Apports des prospections non destructives à la connaissance du quartier artisanal antique de l'Essarté, Epomanduodurum, commune de Mathay, Doubs

Clément Laplaige, Catherine Fruchart, Gilles Bossuet, Rachel Opitz

▶ **To cite this version:**

Clément Laplaige, Catherine Fruchart, Gilles Bossuet, Rachel Opitz. Apports des prospections non destructives à la connaissance du quartier artisanal antique de l'Essarté, Epomanduodurum, commune de Mathay, Doubs. Revue archéologique de l'Est, 2011, 60, pp.523-535. hal-00677098

HAL Id: hal-00677098
https://hal.science/hal-00677098

Submitted on 7 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Clément Laplaige*, Catherine Fruchart**, Gilles Bossuet*, Rachel Opitz***

*UMR 6249, Chrono-environnement, CNRS, Besançon France
**USR 3124, MSHE C.-N. Ledoux, Besançon, France
*** Center for Advanced Spatial Technologies, University of Arkansas, USA

Apports des prospections non destructives à la connaissance du quartier artisanal antique de l'Essarté, *Epomanduodurum*, commune de Mathay, Doubs

Mots clés : prospection magnétique, prospection LiDAR, télédétection, *Epomanduodurum*, Système d'Information Géographique, quartier artisanal antique

Keywords: magnetometry survey, LiDAR prospection, remote sensing, *Epomanduodurum*, Geographic Information System, Classical period workshop area

Résumé :

L'Essarté est un quartier antique de potiers situé sur la commune de Mathay (Doubs). Il a été fouillé dans les années 1980-90. Dans le cadre d'un PCR consacré plus généralement à l'ensemble de l'agglomération antique de Mandeure-Mathay (*Epomanduodurum*) et aux espaces qui l'environnent, des prospections au sol ont été menées à l'Essarté en 2006, une synthèse des fouilles basée sur la documentation existante a été faite en 2009, et des prospections géophysiques ont été réalisées en 2009 et 2010. Par ailleurs, l'agglomération antique et ses alentours ont fait l'objet d'un relevé LiDAR en 2009. Cet article présente la mise en perspective des données acquises par les fouilles et par les prospections aériennes des années 1980-90 avec les informations obtenues à partir des résultats des prospections magnétiques, qui ont permis d'avoir des renseignements sur la nature du proche sous-sol, ainsi qu'à partir des prospections pédestres récentes et du relevé LiDAR (Light Detection And Ranging), qui informent sur ce qui est observable en surface, notamment sur les variations et micro-variations du relief grâce au LiDAR. Globalement, la nature du quartier antique et sa topographie ont pu être précisées, et des données nouvelles relatives à une occupation antérieure de la zone (nécropole) ont été acquises.

Abstract :

The Essarté workshop area, dating to the Classical period, is situated in the town of Mathay (Doubs). Excavated in the 1980s and 90s, it has been interpreted as an area specializing in ceramics production. This study of this area takes place in the context of an ongoing, broader project focused on the ancient town of Mandeure-Mathay (*Epomanduodurum*) and its surroundings, currently conducted within the framework of a PCR (collective research project). To undertake a more detailed study of the Essarté area fieldwalking surveys were carried out in 2006 and a synthesis of previous excavations, based on the available documentation, was completed in 2009. Geophysical surveys were conducted in 2009 and 2010. In addition, a LiDAR survey of Mandeure-Mathay and its surroundings realized in 2009

included the Essarté area. This paper contextualizes the data provided by excavations and aerial surveys carried in the 1980s and 90s by integrating it with the data obtained through the magnetometry survey – providing additional information on sub-surface features - and the data obtained through fieldwalking and LiDAR (Light Detection And Ranging) surveys - used to characterize the micro-topography of the terrain surface and associated materials in detail. This new study, in addition to adding details to the existing picture of the Essarté area, demonstrates that this locale was used as a burial area prior to the Roman phase of the site.

A la faveur de nouvelles investigations conduites dans le cadre du PCR consacré à l'agglomération antique d'*Epomanduodurum* en 2009, nous avons été amenés à nous intéresser à la reconnaissance de l'extension et de la structuration du quartier antique de l'Essarté à Mathay (Doubs, Franche Comté). Ce quartier avait été étudié dans les années 1980-90 dans le cadre de fouilles de sauvetage et programmées (Cantrelle, 1989, 1990 ; Delor, 1988 ; Humbert, Llopis, 1990 ; Llopis, 1985, 1986, 1987, 1988[a] ; Mazimann, Mougin, 1995 ; Petit, 1986 ; Vaxelaire, 1989). Il est par ailleurs documenté par de nombreuses photographies aériennes prises par Patrick Augé au cours des mêmes années (Augé, 1990).
Les fouilles avaient mis en évidence un quartier artisanal antique aux vestiges en élévation mal conservés. Les prospections aériennes avaient révélé les traces de nombreuses structures en creux probablement en liaison avec le quartier antique et s'étendant bien au-delà de la zone fouillée, ainsi que dans la partie orientale de l'Essarté, plusieurs enclos circulaires évoquant une nécropole plus ancienne.
Le mauvais état de conservation des vestiges révélés par la fouille et les nombreux indices archéologiques identifiés par la prospection aérienne ont conduit à entreprendre une reconnaissance extensive de l'ensemble du secteur associant des méthodes de détection qui enregistrent ce qui est visible à la surface du sol (LiDAR, télédétection et prospection de surface), renseignant ainsi sur la présence éventuelle de vestiges affleurant, et des méthodes de détection qui explorent le sous-sol (prospection géophysique), afin d'obtenir des informations sur sa structuration. Parmi les techniques de prospections géophysiques, seules capables de détecter des structures archéologiques qu'aucun indice ne signale en surface, nous avons privilégié la méthode magnétique, rapide et parfaitement adaptée à la cartographie des structures enfouies sur de grandes superficies. C'est une méthode très efficace pour détecter les structures fossoyées (fosses, fossés) ; d'autre part elle permet, en mesurant les contrastes des propriétés magnétiques du sol, de mettre en évidence les structures de combustion liées aux activités artisanales (fours, foyers) (Le Borgne, 1955, 1960 ; Mullins, 1974 ; Scollar *et alii*, 1990), ce qui n'est pas possible avec la prospection électrique.
Cet article présente les résultats obtenus grâce à l'utilisation combinée des différentes méthodes de prospection citées ci-dessus. Leur confrontation aux résultats des investigations plus anciennes permet de proposer une nouvelle image de l'occupation archéologique de ce secteur de la vallée du Doubs, plus complète, précisant notamment l'extension du quartier artisanal et permettant aussi de mieux cerner son organisation, tout en mettant en évidence l'existence d'utilisations différentes de cet espace au cours du temps.

1/Contexte de l'étude

L'agglomération antique d'*Epomanduodurum* s'étend sur les territoires des communes de Mandeure et de Mathay, à dix kilomètres au sud de Montbéliard, dans le département du Doubs (figure 1). Elle est considérée comme la deuxième ville de Séquanie, derrière la capitale de cité *Vesontio* (Besançon).
La ville antique est établie de part et d'autre du Doubs : une partie densément urbanisée se situe en rive droite, sur la commune de Mandeure, depuis l'intérieur de la boucle de la rivière jusqu'aux thermes de Courcelle, un kilomètre plus à l'est. En rive gauche, sur la commune de Mathay, les vestiges lisibles indiquent une occupation moins dense qui comprend la présence de deux vastes quartiers artisanaux situés aux lieudits Faubourg de Pont et Essarté. L'Essarté est localisé dans la plaine du Doubs, à environ deux kilomètres au sud du cœur de l'agglomération antique (la zone agrandie sur la figure 1 présente la localisation des fouilles, des prospections géophysiques et des prospections pédestres). L'endroit est actuellement occupé par un complexe sportif municipal ; des zones ouvertes se situent à l'est et à l'ouest de la zone d'étude, et des zones pavillonnaires étendues se sont implantées au nord et au sud.
Depuis 2001, la démarche prospective initiée dans le cadre du programme collectif de recherche (PCR Mandeure) et plus récemment celle entreprise dans le cadre du projet LIEPPEC (LiDAR Pour l'Etude des Paysages Passés Et Contemporains) (Nuninger *et alii*, 2010) ont permis de rassembler dans un Système d'Information Géographique (SIG) un grand nombre de données spatiales provenant des cartographies anciennes, des prospections (géophysiques, pédestres et aériennes), des investigations archéologiques (sondages, fouilles) et depuis 2009 de la couverture micro topographique LiDAR. L'utilisation combinée de ces données avec d'autres informations thématiques (géologie, paléo hydrographie, aléa fluvial) permet de confronter l'organisation territoriale de ce site à tout un ensemble de paramètres géographiques et environnementaux (Thivet *et alii*, 2005).
Le travail présenté ici s'inscrit dans le cadre d'un Master 2 en archéologie qui s'est déroulé en 2009 et d'une thèse de doctorat en cours consacrés notamment à la reconnaissance archéologique du site d'*Epomanduodurum* et de sa proche région. L'étude de cette ville antique présente un intérêt scientifique majeur pour la compréhension des mécanismes d'organisation territoriale et de fonctionnement des premières agglomérations de Gaule de l'Est, à la fin de l'âge du Fer et pendant l'époque romaine (Barral *et alii*, 2006, 2009).

2/Les investigations anciennes (1985-1992)

C'est entre 1985 et 1992 qu'un vaste quartier artisanal antique a été découvert à l'Essarté par des fouilles préalables à la construction d'un complexe sportif et d'un lotissement. Seuls 3,5 ha avaient pu être fouillés dans des conditions d'observation très inégales, du simple relevé de structures pendant le creusement d'une étroite tranchée de voirie à la fouille en aire ouverte de plus de deux hectares d'un seul tenant planifiée sur plusieurs années. Les prospections aériennes avaient permis d'estimer l'étendue totale du quartier à une vingtaine d'hectares.
Les fouilles ont permis d'interpréter les vestiges de l'Essarté comme ceux d'un quartier artisanal spécialisé dans la production de céramique commune (*a priori* surtout des cruches à pâte claire de tailles et formes diverses), comprenant une quinzaine de fours qui appartiennent à au moins sept ateliers répartis sur l'ensemble de la zone dégagée. Deux structures interprétées comme des fumoirs à viande ou des séchoirs ont également été découvertes.

D'une manière générale, toutes les structures excavées mises au jour étaient bien conservées (fours, silos, fosses, caves), contrairement au bâti en élévation et aux niveaux de sols, souvent très endommagés voire totalement détruits. Il en résulte que le plus souvent, la compréhension des différentes fonctionnalités attribuables aux espaces à l'intérieur des bâtiments nous échappe largement, faute d'indices suffisants. Seule une fonction artisanale a pu être déterminée de manière évidente dans les parties abritant les fours de potiers, les fosses associées au travail de l'argile, les dépotoirs à céramique et les fumoirs/séchoirs. (Llopis, 1988[b] ; Cantrelle, 1989 ; Cantrelle ; 1990 ; Fruchart, 2009)

Le quartier antique est structuré par de larges rues formant des mailles rectangulaires dans lesquelles s'inscrivent des bâtiments aux épais murs de façade (rues 1, 2, 4, 7 sur la figure 2). Ces rues desservent plusieurs voies secondaires plus étroites (rues 3, 5, 8). A la fouille, une grande zone est apparue vide de toute construction (figure 2, zone appelée « secteur 4 ») ; néanmoins, il n'est pas exclu que ce vide puisse résulter d'une destruction complète et ancienne de cette partie du quartier antique : les comptes rendus de fouille rapportent le piètre état de conservation des structures archéologiques excavées conservées dans cette zone (four, silos, fosses), et indiquent par ailleurs qu'il n'a pas été possible de confirmer ou d'infirmer l'existence de murs ou de bâtiments, malgré plusieurs sondages (Llopis, 1988, Cantrelle, 1989, Cantrelle, 1990). Ce constat est apparu également suite au dépouillement réalisé en 2009 des liasses de fiches de faits des années 1980-90 : à plusieurs reprises, les fouilleurs ont été dans l'impossibilité de décider si certains faits pouvaient ou non être interprétés comme des vestiges de murs (Fruchart, 2009).

Les rues ont bénéficié de plusieurs réfections et ont subi des modifications, et les bâtiments ont été transformés à plusieurs reprises au cours de leur existence : certains bâtiments ont été agrandis souvent en empiétant sur la rue, parfois même en la recouvrant totalement et en condamnant ainsi son usage, et des fosses ou des silos ont fréquemment été construits sur les bas-côtés des voies les plus larges, provoquant de la sorte un rétrécissement général du réseau de rues. Cependant, les données disponibles et étudiables aujourd'hui sont insuffisantes pour permettre une restitution fiable des états successifs qui ont existé. Etant donné le mobilier découvert, l'endroit a pu être occupé au moins partiellement dès la première moitié du I^{er} siècle de notre ère. Le quartier est vraisemblablement en place dès le dernier quart du I^{er} siècle. Un potier semble être en activité dès cette période dans un bâtiment installé le long de la rue 1 (figure 2, secteur 5). L'ensemble du quartier est manifestement occupé pendant tout le II^{e} siècle et plusieurs ateliers de potiers ont dû fonctionner à ce moment-là (figure 2, fours du secteur 8 et du secteur 6, atelier du secteur 5). Il est établi par des études faites au cours des années 1990 sur plusieurs dépotoirs contenant des ratés de cuisson que la production de céramique perdure au moins jusqu'au début du III^{e} siècle (Humbert, Llopis, 1990). L'endroit est probablement encore occupé au milieu du III^{e} siècle. On ignore quand le quartier a été démantelé, mais sa destruction a pu intervenir dès l'Antiquité tardive : certains démontages de murs, fondations comprises, sont précoces et pourraient remonter au IV^{ème} siècle (Llopis, 1985). Par ailleurs, un four à chaux dont la typologie évoque celle d'une structure antique (Coutelas, 2010) recoupait les murs d'un bâtiment antérieur. Construit en moellons liés au mortier, il contenait encore dans son laboratoire circulaire de plusieurs mètres de diamètre, des blocs architecturaux prêts à être cuits (Cantrelle, 1989). On peut souligner la grande ressemblance de ce four avec des structures datées II^{e} à IV^{e} siècle découvertes au début des années 2000 en Suisse, à Boncourt, à quelques dizaines de kilomètres de Mandeure-Mathay (Othenin-Girard, 2007). Malgré l'absence de datation directe du four de l'Essarté, celui-ci atteste bien, en raison de

son contenu, du démantèlement du quartier antique dont on peut supposer, sur la base de comparaisons typologiques, qu'il a pu intervenir dès la fin de l'Antiquité.
En fonction des connaissances déjà acquises, la production céramique telle qu'on la perçoit sur l'agglomération antique de Mandeure-Mathay (des ateliers de potiers fabriquant également de la céramique commune aux mêmes périodes que celles mises en évidence pour l'Essarté sont attestés dans d'autres secteurs de la ville) correspond à une fabrication de petite envergure de vaisselle courante, destinée à des besoins locaux. Mais on est loin d'avoir fouillé les zones artisanales de Mandeure-Mathay de façon exhaustive, et les estimations qu'on peut faire à présent, notamment sur l'étendue et l'importance des ateliers de potier, sont à considérer en fonction de ces limites.
Par rapport à d'autres quartiers de potiers connus ailleurs, même à faible diffusion des productions, le nombre et la densité de fours découverts en fouille à l'Essarté sont faibles. On peut le comparer, par exemple, avec les fouilles récentes du quartier de potiers de Dambach-la-Ville (Bas-Rhin), où 42 fours à céramique commune et à tuiles ont été mis au jour sur une surface de 3 ha (Kuhnle *et alii*, 2005). Mais seul un quart de la surface estimée du quartier de l'Essarté a été fouillé, et on a déjà pu observer que la répartition des fours dans un quartier de potiers peut être très hétérogène ; c'est le cas, par exemple, à Bruay-la-Buissière (Pas-de-Calais) (Polfer, 2005). On ne peut exclure *a priori* une telle configuration à l'Essarté.

3/ Résultats des investigations récentes (2006-2009)

3.1/La prospection pédestre

Dans le but de préciser l'extension des vestiges archéologiques, des prospections à vue ont été menées depuis quatre ans dans la zone ouest du quartier de l'Essarté, entièrement occupée par des champs ouverts cultivés (Nouvel, 2006[a, b], 2009). Ces prospections visaient principalement à identifier à la surface du sol des matériaux de construction et/ou du mobilier, en relation avec la présence des structures enfouies.
Les espaces disponibles pour la prospection ont été arbitrairement divisés en surfaces similaires (de 1 à 3 ha en moyenne). Les zones ainsi délimitées pouvaient regrouper plusieurs parcelles cadastrales. Les prospections ont consisté en un ramassage systématique avec un passage tous les dix mètres. Tout le mobilier récolté a été conservé à l'exclusion du mobilier contemporain (postérieur à la généralisation des céramiques grésées au XVII[e] siècle) et des matériaux de construction (ces derniers après enregistrement ont été jetés). Lorsqu'une concentration tangible d'indices était repérée, sa surface était délimitée par un relevé au GPS et identifiée alors comme un site.
Les résultats des prospections sont présentés sur la figure 3. La répartition au sol des matériaux de construction antique est hétérogène : les zones C sont vides de tout matériel de construction ou de mobilier, la zone B (en jaune) représente une zone de faible concentration de mobilier qui correspond à un épandage de mobilier antique et les zones notées A1 à A7 comportent une forte concentration de matériaux de construction antique. Les zones de concentration de fragments de parois de four et de scories sont reportées respectivement en noir et en bleu sur la figure 3. Elles se distribuent majoritairement dans les zones de concentration de matériaux de construction antique.

3.2/La photo-interprétation

Dans cette étude, nous avons utilisé quelques unes des nombreuses photographies aériennes obliques à basse altitude prises par Patrick Augé à la fin des années 1980 (Augé, 1990) ainsi que les orthophotographies acquises en 2009 dans le cadre du projet LIEPPEC.
Le secteur est situé sur une terrasse alluviale Fy qui est constituée, d'après la notice de la carte géologique n°474 (Montbéliard) (BRGM, 1973), de galets et de graviers presque exclusivement calcaires. La plupart des anomalies phytographiques devraient donc matérialiser des structures excavées (fosses, fossés, silos, caves) creusées dans les graviers fluviatiles du Doubs, qui apparaissent avec une couleur plus foncée sur les clichés à cause de phénomènes de croissance différentielle ; les végétaux sont moins sensibles au stress hydrique sur de telles structures (Chevallier, 1964, Dassié 1978) et il faut noter que les photos présentées dans cet article ont été prises en Juin 1989, période favorable à la prospection aérienne.
Les prises de vues obliques révèlent de nombreuses traces de structures excavées situées à l'est et à l'ouest de la zone fouillée. Une grande partie de ces traces correspond à des fours, à des silos, à des fosses et à des fossés rectilignes ou circulaires. Ces structures n'ont jamais été géoréférencées précisément à cause du trop faible nombre de repères identifiables aujourd'hui.
À l'est du complexe sportif (figure 4.b), on peut observer une zone où se concentre une importante densité de structures en creux aisément repérables grâce aux anomalies marquées qu'elles génèrent dans la végétation (A) ; de taille et de forme variables, ces structures, situées de part et d'autre d'une anomalie linéaire L1, ne montrent pas d'agencement particulier. À l'extérieur de cette zone, on identifie clairement des anomalies caractéristiques de fossés, (1) et (2), correspondant respectivement à un double enclos circulaire et à un enclos circulaire simple.
Dans la partie ouest du quartier artisanal (figure 4.a), on observe également l'existence de traces correspondant à des structures excavées (fosses, fossés), mais en quantité moindre que dans la partie est (figure 4.b), ainsi qu'une longue structure curviligne (1, figure 4.a). Des structures rectilignes parallèles (2, 3, 4, 5, figure 4.a) semblent suivre des orientations analogues à celles des axes viaires reconnus par la fouille (voir figure 2).

3.3/Les prospections magnétiques et la prospection LiDAR

3.3.1/Matériels et méthodes

La technologie LiDAR appliquée à l'archéologie (Holden, 2001; Devereux *et alii*, 2008) est basée sur l'émission d'un rayon laser et sur la mesure du temps de retour de l'onde réfléchie. Une même impulsion laser émise par le scanner sera réfléchie par différents objets se trouvant sur son chemin. Le premier écho décrit sous forme de points la surface des objets ou de la végétation, tandis que le dernier écho enregistre généralement les points au sol. Le système est embarqué dans un avion muni d'un GPS différentiel et d'une unité de mesure inertielle permettant d'avoir en permanence la position de l'appareil ainsi que son comportement (roulis, lacet, tangage). Un miroir rotatif permet de balayer une zone perpendiculaire à l'axe de vol, couvrant ainsi une large zone à chaque passage de l'avion (500 m dans le cas de notre prospection).

La précision de l'appareil permet d'obtenir une erreur absolue de 15 cm sur le plan horizontal et de 5 cm en altitude (Ackermann, 1999), mais la précision relative est bien meilleure, la vérification par rapport aux données mesurées sur le terrain avec station totale nous donnant des erreurs comprises entre -1 et +1 centimètres (pour 95% de celles-ci).
Dans le cadre du projet LIEPPEC nous avons acquis des données micro-topographiques LiDAR sur une surface de 81 km² centrée sur le site antique d'*Epomanduodurum*. L'acquisition des données a été réalisée par l'entreprise spécialisée Aerodata (Baltsavias, 1999, Fruchart *et alii*., 2011).
La densité de points réfléchis par mètre carré est principalement fonction de l'altitude de vol. Ici, nous avons obtenu une densité moyenne égale à huit points par mètre carré. Le nuage de points est ensuite filtré au moyen de différents algorithmes afin d'obtenir, dans notre cas, les points qui correspondent au sol. Ces points sont par la suite interpolés par triangulation pour créer une grille avec une valeur d'élévation pour chaque pixel dans le but de créer un Modèle Numérique du Terrain (MNT). Dans les images présentées, la résolution est de quatre points par mètre carré. Afin de faciliter leur lecture, nous avons choisi de présenter ces MNT sous la forme de modèles de relief ombrés (position de la source d'éclairage : azimut 315° élévation 45°) (Wehr, Lohr, 1999).
La prospection géophysique a été effectuée avec un appareil mesurant le gradient de la composante verticale du champ magnétique terrestre. Cette mesure a été effectuée tous les 25 cm le long de profils espacés d'un mètre. Le gradiomètre Grad 601-2 construit par la firme anglaise Bartington enregistre simultanément, grâce à deux paires de capteurs de type fluxgate, deux profils de mesures en un seul passage sur le terrain, ce qui réduit de moitié le temps d'acquisition des données. Les profils de mesures ont été acquis sur des grilles modulaires de 40 x 40 m avec une résolution de 0.03 nanotesla par mètre (nT/m) dans la gamme 100 nT/m.
Le carroyage nécessaire à l'implantation des modules de prospection a été relevé au GPS Trimble GeoXT avec une post correction différentielle autorisant au final une erreur inférieure à 1 m dans le positionnement des anomalies magnétiques cartographiées.
Les données brutes ont été maillées en 50 x 50 cm puis ré-interpolées via une méthode de triangulation linéaire. Nous avons ensuite éliminé les valeurs aberrantes grâce à un filtrage par la médiane de dimension 3 x 3 pixels avec un seuil de filtre égal à plus ou moins 5 nt/m par rapport à la médiane. Les différences entre profils dues à l'orientation des capteurs ainsi qu'à leur bruit de fond ont été éliminées à partir d'un délignage par une constante, entre +10 et -10 nT/m. Enfin, une fonction de défestonnage a permis de s'affranchir de l'effet de distorsion apparu dans la forme des anomalies et induit par des lignes de marche effectuées alternativement en sens aller-retour (Tabbagh, 2000).

3.3.2/Résultats

Les résultats de ces prospections sont présentés par zones, respectivement situées à l'est et à l'ouest du quartier artisanal

3.3.2.1/Zone est du quartier artisanal

Cette zone de 1,5 ha cultivée en luzerne se situe au cœur d'un lotissement de pavillons construit à l'est du quartier artisanal.

Toute la surface accessible a été prospectée à partir d'un découpage en douze blocs et des profils de mesure orientés est-ouest ; trois blocs aux profils orientés nord-sud nous ont permis de faire les raccords le long de la clôture située à l'est de la prospection.
Les résultats sont présentés sur la figure 5 avec une dynamique du signal comprit entre -5 à +5 nT. La figure 5a présente la carte de prospection avec mention des interprétations et la figure 5b montre les données brutes tout en proposant une délimitation de l'espace prospecté en trois zones (zones 1, 2 et 3). La cartographie des variations du gradient magnétique montre des anomalies bipolaires ainsi que des anomalies positives ou négatives.
Les anomalies positives du gradient magnétique correspondent à des structures fossoyées, type fosse, silo, trou de poteau (Scollar *et alii*, 1990) alors que les anomalies négatives correspondent aux structures construites en matériaux de type calcaire. Les anomalies bipolaires matérialisent les structures de combustions (fours, foyers) en relation avec les activités artisanales de ce quartier mais aussi avec la présence de ferrailles erratiques dont l'origine n'est pas nécessairement archéologique (Scollar, 1970).

Résultats de la prospection

Il est nécessaire de rappeler ici les soucis causés par le contexte péri-urbain lors des prospections : présence d'habitations, de jardins, de clôtures et de pollutions diverses (remblais, ferrailles erratiques, etc.) qui ont pénalisé les prospections géophysiques, principalement la prospection à l'est où les mesures ont été perturbées par des ferrailles erratiques et des clôtures métalliques.
La zone 1 sur la figure 5b correspond à une zone à forte concentration d'anomalies bipolaires. Au vu des modèles inversés de la forme et de l'intensité de ces anomalies, nous pouvons dire qu'elles sont sûrement dues à la présence de masses métalliques (piquets) implantées pratiquement à la verticale dans le sol (Stocco *et alii*, 2009). Les photographies aériennes de la zone ne montrent d'ailleurs pas d'anomalies phytographiques à cet endroit. Aucune structure archéologique n'a donc pu être mise en évidence dans cette zone où la présence de probables restes d'une clôture à présent enfouie (ou de tout autre aménagement du même genre ayant fait usage de piquets métalliques) provoque un signal magnétique si fort que l'éventuelle présence d'autres aménagements antérieurs est impossible à enregistrer lors de la prospection géophysique.
La zone 2 sur la figure 5b correspond à une association d'anomalies positives et d'anomalies bipolaires. Si l'on se réfère aux résultats des fouilles entreprises juste à l'ouest, nous pouvons en déduire la présence conjointe de structures fossoyées et de structures de combustion. La structure F1 (fig. 5a), sorte de grande fosse rectangulaire mesurant 4,7 m sur 6 m est entourée d'une faible anomalie négative rectiligne, signe de la présence d'un mur en pierres.
La zone 3 (fig. 5b) correspond à une zone caractérisée par une plus faible densité de structures fossoyées et une absence de structures de combustion analogues à celles de la zone 2.
On perçoit également un système de voies (rues) (V1, V2, V3, fig. 5a) qui suit des orientations identiques à celles qui structurent plus à l'ouest le quartier artisanal ; les voies V1 et V2 notamment matérialisent le prolongement d'axes de circulation repérés lors de la fouille. On remarque également que de nombreuses petites structures fossoyées sont alignées le long de l'axe V2.

D'autre part, trois anomalies caractéristiques de fossés circulaires (E1, E2, E3, fig. 5a), que l'on pourrait attribuer d'après les critères typologiques à des enclos funéraires de l'Âge du Bronze (Delor, Rolley, 1995) sont nettement visibles. Les enclos E2 et E3 sont des enclos simples, respectivement d'un diamètre de 22 m et de 17 m. L'enclos E1 est constitué d'un double fossé dont les diamètres mesurent 19 et 22 m.
On observe également trois structures quadrangulaires fossoyées, Q1 à Q3 pouvant correspondre à des enclos laténiens (Delor, Rolley, 1995). À l'intérieur de Q2, de petites anomalies fossoyées sont situées aux angles des structures, matérialisant peut-être la trace de trous de poteaux. Les anomalies fossoyées situées à l'extérieur des enclos peuvent s'expliquer de deux façons : elles pourraient être en relation avec les activités artisanales, comme le suggère la proximité du quartier gallo-romain vu en fouille. Toutefois, on ne détecte aucune anomalie bipolaire caractéristique de structures de combustion (fours, foyers) dans cette zone. Ces anomalies fossoyées pourraient plutôt marquer l'emplacement d'inhumations sans enclos implantées à l'extérieur des structures quadrangulaires. On pourrait proposer la même interprétation pour les anomalies fossoyées reconnues à l'extérieur des enclos circulaires.
Les anomalies linéaires G1, G2, G3 sont d'interprétation plus difficile, faute de pouvoir établir un lien avec les structures archéologiques environnantes connues. Ces anomalies positives mettent en évidence des aménagements fossoyés comblés. G1 tout d'abord correspond à une limite parcellaire actuelle mais aussi à une limite sur l'ancien cadastre de 1836 dont on sait que le découpage parcellaire a pérennisé les axes structurants du quartier artisanal (Thivet *et alii*, 2009). G2 et G3 présentent chacune un angle droit, cependant leur interprétation reste compliquée. Ces anomalies semblent recouper l'enclos E2, mais peuvent difficilement être mises en relation avec les structures environnantes.
Si l'on compare les anomalies géophysiques au modèle de terrain ombré obtenu par prospection LiDAR (figure 6), on constate que les voies V1 et V2 sont les seules anomalies identifiables à la fois sur la carte de prospection magnétique et sur le modèle ombré de terrain qui n'apporte finalement que peu d'informations. A noter la dépression linéaire notée 1, visible sur la prospection LiDAR, mais invisible sur les prospections magnétiques du fait de la grande pollution métallique dans la zone traversée (figure 5b, zone 1).

3.3.2.2/Zone ouest du quartier artisanal

Cette zone d'une superficie de 4,2 ha s'étend depuis l'ouest du complexe sportif de l'Essarté jusqu'au pied du versant ouest de la vallée. Cet espace est actuellement cultivé en champ ouvert, alternant chaume, prairie et labour ; il est bordé au sud par les lotissements d'une zone pavillonnaire.
Cette prospection a été faite en 26 blocs de 40 x 40 m avec des profils orientés est-ouest.
Les résultats, présentés figure 7 avec une dynamique du signal variant de -5 à +5 nT/m, mettent en évidence des anomalies bipolaires, positives et négatives du gradient magnétique. La figure 7a montre la carte de prospection avec mention des interprétations et la figure 7b présente les données brutes avec la délimitation d'une zone spécifique.

Résultats de la prospection

La zone 1 sur la figure 7b présente la plus grande densité d'anomalies. Sur la figure 7a, on peut identifier une trentaine d'anomalies du gradient positif, trois anomalies négatives, cinq

anomalies linéaires et quelques anomalies bipolaires. Les effets induits par la présence des pylônes de la ligne électrique, des piquets et de clôtures métalliques ont été atténués au moyen de filtrages appropriés.
Les anomalies notées V1 à V4 sur la figure 7a prolongent l'orientation des axes de circulation relevés en fouille. Au sud-est de la prospection un fossé repéré en prospection aérienne a pu être recalé (F1).
Les anomalies négatives du gradient magnétique (1, 2, 3 figure 7a) pourraient être interprétées comme des restes de maçonnerie.
L'anomalie magnétique F2 est elle aussi visible sur le modèle de terrain ombré obtenu grâce à la prospection LiDAR (fig. 6). Elle doit correspondre à un fossé comblé et plus précisément au canal des Avets, dont il est fait mention dans les sources manuscrites du XIX^{e} siècle. *« C'est en 1818 et le 3 février1842 que le conseil municipal aborde la question d'un canal d'assainissement pour les terrains situés sous la Roche, qui sont inondés par les eaux de ruissellement de la colline. De 1855 à 1857, le creusement du canal depuis la gare, au lieu-dit « Sous Romont », passant sous la rue de la Gare, le chemin départemental 438, la rue de la Roche, la rue de Valentigney, la rue du Pont, jusqu'au Doubs, a été effectué à la main pour assainir les terrains »* (Emonnot, à paraître).
L'anomalie liée au canal des Avets est la seule qui soit parfaitement révélée par le modèle ombré de terrain obtenu via le LiDAR. Les autres anomalies linéaires visibles sur cette figure sont explicables par le plan cadastral napoléonien perpétué en partie sur le cadastre actuel.
Si les anomalies A1 à A3 correspondent indubitablement à des zones de combustion, l'anomalie A2 est particulièrement remarquable en raison de sa taille, mais surtout par l'observation que nous avons pu en faire sur le terrain : elle est en effet associée en surface à une zone de concentration de tuiles antiques réparties sur 10 x 15 m, laissant supposer l'existence d'un four de tuilier avec des ratés de cuisson.
Les anomalies positives semblent avoir, quant à elles, une orientation préférentielle (nord/sud) en 1A.
D'une manière générale, les anomalies négatives sont situées dans les zones de concentration de matériaux de construction antique (voir partie 3.1).

4/Conclusions et perspectives

L'information apportée par les prospections géophysiques a permis d'effectuer un travail de synthèse et d'interprétation des données déjà acquises par les fouilles et les prospections aériennes et pédestres antérieures plus complet que ce qui avait pu être réalisé auparavant (fig. 8) : l'extension du quartier artisanal antique de part et d'autre du stade, entrevue par la prospection aérienne, a bien été confirmée par la prospection magnétique avec la découverte de structures en relation directe avec les activités d'artisanat (fours, foyers, etc.) ou avec le réseau viaire structurant l'organisation du quartier. Les anomalies phytographiques observables sur les photographies des années 1980-90 ont pu être replacées avec une bien meilleure précision, grâce au couplage entre la prospection géophysique et le relevé des points d'implantation des carroyages réalisé avec un GPS à post correction différentielle. À l'usage, ce degré de précision apparaît parfaitement compatible avec l'échelle à laquelle s'effectue la reconnaissance de l'extension des vestiges et la compréhension de leur organisation. De plus, la nature de ces anomalies a pu être interprétée en séparant celles liées à des structures de combustion de celles liées à des structures fossoyées simples. Les prospections ont ainsi révélé une vraie dissymétrie du

quartier. La partie ouest s'avère nettement moins riche en fosses et surtout en structures de combustion que la partie est, ce qui reflète une production potière préférentiellement implantée dans la partie est du quartier antique. Globalement, plus d'une vingtaine de structures qui sont très probablement des fours a été mise en évidence par les prospections géophysiques, ce qui amène à réviser l'importance de la production céramique potentielle de l'Essarté ; on dénombre à présent un potentiel de 35 fours contre 15 connus auparavant, et on peut supposer également une certaine variété des produits fabriqués, avec une probable production de tuiles. Même s'il convient de rester prudent sur la nature des structures observées, à défaut de fouilles, il apparaît finalement que le quartier de l'Essarté contient un nombre de fours comparable à l'exemple cité plus haut de Dambach-la-Ville (Kuhnle *et alii*, 2005), comparaison impossible à envisager auparavant.

Les prospections géophysiques ont par ailleurs apporté, outre la mise en évidence d'une dissymétrie - qui, même si elle pouvait être envisagée auparavant, restait néanmoins une hypothèse invérifiable - des informations nouvelles sur la topographie générale du quartier antique. Les voies déjà connues par les fouilles des années 1980-90 ont été prolongées à la fois à l'est et à l'ouest et de nouvelles rues ont été découvertes. La superposition des données acquises par les fouilles et par les prospections géophysiques permettent de voir avec plus de clarté que le quartier de l'Essarté est bâti suivant un maillage rectangulaire formant des îlots, ce qu'on pouvait fortement supposer auparavant, mais qui méritait néanmoins d'être confirmé pour les espaces non fouillés.

Ces données relatives à la voirie sont également partiellement confirmées par la prospection LiDAR. Globalement, le relevé LiDAR a apporté une information minime sur le quartier antique de l'Essarté. Ceci s'explique par le fort arasement des vestiges archéologiques, qui a d'ailleurs été constaté au cours des fouilles des années 1980-90. Des pratiques agricoles intensives ont érodé année après année les micro-reliefs du terrain susceptibles de signaler en surface la présence des structures archéologiques enfouies. Le LiDAR en revanche, a permis d'obtenir des résultats substantiels sur d'autres zones autour de Mandeure et Mathay, où les conditions géomorphologiques et la fossilisation ont été plus favorables à la conservation d'aménagements anthropiques de différentes périodes (les données LiDAR ont couvert une fenêtre de 81 km² centrée autour de Mandeure-Mathay).

Grâce aux prospections géophysiques et en faisant un travail de synthèse à partir des données de prospection existantes, on peut cerner plusieurs types d'occupation de l'endroit au cours du temps.

Les indices d'une occupation potentielle à la période néolithique avaient été repérés par des prospections au sol (une dizaine de tessons avaient été trouvés) ; les prospections géophysiques n'ont pas permis de découvrir des structures interprétables pouvant correspondre à cette période. Seules des fouilles permettraient peut-être de préciser cette occupation potentielle.En revanche, les prospections magnétiques ont permis de découvrir un nouvel enclos funéraire circulaire (E3 figure 5a) venant compléter les deux autres exemplaires détectés en prospection aérienne, ainsi que trois enclos rectangulaires vraisemblablement laténiens (Q1, Q2, Q3). En référence aux critères typologiques définissant la chronologie des enclos funéraires (Delor, Rolley, 1995), on peut affirmer que cet espace a eu au moins partiellement une fonction de nécropole, dont l'extension exacte n'est pas connue, vraisemblablement entre l'Age du Bronze et la période laténienne. On se souvient de la nécropole laténienne fouillée à environ 500 m au sud de l'Essarté dans les années 1990 au lieudit « les Longues Raies » (Barral, 1996) ; à une échelle plus large que celle du simple quartier de l'Essarté, ce secteur au sud de Mathay se distingue donc par la

présence d'une ou de plusieurs zones d'inhumations ce qui pose la question de l'occupation de cet endroit au cours de la protohistoire.
Au-delà des informations apportées par la géophysique, qui fournissent des renseignements bien plus précis et documentés que les données de prospections aériennes, bien des questions restent encore en suspend, touchant à la mise en place, à l'extension spatiale et à la chronologie des occupations : que dire d'une possible occupation de cet endroit durant la préhistoire ? Comment intégrer les données fragmentaires acquises concernant la protohistoire à un schéma d'occupation plus large ? Comment s'effectue ensuite la mutation jusqu'à l'installation d'un quartier artisanal antique ? Et enfin quel est le statut de ce quartier dans l'agglomération antique ? Autant de questions auxquelles les prospections, d'une manière générale, apportent leur contribution sans pour autant être en mesure de donner une réponse.

Références bibliographiques

Ackermann F., 1999, "Airborne laser scanning-present status and future expectations", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, t. 54, p. 64-67.

Augé P., 1990, *Rapport de prospection aérienne 1990*, S.R.A Besançon

Baltsavias E.P., 1999, "Airborne laser scanning : existing systems and firms and other resources", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, t. 54, p. 164-198.

Barral P., 1996, "La nécropole gauloise des "Longues Raies" à Mathay (Doubs). Résultats de la campagne de 1995", *Bulletin de la Société d'Émulation de Montbéliard,* n° 119, p. 193-203

Barral P., Bossuet G., Marc J., Monnier J., Nouvel P., Thivet M., 2006, *Rapport annuel d'activité 2006 du PCR "Approche pluridisciplinaire d'une agglomération antique Epomanduodurum (Mandeure-Mathay, Doubs). Archéologie, Sciences de la Terre et de l'Environnement"*, S.R.A. Besançon, 280 p.

Barral P., Bossuet G., Marc J., Monnier J., Nouvel P., Thivet M., 2009, *Rapport annuel d'activité 2009 du PCR "Approche pluridisciplinaire d'une agglomération antique Epomanduodurum (Mandeure-Mathay, Doubs). Archéologie, Sciences de la Terre et de l'Environnement"*, S.R.A. Besançon, 348 p.

B.R.G.M, 1973, *carte géologique n°474 (Montbéliard), 1 :50000*, B.R.G.M Éd.

Cantrelle S., 1989, *Mathay. Essarté. Rapport annuel 1989*, S.R.A. Besançon, 20 p.

Cantrelle S., 1990, *Mathay. Essarté. Sauvetage programmé. Rapport intermédiaire 1990*, S.R.A. Besançon 13 p.

Chevallier R., 1964, *L'avion à la découverte du passé*, Paris, Fayard Éd., 221 p.

Coutelas A., 2010, *Le mortier de chaux*, Paris, Errance Éd., 159p.

Dassié J., 1978, *Manuel d'archéologie aérienne*, Paris, Technip Éd., 327 p.

Delor J.P., 1988, *Fouilles Delor - 1988. Mathay. L'Essarté. Rue de la gare.*, S.R.A. Besançon, 28 p.

Delor J.P., Rolley C., 1995, "La nécropole de Gurgy "La Picardie" (Yonne)", *Mémoires de la Société Archéologique Champenoise*, t. 15, p. 341-358.

Devereux B.J, Amable G., Crow P., 2008, "Visualization of LiDAR terrain models for archaeological feature detection", *Antiquity*, t. 82, p. 470-479.

Emonnot G., à paraître, *Histoire de Mathay : les vignes, les travaux des champs, le pâturage, la glandée, les bois et la chasse*, Mathay, Emonnot G. Éd.

Fruchart C., 2009, *Topographie des zones artisanales de l'agglomération antique de Mandeure-Mathay, Recherches documentaires, établissement de données, comparaisons.* Mémoire de Master 2 Archéologie, Cultures, Territoires, Environnement. Besançon, Université de Franche-Comté, 2 volumes 147 p. et 144 p., 8 pl. H.T.

Fruchart C., Laplaige C., Opitz R., Nuninger L., 2011, "The LIEPPEC Project : using lidar for the study of long term landscape change", Antiquity Gallery, t. 85, fasc. 327

Holden N., 2001, "Digital Airborne Remote Sensing: The principals of LiDAR and CASI", *AARGnews*, t. 22, p. 23-24.

Humbert S., Llopis E., 1990, "L'atelier de l'Essarté à Mathay (Doubs) : structures et approche de productions", *in :* Rivet L. *dir*., *Actes du congrès de la SFECAG, Mandeure-Mathay, 1990,* p. 47-53.

Kuhnle G., Fort B., Baudoux J., Cicutta H., 2005, "*Dambach-la-Ville – Wilmstein (Bas-Rhin) : un centre de production rural de céramiques et de tuiles (milieu 1er siècle av. J-C. – fin 2^{e} siècle ap. J-C.)*", *in* : Rivet L. *dir*., *Actes du congrès de la SFECAG, Blois, 2005,* p. 403-426

Le Borgne E., 1955, "Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel", *Annales de géophysique*, t. 11, p. 399-419.

Le Borgne E., 1960, "Influence du feu sur les propriétés magnétiques du sol et sur celles du schiste et du granite", *Annales de Géophysique*, t. 16, p. 159-195.

Llopis E., 1985, *Mathay (Doubs). L'Essarté. Rapport sur la campagne de sauvetage 1985*, S.R.A. Besançon, 60 p.

Llopis E., 1986, *Découverte d'un quartier de potier au lieu dit Essarté à Mathay (25). Campagne de fouilles 1986*, S.R.A. Besançon, 87 p.

Llopis E., 1987, *Découverte d'un îlot d'habitation au lieu-dit Essarté à Mathay (25). Campagne de fouille 1987*, S.R.A. Besançon, 45 p.

Llopis E., 1988[a], *Mathay. Essarté. Campagne de fouilles 1988. Sauvetage programmé*, S.R.A. Besançon, 74 p.

Llopis E., 1988[b], *Mathay. Essarté. 370 – D1. Sauvetage programmé sur trois ans. Rapport de synthèse 1986 à 1988*. *Rapport de fouilles*, S.R.A. Besançon, 84 p.

Mazimann J.-P., Mougin P., 1995, "Le stockage gallo-romain: les "silos" de Mandeure-Mathay", in: Richard A., Munier C. éd., Eclats d'Histoire, 25000 ans d'héritages. 10 ans d'archéologie en Franche-Comté, Cêtre Éd., Besançon, pp 152-153.

Mullins C.E., 1974, "The magnetic properties of the soil and their application to archaeological prospecting", *Archeo-Physika*, t. 5, p. 144-348.

Nouvel P., 2006[a], "Prospection diachronique sur le territoire de l'agglomération d'Epomanduodurum et ses marges", in : *Rapport annuel d'activité 2006 du PCR "Approche pluridisciplinaire d'une agglomération antique Epomanduodurum (Mandeure-Mathay, Doubs). Archéologie, Sciences de la Terre et de l'Environnement"*, S.R.A. Besançon, p. 249-267.

Nouvel P., 2006[b], "Prospection diachronique sur le territoire de l'agglomération d'Epomanduodurum et ses marges", in : *Rapport annuel d'activité 2006 du PCR "Approche pluridisciplinaire d'une agglomération antique Epomanduodurum (Mandeure-Mathay, Doubs). Archéologie, Sciences de la Terre et de l'Environnement"*, S.R.A. Besançon, p. 61-63.

Othenin-Girard B., 2007, "Les fours à chaux de Boncourt, Grands'Combes (Jura, CH): époque romaine, haut Moyen Age, XVIII[e] siècle", *in* : Bélet-Gonda C., Mazimann J.-P., Richard A., Schifferdecker F., *dir*., *Premières Journées Archéologiques Frontalières de l'Arc Jurassien. Mandeure, sa campagne et ses relations d'Avenches à Luxeuil et d'Augst à Besançon. Actualités archéologiques régionales*, Presses Universitaires de Franche-Comté Éd., Office de la culture et Société jurassienne d'Émulation Éd., Besançon-Porrentruy, p 229-237.

Petit B., 1986, *Mathay (Doubs). L'Essarté. Site archéologique n°2537011. Maison Curti 85. Rapport sur la campagne de sauvetage 1986*, S.R.A. Besançon, 13 p.

Polfer M., 2005, *L'artisanat dans l'économie de la Gaule Belgique romaine à partir de la documentation archéologique*, M. Mergoil Éd., 182 p. Monographies Instrumentum, 28.

Scollar I., 1970, "Fourier transform methods for the evaluation of magnetic maps", *Prospezioni Archeologiche*, t. 5, p. 9-41.

Scollar I., Tabbagh A., Hesse A., Herzog I., 1990, *Archaeological prospecting and remote sensing*, Cambridge University Press, Hunt G.,Rycroft M. (Eds.), 674 p.

Stocco S, Godio A,Sambuelli L., 2009, "Modeling and compact inversion of magnetic data: A Matlab code", *Computer & Geosciences*, t. 35, p. 2111-2118.

Tabbagh J., 2000, "Filtrage numérique des données géophysiques", in : Pesoquinucci M., Trément F. Éd., *Non-destructive Techniques Applied to landscape Archeology,* p. 173-181.

Thivet M., Bossuet G., Barral P., Dabas M., Marmet E., Mougin P., Camerlynck C., 2005, "Mise en place d'un SIG appliqué à la reconnaissance de l'agglomération antique d'*Epomanduodurum* (Mandeure-Mathay, Doubs) ", *in : Temps et Espaces de l'Homme en Société*, APCDA Éd., Antibes, p. 393-399.

Thivet M., Bossuet G., Mougin P., 2009, "Mise en évidence de l'impact de l'occupation antique dans la morphogénèse d'un paysage de fond de vallée: le cas du site d'*Epomanduodurum* (Mandeure-Mathay, Doubs)", *RAE*, t. 58, p. 417-437.

Vaxelaire L., 1989, *Essarté,* S.R.A. Besançon, 35 p.

Wehr A., Lohr U., 1999, "Airborne laser scanning - an introduction and overview", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, t. 54, p. 68-82.