



HAL
open science

Reconnaître et caractériser les zones de forge sur surface décapée : apport de la géophysique à l'étude paléométallurgique

Benjamin Jagou, G. Hulin, M. de Muyllder, A. Henton, D. Lamotte, P. Lefèvre, A Rousseau

► To cite this version:

Benjamin Jagou, G. Hulin, M. de Muyllder, A. Henton, D. Lamotte, et al.. Reconnaître et caractériser les zones de forge sur surface décapée : apport de la géophysique à l'étude paléométallurgique. 13e Journée de l'École Doctorale d'Archéologie Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Méthodes d'enregistrement des données en archéologie Terrain, interprétation et partage, May 2018, Paris, France. hal-02380008

HAL Id: hal-02380008

<https://hal.science/hal-02380008>

Submitted on 26 Nov 2019

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.

Reconnaître et caractériser les zones de forge sur surface décapée : apport de la géophysique à l'étude paléométallurgique (Jagou B.)

Avec la collaboration de Hulin G., De Muylder M., Henton A., Lamotte D., Lefèvre P., Rousseau A.

Introduction

La fouille et l'étude approfondie des sites liés à la métallurgie du fer sont relativement courantes. Celles-ci sont généralement menées lorsque l'activité sidérurgique montre des dimensions importantes et que des vestiges caractéristiques sont présents. On pense, par exemple, au site de production de fer et à la découverte de restes de bas fourneaux ou de structures de rejet caractéristiques (ferriers). De même pour les lieux de post-réduction qui sont généralement étudiés que lors de la découverte de fortes concentrations de rejets métallurgiques associées à des structures significatives (sol de forge, foyer, fosse de rejet...). La plupart des études se concentrent donc autour de ces grands pôles de production à la signature bien caractéristique. Mais que faire lorsque l'état de conservation du site ne permet pas de mettre en évidence les traces significatives d'une telle activité ? Ou bien tout simplement lorsque ces activités n'ont laissé que peu d'impact sur le sol et que les seuls indices disponibles pour l'archéologue sont la présence de scories en faible quantité découvertes dans le comblement de plusieurs structures non-métallurgiques ? Ces forges de taille plus modeste et répondant à un besoin ponctuel (réparation d'objet, élaboration d'objet basique manufacturé en fer...) constituent pourtant un pan important de l'économie du fer qui ne peut être négligé. Cependant, force est de constater que les problématiques sur ce type d'espace, pourtant très courants, constituent un des parents pauvres de la recherche archéologique actuelle.

Des indices peu visibles

Le martelage du fer sur l'enclume produit un micro-déchet caractéristique que l'on nomme battiture et qui permet à l'archéologue de réellement identifier un espace comme étant dédié à la forge. Ces dernières sont issues d'une couche d'oxydation qui se forme lors du passage du métal dans le foyer de forge. Cette « croute » constituée d'oxyde de fer se forme dès 300°C. Lorsque le métal est extrait du foyer, cette couche d'oxyde au contact de l'air se refroidit, se fragilise et lors de la frappe du métal sur l'enclume, se brise en petits éléments millimétriques. Ces derniers vont alors se déposer et se retrouver piégés sur le sol de la forge en périphérie proche de la zone de martelage et ce malgré les possibles séquences de nettoyage qu'elle a pu connaître. La forte concentration dans les sédiments de ces micro-déchets magnétiques permet donc de détecter la présence d'une forge sur un site. Comme l'ont démontré les différentes recherches portant sur ce matériel, il existe plusieurs morphologies de battitures produites par différents procédés techniques avec notamment les battitures lamellaires et les battitures globulaires. Les lamellaires sont de petites écailles plates qui résultent du martelage d'une surface plane. Les globulaires sont quant à elles semblables à des petites billes qui se forment généralement avec l'emploi d'ajout dans la chaîne opératoire (1 et 2).

De par leur taille, l'identification des épandages de battitures est extrêmement délicate. Généralement, seules les fortes concentrations associées à des couches charbonneuses vont être repérées et potentiellement étudiées. Généralement, le protocole mis en place consiste soit à implanter un carroyage pour la réalisation de prélèvements lorsqu'un sol de forge est supposé soit à prélever une partie du sédiment des structures en creux qui ont livré des rebuts métallurgiques. Dans ce cas, l'objectif est double, d'une part cerner leur étendue et d'autre part caractériser les micro-déchets présents. Si cette méthodologie peut s'avérer efficace sur les ensembles bien circonscrits, il n'en est pas de même sur les zones de forge de plus petites dimensions où des difficultés évidentes de lecture sont présentes.

L'utilisation de techniques géophysiques peut permettre de pallier ce problème. Du fait de propriétés magnétiques très marquées, cette approche est souvent utilisée pour la détection des vestiges liés au travail du fer notamment avant fouille, et plus particulièrement sur les sites de production de fer brut. Dans de rares cas, la géophysique a été utilisée directement sur surface décapée comme sur l'atelier de forge de Rauranum ou bien encore ceux de Beaune-la-Rolande. Pour ces deux sites, l'activité de forge avait déjà été clairement identifiée par la présence de vestiges significatifs (sols de forge en place, foyers...) lors de la fouille.

La démarche présentée ici s'intéresse aux entités n'ayant laissé que très peu d'indices et que la fouille seule n'aurait pas pu déceler. Cette approche a été initiée et mise en place pour la première fois sur la fouille de Saultain « rue Barbusse » (59) en octobre 2011 puis adoptée sur le projet du canal Seine-Nord-Europe. Ce projet d'envergure a ainsi permis de mettre en œuvre une étude géophysique quasi systématique après décapage des horizons superficiels. Cette approche faite par le biais de mesures de susceptibilité magnétique a ainsi permis de mettre en exergue un certain nombre d'anomalies dont quelques unes se sont révélées être associées à la présence de battitures traduisant clairement l'emplacement de zones de travail du fer. Au total, trois sites ont montré de tels indices sur le tracé du canal. Par la mise en relation des cas de Noyon (60), Eterpigny-Barleux (80) et Sauchy-Lestree (62), cette méthodologie et son application sur différents contextes archéologiques rencontrés et d'insister sur les multiples apports scientifiques et opérationnels d'une telle approche en contexte d'archéologie préventive.

Une approche couplée

La cartographie géophysique

Cette démarche se base en premier lieu sur une étude géophysique réalisée sur l'intégralité de la zone de fouille après décapage des horizons superficiels. Cette étude rapide permet alors d'appréhender le site archéologique de la manière la plus exhaustive qui soit en mesurant un paramètre bien spécifique : la susceptibilité magnétique. Cette propriété physique, qui correspond à la capacité d'un corps à s'aimanter sous l'action d'un champ magnétique, est depuis longtemps reconnue comme étant un marqueur fort de l'anthropisation des sols. Pour exemple, les phénomènes de chauffe (incendie de bâtiment, zone foyère, essartage), le taux de matière organique et bien évidemment les activités liées au travail du fer (présence de micro-déchets) sont autant de paramètres pouvant avoir une origine anthropique et qui ont pour point commun de modifier la teneur et la composition des oxydes et hydroxydes de fer dans le sol, modifications qui se traduiront par des changements dans les propriétés magnétiques des sols. De ce fait, la cartographie de ce paramètre et de ces variations apporte à l'archéologue une caractérisation supplémentaire de son site et certains phénomènes anthropiques peuvent être mis en évidence bien qu'aucun indice visuel ne soit présent.

D'un point de vue technique, l'utilisation de la sonde monospire Bartington MS2D, spécialement adaptée à l'archéologie, a été préconisée pour ces études (3). Cet appareil de mesure électromagnétique offre une profondeur d'investigation d'environ 10 cm avec une décroissance rapide de la réponse sur les premiers centimètres. Sur le terrain, la visualisation des faits archéologiques permet d'adapter la collecte de points. Cette prise de mesure sélective s'avère particulièrement importante dans le cas de la caractérisation des sols où la contribution des vestiges archéologiques, des artefacts naturels évidents (chablis) et autres perturbations anthropiques (vestiges de la Première Guerre Mondiale par exemple) ne doit pas être prise en compte. Le positionnement des données de susceptibilité est effectué en temps réel grâce à un GPS de précision décimétrique.

La démarche mise en œuvre sur l'ensemble des sites étudiés a été, dans un premier temps, de couvrir la zone d'étude sans enregistrement des données afin d'évaluer rapidement les variations de susceptibilité magnétique et l'intérêt d'une étude plus précise. Ce protocole se base généralement sur la réalisation de transects recoupant les entités archéologiques majeures (bâtiments, enclos fossoyés, grandes fosses...) afin de déceler d'éventuels effets de paroi ou zones anormalement fortes. Dans ce cas, un échantillonnage de l'ordre du mètre avec une densification des points de mesures sur les zones d'intérêt est alors effectué pour cartographier précisément l'anomalie. Dans certains cas, les mesures de terrain ont été complétées par des mesures de susceptibilité sur échantillons.

L'étude paléométallurgique

Une fois les potentiels espaces de travail du fer repérés, un protocole de prélèvement des sédiments de ces secteurs est mis en place afin de mieux cerner la présence de micro-déchets magnétiques. La quantité de sédiments collectés varie selon la nature de l'espace testé. Pour les structures en creux, deux litres de sédiments seront prélevés. Pour les possibles sols de forge, un carroyage recouvrant leur superficie globale d'un maillage carré d'un mètre sur un mètre sera implanté (4). L'état de conservation des sols testés va déterminer dans un premier temps la quantité de sédiments prélevés pour chacun des carrés. La répétition et l'évolution de la méthode de travail entre la prospection géophysique et l'étude des battitures ont permis de passer de prélèvements moyens de 10 litres à des prélèvements de 3 litres par carré. Les échantillons de sédiments sont ensuite pesés, lavés et tamisés par le biais d'une colonne composée de tamis d'ouverture 2 mm et 500 µm. Une fois les différents refus de tamis secs, un tri à l'aide d'un aimant sera effectué afin de pouvoir séparer les éléments magnétiques présents dans les échantillons. Les refus magnétiques et ceux qui restent (c'est-à-dire ceux nommés non-magnétiques) seront ensuite pesés afin de pouvoir déterminer la proportion d'éléments magnétiques présents dans chacun des prélèvements. Une première carte sera ensuite établie afin d'établir une répartition de ce type de matériel et réaliser ainsi une comparaison avec la cartographie de susceptibilité magnétique. Après analyse des deux approches, un nouvel échantillonnage sera effectué au sein des échantillons à forte concentration d'éléments magnétiques et aux endroits de forte corrélation entre les deux études. Ces échantillons, d'environ 10 grammes de micro-déchets magnétiques, seront alors observés sous microscope. Le but de ces constatations sera de pouvoir caractériser les différents éléments composant ces micro-déchets magnétiques et plus particulièrement d'observer ou non la présence de battitures. De cette dernière carte et si l'ensemble des observations s'est avéré positif, il sera possible de pouvoir en dégager une première interprétation sur l'organisation spatiale de la forge et ainsi cerner l'emplacement des zones de martelage, des structures de combustion, mais également des zones de rejet des déchets produits par l'activité métallurgique.

Étude de cas

La fouille 32 Secteur10 de Sauchy-Lestree

L'exemple de Sauchy-Lestree est particulièrement intéressant puisque, dans ce cas précis, l'étude de susceptibilité magnétique a révélé la présence d'une anomalie bien structurée sur le sol naturel donc a priori stérile. En ce sens, il constitue certainement l'illustration la plus significative de l'apport de cette méthodologie pour la détection des sols de forge. En effet, à la suite du décapage aucun indice au sol ne permettait de déceler la présence d'un espace de travail du fer. Seule la prospection géophysique a permis de mettre en évidence une zone anormale qui s'est avérée en lien avec un atelier de forge fortement érodé (5). Des limites franches sont cependant présentes et peuvent être interprétées comme des effets de paroi. Cette hypothèse se voit renforcée lorsque l'on prend en compte le plan archéologique où plusieurs trous de poteau s'inscrivent particulièrement bien dans le zonage défini par la susceptibilité magnétique.

Un carroyage a été implanté sur ce secteur pour la réalisation des prélèvements. A la différence de Noyon seulement 3 litres de sédiments ont été prélevés par carré. Traités, l'ensemble des échantillons n'a mis en évidence en moyenne qu'une faible proportion d'éléments magnétiques par carré qui s'explique par l'état de conservation et d'arasement du secteur testé. En effet, à l'œil « nu » aucun indice ne laissait penser à une telle présence sur ce secteur, les micro-déchets qui ont pu être observés par ces prélèvements sont ceux qui ont migré dans l'interface entre le sol archéologique et le sol naturel et qui se sont retrouvés bloqués dans ce dernier. Malgré cela, on constate une certaine corrélation entre la carte des micro-déchets et celle obtenue lors de la prospection géophysique (6). On constate par contre que sur certains endroits de l'espace testé, les résultats divergent quelque peu. En effet certains carrés fortement magnétiques n'ont pas révélé une forte proportion de micro-déchets. Il faut donc envisager qu'une autre action anthropique que la frappe du métal ait pu produire cette forte susceptibilité. L'hypothèse d'une anomalie liée à des phénomènes de chauffe est à envisager. Cependant, peu d'indices peuvent apporter des réponses à cette interrogation pour le moment. A l'emplacement où les fortes susceptibilités sont corrélées à des fortes proportions d'éléments magnétiques, l'observation microscopique a permis de détecter la présence de battitures lamellaires et en billes. Ces observations donnent une première image globale de l'organisation et de la forme de la forge à Sauchy-Lestree. Ainsi, l'espace où était frappé le métal, semble se situer en partie sud-ouest de la forge dont l'une des structures en creux découvertes dans ce secteur aurait pu servir de point d'ancrage à l'enclume. La cartographie réalisée après le traitement des sédiments a également permis de constater un prolongement des effets de parois détectés lors des prospections géophysiques et ainsi apporter une meilleure connaissance du bâtiment abritant la forge. On observe la continuité de ce dernier vers le nord-est où un second espace avec une concentration magnétique, qui n'avait pas été détecté lors de la prospection géophysique, semble exister. Du fait du peu d'indices découverts, il est difficile d'interpréter ce second secteur. Est-il possible d'y voir un lieu de passage privilégié lors des différentes séquences de nettoyage de la forge ? Les différents trajets entre la zone de travail et les espaces de rejet auraient-ils pu provoquer un dépôt de micro-déchets magnétiques dans ce secteur ? Malheureusement, l'arasement de l'endroit laisse cette idée à l'état hypothétique.

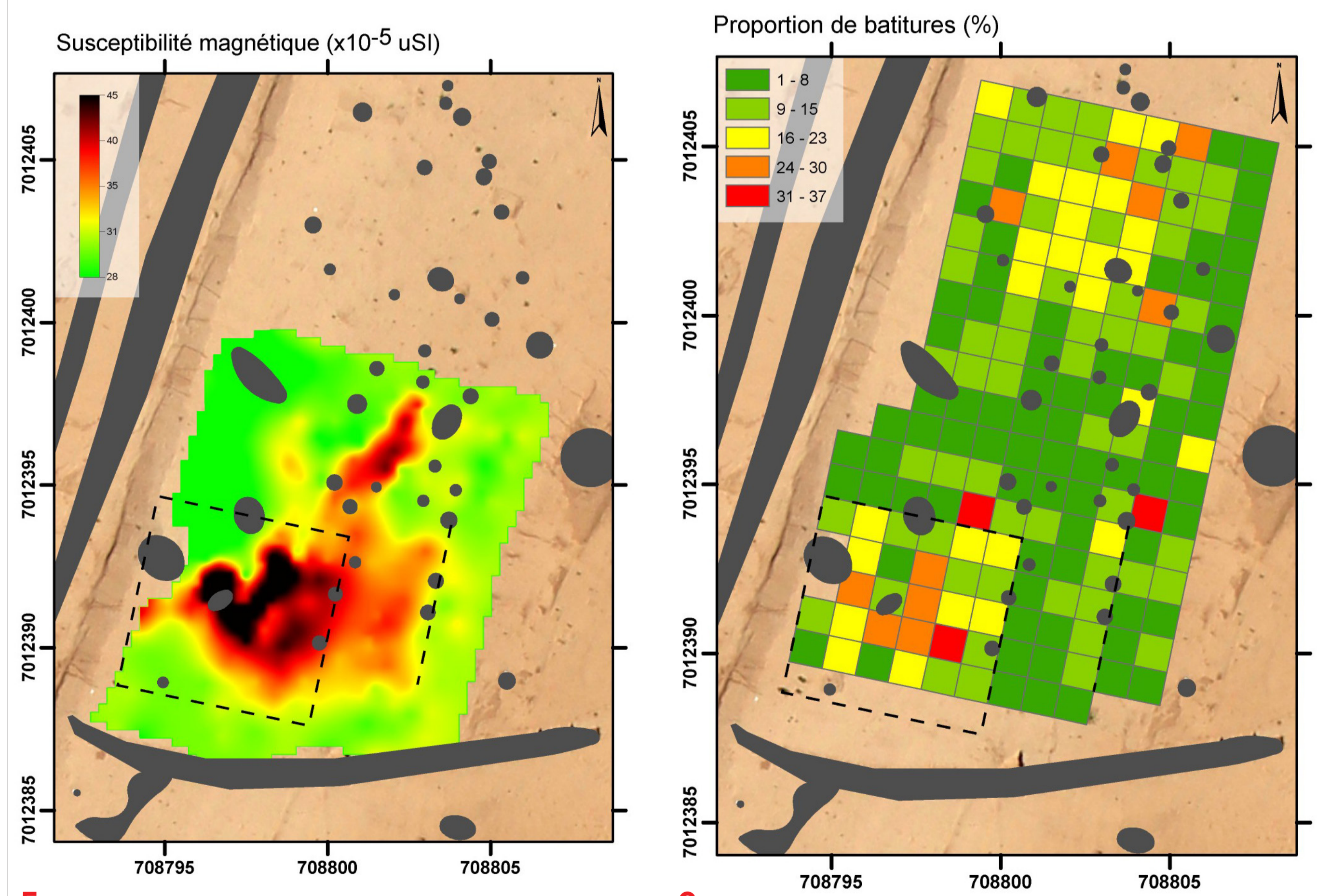
On voit donc pour l'exemple de Sauchy-Lestree que, sans un travail préalable de détection géophysique, aucun indice d'une activité du travail du fer sur le site n'aurait pu être décelé. Il est évident que les concentrations faibles et éparées de déchets scoriacés mis au jour sur le site n'auraient pas pu, à elles seules, apporter des indices significatifs d'un tel artisanat.

Discussion générale

Les différentes études portant sur des sites avec des traces plus ou moins perceptibles d'ateliers de forge et menées lors du projet canal Seine-Nord-Europe, ont pu être menées à bien par la mise en place d'une démarche pluridisciplinaire associant prospection géophysique et étude paléométallurgique. Ces trois cas d'étude illustrent l'intérêt d'adopter ce type de protocole lors de la fouille et ce dans différents contextes allant de l'étude sur sol ou structure archéologique en place à l'étude sur sol naturel par la détection d'éléments magnétiques ayant migré en profondeur par la bioturbation. Cette méthodologie peut également être utilisée en coupe stratigraphique. L'intérêt est ici particulièrement fort puisque que les mesures de susceptibilité vont alors permettre de caractériser chacune des unités stratigraphiques identifiées et d'indiquer très rapidement la présence de micro-déchets liés au travail du fer qui ne seraient pas forcément visibles en coupe du fait de la faible fenêtre d'observation. Dans ce cas, le protocole d'étude diffère quelque peu, notamment pour ce qui est de l'échantillonnage et du capteur à utiliser.

Les informations apportées par l'association des données géophysiques et paléométallurgiques sont complémentaires et particulièrement pertinentes : la prospection géophysique permet de cerner les espaces ayant pu accueillir de possibles ateliers de forge sur les sites archéologiques. Ce type de travaux permet donc de pouvoir observer des espaces où les traces archéologiques ne sont plus visibles à l'œil « nu », comme sur la fouille de Sauchy-Lestree. Ces informations révélées par la prospection géophysique permettent d'aborder aussi de manière plus fine la fouille des forges et ainsi de pouvoir collecter toutes les informations spécifiques à ce type d'occupation et d'aboutir à une image plus précise de l'organisation de l'atelier. Enfin, une fois ces secteurs bien définis, les observations géophysiques permettent de formuler des hypothèses sur l'organisation interne de l'atelier et ainsi de pouvoir mettre en place un protocole de prélèvement des sédiments mieux ciblé. La fonction première des prélèvements n'est donc plus de délimiter les espaces métallurgiques, mais d'apporter une caractérisation plus fine de l'activité. Cette méthode permet également de réduire à la fois les quantités prélevées (seulement 3 litres de sédiments) et les moyens humains alloués sur le terrain et lors de la post-fouille. Pour chacun des sites étudiés, quel que soit leur état de conservation, les zones de martelage ont pu être distinguées et des hypothèses sur l'emplacement de l'enclume ont été avancées. Enfin, ces résultats sont complémentaires à l'étude des déchets scoriacés retrouvés sur le site, ce qui permet de mieux cerner l'activité des différentes forges. Malgré tout, l'exemple de Sauchy-Lestree montre que cette méthodologie est encore en cours d'évolution. En effet certaines zones de susceptibilité élevées détectées ne semblent pas avoir été produites par la présence de micro-déchets magnétiques, mais par une autre action anthropique. Il est donc intéressant de poursuivre cette démarche en tentant de mieux distinguer les anomalies générées par le travail du fer de celles dues à des structures de chauffe. Une piste de travail consiste à étudier d'autres paramètres magnétiques et plus particulièrement la viscosité magnétique.

Pour résumer, l'aspect principal de la démarche exposée ici réside dans la mise en œuvre d'une méthode simple et rapide visant à la détection des zones dédiées au travail du fer. Une signature géophysique caractéristique, liée à la présence de micro-déchets ferreux, permet d'identifier rapidement ces zones et d'apporter des éléments de réflexion dès la phase de terrain. Dans les trois cas présentés, cette démarche a permis d'adopter une méthodologie de fouille permettant d'étudier ces entités archéologiques de manière plus fine et notamment de prévoir un protocole de prélèvements nécessaire à l'étude paléométallurgique. Cette approche offre la possibilité de reconsidérer l'organisation même du lieu dédié au travail du fer en mettant en avant des zones n'ayant laissé aucune trace visible mais qui, au vu des caractéristiques physiques (forte susceptibilité magnétique due à des battitures, zone de chauffe) et de l'organisation spatiale (présence d'effets de parois), ne peuvent être ignorés dans l'interprétation finale.



- 1 Battitures lamellaires découvertes à Noyon (60). © Benjamin Jagou, Inrap.
- 2 Battitures globulaires découvertes à Noyon (60). © Benjamin Jagou, Inrap.
- 3 Prospection géophysique à l'aide d'un MS2D de chez Bartington. © Benjamin Jagou, Inrap.
- 4 Implantation d'un carroyage pour prélèvements sédimentaires. © Benjamin Jagou, Inrap.
- 5 Résultats de la prospection géophysique sur le site de Sauchy-Lestree (62). © Benjamin Jagou, Inrap.
- 6 Résultats du traitement des prélèvements sédimentaires sur le site de Sauchy-Lestree (62). © Benjamin Jagou, Inrap.