

Paléométaballurgie du fer & Cultures

ACTES DU SYMPOSIUM INTERNATIONAL
DU COMITÉ POUR LA SIDÉRURGIE ANCIENNE
DE L'UNION INTERNATIONALE DES SCIENCES
PRÉHISTORIQUES ET PROTOHISTORIQUES

Belfort - Sévenans

Institut Polytechnique de Sévenans

1-2-3 novembre 1990

PUBLIÉS PAR

Paul BENOIT

Philippe FLUZIN

Dessin de couverture : Modèle d'enclume gallo-romaine, d'après J. Rebière, P. Rémy, I. Guillot et P. Benoit, *Les enclumes des gallo-romains : Le cas de Jouars-Ponchartrain*, dans le présent volume.

© VULCAIN, 1995

Institut Polytechnique de Sévenans - 90010 - BELFORT CEDEX

ISBN 2-907594-03-6

Édition

A.E.D.E.H. — Association pour l'Édition et la Diffusion des Études Historiques - PARIS

Indicatif éditeur : 2-907594

Diffusion - vente aux libraires

EXE productions

7, rue Jean-du-Bellay - 75004 - PARIS

Tél : (1) 43 26 40 41 Fax : (1) 43 29 34 88

Dépôt légal : Quatrième trimestre 1995

LES ENCLUMES TAS GALLO-ROMAINES

Le cas de Jouars-Ponchartrain

J. REBIÈRE*, P. RÉMY**, I. GUILLOT***, P. BENOIT****

L'enclume, indispensable au forgeron pour mettre en forme le métal et réaliser les assemblages, reste, pour les époques antérieures au XVIII^e siècle, mal connue, beaucoup moins bien que les armes ou les outils (1). La raison essentielle tient au fait que les trouvailles d'enclumes sont rares. Une enquête auprès des Directions régionales des antiquités historiques, d'archéologues départementaux et de certains directeurs de musées a permis, pour l'instant, le recensement d'une dizaine de pièces en France (2) (Fig. 1). Peu nombreuses par rapport à d'autres objets métalliques, précieuses sans doute en raison de leur poids de métal et de la valeur que leur confère leur mise en forme, elles ont peu souvent été abandonnées et les fouilles de forge ne conservent en général que la trace en négatif des billots qui les portaient, entourés de déchets métalliques. En raison de cette rareté, les archéologues et les conservateurs de musées ont été, jusqu'à ce jour, très réticents à l'idée de livrer à l'analyse métallographique, par nature destructive, ces précieux objets (3). Or la fabrication des enclumes antiques ou médiévales pose des problèmes : comment des hommes qui extrayaient des fours de réduction des loupes de fer ou d'acier peu cohérentes, mêlées à des scories, d'une masse de métal en général inférieure à celle d'un spécimen comme celui de Jouars-Ponchartrain, arrivaient-ils à mettre en forme des objets aussi massifs sans autre énergie que la force humaine ? Quelles étaient les qualités des produits obtenus ? Comment évoluaient-ils au cours de leurs utilisations sous l'effet des chocs violents et répétés du marteau du for-

geron ? L'analyse métallographique de l'enclume de Jouars-Ponchartrain peut fournir, à partir d'un exemple représentatif, les premiers éléments d'une réponse qu'il faudra compléter par d'autres études de cas.

1. L'ENCLUME DE JOUARS-PONCHARTRAIN : UN EXEMPLE SIGNIFICATIF

L'enclume provient du site de Jouars (Yvelines, France) identifié comme étant le Diodurum de l'itinéraire d'Antonin, un vicus établi au carrefour des voies Paris-Dreux-Rouen et Orléans-Beauvais. Les conditions de sa découverte, lors d'une fouille de sauvetage, ne permettent pas de la situer en stratigraphie, cependant le contexte prouve qu'elle date du III^e siècle après J.-C. (4).

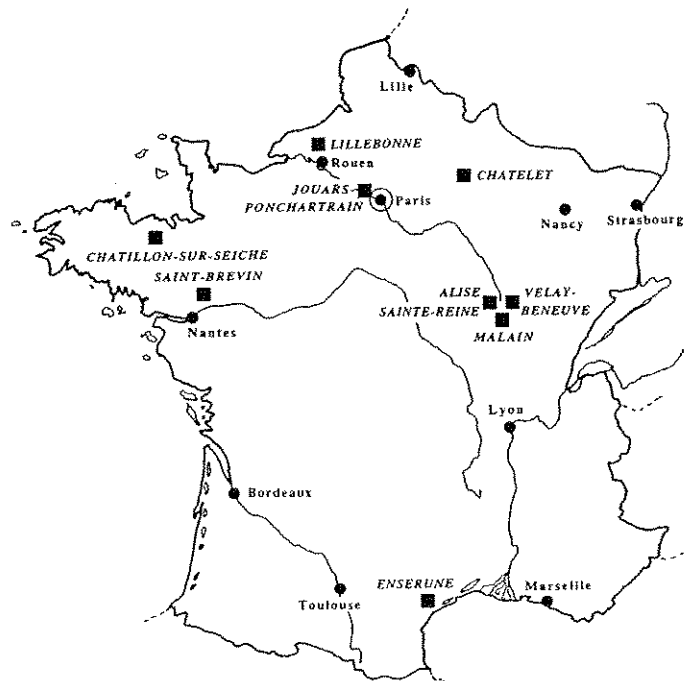


Fig. 1. Enclumes gallo-romaines recensées en France.

* Laboratoire de conservation, restauration et recherches - (UPR 7520 du CNRS), 19 rue Frédéric Mireur, 83300 DRAGUIGNAN.

** Association Ouvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France - Fondation Coubertin - 78470 Saint-Remy-les-Chevreaux.

*** Université de Technologie de Compiègne, Division "Matériaux" - (UPR A0423 du CNRS) - B.P. 649 - 60206 COMPIEGNE Cedex.

**** Université de PARIS I, Equipe d'Histoire des Mines et de la Métallurgie - (GDR 32 du CNRS, UPR A0423 du CNRS) - 9 rue Malher - 75004 PARIS.

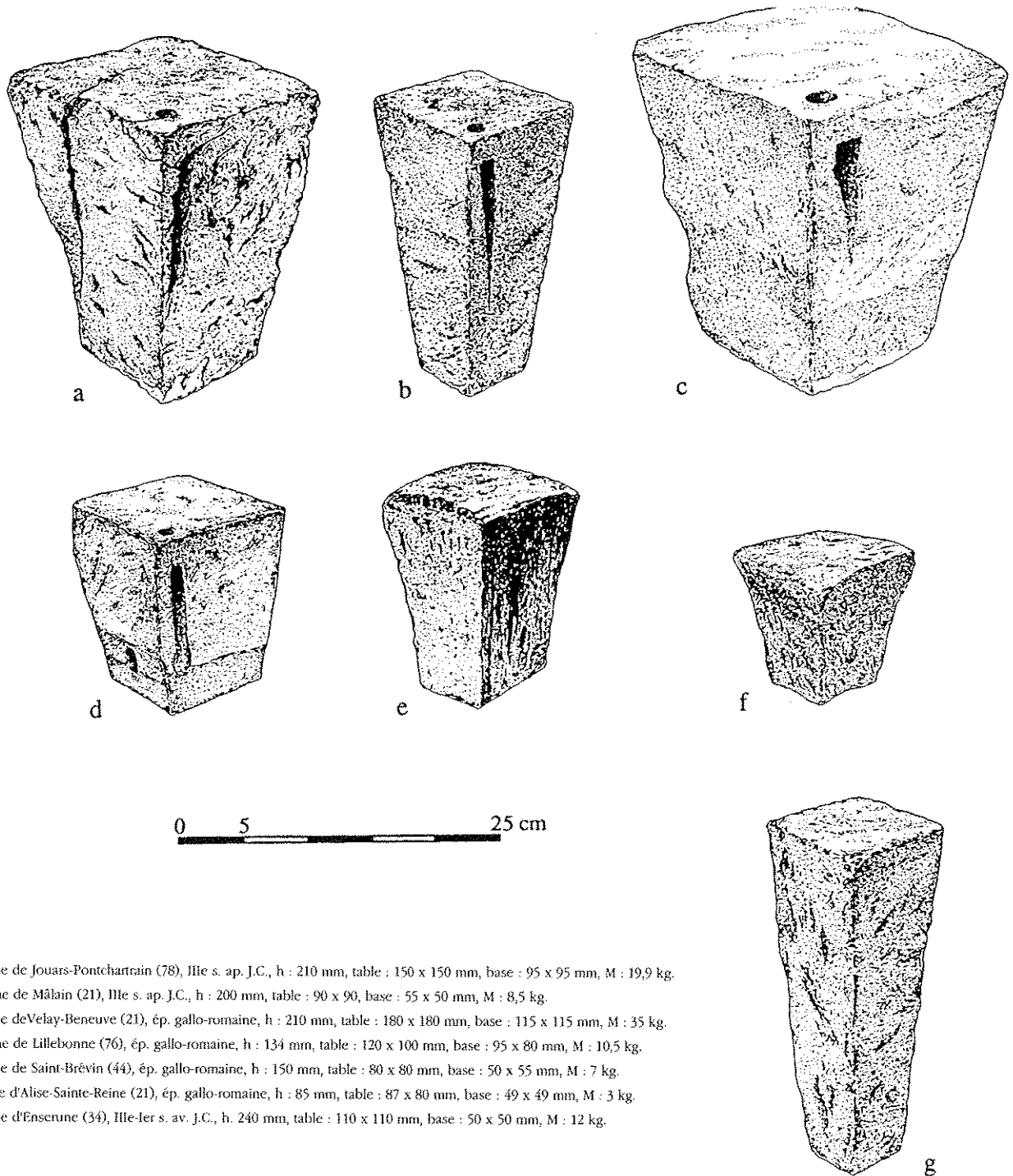


Fig. 2.

- a : Enclume de Jouars-Pontchartrain (78), IIIe s. ap. J.C., h : 210 mm, table : 150 x 150 mm, base : 95 x 95 mm, M : 19,9 kg.
 b : Enclume de Mâlain (21), IIIe s. ap. J.C., h : 200 mm, table : 90 x 90, base : 55 x 50 mm, M : 8,5 kg.
 c : Enclume de Velay-Beneuve (21), ép. gallo-romaine, h : 210 mm, table : 180 x 180 mm, base : 115 x 115 mm, M : 35 kg.
 d : Enclume de Lillebonne (76), ép. gallo-romaine, h : 134 mm, table : 120 x 100 mm, base : 95 x 80 mm, M : 10,5 kg.
 e : Enclume de Saint-Brévin (44), ép. gallo-romaine, h : 150 mm, table : 80 x 80 mm, base : 50 x 55 mm, M : 7 kg.
 f : Enclume d'Alise-Sainte-Reine (21), ép. gallo-romaine, h : 85 mm, table : 87 x 80 mm, base : 49 x 49 mm, M : 3 kg.
 g : Enclume d'Enserune (34), IIIe-Ier s. av. J.C., h. 240 mm, table : 110 x 110 mm, base : 50 x 50 mm, M : 12 kg.

Retrouvée au nord de la Loire comme 90 % du corpus considéré, elle se présente sous la forme d'une pyramide tronquée à base carrée d'une hauteur de 210 mm. Le côté de la petite base, mesure 90 mm alors que la grande base, qui porte la table de frappe, a une longueur de 150 mm (Fig. 2a). Son volume, mesuré par déplacement de liquide sur un moulage, est de 2900 cm³ et sa masse atteint 19,9 kg. La densité de l'enclume est alors de 6,86 g/cm³, valeur bien inférieure à la densité théorique du fer (7,86 g/cm³), ce qui indique la présence de porosité au sein du matériau (5). Le calcul montre que 13 à 14 % du volume de l'enclume correspond à manque de matière. La table, légèrement convexe, est percée à proximité de l'un de ces angles par une ouverture de 14 mm de diamètre, ou œil, qui se poursuit le long d'un flanc de l'enclume par une saignée rectiligne qui pouvait recevoir un tranchet à queue, un dégorgeoir ou tout autre accessoire de forge; il est possible qu'elle ait aussi servi à refouler des têtes de clous ou autres objets.

Par sa morphologie comme par ses dimensions, l'enclume de Jouars-Ponchartrain se range dans une catégorie d'enclumes tas d'époque romaine connues par diverses sources. Les stèles funéraires des musées de Sens (Fig. 3) et de Saint-Dié (6) présentent des enclumes comparables. Les fouilles ont révélé d'autres objets de ce type en France, une dizaine à notre connaissance, dont sept sont dessinées sur la figure 2, mais aussi dans divers pays d'Europe : en Italie, en Allemagne ou en Hongrie. On peut cependant noter que l'enclume de Jouars-Ponchartrain se place parmi les grands spécimens observés, seul celui du Velay-Beneuve (Fig. 2c) est plus important et correspond à une masse de métal presque double, 35 kg pour une hauteur identique de 210 mm. De même, cinq des dix enclumes, soit la moitié du corpus, possèdent un œil tout comme celle de la stèle du musée de Sens. La localisation de la saignée est identique et tient compte de la position du forgeron par rapport à son enclume : pour un droitier, l'œil doit être à gauche et près de lui; s'il était placé à droite, un outil fiché dans la cavité serait dans l'axe du marteau et le manche toucherait alors l'outil (Fig. 4). Les enclumes actuelles, essentiellement bigornes, restent conçues de la sorte.

2. EXAMEN EXTERNE ET RADIOGRAPHIQUE

Une première observation de l'objet montre une importante fissure qui débute sur un angle à environ 45 mm de la base inférieure. Elle remonte verticalement sur l'une des faces jusqu'à 15 mm de la table, là elle se divise en deux fissures de moindre importance. L'une se poursuit perpendiculairement à l'arête jusqu'aux deux tiers de la table, la seconde meurt sur l'angle. Sur l'autre face, la fissure part horizontalement sur 30 mm, se poursuit en oblique sinueuse pour atteindre l'arête opposée à 90 mm sous la table. Devenue très fine, elle longe ce côté à une distance d'environ 10 mm avant de disparaître à 15 mm de la table.

Dans le carré formé par la table s'inscrit un cercle de 80 mm de diamètre nettement perceptible à un regard attentif. Ce cercle correspond à la soudure à la "chaude portée" d'une

mise en acier ou en fer au centre de la table. Elle peut avoir été ajoutée pour obtenir une propriété mécanique spécifique au centre de la table (dureté, élasticité...) ou simplement pour combler une lacune ou un manque de métal après la mise en forme. L'étude métallographique permettra de conclure. En outre, la table porte des traces d'utilisation et présente des signes d'usure nets sur certaines arêtes, témoignage de la position habituelle du forgeron. Au niveau de l'œil on peut remarquer deux fines fissures subhorizontales de part et d'autre de la saignée (Fig. 2a). Celle de droite, très ténue, se prolonge sur environ 20 mm dans la direction de l'arête formée par la table et la face antérieure, celle de gauche atteint l'arête commune aux deux faces, antérieure et latérale, à 20 mm sous la table et se poursuit sur la face latérale pour rejoindre la table à 30 mm du sommet. L'ensemble de ces fissures délimite la soudure, à la "chaude portée", de l'œil proprement dit, après l'aménagement de la saignée. Les autres enclumes semblent avoir un mode d'élaboration de l'œil similaire. Aucune observation structurale n'ayant été effectuée dans cette partie de l'objet, il n'est pour l'instant pas possible d'émettre d'autre hypothèse quant à la mise en forme de l'œil.

Un examen attentif des diverses faces de l'enclume montre que la corrosion est plus importante sur deux des faces latérales, phénomène qui pourrait être en relation avec la position de l'objet lors de l'enfouissement. Néanmoins, sur ces deux faces, une bande de 50 mm partant du bas de l'enclume présente une altération bien moindre. Cette bande se poursuit sur les deux autres faces et constitue une ceinture nettement moins corrodée que le reste de l'objet. Cette différence de corrosion est susceptible de correspondre à la hauteur de la prise de l'enclume dans le billot support en bois. Aucune autre observation, archéologique ou métallurgique, n'étaye cette proposition, il s'agit encore d'une simple hypothèse.

La radiographie, difficile sur un objet aussi massif, n'a apportée aucune donnée concernant l'élaboration, elle a simplement montré que la fissure s'enfonce à l'intérieur de l'objet pour former une cavité, ce que l'examen externe et le calcul de la densité laissaient prévoir.

3. ÉTUDE MÉTALLOGRAPHIQUE

Pour comprendre à la fois la mise en forme et son histoire, un quart de l'enclume a été prélevé dans le sens longitudinal, en prenant soin de recouper les fissures. Après polissage, d'ailleurs difficile sur une telle surface, et attaque chimique, les observations ont d'abord été macroscopiques puis microstructurales afin de mieux comprendre les traitements thermomécaniques liés à la mise en forme et les sollicitations mécaniques inhérentes à l'utilisation de l'enclume.

3.1. Observations macrographiques

L'enclume apparaît formée d'un corps en fer qui compose l'essentiel de la masse métallique, il est partiellement recouvert d'une pièce en acier qui correspond au cercle central



Fig. 3. Stèle funéraire gallo-romaine représentant un forgeron. Musée de Sens (89).

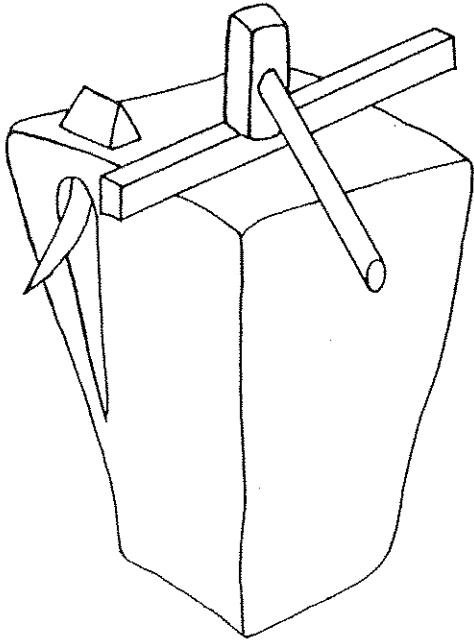


Fig. 4a. Pour un droitier, l'œil est placé à gauche afin de ne pas gêner le forgeron.

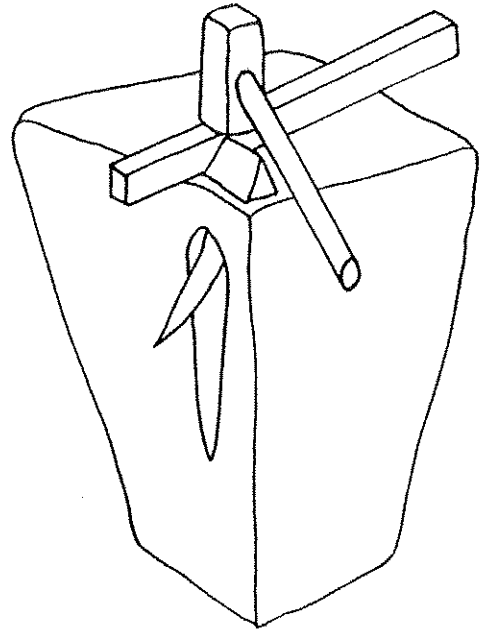


Fig. 4b. Si l'œil est placé à droite, un outil fiché dans la cavité se trouve dans l'axe du marteau et ne correspond pas à la position de travail normal d'un forgeron droitier.

mis en évidence lors de l'examen morphologique. Le corps ferritique présente des aspects très différents en fonction de la localisation (Fig. 5). Les bords et la base de l'objet possèdent une grande homogénéité et une absence presque totale d'inclusions silicatées sur une profondeur d'environ 20 mm. Le fibrage du métal et les inclusions, lorsqu'elles existent, sont alors alignés à ce niveau dans le sens vertical, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe du martelage, sauf dans les 15 mm supérieurs de la partie ferritique de la table où elles sont horizontales.

Au delà de ces zones périphériques, qui marquent la limite de l'efficacité du martelage du forgeron lors de la mise en forme, l'enclume est parsemée de cavités et de nombreuses impuretés résultant d'une mauvaise agglomération et d'une épuration insuffisante du métal. Ces vides et ces inclusions sont autant de points de faiblesse favorables au développement de fissures au cours de l'utilisation. Une cavité particulièrement importante occupe le centre de l'objet, les grandes fissures observées précédemment n'en étant que la manifestation externe. L'ensemble de ces cavités et impuretés est disposé de façon aléatoire au centre de l'objet et montre bien que le martelage n'a eu qu'une faible influence à cœur. A cet égard, les traités de forge (7) du début du siècle indiquent que l'opération de corroyage est réalisable sur une enclume, c'est-à-dire par la seule action humaine, si la section de la masse métallique ne dépasse pas 40 mm, au delà et jusqu'à 120 mm l'emploi du marteau pilon ou du martinet est requis.

La surcharge en acier est plus épaisse dans sa partie centrale pour atteindre jusqu'à 30 mm. La zone aciérée est homogène et ne présente pas d'alternance fer/acier ni de traces évidentes de soudure, ce qui indique que cette disposition ne provient pas d'une réparation mais de la mise en forme d'origine.

3.2. Observations microscopiques

Le corps est constitué de ferrite à gros grains. Le cliché de la figure 6 réalisé sous la table de frappe montre des grains parfois millimétriques, dont l'indice de grosseur de grain (8), G , est égal à -1. La taille importante de certains grains de ferrite révèle une hétérogénéité du traitement thermomécanique lors du corroyage suivi d'un maintien prolongé de la pièce à haute température, maintien justifié si l'on veut amener à la température de soudage, 1300°C à 1500°C pour le fer, une telle masse métallique. Les bords, bien épurés, comportent peu d'inclusions, comme l'avait déjà souligné l'examen macrographique. Au centre, les impuretés, constituées d'agrégats de wüstite (FeO) et de fayalite ($2\text{FeO}, \text{SiO}_2$), sont très nombreuses et de forme globulaire, nouvelle confirmation d'un martelage insuffisant à cœur. Sous la table de frappe et sur l'un des bords apparaissent des macles mécaniques dans la ferrite, macles dues aux chocs violents et répétés reçus par l'enclume pendant son utilisation. Les conditions de formation de telles macles mécaniques ont déjà été discutées par ailleurs (9).

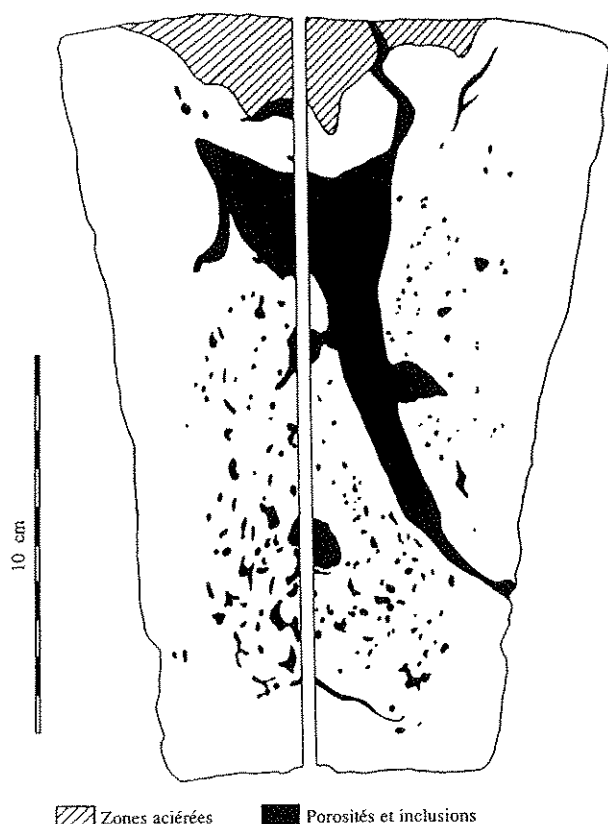


Fig. 5. Coupe schématique de l'enclume.

La surface de frappe en acier est formée d'un agrégat perlitique de composition proche de celle de l'eutectoïde, 0,8 % de carbone, (Fig. 6), localement la composition de l'acier devient même nettement hypereutectoïde (Fig. 7). Au cœur de la mise en acier, la perlite est facilement résolue en microscopie optique, la distance interlamellaire de 1 μm environ indique un refroidissement lent, le plus vraisemblablement à l'air (Fig. 6 et 7). Le refroidissement à l'air est confirmé par présence d'une perlite nodulaire très fine en surface de la table de frappe, là où la vitesse de refroidissement est la plus importante (Fig. 8). L'enclume n'a donc pas été trempée à l'eau, les microstructures hors équilibre n'étant jamais observées.

Une diffusion du carbone dans le ferrite marque le contact entre la table en acier et le corps de l'enclume, signe d'une soudure acier sur fer réalisée à la forge (Fig. 9). La zone de diffusion importante, voisine du millimètre, confirme la nécessité de prolonger la durée du chauffage à haute température pour amener fer et acier en même temps aux températures de soudage, les masses métalliques étant très importantes. L'opération est délicate puisque les tempé-

tures de soudabilité diffèrent (10) ; elle n'a pas été parfaitement réalisée puisque des impuretés marquent la ligne de soudure (Fig. 9).

4. INTERPRÉTATION

Pour réaliser cette enclume, les forgerons ont d'abord formé le corps ferritique en corroyant à la forge le métal provenant de plusieurs loupes ou fragments de loupes issus de la réduction directe du minerai de fer. L'importance des porosités et des impuretés implique qu'il ne s'agit pas de fer de récupération. Cette opération s'est déroulée à la forge c'est-à-dire au moyen de marteaux et de la seule énergie humaine. L'importance du volume d'un tel objet pose le problème de la pièce qui a elle-même servi d'enclume lors du martelage. Est-ce une grosse pierre plate à l'image de celles utilisées par certains forgerons africains (11) ou bien une autre enclume en fer de taille nécessairement plus importante ? Le corroyage s'est accompagné d'un affinage du métal qui a touché les 20 mm extérieurs. Le martelage intensif de l'objet a donné naissance à un fibrage du métal, perpendiculaire à la direction de corroyage, qui, lorsque l'enclume est en position de travail, est vertical. Au cours de cette phase les impuretés ne sont pas chassées de la partie centrale où les cavités sont particulièrement nombreuses et importantes.

Le corps de l'enclume étant mis en forme, il est possible qu'une plaque de fer d'une dizaine de millimètres soit soudée sous la table de frappe avant que la table en acier proprement dite vienne remplir le vide laissé lors de l'élaboration. Cette pièce en acier assure alors la planéité de l'enclume mais surtout donne à la table une dureté que n'avait pas le fer et délimite ainsi la zone qui sera le plus sollicitée pendant l'utilisation. Reste alors au forgeron à pratiquer une saignée sur l'une des faces de l'enclume afin de préparer la réalisation de l'œil qui est soudé à la "chaude portée" sur la table. Cette dernière opération peut aussi avoir lieu avant la mise en place de la surcharge en acier.

Une telle mise en forme présente des inconvénients perceptibles sur l'enclume elle-même. La grande fissure qui la parcourt, liée à la cavité importante du cœur, et que la corrosion a sans doute largement développée lors de l'enfouissement, est due aux insuffisances de la mise en œuvre (12). Cependant l'usure de la table, la présence de macles, sont le signe d'un usage intensif. Le fait que la table ne soit acérée qu'en son milieu, que les arêtes soient simplement usées et non écrouies ou refoulées indique que le type de forge pratiqué sur cette enclume ne sollicitait pas ou peu les bords de celle-ci. Il peut alors s'agir d'une enclume servant essentiellement à forger des éléments plats.

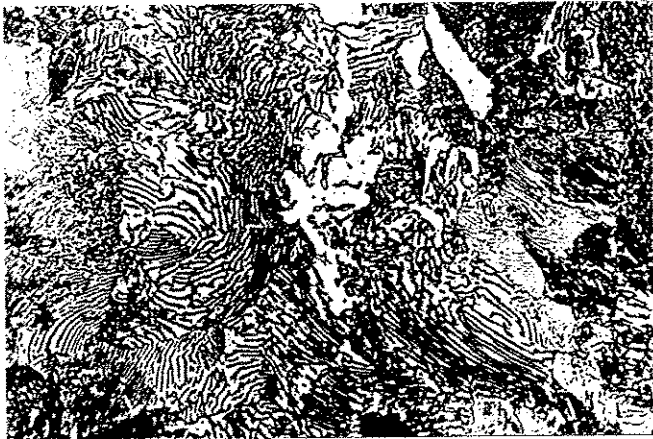


Fig. 6. Table en acier de composition légèrement hypoeutectoïde ; perlite lamellaire.



Fig. 7. Zone de table en acier de composition hypereutectoïde.

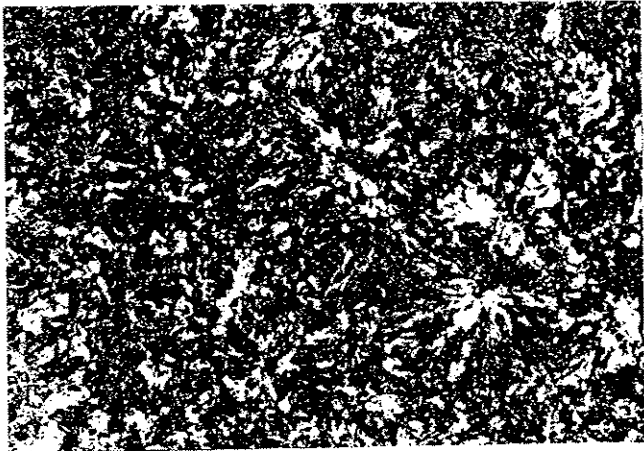


Fig. 8. Perlite nodulaire en surface de la table en acier.

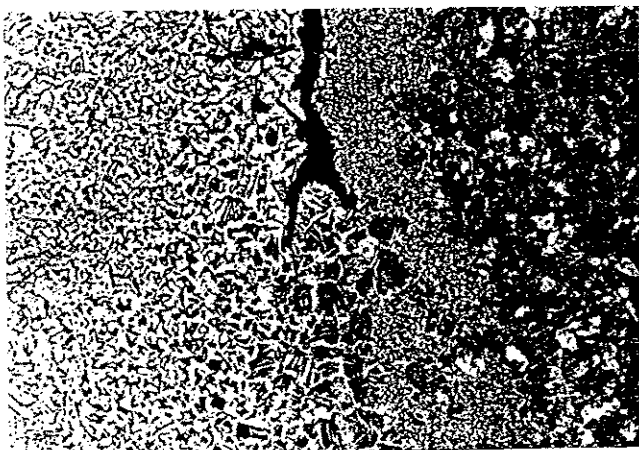


Fig. 9. Soudure de la table en acier sur le corps ferritique de l'enclume.

NOTES

1. Le premier traité qui expose la manière de fabriquer les enclumes est celui de DUHAMEL DU MONCEAU, *De la forge des enclumes*, Paris, Guérin et Delatour, 1762, 11 p. plus une planche.
2. Seules sept, parmi la dizaine d'enclumes repérées, sont connues avec assez de précision pour qu'il soit possible à la fois de les localiser, de les dater approximativement et d'en donner les mensurations. La poursuite de l'enquête permettra d'élargir le corpus.
3. La notion même de destruction et de conservation mériterait plus qu'une note infra-paginale. Il faut simplement remarquer que l'analyse métallographique, qui nécessite en général de scier l'objet ou tout du moins d'effectuer un polissage local, permet ensuite des présentations muséographiques souvent beaucoup plus didactiques et plus spectaculaires que celle de l'objet de fer restauré.
4. ZUBER (F.), « Prospection systématique et utilisation des travaux publics dans le canton de Monfort l'Amaury », *Mémoires de la SHARY*, XXXIII, 1970, p. 43-58 ; MORIN J.-M., « Le vicus de Jouars-Ponchartrain et les agglomérations secondaires », *Connaitre les Yvelines*, 2e trimestre 1989, p. 25-26.
5. Le calcul du manque de matière tient compte du volume, donc de la masse, de résine utilisée lors de la restauration effectuée par A. THOUVENIN au Laboratoire d'Archéologie des Métaux de Jarville (fiche de traitement de restauration n° 7514).
6. TRONQUART (G.), « Le camp celtique de la Bure. Saint-Dié », *Société philomatique vosgienne*, Saint-Dié, 1984. Cependant, les enclumes retrouvées dans les fouilles du camp de Bure sont des bigornes.
7. RANCHOUX (V.), *Le forgeron*, Paris, L. Eyrolles, 1924, p. 99-100.
8. L'indice de grosseur de grain (G) est obtenu par comparaison à une série d'images types définie par la norme NF A04-102. Un indice de grosseur de grain, $G = -1$, correspond à $m = 4$ grains par mm^2 ($m = 8.2G$).
9. GUILLOT (I.), FLUZIN (Ph.), CLAVEL (M.), BERANGER (G.), « Interprétation thermomécanique de la structure d'outils miniers du XVIe et XVIIIe siècle », *Matériaux et Techniques*, oct.-nov., 1987, p. 411-419.
10. La température du fer doit être comprise entre 1300°C et 1500°C et celle de l'acier entre 1200° C et 1300° C afin d'éviter qu'il ne brûle. Sur les problèmes de la soudure fer-acier à la forge voir les traités de forge du début du siècle : RANCHOUX (V.), *op. cit.*, p. 96-102 ; HURTEBISE (A.), *Pour le forgeron*, Paris, Dunod, 1939, p. 65-69 ; LAGARDELLE (G.), *Manuel du forgeron*, Paris, J.-B. Baillière et Fils, 1926, p. 135-146.
11. CHIEZE (V.), GUILLOT (I.), « De la mine à la forge : approche de la métallurgie malienne », dans le présent volume.
12. De telles cavités ont été observées par ailleurs dans un marteau de mineur du XVIe siècle. GUILLOT (I.), FLUZIN (Ph.), BENOIT (P.), « Mise en forme et utilisation de marteaux de mineurs du XVIe siècle : apport de la métallographie », PLEINER (R.), « Archaeometallurgy of iron : results achieved 1967-1987 », *International Symposium of the Comité pour la sidérurgie ancienne de l'UISPP*, Liblice, 5-9 oct. 1987, Prague, 1989, p. 459-474.