



**Revue archéologique de l'Est**

tome 63 | 2014  
n° 186

---

## Étude métallographique de deux masses de fer brut et de deux bandages de roues gallo-romains d'Alésia

Paul Merluzzo, Marc Leroy et Claude Grapin

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rae/7977>  
ISSN : 1760-7264

### Éditeur

Société archéologique de l'Est

### Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2014  
Pagination : 237-258  
ISBN : 978-2-915544-28-2  
ISSN : 1266-7706

### Référence électronique

Paul Merluzzo, Marc Leroy et Claude Grapin, « Étude métallographique de deux masses de fer brut et de deux bandages de roues gallo-romains d'Alésia », *Revue archéologique de l'Est* [En ligne], tome 63 | 2014, mis en ligne le 11 février 2016, consulté le 01 juillet 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rae/7977>

---

# ÉTUDE MÉTALLOGRAPHIQUE DE DEUX MASSES DE FER BRUT ET DE DEUX BANDAGES DE ROUES GALLO-ROMAINS D'ALÉSIA

Paul MERLUZZO\*, Marc LEROY\*, Claude GRAPIN\*\*

---

**Mots-clés** *Artisanat urbain, quartier de forgerons et de bronziers, forges, haut-Empire, mobilier métallique, charonnage.*

**Keywords** *Urban crafts, metalworking quarters, smithy, Early Empire, metal objects, wheelwrighting.*

**Schlagwörter** *Handwerk, Handwerkerviertel mit Schmieden und Bronze gießern, Schmieden, frühe Kaiserzeit, Metallgegenstände, Stellmacherei.*

**Résumé** *L'étude métallographique de deux masses de fer brut et de deux bandages de roues en fer, provenant de l'agglomération gallo-romaine d'Alésia, découverts lors des fouilles conduites par É. Espérandieu en 1913, apporte des informations significatives sur les techniques de mise en forme et de fabrication de ces types de mobilier, dans la mesure où les découvertes de ces objets sont peu fréquentes et leur étude encore plus rare. Les deux blocs de fer, d'aspect massif (une douzaine de kg chacun) et de forme grossièrement parallélépipédique, et dont les surfaces conservent des empreintes d'outils ayant servi à leur mise en forme, représentent des demi-produits encore relativement bruts parvenant dans l'agglomération pour l'alimentation des ateliers de travail du fer que les fouilles ont mis au jour en de nombreux endroits. Les deux bandages de roue, fabriqués à partir de segments assemblés par soudure, et qui n'ont à l'évidence pas été utilisés, renvoient de manière explicite à une activité de charonnerie, dont témoignent peut-être d'autres indices archéologiques. Leur découverte dans la même cave que les blocs de fer brut, parmi de nombreux autres objets et outils, peut faire penser à un dépôt ou à un stock en relation avec un atelier de forge. À titre d'hypothèse comparative, l'utilisation de plusieurs de ces masses de fer brut a été nécessaire pour élaborer chacun de ces bandages.*

**Abstract** *The metallographic analysis of two masses of pig iron and two iron wheel bands – all from the Gallo-Roman agglomeration of Alésia, and discovered during excavations conducted by É. Espérandieu in 1913 – has contributed useful information on the techniques of the shaping and manufacture of these objects insofar as such objects are infrequently found and their study even rarer. The two iron blocks, each weighing about 12 kg and roughly parallelepipedal, and whose surfaces are marked by the tools used in their shaping, are relatively unfinished products discovered in the agglomeration that supplied the ironworking workshops. The two wheel bands are made from welded sections and seem never to have been used. They are explicit indications of a wheelwrighting activity, which other archaeological evidence may support. Their discovery in the same cellar as the iron blocks, along with many other objects and tools, is suggestive of a storeroom or the stock of a forge. A comparative hypothesis might be considered in which many of these iron blocks were required to produce each of the wheel bands.*

**Zusammenfassung** *Die metallographische Untersuchung von zwei eisernen Radreifen aus der gallo-römischen 1913 von É. Espérandieu entdeckten Siedlung Alésias liefert Informationen über die Bearbeitungs- und Herstellungstechniken dieser Gegenstände, deren Bedeutung auf der Seltenheit der Entdeckung solcher Artefakte und deren noch selteneren Untersuchung beruht. Die Oberflächen der beiden massiven grob paralleleflachen Eisenbarren (jeweils an die 12 kg) weisen Werkzeugspuren auf, die von ihrer Bearbeitung zeugen. Es handelt sich um unbearbeitete Halbfabrikate, die nach Alésia eingeführt wurden, um die an zahlreichen Stellen nachgewiesenen Eisenwerkstätten zu beliefern. Die beiden aus verschiedenen Segmenten zusammengeschweißten offensichtlich nie benutzten Radreifen weisen eindeutig auf eine Wagnerie, der*

---

\* Laboratoire de Métallurgies et Cultures, IRAMAT, UMR 5060, antenne de Nancy, Musée de l'Histoire du fer, 54140 Jarville-la-Malgrange.

\*\* Conservateur départemental du patrimoine chargé du MuséoParc et du Musée Alésia, Conseil général de la Côte-d'Or, Dijon.

*möglicherweise noch weitere archäologische Funde zugeordnet werden können. Ihre Entdeckung in demselben Keller wie die Roheisenblöcke mit zahlreichen anderen Gegenständen und Werkzeugen lässt an das Depot oder Warenlager einer Schmiede denken. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass für die Herstellung jedes Radreifens mehrere dieser Eisenblöcke benötigt wurden.*

Le Musée Alésia conserve deux masses de fer brut et deux grands bandages de roue d'époque gallo-romaine qui appartiennent aux collections de l'ancien Musée municipal d'Alise-Sainte-Reine mises en dépôt par la commune. Découverts en 1913, ces quatre objets exceptionnels à plus d'un titre étaient dans un état stable et satisfaisant sans jamais avoir été restaurés, jusqu'à ce que la soudaineté du changement climatique dû à la sécheresse et à la canicule de l'été 2003, suivi d'un retour tout aussi rapide de l'humidité, n'entraîne une détérioration fulgurante de leur surface. Leur sauvetage a pu être organisé en quelques semaines avec l'appui technique du Laboratoire d'Archéologie des Métaux de Nancy-Jarville.

Compte tenu de l'importance de l'activité métallurgique du site d'Alésia à partir de la fin de la période laténienne et durant les trois premiers siècles de la période antique au moins (MANGIN, 1981 ; MANGIN *et alii*, 1992 ; MANGIN, 2005 ; MANGIN, FLUZIN, 2005 ; MANGIN, FLUZIN, 2007), il est immédiatement apparu que l'opération offrait l'opportunité de conduire une étude plus approfondie des quatre objets. Les découvertes de masses de fer brut (improprement qualifiées de « lingots »<sup>1</sup>) restent relativement rares pour l'époque gallo-romaine, et très peu ont été étudiées<sup>2</sup>. Les bandages de roues ne sont guère plus fréquents pour la même période, surtout dans cet état de conservation, et il n'existe quasiment aucune étude sur leur mode de fabrication<sup>3</sup>.

## 1. LE CONTEXTE DE LA DÉCOUVERTE

Quoique remontant à 1913, le contexte de découverte des quatre objets est assez bien connu. Il a été soigneusement exposé par Michel Mangin dans un précédent article publié en collaboration avec Philippe Fluzin en 2006 dans la *Revue Archéologique de l'Est* (MANGIN, FLUZIN, 2007, p. 139-142 et fig. 7-9).

1. Les blocs ou masses de fer brut ou partiellement épuré et compacté, généralement préformés (barres quadrangulaires plus ou moins allongées, blocs bipyramidaux, barres plates allongées à extrémité enroulée ou effilée...), sont abusivement qualifiés de lingot, car leur mise en forme résulte d'un travail de martelage à chaud et non de moulage. Il s'agit de demi-produits à différents stades de compactage et d'élaboration, qui, à l'Âge du Fer et à la période romaine, circulent sous ces différentes formes entre les ateliers de production primaire et les ateliers de transformation et d'élaboration de produits finis.

2. La *R.A.E.* a déjà publié en 2004 les résultats d'études archéométriques réalisées sur des « lingots » et des couteaux en fer d'Alésia (PLEINER *et alii*, 2004).

3. Nous remercions la commune d'Alise-Sainte-Reine, propriétaire, d'avoir bien voulu nous autoriser à réaliser les coupes nécessaires pour procéder à l'étude métallographique des deux masses de fer et des deux bandages de roue.

Les deux masses de fer et les deux bandages ont été trouvés en 1913 dans le sous-sol d'un habitat gallo-romain de l'un des quartiers centraux d'Alésia. Cette année-là, le docteur René Épery conduit pour le compte du commandant Émile Espérandieu une campagne de fouille au lieu-dit *La Fanderolle*, sur deux parcelles en lanière situées dans le prolongement l'une de l'autre et portant les n<sup>os</sup> 503 et 505 de la section B de l'ancien cadastre (respectivement n<sup>os</sup> 90 et 92 de la section B du cadastre actuel). Ces terrains ont été loués pour la circonstance. Ils n'ont pas été choisis au hasard. En 1905-1906, É. Espérandieu avait dressé un récapitulatif assorti d'une carte des découvertes signalées sur le Mont-Auxois ; à cette occasion, il avait relevé qu'en 1809 et 1836 déjà, des découvertes d'outils, assez importantes semble-t-il, avaient été réalisées sur la parcelle 505 (ESPÉRANDEIU, 1906, p. 155, pl. II).

La documentation de fouille est succincte. C'est le rapport manuscrit rédigé par le docteur Épery qui reste la source la plus complète (ÉPERY, 1913). Il est conservé dans le fonds Espérandieu du palais du Roure à Avignon (Ms E. 71/1 ; une version dactylographiée est conservée dans les fonds documentaires du Musée Alésia). Dans sa courte publication de six pages É. Espérandieu donne surtout le plan dressé par M. Bobin, instituteur d'Alise, et la liste du mobilier découvert (ESPÉRANDEIU, 1914).

La fouille s'est tenue à une bande longue et étroite (183 m de long pour une largeur d'environ 15 m). Praticquée par tranchées, l'opération avait pour principal objectif la découverte de sous-sols, qui, par expérience, s'avèrent souvent riches en objets. De nombreuses arases de murs ont été rencontrées. Leur suivi a permis de reconnaître un certain nombre de locaux et surtout quatre sous-sols. C'est à ces derniers, et plus particulièrement au mobilier qui y a été recueilli, que le rapport de fouille accorde le plus d'attention. La campagne 1913 se signale par le nombre d'objets en fer recueillis. Dans trois sous-sols (n<sup>os</sup> 9, 10 et 27), le mobilier ferreux s'avère très proche de celui mis au jour dans les locaux de surface et se partage entre des éléments structurels (éléments d'huisseries, clous...) et des objets ménagers. En revanche, les découvertes se révèlent autrement plus nombreuses, plus variées et plus singulières pour le quatrième sous-sol, enregistré sous le n<sup>o</sup> 22, et qui est précisément celui qui nous intéresse.

Les structures dégagées par le docteur Épery en 1913 ont été pour partie ré-enfouies après la fouille (parcelle n<sup>o</sup> 503), pour partie laissées à l'état de pierriers puis masquées par une haie épaisse (extrémité orientale de la parcelle n<sup>o</sup> 503 et parcelle n<sup>o</sup> 505). De fait, elles n'ont longtemps été connues que par le plan précis établi par M. Bobin et publié en 1914 (ESPÉRANDEIU, 1914, p. 3). Elles sont restées assez mal localisées dans la trame de la ville antique jusqu'au

début des années 2000. Les clichés aériens réalisés par René Goguy à la faveur de la sécheresse de l'été 2003 ont permis de clarifier le dossier. Dès 2006, Michel Mangin a pu proposer une première lecture topographique du quartier (MANGIN, FLUZIN, 2007, p. 136-142). Celle-ci a été complétée et affinée au cours des dernières années par Jonhattan Vidal (CAZANOVE *et alii*, 2012, p. 129-130, fig. 2).

Les structures reconstruites en 1913 se situent à l'est de la place publique (forum?) (fig. 1). Elles appartiennent à un ensemble beaucoup plus vaste qui se développe sur les lieux-dits *La Fanderolle* et *La Petite Contrée*. Plus précisément, elles correspondent à la frange nord des *insulae* L et, surtout, en allant vers l'est, K1 et K2. Elles bordent la rue 3 avec des façades à portique. Cette artère d'orientation est-ouest arrive dans l'axe de la place. Elle marque une saignée d'une trentaine de mètres de large qui sépare au sud les *insulae* H (fouillée dans les années 1950 et 1960) et J (partiellement sondée en 1969-1970 et 1973-1974) des *insulae* L, K1 et K2 situées sur sa bordure nord (MANGIN, 1981; MANGIN, FLUZIN, 2007). Les *insulae* L, K1 et K2 présentent un plan relativement régulier, dont l'organisation rappelle celle des *insulae* H et J avec une division en îlots qui associaient habitat et espaces artisanaux où dominaient les activités liées à la métallurgie du fer et des alliages cuivreux. Toutefois, les îlots présentent une profondeur deux fois plus importante, d'environ 70 m.

La documentation conservée ne s'attache guère à décrire les structures du sous-sol 22. Le rapport du docteur Épery permet seulement de dire qu'il s'agissait d'un petit local de plan presque carré de 3 m de côté environ, où l'accès se faisait par un escalier droit de huit marches d'axe nord-sud arrivant dans l'angle nord. Ce sous-sol se trouvait sous une pièce d'habitation aux murs recouverts d'un enduit peint présentant un motif de rosaces, de marguerites et de roses. Le bâtiment était couvert de dalles calcaires sciées, un type de toiture peu répandu à Alésia.

La documentation s'attache davantage à énumérer le mobilier découvert, plus particulièrement les objets métalliques, qui sont très majoritairement en fer. La liste jointe par le docteur Épery dans son rapport et publiée par É. Espérandieu est impressionnante :

- deux cercles de bandages plats en fer (à section carrée d'environ 4 cm de largeur précise R. Épery dans son rapport);
- deux cercles en demi-rond en fer (d'un diamètre d'environ 1,10 m, précise R. Épery);
- quatre cercles de moyeux et deux frettes provenant des roues en fer d'un *char* [*sic.*];
- la ferrure de l'extrémité d'un timon;
- un demi-essieu en fer (interprété comme un axe de moulin à blé par R. Épery);
- un fer de lance;
- une grande entrave en fer dotée d'un système de ressort compliqué;
- une suspension de boucher en fer munie de quatre chaînes terminées chacune par un crochet;
- des ornements en bronze qui se rapportent probablement à des éléments de harnais;

- un fléau de grande balance avec ses attaches et ses chaînes en fer;
- deux gros poids en pierre avec leur anneau en fer;
- une plaque de plomb;
- vingt et un outils d'artisans en fer: une scie, deux égoïnes, une enclume (MANGIN *et alii*, 2000, p. 105, fig. 15; MANGIN, FLUZIN, 2007, p. 141, fig. 9), une gouge, une *ascia*, une herminette, une feuille de boucher, un coupe-ret, une plane, un marteau avec tire-clous, trois burins, un poinçon, deux mèches, un couteau/poignard, un outil avec une longue douille, une truelle, une paire de pinces;
- des plaques de tôle qui semblent avoir appartenu à une balance;
- deux sonnailles en fer;
- deux gros lingots de fer;
- trois *pochons* (louches) en fer;
- deux passoires en fer;
- une serrure en fer;
- trois grandes clés en fer;
- quatorze petites clés en fer;
- beaucoup de quincaillerie: des fers en T, plus de dix kilos de clous en fer...

Ce lot d'objets en fer est exceptionnel à plus d'un titre. C'est à notre connaissance la plus importante découverte de ce type connue sur le site avec l'ensemble issu de la fouille de la salle souterraine du Monument d'*Ucuetis* en 1908, édifice que Paul Varène a proposé d'identifier comme le siège de la corporation des artisans métallurgistes (MARTIN, VARÈNE, 1973, p. 156-160). Le champ des comparaisons s'avère tout aussi limité au sujet du nombre et de la diversité des artefacts. Enfin, certains d'entre eux sont particulièrement rares. C'est notamment le cas des éléments de charonnage et des deux « lingots » qui font l'objet de la présente étude.

Les deux bandages se reconnaissent aisément avec les autres éléments de charonnage sur deux clichés pris peu de temps après la fouille que nous avons pu identifier en 2004 parmi les archives Espérandieu conservées au palais du Roure à Avignon (fig. 2). Les recherches engagées pour tenter de retrouver les deux cercles à section en demi-rond, les frettes et l'élément d'essieu/axe de moulin sont restées vaines<sup>4</sup>. Les lacunes de la documentation ancienne et l'habitude qu'a prise très tôt É. Espérandieu de répartir le mobilier issu de ses fouilles entre le Musée d'Archéologie Nationale de Saint-Germain-en-Laye, le Musée de Nîmes, le Musée municipal d'Alise-Sainte-Reine et sa propre collection ne facilitent pas l'enquête. En l'état de la question, hormis les deux bandages et les deux « lingots », les collections de l'ancien Musée municipal d'Alise, qui sont déposées au Musée Alésia, conservent l'élément de timon, une partie des cerclages de moyeux au moins, l'entrave, la suspension de boucher, au moins l'une des louches et l'une des passoires, plusieurs outils, dont l'enclume, la plane, l'outil à longue douille et la paire de pinces, ainsi que, peut-être, l'*ascia*, le coupe-ret, les deux mèches et la truelle.

4. Nous remercions Mme Hélène Chew, conservateur en chef au Musée d'Archéologie Nationale de Saint-Germain-en-Laye, d'avoir bien voulu effectuer les recherches et vérifications en ce sens.

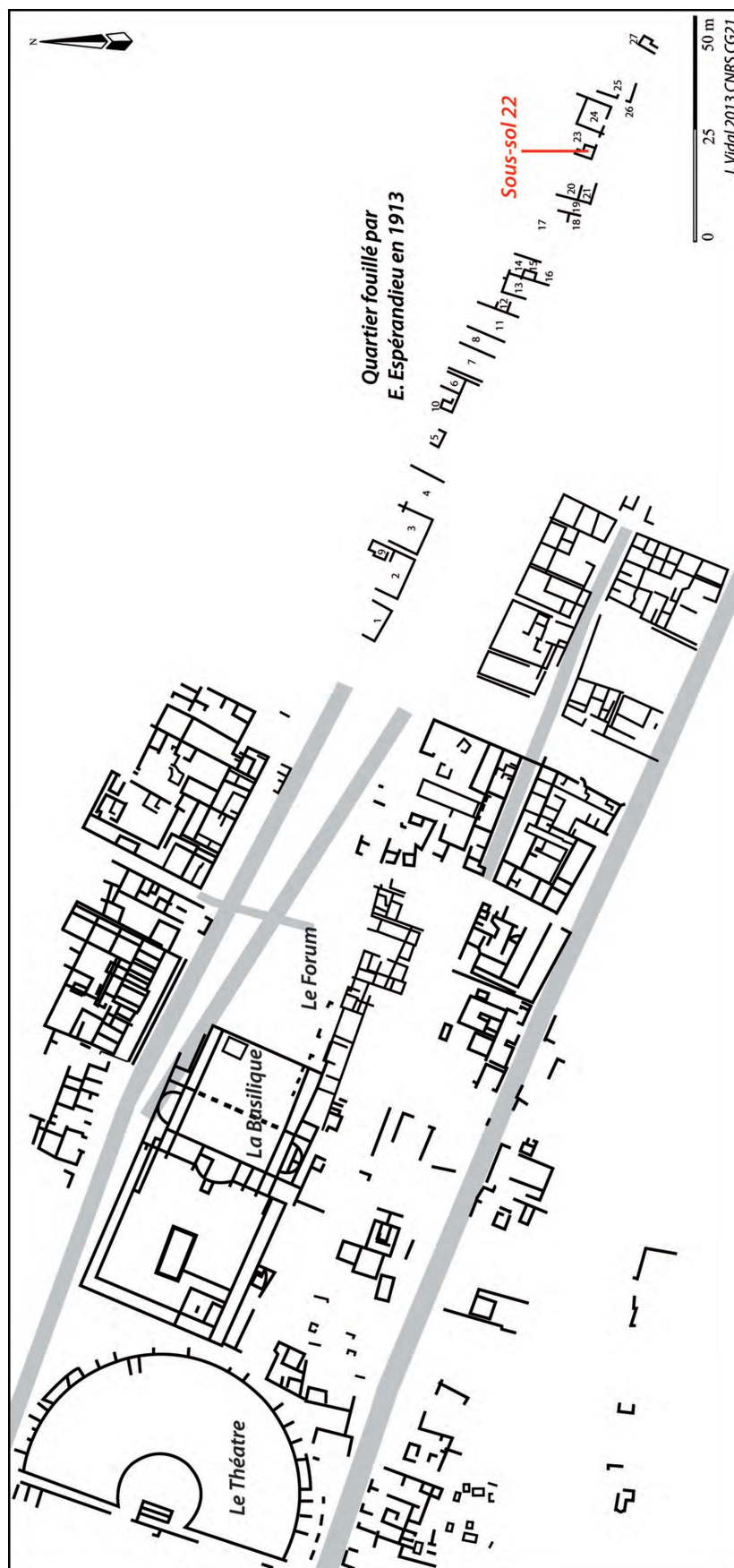


Fig. 1. Localisation du sous-sol 22. Plan Jonhattan Vidal, UMR 6298 ARTEHIS/Conseil Général de la Côte-d'Or.



Fig. 2. Les éléments de charronnerie du sous-sol 22 photographiés en 1913, peu de temps après leur découverte. Les deux bandages de plus grand diamètre correspondent aux bandages étudiés. Fonds Espérandieu, Palais du Roure.

S'ajoutaient 104 monnaies romaines, qui constituent elles aussi l'une des collectes numismatiques les plus importantes, sinon la plus importante, jamais signalée dans un sous-sol d'Alésia. Ces monnaies n'ont pas conservé leur pedigree ou sont aujourd'hui perdues. La documentation précise l'identification de seulement vingt-deux d'entre elles, qui s'échelonnent de Domitien à Marc-Aurèle.

Par sa nature, le mobilier découvert dans le sous-sol n° 22 pose la question des activités exercées par les occupants de l'îlot. La fouille a montré que les activités métallurgiques liées à la transformation du fer et des alliages cuivreux étaient dominantes dans les *insulae* F et H. Il est certain aussi que la production d'éléments de charronnerie et de harnachement a tenu une place importante dans l'économie de la ville antique, tant dans ces deux *insulae* qu'ailleurs sur le site (*infra*). Pour ce qui concerne l'*insula* K2, les connaissances et la manière de procéder des fouilleurs de 1913 n'ont permis de reconnaître qu'un atelier de bronzier dans l'espace (ou local?) n° 16, qui devait ouvrir directement sur le portique bordant la rue 3. Aucun indice d'une installation en rapport avec une activité de forge du fer n'est signalé.

La documentation est trop imprécise pour qu'il soit aujourd'hui possible de déterminer si le mobilier retrouvé était tout ou partie en position primaire (niveau d'occupation ou niveaux d'effondrement) ou en position secondaire (remblais) dans le sous-sol n° 22. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées. Il peut s'agir d'un sous-sol domestique dans lequel se seraient trouvés enfouis des objets en

rapport avec une activité de forge du fer exercée en surface et à proximité. Mais que penser des objets en bronze? Ce peut être aussi le stock d'un marchand, dès l'origine conservé dans le sous-sol ou bien dans un local situé en surface, juste au-dessus ou aux abords.

## 2. LES MASSES DE FER BRUT

Il s'agit de deux blocs de fer d'aspect massif, de forme globalement parallélépipédique, avec quatre faces longitudinales de modelé plus ou moins régulier, mais dont les extrémités ne sont pas façonnées (fig. 3 et fig. 6 et 7). Leur poids (11,25 et 12,5 kg) et leurs dimensions sont assez similaires : 347 et 390 mm de longueur, avec une section subrectangulaire présentant une dimension maximale au centre (environ 120 sur 65-70 mm) et se rétrécissant aux extrémités (environ 55-65 mm sur 35-45 mm).

Les grandes faces, ainsi que les flancs longitudinaux, ne sont ni strictement parallèles, ni véritablement plans, mais présentent une légère courbure induite par le rétrécissement des blocs aux extrémités. Celles-ci ont une morphologie très irrégulière, faite d'un ensemble de lobes et de protubérances arrondies, séparées par des creux. Sur chacun des blocs, l'une des extrémités porte des empreintes en creux évoquant les points d'appui des mâchoires d'un outil de préhension de type pince.

### 2.1. LA MASSE DE FER 1

#### 2.1.1. *Forme générale*

L'épaisseur du bloc de fer n'est pas constante, ni dans le sens longitudinal, ni dans le sens transversal (fig. 3). Dans l'axe longitudinal, il est plus épais à l'une des extrémités (65 mm) qu'au centre (45 à 55 mm) et qu'à l'autre extrémité (40 à 45 mm). Dans l'axe transversal, les deux grandes faces ne sont pas strictement parallèles, mais inclinées d'un flanc vers l'autre. Ceux-ci n'ont pas une hauteur constante : l'un oscille entre 42,5 et 60 mm, l'autre entre 49 et 60 mm. Dans sa partie centrale, le bloc est assez régulier. Les deux grandes faces et les deux flancs, grossièrement rectilignes et parallèles, forment un parallélépipède de 170-180 mm de longueur et 120 mm de largeur, aux arêtes plutôt vives. Au-delà, de chaque côté, la courbure des flancs est plus ou moins prononcée. L'une des extrémités (celle qui porte des empreintes d'outil) se rétrécit progressivement sur une longueur d'environ 150 à 160 mm ; l'autre est plus courte (70 à 90 mm de long). Dans le détail, les contours de la partie centrale sont formés par une succession de segments droits ou déformés. Localement, on discerne de petites courbures concaves qui pourraient résulter de l'impact d'un outil de frappe (*infra*).

#### 2.1.2. *Morphologie des surfaces*

Les surfaces présentent plusieurs aspects (fig. 3).

1°) Sur la plus grande partie des grandes faces et plus localement sur les flancs, elles sont pleines et lisses, sans discontinuité.

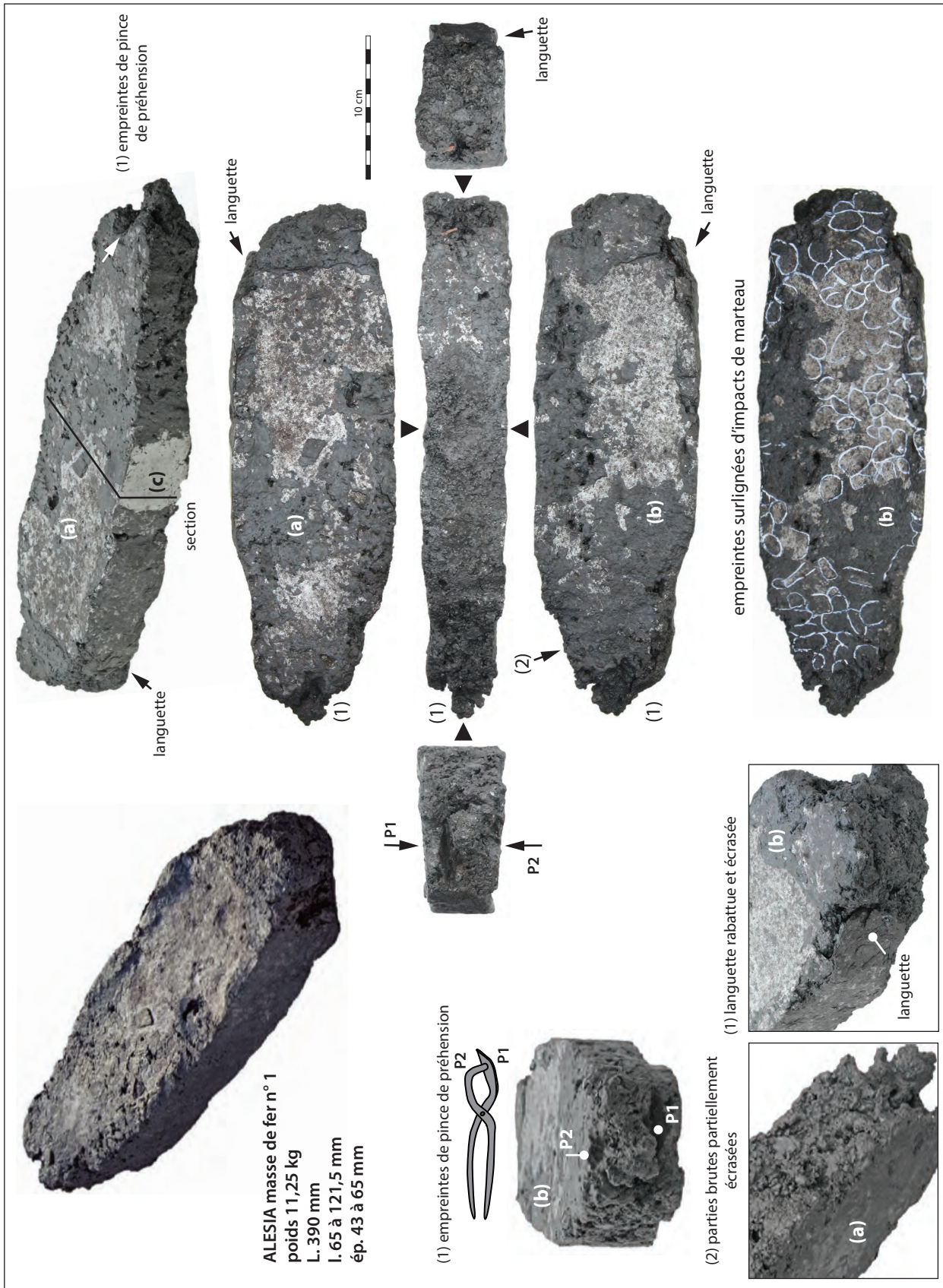


Fig. 3. Alesia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Masse de fer brut n° 1 : morphologie et traces de façonnage (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

2°) Par endroits sur les grandes faces, en particulier vers les extrémités, les plages lisses sont interrompues par des cavités plus ou moins profondes, isolées ou groupées en chapelet. Ces cavités paraissent plus nombreuses sur l'une des grandes faces.

3°) Sur les flancs, vers les extrémités, les surfaces sont beaucoup moins régulières et présentent l'aspect d'une succession de lobes ou de protubérances aplaties, aux contours irréguliers, souvent arrondis, séparés par des cavités plus ou moins grosses et profondes.

4°) Aux deux extrémités, les surfaces sont formées de protubérances accolées, au relief plus ou moins accentué. Ces protubérances ont l'aspect de petits rognons, de dimensions variables mais de taille plurimillimétrique et centimétrique, dont les contours présentent des formes irrégulières, mais non anguleuses, souvent arrondies. L'extrémité portant la trace de pince est surtout formée d'une excroissance proéminente encadrée par les empreintes en négatif de l'outil, dont une bien marquée profonde d'environ 10 mm et large de 40 mm. Sur l'autre extrémité, les protubérances sont moins proéminentes, ce qui lui donne un aspect plus compact.

5°) Sur l'un des flancs, vers l'extrémité ne portant pas d'empreintes de pince, on distingue nettement la présence d'une « languette » de métal plate (40 à 65 mm de longueur, de la largeur du flanc, d'environ 5 à 6 mm d'épaisseur maxi), rabattue (par martelage) mais non soudée.

Ces faciès de protubérances peu proéminentes, comme aplaties, évoque l'écrasement par martelage d'un bloc initialement couvert d'excroissances plus prononcées. La « languette » rabattue visible sur un des flancs semble confirmer cette interprétation. Les faciès plus lisses résulteraient ainsi d'un compactage plus poussé, mais qui n'aurait pas résorbé toutes les cavités.

### 2.1.3. *Traces d'impact d'un outil de frappe*

De nombreuses irrégularités visibles sur les différentes faces du bloc s'avèrent être les marques laissées par un ou des outils de frappe (fig. 3). Elles apparaissent sous la forme de zones aplaties, de facettes et d'empreintes. Sur les grandes faces, elles forment des traces rectangulaires de 13 à 15 mm de largeur jusqu'à 35 mm de longueur. Ces empreintes sont pour la plupart faiblement concaves et ne présentent pas d'arête vive. Sur l'une des faces, à environ 80 mm de l'extrémité la plus allongée, une série d'empreintes successives de faible relief forme sur toute la largeur une bande perpendiculaire. Sur l'autre face, à environ 45 mm de l'extrémité la plus trapue, une autre série d'empreintes forme un ressaut grossièrement rectiligne qui couvre toute la largeur. Les flancs présentent localement des facettes qui forment sur toute leur largeur des bandes d'environ 15 mm de large, plus ou moins parallèles et perpendiculaires aux grands côtés. Ces empreintes font penser à l'utilisation d'un outil de frappe étroit (panne) ou d'un outil plus large frappant sur le bord.

### 2.1.4. *Autres traces de mise en forme*

L'épaissement constaté sur les deux grandes faces le long des flancs, et qui se traduit par un surplomb de matière sur les arêtes joignant les grandes faces et les flancs, est probablement consécutif aux travaux de mise en forme. Les deux zones en surplomb sur chacune des grandes faces indiquent une première mise en forme importante visant à former des grandes faces plus ou moins planes. Puis la mise en forme des flancs provoque ces surplombs ponctuels. Sur l'une des grandes faces, ces surplombs sont plans à leur sommet, ce qui pourrait indiquer que la pièce est posée sur cette face pendant ou après ces opérations de martelage.

Par ailleurs, le bloc possède à plusieurs endroits localisés des surfaces relativement planes orientées par rapport à l'extrémité allongée où se situent des empreintes de pince. Ces surfaces sont relatives aux différents plans d'appui et de martelage de la masse durant sa mise en forme. L'extrémité sans trace de pince, bien qu'irrégulière et non écrasée, forme une petite base relativement plane sur laquelle la masse peut tenir en équilibre ; elle peut aussi avoir servi de plan d'appui.

### 2.1.5. *Empreintes d'un outil de préhension*

L'extrémité la plus allongée porte plusieurs empreintes en creux qui semblent correspondre à des becs ou mors de pince de forge (fig. 3). Une empreinte est située à l'extrémité de chacune des grandes faces, une troisième à l'extrémité d'un des flancs, la quatrième au centre du petit côté. L'empreinte centrale, en forme de lentille peu épaisse, fine et allongée, est parallèle aux grandes faces et pénètre d'au moins 14 mm dans le bloc ; elle dessine la marque d'un bec plat, large d'environ 40 mm et épais de 7 mm. Les deux empreintes situées à l'extrémité des grandes faces sont moins bien définies, mais semblent avoir été causées par des becs courbes, plutôt de section ronde. L'empreinte sur le flanc du bloc dessine une forme de 10 mm d'épaisseur et 30 mm de largeur. Seule cette extrémité porte ce type d'empreinte : c'est donc de ce côté que le bloc a été tenu à l'aide d'une pince de forgeron.

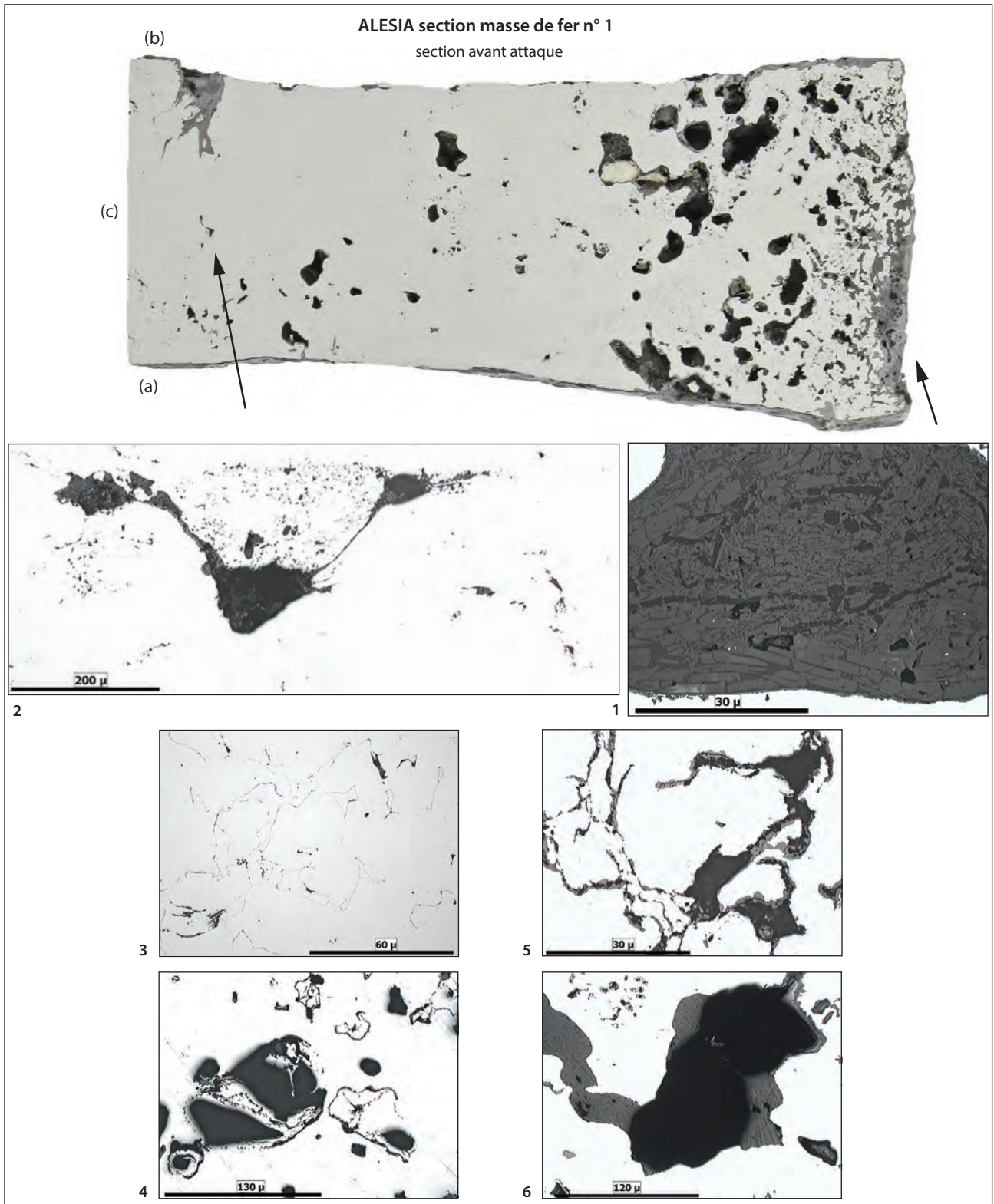
### 2.1.6. *Structure interne*

L'étude de la structure interne a été réalisée sur une section transversale complète prélevée au centre du bloc de fer.

#### 2.1.6.1. *Aspect macroscopique*

Visuellement, la section présente deux faciès différents (fig. 4, section). Les deux tiers de la surface de la section, du côté du flanc le moins épais, possèdent un aspect plutôt compact parsemé seulement de quelques vacuoles plurimillimétriques éparses. L'autre tiers, situé du côté du flanc le plus épais, est nettement plus vacuolaire et concentre l'essentiel des porosités (qui représentent au plus 10 % de la surface totale de la section). La dimension de ces porosités varie d'une taille inframillimétrique à une taille presque centimétrique. Le bord du flanc le plus épais, sur environ 5 mm d'épaisseur, est formé d'un mélange de métal (sous forme de petites parcelles reliées ponctuellement entre elles)





**Fig. 4.** Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Masse de fer brut n° 1, section transversale : structure interne (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

et de scorie. En dehors de cette bande latérale, la section ne présente pas d'inclusion de scorie. Il n'apparaît pas non plus d'indice de soudure, tel que des alignements significatifs d'inclusions.

#### 2.1.6.2. Aspect microscopique

Dans la bande latérale où scorie et métal sont imbriqués, ce dernier forme des îlots aux contours arrondis plus ou moins complexes (fig. 5, n° 7). Il peut contenir

des vacuoles vides, partiellement ou totalement remplies d'oxydes et d'hydroxydes de fer, ou de scorie (fig. 4, n<sup>os</sup> 5 et 6). Une corrosion post-enfouissement s'est développée en bordure et à l'intérieur de certains des îlots de fer. On peut également observer en bordure de plusieurs îlots de fer, et tapissant les parois de plusieurs vacuoles, la présence d'un liseré de magnétite. Celle-ci est aussi présente sur le bord de la section, en masse ou en liseré, plus ou moins mélangée à la scorie (fig. 4, section). La présence de magnétite indique vraisemblablement un phénomène de corrosion à chaud, probablement lors du travail de la masse. Les plages de scorie montrent une cristallisation en lattes, probablement de fayalite. On note l'absence presque totale de wüstite. À plusieurs endroits sur cette bordure, les lattes de fayalite sont brisées (fig. 4, n<sup>o</sup> 1). Elles témoignent de la déformation par martelage à chaud de la masse de métal, à une température où la scorie n'est pas totalement liquide. Aucun grain de quartz ou de matière argilo-sableuse n'est visible. Localement, les plages de scorie cristallisée contiennent des cristaux de feldspathoïdes gris foncés de forme trapue ou en arc de cercle.

Dans la partie vacuolaire, des liserés de magnétite tapissent également les parois de plusieurs vacuoles (fig. 4, n<sup>os</sup> 5 et 6). Le métal contient des vacuoles de taille variable et aux contours arrondis. Certaines sont vides, partiellement ou totalement remplies d'oxydes de fer (corrosion à chaud ou/et corrosion post-enfouissement). Certaines vacuoles contiennent encore des restes de scorie. Plusieurs reliques de vacuoles en cours de résorption sont présentes sous forme de liserés tortueux (fig. 4, n<sup>o</sup> 2).

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bord le plus épais, la scorie disparaît et le nombre d'inclusions et de vacuoles diminue, jusqu'à devenir rare dans la partie où le métal est plus compact. Cette zone, surtout dans la partie la plus centrale, contient de nombreuses cavités plus ou moins refermées, ainsi que des reliques d'anciennes cavités sous forme de liserés noirs (fig. 4, n<sup>os</sup> 5 et 6). Certaines de ces cavités contiennent un peu de scorie et/ou de la magnétite. Leurs parois peuvent être recouvertes d'un liseré de magnétite. Sur un grand côté, la relique d'une ancienne cavité débouchant sur l'extérieur est totalement remplie de magnétite (corrosion à chaud).

### 2.1.7. Structure métallique

La section possède une structure métallique hétérogène surtout constituée de ferrite, de structures ferrito-perlitique et perlito-ferritique, et plus localement de perlite (fig. 5, section et n<sup>os</sup> 10 et 12). Ces structures présentent une certaine répartition plus ou moins en adéquation avec l'aspect morphologique du métal.

Ainsi, sur le flanc où se mêlent scorie et métal (bande d'environ 5 mm d'épaisseur), le métal est ferritique. Dans la partie vacuolaire (bande de 50 à 60 mm d'épaisseur), le métal est constitué d'un mélange de structures ferrito-perlitique et perlito-ferritique avec une prépondérance de la première. Dans la zone plutôt compacte (bande de 60 mm d'épaisseur, qui débute à la limite de la zone vacuolaire et s'étend jusqu'à 10 mm du bord de l'autre extrémité), le

métal possède une structure ferritique. Sur une bande de 10 mm le long du flanc le moins épais, le métal est à nouveau ferrito-perlitique à perlito-ferritique avec localement des parties perlitiques.

Dans les zones qui contiennent de la perlite en quantité variable, on constate autour de certaines cavités et inclusions, et localement en bordure de la section, des phénomènes de décarburation (fig. 5, n<sup>os</sup> 8 et 9). La structure est alors formée de ferrite à gros grains allongés et alignés (ferrite en « pavés »).

## 2.2. LA MASSE DE FER 2

### 2.2.1. Forme générale

L'une des moitiés du bloc apparaît de dimension plutôt régulière (fig. 6; largeur: 120 mm, épaisseur: 70-75 mm), seule l'extrémité présentant une terminaison tronquée et une épaisseur moindre (moins de 50 mm). L'autre moitié du bloc montre un rétrécissement progressif de la largeur (de 120 à 50-55 mm) du centre vers l'extrémité, et une réduction brutale de l'épaisseur au niveau de l'extrémité (de 70 à 30-35 mm). Si les deux grandes faces sont relativement planes, les deux flancs latéraux présentent une morphologie plus ondulée. De nombreuses facettes plus ou moins concaves sont probablement les traces de l'impact d'un outil de frappe (*infra*).

### 2.2.2. Morphologie des surfaces

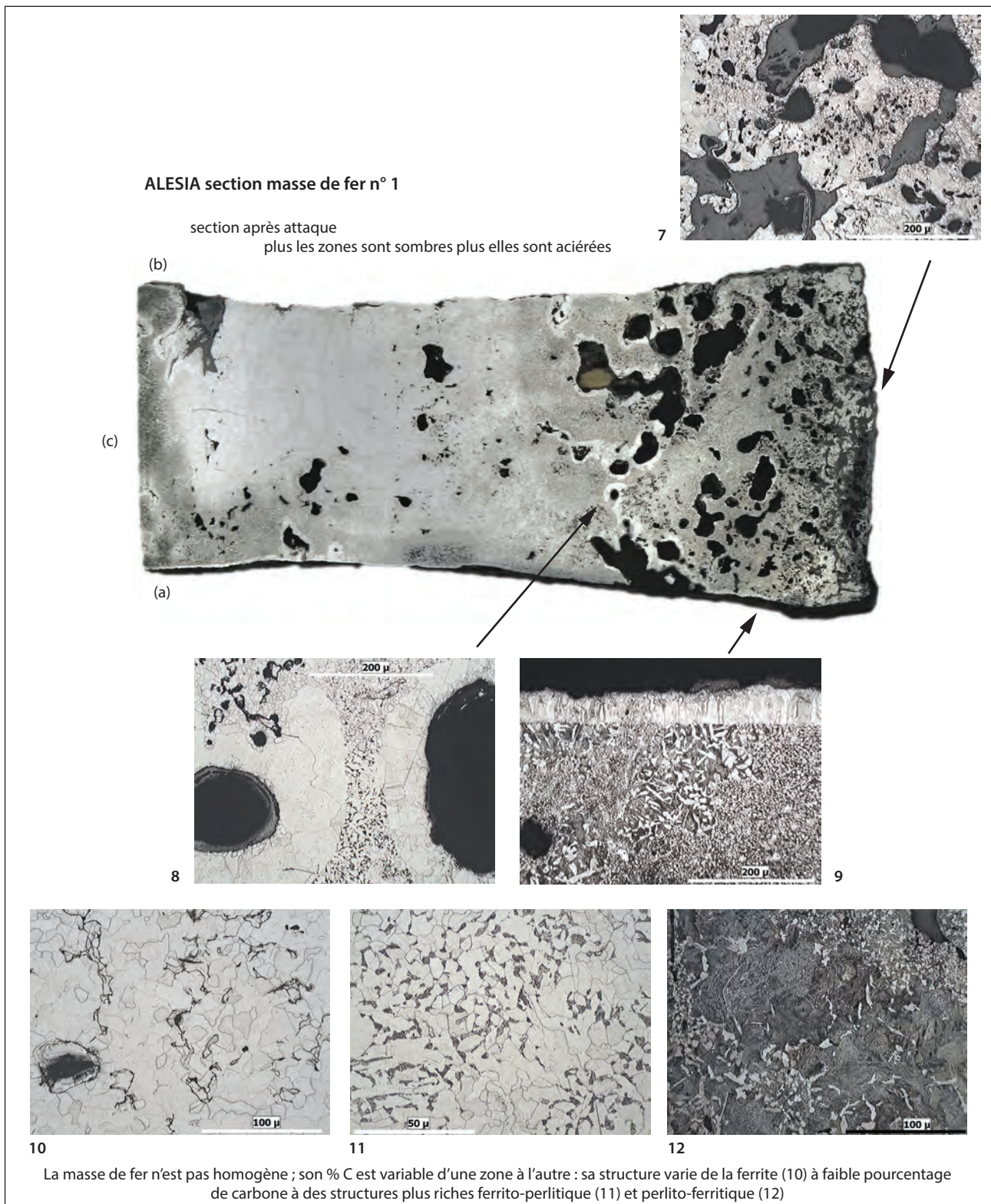
#### 2.2.2.1. Les deux grandes faces

Les deux grandes faces longitudinales ne sont pas planes mais présentent une légère convexité vers les deux extrémités, plus accentuée du côté de l'extrémité la plus large (effet d'aplatissement; fig. 6). Cette convexité est plus marquée pour l'une des faces. En dehors des extrémités, les surfaces sont lisses, pleines et sans discontinuité. La face la moins convexe présente localement deux larges facettes planes (l'une située vers le centre, l'autre vers l'extrémité large), sur lesquelles le bloc peut reposer en appui. Ces deux sortes d'assises pourraient correspondre à des surfaces sur lesquelles a reposé la pièce durant le martelage de l'autre face. Cette dernière ne présente pas ce type de particularité.

#### 2.2.2.2. Les flancs

Les flancs ne sont pas plats, mais irréguliers avec des parties en relief et d'autres en creux (fig. 7). Ils sont formés d'une juxtaposition de surfaces formées de multiples protubérances et de surfaces pleines, lisses et sans discontinuité. Sur l'un des flancs, ces surfaces forment au moins deux plans d'appui sur lesquelles la masse peut reposer. Du côté de l'extrémité la plus large, cette facette occupe d'abord toute la hauteur du flanc sur 80 mm, puis seulement une demi-hauteur le long de l'arête commune avec la grande face la plus convexe. Le reste de la surface du flanc est constitué de lobes centimétriques écrasés et séparés par des creux plutôt profonds.

L'autre flanc présente une surépaisseur le long de l'arête commune avec la grande face la plus convexe, située



**Fig. 5.** Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Masse de fer brut n° 1, section transversale : structure métallique (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

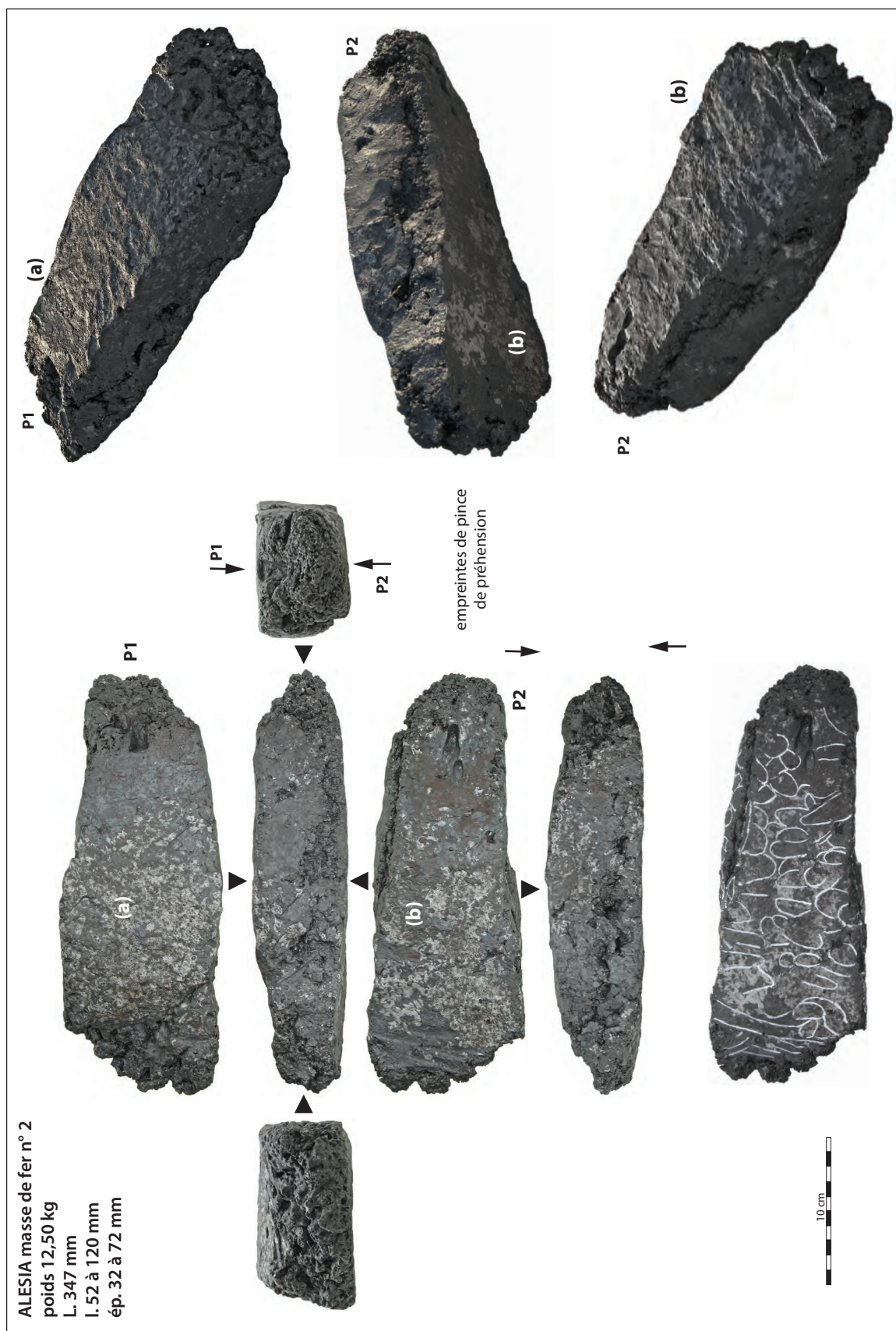


Fig. 6. Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Masse de fer brut n° 2 : morphologie et traces de façonnage (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

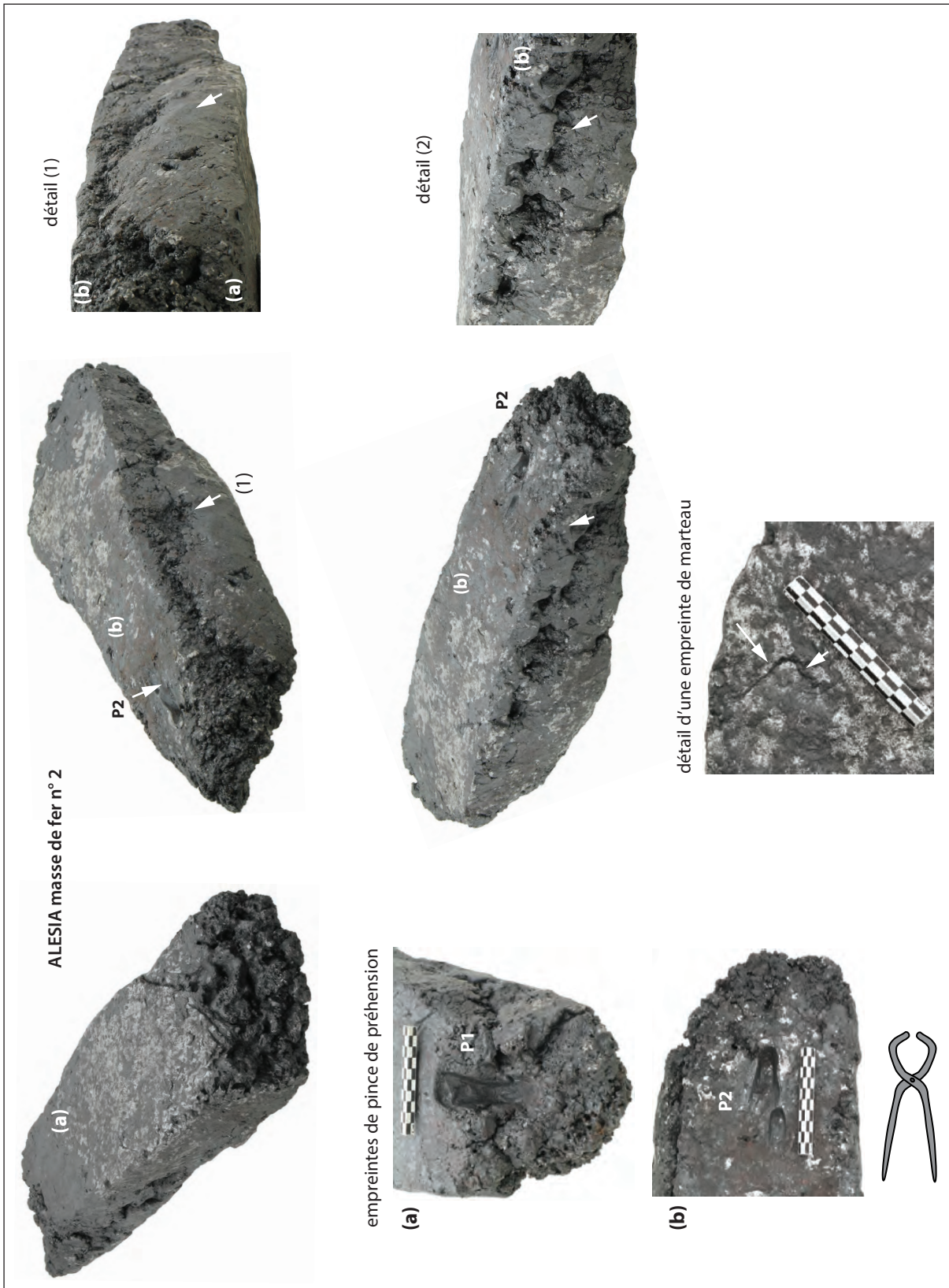


Fig. 7. Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Masse de fer brut n° 2 : empreintes d'outils et traces de façonnage (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

à 45 mm de l'extrémité étroite et à 95 mm de l'extrémité large (fig. 7) ; elle occupe les deux tiers de la hauteur (210 x 60 mm). Cette « languette » est plutôt bombée dans l'axe transversal, sa surface est pleine, lisse et sans discontinuité. Elle donne l'impression que le métal a été rabattu. Autour de cette surépaisseur, le reste de la surface du flanc est constitué, du côté de l'extrémité étroite, d'un ensemble continu de petites protubérances serrées et accolées, au relief plus ou moins accentué, de dimensions variables mais de taille millimétrique et plurimillimétrique, dont les contours présentent des formes irrégulières, mais non anguleuses, souvent arrondies. Du côté de l'extrémité la plus large, la surface du flanc est plutôt constituée de lobes centimétriques écrasés.

Dans les deux cas, les parties les moins lisses se situent préférentiellement du côté de l'arête commune avec la grande face la plus plane et avec l'extrémité étroite.

#### 2.2.2.3. *Les extrémités*

Si les deux extrémités présentent un faciès identique, elles ont des dimensions différentes (fig. 6 et 7). L'une est aussi large (120 mm) que le corps du bloc et se réduit en épaisseur pour former grossièrement un biseau (épaisseur minimale de 32 à 35 mm). L'autre est plus étroite (52 à 60 mm) et donne une impression de massivité. Elle diminue en épaisseur sans pour autant former de biseau (épaisseur de 40 mm à 47 mm).

L'extrémité large est formée de lobes centimétriques séparés par des creux assez profonds. Ces lobes s'agencent grossièrement en trois rangées horizontales décalées en marches d'escalier. Sur la rangée la plus en retrait, on note la présence d'un creux de forme circulaire d'environ 15 mm de diamètre, probablement l'empreinte d'un outil de section cylindrique venant pénétrer la masse ; dans la mesure où cette empreinte se situe dans un faciès non compacté, il pourrait être la relique d'un outil employé avant les travaux de mise en forme.

L'extrémité étroite est formée majoritairement d'un ensemble continu de petites protubérances serrées et accolées, au relief plus ou moins accentué, situé principalement en bout et sur un côté de l'extrémité. Ces protubérances ont l'aspect de petits rognons, de dimensions variables, mais de taille millimétrique et plurimillimétrique, dont les contours présentent aussi des formes irrégulières, mais non anguleuses, souvent arrondies. Sur l'autre côté de l'extrémité, la surface est formée de lobes au relief très estompé et localement aplatis. De ce côté, la matière donne l'impression d'avoir été rabattue, resserrée.

#### 2.2.3. *Traces d'impact d'un outil de frappe*

De nombreuses facettes centimétriques sont visibles sur les deux grandes faces du bloc, ainsi que sur les flancs (fig. 6 et 7). Elles apparaissent sous la forme de zones aplaties ou faiblement concaves, sans arête vive, de forme ovale, de 11 à 17 mm de largeur et jusqu'à 35 mm de longueur. Sur les deux grandes faces, ces empreintes semblent ordonnées : leur disposition fait penser à celles d'écailles de poisson (fig. 6). La majorité des traces ovales est orientée de sorte

que leur grand axe soit parallèle à l'axe transversal de la face. Même si certaines semblent isolées, beaucoup de ces empreintes sont groupées en ensembles accolés, jointifs, formant soient des paquets, soient des alignements verticaux (superposition) ou horizontaux (chaîne). Localement, on observe sur les bords de la face la plus convexe, du côté de l'extrémité étroite, deux ensembles symétriques formés d'une superposition d'empreintes ovales dont l'axe principal est oblique. Sur 60 mm à partir de l'extrémité large, on distingue deux lignes transversales parallèles un peu courbes, distantes de 10 à 15 mm, qui courent sur toute la largeur du bloc, puis une série de stries courtes (10 à 25 mm), quatre transversales et trois obliques.

Toutes ces empreintes sont les marques laissées par un ou des outils de frappe. Leur disposition donne l'impression d'un ensemble lié, cohérent et ordonné. Elles livrent une image de la progression habile du martelage sur la masse de métal, pour la compacter sur elle-même.

#### 2.2.4. *Empreintes d'un outil de préhension*

Des empreintes en creux sont nettement visibles au niveau de l'extrémité la plus étroite, au bout de chacune des grandes faces (fig. 7). D'un côté, la marque est profonde de 32 mm, sur l'autre il y en a deux accolées, peu profondes, de 4 mm et 8 mm. Ce sont les marques laissées par les mors supérieur et inférieur de la pince de forge qui sert à maintenir la masse. Celle-ci pince une épaisseur d'environ 40 mm de matière. Les empreintes, surtout la plus profonde, nous indiquent que ces bords sont courbes, de 15 mm de largeur, et s'amincissent légèrement vers leur extrémité pour ne plus atteindre que 5 à 7 mm de largeur.

### 2.3. CONCLUSION : DES BLOCS DE FER BRUT GROSSIÈREMENT MIS EN FORME

La juxtaposition sur les blocs de fer de surfaces pleines, lisses et sans discontinuité, et de surfaces avec un faciès fait de protubérances peu proéminentes, comme aplaties, évoque l'écrasement par martelage d'un bloc initialement couvert d'excroissances plus prononcées, caractéristique morphologique que l'on retrouve sur des masses de fer brut extraites des fourneaux de réduction (observations ethnographiques et reconstitutions expérimentales). Les « languettes » rabattues visibles sur chacun des deux blocs semblent confirmer cette interprétation. Les faciès plus lisses résulteraient ainsi d'un compactage plus poussé, mais qui n'aurait pas résorbé toutes les cavités. On peut penser que les conditions de travail ne permettent pas de souder des parties superficielles du bloc venant en contact (comme ces « languettes » par exemple) ; soit parce que les températures de chauffage sont peut-être insuffisantes ; soit parce qu'il n'a pas été utilisé d'adjuvant nécessaire pour décaper et protéger les surfaces et les préparer à la soudure.

De plus, la présence en surface et dans la masse de nombreuses cavités et vacuoles non déformées (bloc 1), ainsi qu'une zone périphérique où métal et scorie sont encore imbriqués, sont aussi les témoins du bloc brut initial. Il est, du reste, probable qu'en ce qui concerne le bloc 1, nous

pouvons identifier l'orientation originelle du bloc de fer en considérant la partie la plus riche en vacuoles et inclusions de scories, qui constitue l'un des flancs longitudinaux, comme la surface d'appui située à la base du bloc originel avant sa déformation. On peut donc considérer que les deux flancs du bloc de fer correspondent aux parties basse et sommitale de la masse brute initiale.

Bien que les deux masses aient été mises en forme par martelage, leur forme n'est pas parfaitement géométrique, les extrémités restent brutes, les surfaces restent irrégulières et les impacts d'outil, qui sont partout encore visibles, ne sont pas repris de manière à ce que les surfaces soient parfaitement lisses et planes. Tous ces éléments vont dans le sens d'une mise en forme grossière: le forgeron n'a pas jugé nécessaire d'aller plus loin dans le travail de finition parce qu'il n'était pas utile, pour la fonction finale recherchée, d'intervenir de manière plus importante.

Les traces de mise en forme sont de deux types: d'une part, les nombreuses petites facettes visibles sur les surfaces les plus régulières, révélant l'utilisation d'un outil de frappe de type marteau (plutôt de petite taille avec surface de frappe bombée rectangulaire et probablement une panne); d'autre part, les différents plans d'appui, observés sur les grandes faces et sur l'un des flancs, et qui constituent des surfaces d'appui sur lesquelles reposait le bloc lors des frappes pour la mise en forme de la face opposée. Tout le travail de forgeage semble avoir été mené en maintenant les blocs toujours par une même extrémité. De fait, celle-ci porte les marques du bec de la pince de forge. Cette extrémité est restée brute et n'a pas été martelée.

Si l'on retient cette interprétation de bloc de fer brut mis en forme de manière grossière, nous pouvons considérer que le produit métallique issu de la réduction possédait un cœur relativement compact, avec peu d'inclusions de scories, constitué d'un métal hétérogène associant des zones de fer doux à des zones plus ou moins aciérées (entre 0,1 et 0,4 % de C, très localement jusqu'à 0,8 %). De plus, si l'on considère que le bloc correspond à une masse brute de réduction complète, celle-ci aurait un poids de 11 à 12 kg.

### 3. LES BANDAGES DE ROUE EN FER

Les deux objets sont des cercles de fer, aujourd'hui déformés, mais à l'origine circulaires (fig. 8). Leur diamètre actuel oscille entre 1 m et 1,08 m pour l'un, et entre 1,01 et 1,30 m pour l'autre; on peut proposer un diamètre moyen d'origine, respectif de 1,06 m et 1,17 m. Ils sont réalisés à partir de barres de fer dont la section est légèrement trapézoïdale, avec une base faiblement concave et un sommet légèrement bombé. La largeur de la base est respectivement de 29,7 et 38,8 mm, et l'épaisseur de 17,7 et 18,1 mm. Ils sont identifiés comme des bandages de roue: cercle de fer dont la bande interne s'ajuste sur la jante circulaire en bois de la roue, et la bande externe sert de surface de roulement. Leur poids est de 11,5 et 17,5 kg.

Dans l'ensemble, l'état de conservation du métal est très bon, la corrosion est faible. Plusieurs endroits ont conservé leur surface d'origine. Visuellement, les deux objets ne semblent pas présenter des zones d'écrasement ou d'usure

dues à une utilisation: ils paraissent ne pas avoir servi. Sur les zones ayant conservé la surface d'origine, on constate la présence d'une couche de magnétite grise (fig. 9). Cette pellicule de magnétite, qui se forme à chaud, indique que le métal est, soit brut de forge, ce qui viendrait appuyer l'hypothèse d'un bandage neuf, soit qu'il a subi un incendie.

#### 3.1. DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

Plusieurs stries, rectilignes ou arquées, sont visibles sur le cercle dans la largeur du bandage: six sur la bande externe et neuf (dont une incertaine) sur la bande interne pour le bandage 1; quatre (plus une incertaine) sur la bande externe et quatre (plus deux incertaines) sur la bande interne pour le bandage 2. Elles sont soit rectilignes, soit arquées, certaines se prolongeant aussi sur le côté du bandage sous la forme d'un liseré oblique. Visuellement, chaque strie de la bande interne s'associe de manière décalée à son pendant sur la bande externe, sauf dans deux cas où le raccord « associé » est invisible sur l'autre face.

Ces traces soulignent les contours de raccords par soudure à chaud à la forge, de segments de barres de fer (neuf pour le bandage 1 et cinq à sept pour le bandage 2), mis bout à bout, pour constituer le bandage (fig. 8 à 10). Pour réaliser ces raccords, les extrémités des segments de barre sont mises en biseau, superposées, puis soudées (soudures dites en biseau), ce qui donne ce décalage caractéristique entre le raccord externe et interne du bandage. On distingue deux variantes de soudure d'assemblage: des soudures en biseau simple et des soudures en biseau comportant sur la face intérieure du bandage, un petit empiècement de métal (donc une sorte de « rustine ») rapporté et soudé (fig. 9 et 10). Sur le bandage 1, la partie cassée au cours de l'enfouissement se confond avec l'une de ces jonctions avec « rustine » (fig. 9).

Au total, le bandage 1 comporte neuf soudures (S1 à S9, dont S8 incertaine: fig. 8 et 9), dont trois avec « rustine » (située sur S1, S5 et S7), ce qui implique que le cerclage est réalisé à partir d'au moins neuf segments de barre de fer, qui sont tous de longueurs différentes (A1 à A9 avec A8 incertaine: de 9 à 63 cm). Le bandage 2 comporte cinq ou sept soudures (S1 à S7, dont S4 et S7 incertaines: fig. 8 et 10), dont une ou deux avec « rustine » (située sur S3 et peut-être aussi sur S6), ce qui implique que le cerclage est réalisé à partir de cinq ou sept segments de barre de fer, elles aussi toutes de longueurs différentes (A1 à A7, avec A4 et A7 incertaines: de 7 à 134,35 cm).

L'aspect des raccords est assez variable. Certains raccords sont très jointifs, voire parfois invisibles, d'autres sont beaucoup plus marqués avec parfois un décalage ou un espace entre les deux segments de barres ajustés: les soudures ne semblent pas toutes de la même facture, certaines semblent mieux réalisées que d'autres.

L'interprétation de la présence d'un empiècement de métal sur certains raccords reste incertaine au vu des indices visuels présents: réparation d'un défaut ou d'une rupture de bandage survenue lors de sa mise en forme, renfort de soudure, apport de matière supplémentaire visant à gagner du volume (par exemple, combler un amincissement de la

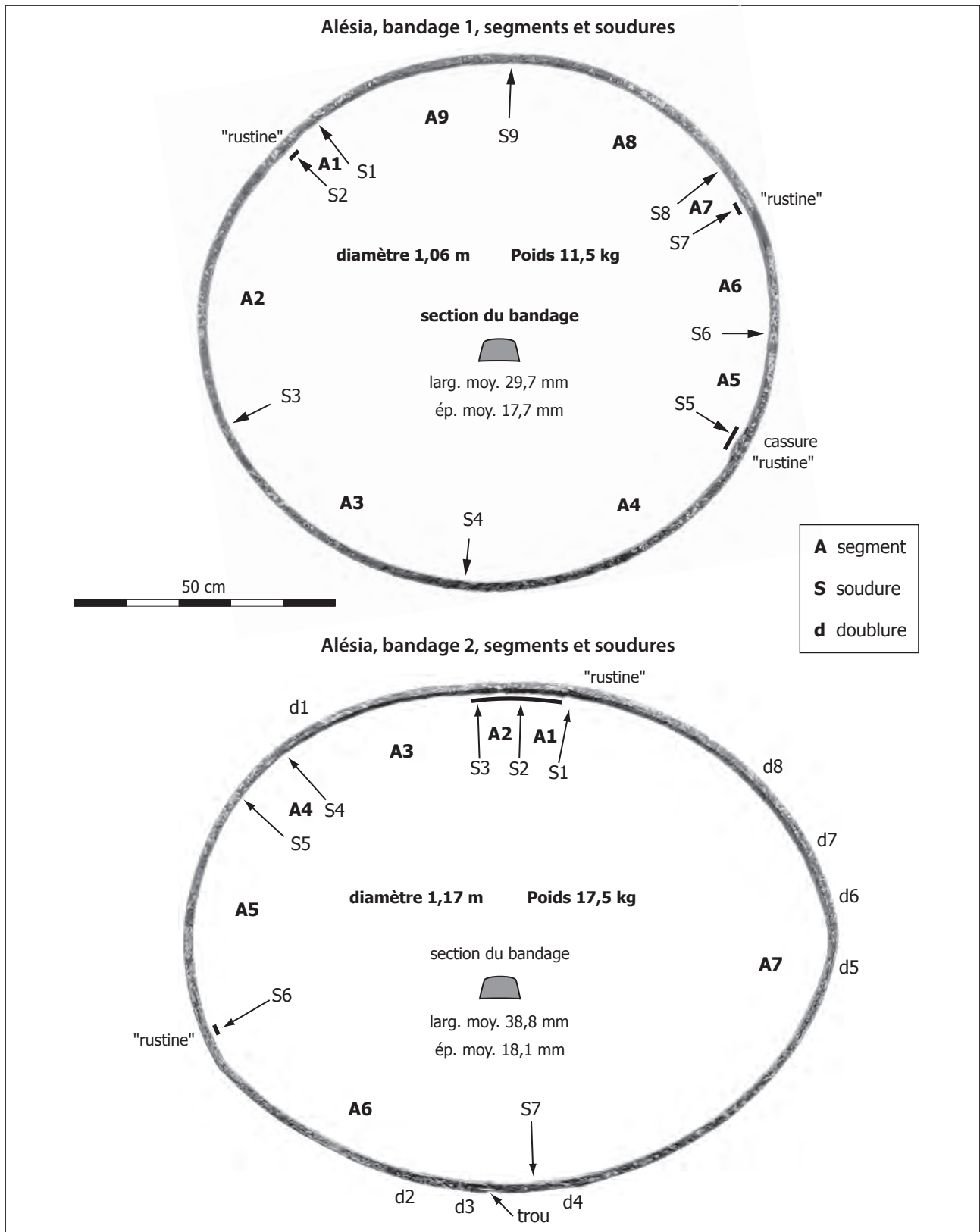


Fig. 8. Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Bandages de roue en fer, vues d'ensemble (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).



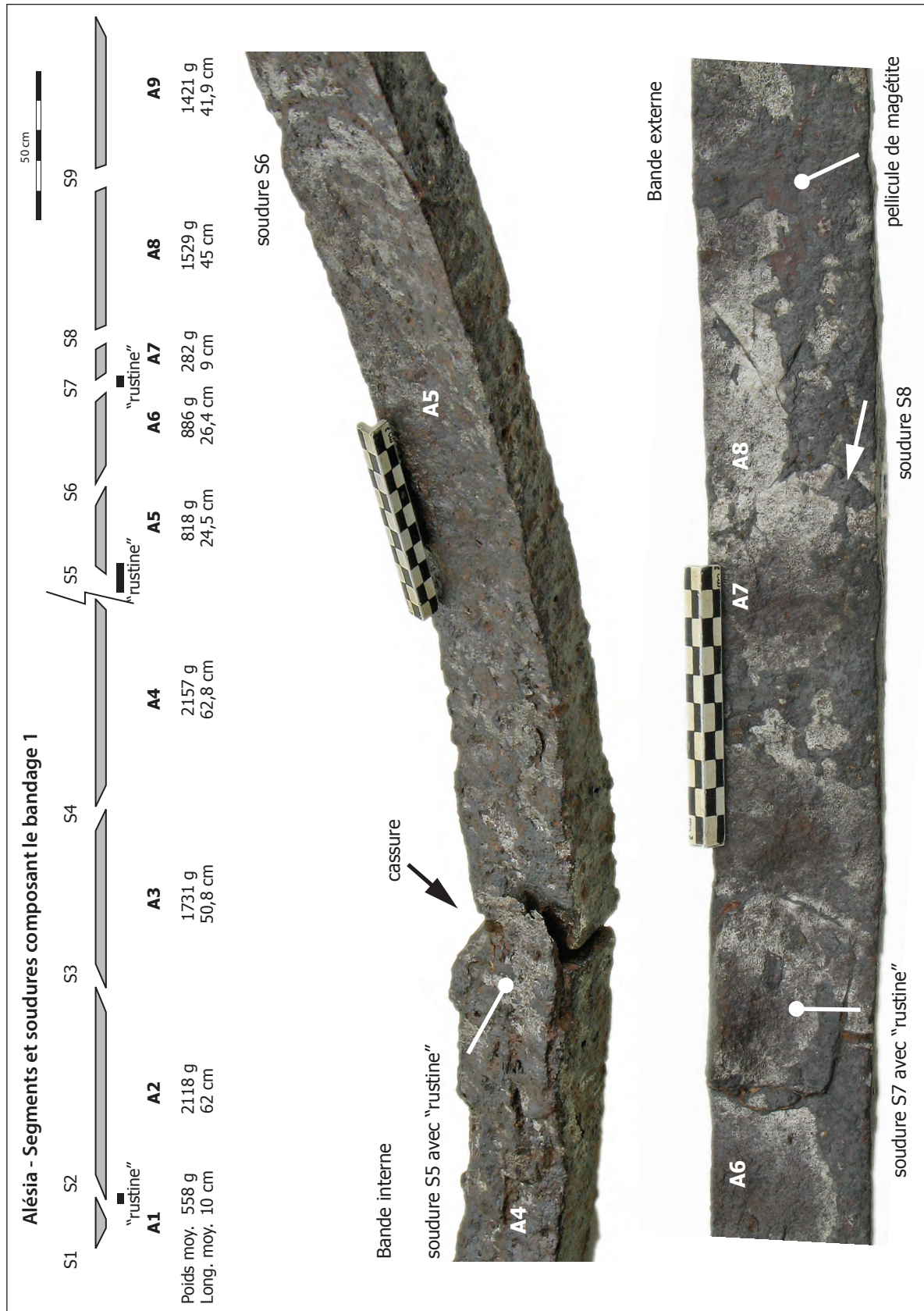


Fig. 9. Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Bandage de roue en fer n° 1 : segments et soudures (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

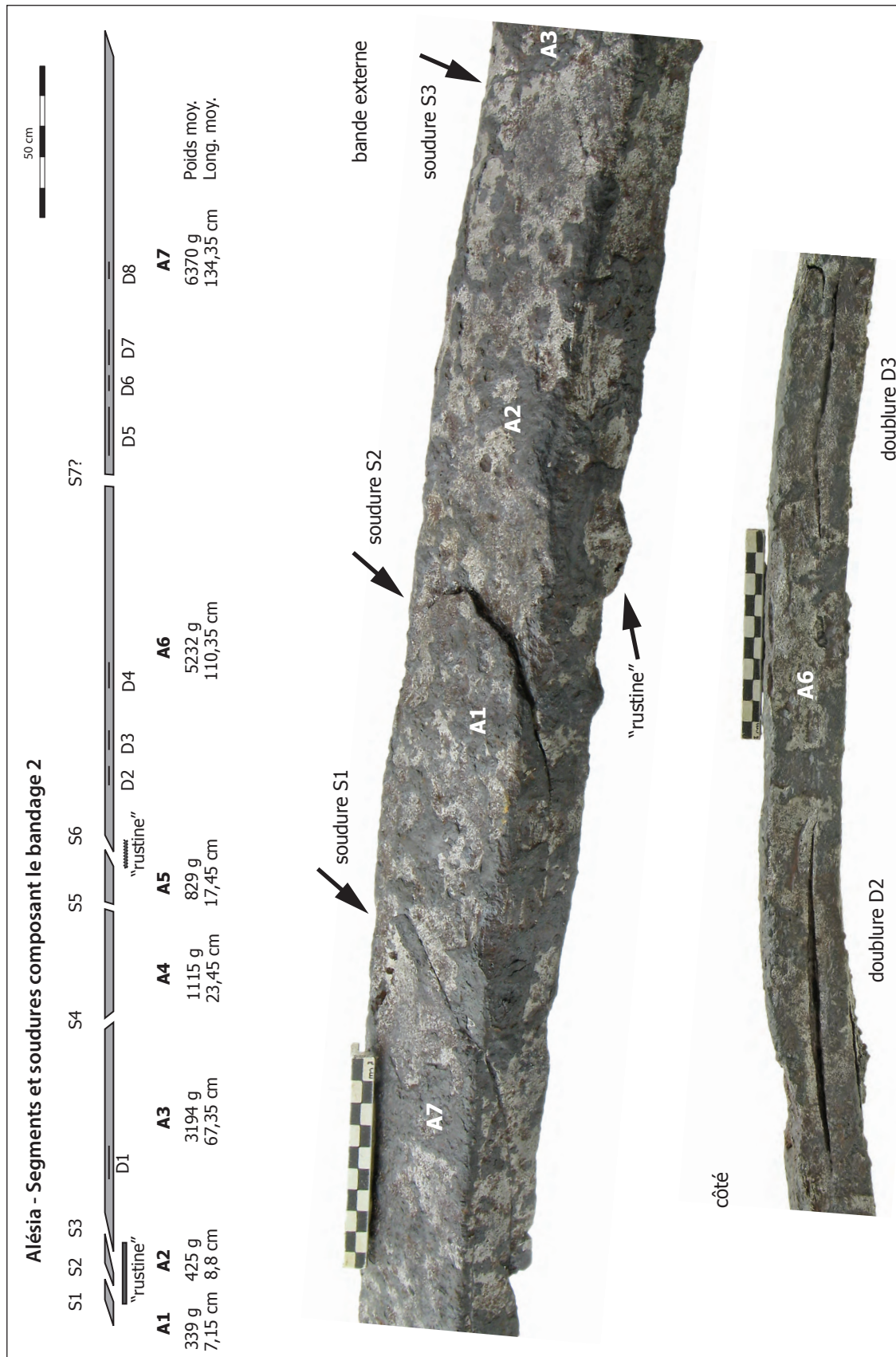


Fig. 10. Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Bandage de roue en fer n° 2 : segments et soudures (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

section du bandage?) ou autres. On peut remarquer que la rupture sur le bandage 1 se situe au niveau d'une soudure avec « rustine » rapportée, mais ne se place pas exactement à l'aplomb d'un raccord : ce n'est donc pas la soudure qui a lâché, mais c'est bien le bandage qui a rompu (peut-être fragilisé par la soudure). On constate également qu'une partie de la « rustine » n'était que collée et non pas soudée. Ce constat pourrait aller dans le sens d'une réparation : 1°) le bandage se casse durant la mise en forme ; 2°) la réparation est réalisée à l'aide d'une « rustine » ; 3°) la réparation mal réalisée, donc fragile, se rompt durant l'enfouissement.

La dernière soudure qui ferme le bandage n'est pas discernable par rapport aux autres. Pour la situer, on peut penser que la longueur du cerclage devant être ajustée avec précision en fin d'opération, on rapporte aux extrémités des segments courts de manière qu'une fois la dernière soudure réalisée, on puisse obtenir le diamètre de bandage voulu.

Sur l'un des côtés du bandage 2, on remarque une strie plus ou moins continue, située grossièrement à égale distance des bandes externe et interne (fig. 10, doublures D2 et D3). Localement, à sept endroits, la strie se transforme en un interstice plus ou moins béant et long de plusieurs centimètres qui traverse le bandage et débouche sur l'autre côté. Ces traces soulignent des assemblages réalisés par superposition à plat et soudure à chaud à la forge de deux fers plats : ainsi, chacun des segments qui forment le bandage est réalisé à partir de deux barres, chacune de section rectangulaire, superposées et assemblées par soudure. Cette superposition forme l'épaisseur du bandage. Localement, durant l'enfouissement, certaines soudures se sont oxydées, laissant place à un entrebâillement. Une des lacunes due à la corrosion durant l'enfouissement, de 8 cm de longueur et se rapportant uniquement au segment de barre formant la partie externe du bandage, laisse visible la barre du dessous et accrédite les observations faites sur les flancs.

## 3.2. DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

### 3.2.1. *Le bandage 1*

Trois prélèvements ont été réalisés dans le bandage 1 (fig. 8) : 1°) au niveau de la soudure S1 (P1b1), 2°) au niveau de la soudure S4 (P2b1), 3°) sur le segment A8 entre S8 et S9 (P3b1).

Sur les sections observées, les raccords entre les segments de barres apparaissent comme une ligne continue transversale et horizontale pour P1b1, arquée pour P2b1 (fig. 11, en haut à droite). À l'échelle microscopique, ces raccords sont surlignés localement par des zones carburées et des alignements de petites inclusions. Il s'agit donc bien d'assemblages à chaud, c'est-à-dire de soudures. Des marbrures, le long de la soudure, accompagnent les structures métalliques présentes.

Celles-ci sont ferritiques et contiennent peu d'inclusions de scorie (fig. 11, en haut). Ponctuellement, le bord haut de P1b1 et P2b1 présente une petite zone carburée à structure perlito-ferritique, parfois perlitique. Cette carburation limitée est survenue probablement lors de la chauffe du métal. La structure ferritique montre des grains

de ferrite de taille variable (gros à petits) avec localement des marbrures comme pour la zone de soudure. Ces marbrures peuvent être consécutives à un phénomène de recristallisation (certains gros grains de ferrite possèdent une sous-structure à petits grains). À l'intérieur des sections observées, aucun autre indice de soudure n'est visible : le métal ne présente pas de structure feuilletée. Les segments de bandage semblent donc *a priori* formés d'une seule masse de fer mise en forme sans replis successifs.

### 3.2.2. *Le bandage 2*

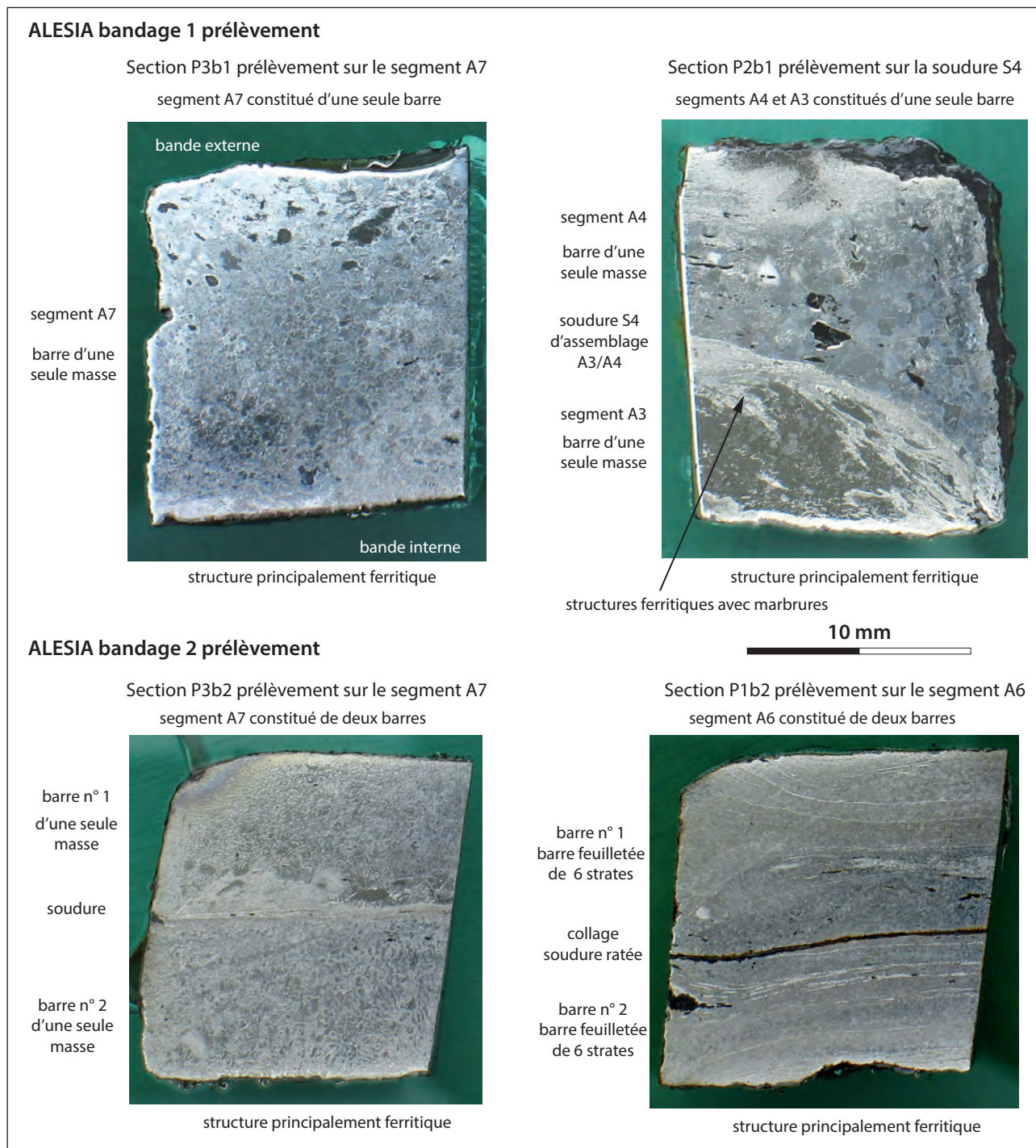
Trois prélèvements ont été également réalisés dans le bandage 2 (fig. 8) : 1°) sur le segment A6 (P1b2), 2°) au niveau de la soudure S6 (P2b2), 3°) sur le segment A7 entre S7 et S1 (P3b2). Ces trois sections confirment que l'épaisseur du bandage est obtenue par la superposition et l'assemblage par soudure de deux fers plats ou de deux cercles.

Sur la section P1b2, cet assemblage apparaît nettement sous forme d'un liseré, quasiment continu transversal et horizontal, d'oxydes de magnétite (corrosion à chaud), qui sépare les deux morceaux de fer (fig. 11, en bas à droite). La soudure est visiblement ratée et on parlera ici plutôt d'un collage. Sur la section P3b2, la soudure est soulignée par des alignements d'inclusions (fig. 11, en bas à gauche), tandis que pour la section P2b2, cet assemblage ne se distingue pas du reste des soudures présentes.

Les raccords de segments formant le cercle du bandage apparaissent également comme des soudures. Sur la section P2b2 réalisée sur une jonction, la soudure se confond avec celles de la structure feuilletée du métal. Malgré tout, l'une se distingue des autres par la présence de plusieurs inclusions de scories alignées, ainsi que de micro-vacuoles (ou micro-retassures) : cette soudure pourrait donc correspondre à la soudure d'assemblage.

*A priori*, tous les segments sont constitués de deux fers plats superposés. Sur P1b2 et P2b2, ceux-ci présentent un feuilletage en bande horizontale associant des structures ferritiques (gros grains à grains fins) à des structures ferrito-perlitiques (fig. 11, en bas à droite). Sur P3b2, les deux fers plats ne présentent pas de feuilletage apparent (fig. 11, en bas à gauche). Ils semblent formés d'un seul bloc, dont la structure est ferritique (gros et petits grains). Localement, il n'est pas rare d'observer des marbrures dans les structures. Les soudures entre ces strates feuilletées ne sont généralement pas soulignées par des inclusions. Elles apparaissent sous la forme d'une ligne claire, parfois accompagnée de marbrures. Ces soudures issues d'un travail par pliage du métal sont moins marquées par les alignements d'inclusions que les soudures d'assemblage entre deux barres où le travail de mise en forme a été moindre.

La quantité d'inclusions reste variable d'un échantillon observé à l'autre. Dans les structures feuilletées, la majorité de ces inclusions est plus ou moins allongée horizontalement et parallèlement. Elles peuvent aussi être informes, plus ou moins circulaires. Les inclusions sont rarement isolées, mais forment plutôt des ensembles qui constituent des bandes parallèles plus ou moins larges, successives et transversales, qui traversent la section d'un côté à l'autre. Dans



**Fig. 11.** Alésia, fouilles Espérandieu 1913, sous-sol 22. Bandages de roue en fer : sections métallographiques (clichés P. Merluzzo, LMC-IRAMAT-UMR 5060).

la section P3b2 (structure non feuilletée), les inclusions sont moins nombreuses et ne forment pas de bande. Les inclusions sont pour la majorité composées d'une matrice silicatée contenant des dendrites de wüstite. Une petite partie contient des cristaux silicatés anguleux gris clair. D'autres, qui semblent vitreuses au premier aspect, sont constituées d'une matrice gris foncé contenant un semis de petits points plus sombres.

### 3.3. UNE MISE EN FORME IDENTIQUE

Les deux bandages de roue en fer ont été réalisés à partir de plusieurs segments de barre (sept à neuf pour l'un, cinq à sept pour l'autre), de section légèrement trapézoïdale, assemblés bout à bout par des soudures en biseau, associés à trois endroits pour le bandage 1 et à deux endroits pour le bandage 2, à une « rustine » de métal sur la bande intérieure. La longueur des segments est très variable. La bande de

roulement est légèrement bombée et la bande intérieure, destinée à être plaquée contre la jante en bois, est très légèrement concave. La bande intérieure étant un peu plus large que la bande de roulement, les bords sont légèrement inclinés. L'épaisseur des bandages est de 17,7 et 18,1 mm. Celle-ci est obtenue, dans le cas du bandage 2, par la superposition de deux fers plats assemblés par soudure. Ces fers ont une structure ferritique ou ferrito-perlitique, parfois feuilletée. Les fortes différences observées dans la longueur des segments peuvent résulter d'un ajustement pour obtenir la longueur de cerclage voulue. L'état de surface indique que ces deux bandages n'ont pas été utilisés.

#### 4. CONCLUSION : TRAVAIL DU FER ET CHARRONNERIE

S'il est difficile d'interpréter le contexte de la découverte (remise d'un artisan forgeron, stock d'un commerçant, autre?), en revanche ces deux types d'objets illustrent parfaitement deux des activités de production mises en évidence dans la ville gallo-romaine d'Alésia : le travail du fer et la charronnerie. Il convient de rapprocher cette dernière de la fabrication d'éléments décoratifs de véhicules et d'éléments de harnachement en alliage cuivreux au besoin argenté et niellé, fabrication dont le témoignage laissé par Pliny l'Ancien (*Histoire Naturelle*, XXXIV, 48 (17), 162-163) révèle la spécificité et la réputation et pour laquelle l'archéologie a livré d'innombrables témoignages d'une production en série qui ont été étudiés par M. Mangin et É. Rabeisen (MANGIN, 1981 ; RABEISEN, 1990 ; RABEISEN, 1993 ; RABEISEN, 2005).

##### 4.1. LE TRAVAIL DU FER

Le travail du fer, attesté dès les débuts de l'occupation de l'*oppidum* dans la seconde moitié du I<sup>er</sup> s. av. J.-C., est omniprésent à l'intérieur de la ville gallo-romaine, particulièrement dans le quartier développé à l'est et au sud-est du *forum*, où une trentaine d'ateliers s'y succèdent tout au long de la période, du I<sup>er</sup> au III<sup>e</sup> s., associés spatialement avec des ateliers de travail des alliages à base cuivre (voir en dernier lieu : MANGIN, FLUZIN, 2007). Ces ateliers sont identifiés par des vestiges de structure de production (notamment des foyers), ainsi que par des dépotoirs de déchets de production (en particulier des types de scories caractéristiques). De plus, la présence de demi-produits, à partir desquels travaillent les forgerons, est attestée à plusieurs reprises : outre les deux masses de fer trouvées dans le sous-sol n° 22 des fouilles Espérandieu, une autre masse allongée et aplatie, de 44 cm de longueur et de 15 cm de largeur, aurait été trouvée lors de fouille au XIX<sup>e</sup> s., sans qu'on en connaisse l'origine précise. On dénombre également dix barres plates et effilées, longues de 250 mm pour une section de 25 sur 20 mm et un poids de 250 à 300 g, constituées d'un métal bien épuré (MANGIN *et alii*, 2000 ; PLEINER *et alii*, 2004). Ces demi-produits révèlent des stades d'épuration et de compactage différents et par conséquent une position différente dans la chaîne de production. On peut imaginer que les barres plates bien épurées sont mises en forme à

partir de demi-produits semi-bruts similaires aux masses de fer grossièrement parallélépipédiques qui sont présentées dans cette étude. Ainsi, ces barres plates représenteraient un demi-produit final servant de matière aux forgerons pour le forgeage de produits finis : par exemple, les segments de barres avec lesquels sont réalisés les cerclages de bandages de roue étudiés ici. En considérant les pertes en fer inhérentes au travail de compactage du fer brut (qui peuvent être évaluées entre 30 et 50 %), chacune des masses de fer étudiées (12 kg) aurait pu produire une vingtaine de barres plates épurées ( $12 / 2 = 6$  kg, soit  $20 \times 300$  g). Pour réaliser l'ensemble des segments constituant chacun des bandages de roue, il a fallu partir d'au moins deux masses de fer brut identiques à celles présentées ici pour le bandage 1 ( $12 \times 2 = 24$  kg de fer brut /  $2 = 12$  kg de fer épuré) et de trois masses de fer brut pour le bandage 2 ( $12 \times 3 = 36$  kg de fer brut /  $2 = 18$  kg de fer épuré), sans prendre en compte ici les pertes en fer dues au façonnage et aux soudures.

Ces masses de fer brut n'ont probablement pas été produites dans l'agglomération, même si des traces d'une activité de réduction du minerai de fer, de faible ampleur, ont été révélées par les fouilles dans les îlots F et H. Il y a tout lieu de croire qu'il s'agit de demi-produits importés à partir de zones de production primaire plus ou moins éloignées. À titre d'hypothèse, il pourrait s'agir de celle du Morvan-Auxois, étudiée par M. Mangin, située à quelques dizaines de kilomètres à l'ouest, dans laquelle des ateliers de réduction d'époque romaine sont attestés (MANGIN *et alii*, 1992). C'est la zone de production primaire la plus proche. Toutefois, certains éléments mis en évidence par les études archéométriques, qui sont présentées dans MANGIN *et alii*, 2000 (notamment page 272), ne plaident pas dans ce sens. Le métal pourrait donc provenir d'autres secteurs géographiques plus éloignés, situés à l'ouest, et qui semblent également actifs au cours de la période romaine : région de Vézelay, Puisaye, Sénonais. Il est possible aussi que ce métal provienne du Châtillonnais, région proche du Haut-Auxois, où la sidérurgie est bien attestée à partir de l'époque médiévale, mais qui n'a pour l'instant pas fourni de preuve matérielle significative d'une production primaire du fer à l'époque romaine. Pour pouvoir identifier la zone de production d'origine, il faudrait d'une part que la signature chimique de ces zones de production primaire soit bien caractérisée, et que d'autre part des prélèvements puissent être faits dans l'une des deux masses, afin d'analyser la composition chimique des inclusions que renferme le métal. La comparaison des résultats, en utilisant un traitement statistique approprié, permettrait ainsi d'attribuer un taux de probabilité de correspondance des signatures chimiques (DILLMANN, L'HÉRITIER 2007 ; LEROY *et alii*, 2012).

##### 4.2. L'ACTIVITÉ DE CHARRONNERIE

Les deux bandages de roue bruts de fabrication renvoient de manière explicite à une activité de charronnerie. Si de nombreuses forges ont été identifiées sur le site de la ville antique, aucune ne peut être associée à cette activité. Cette



Fig. 12. Fosse à surcreusement annulaire (structure n° 218) découverte sous la cavea du théâtre d'Alésia en 2006. Cliché Archeodunum.

absence peut s'expliquer par l'ancienneté de nombreuses fouilles et par le fait que, fréquemment, les espaces de travail n'ont livré aucun vestige de leur production.

En revanche il est peut-être possible de rapprocher les bandages d'un type de structure annulaire atypique, beaucoup plus ancien puisqu'il est daté de l'époque tibéro-claudienne, qui a été rencontré dans les niveaux antérieurs à la construction du théâtre (fig. 12). La première de ces structures a été découverte en 1984 sous l'*aditus* nord (OLIVIER, RABEISEN, 1985, p. 13, fig. 1). Les trois autres ont été fouillées en 2005 et 2006 sous la limite occidentale de la moitié sud de la *cavea* et de l'*orchestra* (ROSSI *et alii*, 2007, structures n°s 177, 218 et 191, t. I, p. 61, 87-88 et 93-94; t. II, fig. 71, 127-128 et 140).

Ces quatre structures dessinent un cercle parfait dont le diamètre varie d'1,10 m à près de 2 m. Elles présentent un creusement de plan annulaire à section en cuvette. L'espace central est occupé par un ombilic de 50 à 70 cm de diamètre constitué par un plot de terrain encaissant réservé lors du creusement de la fosse. Ce creusement est conservé sur une profondeur qui varie de 8 à 18 cm. Pour chaque fosse les parois présentent des traces de rubéfaction et le remplissage est riche en charbon et en cendre. Les quatre structures sont alignées selon un axe nord-sud s'étirant sur plus de 55 m de longueur. Aucune n'a pu être rattachée aux vestiges d'un atelier. Si elles appartiennent toutes à la même phase chronologique, qui s'étend de l'époque de Tibère à celle de Claude, il est impossible d'établir leur chronologie relative et la durée de leur utilisation.

En 2013, la fouille du sanctuaire d'Apollon Moritasgus, à la pointe orientale de l'oppidum, a livré une cinquième

structure annulaire de même modèle, de 2,20 m de diamètre et 50 cm de profondeur, creusée dans le substrat argileux. Aucune trace de charbon ni de rubéfaction ne paraît avoir été observée. La structure apparaît à la base des stratigraphies mais sa datation reste à préciser à défaut de mobilier associé (CAZANOVE *dir.*, 2013, structure n° 2524, p. 36-27).

À titre de parallèles, nous ne pouvons citer que deux structures similaires qui ont été mises au jour à Rouvres-en-Plaine (Côte-d'Or) dans un contexte de forge situé en bordure de voie et daté du 1<sup>er</sup> siècle de notre ère. Le site a livré des vestiges qui se rapportent à toutes les phases de travail du fer depuis le traitement et la réduction du minerai jusqu'à la forge, ainsi qu'une grande quantité d'objets et de déchets liés à la métallurgie du fer. Mais aucun ne semble se rapporter à l'usage des foyers de forme annulaire (BILLOIN, DUNIKOWSKI, 2009, p. 34, fig. 13).

À Alésia, le mobilier - très pauvre et uniquement céramique - associé aux fosses annulaires découvertes sous le théâtre n'apporte pas non plus de solution quant à leur interprétation. Toutefois leur forme si singulière et leurs dimensions invitent à les rattacher à une activité liée à la fabrication de roues de véhicules : ces foyers annulaires auraient servi à réchauffer des bandages, soit dans le cadre de leur fabrication, soit en vue de procéder à l'emattage des roues, voire au cintrage des bois de la jante. Une hypothèse assez proche a été formulée par D. Billoin et Chr. Dunikowski au sujet des foyers annulaires de Rouvres-en-Plaine, qu'ils associent, avec des fosses allongées, à la cémentation des bandages de roues (BILLOIN, DUNIKOWSKI, 2009, p. 30; GRAPIN *et alii*, 2011, p. 193, fig. 3).

## BIBLIOGRAPHIE

- BILLOIN D., DUNIKOWSKI Chr., 2009, *Rouvres-en-Plaine (Côte-d'Or) 'Les Herbues'*, Rapport de diagnostic archéologique, Inrap, 69 p., 23 fig., 1 pl.
- CAZANOVE O. de et coll., 2013, *Programme 'Sanctuaires d'Alésia': sanctuaire d'Apollon Moritasgus, La Croix-Saint-Charles, Rapport d'activité 2013*, Rapport dactylographié, 209 p., pl., fig.
- CAZANOVE O. de, VIDAL J., DABAS M., CARAIRE G., 2012, «Alésia, forme urbaine et topographie religieuse: l'apport des prospections et des fouilles récentes», *Gallia*, 69-2, p. 127-149.
- DILLMANN Ph., L'HÉRITIER M., 2007, «Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes», *Journal of Archaeological Science*, 34, p. 1810-1823.
- ÉPÉRY R., 1913, *Alesia, fouilles 1913*, Ms E. 71/1, Palais du Roure, Avignon, 8 p. dactylographiées.
- ESPÉRANDIEU É., 1906, «Les fouilles d'Alésia de 1906», *Bull. de la Soc. des Sciences historiques et naturelles de Semur-en-Auxois*, t. 35-1906/1907, p. 141-300, pl. I-XI.
- ESPÉRANDIEU É., 1914, «Fouilles de 1913», *Bull. des fouilles d'Alise*, t. 1, fasc. 1, Angers, Burdin, p. 1-6.
- GRAPIN Cl., ESCHBACH Fr., FREUDIGER S., MEYLAN Fr., VIDAL J., 2011, «Alésia», in: REDDÉ M., BARRAL Ph., FAVORY Fr. dir., *Aspects de la romanisation dans l'Est de la Gaule*, Glux-en-Glenne-Bibracte, p. 183-195 (*Bibracte*, 21-1).
- LEROY S., COHEN S.X., VERNA C., GRATUZE B., TÉREYGEOL F., FLUZIN Ph., BERTRAND L., DILLMANN Ph., 2012, «The medieval iron market in Ariège (France): multidisciplinary analytical approach and multivariate analyses», *Journal of Archaeological Science*, 39, 4, p. 1080-1093.
- MANGIN M., 1981, *Un quartier de commerçants et d'artisans d'Alésia: contribution à l'histoire de l'habitat urbain en Gaule*, Paris, Les Belles-Lettres, t. I, *Texte*, 400 p.; t. II, *Catalogue et illustrations*, 300 p. (*Publications de l'Univ. de Dijon*, LX).
- MANGIN M., 2005, «La route, le fer, la terre en pays mandubien et éduen: la circulation antique dans le Morvan du Nord et dans le Haut-Auxois», *Bull. de la Soc. des Sciences historiques et naturelles de Semur-en-Auxois et des Fouilles d'Alésia*, t. CXIII, p. 7-26, 7 cartes.
- MANGIN M., FLUZIN Ph., 2005, «La métallurgie du fer à Alésia et dans le pays d'Alésia», *Dossiers d'Archéologie*, n° 305, juillet-août, p. 108-115.
- MANGIN M., FLUZIN Ph., 2007, «L'organisation de la production métallurgique dans une ville gallo-romaine: le travail du fer à Alésia», *R.A.E.*, t. 55-2006, p. 129-150.
- MANGIN M., KEESMANN I., BIRKE W., PLOQUIN A., 1992, *Mines et métallurgie chez les Éduens: le district sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois*, Paris, Les Belles-Lettres, 365 p. dont 104 pl. (*Annales littéraires de l'Université de Besançon*, 456 - *Archéologie*, 38).
- MANGIN M., FLUZIN Ph., COURTADON J.-L., FONTAINE M.-J. et coll., 2000, *Forgerons et paysans des campagnes d'Alésia: la terre, le fer, la route en pays mandubien (Haut-Auxois, Côte-d'Or) (1<sup>er</sup> s. av. J.-C. - VIII<sup>e</sup> s. ap. J.-C.)*, Valbonne, CNRS éd., 512 p. (*Monographies du CRA*, 22).
- MARTIN R., VARÈNE P., 1973, *Le monument d'Ucuétis à Alésia*, Paris, éd. du CNRS, 173 p., 57 pl. (26<sup>ème</sup> suppl. à *Gallia*).
- OLIVIER A., RABEISEN É., 1985, «Le théâtre: sondages à l'angle sud-ouest de la façade (037)», *La Tour de l'Orléans d'Or*, 1-1985, p. 13-19.
- PLEINER R., FLUZIN Ph., MANGIN M., BILLON M., DILLMANN Ph., VÉGA E., RABEISEN É., 2004, «Lingots et couteaux en fer d'Alésia: études archéométriques de pièces inédites», *R.A.E.*, t. 52-2003, p. 91-130.
- RABEISEN É., 1990, «La production d'équipements de cavalerie au 1<sup>er</sup> s. ap. J.-C. à Alésia (Alise-Sainte-Reine – Côte-d'Or – France)», *Journal of roman Military Equipment Studies*, 1-1990, p. 73-98.
- RABEISEN É., 1993, «Fourniture aux armées? Caractères et débouchés de la production d'équipement de cavalerie à Alésia au 1<sup>er</sup> siècle ap. J.-C.», in: LE BOHEC Y. dir., *Militaires romains en Gaule civile, Actes de la table ronde de mai 1991*, Lyon, Centre d'Études romaines et gallo-romaines de l'Univ. de Lyon III, p. 51-71 (*Collection du CERGER*, 11).
- RABEISEN É., 2005, «Enquête sur la métallurgie du bronze», *Dossiers d'Archéologie*, n° 305, juillet-août, p. 100-107.
- ROSSI Fr., ESCHBACH Fr., FREUDIGER S., MEYLAN Fr., 2007, *Théâtre d'Alésia: rapport de synthèse 2004-2007*, Rapport dactylographié, t. I, *Texte*, 185 p., 1 pl. h. t.; t. II, *Illustrations*, 234 fig., 5 pl.; t. III, *annexes*, 224 p., 140 fig. (en ligne).