

## Interprétation structurale de l'élaboration et de l'utilisation d'outils miniers

In: Bulletin de la Société préhistorique française. 1987, tome 84, N. 8. pp. 248-256.

---

Citer ce document / Cite this document :

Guillot I., Fluzin P. Interprétation structurale de l'élaboration et de l'utilisation d'outils miniers. In: Bulletin de la Société préhistorique française. 1987, tome 84, N. 8. pp. 248-256.

doi : 10.3406/bspf.1987.9836

[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bspf\\_0249-7638\\_1987\\_num\\_84\\_8\\_9836](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bspf_0249-7638_1987_num_84_8_9836)

---

# Interprétation structurale de l'élaboration et de l'utilisation d'outils miniers <sup>(1)</sup>

par I. Guillot, P. Fluzin

## INTRODUCTION

« Traduction physique d'un système intellectuel » (Simondon, 1969), l'objet peut être considéré comme un ensemble complexe d'informations dont la valeur documentaire est tributaire des moyens d'observations et du niveau de connaissance de l'observateur. L'approche globale de « l'ensemble objet » (fig. 1) passe donc par une double problématique analytique, externe et interne, nécessitant un important effort de collaboration interdisciplinaire afin de valoriser au mieux l'information contenue. Celle-ci est maintenant accessible grâce à des techniques d'observation et d'analyse de plus en plus sophistiquées, mais de plus en plus coûteuses. La précision et la spécificité du matériel (et du matériau étudié) nécessitent donc pour une bonne interprétation des données, une connaissance approfondie de ce que l'on cherche et corrélativement des moyens à utiliser. Il n'existe pas encore de méthode universelle adaptée aux multiples souhaits des archéologues et historiens.

Nous présentons dans cette communication les recherches que nous menons pour mieux évaluer l'environnement technico-social de l'objet archéologique en fer et l'illustrons à titre d'exemple général, à partir de l'étude de l'outillage minier du XV<sup>e</sup> siècle.

Nous insistons sur la nécessité de resituer ces données dans un contexte physico-chimique et méca-

nique expérimental au niveau de l'élaboration et de la transformation pour définir une interprétation rigoureuse.

## 1 - SPÉCIFICITÉS ET LIMITES DE L'INTERPRÉTATION DES TÉMOINS ARCHÉOLOGIQUES EN FER

L'approche archéologique des processus d'élaboration et de transformation du métal est possible à partir des rares éléments qui nous parviennent encore aujourd'hui : restes de minerai, débris de four, scories, loupes, produits semi-finis (lingots), produits finis (objets)... Les données recueillies sont naturellement fragmentaires et sont en pratique souvent impuissantes pour permettre la restitution rigoureuse de la filiation technique (Fercoq *et coll.*, 1983).

En effet, plusieurs paramètres limitent, quel que soit le type d'objet, le champ d'interprétation de ces données. Nous en donnons une liste non exhaustive dans la figure 2. Il convient donc d'être très prudent quant à la formulation d'hypothèses parfois séduisantes pour l'esprit, mais sans réalités technologiques. La confrontation expérimentale est, quand elle est possible, indispensable pour restreindre le domaine d'incertitude (Andrieux, 1986).

Les études en laboratoire permettent souvent de compléter cette approche archéologique ; selon les matériaux considérés, les méthodes à employer seront destructives ou non (Barrandon, 1982). Il est cependant, en règle générale, indispensable d'effectuer un prélèvement de taille variable suivant les

(1) Bien que l'objet étudié ici soit « tardif », son analyse pourrait s'appliquer à un objet protohistorique. C'est dans ce sens que cet article a été doublé d'une communication présentée lors de la séance de mai 1986, « archéologie et laboratoire ».

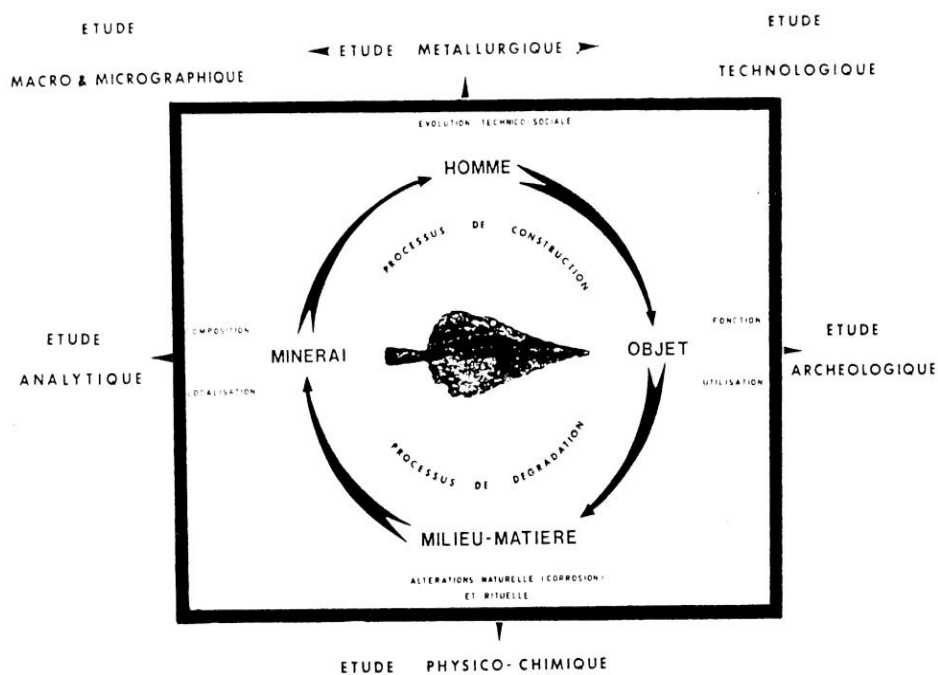


Fig. 1.

**LIMITES D'INTERPRETATION**

**PHYSIQUES ET TECHNIQUES :**

IMPOSEES PAR LES METHODES D'ANALYSES, LES CONDITIONS EXPERIMENTALES ET LE MATERIEL UTILISE.  
FIABILITE DES MESURES, DOMAINES D'INCERTITUDE.  
POLLUTIONS EVENTUELLES

**INTRINSEQUES :**

HETEROGENEITE DU MATERIAU ET DE SES CONDITIONS DE VIEILLISSEMENT. (PHASE SOLIDE)

**ECHANTILLONNAGE :**

CHOIX DES PRELEVEMENT, REPRESENTATIVITE, QUANTITE DISPONIBLE.

**ABSENCE DE CONTEXTE :**

ARCHEOLOGIQUE (OBJETS ISOLEES). HISTORIQUE.  
TECHNIQUE D'ELABORATION ET DE TRANSFORMATION.

**PLURALITE DES OPERATIONS :**

INHERENTE A L'ELABORATION, LA TRANSFORMATION, L'USAGE ET LES EVENTUELLES REPARATIONS DE L'OBJET.

STRUCTURAL : SUIVANT LE NIVEAU DE TEMPERATURE, C'EST LA DENIERE OPERATION QUI PREDOMINE

ANALYTIQUE : PHYSICO-CHEMIE DU PROCESSUS DE REDUCTION

Fig. 2.

cas ; il faut donc pour cela vaincre un premier obstacle d'ordre éthique vis-à-vis de l'intégrité de l'objet. Celui-ci franchit, on peut considérer les recherches à caractère métallurgique suivant deux axes principaux que l'on a reporté sur la figure 3 :

- l'étude analytique ;
- l'étude métallographique.

**II - ÉTUDE ANALYTIQUE**

L'objectif est la caractérisation de la composition chimique du matériau dans le but de l'identifier, de différencier les ateliers de fabrication ou d'essayer de rétablir la filiation minéral-scories-objet. Cette filiation est très délicate à établir notamment dans le cas des objets élaborés en phase solide (fer par l'intermédiaire des procédés directs) compte tenu de leur

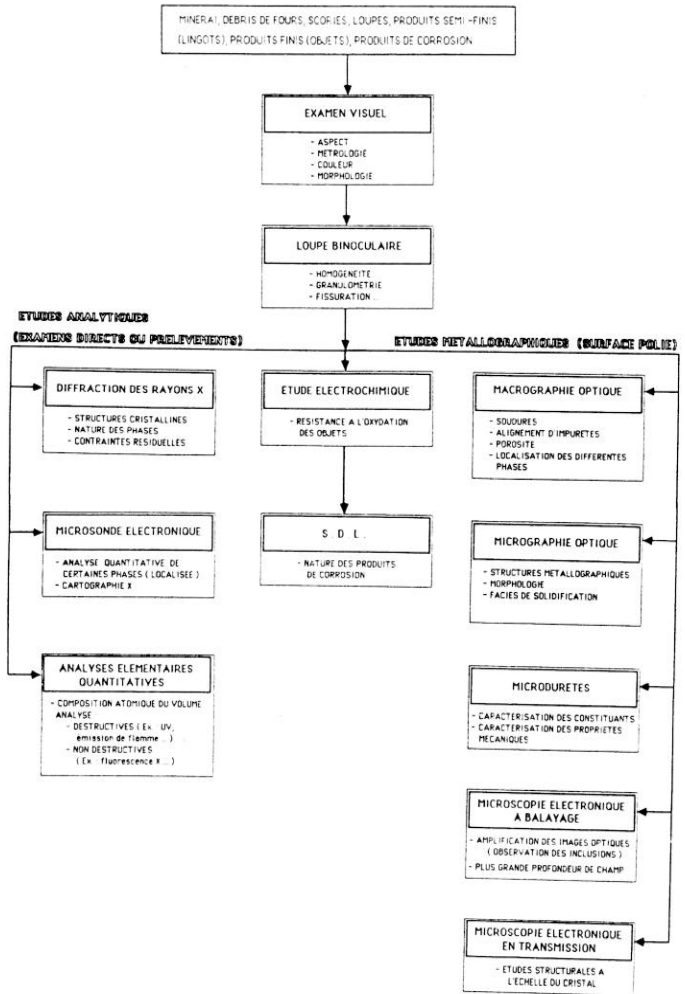


Fig. 3.

grande hétérogénéité. Malgré un éventail important, les méthodes d'analyses sont parfois inadaptées à la nature de l'échantillon archéologique. L'analyse de la matrice ou des inclusions emprisonnées dans celle-ci ne nécessitera pas forcément le même matériel et ne devrait pas aboutir aux mêmes conclusions. Le problème de l'interprétation et de sa crédibilité, à partir des nombreuses données ainsi recueillies, est sans doute l'un des plus importants rencontrés par l'historien ou l'archéologue, malgré les outils performants de traitement mis à sa disposition (micro-ordinateur). Rien ne sert en effet de compiler des données si leur exactitude (intrinsèque ou extrinsèque) n'est pas assurée (Fluzin *et coll.*, 1986). Il faut en particulier se méfier d'un réflexe naturel qui consiste à privilégier l'analyse d'un objet « exotique » dans un lot pour caractériser ce dernier (cas des scories et laitiers). A défaut de pouvoir resituer les contextes historiques de l'objet, il est souhaitable de le situer dans son contexte physico-chimique et mécanique d'élaboration et de transformation.

Ce sont pour ces raisons que nous avons privilégié (par rapport aux analyses systématiques de scories...)

dans notre laboratoire les études physico-chimiques de la réduction directe par la mise au point d'une plate-forme d'essais destinée à reproduire les conditions de réduction en bas fourneau (fig. 6). Les expériences en cours devraient nous permettre d'établir des étalons, à partir des nombreux paramètres que nous contrôlerons, le suivi qualitatif et quantitatif de ces derniers (carte thermique, chromatographie, débit du « vent »...). L'analyse des produits de réduction pourra alors permettre une confrontation fructueuse avec les autres données expérimentales disponibles dans ce domaine.

### III - ÉTUDE MÉTALLOGRAPHIQUE

Pour illustrer les études structurales nous avons choisi de présenter à titre d'exemple les résultats obtenus sur l'outillage minier du XV<sup>e</sup> siècle. La démarche et les observations réalisées sont par ailleurs similaires à l'étude d'objets plus anciens, comme l'attestent les quelques études déjà publiées sur des armes celtiques (Fluzin *et coll.*, 1983).

La structure d'un métal étant conditionnée par son histoire thermomécanique et thermochimique, il est possible à partir d'études structurales de déterminer en partie les processus mis en jeu lors de l'élaboration et de l'utilisation de l'objet. Ainsi, l'étude structurale peut nous permettre d'appréhender les techniques de forge en usage au XV<sup>e</sup> siècle.

Les observations réalisées sont d'une part macrographiques en lumière rasante afin de révéler la texture du métal. Cette dernière nous permet d'évaluer de façon globale la mise en forme de l'objet (alignements d'impuretés, soudures...). Par ailleurs les examens micrographiques (optiques et électroniques MEB\* et MET\*\*) précisent les structures les plus caractéristiques rendant possible les corrélations avec les traitements thermomécaniques inhérents à l'élaboration et à l'utilisation de ces outils. Nous insisterons dans cette étude sur les apports de la métallographie à la restitution des différentes étapes de la « vie » de l'outil : élaboration, utilisation, réparation (Fluzin *et coll.*, 1983).

#### 1 - Situation du contexte historique et technologique

Les pointerolles étudiées (fig. 4) sont les principaux outils de la taille des galeries des mines polymétalliques (Pb, Cu, Ag...) du XV<sup>e</sup> et du XVI<sup>e</sup> siècle.

Ces objets proviennent de la fouille\* du site minier de Pampailly (Rhône, France). Les campagnes de 1983 à 1986 ont permis de découvrir, à l'entrée de la galerie du Vernay, deux forges situées à des niveaux stratigraphiques différents. Les pointerolles sont issues des vestiges de la forge inférieure et peuvent être datées entre 1455 et 1480, grâce à des documents d'archives exceptionnels et aux données de la dendrochronologie (Mollat, 1953 et Rendu, 1985).

Les pointerolles se présentent comme des outils à percussion posée, emmanchés. Ils sont destinés à être frappés à l'aide d'un marteau (fig. 5).

\* Fouilles dirigées par Paul Benoit (Paris I).

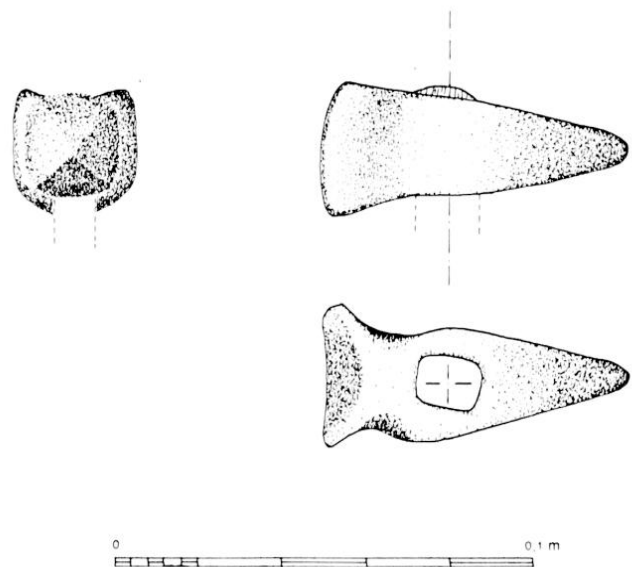


Fig. 4 - Pointerolle.



Fig. 5 - Un mineur au travail : reproduction de « De Re Metallica » de G. Agricola (1556).

\* MEB : Microscope Électronique à Balayage.

\*\* MET : Microscope Électronique en Transmission.

## 2 - Mode de prélèvement des échantillons

Les pointerolles, découvertes à Pampailly, sont des outils relativement massifs dont les plus grandes sections transversales varient de 1 à 4 cm<sup>2</sup>. Ils comportent donc encore suffisamment de métal non oxydé pour permettre une étude métallurgique significative.

Nous avons réalisé sur un objet de chaque type une section longitudinale totale afin que nos observations soient les plus complètes possibles. Après avoir sélectionné lors de l'étude de la première pointerolle les zones les plus riches en informations, nous avons effectué des prélèvements d'un quart de la pointe pour les autres outils ; il était en effet important de pouvoir préserver l'intégrité des objets en vue de leur exploitation muséographique.

Tous les outils étudiés présentent au niveau de la pointe des structures proches de celles observées sur un acier de composition eutectoïde (0,8 % de Carbone) ; ces résultats sont corroborés par la valeur du pourcentage de carbone déterminé par dosage pondéral. Le corps des objets, quant à lui, possède toujours des structures purement ferritiques. Dans chaque cas les structures observées présentent de nombreuses inclusions de scories emprisonnées dans le métal lors de l'élaboration et déformées dans le sens du martelage (fig. 6).

## 3 - Élaboration de l'objet

Au niveau de la pointe de l'outil, on observe une zone aciérée de forme elliptique qui apparaît en clair, insérée dans une matrice ferritique, que nous nommerons « insert » (fig. 7).

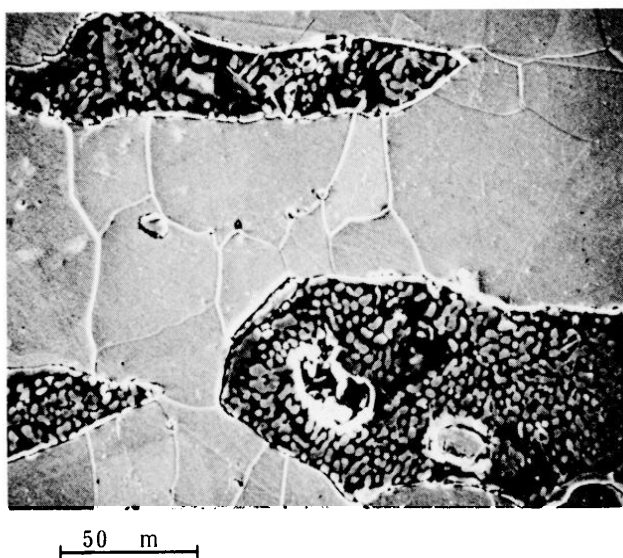


Fig. 6 - Alignements de silicates au niveau d'une soudure.

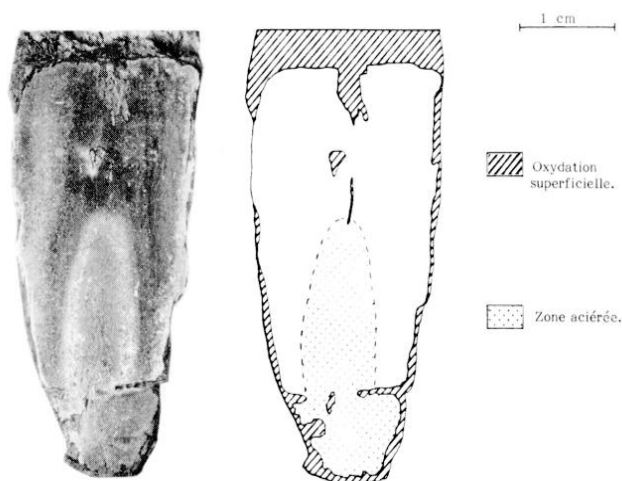


Fig. 7 - Section d'une extrémité de pointerolle.

Au cœur de l'insert, où la vitesse de trempe est la plus faible, nous observons (fig. 8) une perlite nodulaire, Hv = 350, dans un environnement bainitique. Cette structure laisse progressivement place, au voisinage de la surface de l'insert, à une structure entièrement bainitique, Hv = 690 (fig. 9). Au niveau de la soudure, les micrographies (fig. 10) mettent également en évidence la diffusion du carbone, à haute température, vers les grains de ferrite. La structure de bainite supérieure rencontrée, est celle d'un acier très dur (environ 0,7 % de carbone). Les aiguilles de ferrite, d'orientation primaire, se développent à partir des joints de grains de l'austénite.

Dans l'ensemble les structures ferritiques rencontrées (Hv = 180) présentent une cristallisation équiaxe indiquant une relative homogénéité du traitement thermomécanique. Les grains de ferrite sont de taille élevée, parfois millimétrique, ce qui montre un maintien important dans le domaine austénitique après le dernier corroyage.

La pointe de ces objets étant de composition voisine de celle de l'eutectoïde, il est nécessaire de réaliser une soudure fer/acier lors de l'élaboration de l'outil. La température requise pour réaliser une telle soudure est celle du « blanc soudant », ce qui correspond à une température de 1 200 à 1 400 °C pour le fer et de 830 à 1 000 °C pour l'acier (Fluzin, 1983). La période pendant laquelle le métal est susceptible de se souder dans les conditions ordinaires est appelée palier de soudabilité. Ce dernier est plus long pour le fer que pour l'acier (Lagardelle, s.d.). La soudure acier sur fer est donc la plus difficile à réaliser, car il faut que les deux métaux soient amenés en même temps à leur palier de soudabilité, ce qui exige un gros écart de température (Druot, 1934). De plus la formation d'oxyde sur les surfaces à souder empêche le contact intermétallique. C'est pourquoi il est nécessaire, pendant la chauffe, de parsemer de sable

les surfaces à réunir, de façon à faciliter l'éclatement de la couche d'oxyde. Le sable forme alors avec l'oxyde de fer un silicate fluide à haute température (fayalite :  $2\text{FeO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) qui est évacué par martelage sous forme de scories de forge et qui constitue les alignements d'inclusions au niveau des soudures (fig. 6). Dans l'ensemble, les soudures fer/acier de ces outils sont de bonne qualité (fig. 7).

Les observations effectuées sur les pointerolles semblent montrer un seul type d'élaboration primaire, correspondant à la mise en place au sein de la matrice ferritique, d'un insert en acier par une soudure en « gueule de loup ». On peut alors proposer le schéma de mise en forme suivant :

1<sup>re</sup> étape :

— formage séparé du corps ferritique et de l'insert carburé ;

2<sup>e</sup> étape :

— ouverture du corps en « gueule de loup » à l'aide d'une tranche à chaud (l'ouverture de la matrice est visible sur la section transversale de l'outil, (fig. 7) ;

— l'élément d'acier à rapporter est façonné de manière à remplir parfaitement l'intervalle de la fente ;

3<sup>e</sup> étape :

— on chauffe d'abord au rouge clair (environ 850 °C) la région des lèvres de l'ouverture et l'on referme celles-ci sur le morceau d'acier introduit dans la fente, ce dernier étant à la température ambiante (soudure « non à chaude portée ») ;

4<sup>e</sup> étape :

— soudage proprement dit par forgeage, l'écart de température introduit lors de la troisième étape est nécessaire pour que fer et acier atteignent en même temps leurs paliers de soudabilité ;

5<sup>e</sup> étape :

— poinçonnage de l'œil ;

6<sup>e</sup> étape :

— façonnage de la pointe ;

7<sup>e</sup> étape :

— réalisation de la trempe.

L'examen micrographique montre que la soudure acier sur fer était parfaitement réalisée, ce qui dénote d'une grande habileté du forgeron. Quelques défauts subsistent cependant ; le cliché de la figure 7 révèle que l'ouverture de la pointe en « gueule de loup » était trop importante pour y loger l'insert, cette ouverture se prolongeant jusqu'à l'œil. Ceci a pour conséquence l'obligation de réaliser dans le même temps que la soudure fer/acier une soudure fer/fer

dans des conditions non optimales, ce qui provoque les imperfections observées.

Afin de saisir avec un maximum de fidélité et d'honnêteté l'information que contient l'objet archéologique, et d'éviter bon nombre de formulations intellectuellement séduisantes mais sans fondement technologique, nos hypothèses concernant les techniques de mise en forme devraient être confrontées aux réalités technologiques de la forge artisanale traditionnelle. Des reconstitutions devraient être tentées afin de reproduire à la fois les formes et les structures observées en utilisant un matériel de base très proche de celui des forgerons de ces époques (Fluzin *et coll.*, 1983). Notons à ce propos que, compte tenu des conditions extrêmement précises requises pour travailler le fer, l'outillage a étonnamment peu évolué tant que l'artisanat de la forge fut pratiqué (Mohen, 1980).

#### 4 - Utilisation de l'objet

Les déformations introduites lors de l'élaboration primaire de l'outil, c'est-à-dire par le forgeron, ne



Fig. 8 - Perlite nodulaire et bainite.

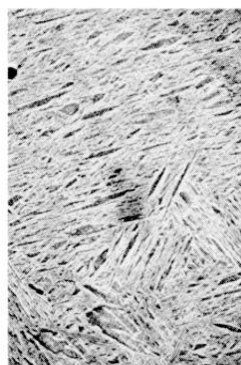


Fig. 9 - Bainite.

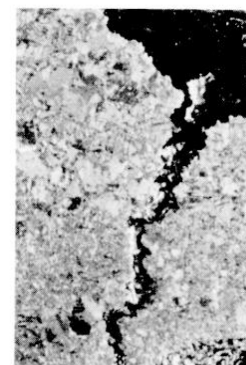


Fig. 11 - Fissure intergranulaire localisée dans la zone acérée d'une pointerolle.

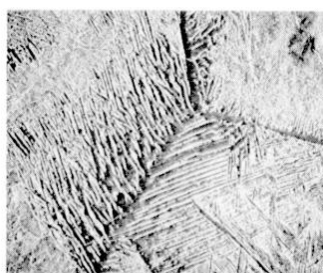


Fig. 10 - Ferrite aciculaire.

sont, en général, pas accessibles. Comme nous l'avons remarqué précédemment, la taille élevée des grains ferritiques laisse penser à un maintien important dans le domaine austénitique. La recristallisation secondaire qui se développe alors annihile les déformations antérieures. De même, pour la pointe, le forgeron effectue toujours une chauffe après le dernier corroyage afin de réaliser une bonne trempe.

Nous nous sommes donc particulièrement intéressés aux déformations introduites dans l'outil lors de son utilisation. Celles-ci sont essentiellement dues aux chocs violents et répétés du marteau sur la surface de frappe des outils. Nos observations portent en premier lieu sur la pointe de l'objet en acier, *organe de transmission du choc*, puis sur la tête ferritique, *organe récepteur du choc*.

Les pointes aciérées de ces outils présentent toutes des structures de trempe sans revenu d'adoucissement, ce qui leur confère une dureté élevée mais aussi une grande fragilité. L'observation de la figure 11 est à cet égard très significative. On remarque, en effet, une importante fissure intergranulaire localisée dans la pointe de l'objet. La profondeur de cette fissure intéresse environ la moitié de l'outil qui était donc près de se rompre lors de son abandon. On notera qu'une telle morphologie de fissure, qui semble par ailleurs posséder des fronts de propagation plus ou moins réguliers, pourrait accréditer l'hypothèse d'un endommagement par fatigue mécanique consécutif aux chocs répétés avec une violence inégale. L'examen du faciès de rupture, qui aurait pu lever l'ambiguïté n'a pas pu fournir d'information compte tenu de la corrosion.

Les têtes ferritiques de ces outils, organes récepteurs du choc, présentent toutes un « fort couronnement » de la surface de frappe : la figure 4, le met particulièrement bien en évidence. L'examen microscopique de cet outil montre un écroissage très important (fig. 12) intéressant une profondeur supérieure à trois millimètres. On observe, en outre, sur le même cliché, un écrasement des grains ferritiques au niveau des inclusions de silicates non déformées à la température de travail (température ambiante).

On observe également au centre de la tête ferritique de ces objets, des structures particulières (fig. 13). Des observations identiques ont déjà été faites par P. Fluzin *et coll.* (1983) sur des talons de lances gaulois et par L. Uran (1983) sur des épées gauloises, et interprétées comme étant des macles mécaniques. De nombreux travaux sur le maillage du fer  $\alpha$  ont déjà été publiés. En règle générale, les macles étudiées ont été formées à basses températures (inférieures à  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Cependant, Jaoul (1965) a observé le développement de macles à la température ambiante ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) à partir d'une vitesse de déformation de  $45.10^{-3}\text{S}^{-1}$ . Pour notre part, nous observons des macles dans pratiquement tous les

échantillons ferritiques à gros grains. L'hypothèse la plus vraisemblable quant à leur formation est une forte vitesse de déformation à la température ambiante. Ces structures sont donc vraisemblablement survenues lors de l'utilisation de ces outils (chocs). Des essais de reconstitution (coups de marteau sur un échantillon de fer protohistorique) accréditent cette affirmation. Nous avons, en effet, obtenu des macles dans des conditions de température de frappe évoluant entre  $20$  et  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  (fig. 14). La très forte vitesse de déformation (chocs violents) semble être suffisante pour permettre la formation de macles jusqu'à des températures relativement élevées. Ce dernier point nous paraît être particulièrement intéressant, compte tenu des connaissances bibliographiques actuelles : une augmentation importante de la vitesse de déformation favorise donc l'apparition du phénomène de maillage dans le fer  $\alpha$  et permet même son obtention à température élevée si la vitesse est suffisante.

## 5 - Réparation de l'objet

Une grosseur de grain élevée, incompatible avec une bonne tenue mécanique, des soudures de qualité



Fig. 12 - Écroissage des grains ferritiques au voisinage de la surface de frappe.

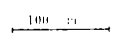


Fig. 13 - Structures ferritiques maillées.

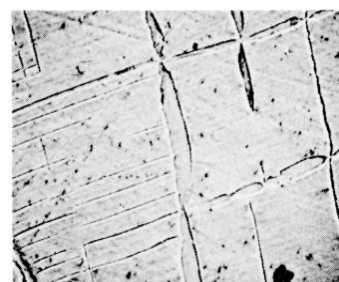
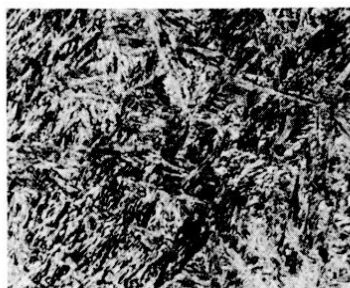


Fig. 14 - Macles obtenues aux fortes vitesses de déformation à environ  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  lors d'essais de reconstitution.

très inégales et des structures de trempe de dureté élevée présentant une certaine fragilité entraînent l'utilisation d'outils aux caractéristiques mécaniques médiocres. Ces objets devaient donc s'user ou se rompre rapidement d'autant plus que leur usage était intensif.

Les comptes relatifs à cette exploitation minière (Pampailly) (Rendu, 1985) donnent une bonne indication de la durée de vie des pointerolles : « ... que chacun desdits ouvriers soit toujours pourvu pour son ouvrage d'un martel et d'une *douzaine de coignetz* qui luy sera délivrée en la forge, en telle manière que par faute desdits martel et coignetz, il n'ait cause de chommer ne perdre temps... ».

Le forgeron, en plus de l'élaboration des outils, devait donc les entretenir chaque jour ; et leurs nombres pouvaient devenir vite important. Le fer et surtout l'acier étant à l'époque des matières premières coûteuses, on conçoit que ces outils puissent comporter de nombreuses traces de réparation au niveau de la pointe aciérée.



15 μm

Fig. 15 - Martensite : extrême pointe.

En pointe de l'insert, deux fissures fortement oxydées délimitent une plage de structure particulière. La microdureté élevée de cette zone,  $H_v = 1\ 020$ , et le faciès de la microstructure indiquent qu'il s'agit de martensite (fig. 15). Cette structure, caractéristique d'une grande vitesse de refroidissement (environ  $100\ ^\circ\text{C/s}$ ), s'obtient par trempe à l'eau. En fait la pointe devait être entièrement trempée. La forme de cet îlot martensitique et la limite très franche entre martensite et bainite nous incitent à penser que nous sommes en présence de deux aciers de composition différente. Dans cette hypothèse, l'îlot martensitique proviendrait d'un rechargement de la pointe après rupture, ce qui indiquerait une réparation probable de l'outil.

Nous avons observé l'existence probable d'une cémentation volontaire. Ainsi la figure 16 nous montre une répartition assez particulière de la zone carburée. La partie en bordure de coupe, plus sombre sur le schéma, limitée par une fine fissure corrodée est entièrement composée de martensite,  $H_v = 890$ . Cet îlot martensitique doit correspondre à un ancien insert, usé ou rompu à la suite de l'utilisation de l'outil. La zone plus claire est composée de bainite,  $H_v = 545$ . Le cliché en regard (fig. 16) met en évidence des plages bainitiques de dimensions importantes (environ  $1\ \text{mm}^2$ ), reflet de la grosseur des grains de la phase de haute température. Cette partie correspond vraisemblablement à une zone cémentée afin de prolonger la durée de vie de l'outil.

De plus à chaque passage à la forge la tête écrouie de ces outils est refaçonée.

## CONCLUSIONS

La caractérisation de ces structures que nous venons brièvement d'examiner est donc assez précise. Toutefois, leurs relations avec les faits techniques sont plus problématiques. En effet, après réduction du minerai, l'élaboration peut comporter de nombreuses étapes simultanées ou successives ; épuration du lingot, puis mise en forme de l'objet à partir du lingot. Suivant les températures de travail nécessaires à ces opérations, la structure que nous observons peut donc être issue d'une série de transformations, ce qui rend l'interprétation d'autant plus délicate (il ne faut d'ailleurs pas exclure d'éventuelles réparations).

Face à ces incertitudes, nous avons choisi de confronter les hypothèses de fabrication déduites de la « lecture structurale » à la reconstitution expérimentale chaque fois que cela est possible. Ceci nous permet également d'appréhender la difficulté techni-

Oxydation superficielle    Insert martensitique    Zone cémentée

2 mm

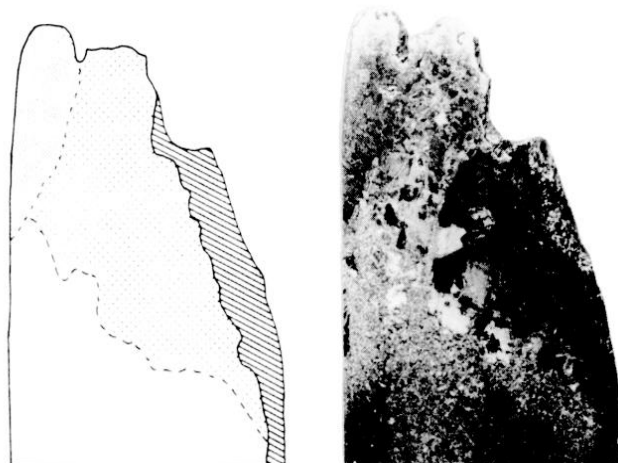


Fig. 16 - Réparation par cémentation.

que de la mise en forme de l'objet en fonction de sa morphologie, de la quantité et de la qualité du métal (nombre de chaudes...). Notons qu'il est difficile aujourd'hui, de trouver des nuances industrielles de compositions voisines de celles utilisées aux époques considérées, ce qui complique considérablement l'opération de reconstitution expérimentale.

L'étude analytique de l'objet, peut quant à elle, apporter un ensemble d'informations relatives à la composition du métal, et à l'environnement archéologique. Ce dernier n'est appréciable que dans la mesure où la couche superficielle n'a pas été affectée par un traitement de conservation ou de restauration (décapage, résine...).

Nous espérons avoir montré combien était grande l'expérience de ceux qui ont fabriqué ces objets et combien est aujourd'hui délicate leur interprétation. Comme l'indique Simondon (1969, 46), l'objet technique aussi simple soit-il ne sera jamais « complètement connu » ! Un important travail de collaboration interdisciplinaire est donc indispensable pour comprendre et partager la connaissance que nous avons de l'origine de nos technologies.

I. GUILLOT

Université de Technologie de Compiègne,  
B.P. 233, 60206 Compiègne Cedex

P. FLUZIN

Université de Technologie de Compiègne,  
Antenne de Sevenans,  
B.P. 449, 90008 Belfort Cedex

AGRICOLA G. (1980) — *De Re Metallica*. Traduction allemande dans D.T.V., München.

ANDRIEUX P. (1986) — *Expérimentation des fourneaux métallurgiques : problèmes dynamiques et production*. Symposium Archäometallurgie von Kupfer und Eisen in Westeuropa, Mainz, september 1986.

BARRANDON J.-N. (1982) — *Apport des méthodes physiques à l'étude des mines et métaux antiques*, Mines et fonderies antiques de la Gaule. Table ronde du C.N.R.S. Université de Toulouse le Mirail, novembre 1980, Éditions du C.N.R.S., pp. 281-291.

FERCOO G., FLUZIN P., CODDET C. (1983) — *Évolution et reconstitution du bas fourneau*. Actes des journées de paléomé-tallurgie, Université de Technologie de Compiègne, pp. 39-50.

FLUZIN P. (1983) — *Notions élémentaires de sidérurgie*. Métallurgies Africaines, Nouvelles contributions, Mémoires de la société des Africanistes, 9, pp. 13-44.

FLUZIN P., URAN L., CODDET C., BÉRANGER G. (1983) — *Structure et mise en forme d'armes gauloises*. Revue archéologique de Picardie, n° 1, pp. 181-194.

FLUZIN P., GUILLOT I., BÉRANGER G. (1983) — *Problématique de la restitution historique des différentes étapes d'élaboration et de transformation de l'objet métallique en fer*. Actes du colloque Franco-Africain, à paraître.

JAOUÉ B. (1965) — *Étude de la plasticité et application aux métaux*. Paris, Dunod.

LAGARDELLE G. — *Manuel du forgeron*. Paris, Bibliothèque professionnelle, seconde édition, s.d.

MOHEN J.-P. (1980) — *L'âge du fer en Aquitaine du VIII<sup>e</sup> au III<sup>e</sup> siècle avant J.-C.* Mémoire de la société Préhistorique Française, Tome 14, Paris.

MOLLAT M. (1953) — *Les affaires de Jacques Cœur, Journal du procureur Dauvet*. Paris.

RENDU A.-T. (1985) — *Comptes d'exploitation des mines de Pampailly et de Joux en Lyonnais*. Thèse de troisième cycle, Université de Paris I.

SIMONDON G. (1969) — *Du mode d'existence des objets techniques*. Collection Analyse et Raison, Paris.

URAN L. (1983) — *Contribution à l'étude paléomé-tallurgique du fer : structures d'épées celtiques*. Thèse de docteur-ingénieur, Ruine des structures mécaniques, Compiègne, 21 février 1983.