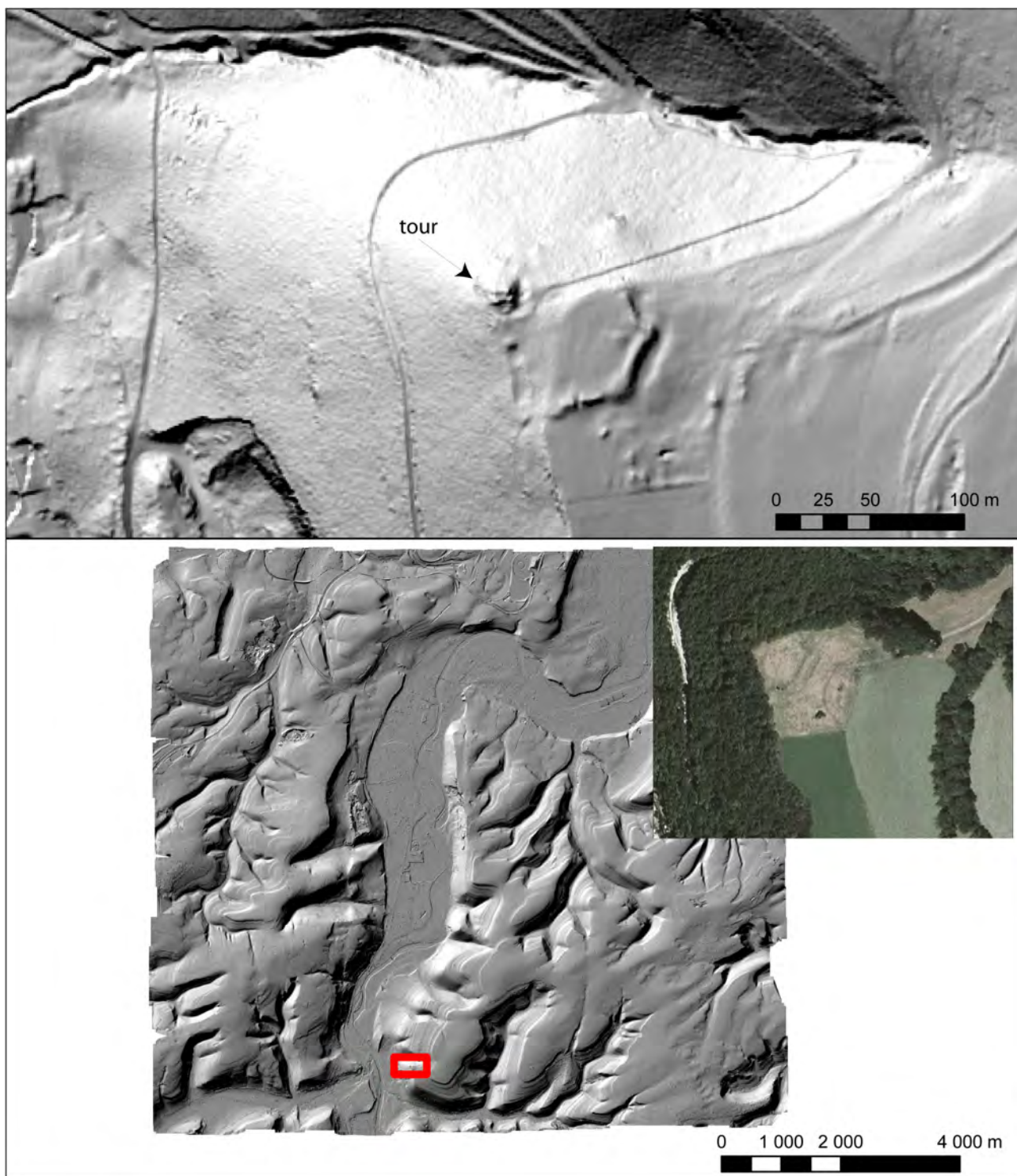


Figure 116. Ecurcey (Doubs). Localisation du site de « Chamabon » dans la fenêtre LiDAR, modèle ombré de terrain (315\_45) et orthophotographie 2004 du site (C. Laplaige, 2011)

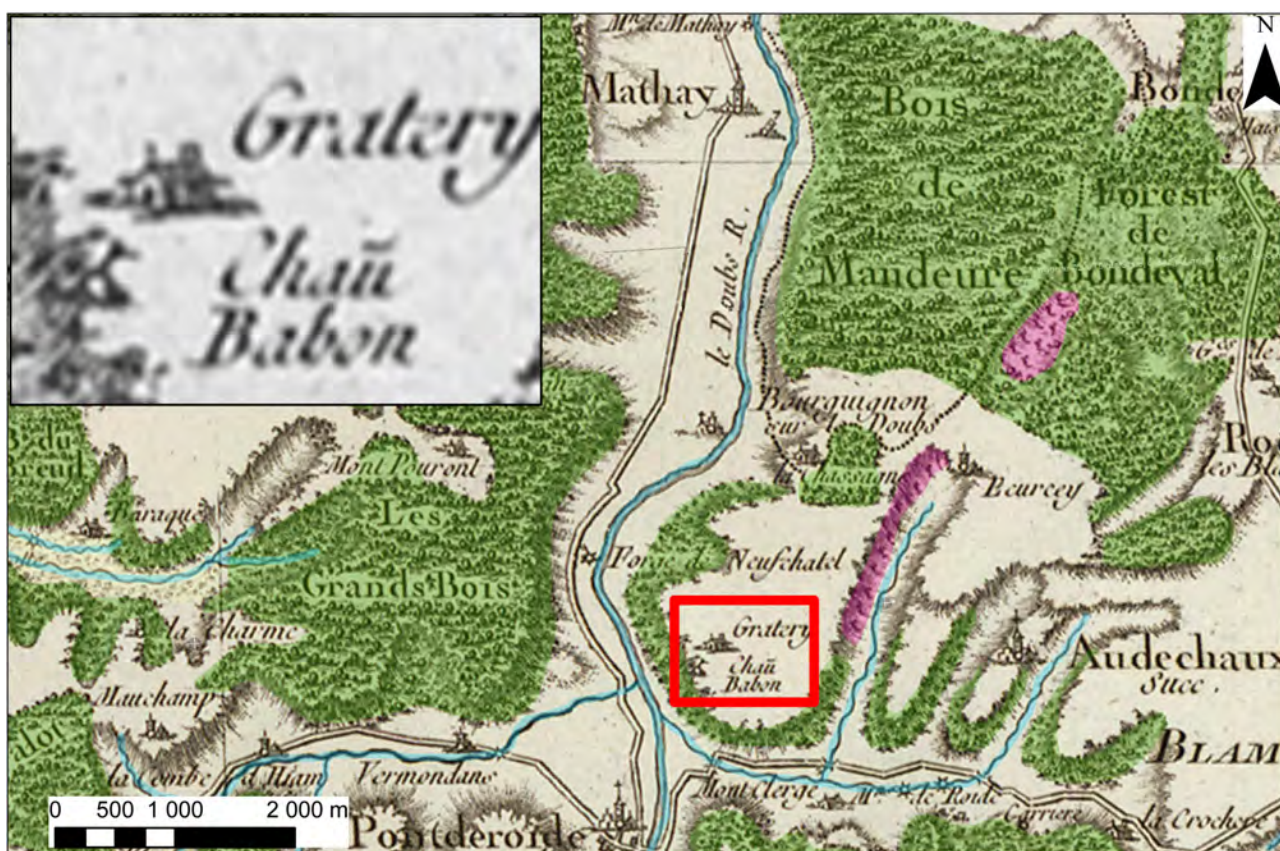


Figure 117. Ecurcey (Doubs). Extrait de la carte de Cassini au niveau du site de « Chamabon » (C. Laplaige, 2011)

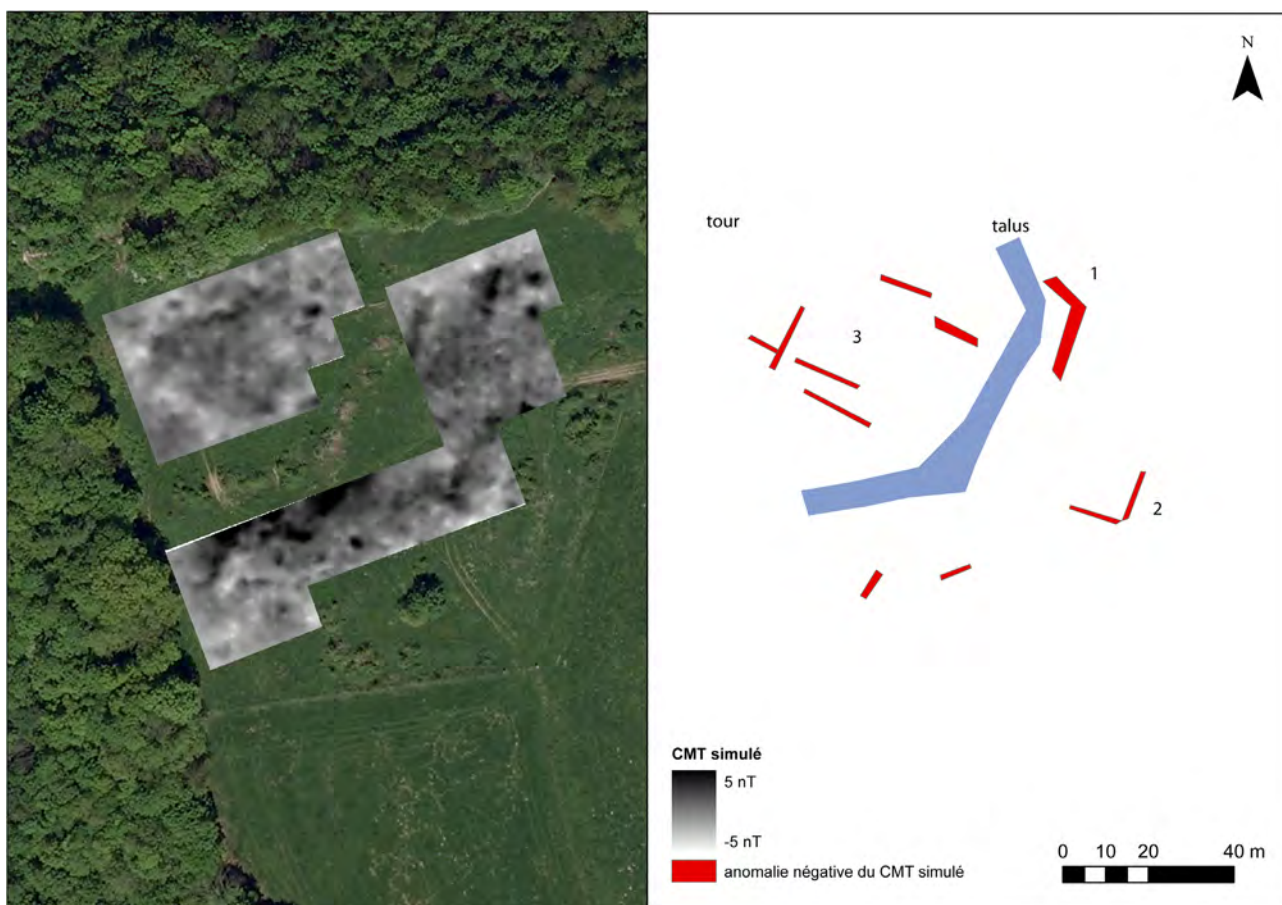


Figure 118. Ecurcey (Doubs). Prospection magnétique de l'enceinte de « Chamabon » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, G. Bossuet 2011)

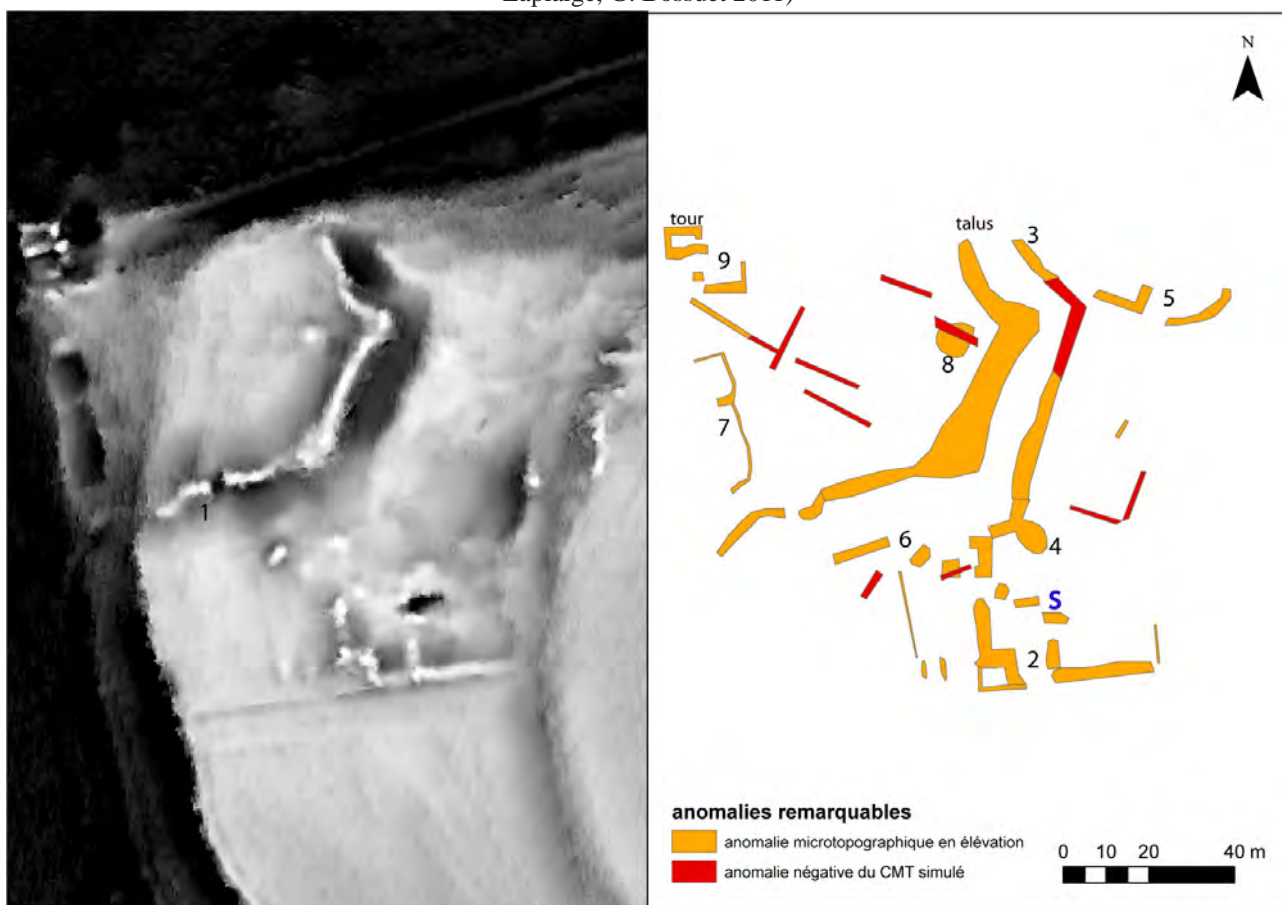


Figure 119. Ecurcey (Doubs). Représentation « Sky View Factor » du site de « Chamabon » et schéma d'interprétation. (Traitement : C. Laplaige. Interprétation : C. Laplaige, G. Bossuet)



Figure 120. Bourguignon et Mathay (Doubs). Localisation des prospections électromagnétiques dans la plaine alluviale du Doubs (C. Laplaige, 2011)

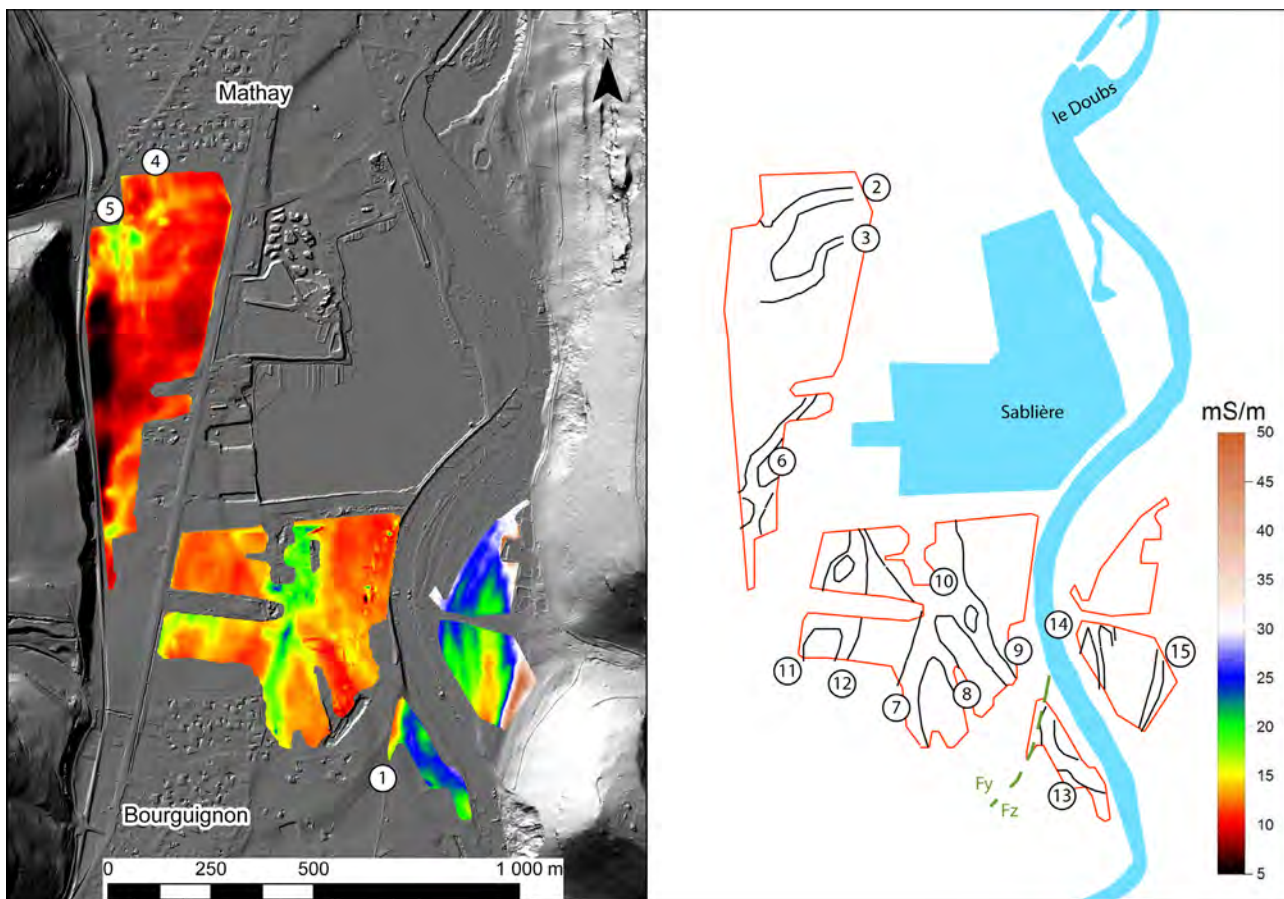


Figure 121a. Bourguignon et Mathay (Doubs). Cartographie des variations de la conductivité du sol et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)



Figure 121b. Mathay (Doubs). Orthophotographie de 2007 montrant la trace d'un double fossé rectiligne dans la plaine alluviale du Doubs (Source Google Earth 2007, C. Laplaige, 2011)



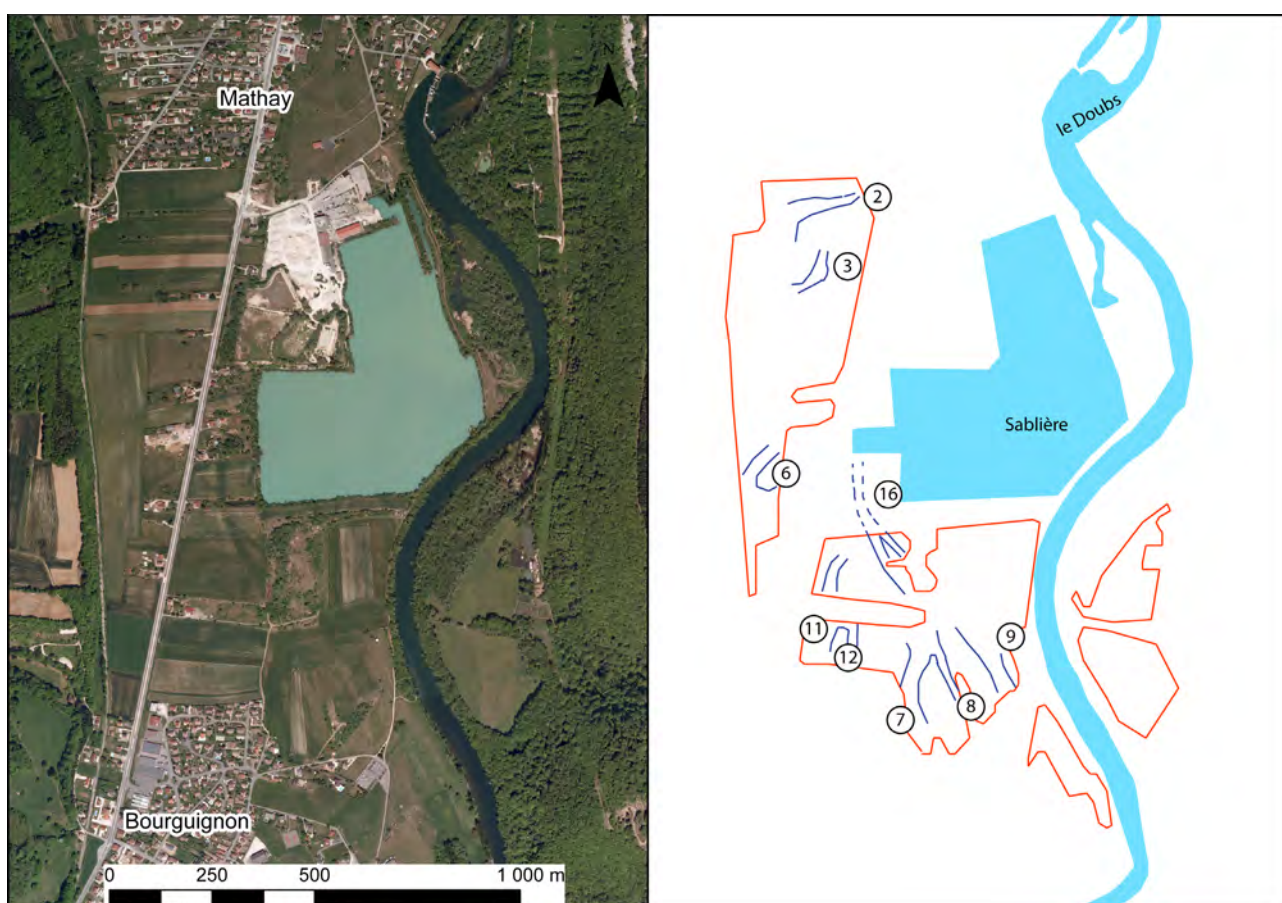


Figure 122. Bourguignon et Mathay (Doubs). Orthophotographie de 2009 révélant les traces de paléochenaux et schéma d'interprétation (Source : Aerodata, C. Laplaige, 2011)

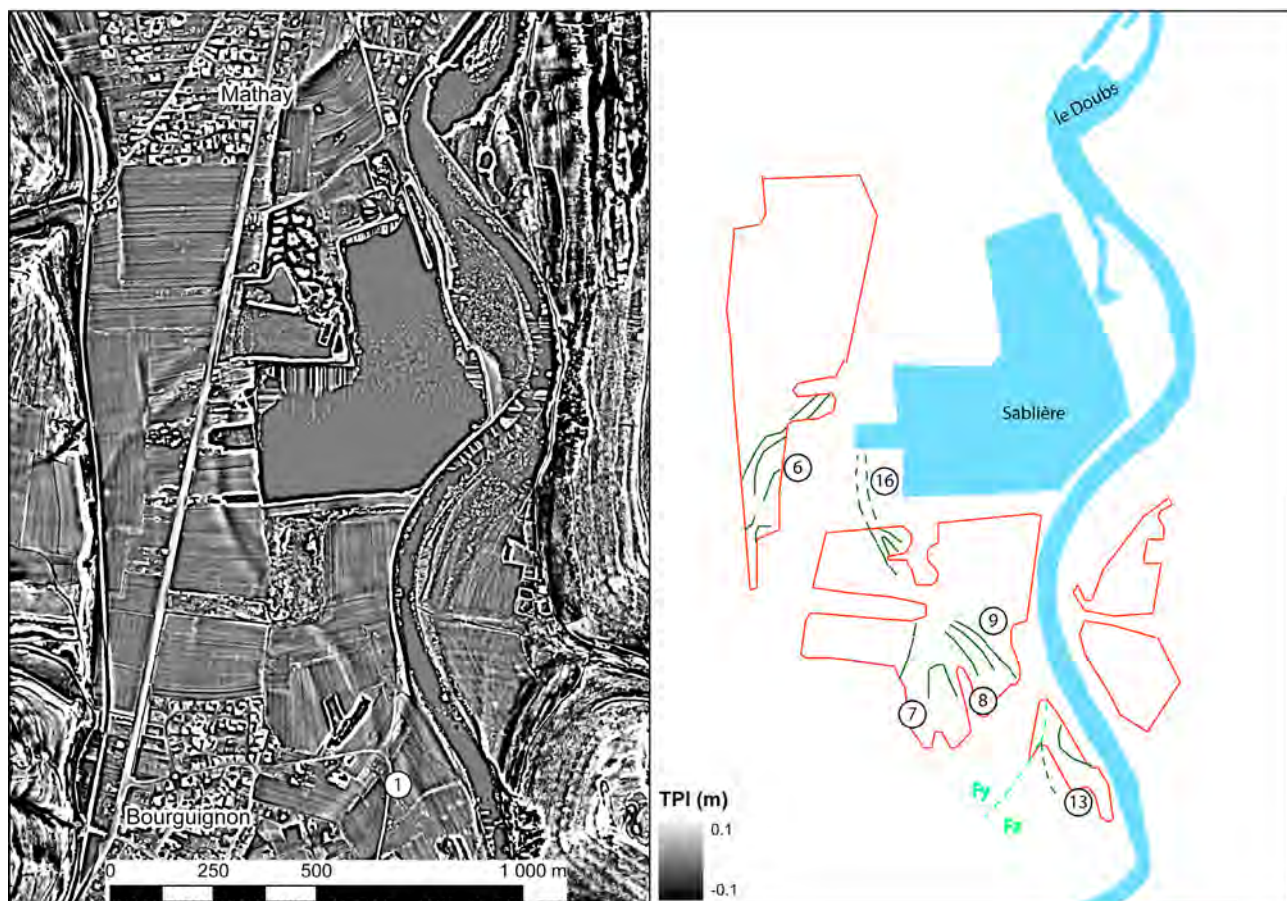


Figure 123. Bourguignon et Mathay (Doubs). Représentation LiDAR du fond de vallée selon le modèle TPI et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

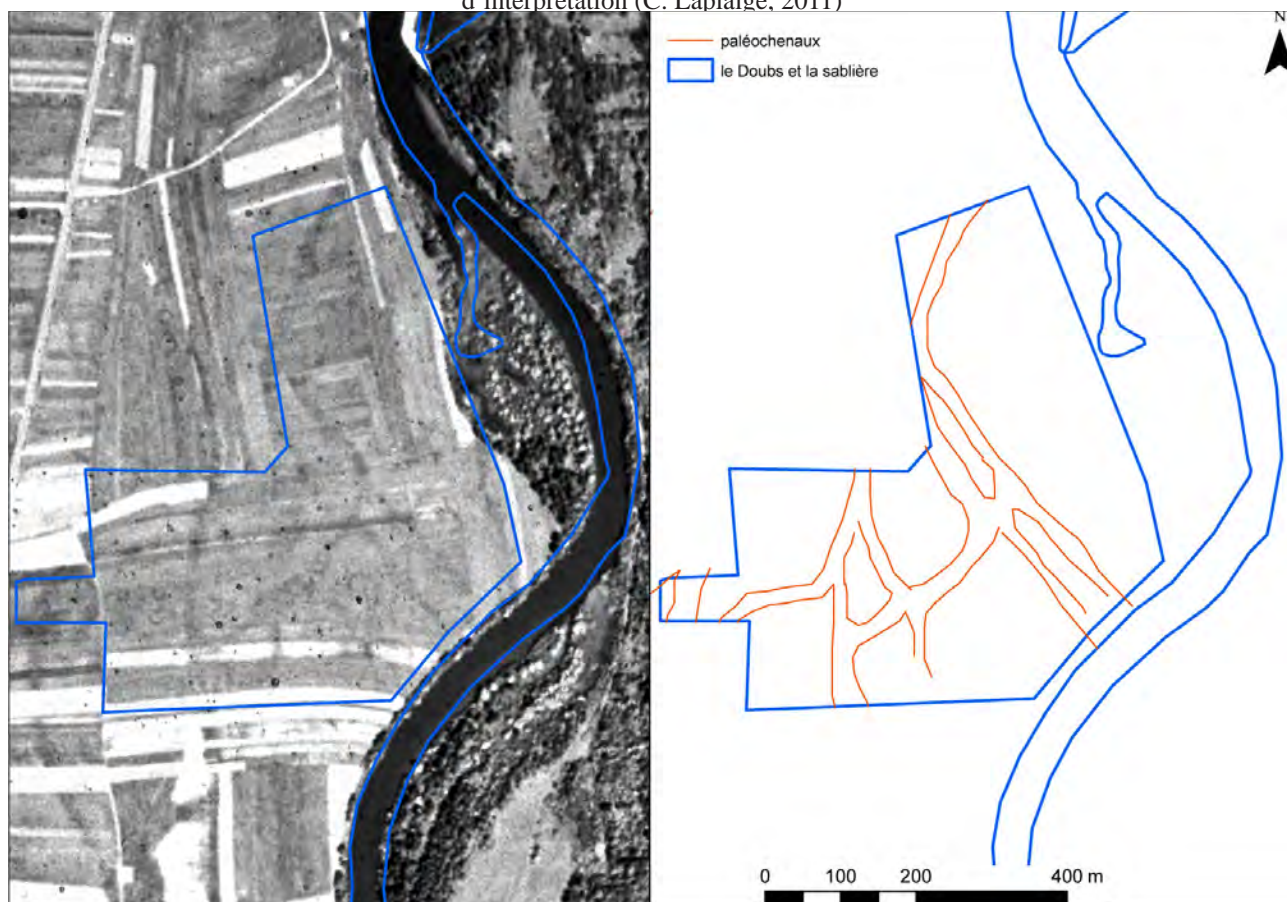


Figure 124. Bourguignon et Mathay (Doubs). Extrait du cliché de la mission aérienne verticale de l'IGN de 1951 (C. Laplaige, 2011)

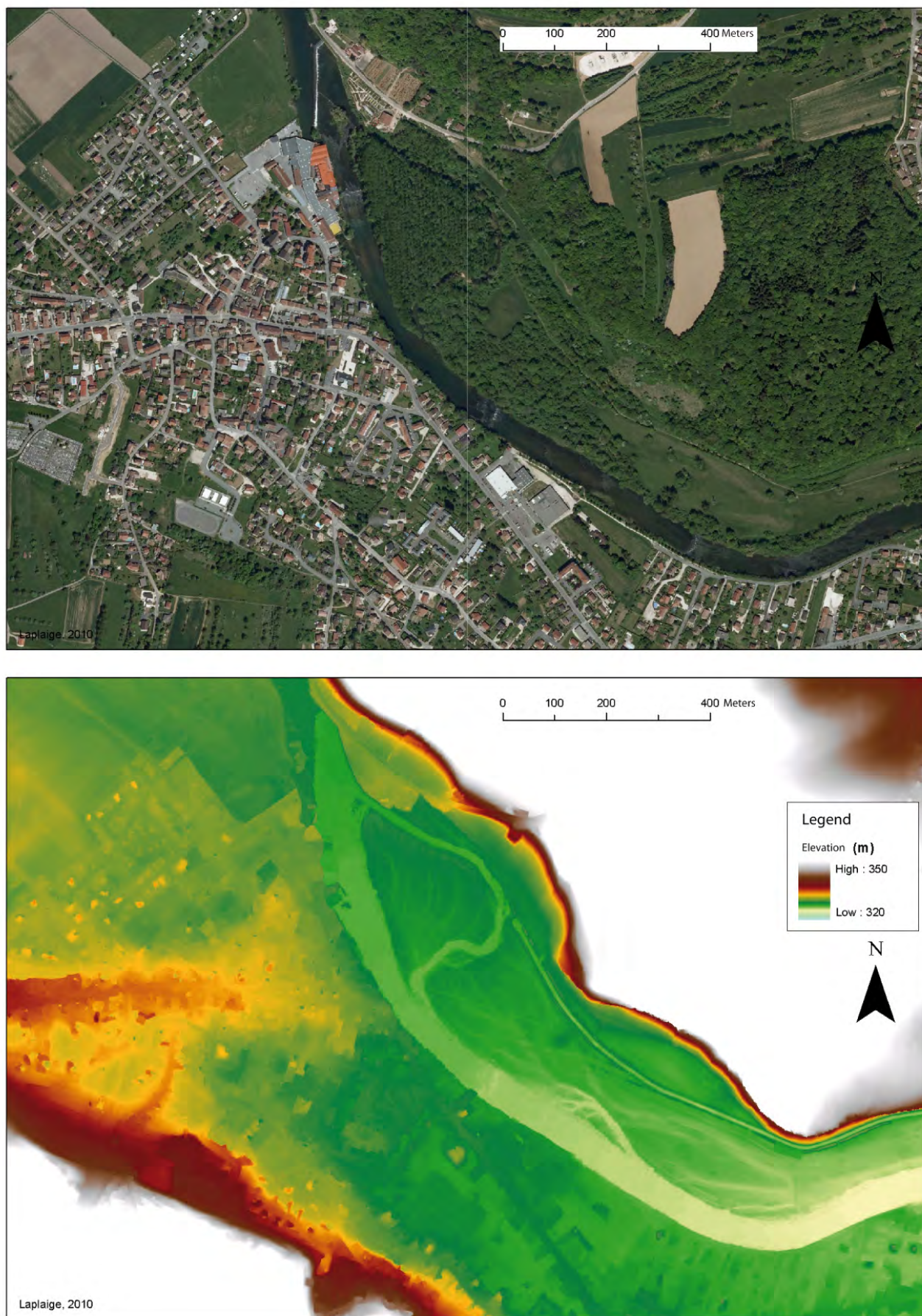


Figure 125, Mandeuve (Doubs). Paléoformes fluviales reconnues au lieu-dit « l'Isle entre les Voies » au nord-est de Mandeuve. Comparaison entre l'orthophotographie de 2009 et le Modèle Numérique de Terrain de la prospection LiDAR (C. Laplaige, 2010)

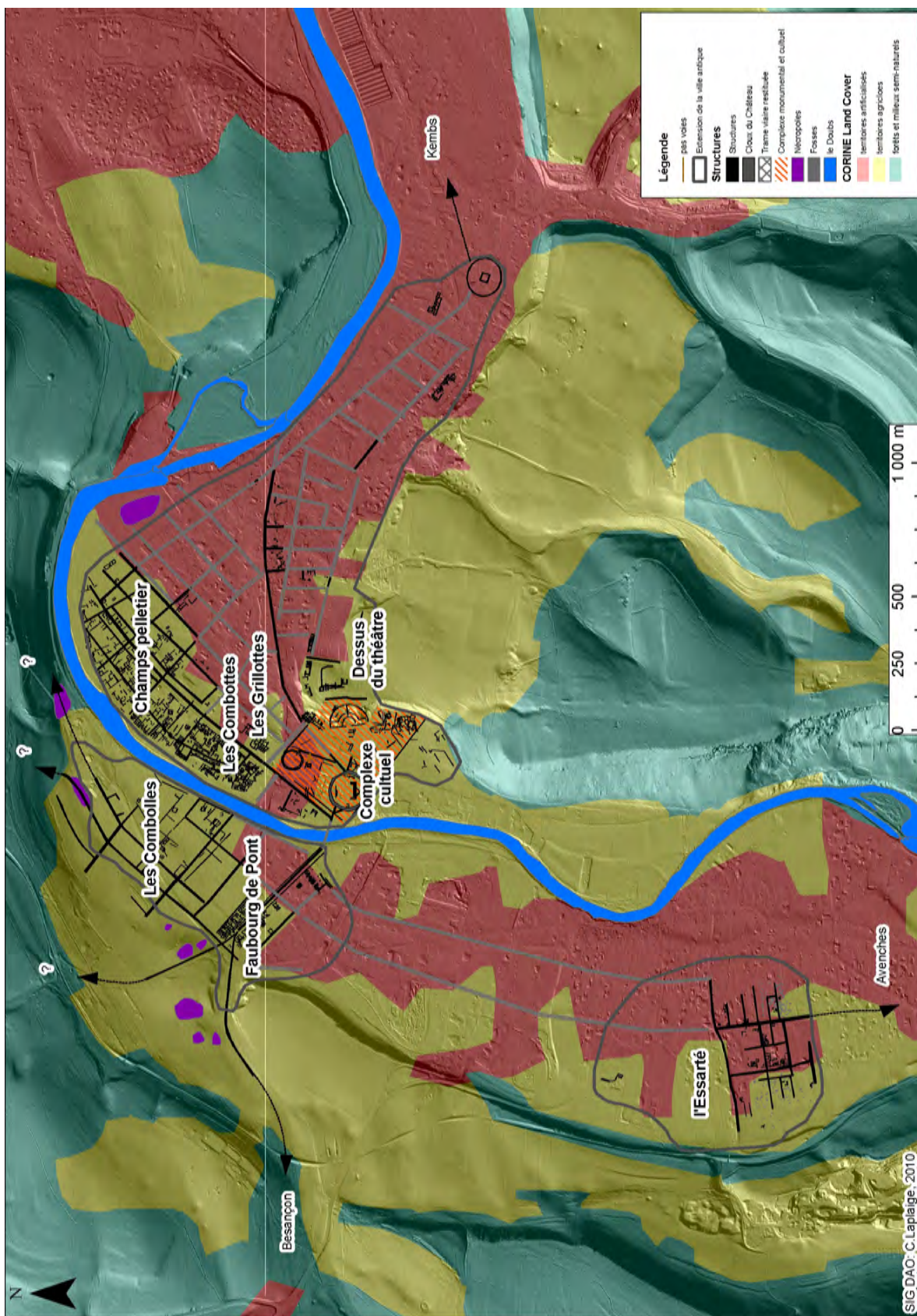


Figure 126. Mandeuve-Mathay (Doubs). Localisation des sites étudiés dans le contexte urbain ou péri-urbain. Plan de l'agglomération antique drapé sur un modèle ombré du terrain 315\_45 et sur la carte d'occupation du sol (Sources : PCR Mandeuve, Corine Land Cover, C. Laplaige, 2011)

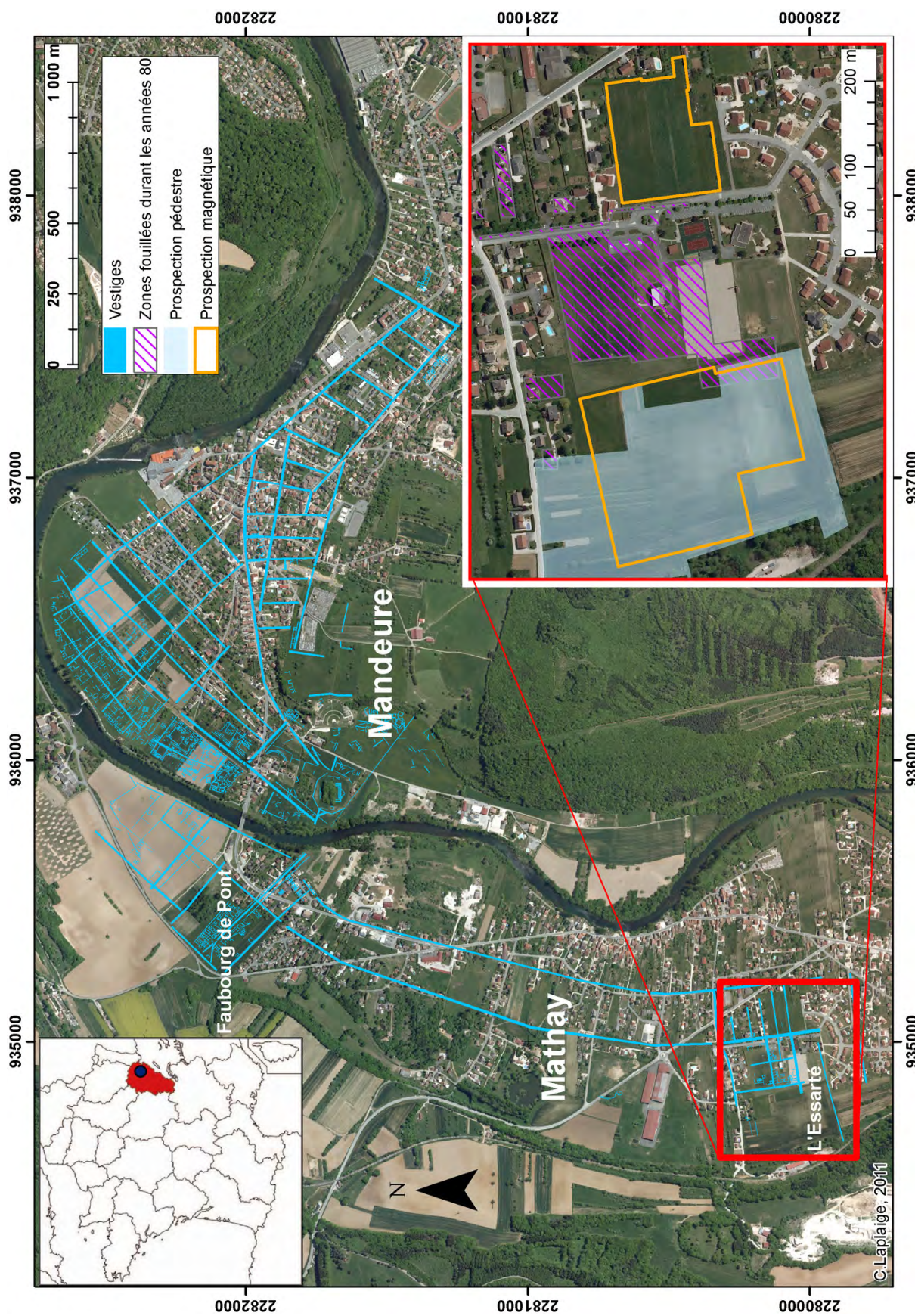


Figure 127. Mathay (Doubs). Localisation des différentes prospections (pédestre, magnétique) et fouilles menées sur le quartier artisanal antique de l'« Essarté » (C. Laplaige, 2011)



Figure 128. Mathay (Doubs). « L'Essarté ». Plan d'ensemble des vestiges du quartier artisanal antique et indication de l'état de conservation des murs et fondations (C. Fruchart, 2009)



Figure 129, Mathay (Doubs). «L'Essarté ». Résultats des prospections pédestres effectuées à l'ouest du quartier artisanal. (P. Nouvel, 2009).



Figure 130, Mathay (Doubs). « L'Essarté ». Indices archéologiques repérés en prospection aérienne (clichés : P. Augé, 1990, C. Laplaige, 2010.)



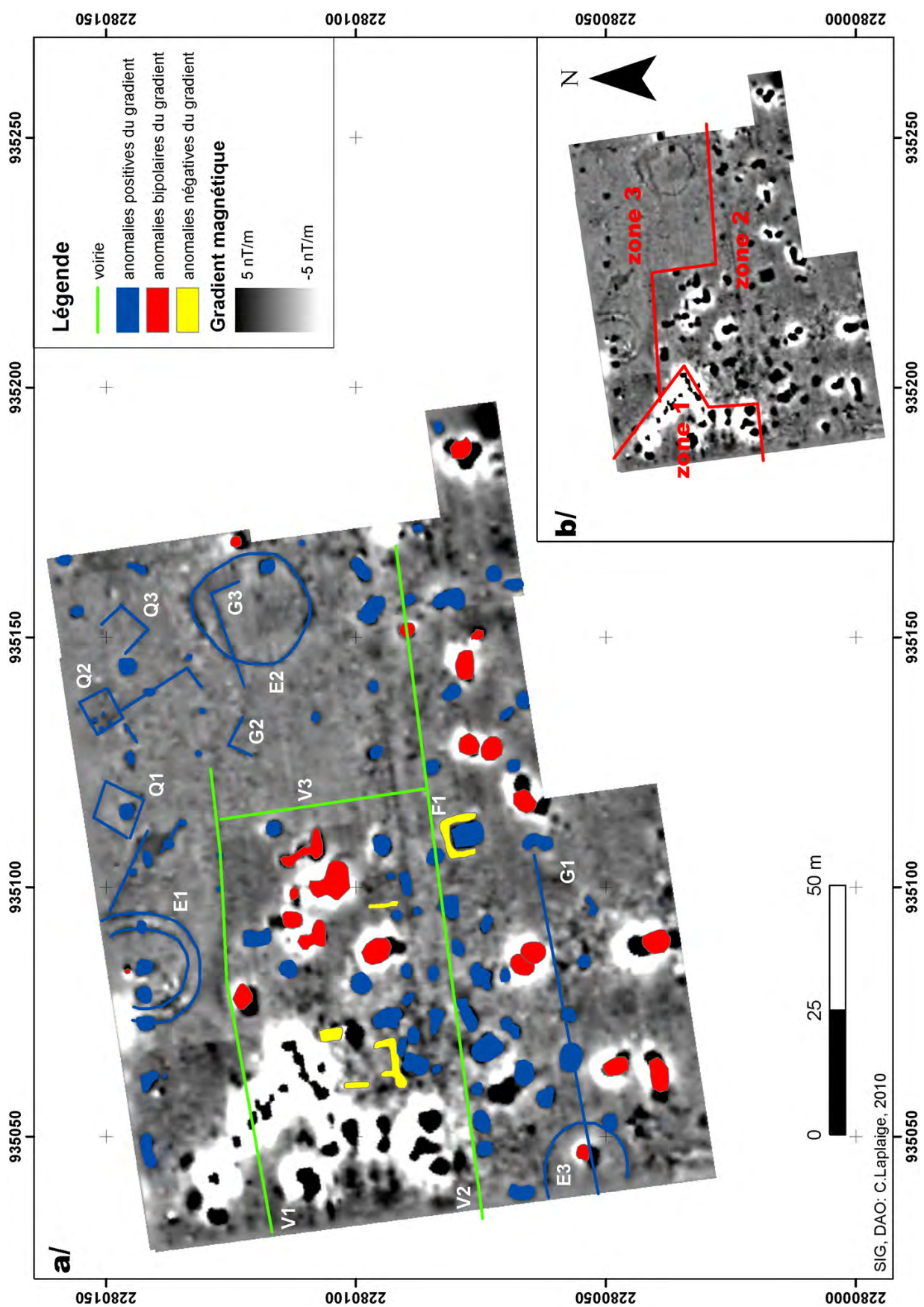


Figure 131. Mathay (Doubs). «L'Essarté». Prospection magnétique à l'est du quartier artisanal et schéma d'interprétation (C. Laplaige, G. Bossuet 2011)



Figure 132. Mathay (Doubs). Prospection LiDAR. Modèle ombré du terrain 315\_45 centré sur les zones prospectées en géophysique. (C. Laplaige, 2011)

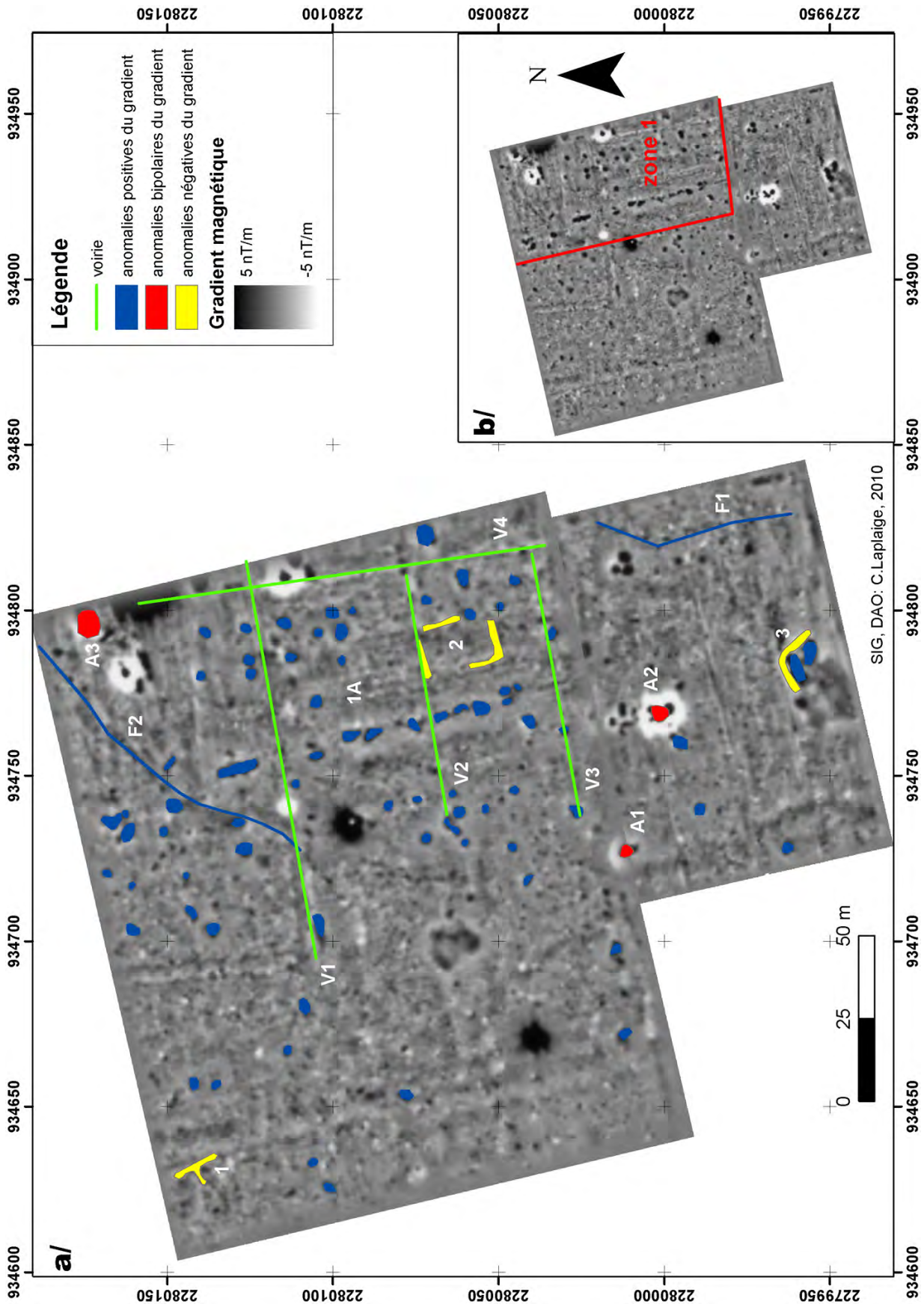


Figure 133. Mathay (Doubs). « L'Essarté ». Prospection magnétique à l'ouest du quartier artisanal et schéma d'interprétation (C. Laplaige, G. Bossuet 2011)

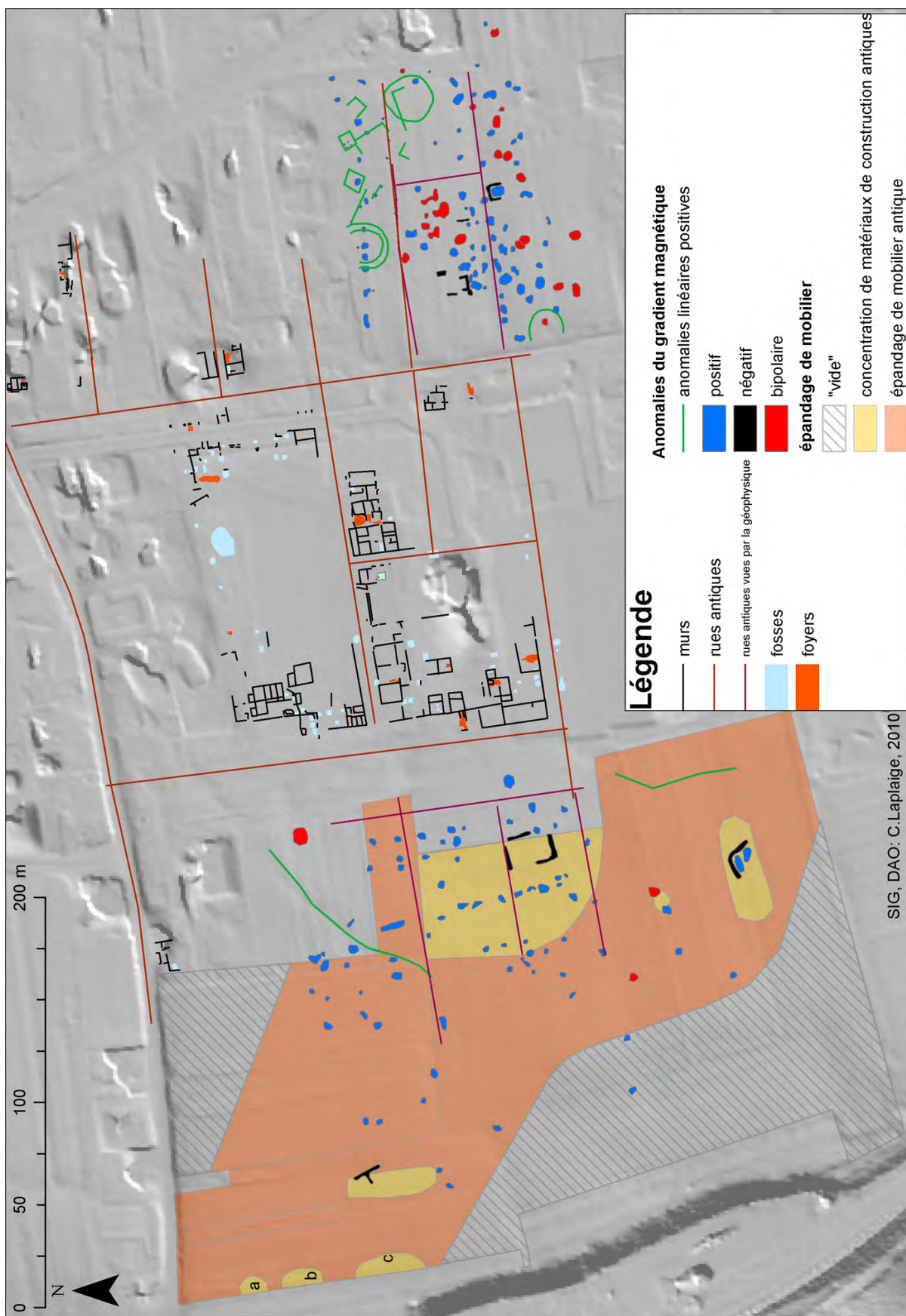


Figure 134. Mathay (Doubs). Plan regroupant les informations issues des fouilles anciennes, des prospections pédestres, des prospections magnétiques et de la prospection LiDAR



Figure 135. Mathay (Doubs). « Faubourg de Pont ». Prospection électrique ARP sur le quartier artisanal antique et schéma d'interprétation (Source : Geoacarta-PCR Mandeure, C. Laplaige, 2011)

Coupe stratigraphique du sondage 2300 (d'après Mougin et al. 1997)

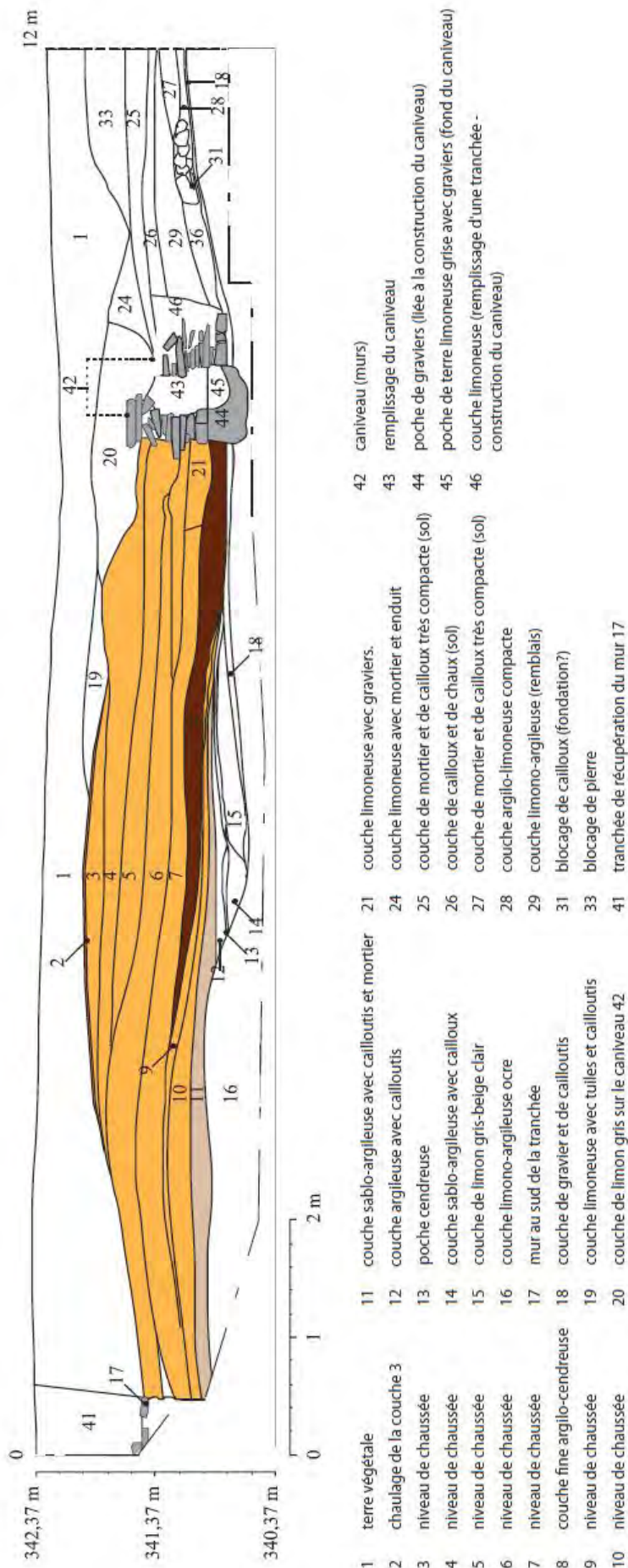


Figure 136. Mathay (Doubs). Coupe stratigraphique du sondage 2300 (d'après Mougin et al., 1997)

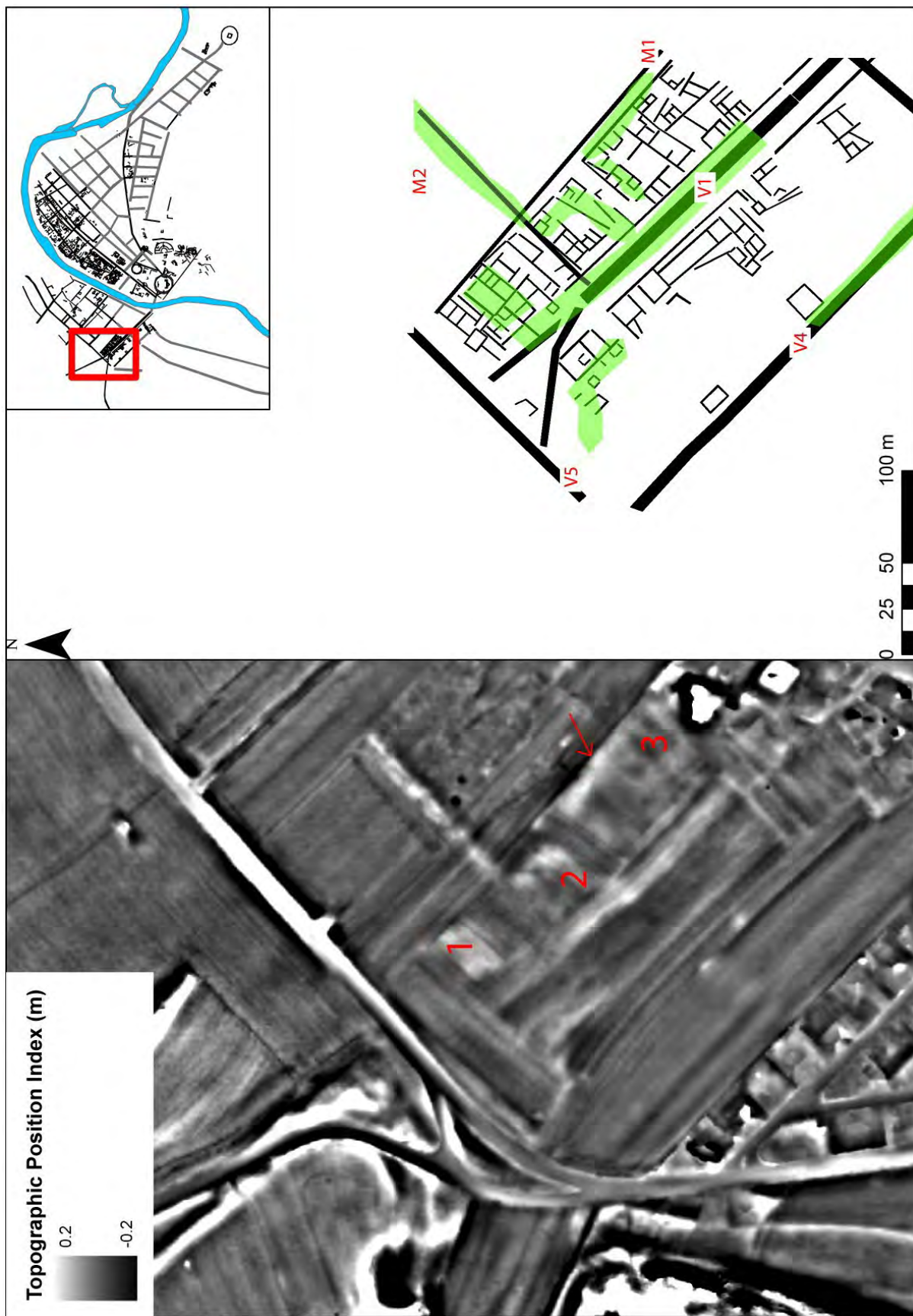


Figure 137. Mathay (Doubs). Résultats de la prospection LiDAR sur le quartier de « Faubourg de Pont » sous la forme du « Topographic Position Index » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

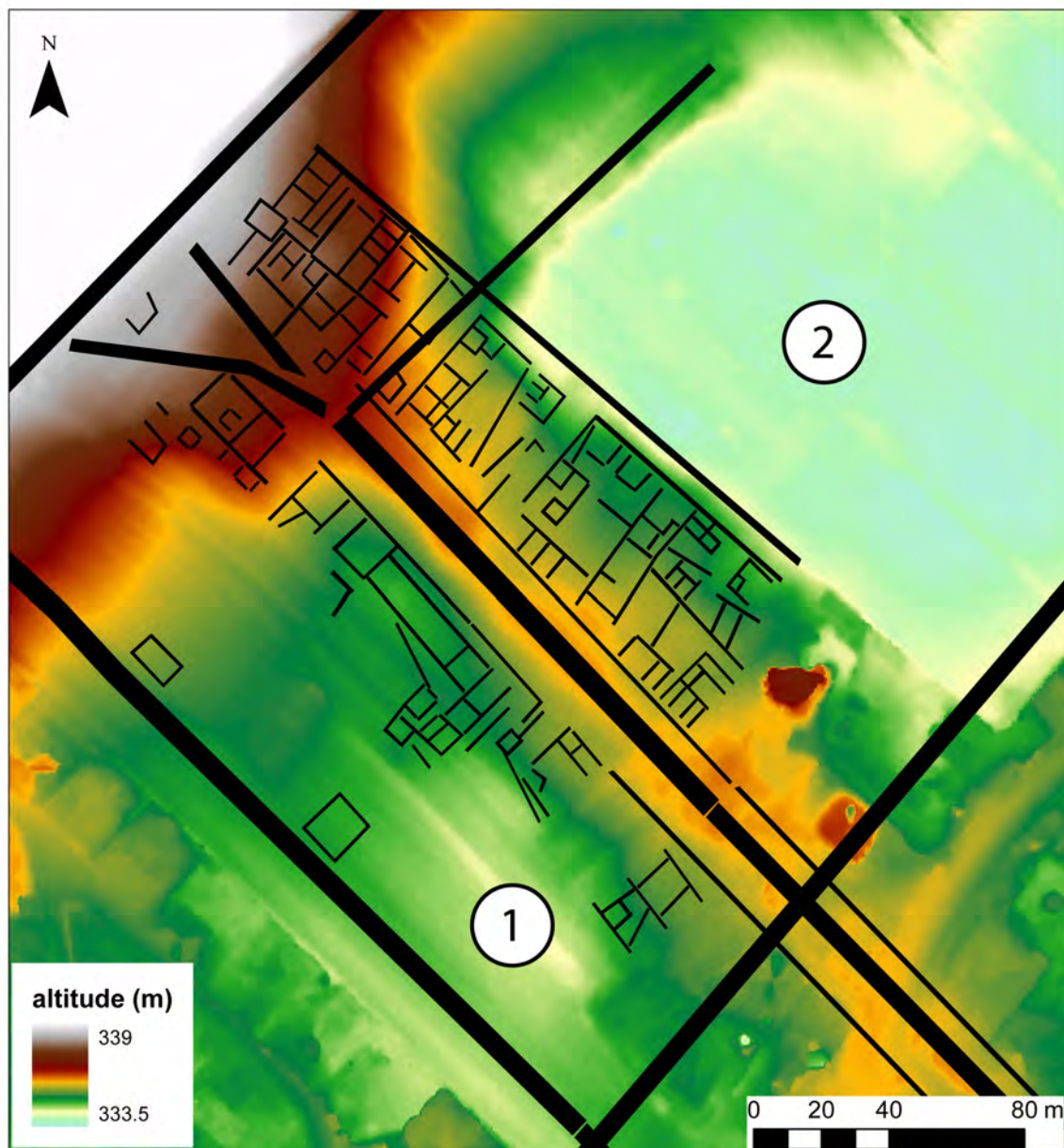


Figure 138. Mathay (Doubs). Prospection LIDAR. Modèle Numérique de Terrain sur le quartier de « Faubourg de Pont » (C. Laplaige, 2011)



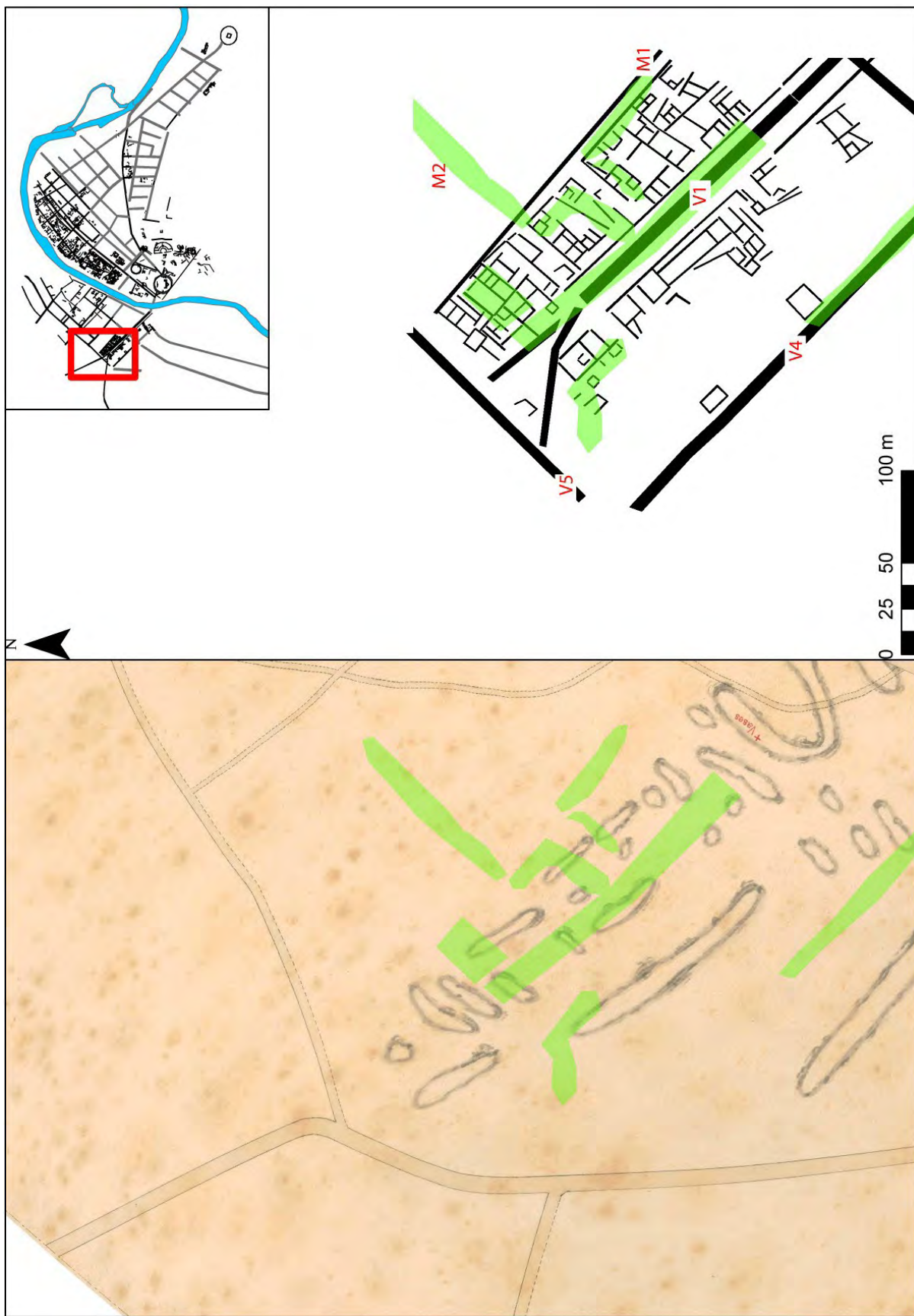


Figure 139. Mathay (Doubs). Extrait du plan d'ensemble du site de 1895 montrant la position des murs dans le secteur de « Faubourg de Pont » et schéma d'interprétation de la prospection électrique ARP (Source : Barbier, 1895, C. Laplaige, 2011)



Figure 140. Mathay (Doubs) Indices archéologiques repérés au lieu-dit les « Combolles » par la prospection aérienne et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011, clichés : IGN, 1984 et Gogney, 1976)



Figure 141. Mathay (Doubs) Prospection magnétique sur le quartier des « Combolles » et schéma d'interprétation (Source : Y. Bière, S. Trillaud et G. Bossuet, 2005 ; C. Laplaige, 2011)



Figure 142. Mathay (Doubs). Vue du secteur inondé des « Combolles » après la crue du Doubs de Février 2006 (cliché : P. Mougin)

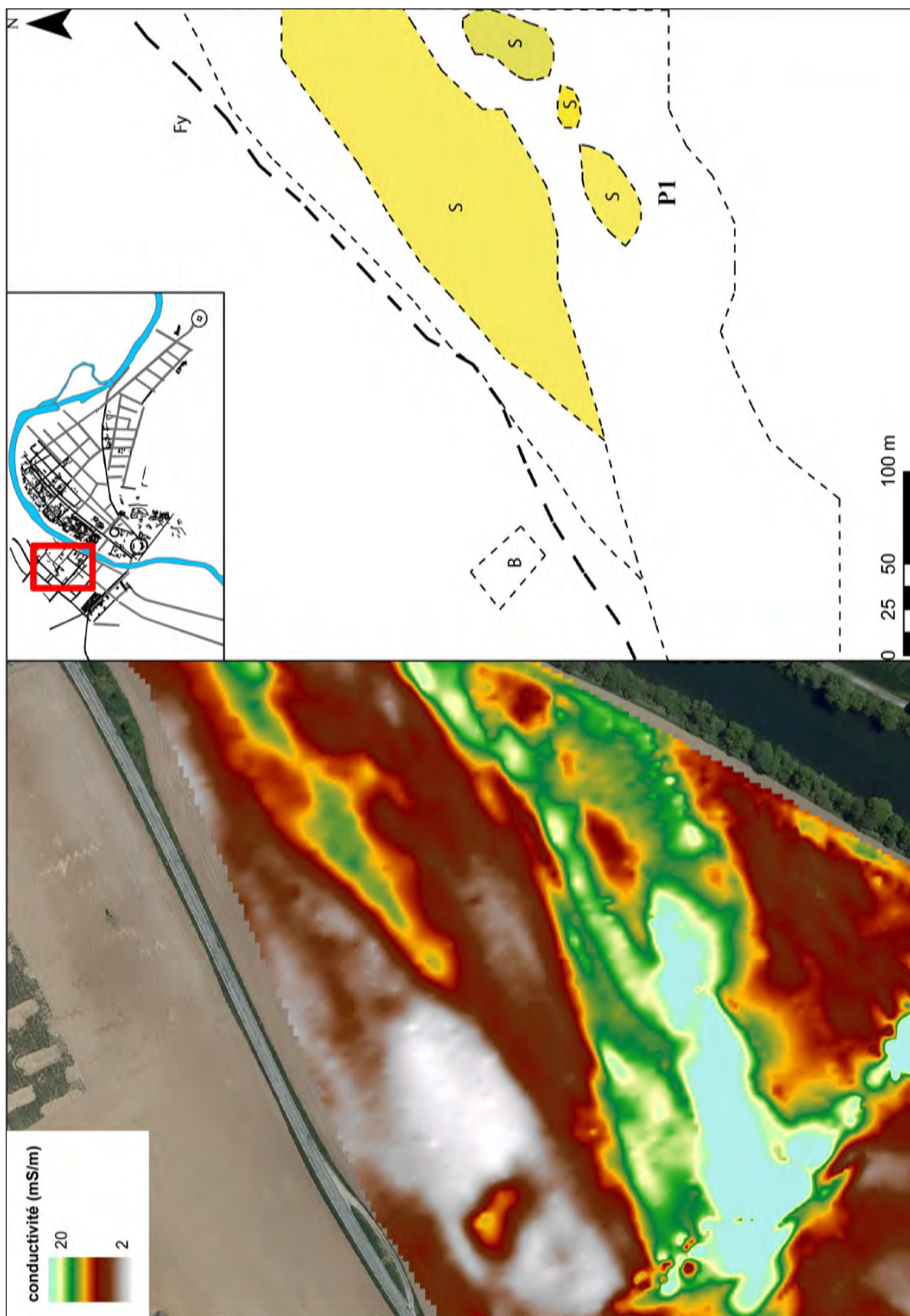


Figure 143. Mathay (Doubs). « Les Combolles ». Cartographie des variations de la conductivité du sol et schéma d'interprétation (Source : S. Trillaud, G. Bossuet, 2005, C. Laplaige, 2011)

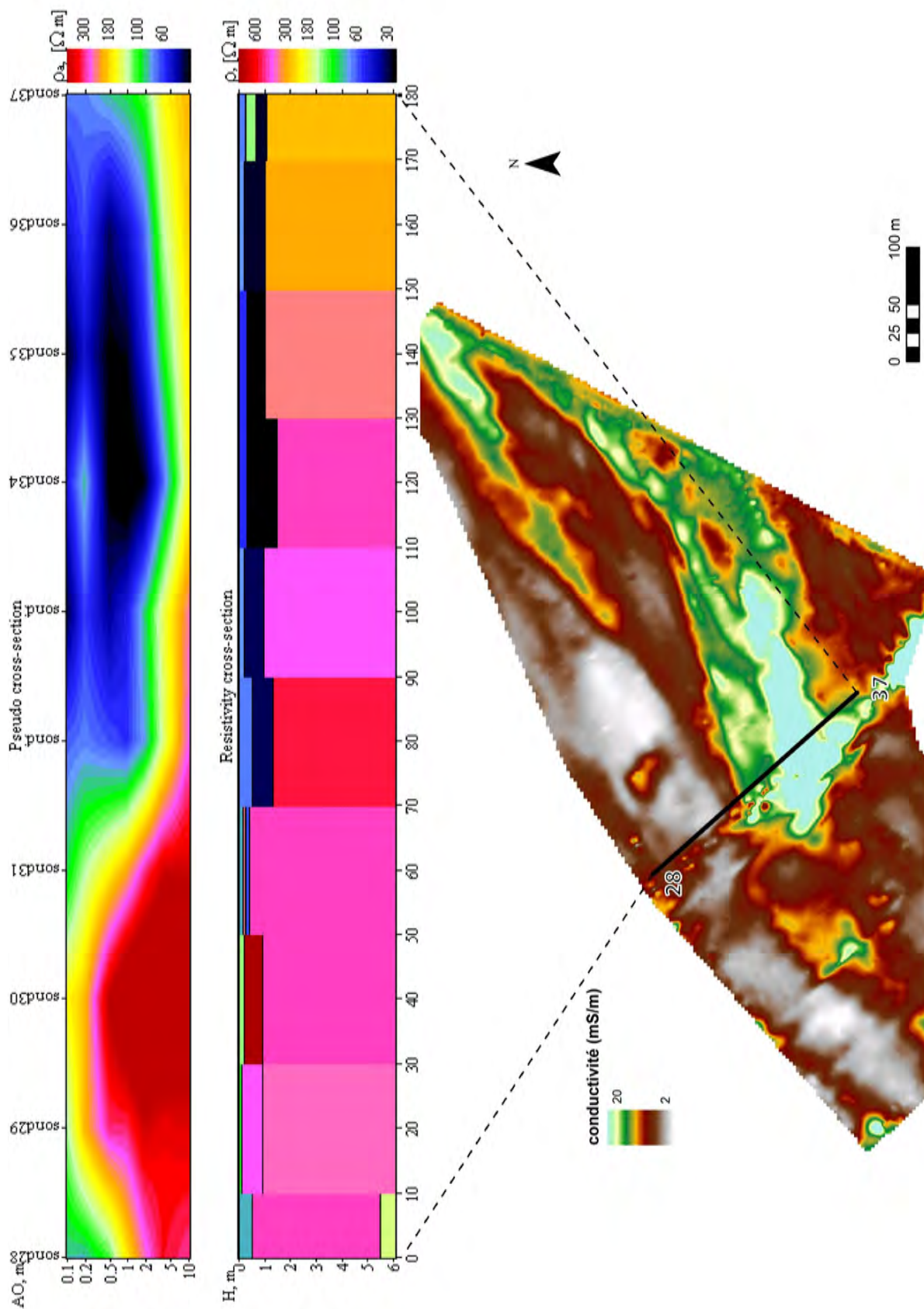


Figure 144. Mathay (Doubs). Cartographie des variations de la conductivité du sol et pseudo section de résistivité électrique, logiciel IP2WIN (Source : S. Trillaud, G. Bossuet, 2005, C. Laplaige, 2011)



Figure 145a. Mathay (Doubs). Résultats de la prospection LiDAR sur le quartier des « Combolles » sous forme « Topographic Position Index ». Schéma d'interprétation compilé de la prospection magnétique et du LiDAR (en vert) (C. Laplaige, 2011)



Figure 145b. Mathay (Doubs). Comparaison entre les données microtopographiques de la prospection LiDAR et le découpage parcellaire du plan cadastral napoléonien de 1838 (C. Laplaige, 2011)



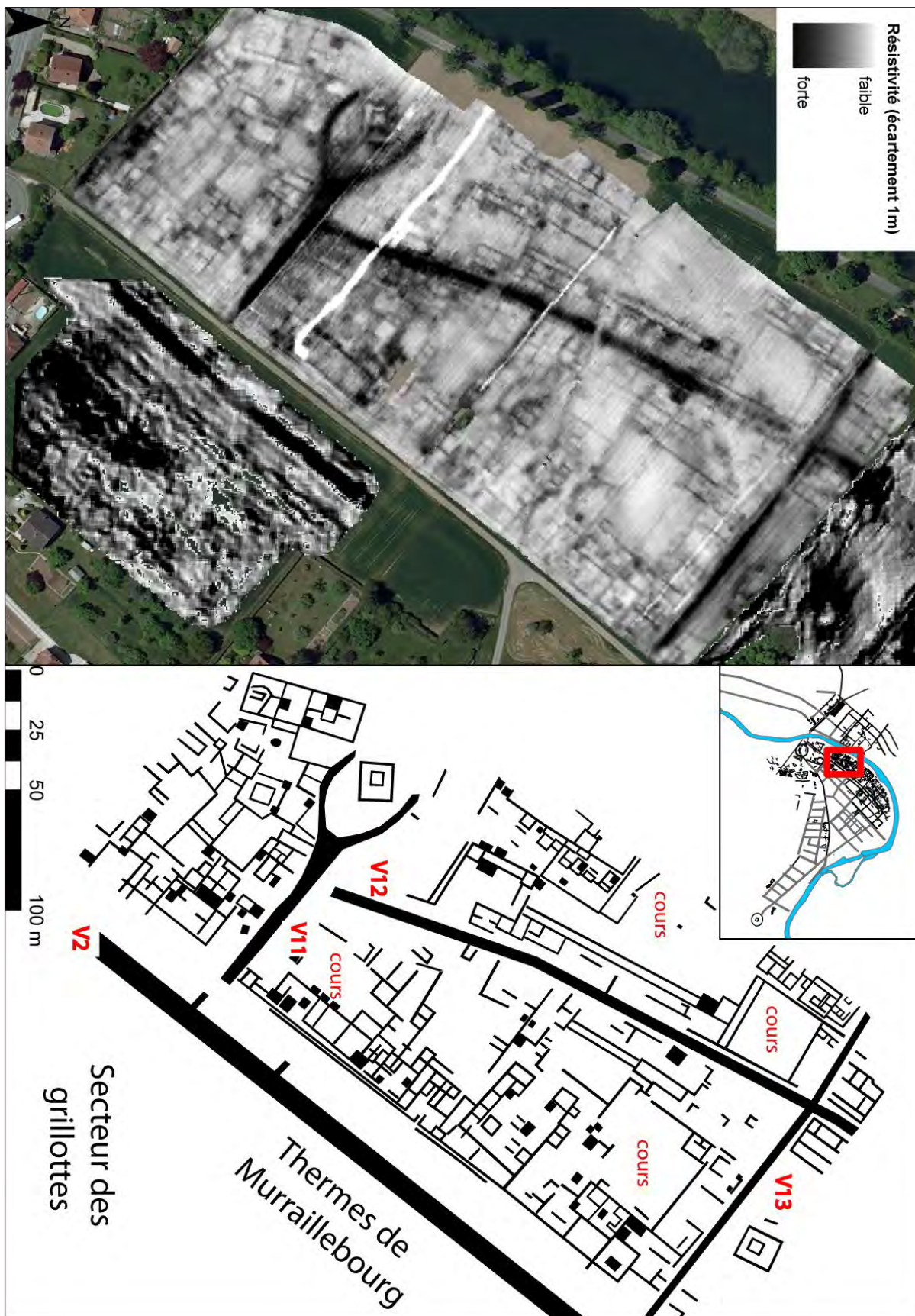


Figure 146. Mandœuvre (Doubs). « Les Combottes ». Prospection électrique ARP (dispositif à 1 m) sur le quartier d'habitation antique et schéma d'interprétation. (Source : Geocarta/PCR Mandœuvre, C. Laplaige, 2011)



Figure 147. Mandeuve (Doubs). Prospection LiDAR. Carte des pentes associée à un ombrage 315\_45 sur le quartier d'habitation antique des « Combottes ». Schéma d'interprétation compilé de la prospection électrique et du LiDAR (en vert) (C. Lapaige, 2011)



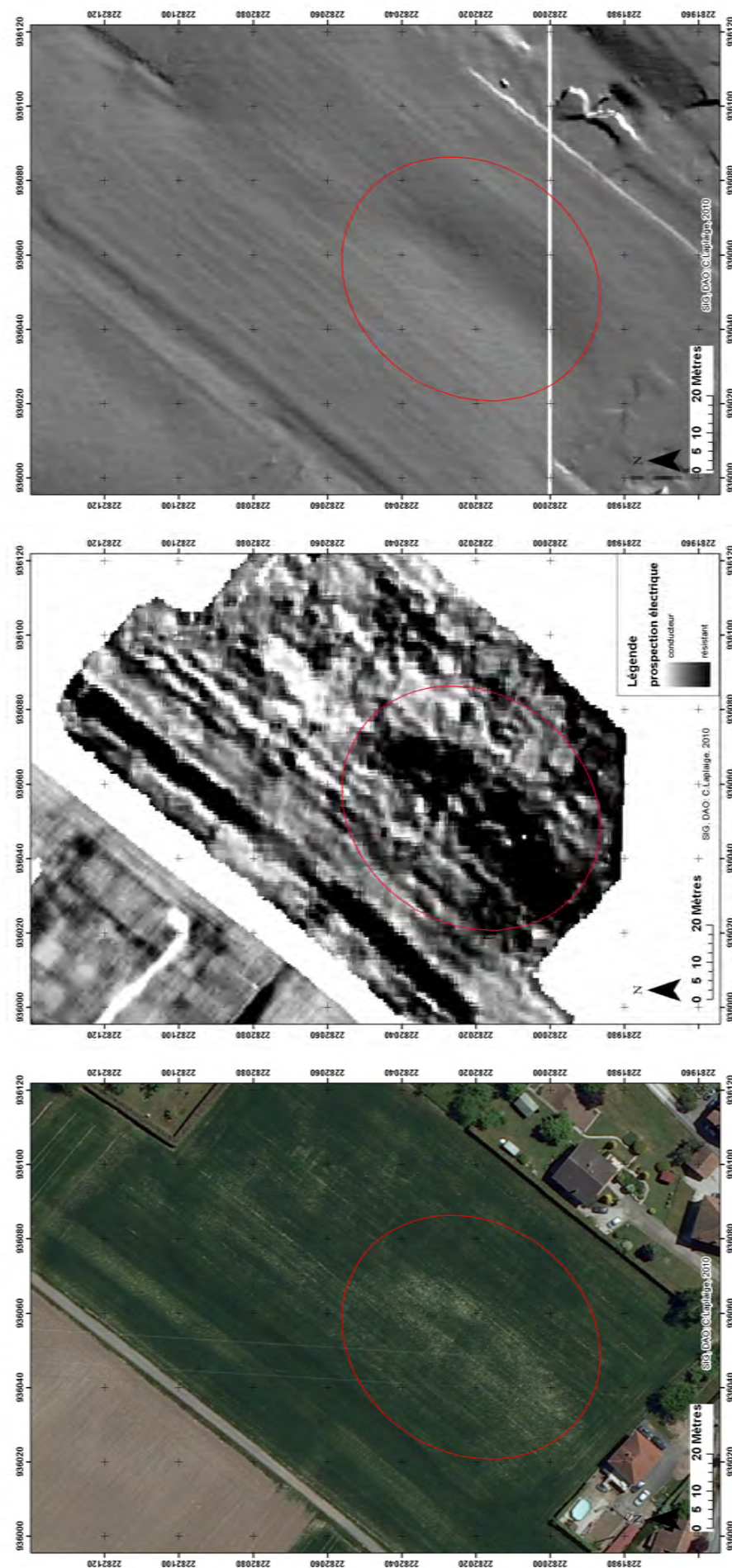


Figure 149. Mandeuve (Doubs). « Les Grillottes ». Anomalie phytographique (a), anomalie électrique (b) et anomalie topographique (c) (C. Laplaige, 2010)



Figure 150. Mandœuvre (Doubs). «Les Grillottes ». Résultats de la prospection magnétique (a) et plan des vestiges enfouis (b) (C. Laplaige, G. Bossuet 2010)

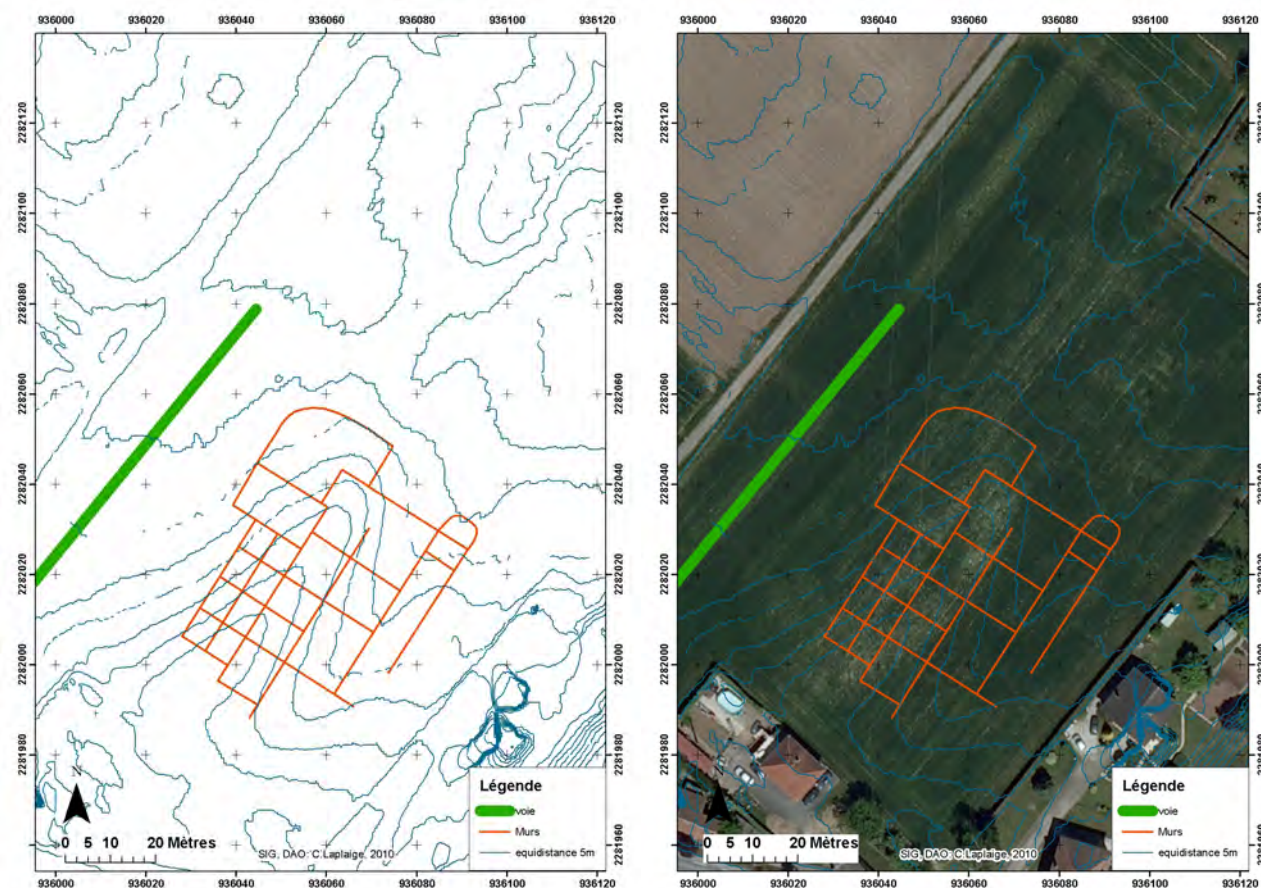


Figure 151. Mandœuvre (Doubs). « Les Grillottes ». Plan du bâtiment et topographie de la parcelle (a) et plan du bâtiment et anomalie phytographique (b) (C. Laplaige, 2010)

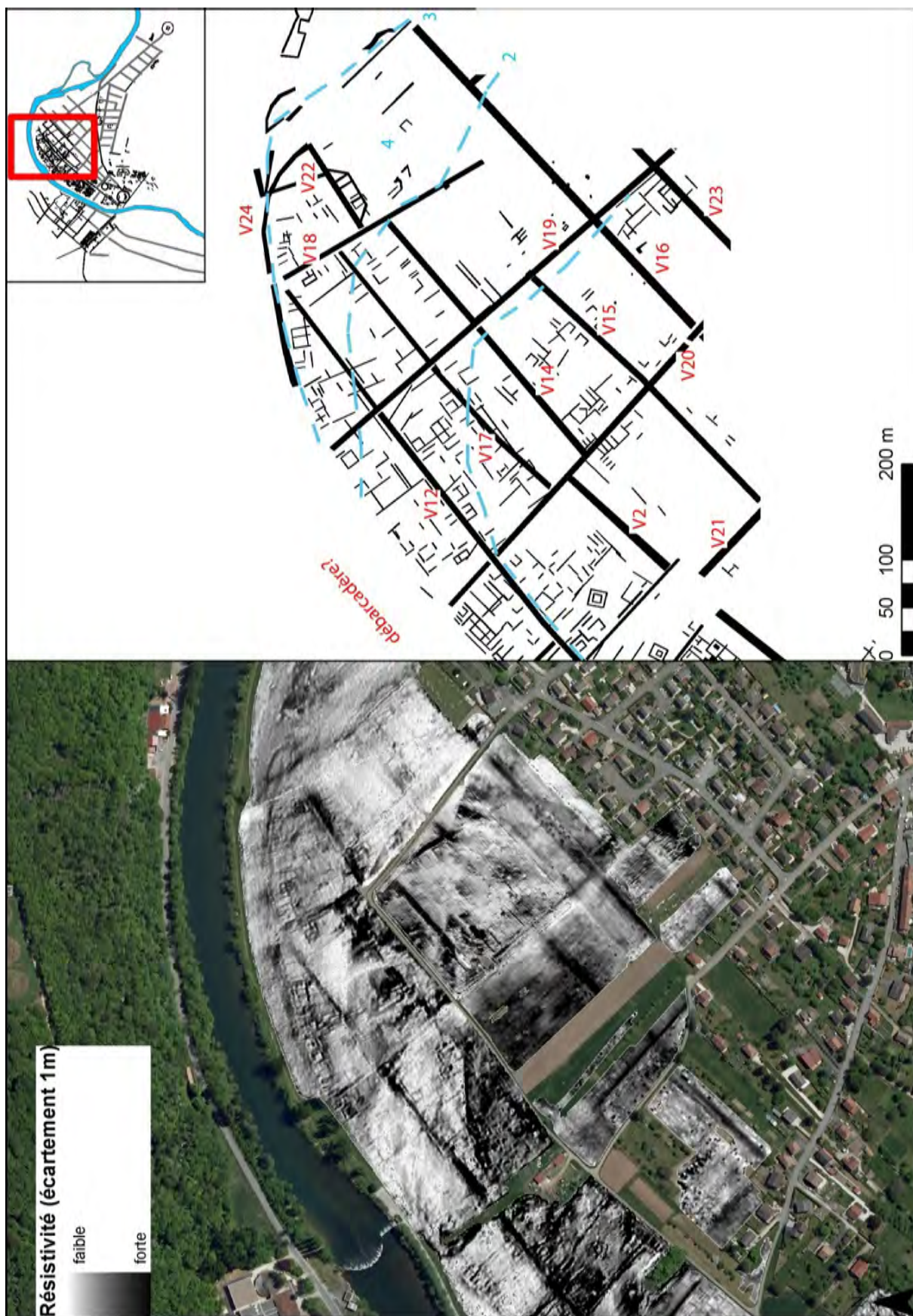


Figure 152. Mandeuve (Doubs). « Champs Pelletier ». Prospection électrique ARP (dispositif à 1m) et schéma d'interprétation (Source : Geocarta /PCR Mandeuve, C. Laplaige, 2011)

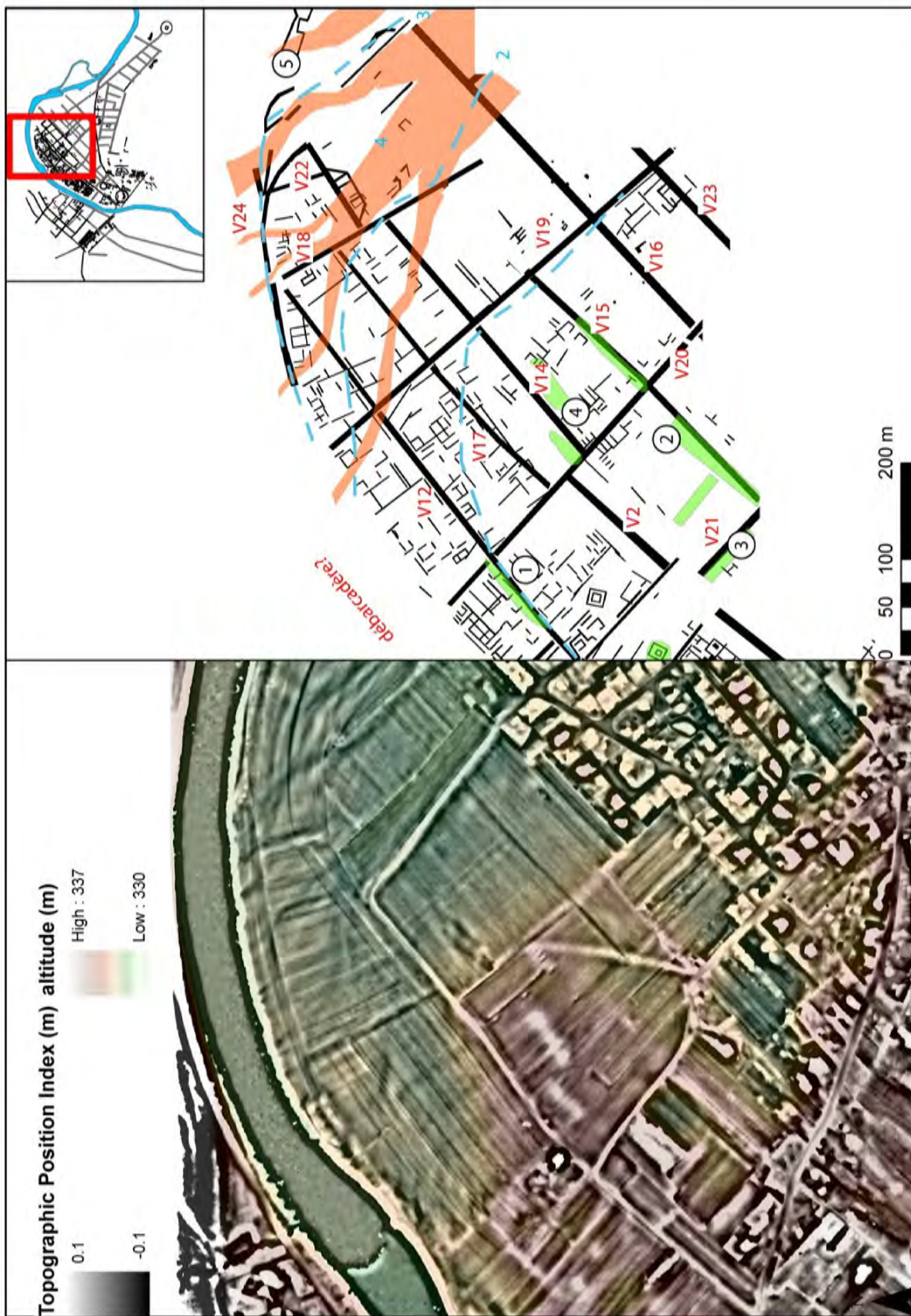


Figure 153. Mandeure (Doubs). Prospection LiDAR « Champ Pelletier». Valeurs altimétriques drapées sur le modèle «Topographic Position Index». Schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)



Figure 154. Mandœuvre (Doubs). « Champs Pelletier ». Schéma d'interprétation de la prospection électrique et du LiDAR (en vert), comparaison avec le plan d'ensemble du site de 1895 (Sources : Barbier, 1895, C. Laplaige 2011)



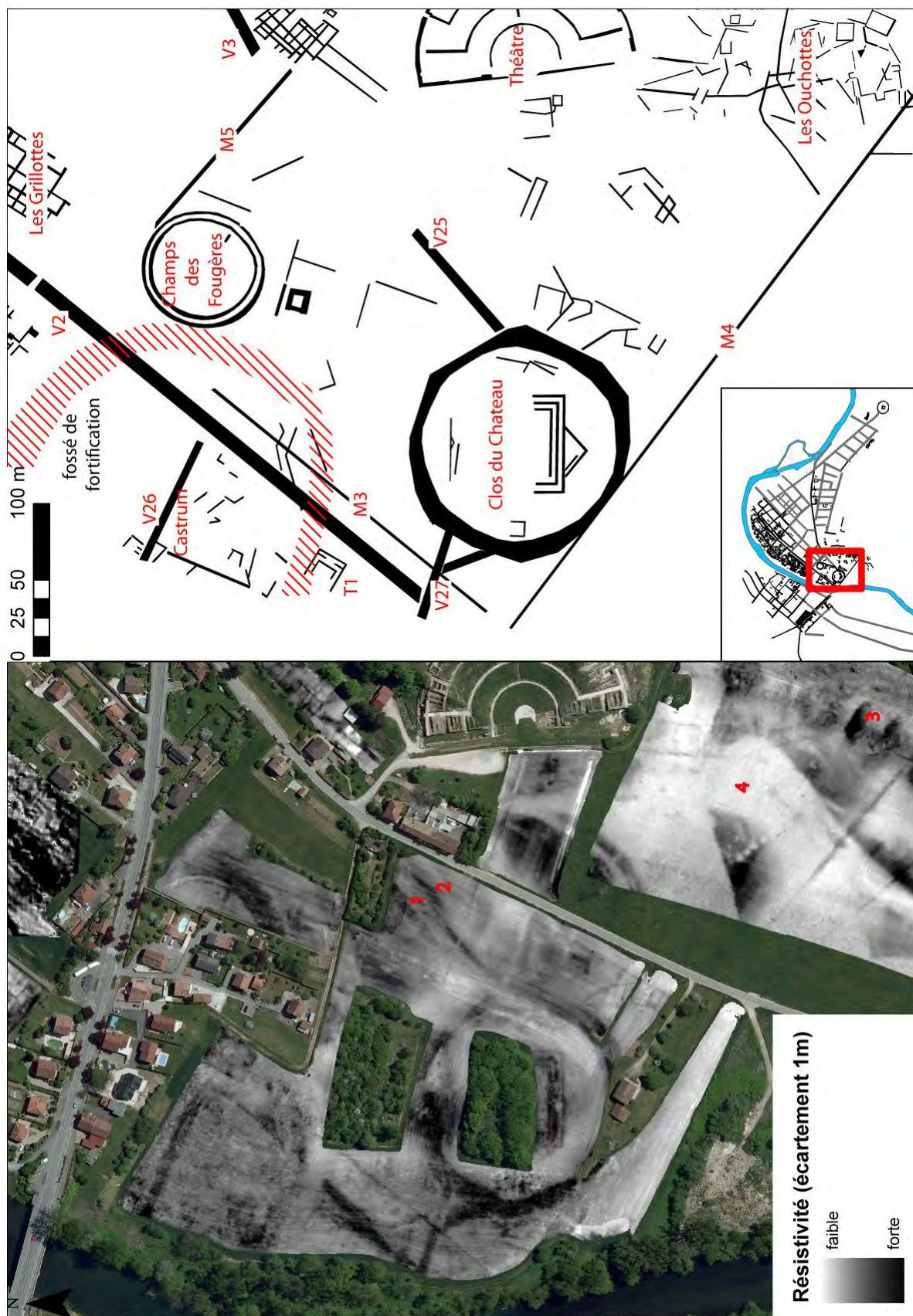


Figure 155. Mandeuve (Doubs). Prospection électrique ARP (dispositif à 1m) sur le complexe monumental sanctuaire-théâtre et schéma d'interprétation (Sources : Geocarta/PCR Mandeuve, C. Laplaige, 2011)

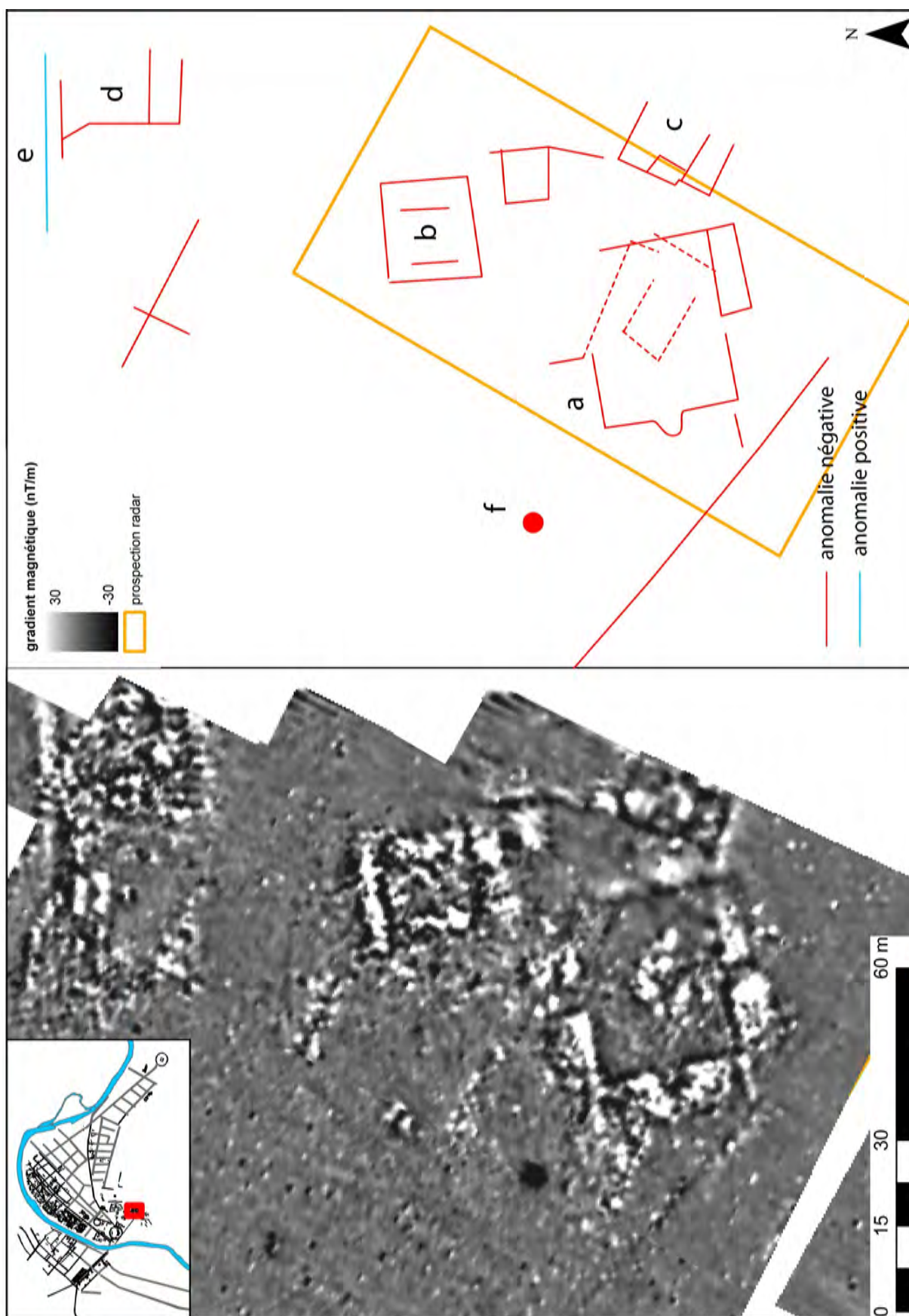


Figure 156. Mandeuve (Doubs). « Les Ouchottes ». Prospection magnétique et schéma d'interprétation (Source : Geocarta/PCR Mandeuve, C. Laplaige, 2011)

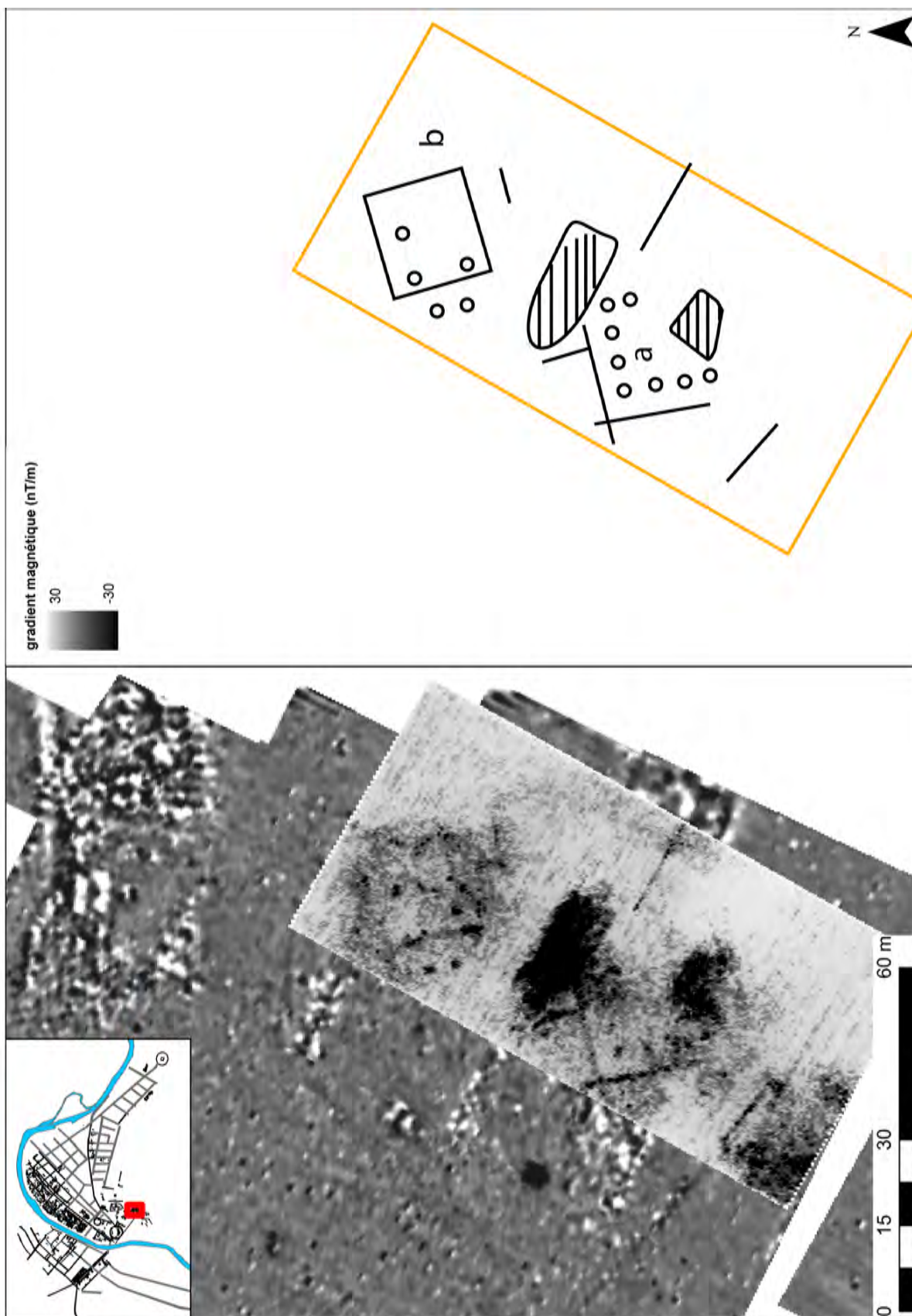


Figure 157. Mandeuve (Doubs). Les Ouchottes ». Prospection radar-sol. Carte coupe-profondeur (depth slice map) des réflexions détectées entre 1 m et 1,10 m et schéma d'interprétation (Source : Chassang et Bossuet, 2006, C. Laplaige, 2011)

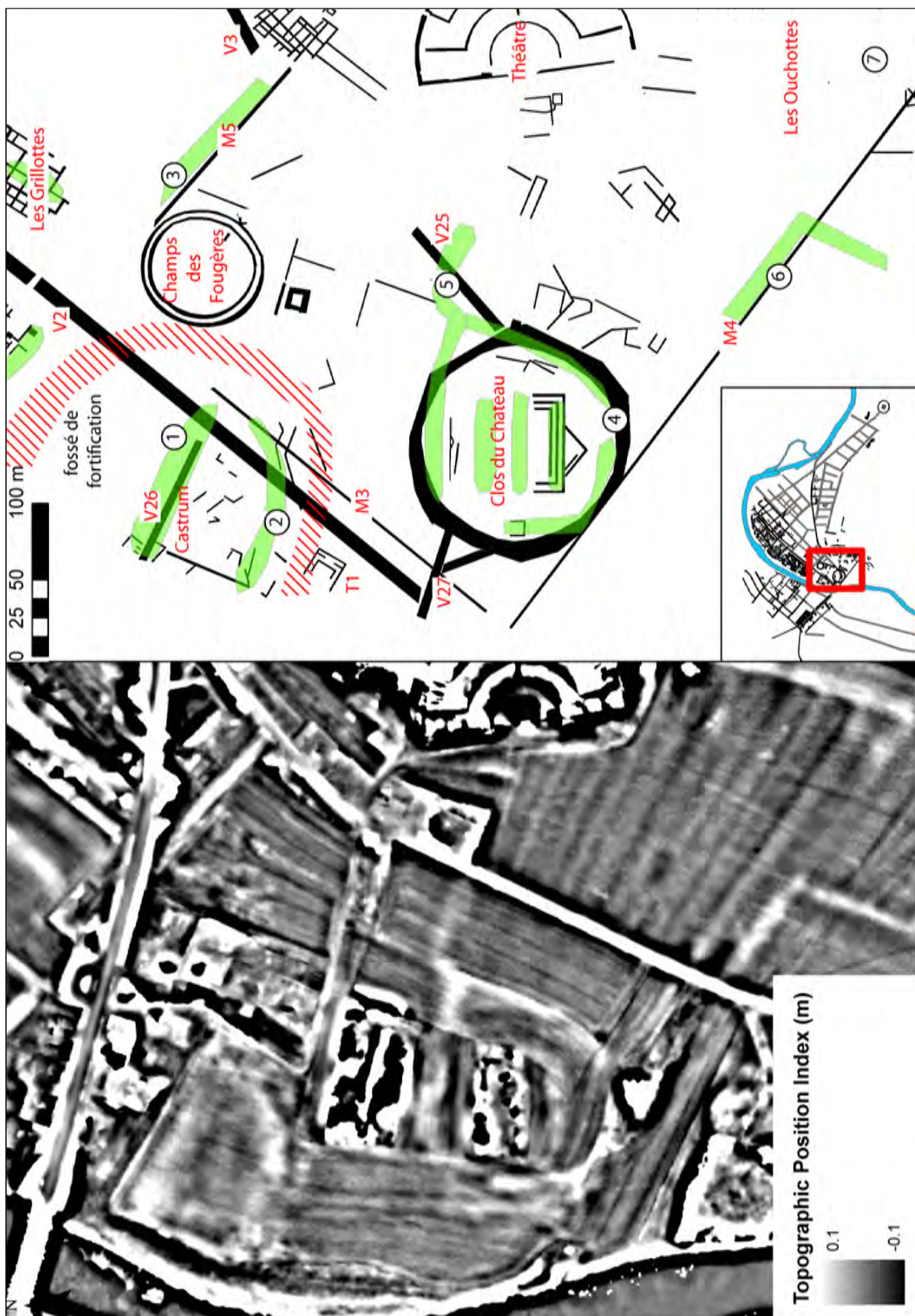


Figure 158. Mandeuire (Doubs). Résultats de la prospection LiDAR sur le complexe monumental culturel sous forme de «Topographic Position Index ». Schéma d'interprétation compilé de la prospection électrique et du LiDAR (en vert) (C. Laplaige, 2011)

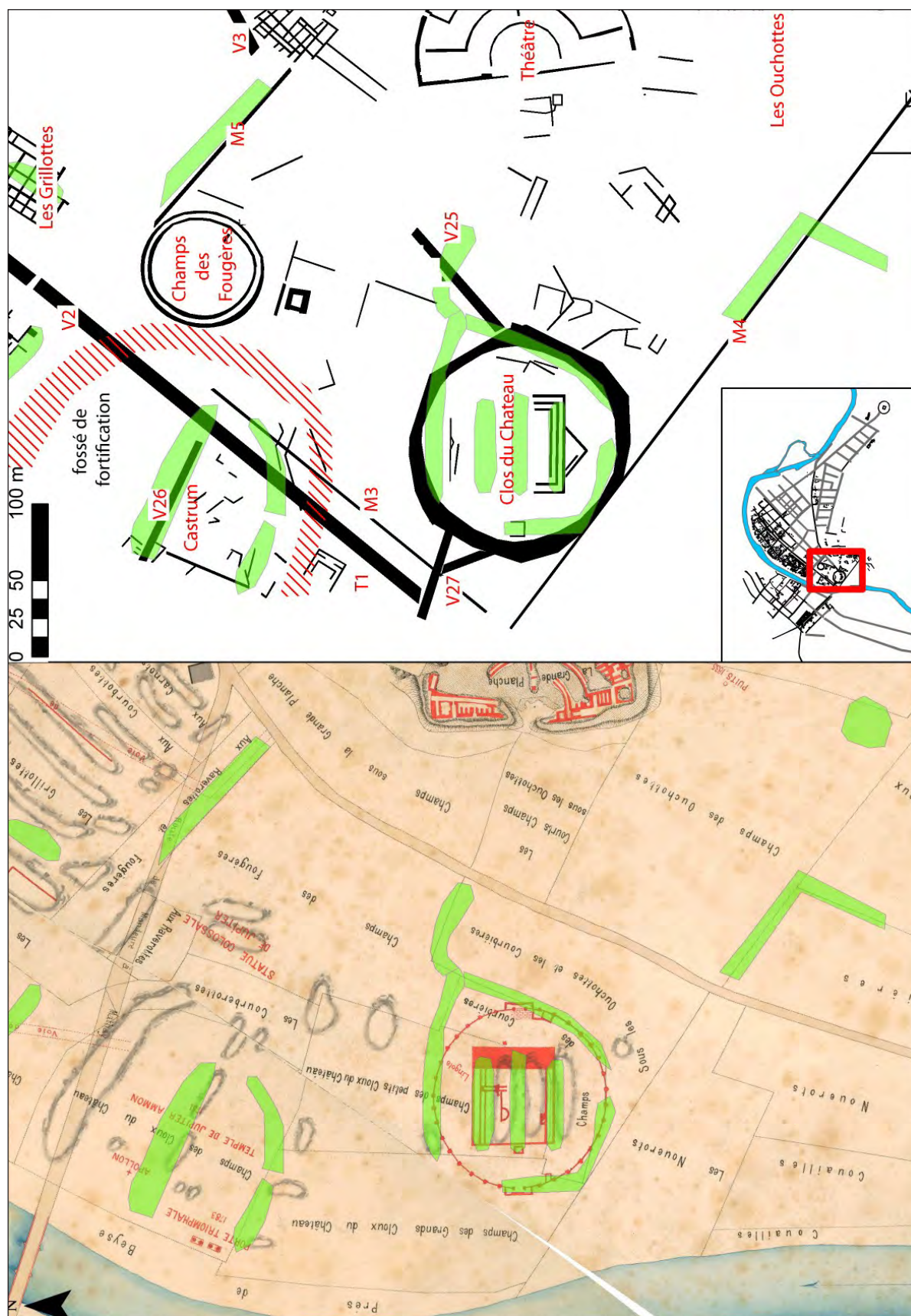


Figure 159. Mandœuvre (Doubs). Complexe monumental sanctuaire-théâtre. Plan complété des anomalies détectées par le LiDAR et la prospection électrique, plan des ruines romaines publié à la fin du XIXème siècle. (C. Lapaige, 2011, Barbier 1895)



Figure 160. Mandeuire (Doubs). Indices archéologiques repérés en prospection aérienne au sommet du plateau surplombant le théâtre (C. Laplaige, 2011, clichés : R. Goguey)

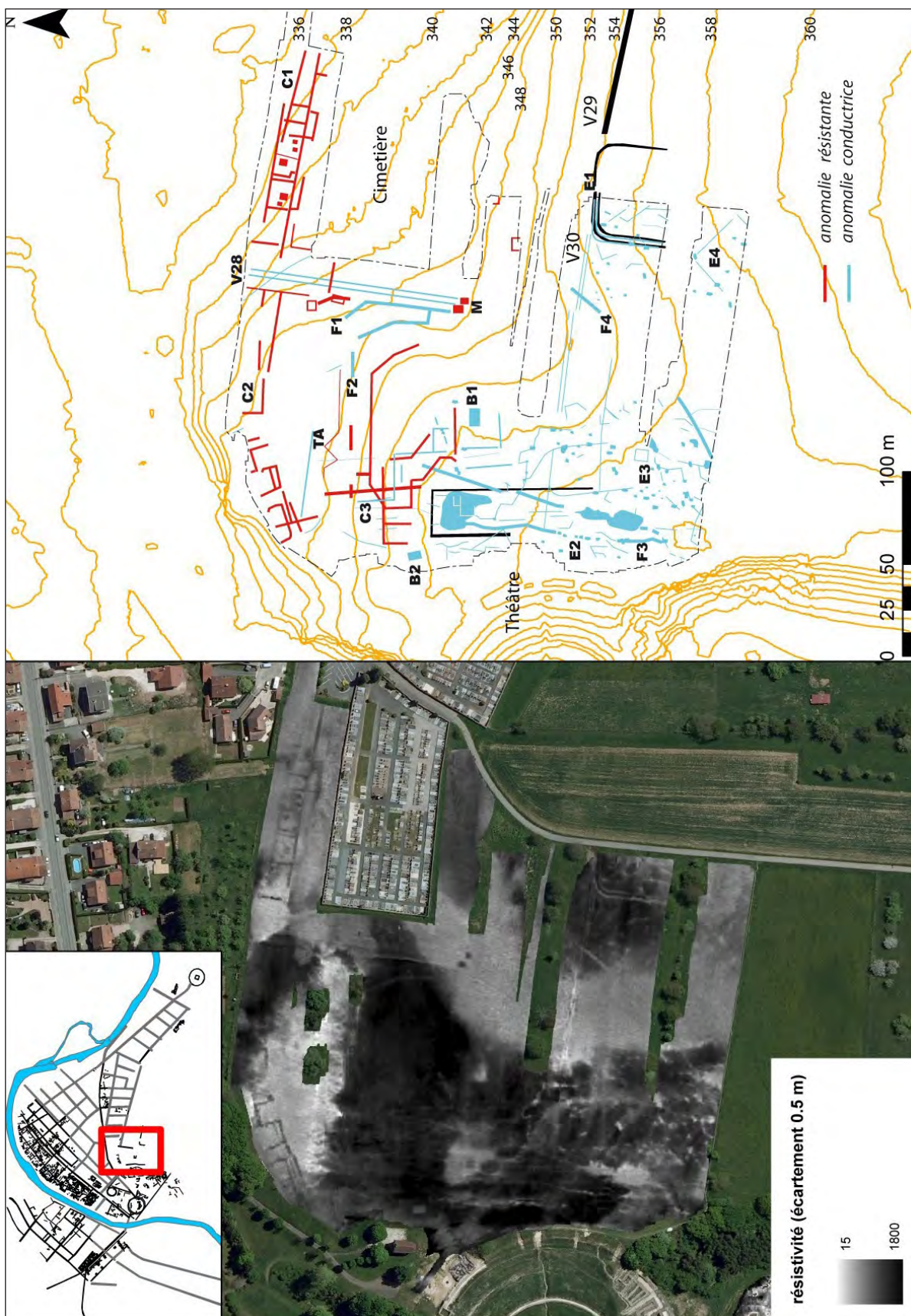
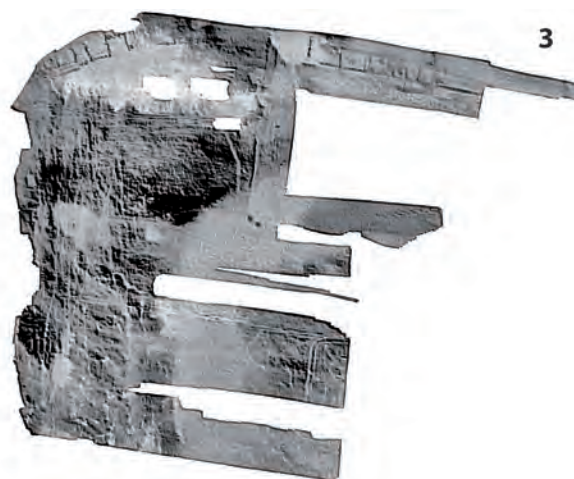
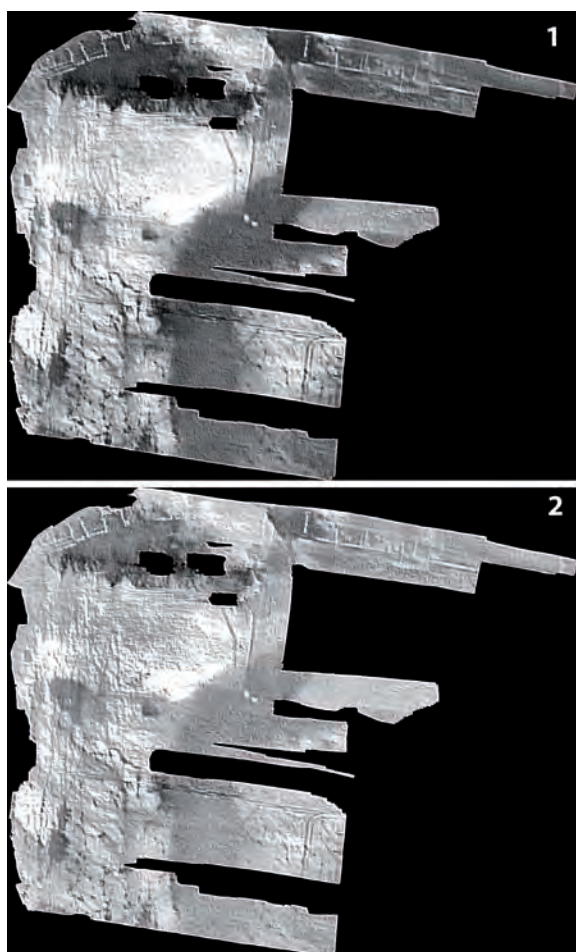


Figure 161a. Mandœuvre (Doubs Prospection électrique ARP (dispositif à 1m) du plateau en arrière du théâtre. Schéma d'interprétation et altimétrie de la zone (C. Laplaige, 2011)



**Mandeure. "Sur la Grapiotte".  
Variations de la résistivité électrique apparente  
Système ARP, voie 1, 0-50 cm de profondeur.**

Image 1 et 2 après filtrage directionnel  
(valeurs résistantes en clair, valeurs conductrices en sombre)

Image 3, après filtrage directionnel et augmentation de contraste  
(valeurs résistantes en sombre, valeurs conductrices en clair)

Acquisition (S. Trillaud, Sept.-2009)

Traitement (S. Trillaud, G. Bossuet, C. Laplaige, Nov.-2009)

Figure 161b. Mandeure (Doubs). Application de différents traitements à l'image de la prospection électrique effectuée sur le sommet du plateau (G. Bossuet, C. Laplaige, 2011)



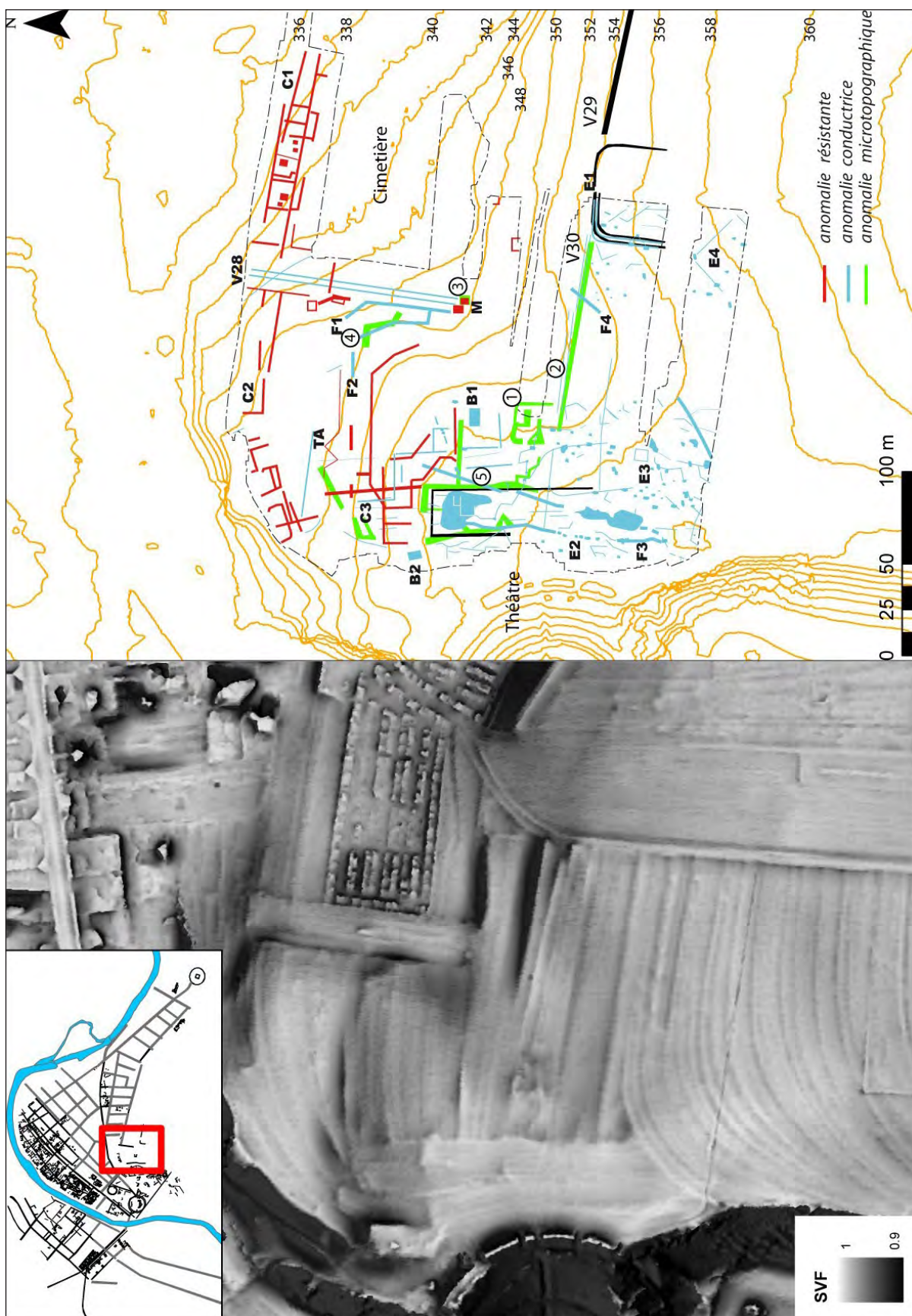


Figure 162. Mandeuve (Doubs). Résultats de la prospection LiDAR du plateau sous forme du «Sky View Factor». Schéma d'interprétation de la prospection électrique et du LiDAR (en vert) (C. Lapaige, 2011)



Figure 163. Mandœuvre (Doubs). Représentation du «Sky View Factor ». Schéma d'interprétation des données géophysiques et LiDAR superposé au plan cadastral napoléonien de 1836. (C. Lapaige, 2011)

a/



b/

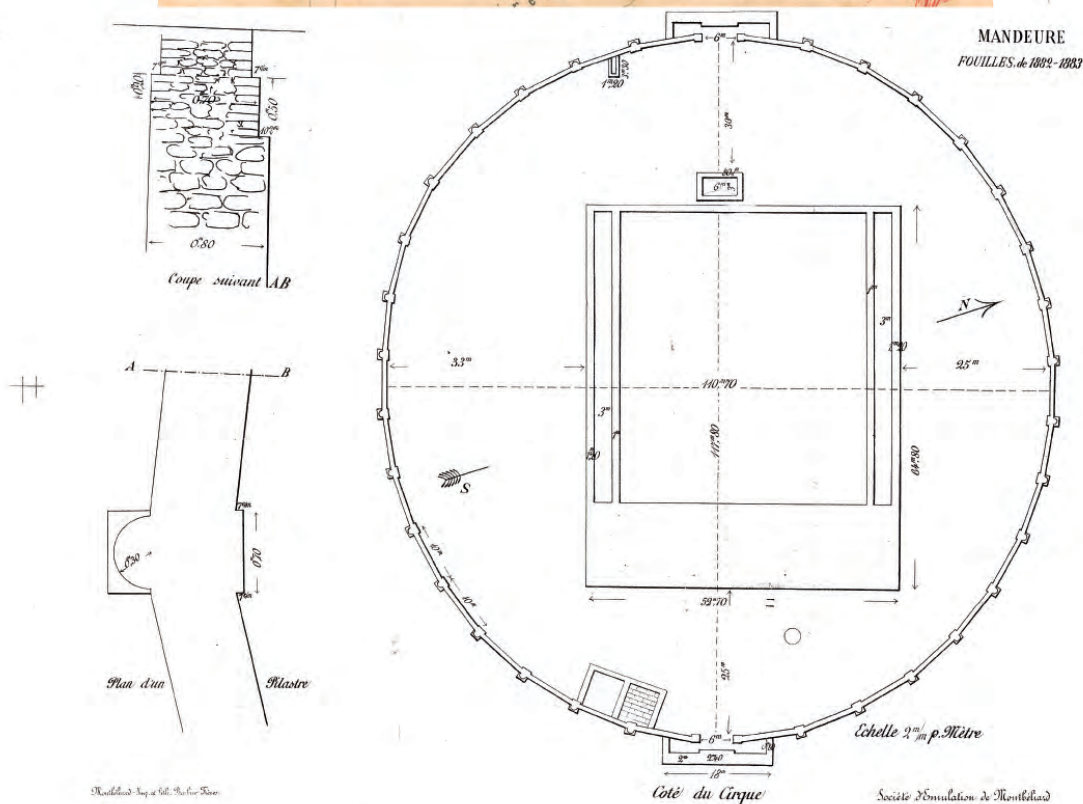


Figure 164. Mandeuire (Doubs). (a) Extrait du plan de 1895 montrant le plan des vestiges du théâtre antique et la 2ème version du plan du sanctuaire des « Cloux du Château »; (b) 1ère version du relevé en plan côté du sanctuaire par H. L'Épée en 1883 (Sources : P. Barbier 1895, C. Duvernoy, 1883)

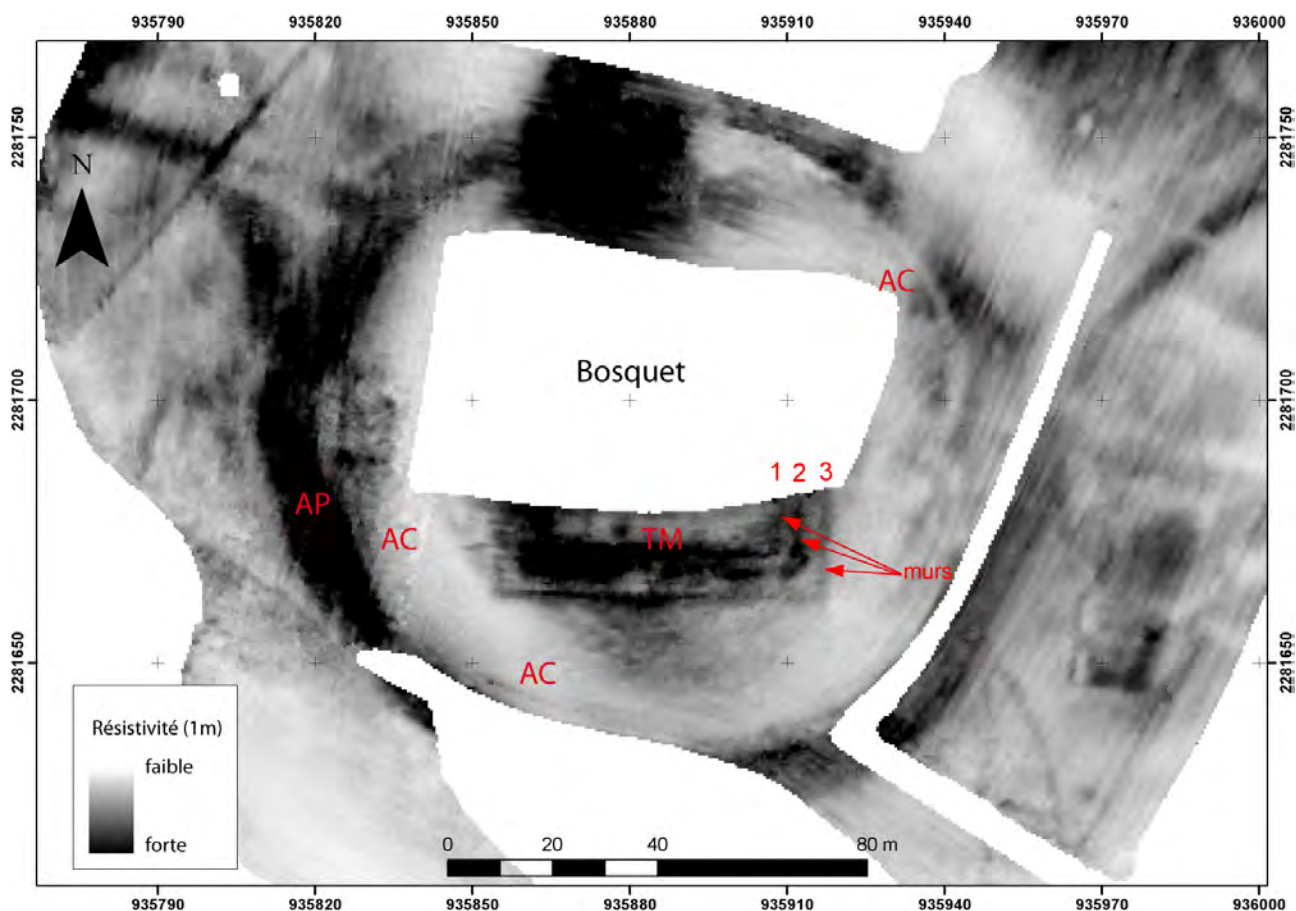


Figure 165. Mandeuve (Doubs). Prospection électrique ARP (dispositif à 1m) du sanctuaire des « Cloux du Château » (Sources : Geocarta/PCR Mandeuve, C. Laplaige, 2011)

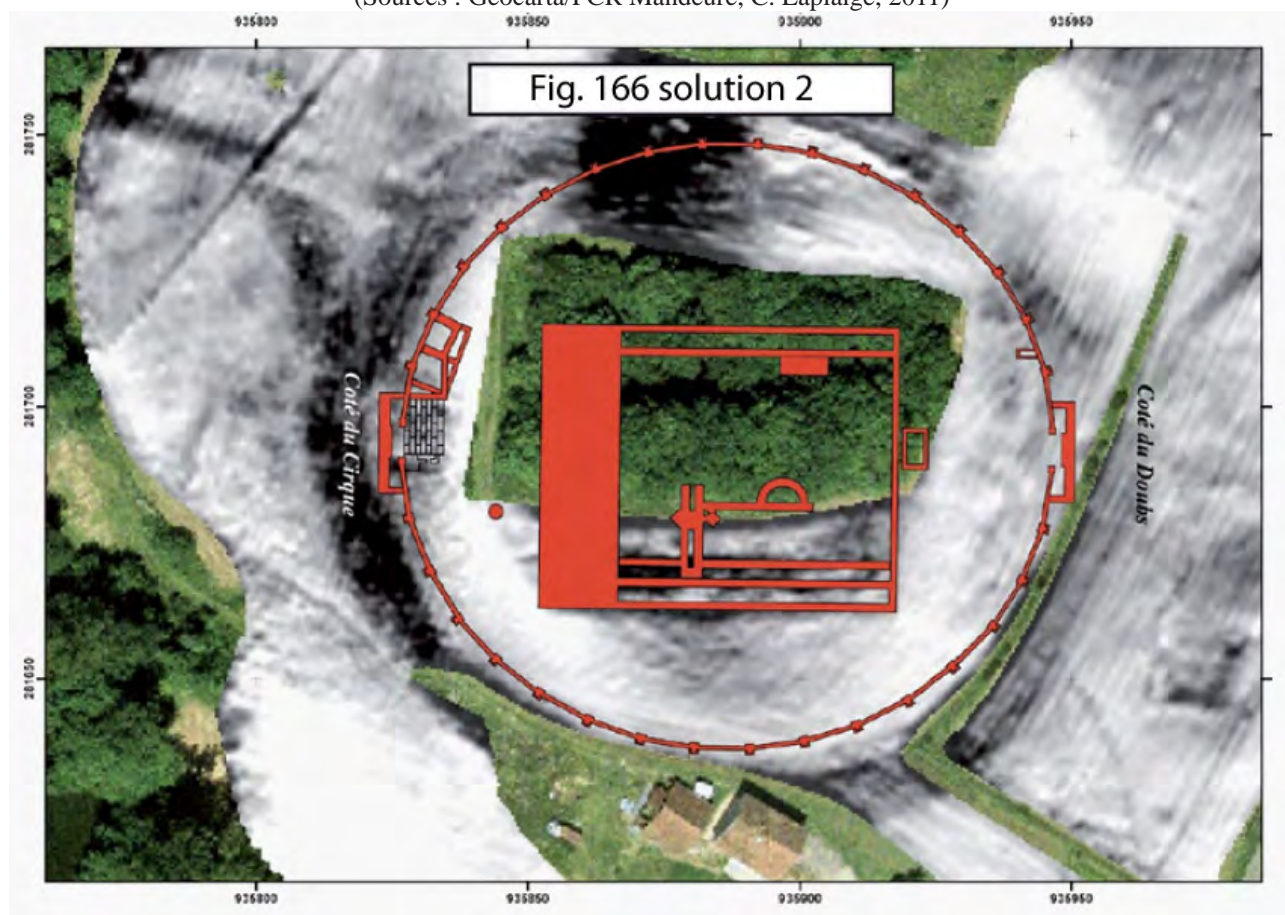


Figure 166. Mandeuve (Doubs). Proposition de restitution du sanctuaire des « Cloux du Château » sur la carte de résistivité électrique (G. Bossuet, M. Thivet, 2007)

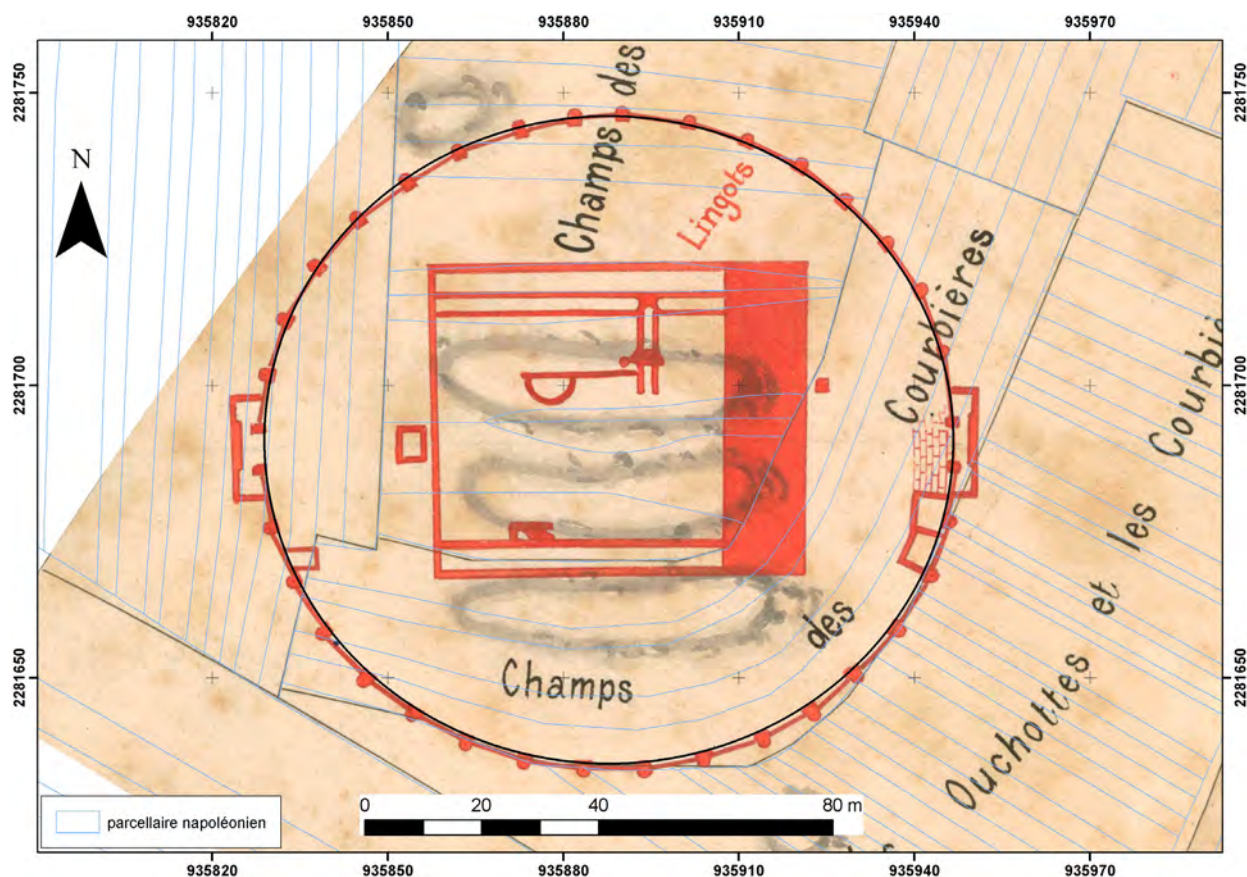


Figure 167. Mandeuire (Doubs). Redressement de la portion du plan de 1895 montrant la 2ème version du plan du sanctuaire. Les points de repères choisis sont les limites parcellaires des lieux-dits du plan cadastral napoléonien de 1836. (C. Laplaige, 2011)

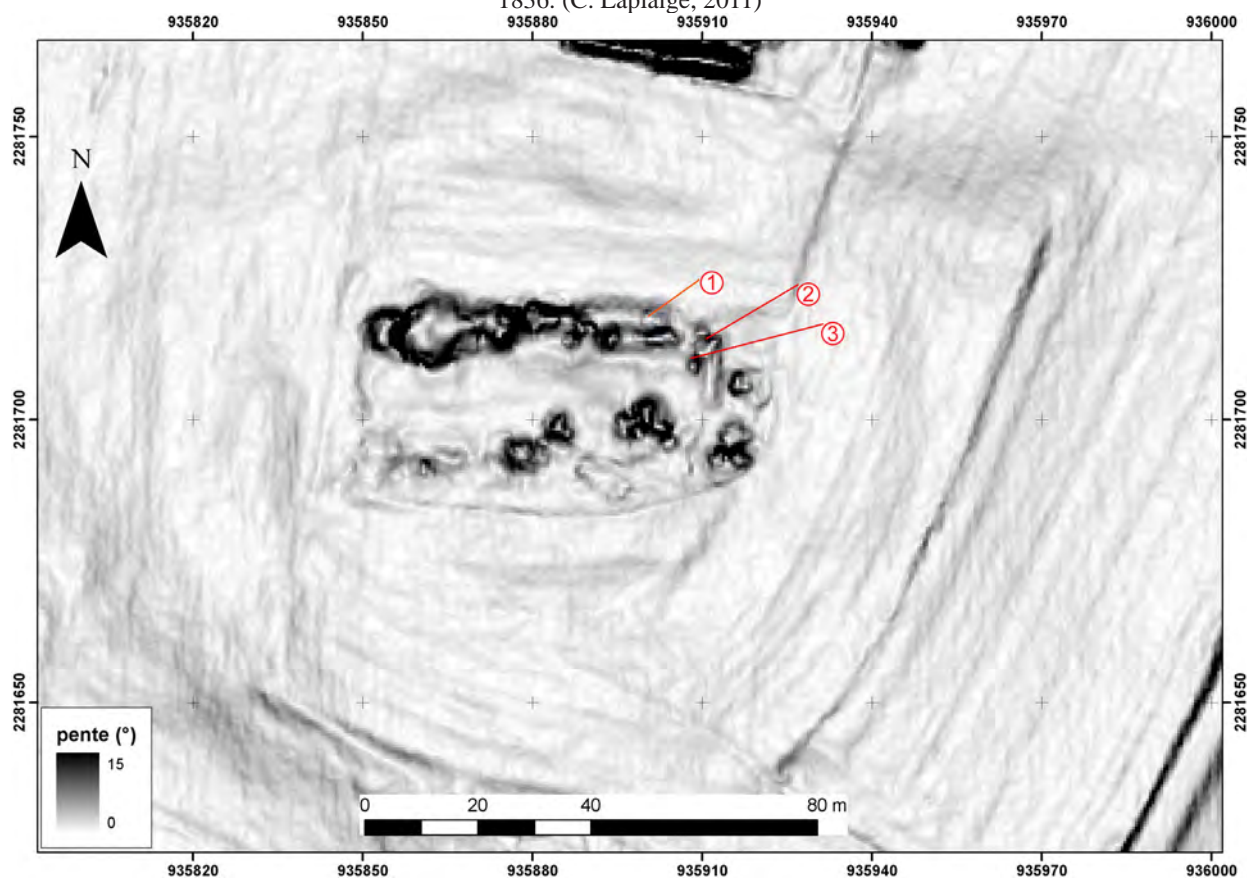


Figure 168. Mandeuire (Doubs). « Clos du Château ». Prospection LiDAR. Carte des pentes révélant les vestiges (1, 2 et 3) de la façade nord du temple (C. Laplaige, 2011)



Figure 169. Mandeuire (Doubs). « Clos du Château ». Indices archéologiques apparus sur l'orthophotographie de 2009 : E1 espace de circulation circonscrit au périmètre du sanctuaire, M, murs de la façade sud du temple, V22 et V25, tronçons de voies aboutissant au sanctuaire (C. Laplaige, 2011)

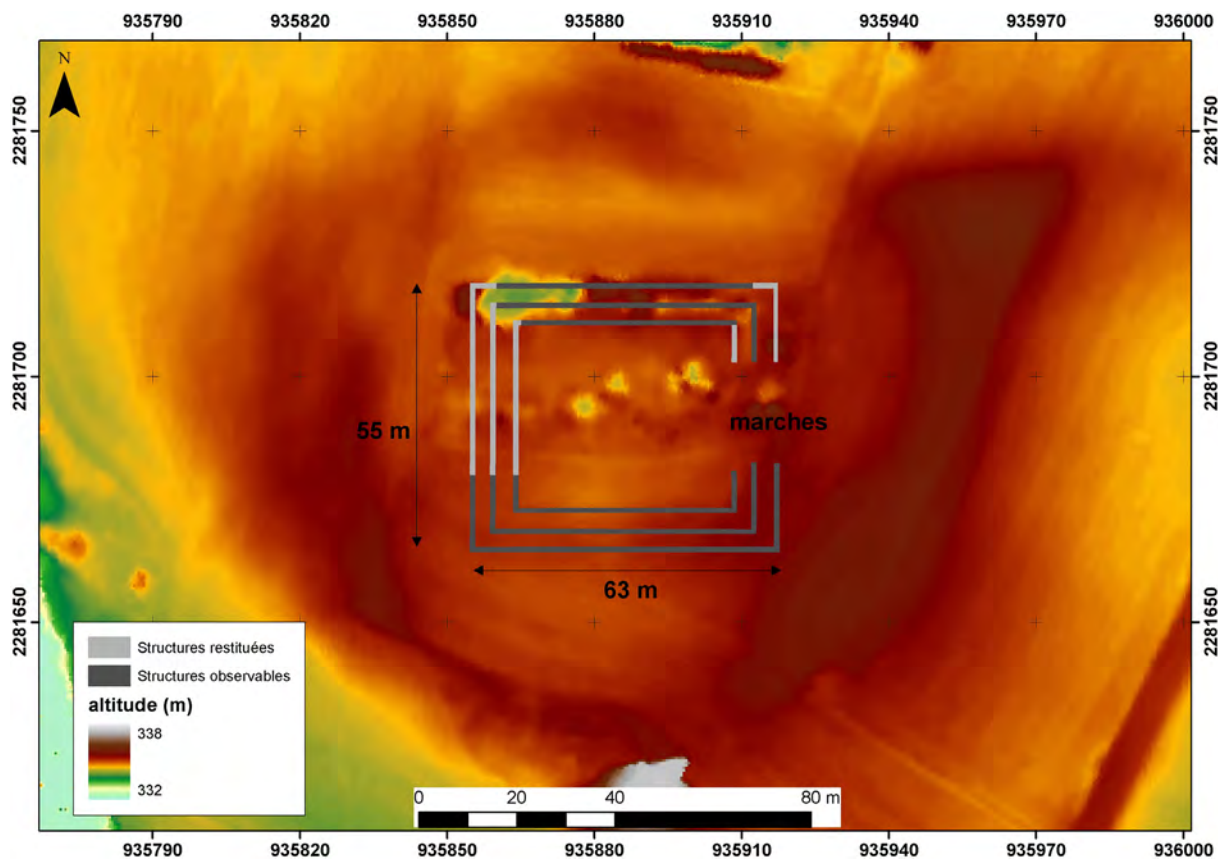


Figure 170. Mandeuire (Doubs). Restitution du plan du bâtiment central du sanctuaire drapée sur le modèle altimétrique (C. Laplaige, 2011)

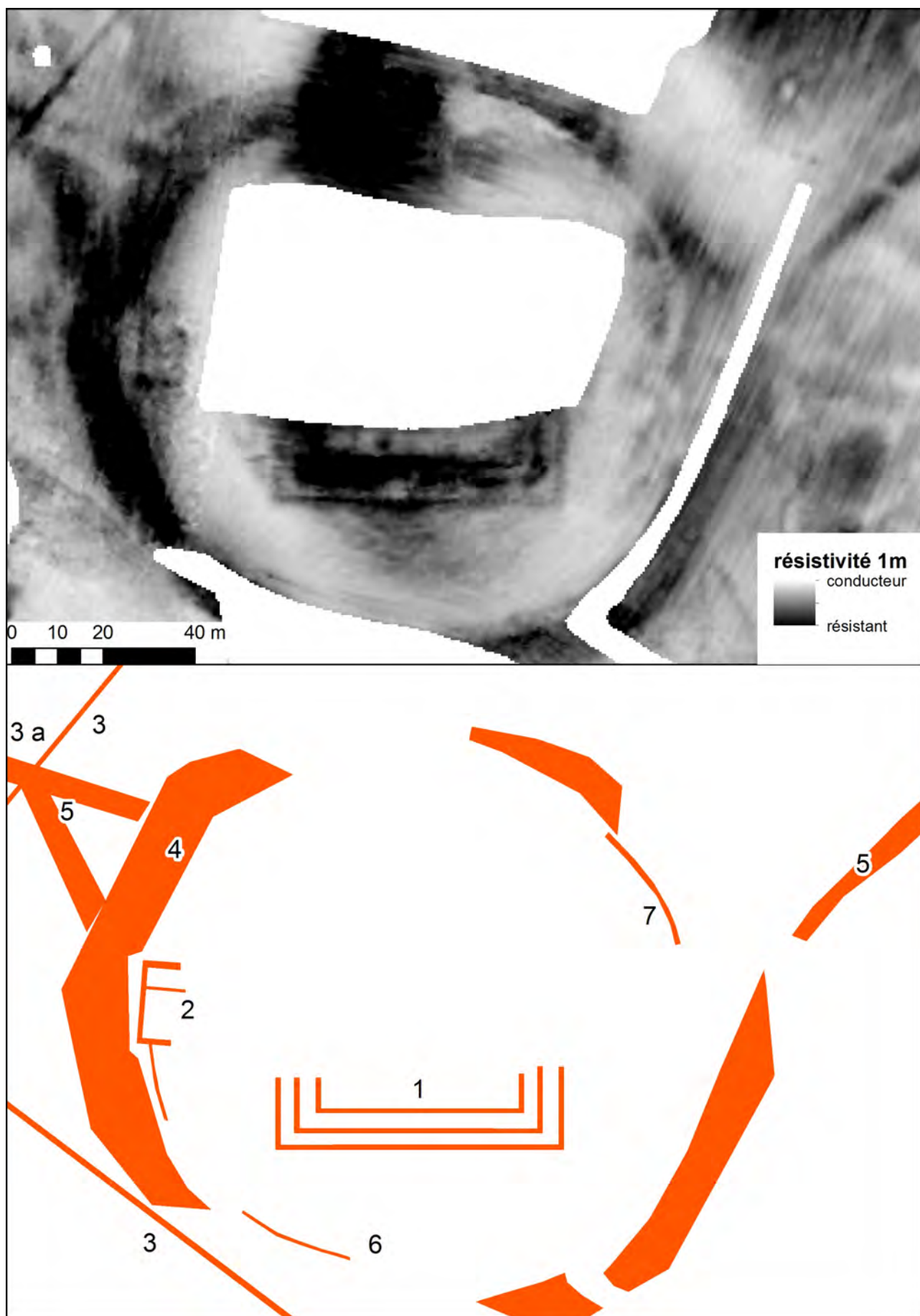




Figure 172. Mandeuire (Doubs). Orthophotographie de 2009 et schéma d'interprétation : (1) murs de la façade sud du temple, (4) espace de circulation à pans coupés, (5) voies (C. Laplaige, 2011)



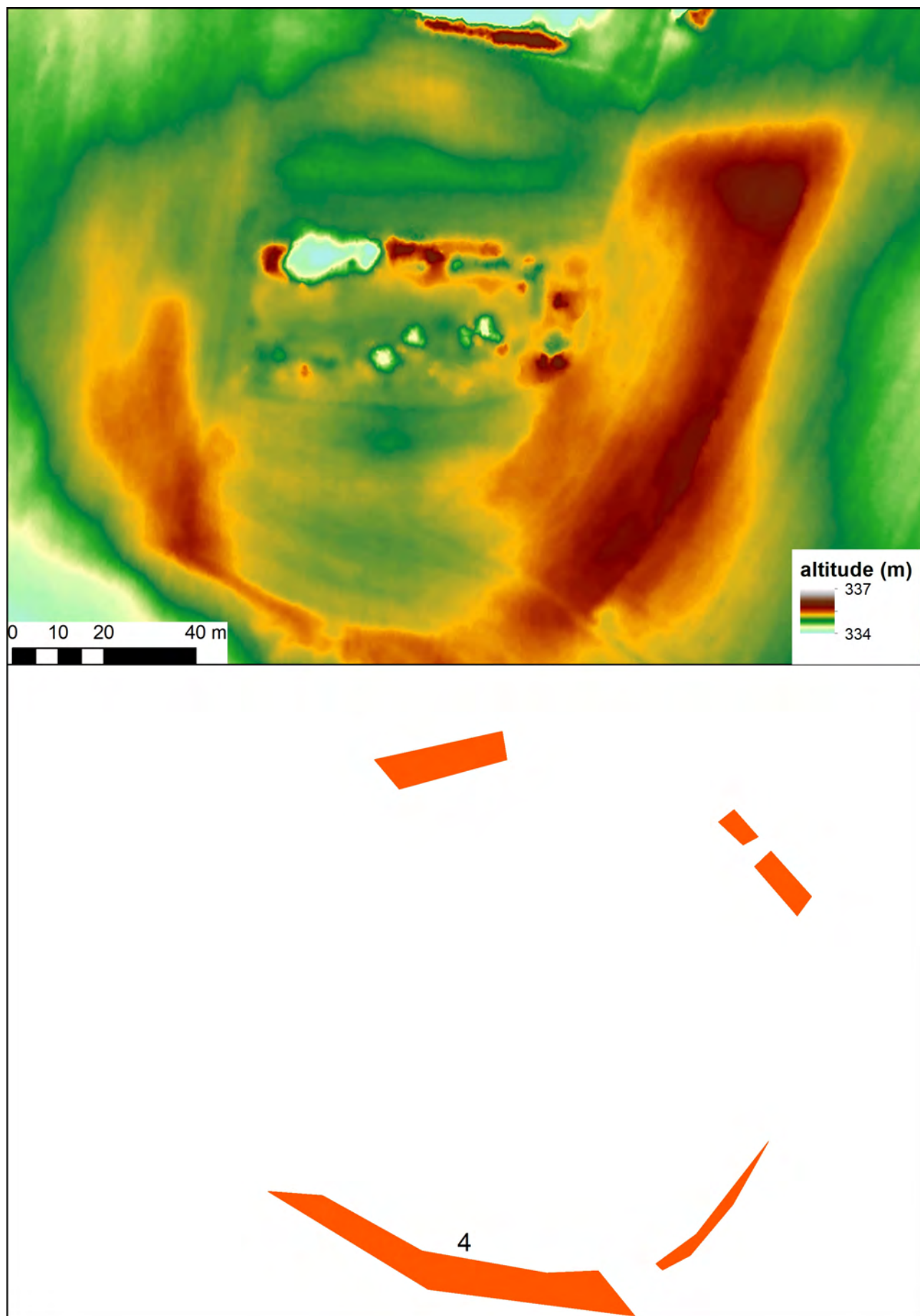


Figure 173. Mandeuire (Doubs). Résultat de la prospection LiDAR sous forme altimétrique et schéma d'interprétation : (4) espace de circulation à pans coupés (C. Laplaige, 2011)

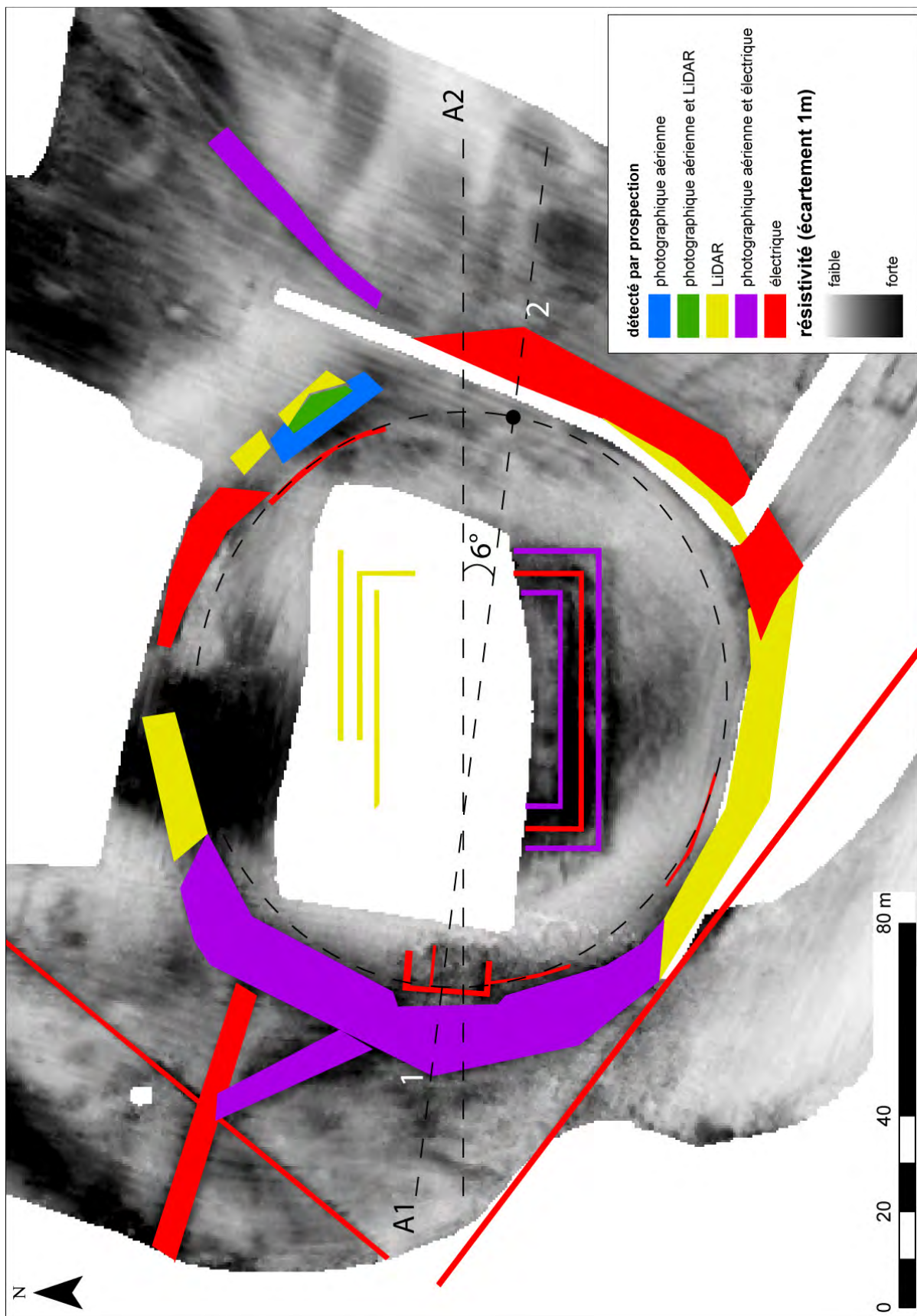


Figure 174a. Mandeuire (Doubs). Restitution du plan du sanctuaire des « Cloux du Château » à partir de chaque méthode de prospection drapée sur la carte de résistivité électrique (C. Laplaige, 2011)

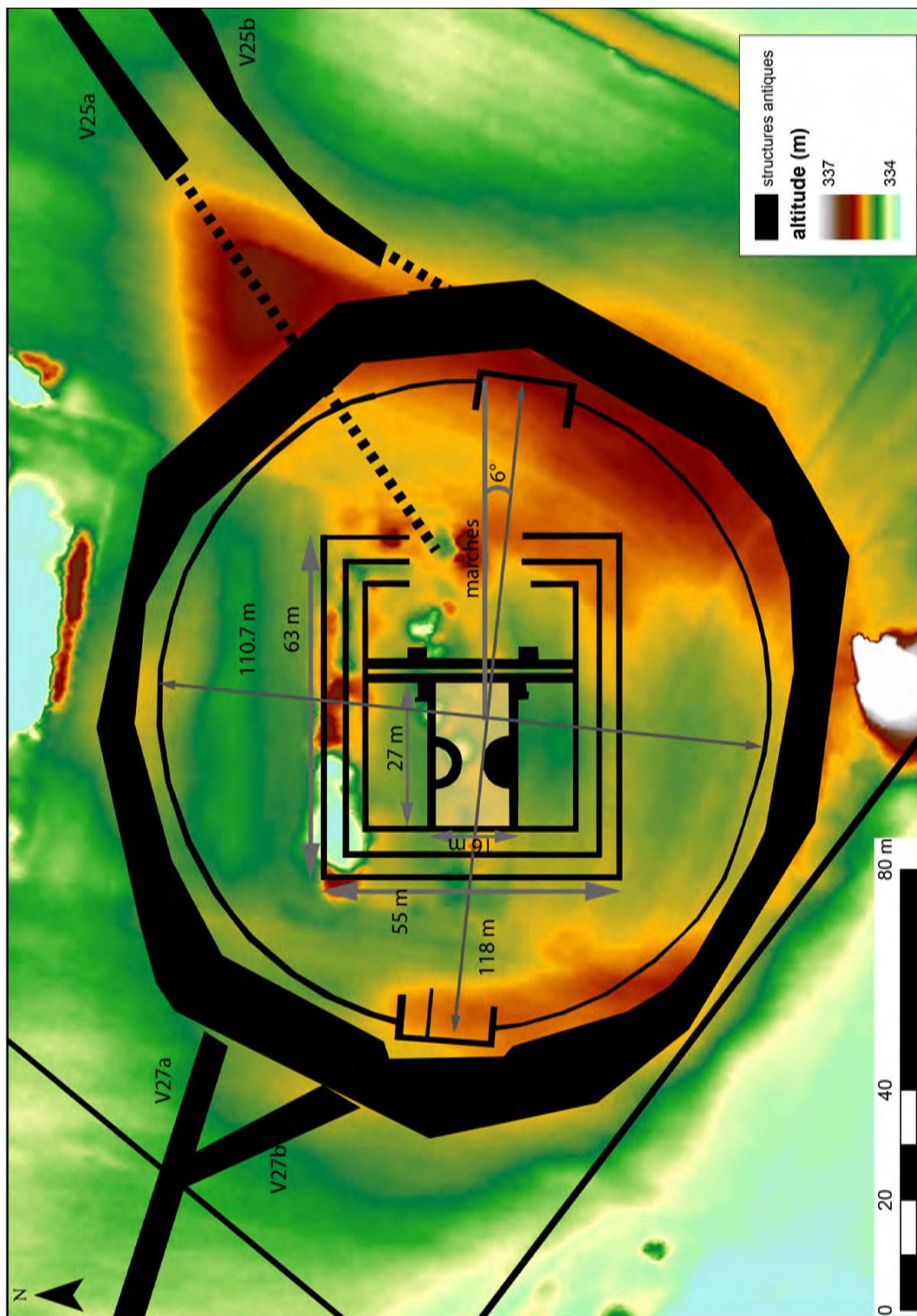


Figure 174b. Mandœuvre (Doubs). Restitution du plan du sanctuaire des « Cloux du Château » drapée sur le Modèle Numérique de Terrain (C. Laplaige, 2011)

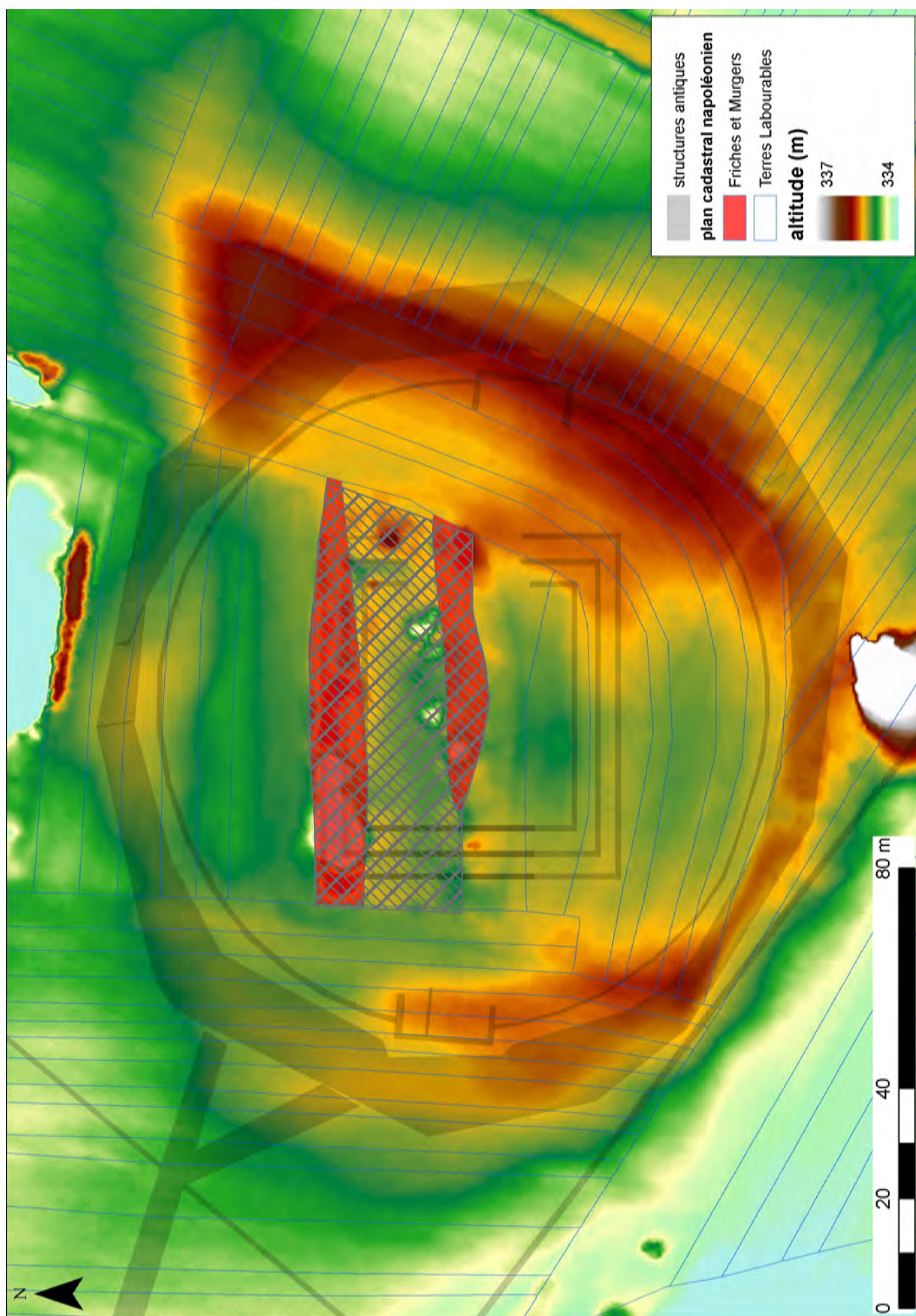


Figure 175. Mandeuve (Doubs). Restitution du plan du sanctuaire des « Cloux du Château » drapée sur le MNT et le plan parcellaire cadastral napoléonien (C. Laplaige, 2011)

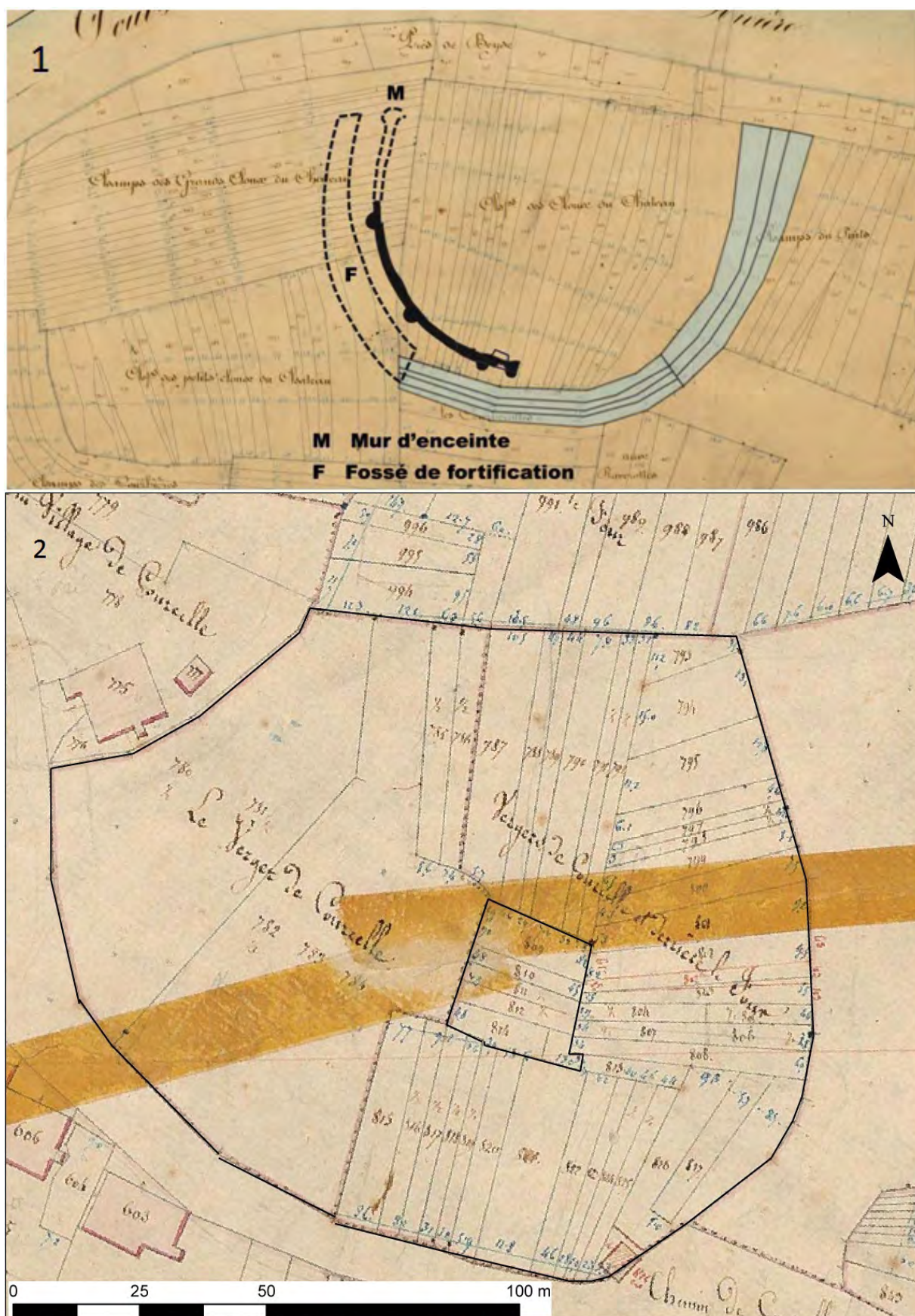


Figure 176. Mandeure (Doubs). Exemples de constructions antiques pérennisées dans le découpage parcellaire du cadastre napoléonien de 1836. (1) Fossé d'enceinte de la fortification du Bas-Empire (Section G dite de « Coudroye et Malletière » 1ère feuille (2) Edifice de plan rectangulaire (temple ?) inscrit dans une enceinte sub-circulaire (Section A dite de « Courcelle et Glavaux », 1ère feuille) (Bossuet, 2011, Thivet et al., 2009)

couverture	contexte géomorphologique	nom du site	type de site	structures et artefacts recherchés	Em	prospection géophysique		Radars	détecteur	p. pédestre reconnaissance à vue	aérien	LIDAR	
						élec	mag						
bois	plateau	Chailluz 1	habitat antique isolé avec enclos	murs/fosses/sols mobilier talus, fossés							0	-	
		Chailluz 2	habitat antique isolé avec enclos	mur/fosses/sols mobilier talus, fossés							0	++	
		Chailluz 3	habitat antique isolé avec enclos	murs/fosses/sols mobilier talus, fossés							0	0	++
prairie	plateau	Dolving	mardelle, zone humide	remplissage bassin versant				++			0	++	
		Chatillon	éperon barré et habitat antique isolé	murs/fosses/sols mobilier talus, fossés					0		0	-	
		Chamabon	escarpement encerclé	talus, fossés murs/fosses/sols							0	++	
		arrière du théâtre	camp, habitat	voirie murs/fosses/sols mobilier							+	-	
		Bonnots d'arvue	habitat antique isolé	murs/fosses/sols							++	-	
		Plaine de Bourguignon	chenaux anciens	formations alluviales quaternaires paléohydrographie		++						+	+
		l'Essarté	habitat, artisanat et nécropole	murs/fosses/sols fours/foyers fossés circulaires et quadrangulaires								+	0
		Faubourg de Pont	habitat et artisanat	voirie mur/fosses/sols								+	+
		les Combolles	habitat et artisanat	voirie murs/fosses/sols mobilier								++	+
		les Combottes	habitat et artisanat	voirie murs/fosses/sols								+	-
sol nu	plaine alluviale	les Grillottes	ensemble monumental	voirie murs/fosses/sols							++	-	
		Champs Pelletier	habitat et artisanat	voirie murs/fosses/sols paléohydrographie							++	-	
		le complexe culturel	ensemble monumental	voirie murs/fosses/sols							0	+	
		les Ouchottes	ensemble monumental	voirie murs/fosses/sols							+	-	
		les Cloux du Château	ensemble monumental	voirie murs/fosses/sols		++						+	-
				voirie murs/fosses/sols								+	-

Figure 177. Tableau comparatif des résultats des différentes prospections sur les sites étudiés (C. Laplaige, G. Bossuet, 2011)



Mathay, les «Combolles»



Mandeuire, les «Champs Pelletier»



Mandeuire, les «Ouchottes»



Mandeuire, aux «Isles Devant Mathay»

Figure 178. Mandeuire, Mathay (Doubs). Photographies de l'inondation de février 2006 (clichés : P. Mougin)

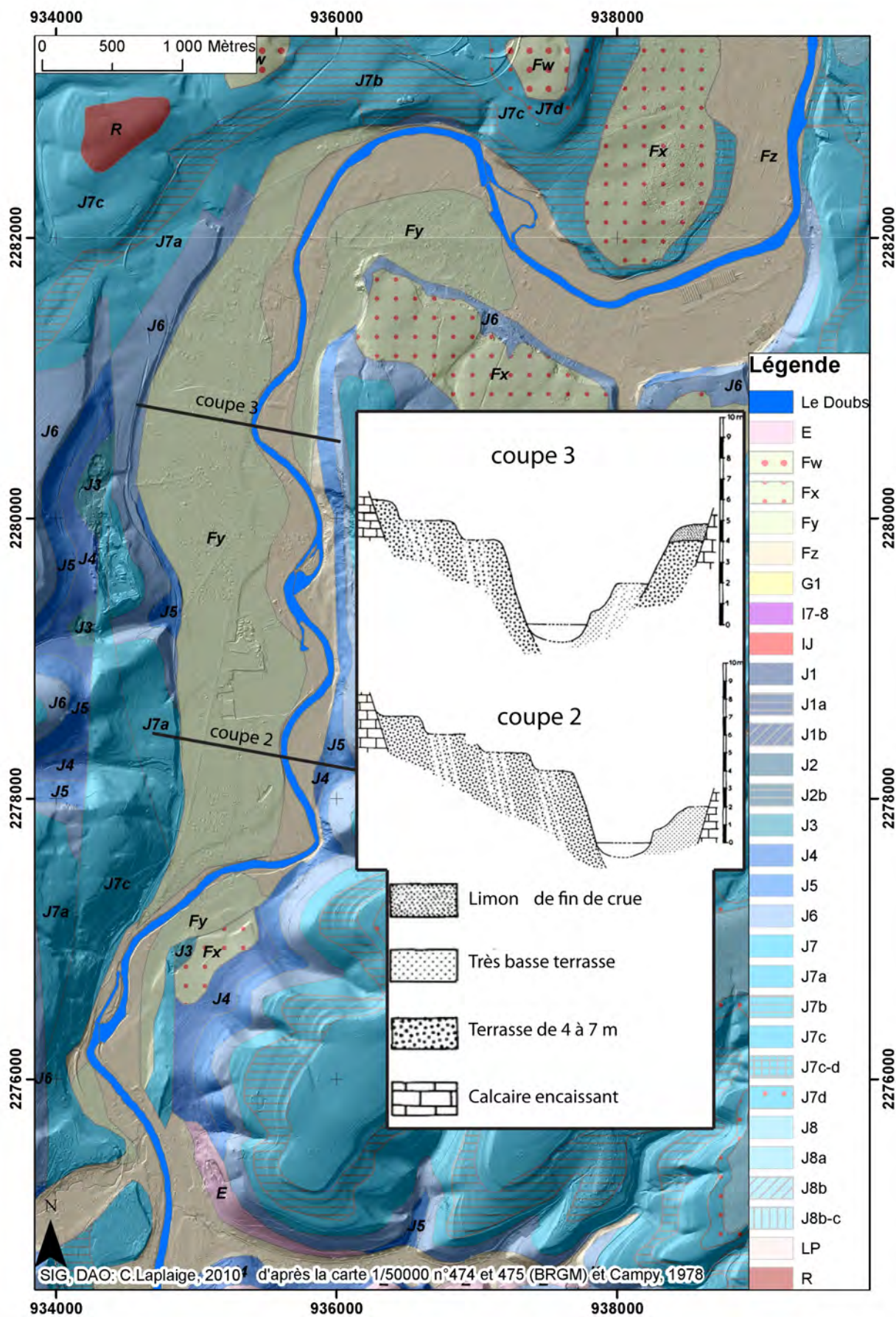


Figure 179a. Extrait de carte géologique entre Pont-de-Roide au sud, et Valentigney au nord, drapé sur le modèle ombré du terrain (315\_45). Coupes géologiques (C. Laplaige, 2011, données : BRGM et Campy & Thevenin, 1978)



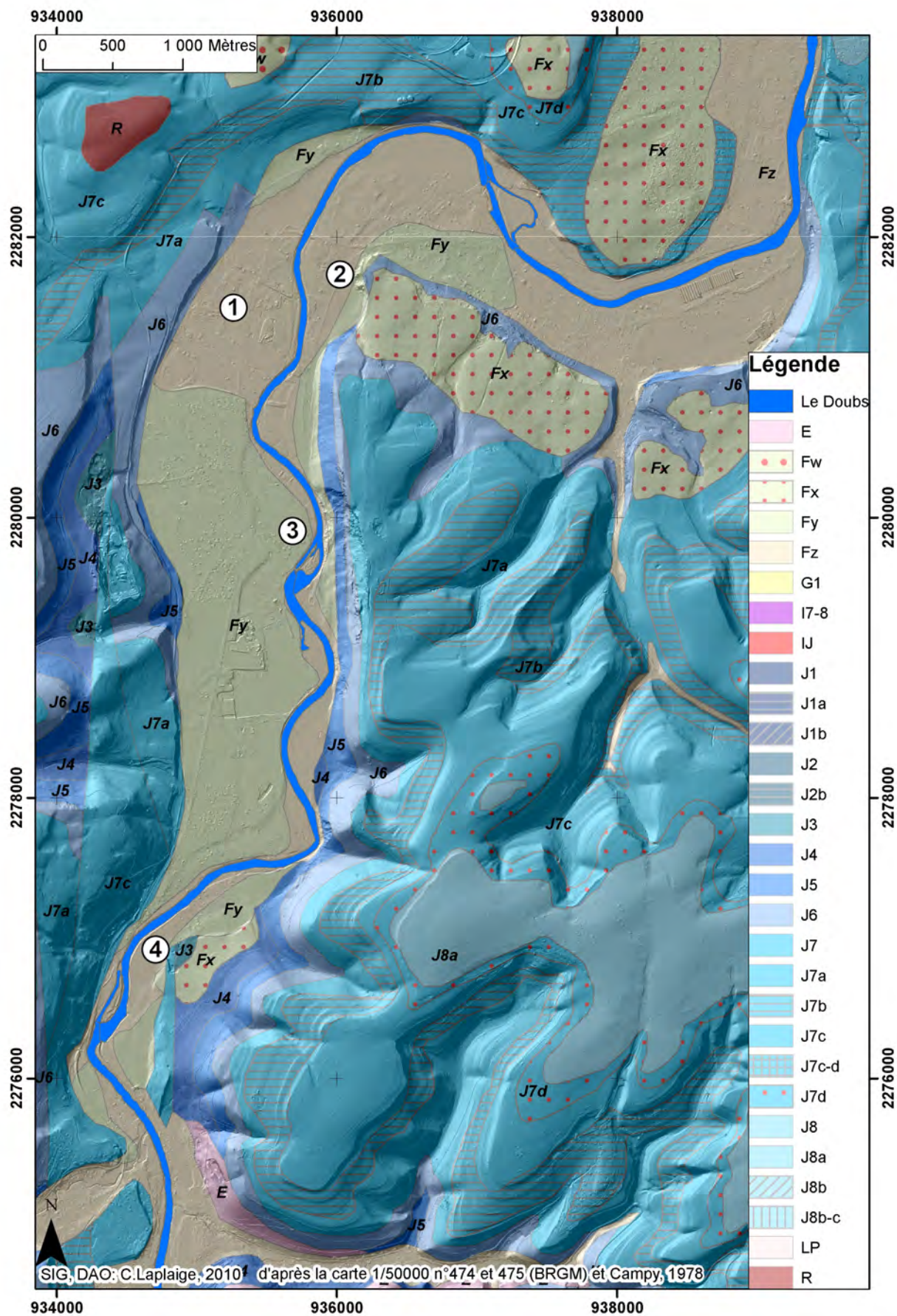


Figure 179b. Extrait de la carte géologique entre Pont-de-Roide, au sud, et Valentigney au nord, drapée sur le modèle ombré du terrain (315\_45). Emplacement (1,2,3,4) des zones corrigées de la carte des formations alluviales (C. Laplaige, 2011)

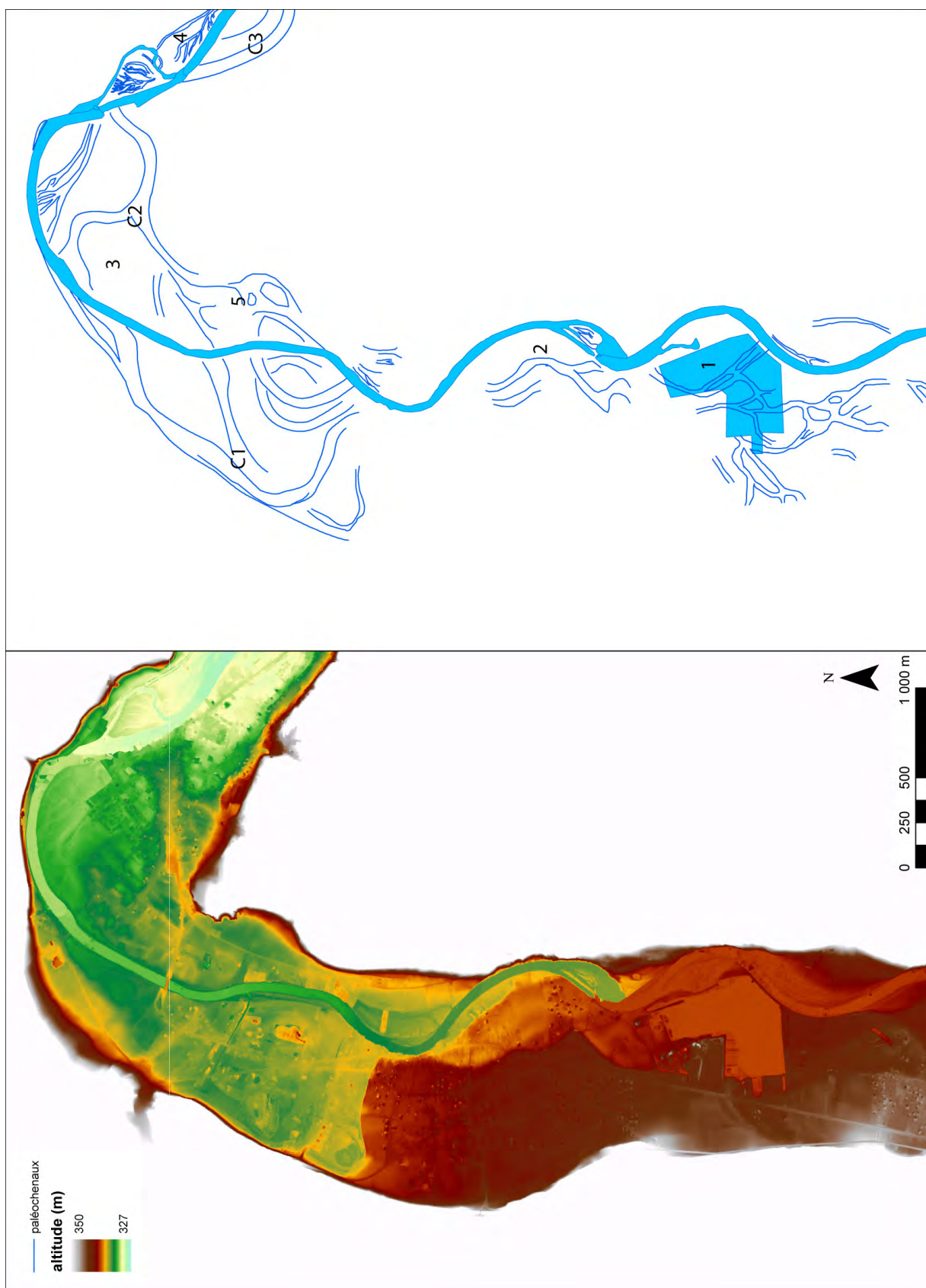


Figure 180. Tracé des écoulements anciens et Modèle Numérique de Terrain entre Bourguignon, au sud et Mandeuire, au nord (C. Laplaige, 2011)

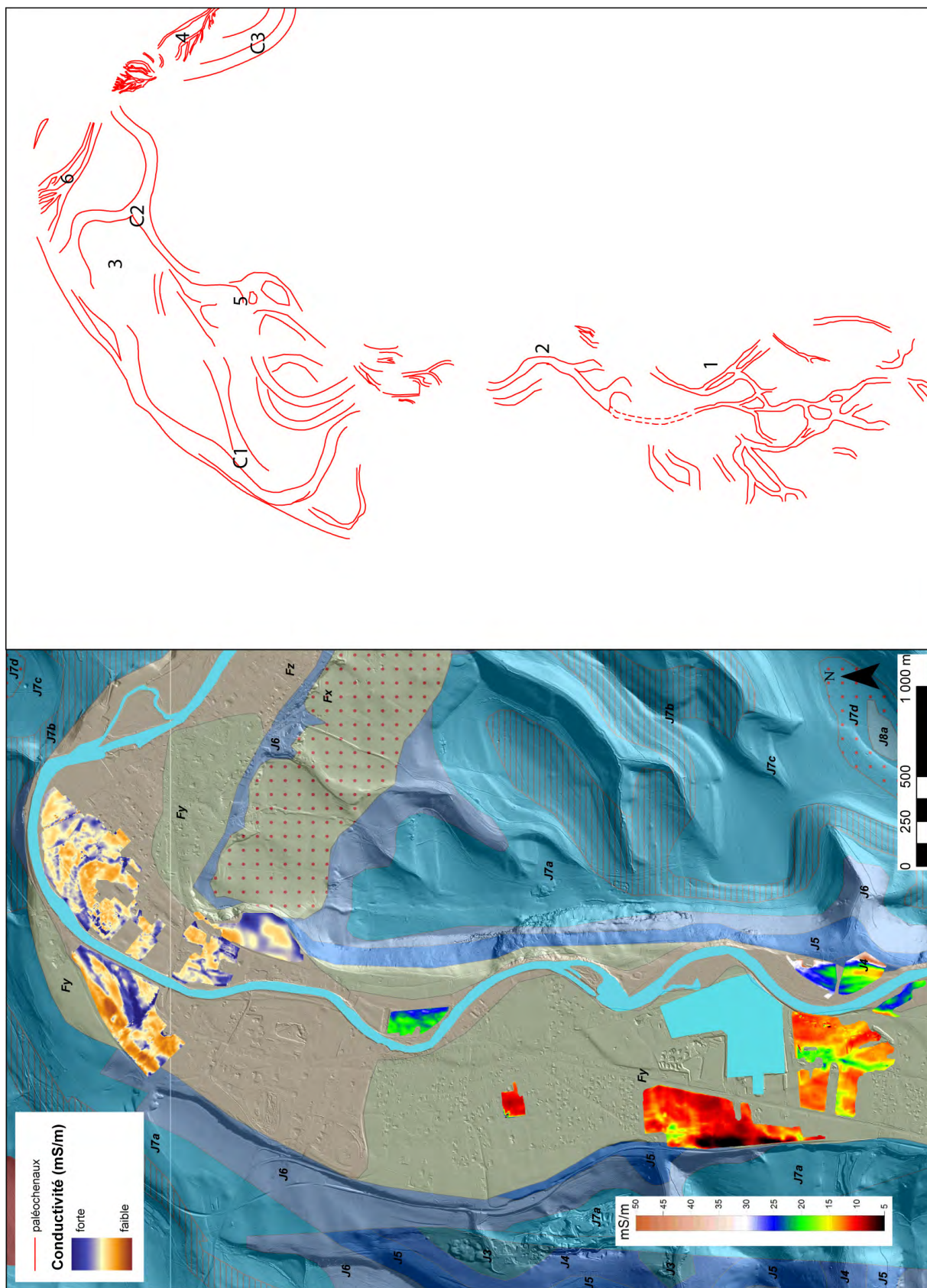


Figure 181. Cartographie de la conductivité du sol, restitution tracé des écoulements anciens et extrait de la carte géologique entre Bourguignon au sud et Mandœuvre, au nord (C. Laplaige, 2011)

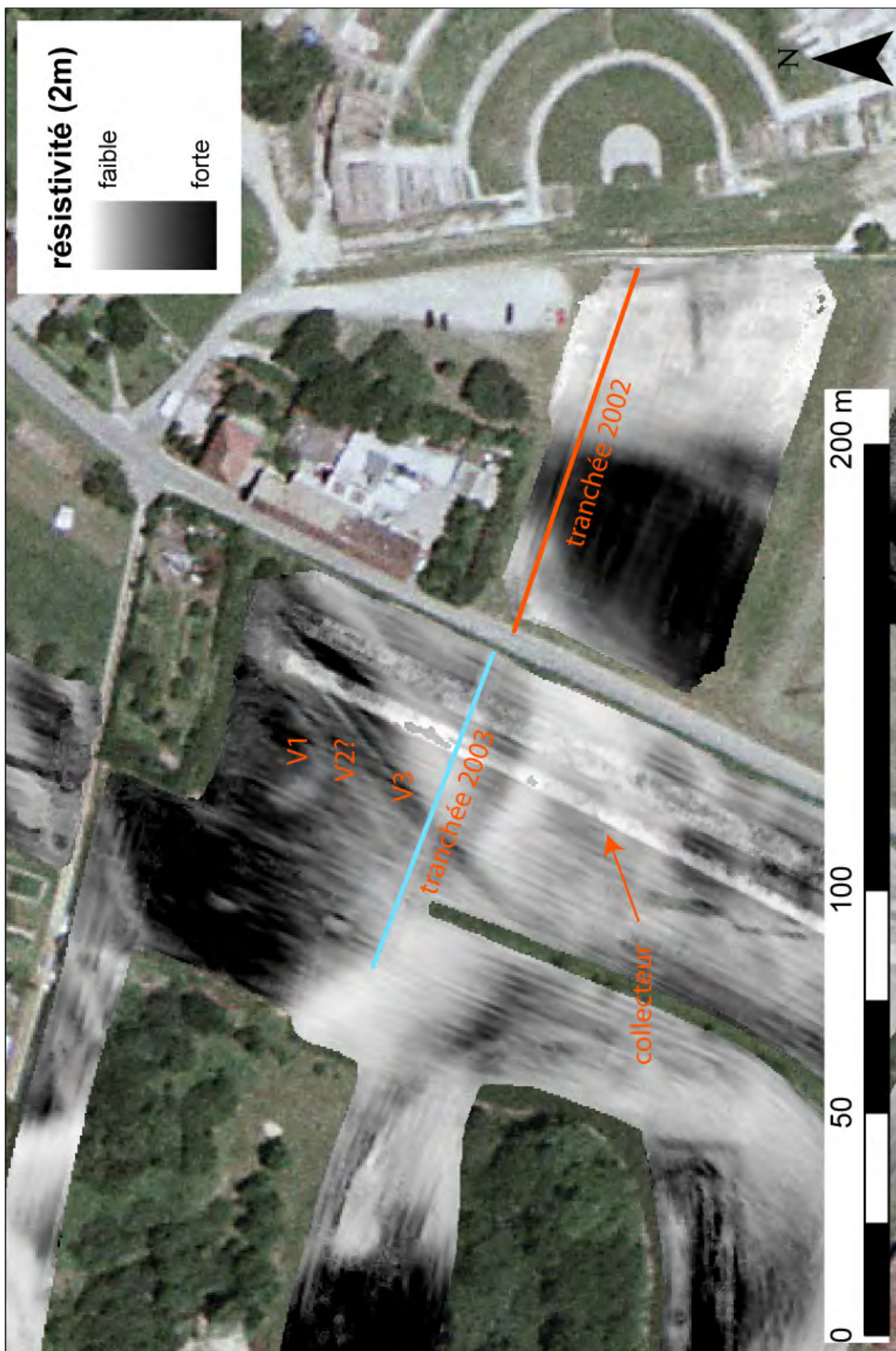
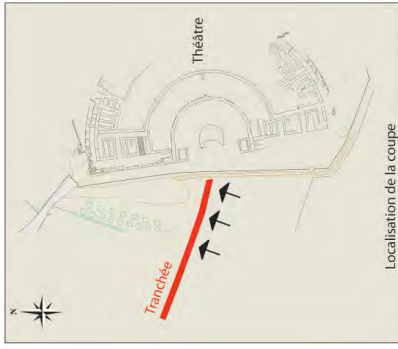


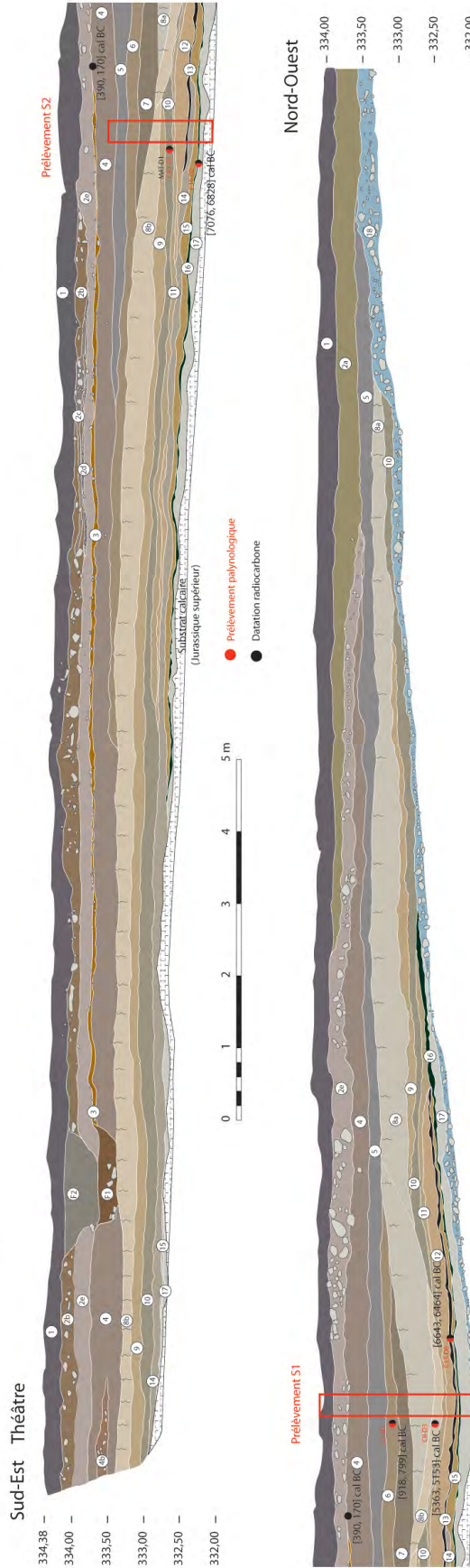
Figure 182. Mandeuve (Doubs). Carte de la résistivité électrique du sol (dispositif ARP à 2m). Localisation des tranchées géoarchéologiques 2002-2003, du collecteur antique et des voies (V1, V2, V3) menant au sanctuaire (C. Laplaige, 2011. Source Geocarta/PCR Mandeuve)

MANDEURE. Les Ouchottes.  
Coupe du paléochenal principal.



- ① Labour : limon brun argilo-sableux à nombreux gravillons et graviers
- ②a Limon brun à graviers et galets ; quelques micro-charbons de bois et fragments de terre cuite architecturale
- ②b Limon argilo-sableux brun à gravillons, graviers, galets, pierres calcaires et fragments d'enduit blanc
- ②c idem 2b avec pavetons calcaires
- ②d Lit de gravillons à la base de 2b
- ②e Limon argilo-sableux brun à gravillons et graviers, pierres calcaires à l'ouest
- ③ Limon argilo-sableux brun avec lit de graviers
- ④ Argile limoneuse brune ; quelques gravillons, graviers et micro-charbons
- ④b Argile limoneuse brune avec fragments de pierres brûlées
- ⑤ Argile limoneuse brun foncé à gravillons
- ⑥ Limon argileux brun clair
- ⑦ Limon sableux brun clair moucheté jaune
- ⑧a Sable limoneux ocre } perturbations racinaires liées à la pédogenèse supérieure
- ⑧b Limon sableux brun-gris-beige
- ⑨ Argile limoneuse brune ; quelques gravillons, graviers et micro-charbons

- ⑩ Limon argileux gris, moucheté rouille
- ⑪ Limon argileux brun-gris moucheté rouille
- ⑫ Sable limoneux ocre avec inclusions noires
- ⑬ Argile noire
- ⑭ Limon argileux brun-gris
- ⑮ Argile limoneuse gris clair moucheté rouille
- ⑯ Argile gris foncée
- ⑰ Limon calcaire blanc moucheté rouille
- ⑱ Grave calcaire ; faciès complexe sablo-graveleux jaune-gris-beige à gros galets
- ⑲1 Couche de galets à matrice argilo-limoneuse gris brun, (remblai volontaire?)
- ⑲2 Argile brune à petits gravillons et quelques galets ; quelques micro-charbons de bois et micro-fragments de céramique protohistorique
- ⑲3 Limon sableux gris-beige
- ⑲4 Argile limoneuse brune à gravillons et graviers
- ⑲5 Limon brun à nombreux gravillons et graviers ; quelques fragments de terre cuite architecturale
- ⑲6 Limon brun-noir à nombreux galets (fossé ?)



Relevé, description et DAO : G. Bossuet et B. Vannière, Octobre 2002

Figure 183. Mandeure (Doubs). Les « Ouchottes ». Coupe du paléochenal (G. Bossuet, 2002)

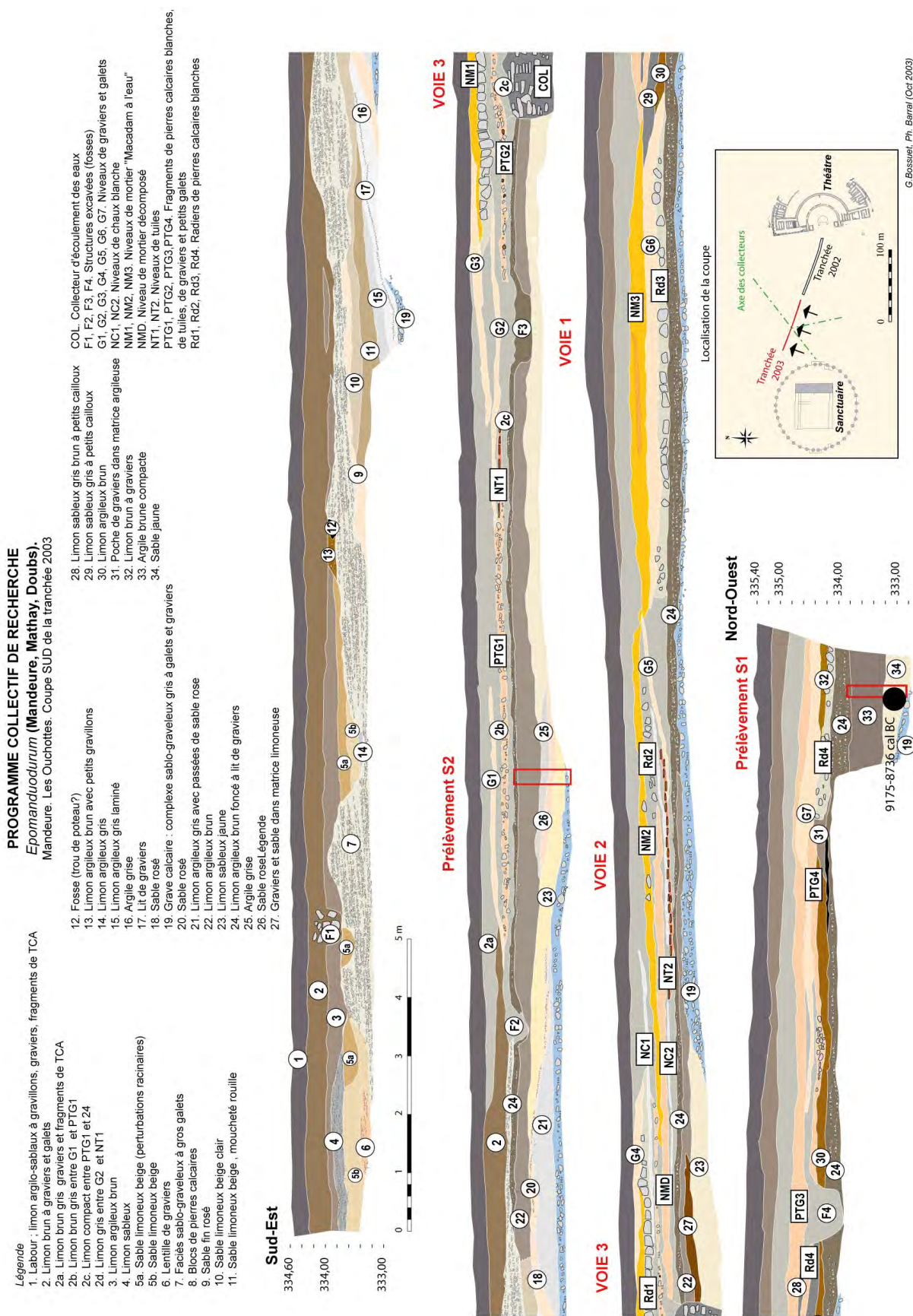


Figure 184. Mandeure (Doubs). Les « Cloux du Château ». Coupe sud de la tranchée de 2003 (G. Bossuet, 2003)

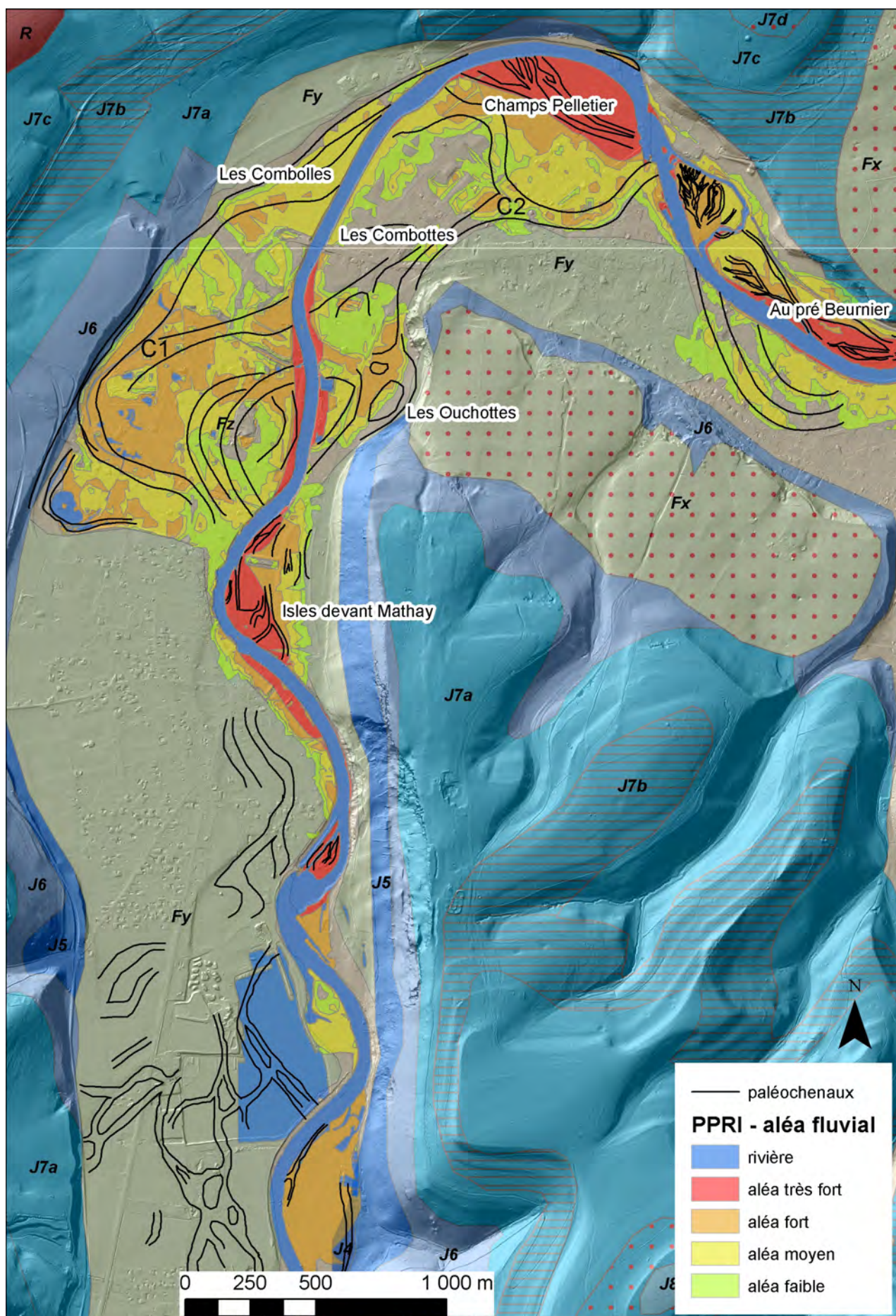


Figure 185. Restitution du tracé des écoulements anciens, Plan de Prévention des Risques d'Inondation de 2006 et extrait de la carte géologique entre Bourguignon et Mandeu (C. Laplaige, 2011, données : PMA ; G. Bossuet, M. Thivet, S. Trillaud, 2006)



Figure 186. Bourguignon (Doubs). Extrait du Plan cadastral de la commune de Bourguignon. Section A4 dite de « Champagne et Warembourg » (C. Laplaige, 2010)



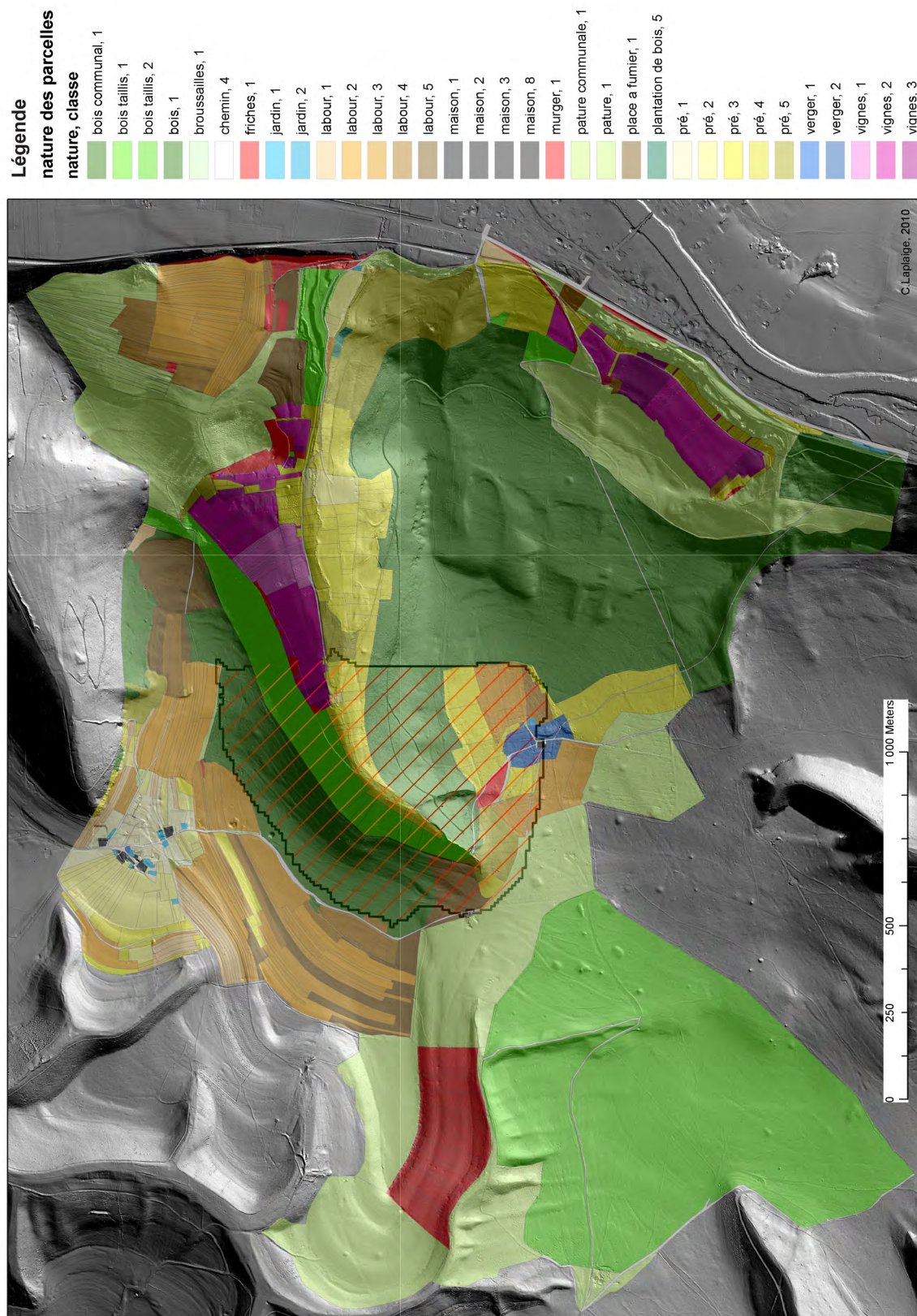


Figure 187a. Occupation du sol et degré de fertilité de chaque parcelle drapée sur le modèle ombré du relief (Sources : état des sections du plan cadastral napoléonien des communes de Bourguignon, Ecot et Mathay). La zone hachurée délimite, en fonction des contraintes topographiques, la partie du bassin versant impliquée dans le remplissage sédimentaire reconnu par les forages (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010, Outil ArcHydro)



Figure 187b. Occupation du sol et degré de fertilité à l'époque moderne superposée au cliché de la mission IGN de 1951 (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)



Figure 187c. Occupation du sol et degré de fertilité à l'époque moderne superposée à l'orthophotographie de 2009 (Source : Registre du Plan Cadastral de Bourguignon de 1836. C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

**Bourguignon (Doubs). "Le Marais" (alt. 405 m).  
Sondage WAR. 1-4**

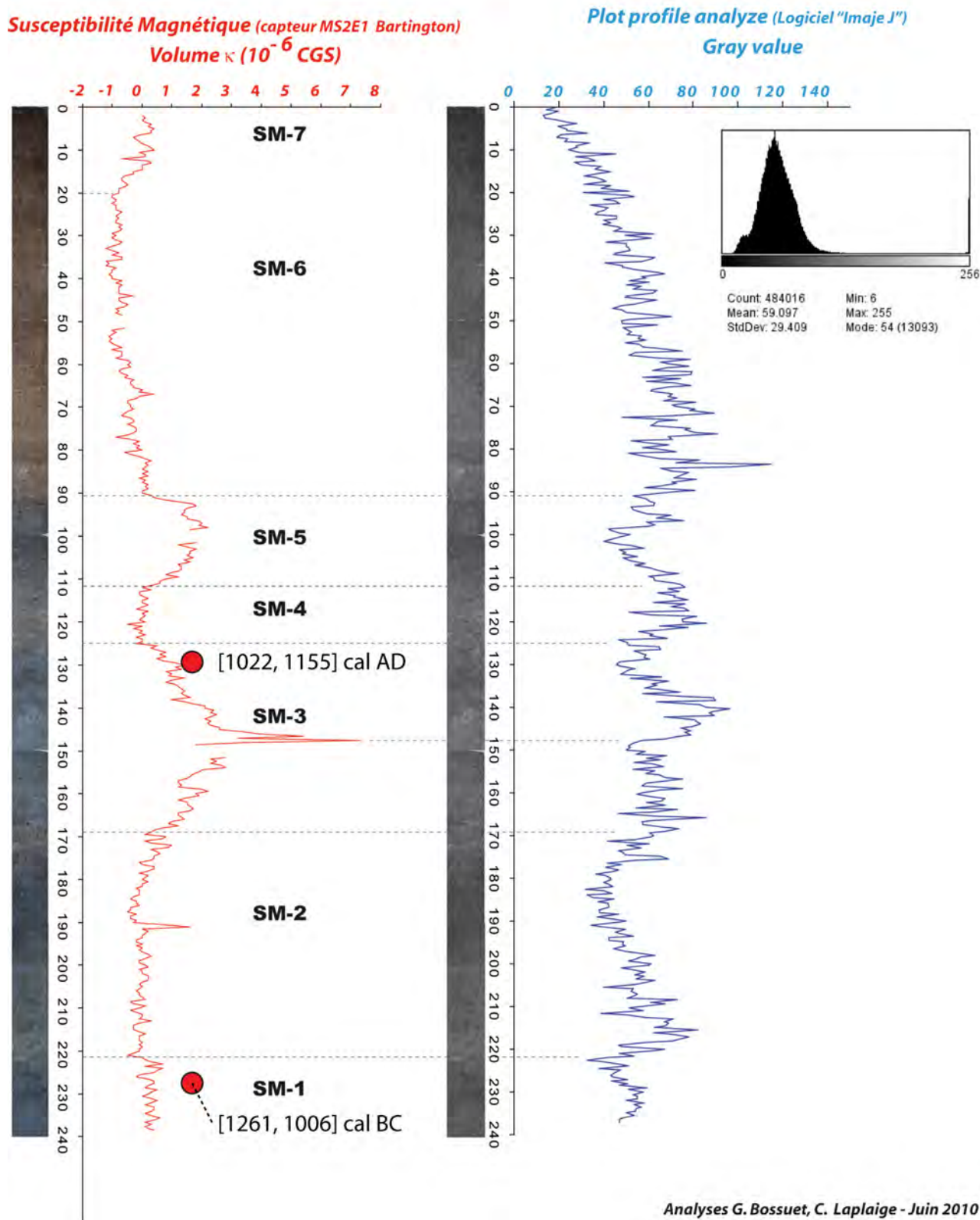


Figure 188. Bourguignon (Doubs). « Le Marais ». Log de susceptibilité magnétique et filtrage en densité de gris de la séquence sédimentaire du forage War 1-4, les datations C14 correspondent aux pastilles rouges (C. Laplaige, G. Bossuet, 2010)

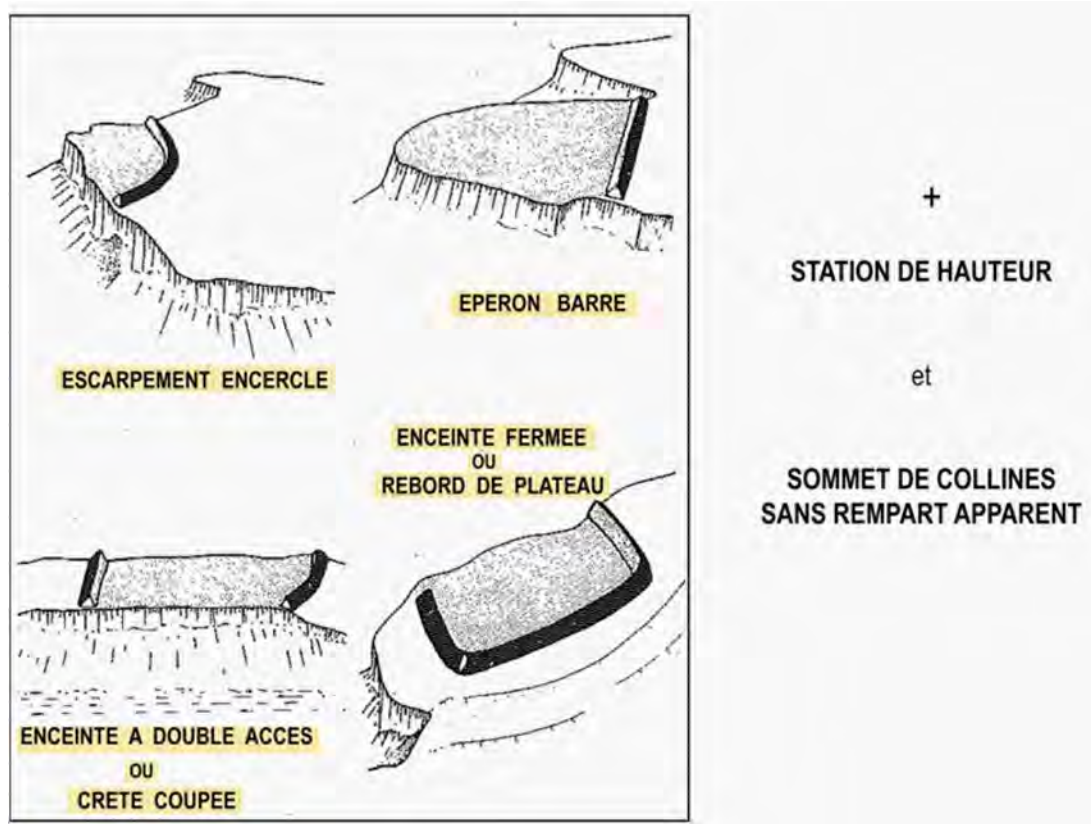


Figure 189. Typologie des sites fortifiés de hauteur (d'après F. Passard, 1986)

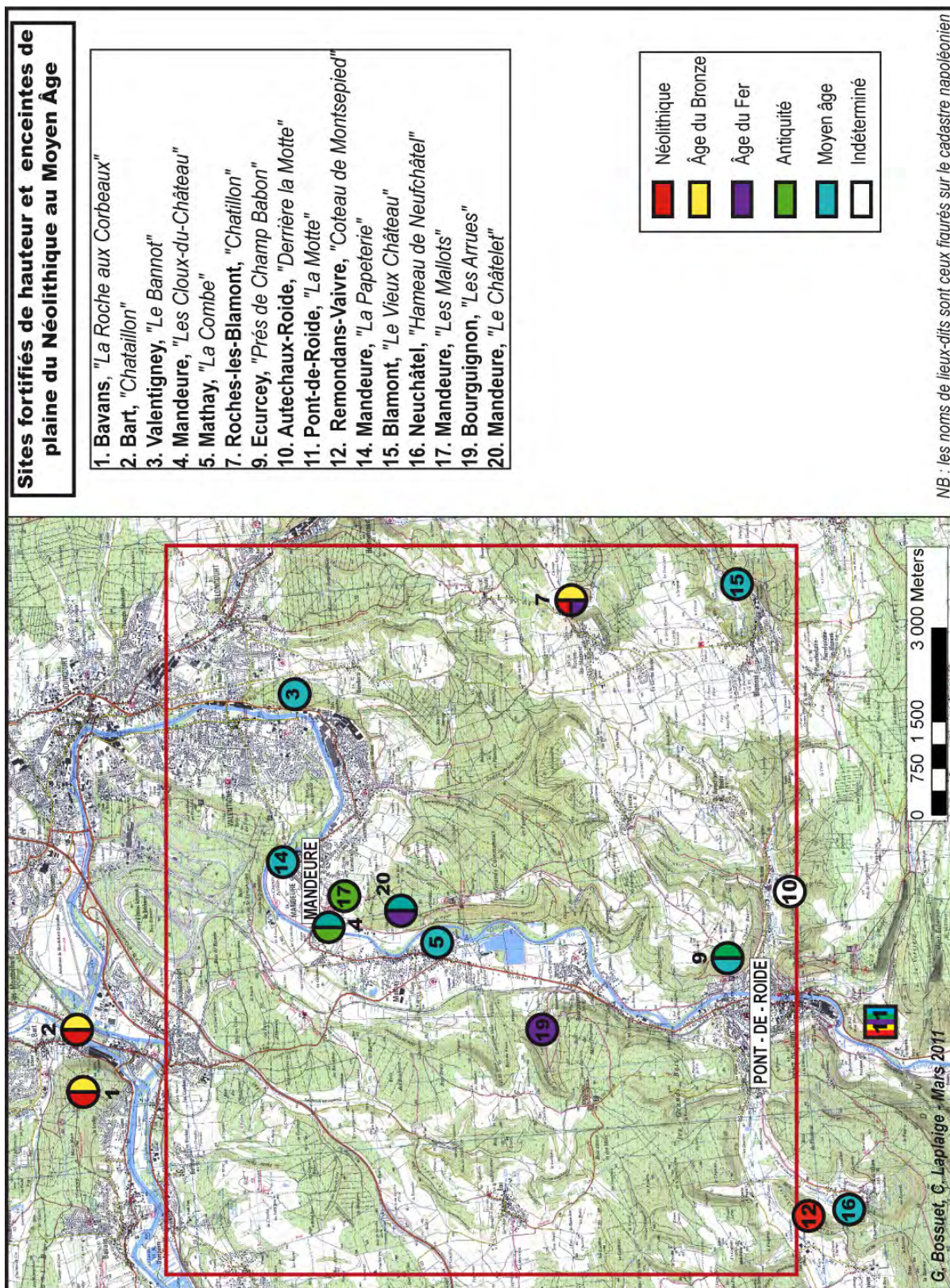


Figure 190. Localisation des sites fortifiés de hauteur et des enceintes de plaine reconnus dans l'emprise de la fenêtre LiDAR et à proximité (C. Laplaige, G. Bossuet, 2011)

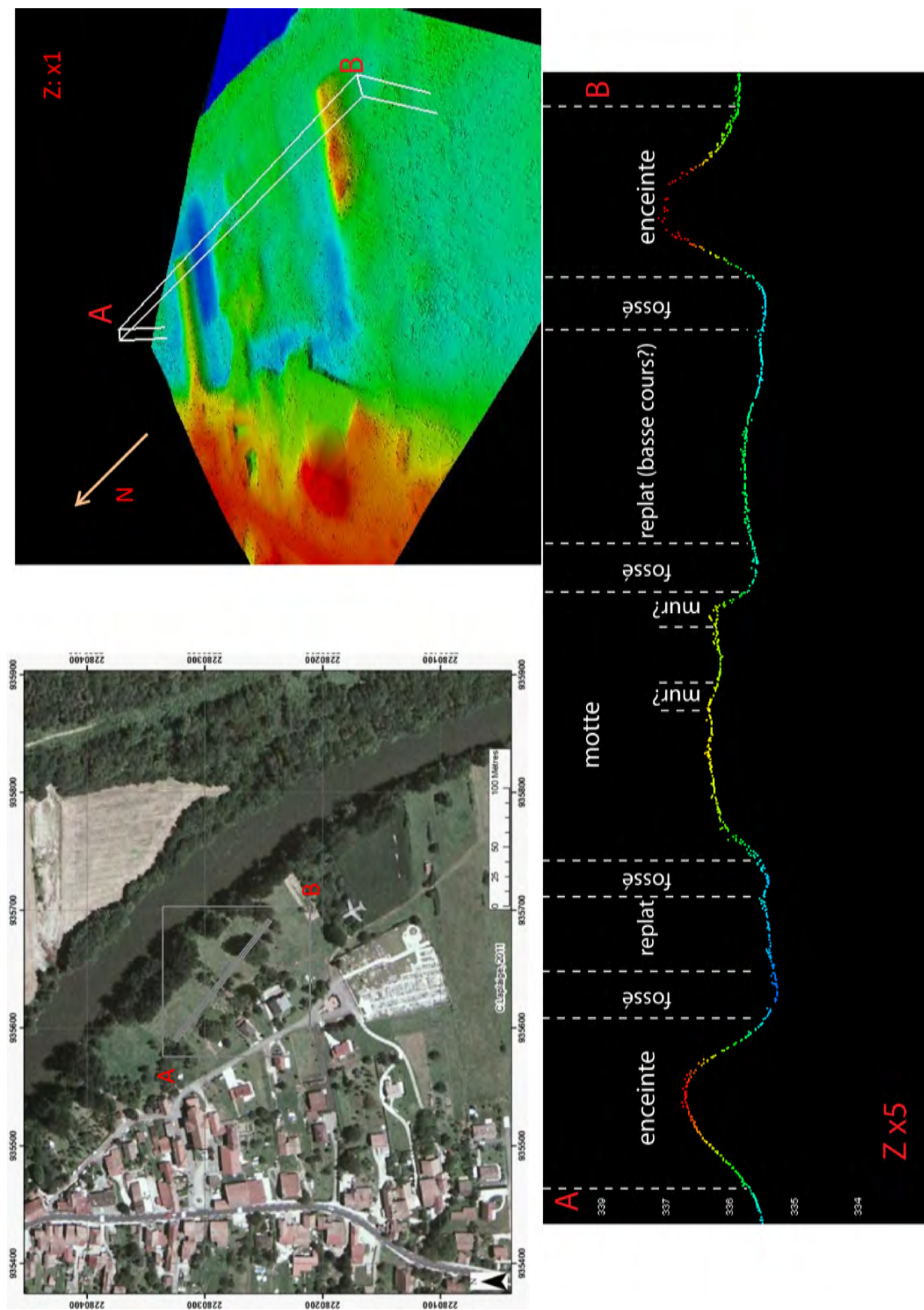


Figure 191. Mathay (Doubs). « La Combe », Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe à l'emplacement de la maison forte (C. Laplaige, 2011)

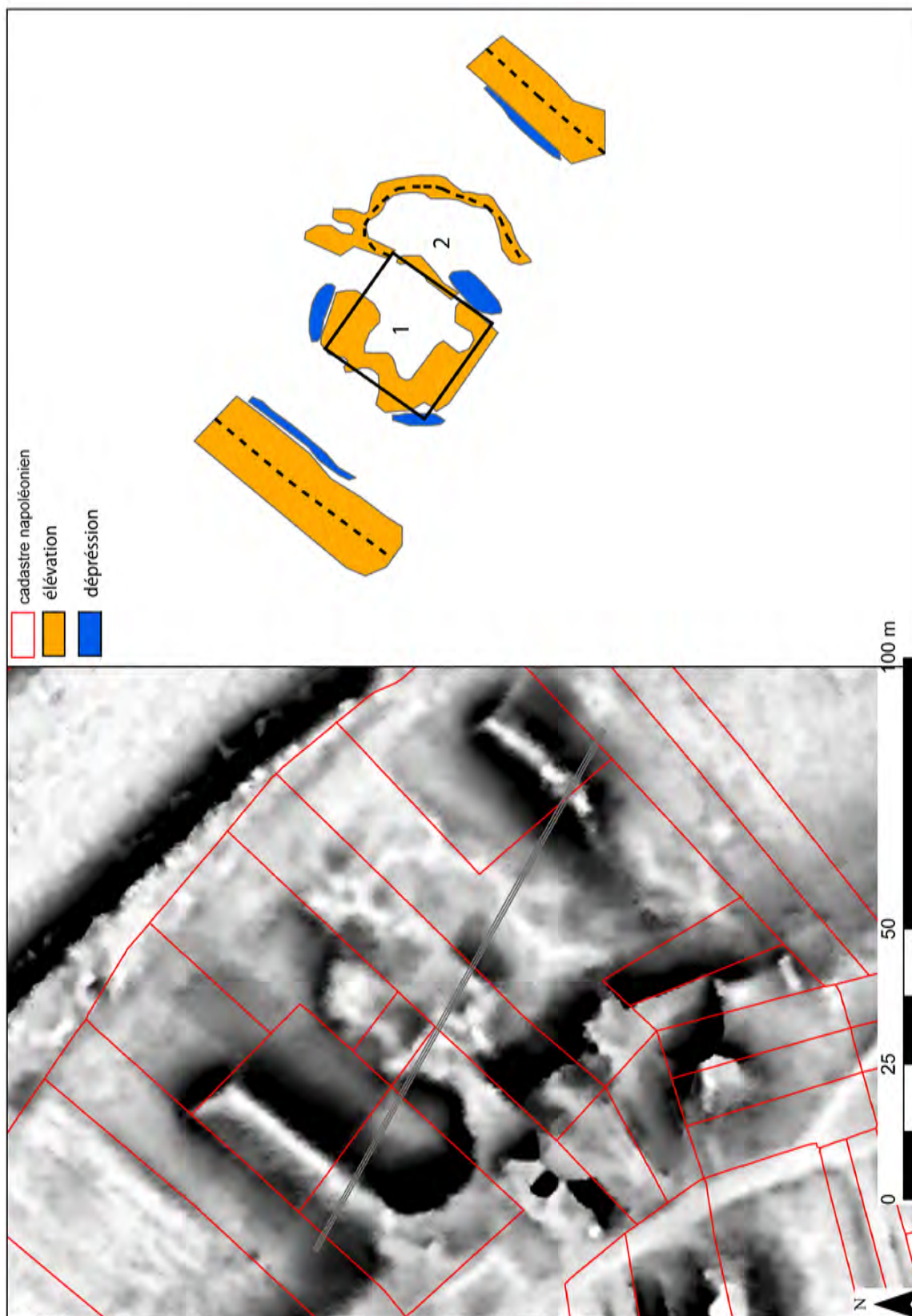


Figure 192. Mathay (Doubs). « La Combe ». Prospection LiDAR de la maison forte. Représentation « Sky-View-Factor » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)



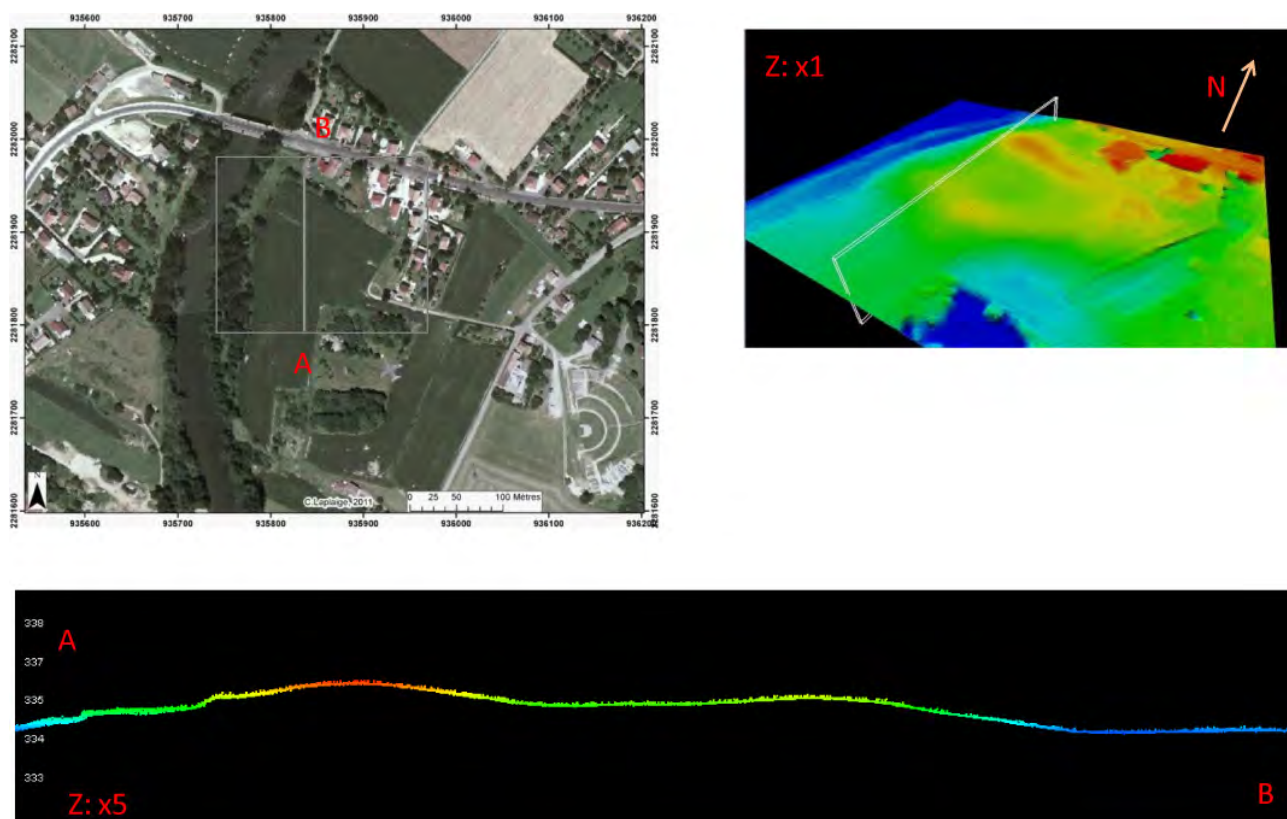


Figure 193. Mandeuire (Doubs). « Les Cloux du Château ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de la fortification du Bas Empire (Castrum) (C. Laplaige, 2011)

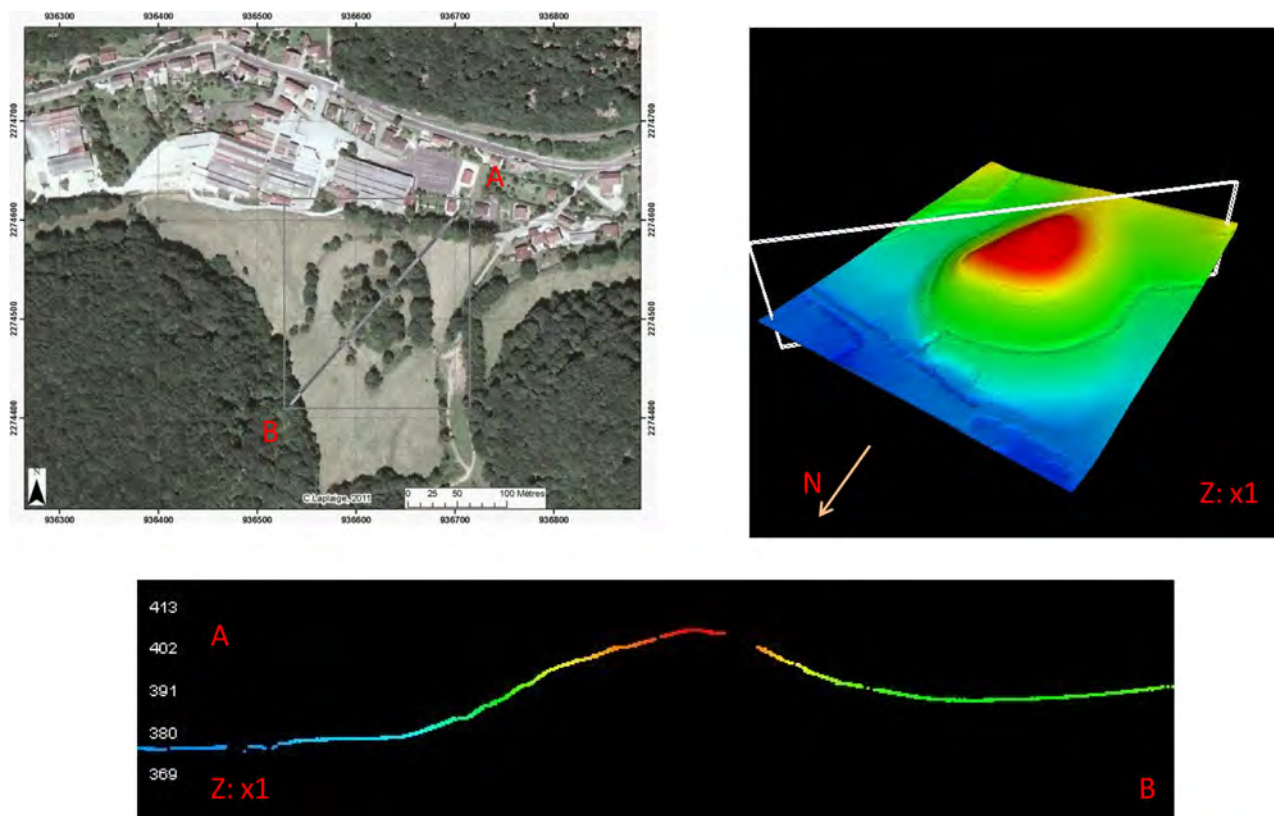


Figure 194. Autechaux-Roide (Doubs). « Derrière la Motte ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de la butte témoin (C. Laplaige, 2011)

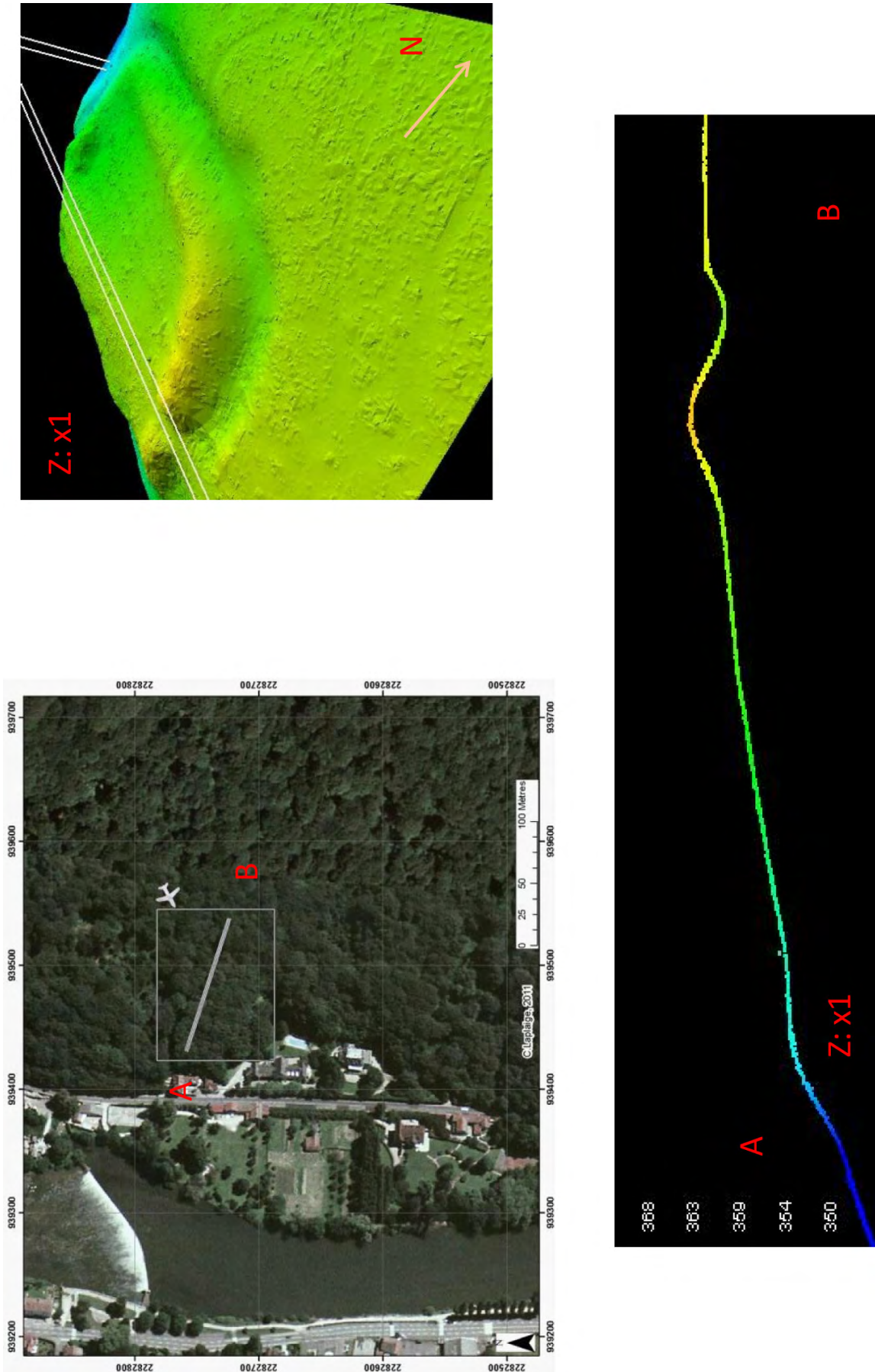


Figure 195. Valentigney (Doubs). « Le Bannot », Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de l'enceinte fermée (C. Laplaige, 2011)

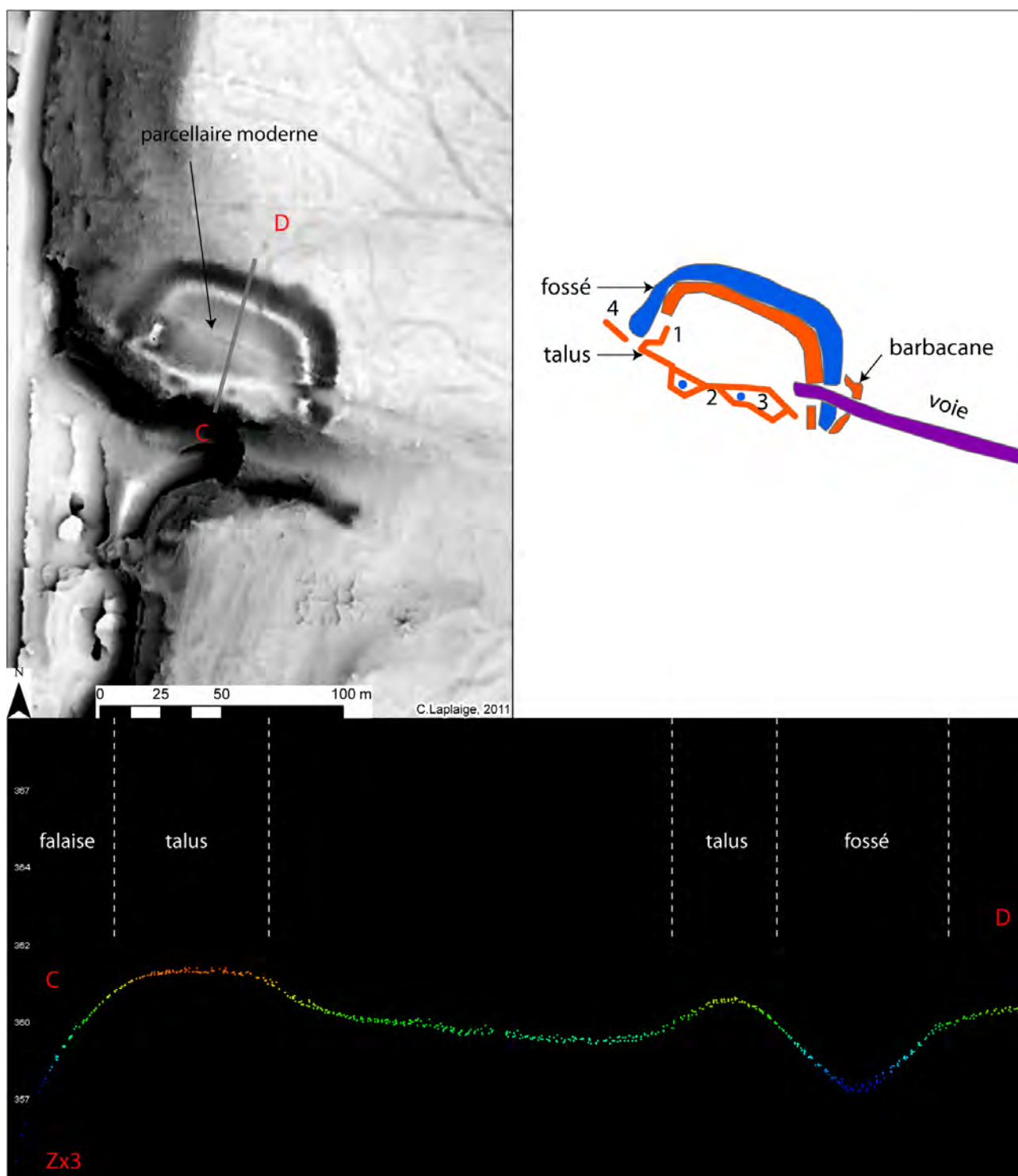


Figure 196. Valentigney (Doubs). « Le Bannot ». Prospection LiDAR. Représentation « Sky-View-Factor » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

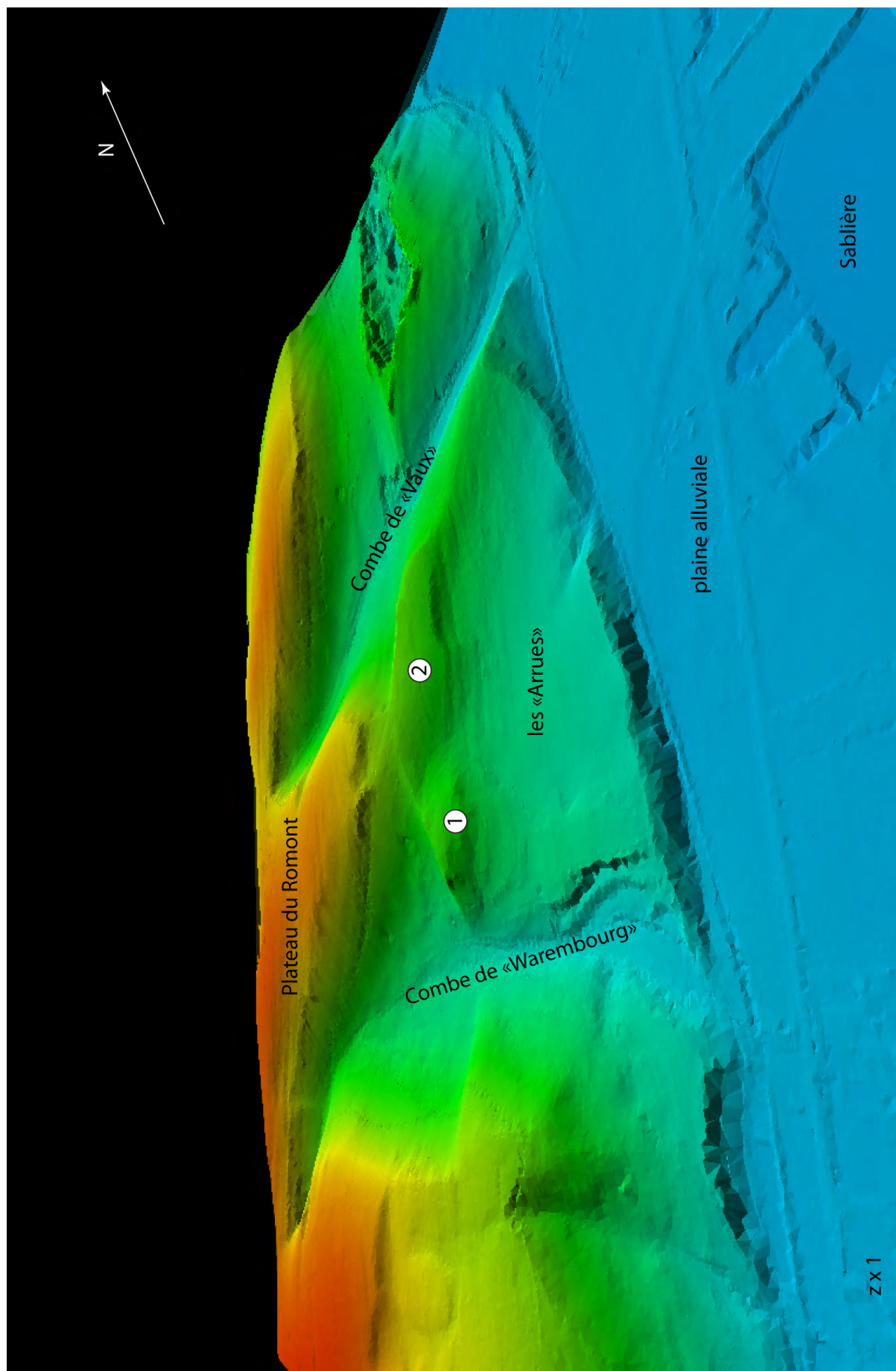
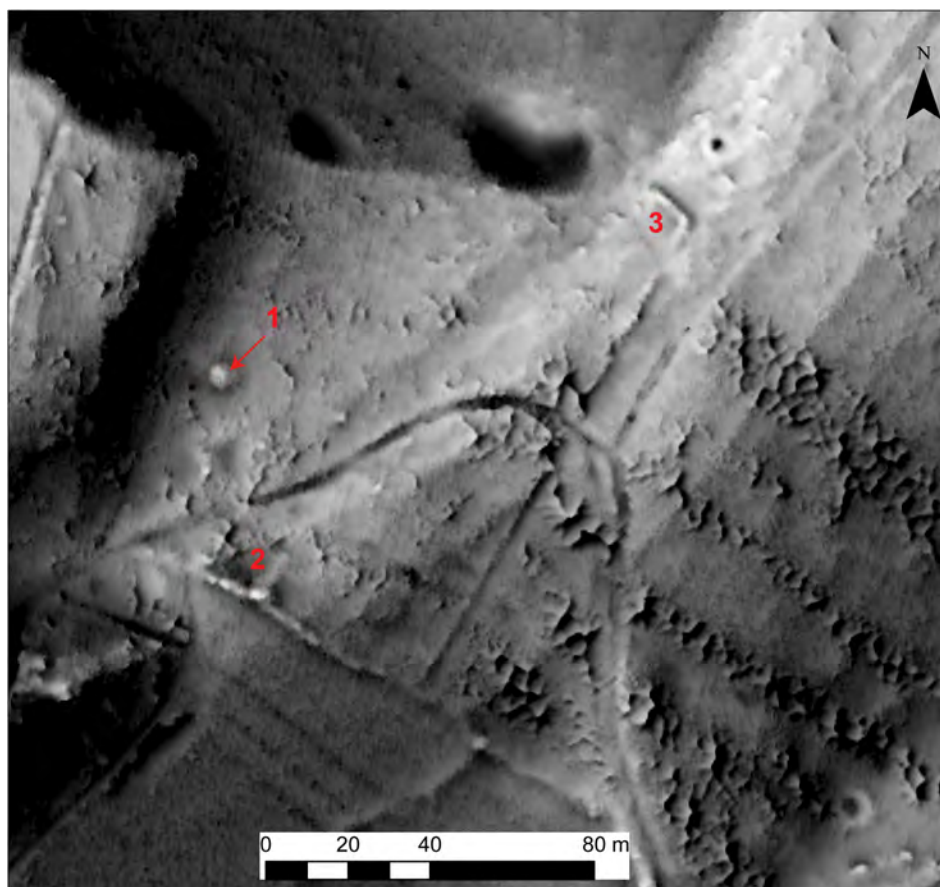
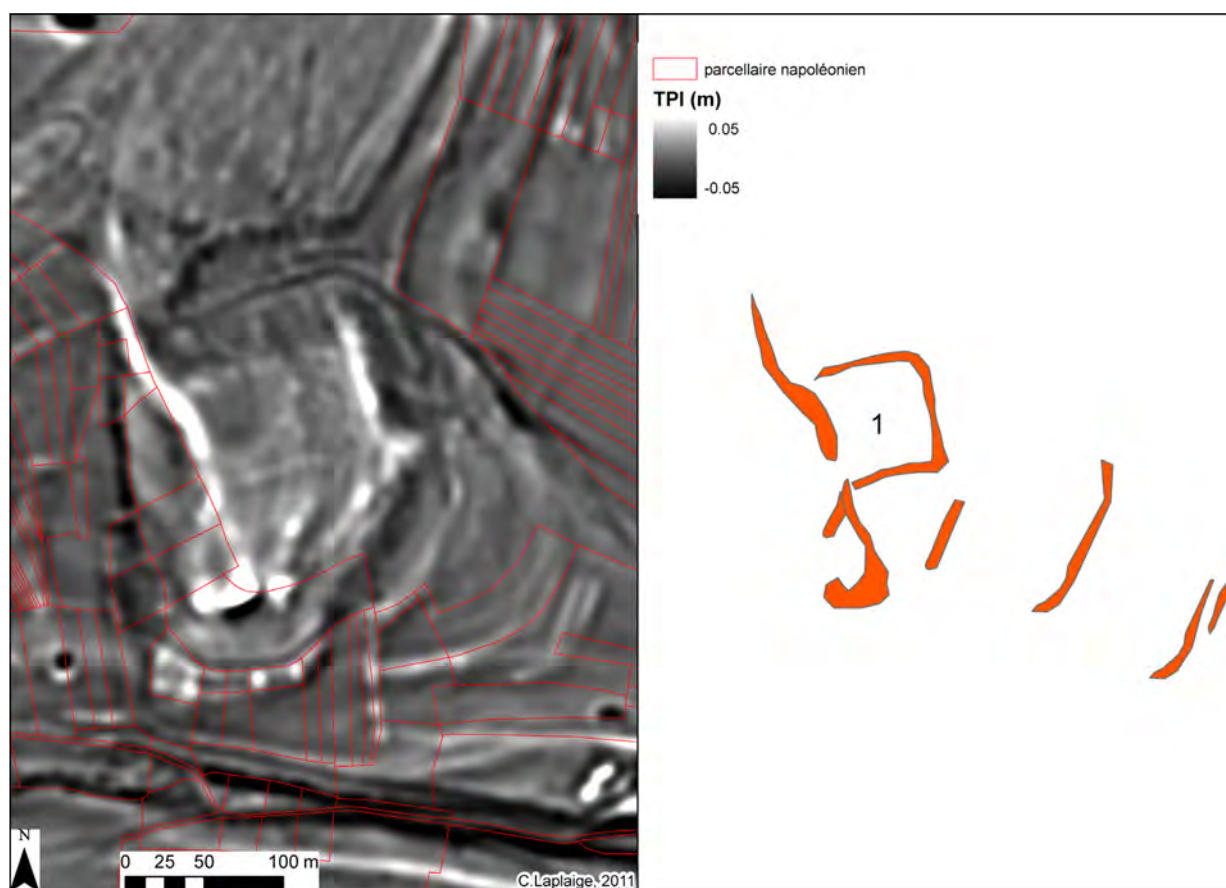


Figure 197a. Bourguignon (Doubs). Vue 3D du plateau du Romont et des deux collines abritant les sites (1) et (2) des «Arrues» (C. Laplaigne, 2011)



Figure 197b. Bourguignon (Doubs). Vue du mur en pierres sèches élevé sur la ligne de crête reliant les deux collines des « Arrues » (cliché : H. Grut, 2010)



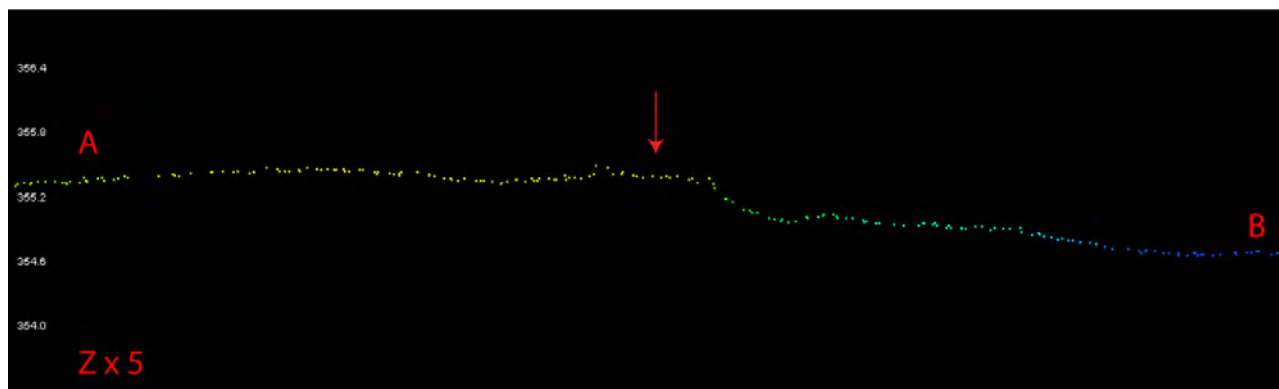


Figure 199. Mandeuire (Doubs). « Les Mallots ». Cliché de l'enceinte quadrangulaire (R. Goguy 1976) et coupe LiDAR (C. Laplaige, 2011)

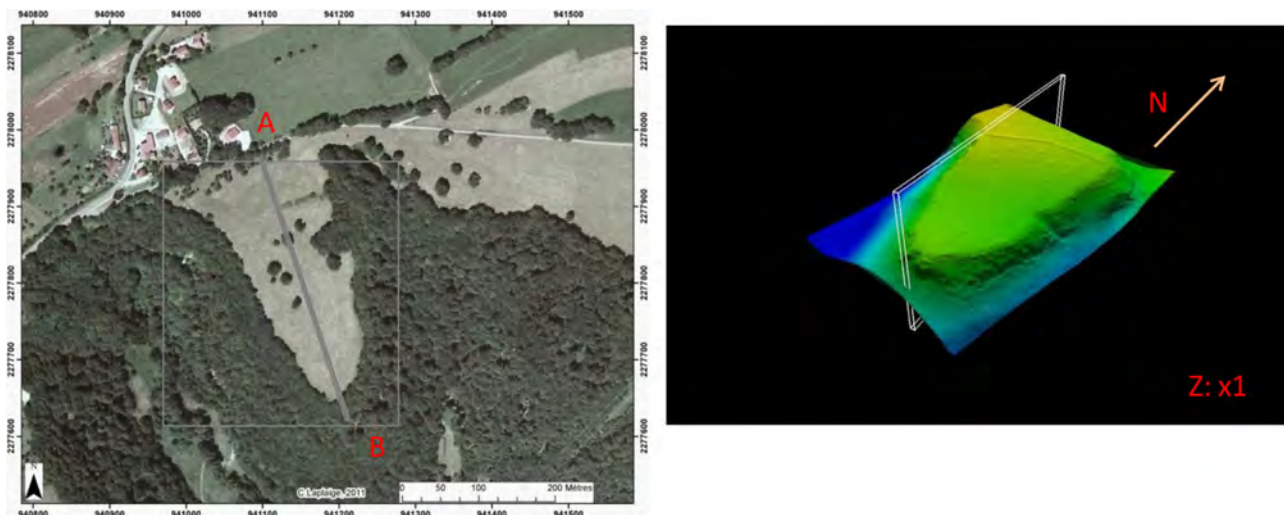


Figure 200. Roches-lès-Blamont (Doubs). « Châtillon ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et, coupe de l'éperon barré C. Laplaige, 2011)

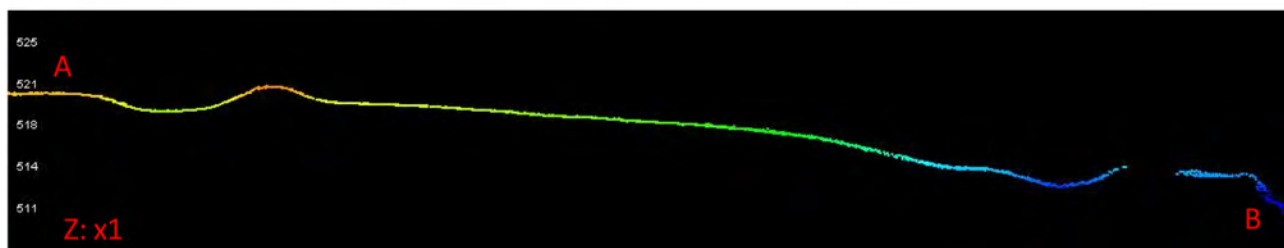
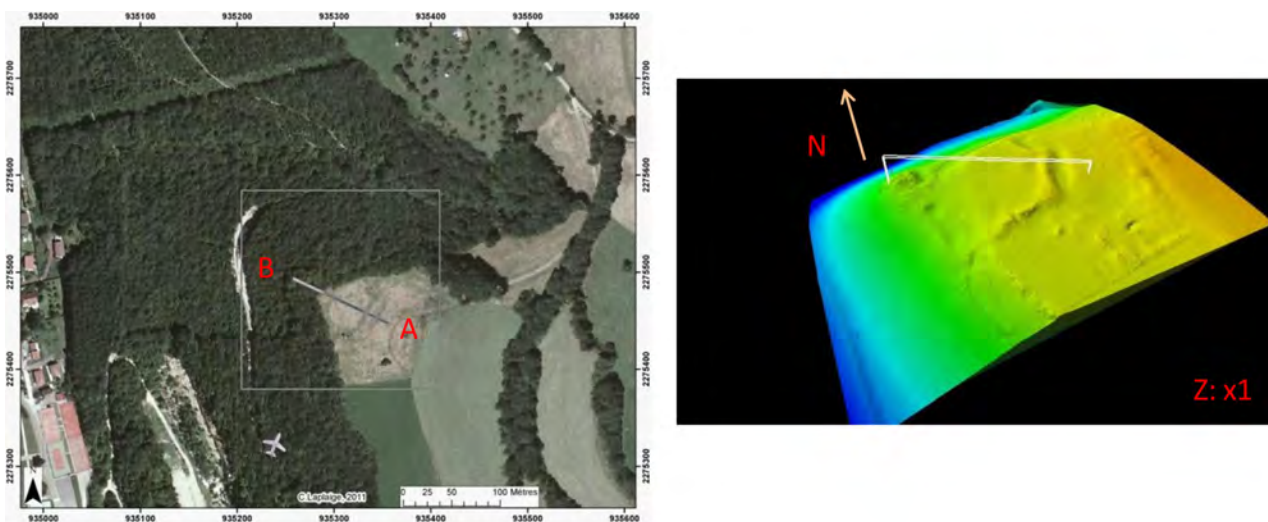


Figure 201. Eucurey (Doubs). « Pré de Champ Babon ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de l'escarpement encerclé (C. Laplaige, 2011)



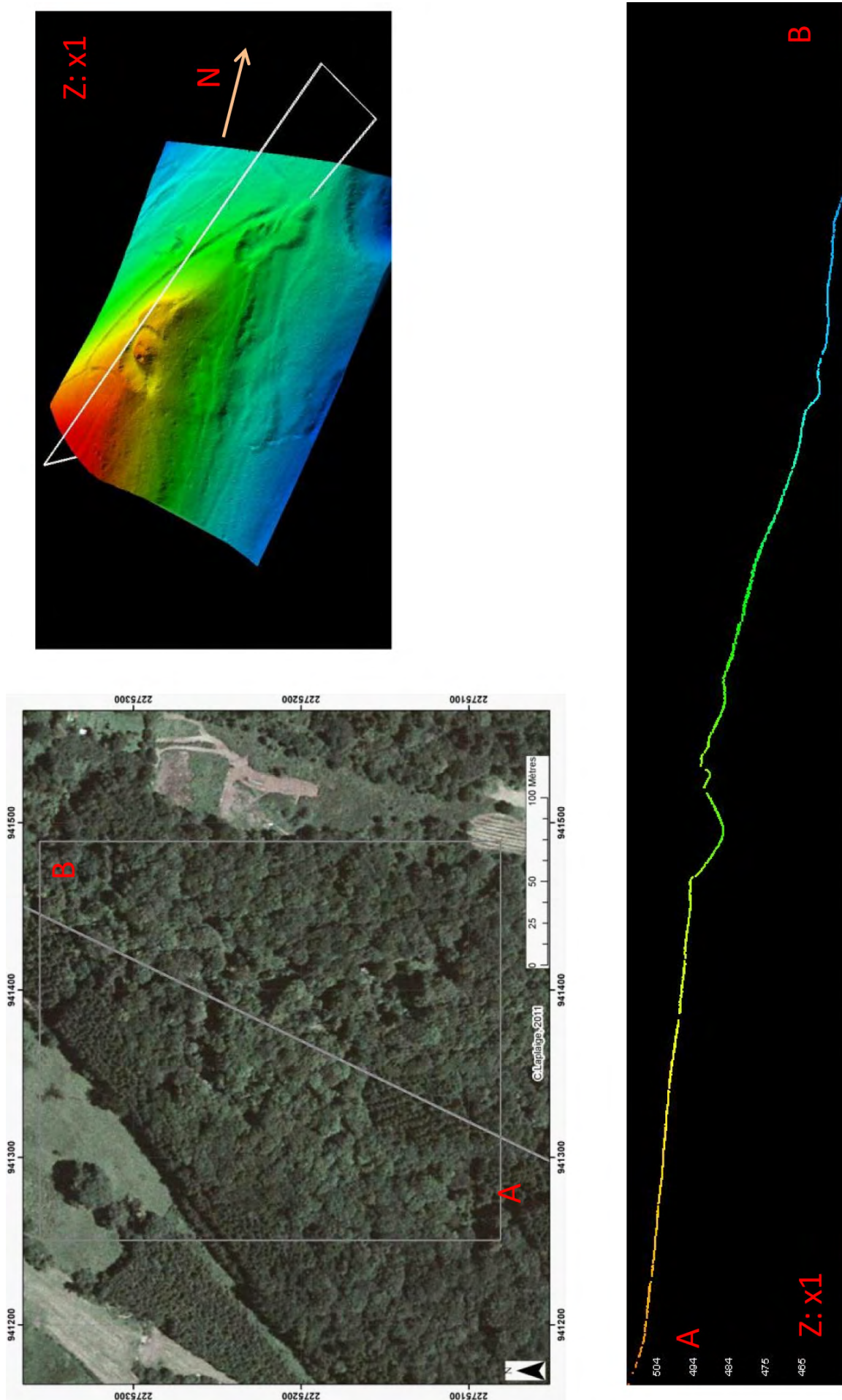


Figure 202. Blamont (Doubs). «Vieux Château ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de l'escarpement encadré (C. Laplaige, 2011)

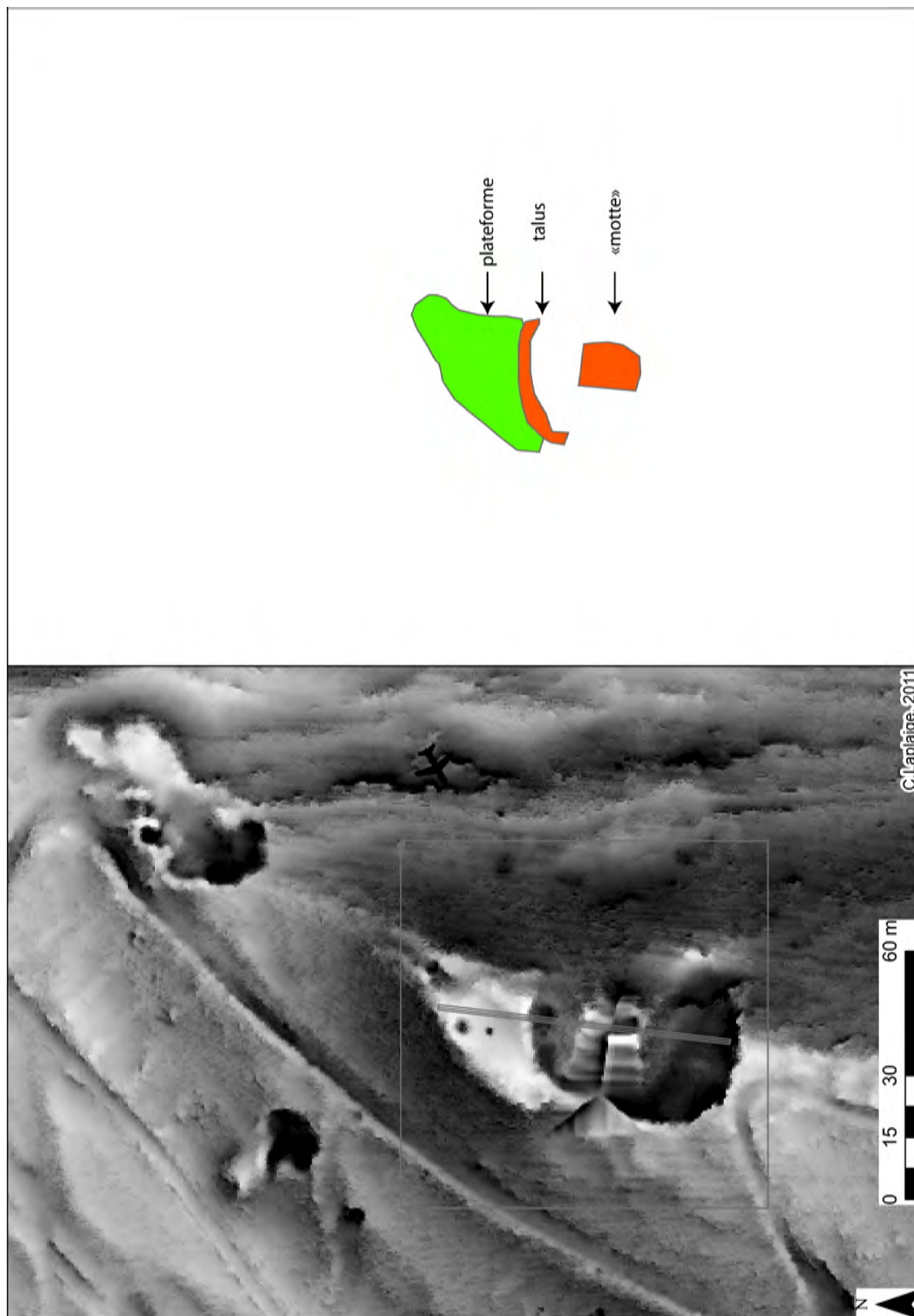


Figure 203. Blamont (Doubs). « Vieux Château ». Prospection LiDAR. Représentation « Sky-View-Factor » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

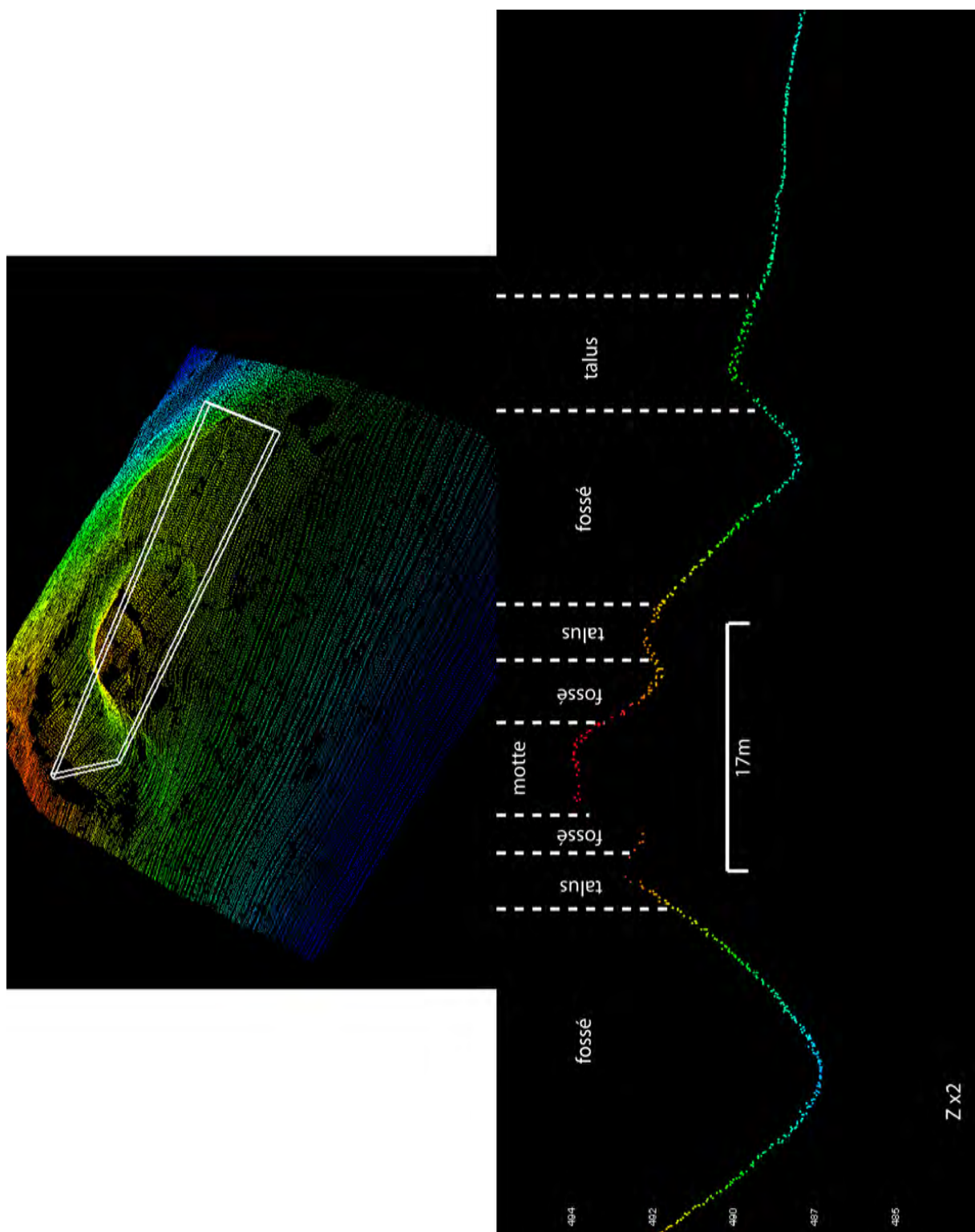


Figure 204. Blamont (Doubs). « Vieux Château ». Représentation 3D de la motte et coupe (C. Laplaige, 2011)

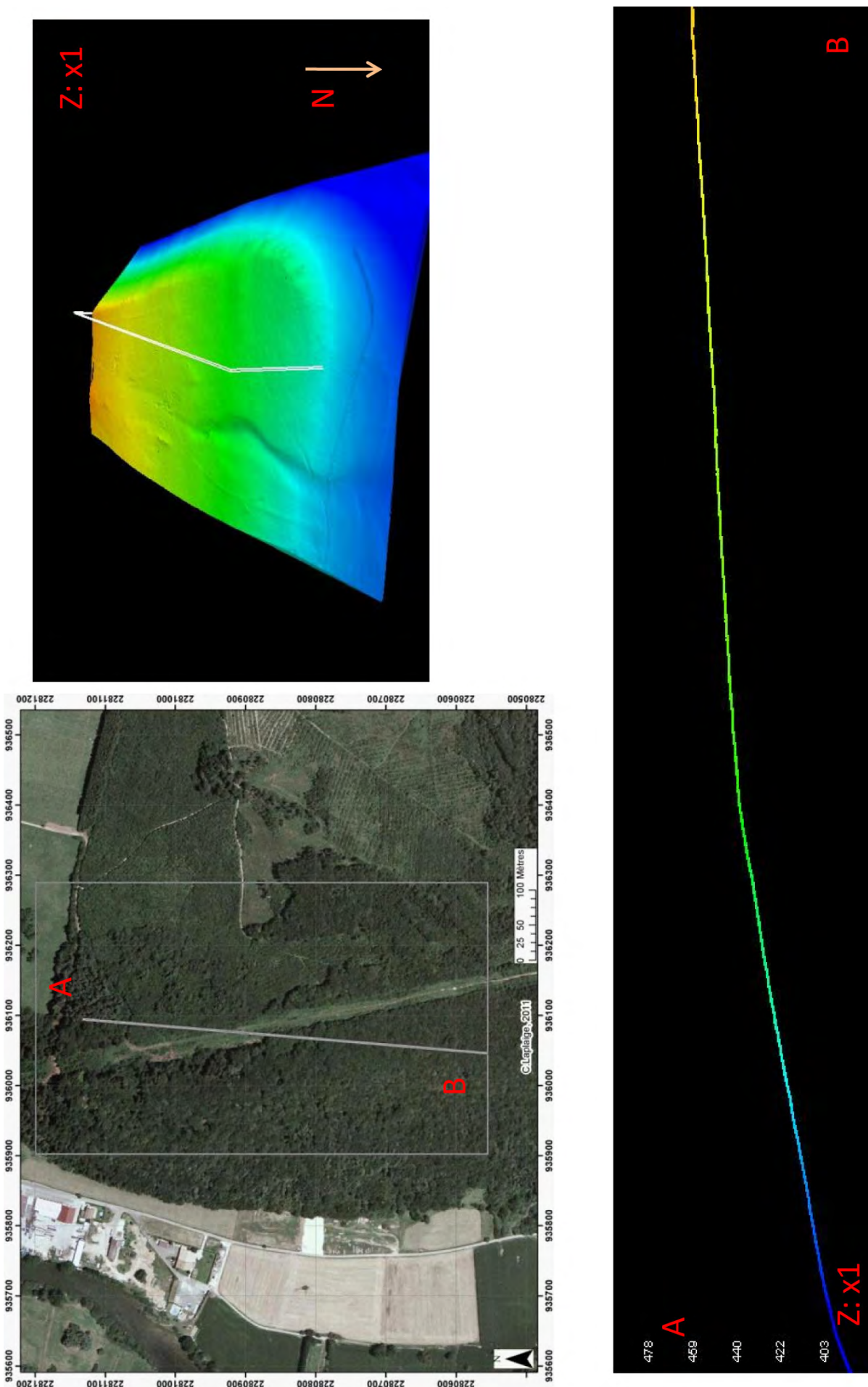


Figure 205. Mandeuve (Doubs). « Le Châtelet ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de l'escarpement encerclé (C. Laplaige, 2011)

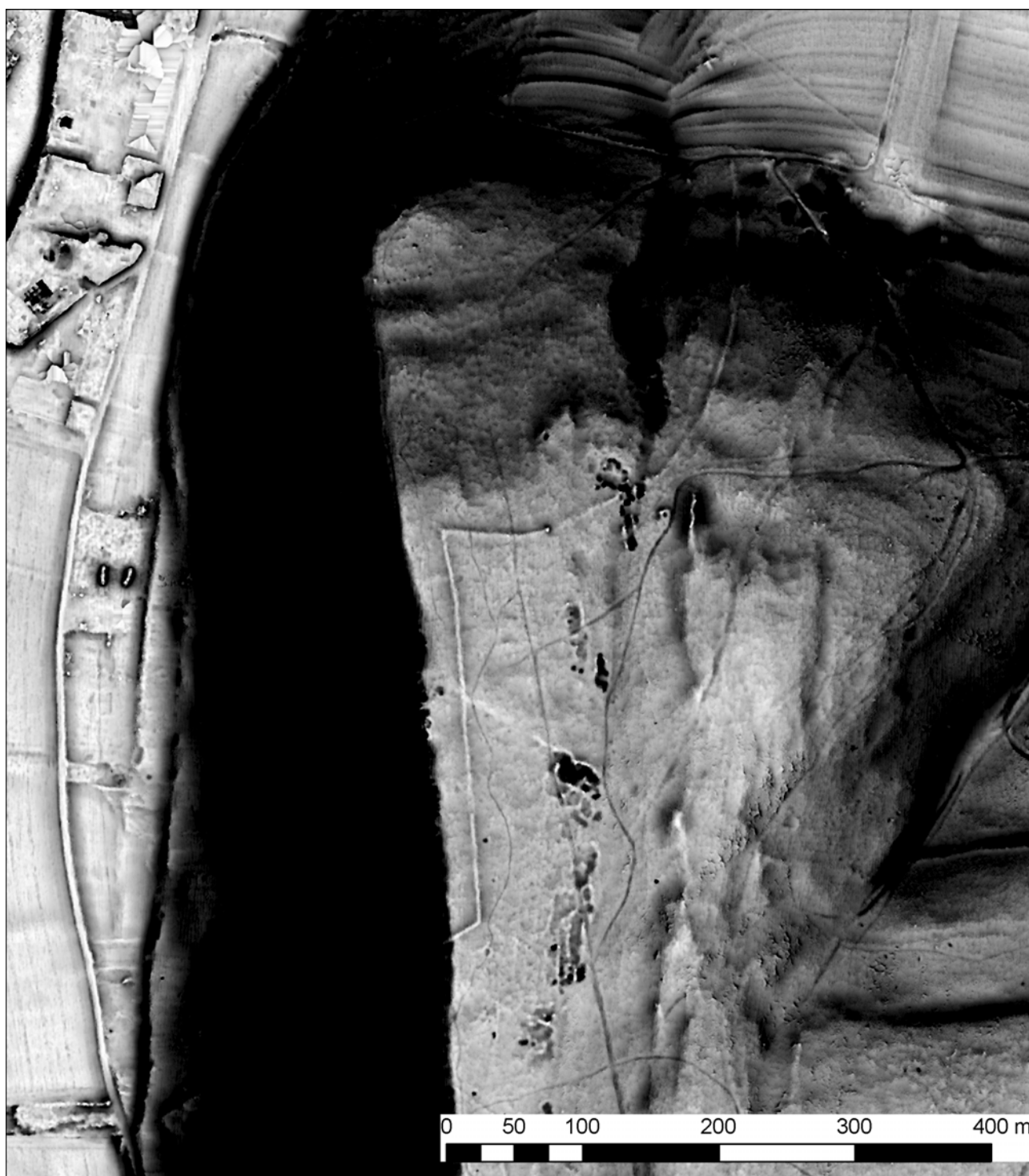


Figure 206. Mandeuire (Doubs). « Le Châtelet ». Prospection LiDAR. Représentation « Sky-View-Factor » de l'escarpement encerclé (C. Laplaige, 2011)

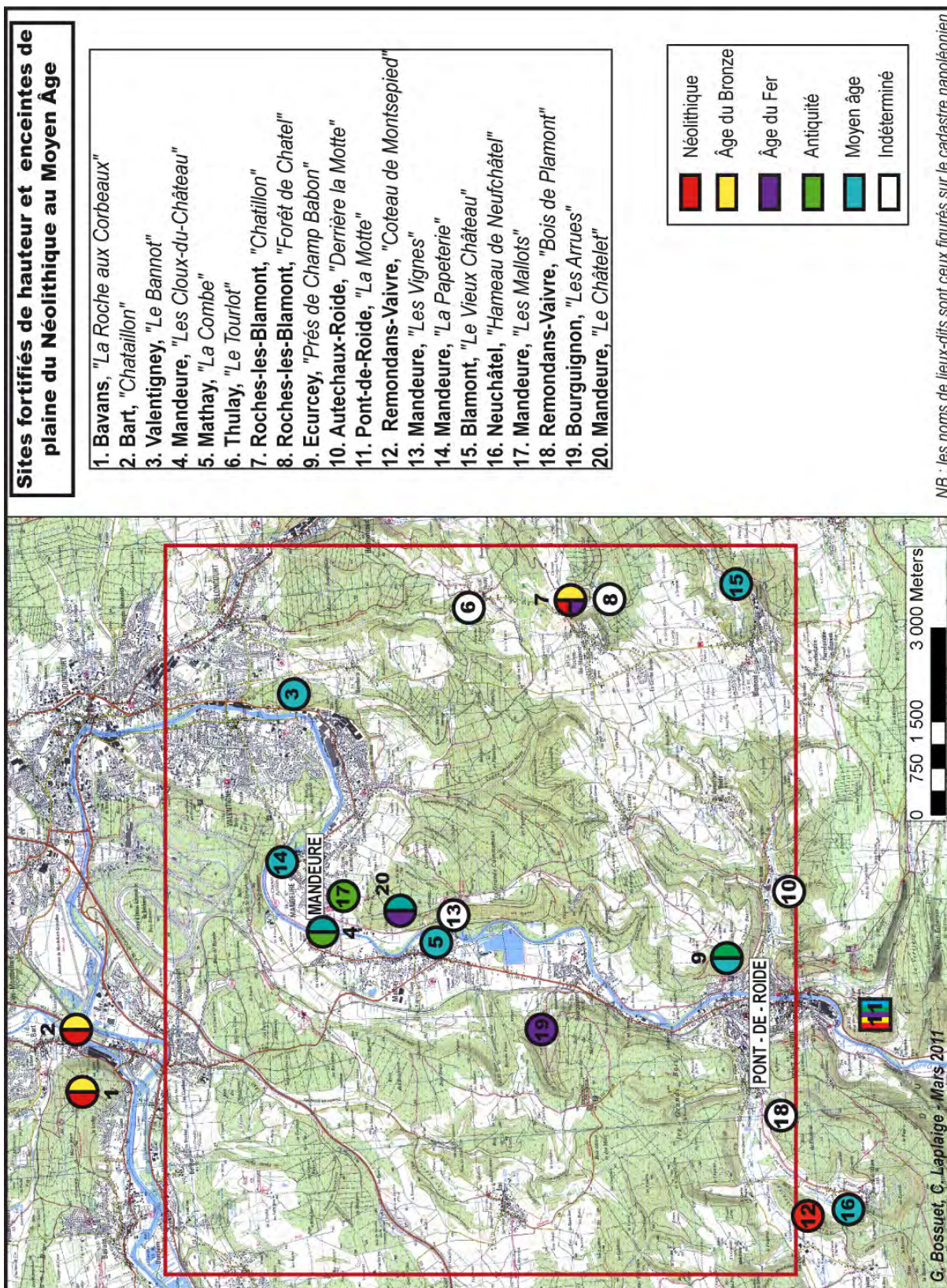


Figure 207. Localisation des sites fortifiés de hauteur et des enceintes de plaine autour de Mandeuire et Pont-de-Roide (C. Laplaige, G. Bossuet, 2011)

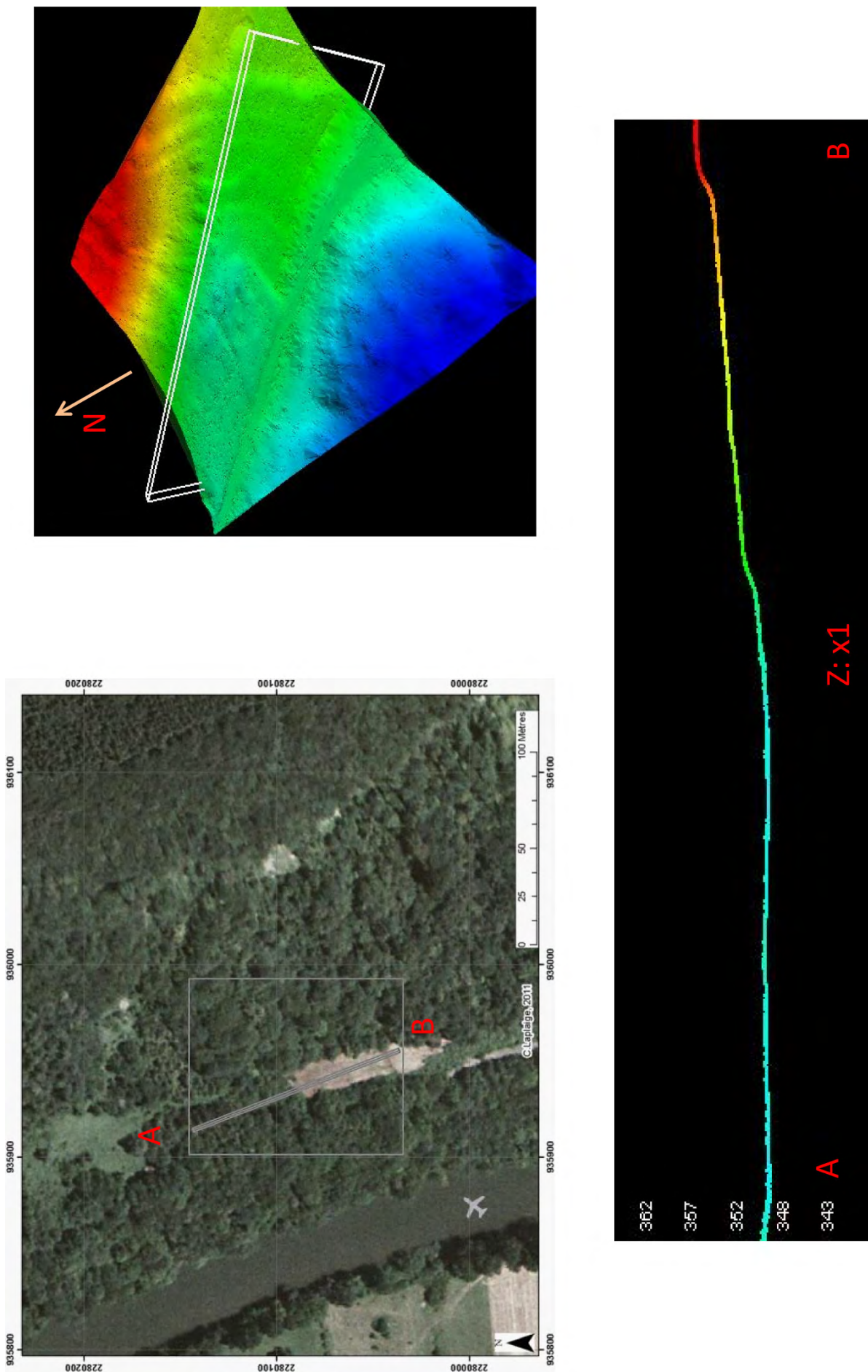


Figure 208. Mandeure (Doubs). « Les Vignes ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe d'une probable enceinte (C. Laplaigne, 2011)



Figure 209. Mandeuire (Doubs). « Les Vignes ». Prospection LiDAR. Représentation « Sky-View-Factor » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)



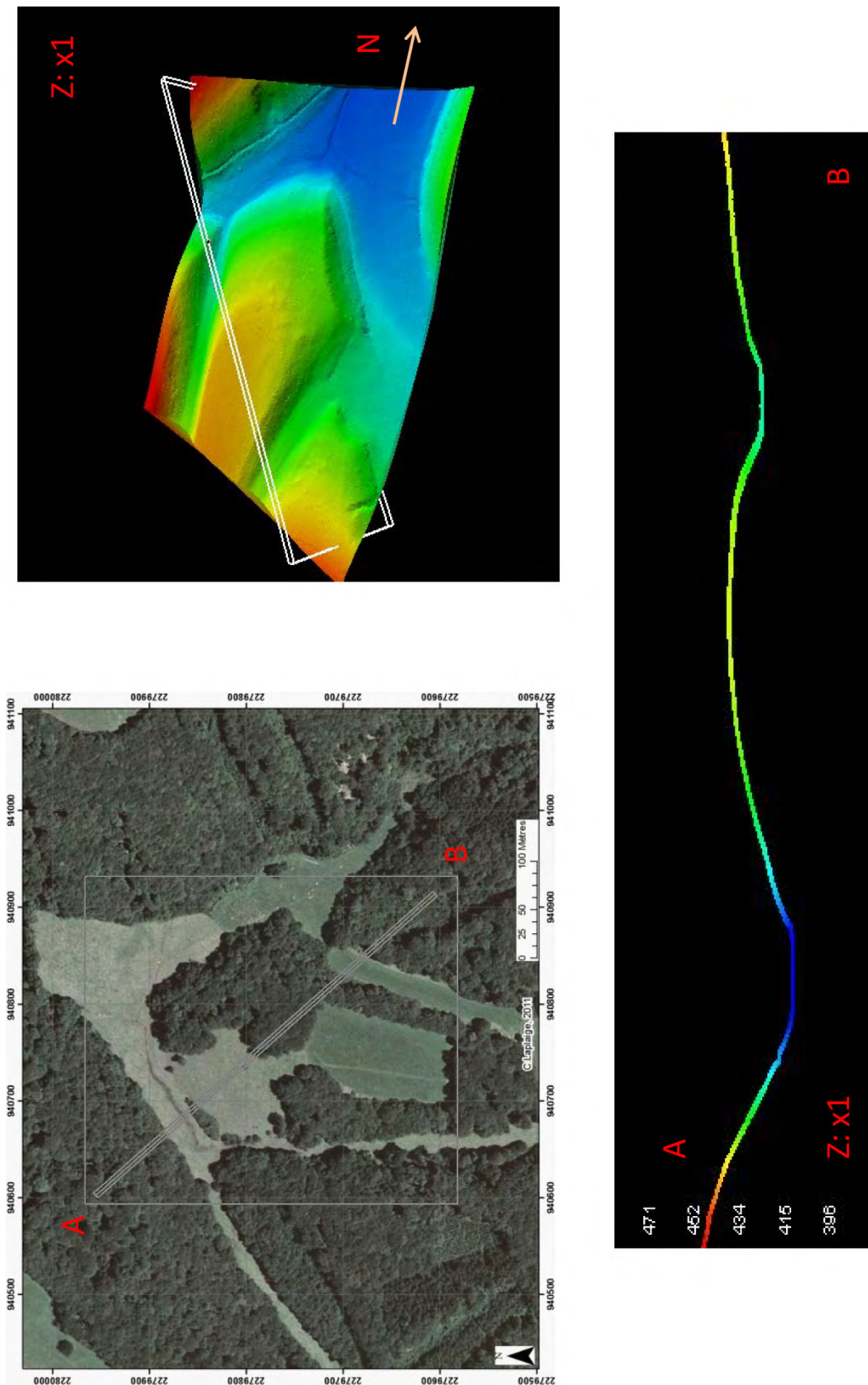


Figure 210. Thulay (Doubs). « Le Tourlot ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de la butte témoin (C. Laplaige, 2011)

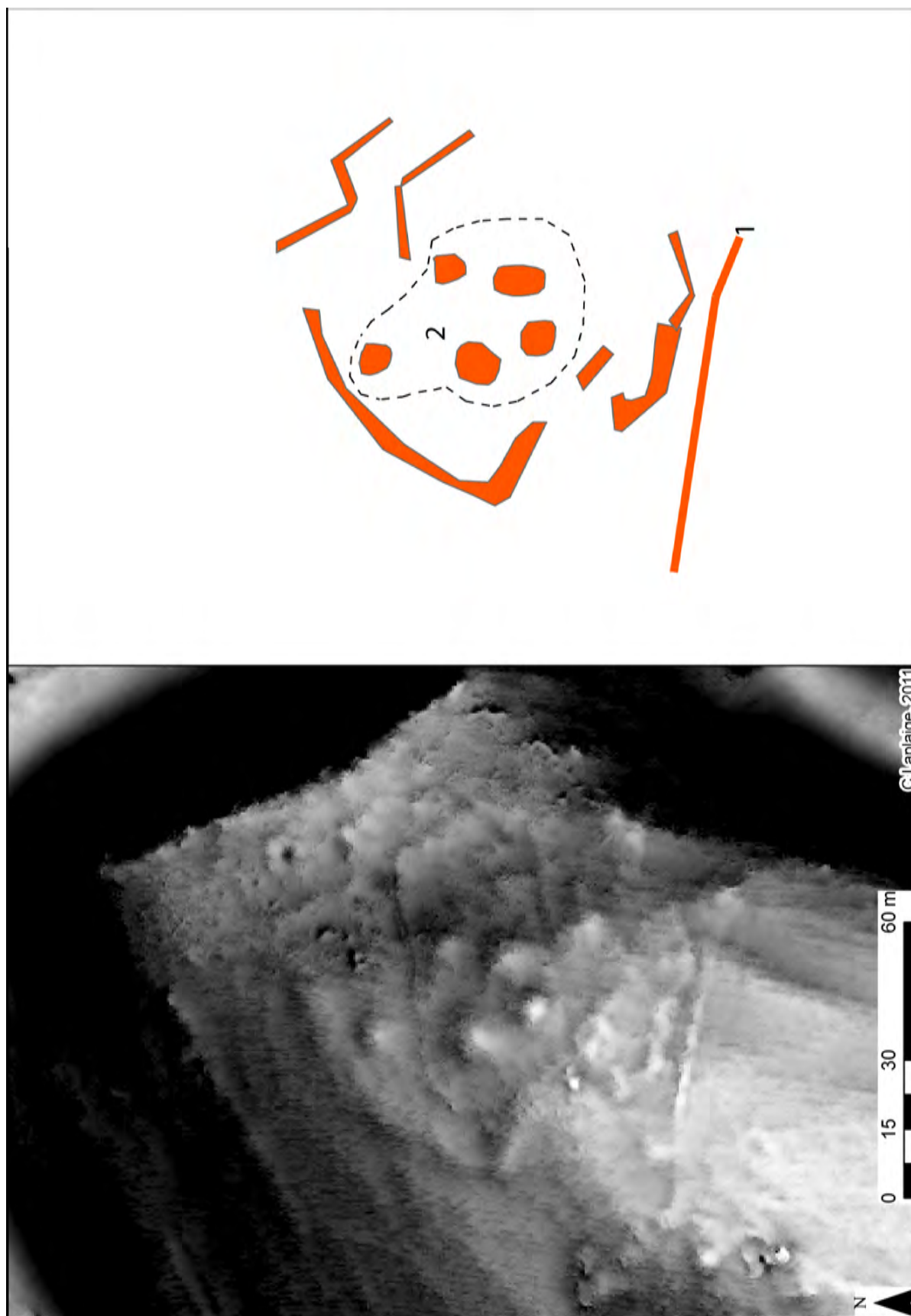


Figure 211. Thulay (Doubs). Prospection LiDAR. Représentation « Sky-View-Factor » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

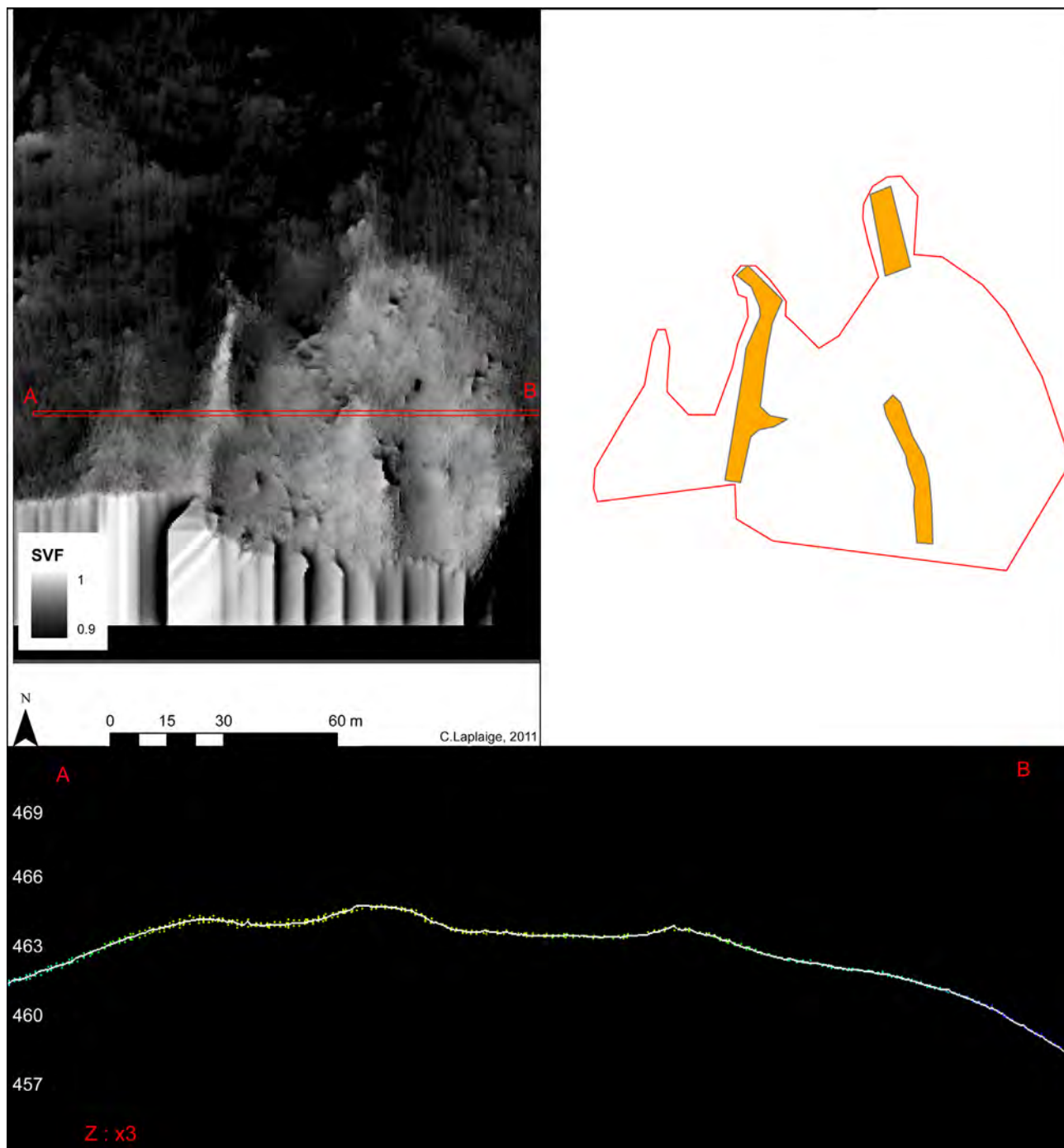


Figure 212. Remondans (Doubs). « Bois de Plamont ». Représentation « Sky-View-Factor », coupe de l'escarpement encadré et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)

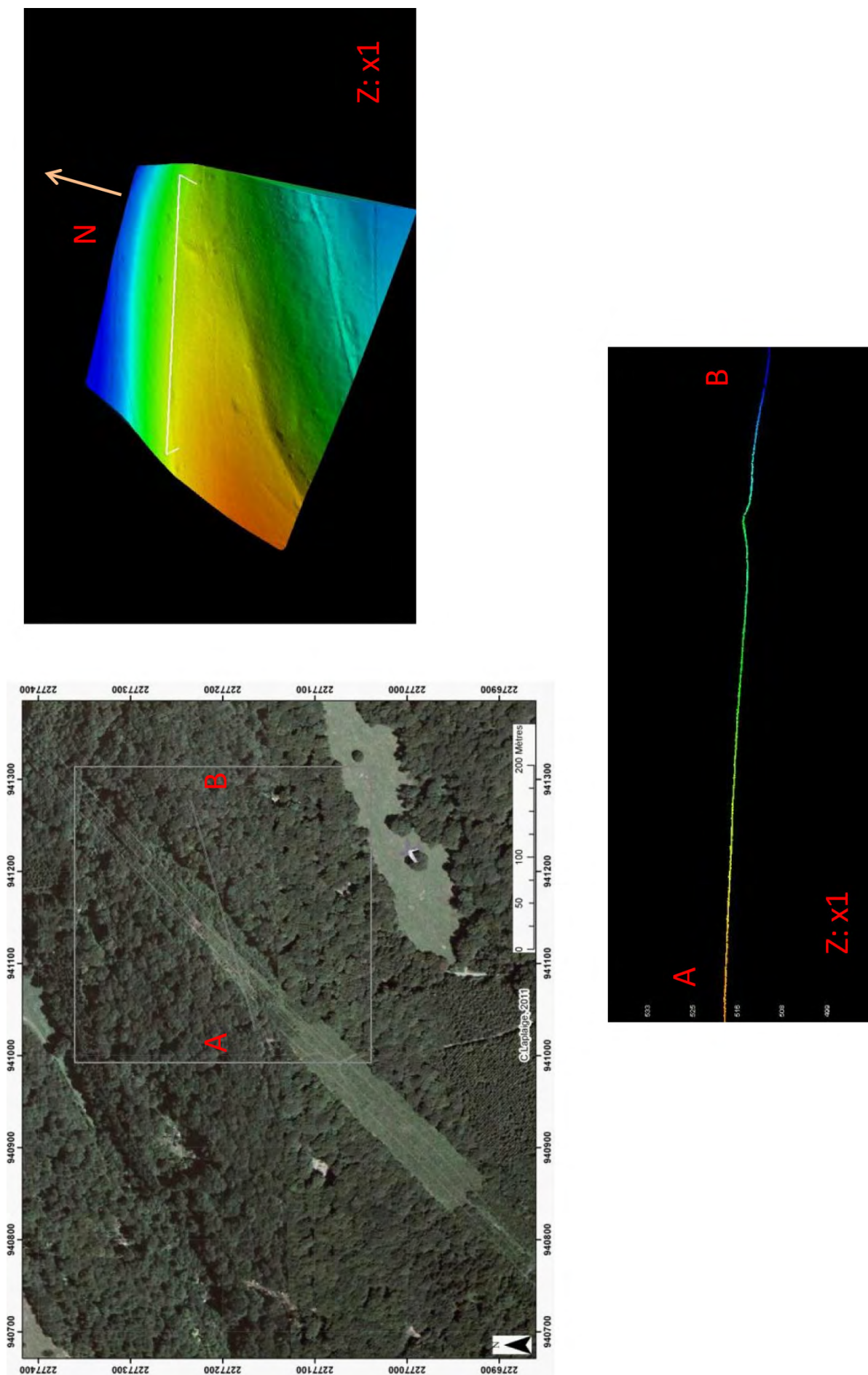


Figure 213. Roches-lès-Blamont (Doubs). « Forêt de Châtel ». Orthophotographie, représentation 3D LiDAR et coupe de l'escarpement encadré (C. Laplaige, 2011)

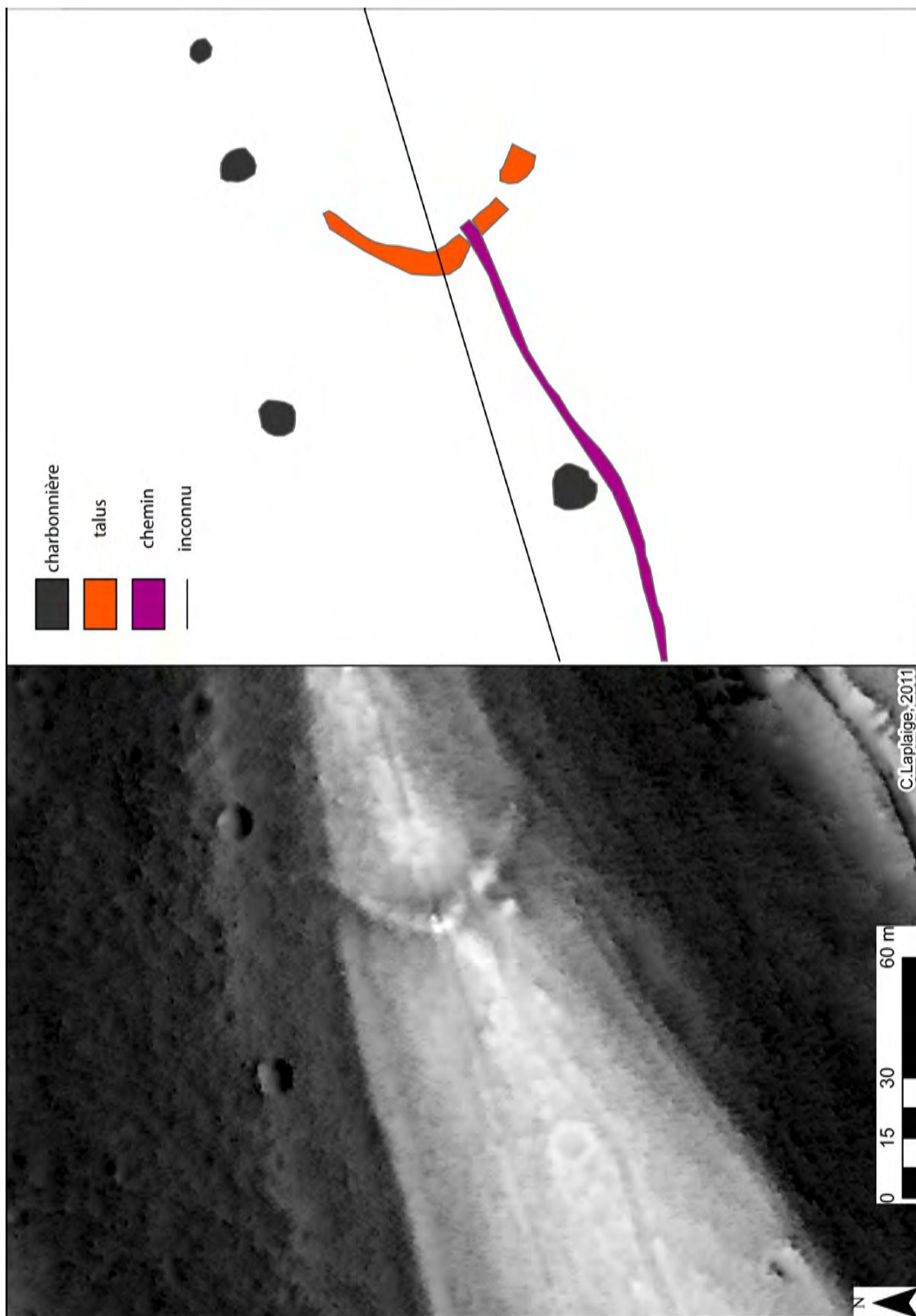


Figure 214. Roches-lès-Blamont (Doubs). « Forêt de Châtel ». Prospection LiDAR. Représentation « Topographic Position Index » et schéma d'interprétation (C. Laplaige, 2011)



Liste des sites	type	contexte	ordre de grandeur des plus petites anomalies interprétables	apport
Autechaux-Roide, "Derrière la Motte"	butté témoin	boisé	plurimétrique	visualisation du site
Mandeure, les "Vignes"	enceinte de plaine	boisé	pluridécimétrique	découverte du site, découverte et cartographie des structures
Valentigney, "le Bannot"	enceinte fermée ou rebords de plateau	boisé	pluridécimétrique	découverte et cartographie des structures
Bourguignon, les "Arrues"	enceinte quadrangulaire	boisé	pluridécimétrique	localisation du site, découverte et cartographie des structures
Blamont, le "Vieux Château"	escarpement encerclé	boisé	pluridécimétrique	découverte et cartographie des structures
Mandeure, le "Chatelet"	escarpement encerclé	boisé	pluridécimétrique	localisation du site, découverte et cartographie des structures
Roches-lès-Blamont, "Forêt de Châtel"	escarpement encerclé	boisé	pluridécimétrique	découverte du site, découverte et cartographie des structures
Mandeure, les "Mallots"	enceinte quadrangulaire	labour	aucun	néant
Thulay, le "Tourlot"	butté témoin	pâturage boisée	pluridécimétrique	découverte du site, découverte et cartographie des structures
Roches-lès-Blamont, "Chatillon"	éperon barré	prairie	pluridécimétrique	découverte et cartographie des structures
Ecurcey, "Prés de Champ Babon"	escarpement encerclé	prairie	pluridécimétrique	découverte et cartographie des structures
Mathay, la "Combe"	enceinte de plaine	urbain/péri-urbain	pluridécimétrique	découverte et cartographie des structures
Mandeure, le Castrum des "Cloux du Château"	enceinte de plaine	urbain/péri-urbain	métrique	néant
Remondans, "bois de Plamont"	escarpement encerclé	boisé	métrique	découverte du site, découverte et cartographie des

Figure 216. Tableau synthétisant les contextes paysagers et les apports de la prospection LiDAR pour chacun des sites fortifiés présents dans la zone d'étude (C. Laplaige, 2011)

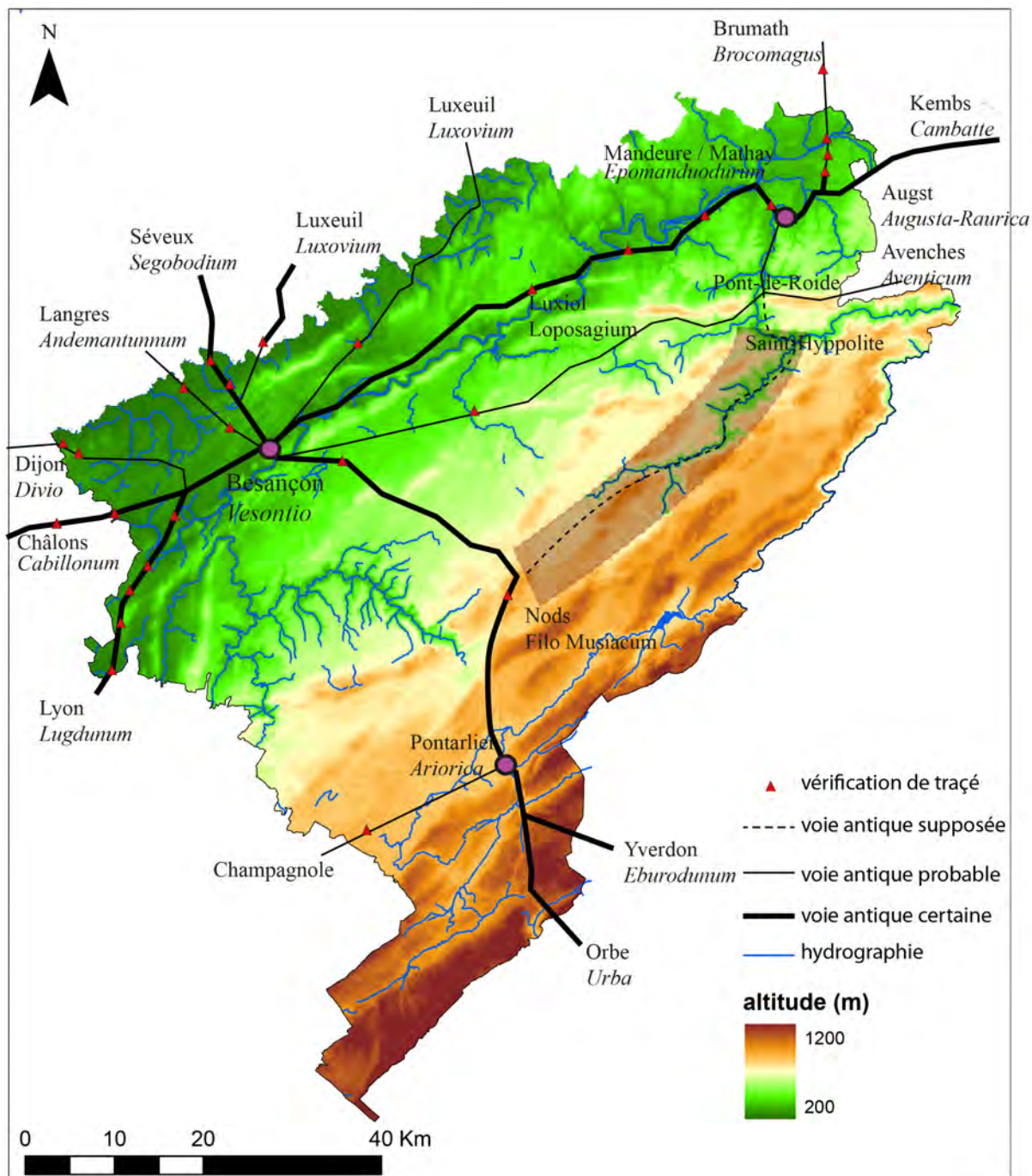


Figure 217. Principales voies de communication dans le Doubs à l'époque romaine (C. Laplaige, 2011, d'après L. Joan, 2003 et M. Thiver 2008)



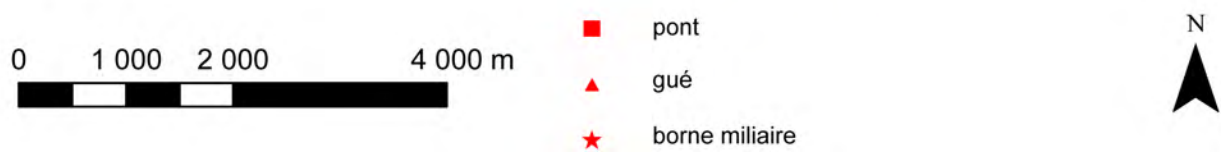
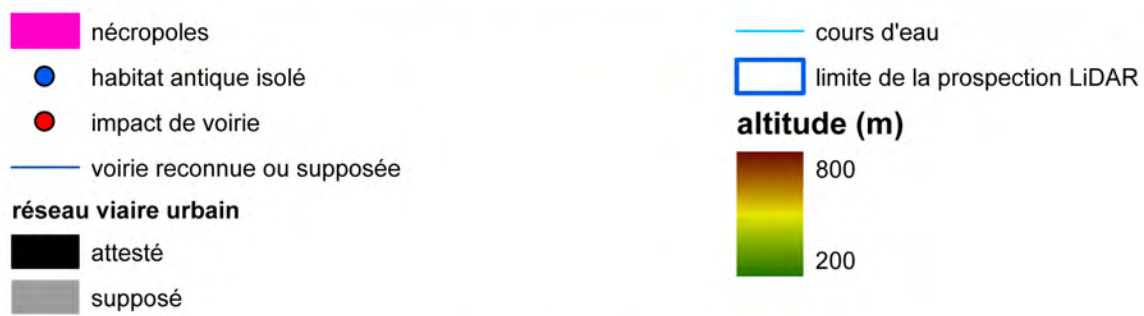
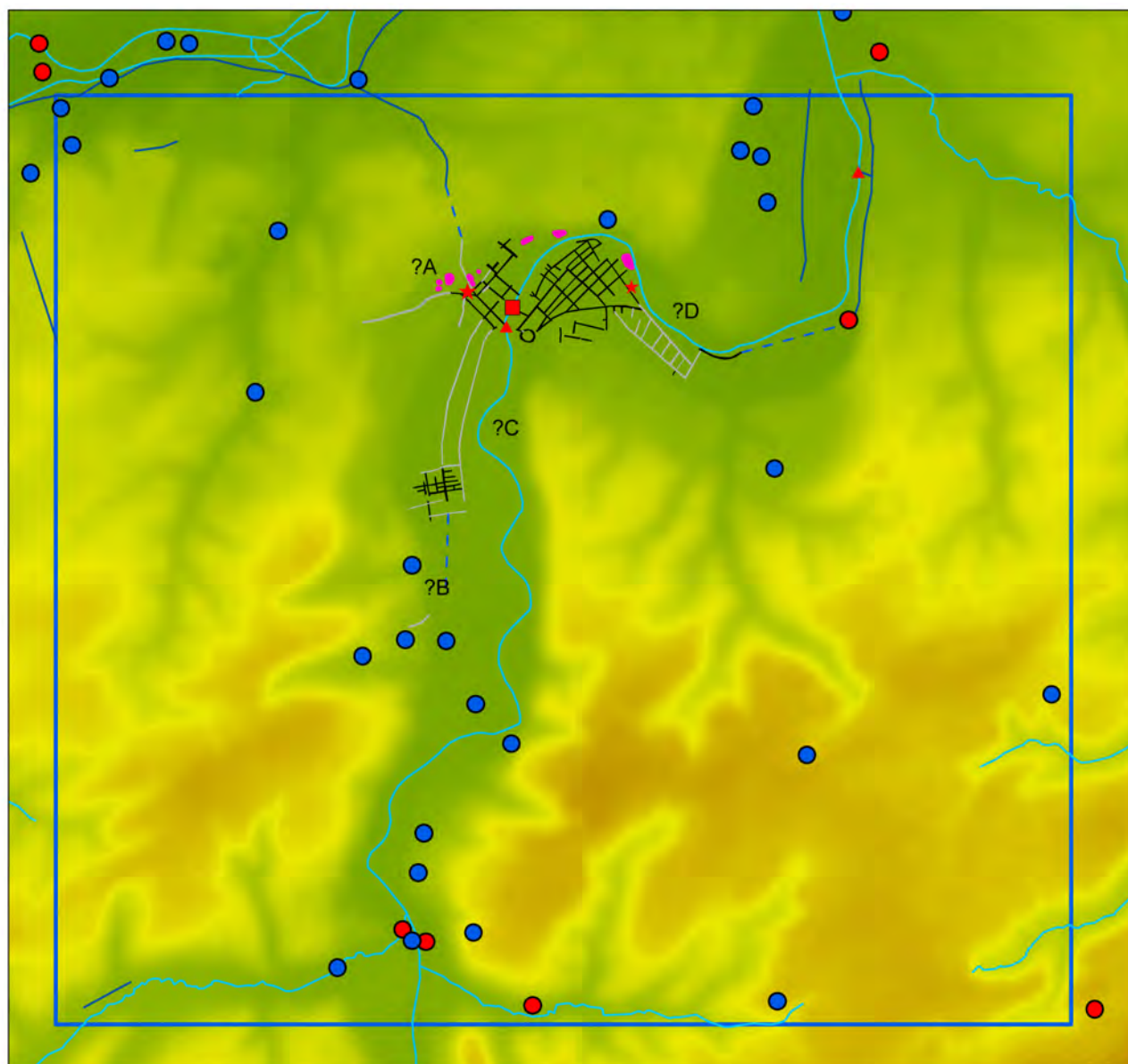


Figure 218. Localisation des habitas isolés, des tronçons de voies, des nécropoles, des bornes miliaires et des points de franchissement du Doubs identifiés dans l'emprise de la fenêtre LiDAR (C. Laplaige, 2011)

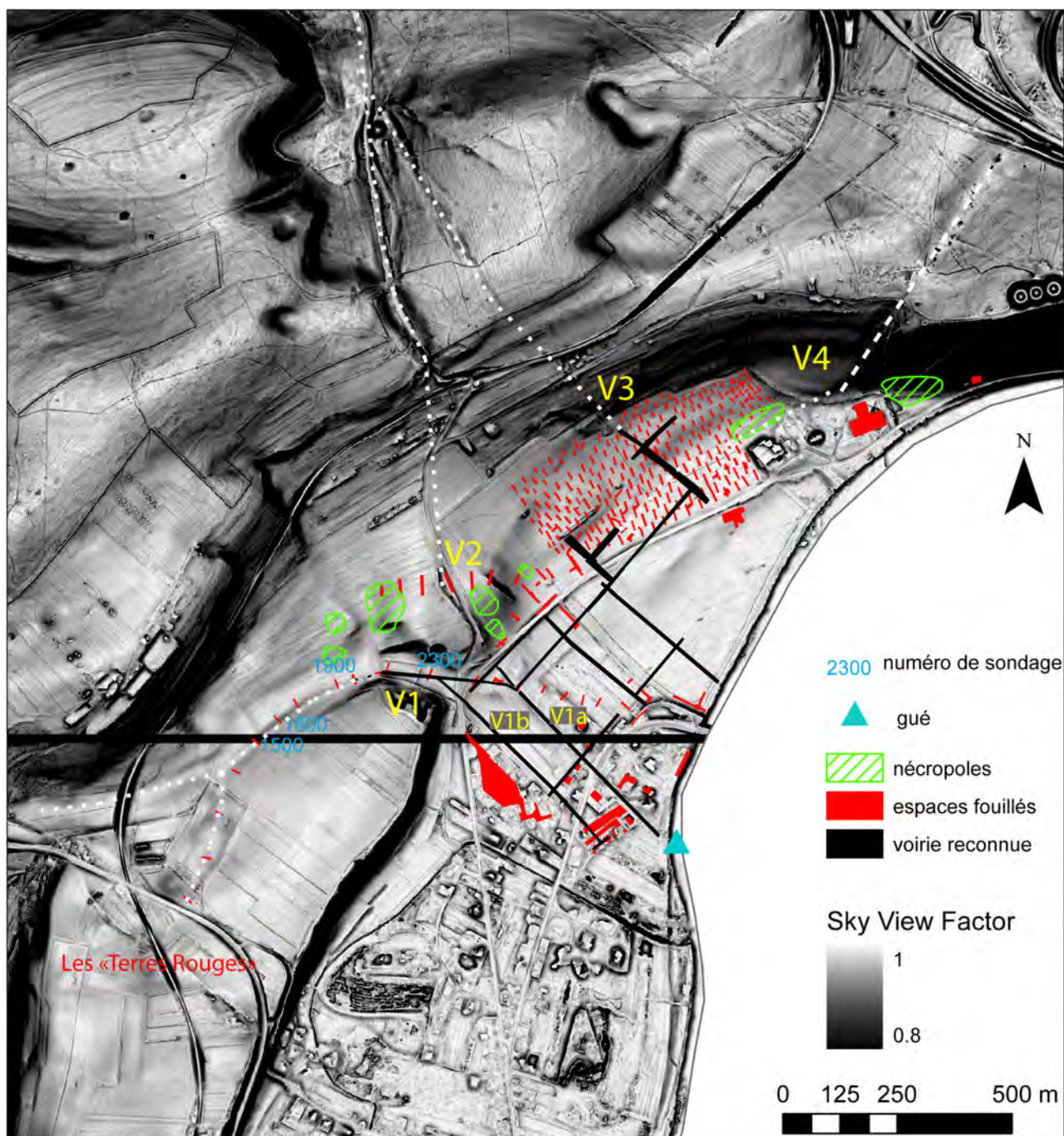


Figure 219. Mathay (Doubs). Périphérie nord-ouest de l'agglomération antique. Représentation « Sky-View-Factor », localisation des nécropoles, du réseau viaire et propositions de tracés (C. Laplaige, 2011)

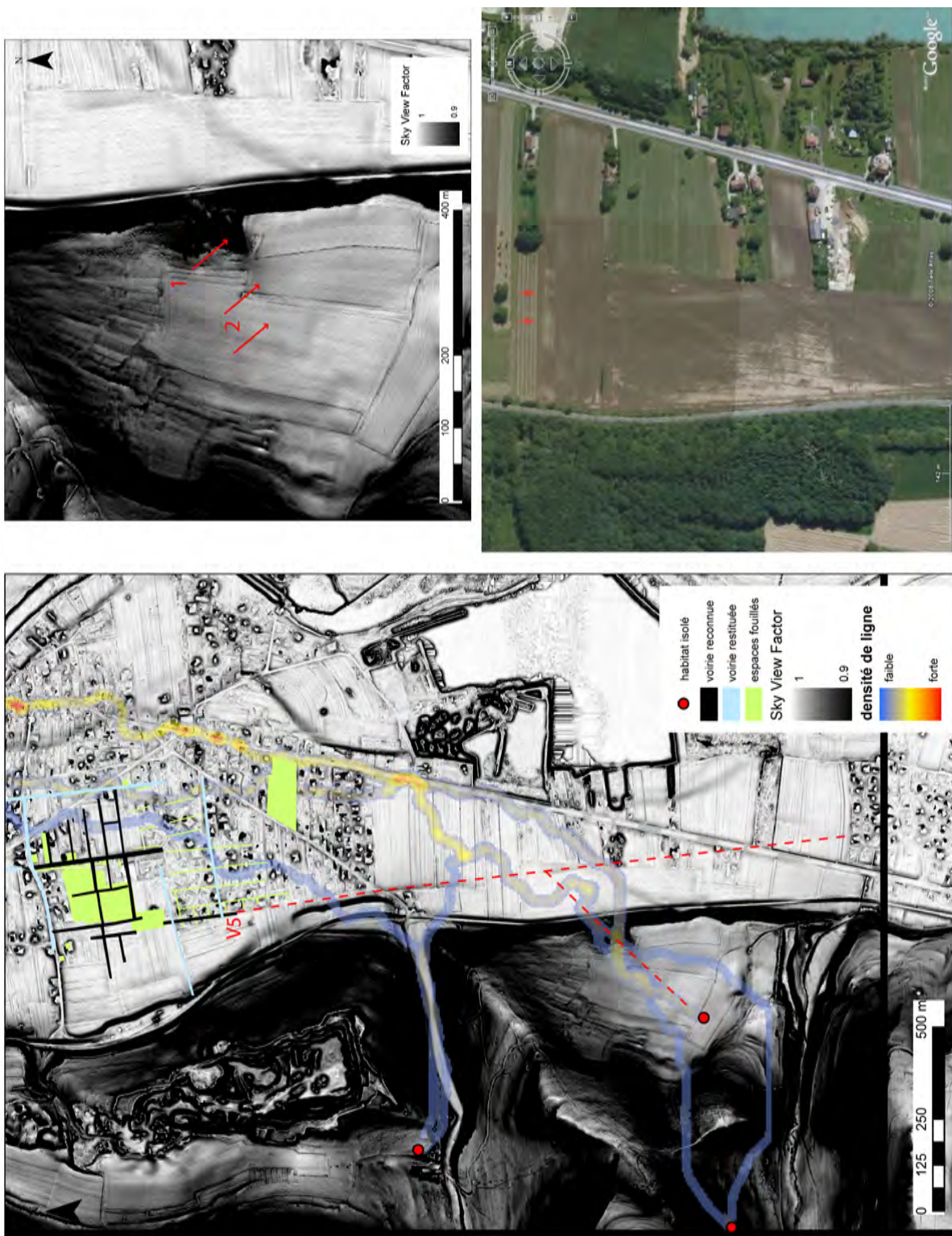


Figure 220. Mathay (Doubs). Sud du quartier artisanal antique de l'Essarté. Représentation « Sky-View-Factor », localisation du réseau viaire et propositions de tracés. Trace des fossés parallèles visibles sur Google Earth (C. Laplaige, 2011)



Figure 221. Vues aériennes des fossés parallèles repérés dans la plaine alluviale du Doubs entre le sud du quartier artisanal de « l'Essarté » et Bourguignon (clichés : P. Augé, 1990)



Figure 222. Mandeuve, Mathay (Doubs). Représentation « Sky-View-Factor » entre la périphérie sud de l'agglomération antique et le nord du quartier de « L'Essarté ». Localisation du réseau viaire et propositions de tracés, (a) orthophotographie de 2011 montrant la porte sud de l'enceinte culturelle, (b) orthophotographie de 2009 montrant les traces repérées «aux Isles devant Mathay », (c) carte de résistivité électrique du sous sol (dispositif ARP à 1m) aux « Ouchottes » (C. Lajlaige, 2011. Sources : Geoportail IGN, Geocartia/PCR Mandeuve)

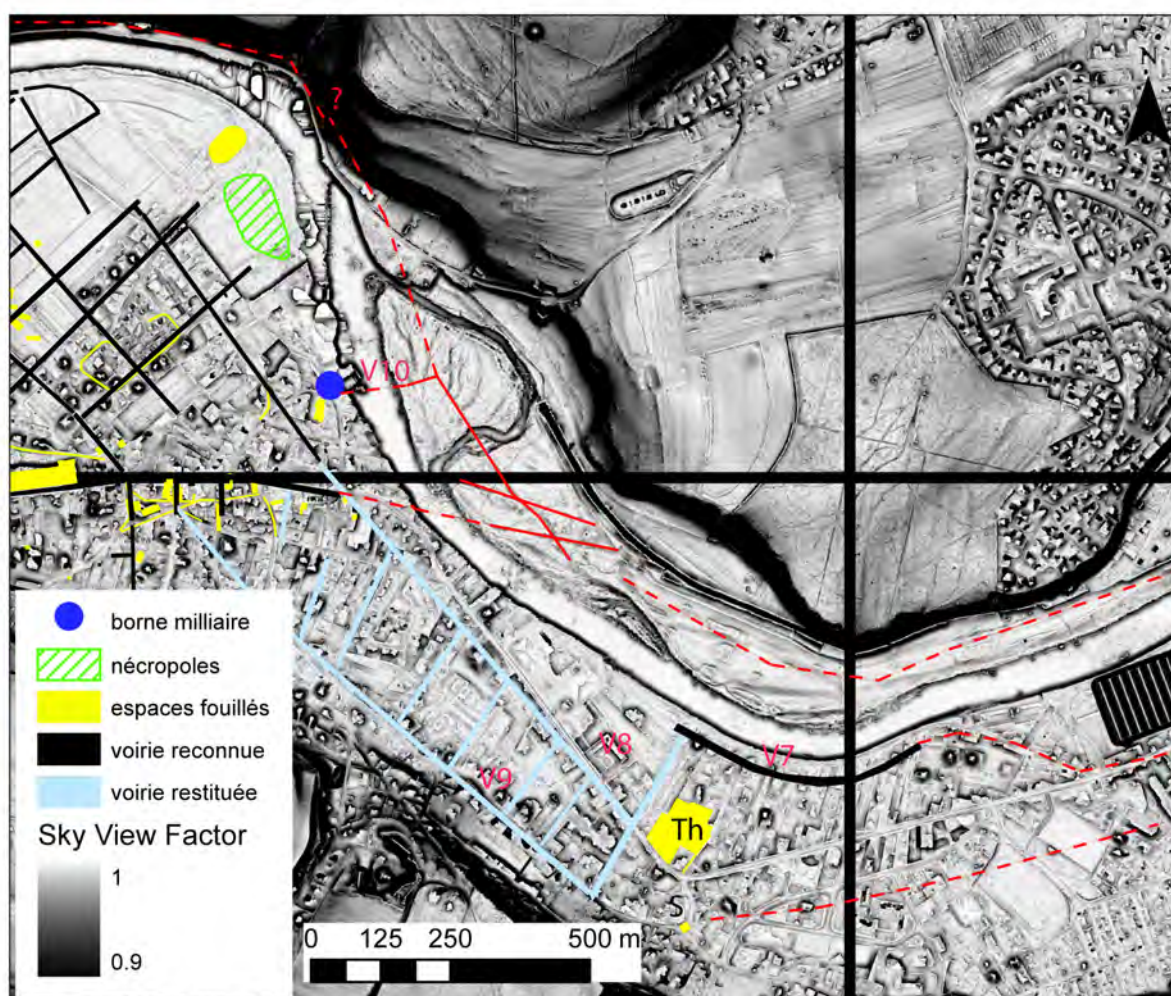
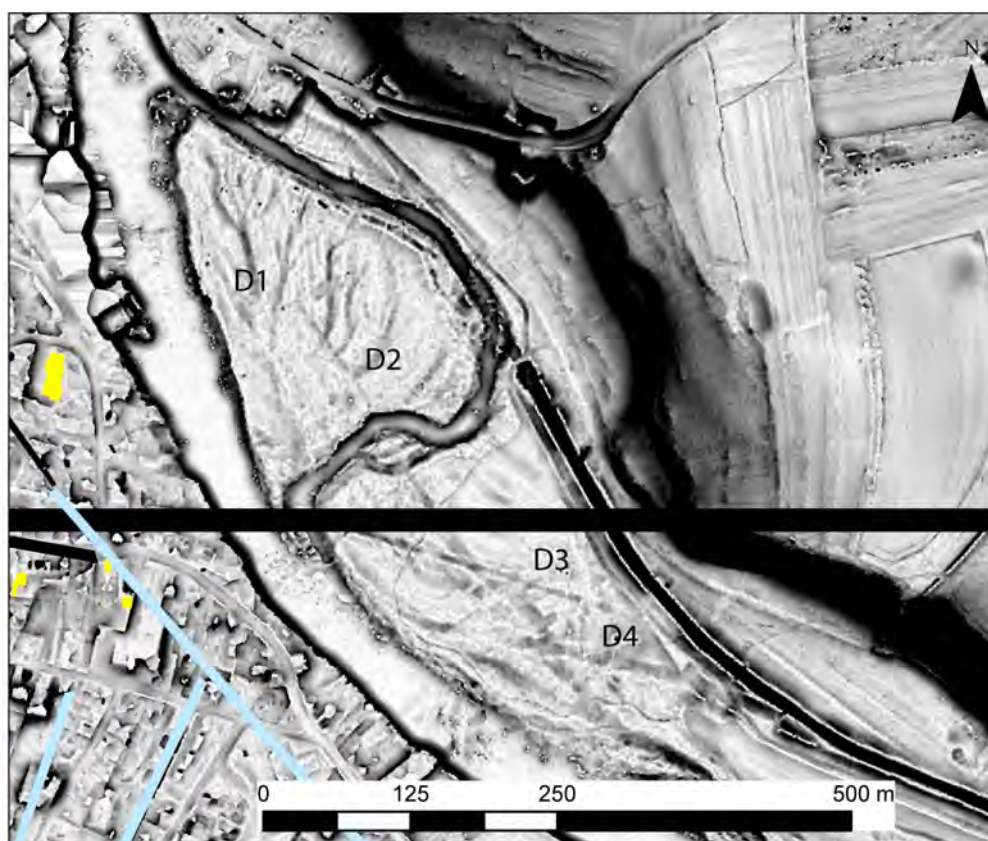


Figure 223. Mandeur (Doubs). Périphérie est de l'agglomération antique. Représentation « Sky-View-Factor », localisation des nécropoles, du réseau viaire et propositions de tracés (C. Laplaige, 2011)

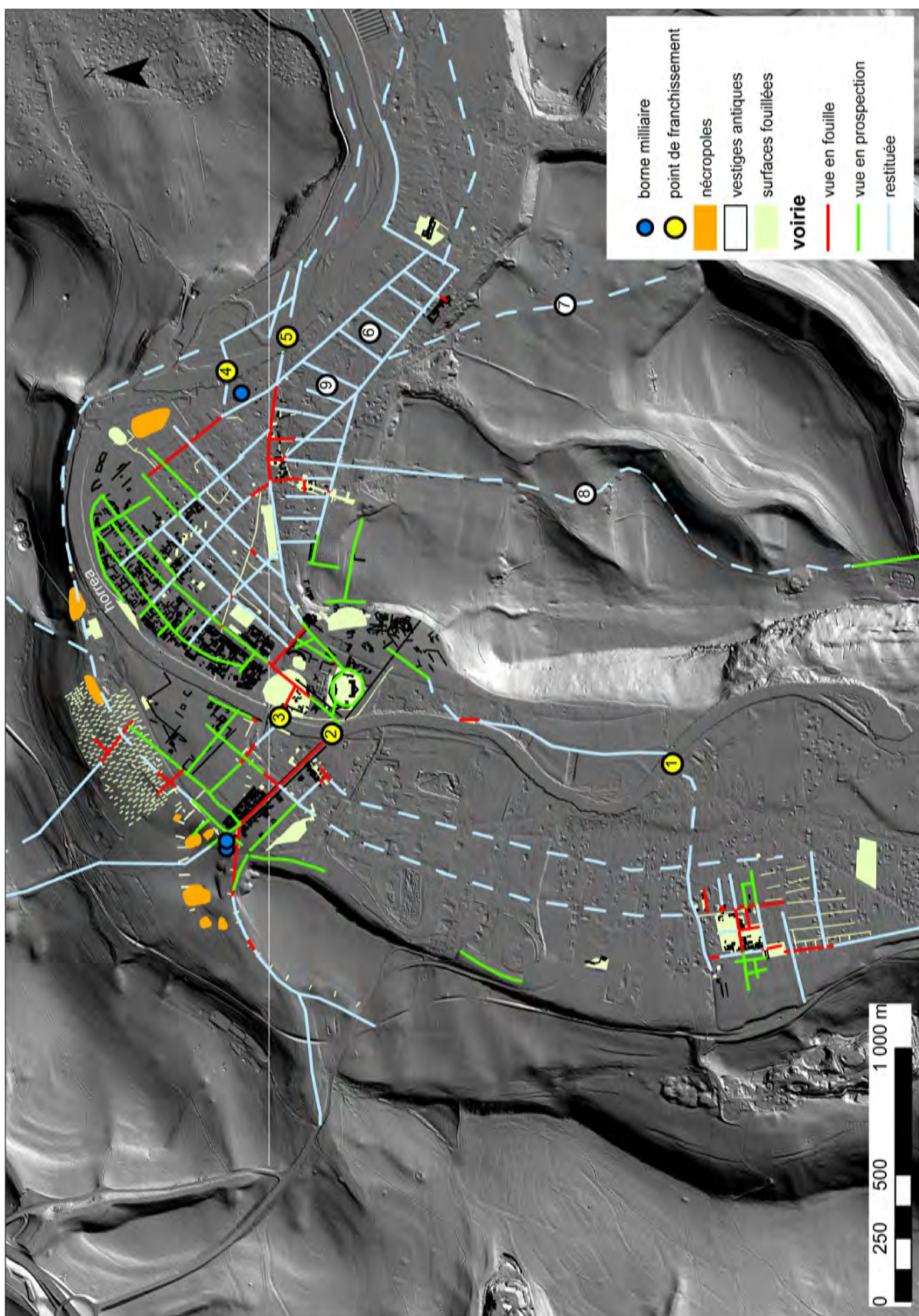
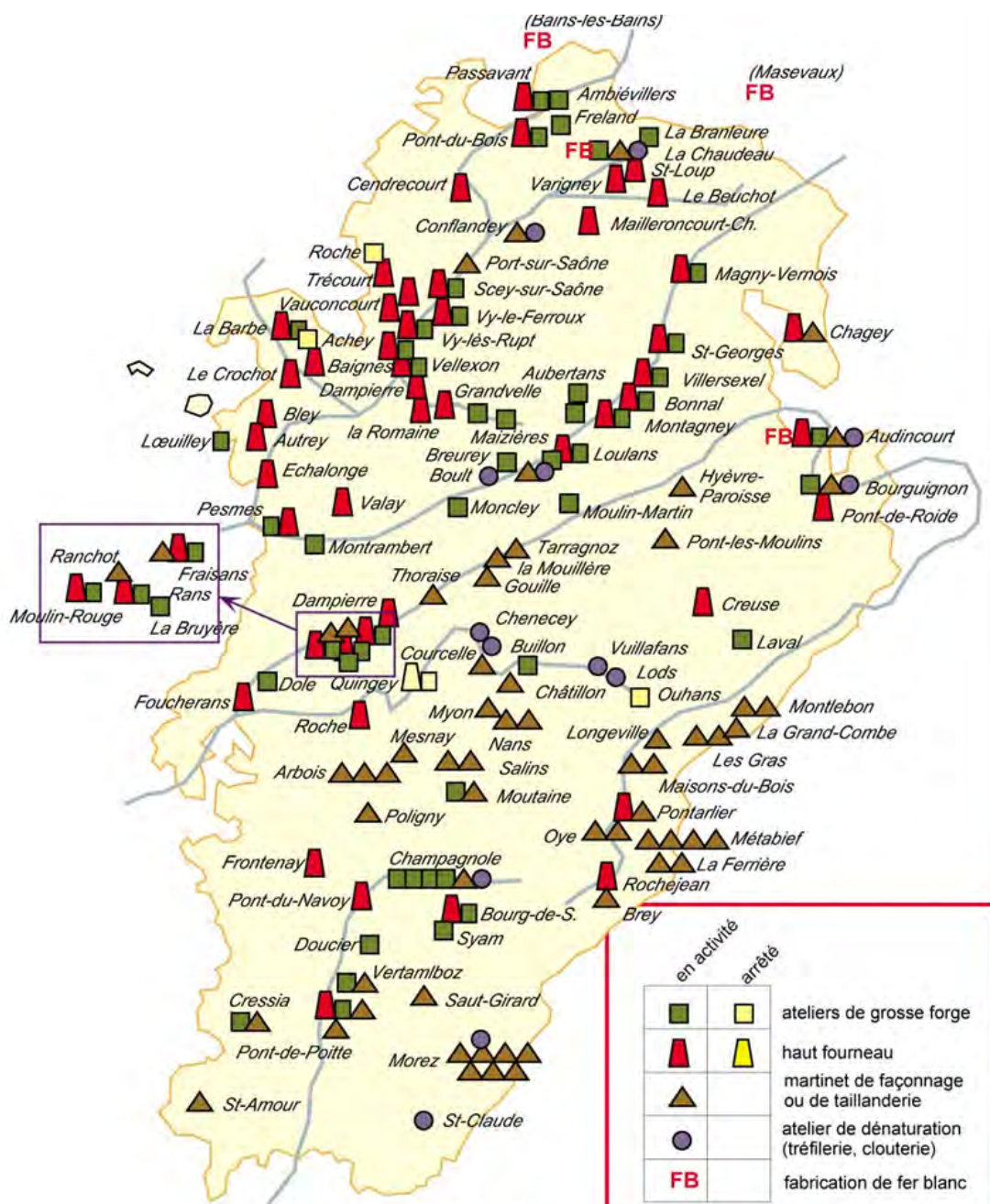


Figure 224. Mandeuve-Mathay (Doubs). Prospection LiDAR. Représentation d'un ombrage simple 315\_45 Restitution du réseau viarie autour de l'agglomération antique, localisation des nécropoles, des bornes milliaires et des points de franchissement du Doubs (C. Laplaige, G. Bossuet, 2011)



**La métallurgie en Franche-Comté  
situation des usines en 1788**

Figure. 225 La métallurgie en Franche Comté, situation des usines en 1788 (d'après F. Lassus, 2005)



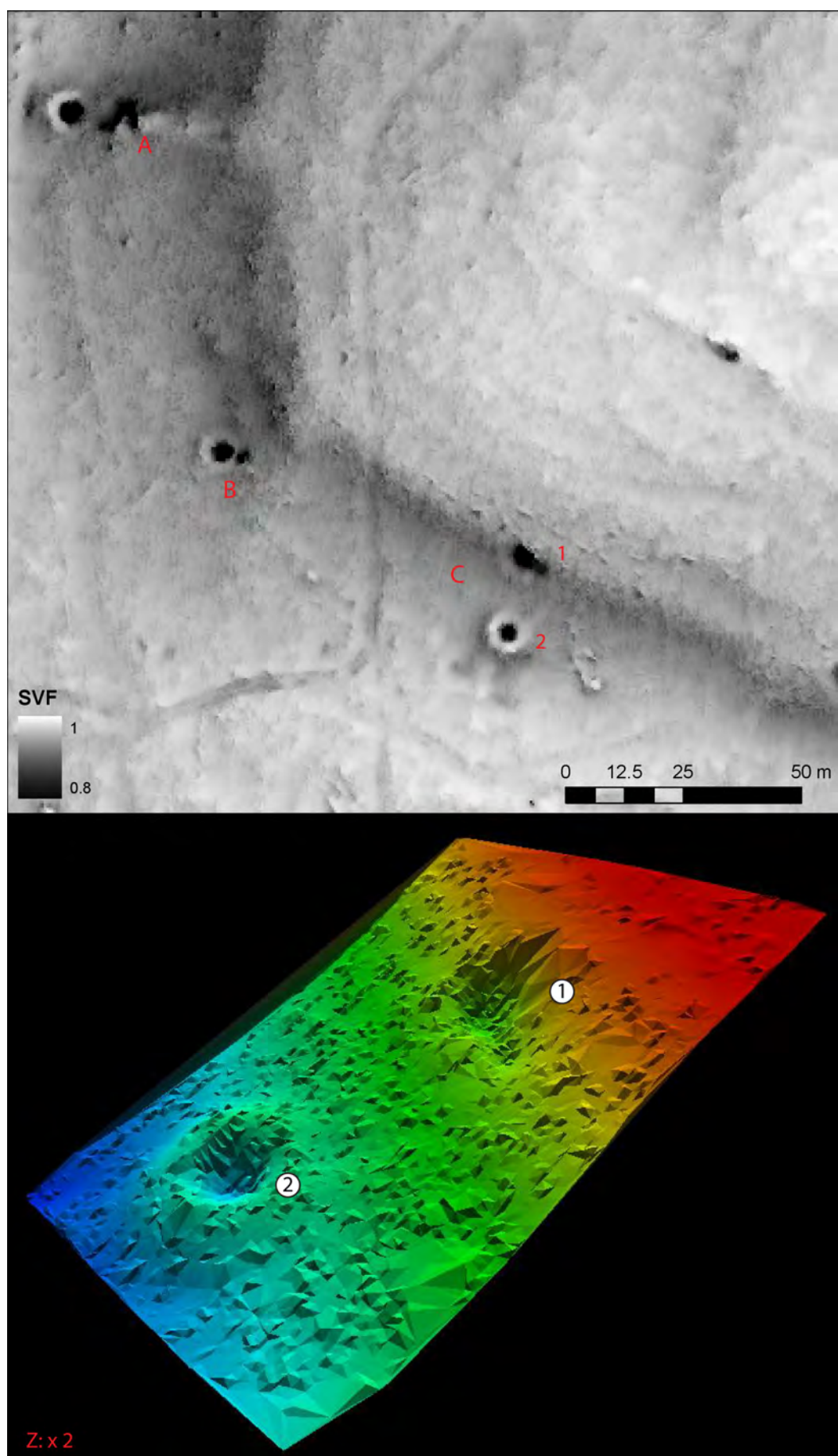


Figure 226. Mathay (Doubs). Prospection LiDAR. Détail du modèle ombré du terrain révélant des anomalies du relief (1) et (2) caractéristiques de plusieurs fours à chaux (A), (B) (C). Représentation 3D de la fosse d'extraction (1) et du four à chaux (2) (C. Laplaige, 2010)

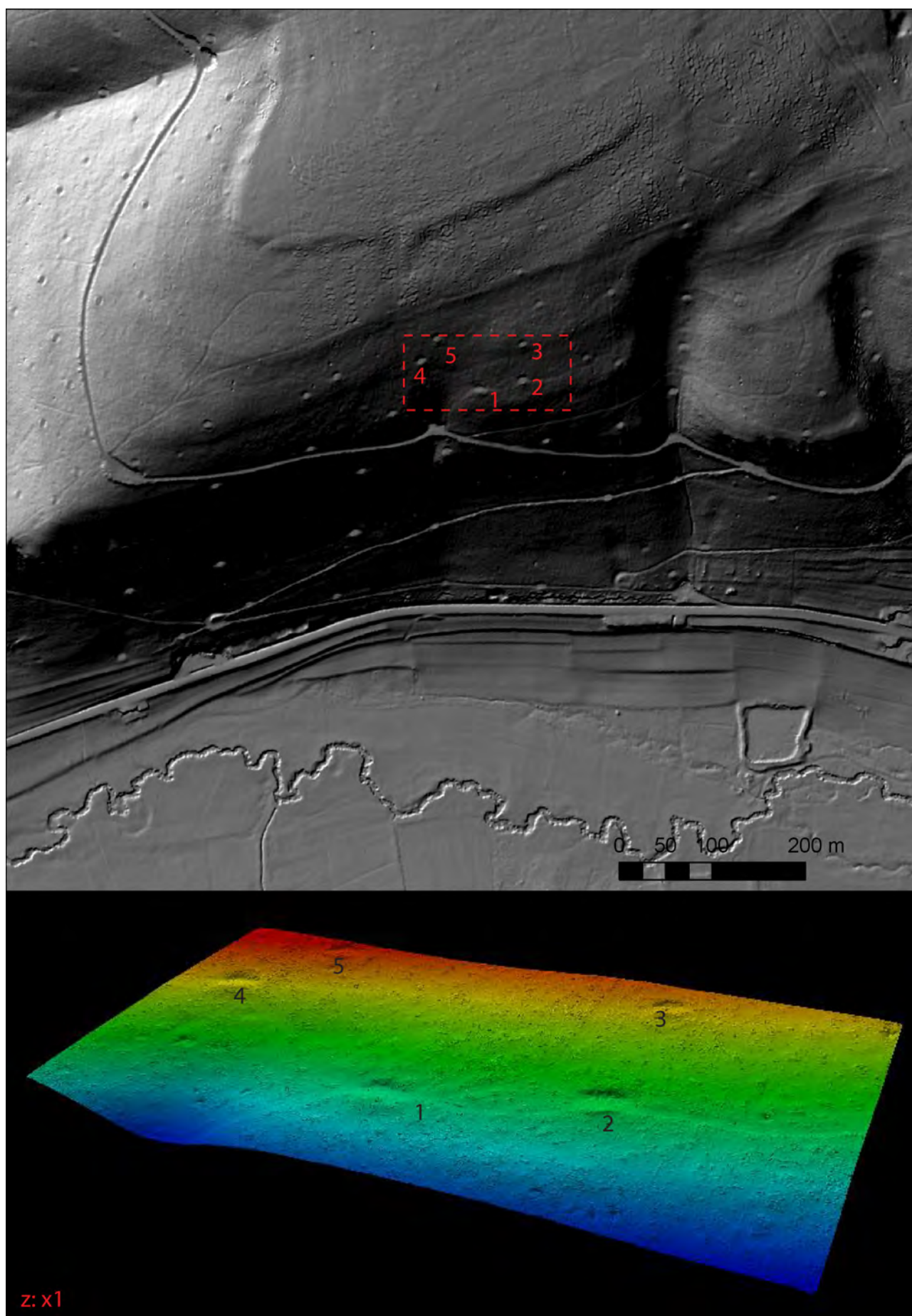


Figure 227. Pont-de-Roide (Doubs). Détail du modèle ombré du terrain révélant des anomalies du relief (1, 2, 3, 4, à 5) caractéristiques de places de charbonniers. Représentation 3D de l'organisation spatiale du site de charbonnage (C. Laplaige, 2010)

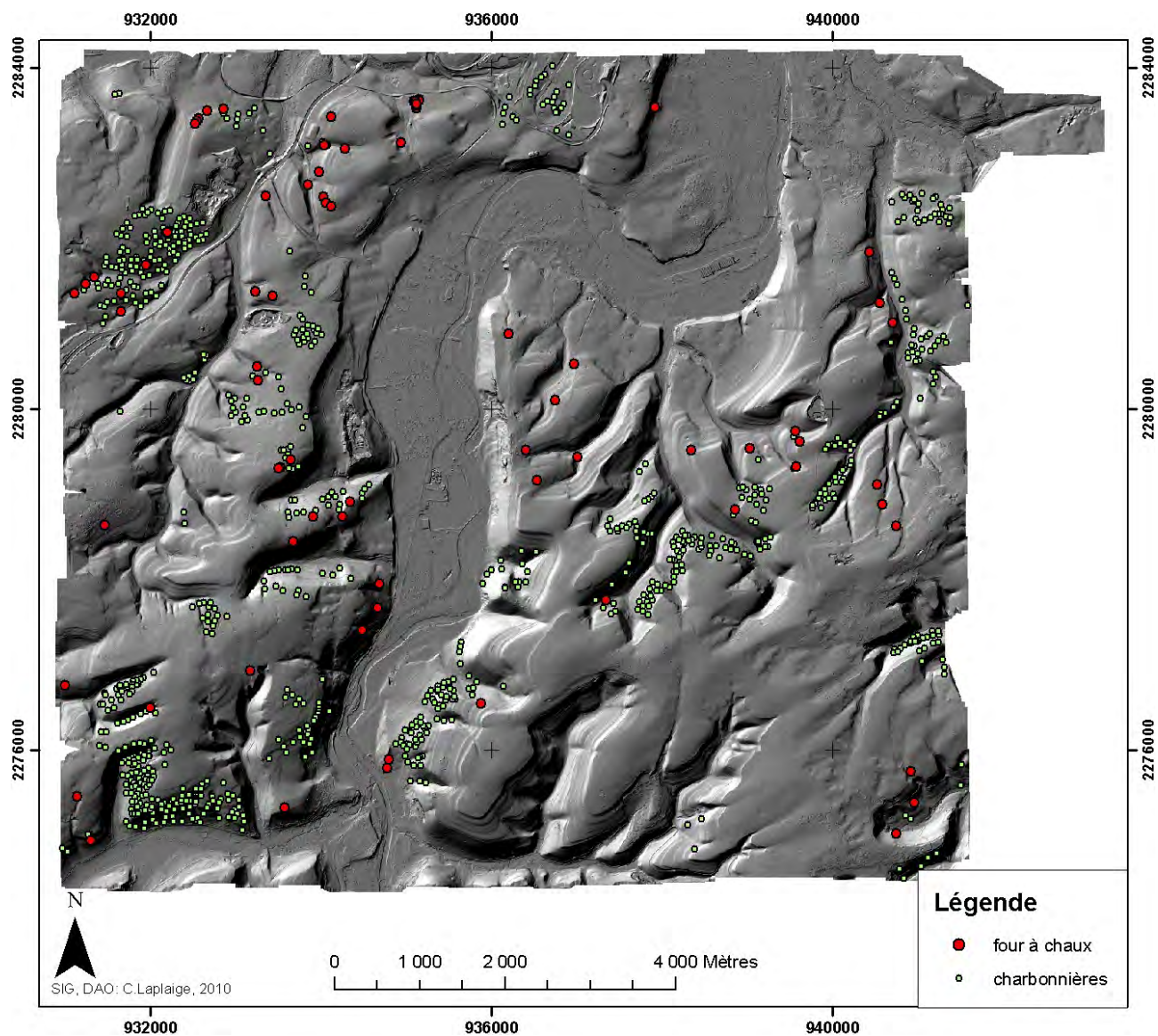


Figure 228. Localisation des anomalies microtopographiques matérialisant l'emplacement des fours à chaux et des places de charbonniers dans l'emprise de la fenêtre LiDAR (C. Laplaige, 2010)

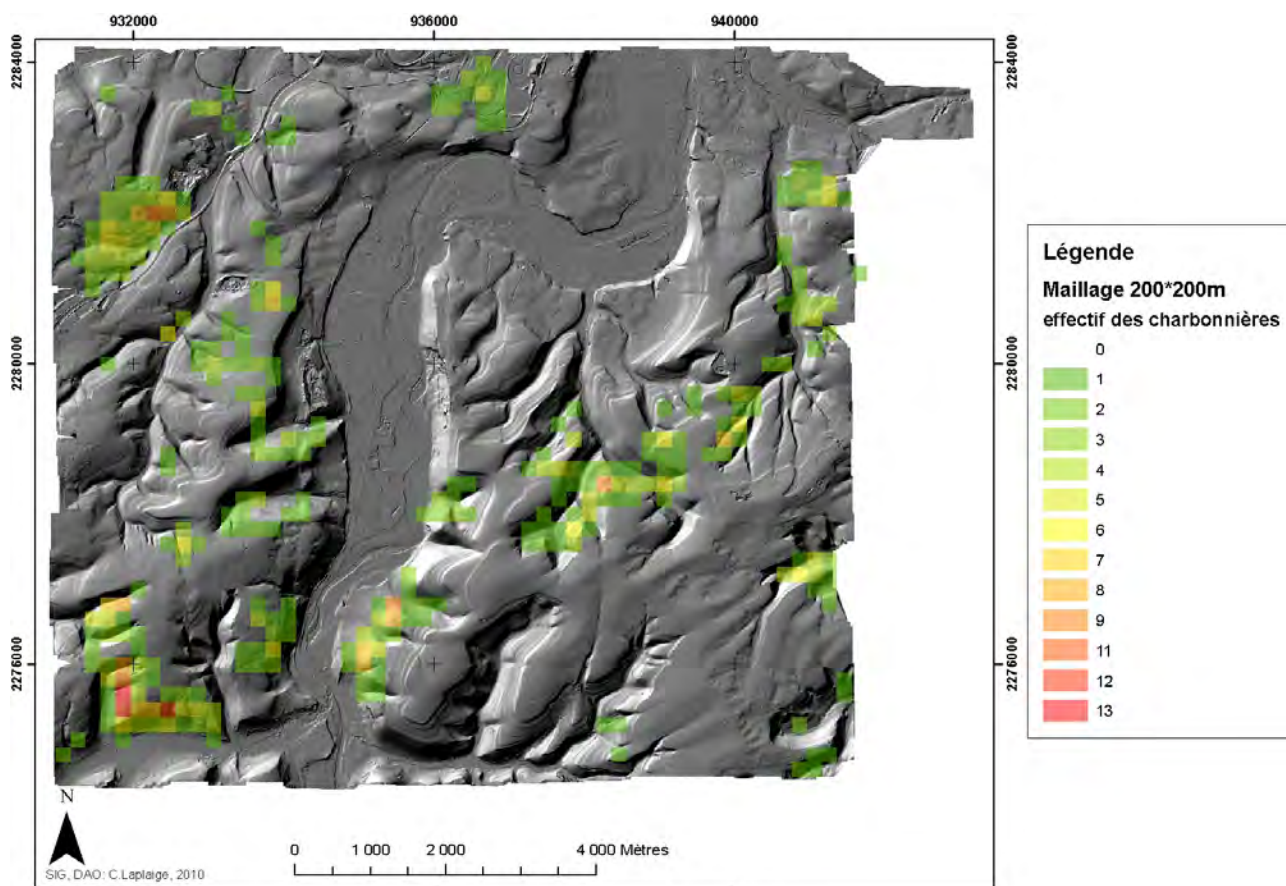


Figure 229. Distribution spatiale des fours à chaux à partir d'un découpage de la fenêtre LiDAR en maille élémentaire de 500\*500 m (C. Laplaige, 2010)

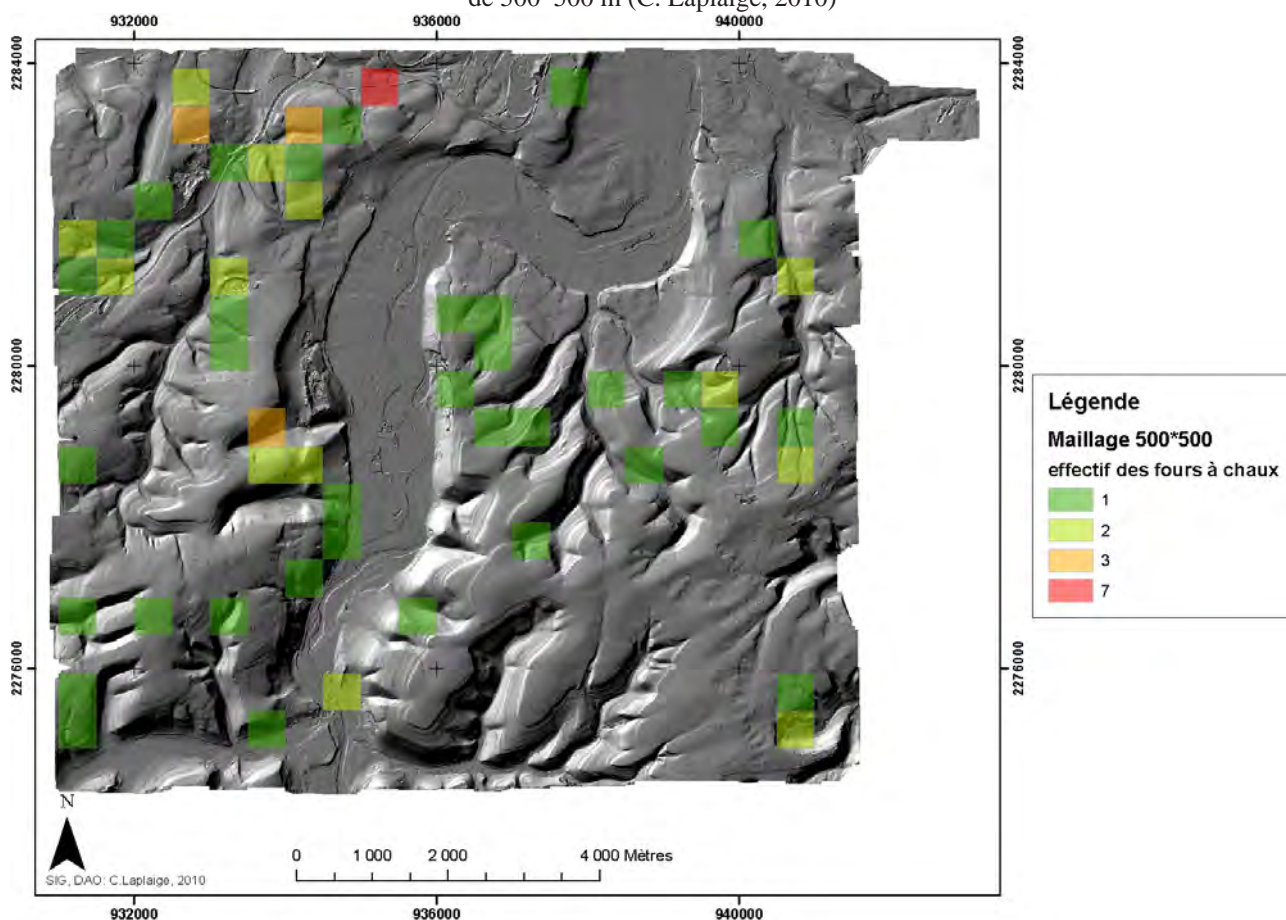


Figure 230. Distribution spatiale des charbonnières à partir d'un découpage de la fenêtre LiDAR en maille élémentaire de 200\*200 m (C. Laplaige, 2010)

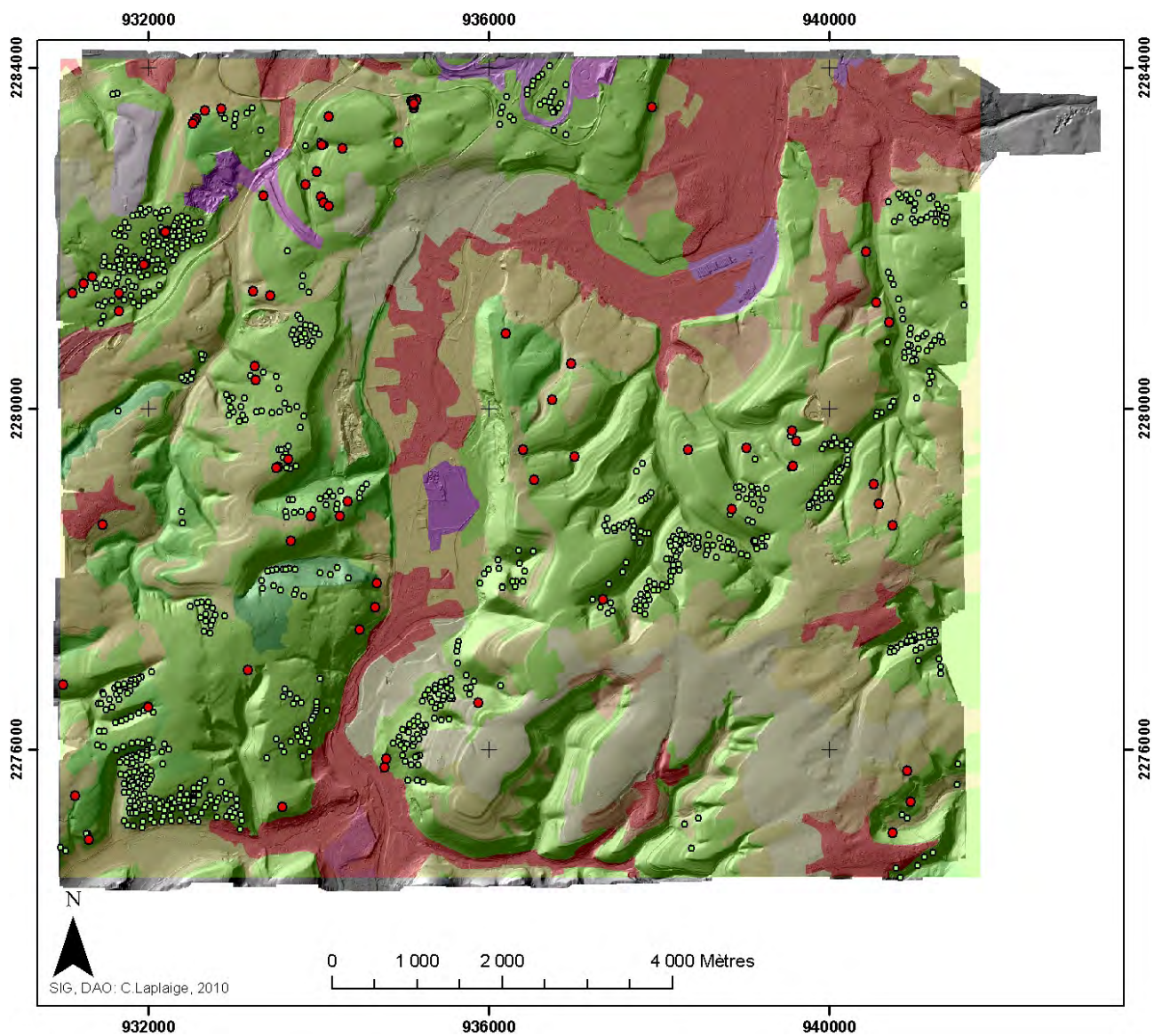


Figure 231. Distribution des fours à chaux (en rouge) et des charbonnières (en vert) en fonction de l'occupation actuelle du sol (C. Laplaige, 2010, données Corine Land Cover 2000)

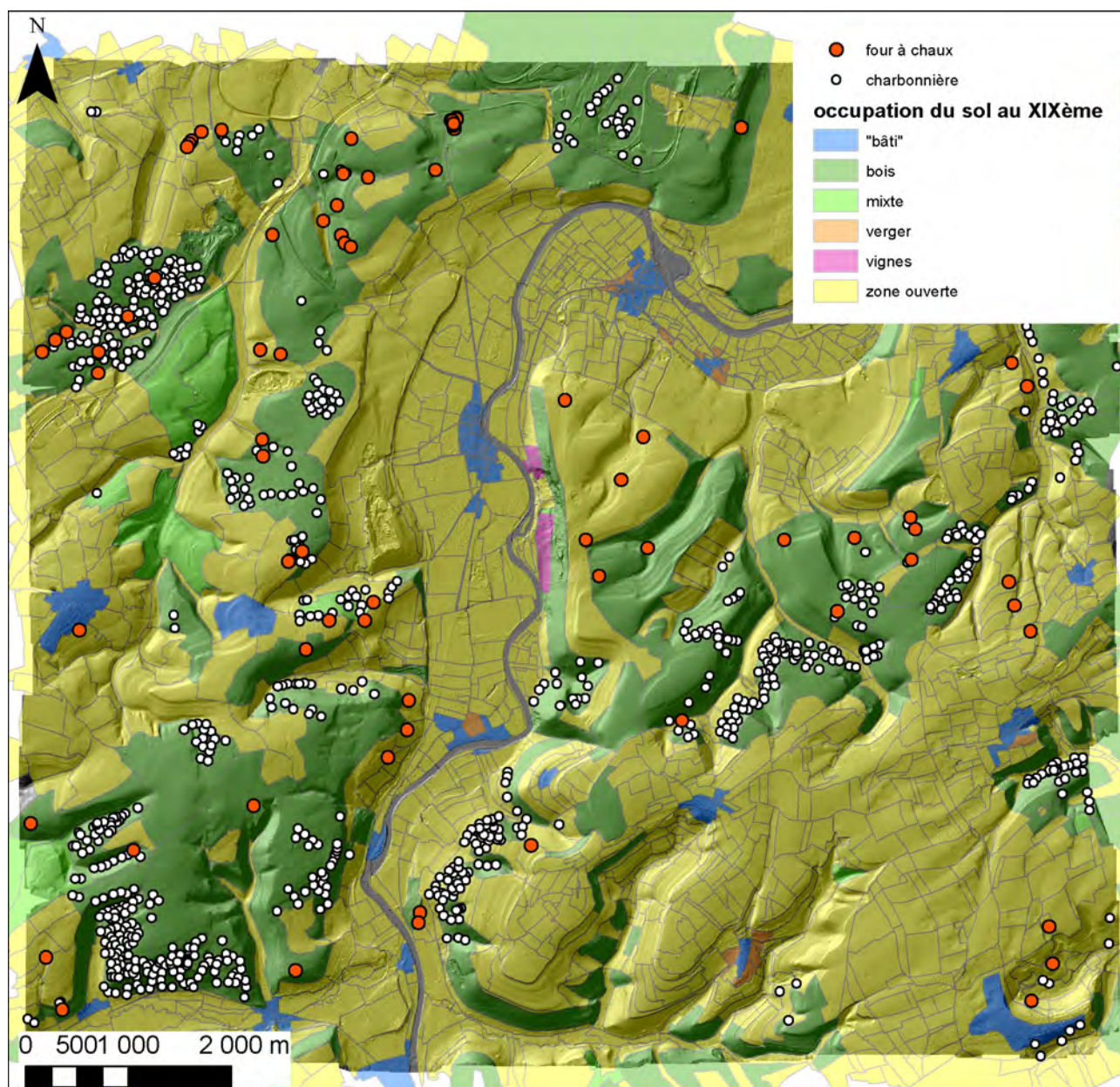


Figure 232. Distribution des fours à chaux et des charbonnières en fonction de l'occupation du sol au XIXème siècle (C. Laplaige, 2011)

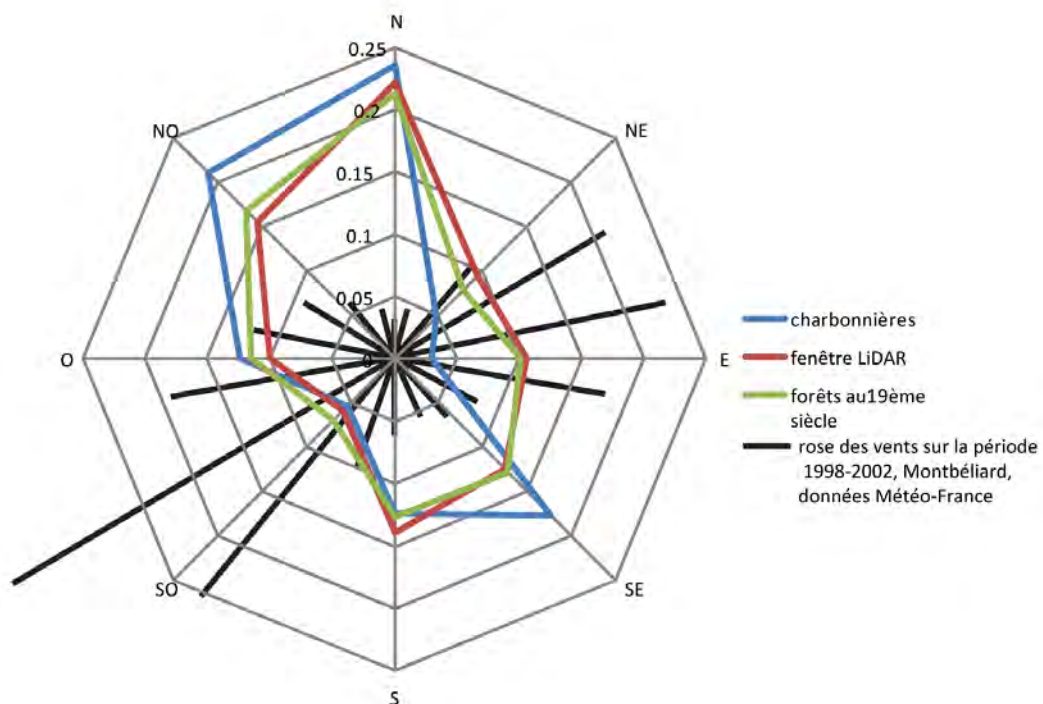


Figure 233. Graphique en radar visualisant l'orientation des pentes, l'orientation des pentes boisées au XIXème siècle, l'orientation des pentes abritant les charbonnières et le sens des vents dominants

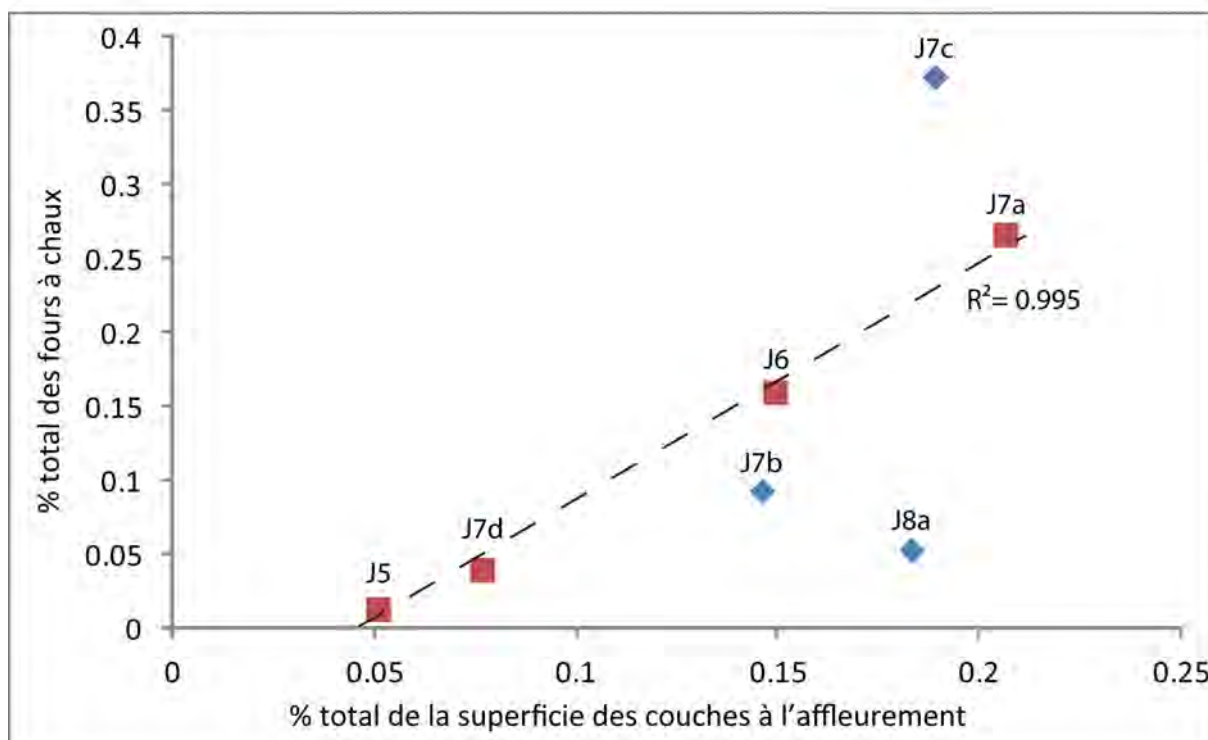


Figure 234. Diagramme de corrélation entre le nombre de fours à chaux et la nature du substrat géologique (C. Laplaige, 2011)



**Mandeure-Mathay (Doubs). Franche-Comté.**

Prospection électrique ARP (profondeur 1 m, superficie 70 ha).

Echelle de résistivité ajustée (valeur résistante en foncé, valeur conductrice en clair).

Figure 235. Mandeure, Mathay (Doubs). Carte de résistivité du sous-sol générée à partir des prospections effectuées entre 2001 et 2009 (G. Bossuet, 2011)