



HAL
open science

Structures et mises en forme d'armes gauloises

Philippe Fluzin, Laurent Uran, Gérard Béranger, Christian Coddet

► To cite this version:

Philippe Fluzin, Laurent Uran, Gérard Béranger, Christian Coddet. Structures et mises en forme d'armes gauloises. Revue archéologique de Picardie, 1983, Les Celtes dans le nord du bassin parisien. Actes du Ve colloque de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, 1, pp.181-194. 10.3406/pica.1983.2995 . hal-02536307

HAL Id: hal-02536307

<https://hal.science/hal-02536307>

Submitted on 8 Apr 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

STRUCTURES ET MISE EN FORME D'ARMES GAULOISES

par P. FLUZIN et L. URAN, G. BERANGER, C. CODDET *

I. INTRODUCTION

L'étude de la métallurgie antique permet de mettre en évidence certains aspects parfois méconnus des origines de nos technologies. Après avoir atteint un niveau de perfectionnement élevé au II^e et au début du I^{er} millénaire avant notre ère, le travail du bronze a progressivement laissé place à celui du fer pour la fabrication d'armes et de divers accessoires métalliques. Mais c'est avec l'expansion des populations celtiques à partir du VI^e siècle avant notre ère que la métallurgie du fer a réellement connu son développement en Occident. Les débuts de cette métallurgie nous sont encore peu connus, essentiellement à cause de l'état d'altération plus ou moins prononcé dans lequel nous parviennent les objets archéologiques qui sont victime d'un processus de reminéralisation (corrosion) dans les sols.

La découverte exceptionnelle de GOURNAY-sur-ARONDE nous livre un matériel varié et abondant, dont la chronologie offre la particularité de s'étendre sur plus d'un siècle et demi, et recèle de ce fait un potentiel d'informations considérable tant du point de vue archéologique que scientifique.

La valeur documentaire des objets étant bien souvent tributaire de l'esprit et des moyens dont on dispose pour la découvrir (Mohen, J.-P., 1980, p. 17), nous nous sommes attachés à employer les techniques d'analyse et d'observation les plus modernes dont nous pouvons disposer aujourd'hui. Chaque objet est ainsi étudié à la fois d'un point de vue archéologique et paléométallurgique, puis restauré par le même chercheur afin de collecter le maximum d'indices et minimiser les risques d'interprétations erronées.

"Traduction physique d'un système intellectuel" (Simondon, 1969, p. 46), l'objet technique est le témoin d'une culture dont nous sommes aujourd'hui les dépositaires (savoir-faire d'origine empirique ou règles pratiques tirées d'une recherche scientifique). Une société technologique ne peut en effet surgir du néant ! Elle est le fruit de l'aptitude des hommes à comprendre et à communiquer leur savoir-faire.

* P. FLUZIN et L. URAN appartiennent simultanément au Laboratoire de Métallurgie et de Physico-chimie des Matériaux de l'Université de Technologie de COMPIÈGNE et à l'Institut de Recherches Archéologique et Paléométallurgique de COMPIÈGNE. L'étude métallurgique a été réalisée au Laboratoire de Métallurgie et de Physico-chimie des Matériaux sous la direction de G. BERANGER et C. CODDET.

Tout pourrait sembler relativement simple en ce qui concerne la sidérurgie et la métallurgie du fer et pourtant, il fallait une grande habileté pour fabriquer un fer de qualité convenable. La rusticité des moyens, à l'origine, cache la complexité des opérations (Sutterlinc, 1981). Les progrès techniques furent très lents depuis le premier Age du Fer. On passa progressivement du fer puddlé à l'acier cimenté (Maddin R., 1977, pp. 12-20), au corroyage puis à l'acier fondu, dont la première coulée ne fut réalisée qu'en 1760.

Notre démarche pour l'étude des objets de GOURNAY-sur-ARONDE s'appuie sur le cycle thermodynamique de l'objet décrit ci-dessous, avec deux objectifs principaux :

- la restitution des différentes étapes d'élaboration des objets ;
- la compréhension des processus de détérioration afin de lutter plus efficacement contre celle-ci.

Ce programme relativement ambitieux comporte un grand nombre d'axes de recherche et nécessitera encore de longues années de travail. Dans cette communication nous ne présenterons donc qu'un aperçu des différentes recherches entreprises, en privilégiant cependant les études métallurgiques et technologiques des épées, des pointes et des talons de lances plus avancées à ce jour.

II. LE CYCLE THERMODYNAMIQUE DE L'OBJET

La phase initiale de l'Art des Métaux (Crussard, C., 1982, pp. 57-66) est la métallurgie extractive et la production de métal brut. Le minerai se présentant le plus souvent sous la forme d'oxyde, l'opération, dans cette première phase, consiste en une réduction à haute température. Mais l'histoire thermodynamique du métal ne s'arrête pas avec la fabrication de l'objet. En effet, ces matériaux "vivent" dans un environnement qui contient précisément l'élément (l'oxygène) dont on les a séparés à grand peine pour les produire ; ils tendent donc à s'y recombinaient spontanément en s'oxydant. Le "cycle de vie" d'un objet métallique peut ainsi être considéré comme le suivant : issu de la réduction du minerai par la volonté humaine, il retourne irrémédiablement à son point de départ (état minéral) sous l'influence du milieu (cf. pl. 1, fig. A). Notons que la réduction du minerai s'effectuait sans passer par la fusion, techniquement impossible à l'époque.

PLANCHE 1

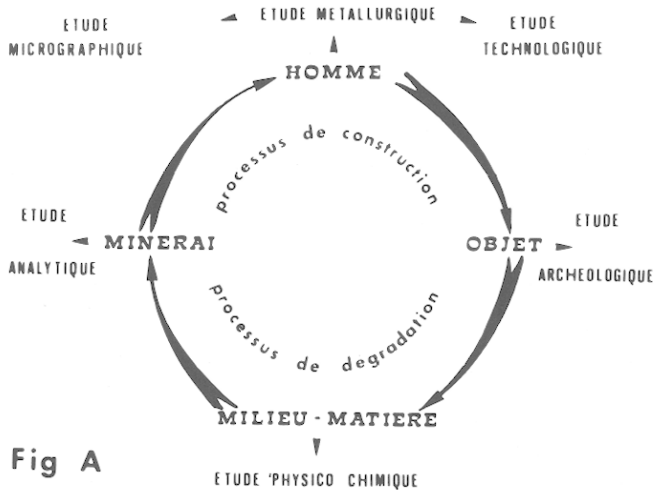


Fig A

DIAGRAMME D'EQUILIBRE FER-CARBONE PARTIEL

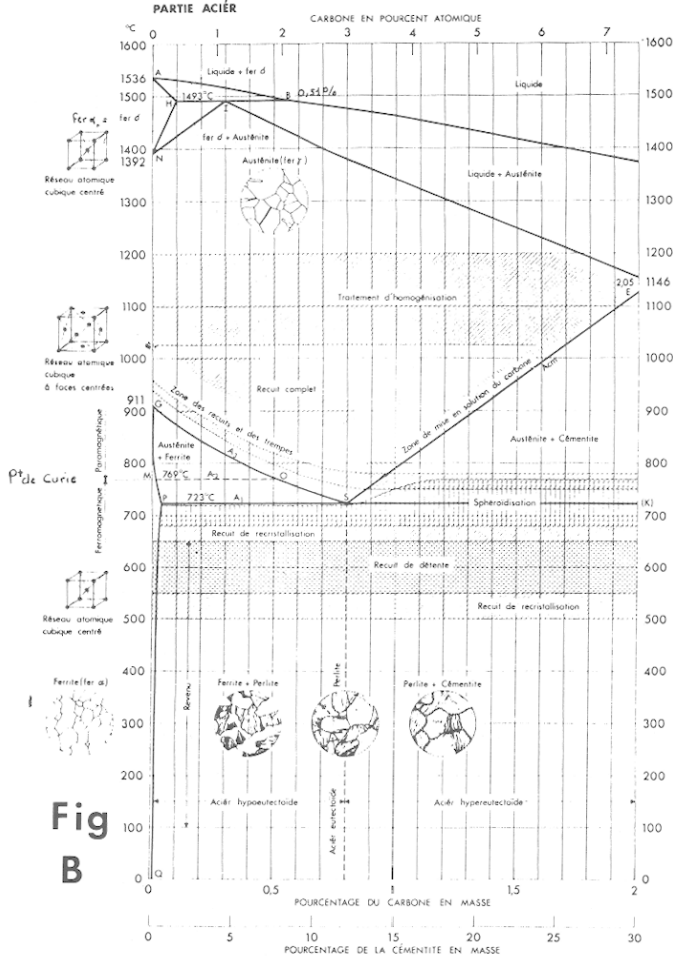
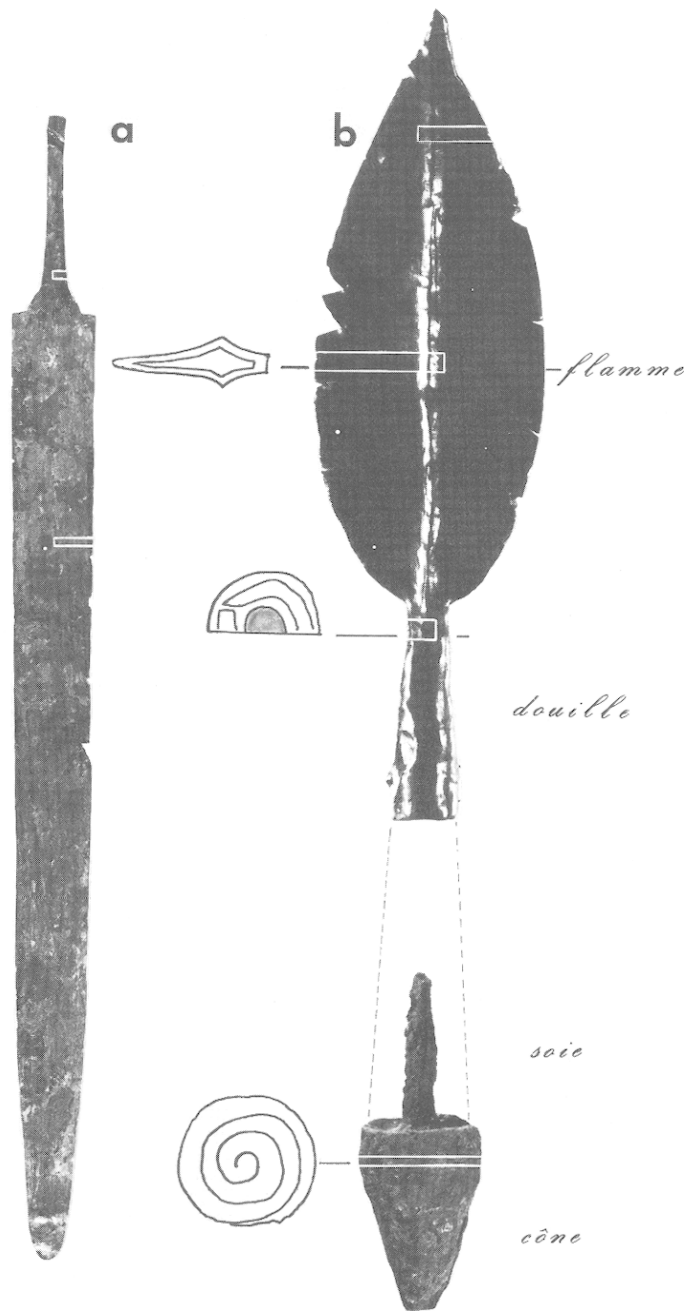


Fig B

PL. 1 : le cycle thermodynamique de l'objet.

Au cours de nos recherches paléométallurgiques nous distinguerons deux processus antagonistes : le processus de fabrication, ayant pour vecteur principal l'homme, et le processus de dégradation, conditionné par le couple milieu/matière. Les études à caractère métallurgique sont entreprises à partir de micro-prélèvements réalisés dans les objets comportant encore une âme métallique dont l'importance est déterminée par un examen radiographique préalable. Ces prélèvements sont effectués en divers endroits afin de matérialiser d'éventuelles particularités liées aux spécificités

fonctionnelles des armes considérées (armes d'estoc ou de tranchant par exemple) (cf. pl. 2, fig. A et B).



PL. 2 : nature et localisation des prélèvements.

II.1. Etudes analytiques

L'objectif principal est de déterminer la nature des minerais utilisés afin, dans la mesure du possible, d'identifier et de localiser les gisements. Les moyens mis en œuvre sont la spectrométrie des rayons X et la spectrométrie d'absorption atomique, effectuées sur le métal en insistant particulièrement sur les nombreuses inclusions emprisonnées lors de l'élaboration de l'objet.

Il est à cet égard important de considérer que les températures maximales obtenues dans les fours de l'époque ne dépassaient probablement pas 1200° (Maréchal, 1975, Forbes, 1950 et Tylecotte, 1976). La température de fusion du fer étant de 1537° (cf. pl. 1, fig. B), le feron retirait donc du four une masse de fer spongieuse, la loupe, agglomérée à des substances

non métalliques, les scories, qu'il fallait ensuite évacuer par martelage (puddlage).

Ce sont, d'une part, les conditions de réduction, c'est-à-dire essentiellement la température atteinte dans les fours (soufflage, dimensions ...) et, d'autre part, la composition du minerai qui jouèrent le rôle essentiel dans le développement de la métallurgie extractive à travers les siècles (Cleere, 1972).

La nature et la concentration des éléments présents dans le minerai jouent en effet un rôle important sur son processus de réduction, le travail de forge, les traitements thermiques éventuels, ainsi que les propriétés mécaniques associées et la tenue à la corrosion. C'est ainsi que la présence de phosphore en teneur supérieure à 0,1 % mais inférieure à 0,3 % favorise le soudage à chaud, mais peut interdire la fabrication de l'acier. Le manganèse permet la fabrication d'acier dit naturel par son action rétentrice sur le carbone. Il est possible que ces notions aient été connues de façon empirique à l'époque (France Lanord, 1956, pp. 27-43), de même qu'il est probable que certaines "fournées" aient été réservées, suivant le minerai et la qualité de son travail, à des fabrications spécifiques.

Les premiers résultats obtenus à partir du matériel de GOURNAY (P. Fluzin, DEA 1980) ne nous permettent pas encore d'infirmer ou de confirmer ces hypothèses, compte tenu du nombre insuffisant de mesures. Il semble toutefois, en ce qui concerne un certain nombre d'analyses réalisées sur des talons de lances, que le minerai employé soit relativement riche en manganèse et exempt de phosphore. On constate cependant certaines différences de compositions (présence ou non d'aluminium ou de titane ...) qui incitent à considérer ces résultats avec prudence. En effet, les minerais de fer que l'on trouve en France sont d'une extrême variété ; les variantes locales, hormis les grosses exploitations, étaient en nombre quasi égal au nombre des forges. Seuls un vaste programme d'analyses systématiques et un traitement statistique, qui nécessiteront encore plusieurs années de travail, pourront permettre de formuler des hypothèses quant aux origines des objets étudiés.

II.2. Etudes structurales

La structure d'un métal étant conditionnée par les traitements thermomécaniques subis par le matériau, il est possible, à partir d'observations structurales, de déterminer en partie l'histoire thermomécanique de l'objet, c'est-à-dire les différentes étapes probables de sa mise en forme. Toutefois, après réduction du minerai, l'élaboration de l'objet peut comporter plusieurs étapes simultanées ou successives : à savoir la mise en feuilles ou en lingot, puis la mise en forme proprement dite de l'objet à partir du lingot. La structure que nous observons peut donc être issue d'une série de transformations, ce qui rend l'interprétation délicate.

Nos observations en microscopie optique sont, d'une part, macrographiques en lumière rasante afin de révéler l'organisation de la texture du métal, et micrographiques, d'autre part, pour préciser la nature de la cristallisation.

II.3. Etudes technologiques

Les études précédentes, ainsi que l'observation de

l'aspect des soudures, des alignements d'impuretés et des orientations structurales, permettent de faire un certain nombre d'hypothèses concernant la mise en forme des objets.

Afin d'appréhender 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 sont confrontées aux réalités technologiques de la forge artisanale traditionnelle. Nous tentons en effet des reconstitutions afin de reproduire à la fois les formes et les structures observées. Nous utilisons à cette fin un certain nombre d'outils très proches du matériel de base dont disposait le forgeron gaulois (Pleiner, 1958, 1962). 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, 1981, p. 38).

II.4. Etude physico-chimique

Les objets archéologiques, outre leur intérêt historique, peuvent également concerner directement les préoccupations scientifiques d'aujourd'hui.

En effet, enfouis dans le sol pendant plus de deux millénaires, les objets métalliques de GOURNAY ont subi un vieillissement difficile à reproduire en laboratoire. Il est donc particulièrement intéressant d'étudier leur mode de dégradation (corrosion dans les sols, corrosion bactérienne ...) pour mieux comprendre l'évolution future de nos ouvrages métalliques, sans avoir recours à des essais accélérés dont l'interprétation est toujours délicate, voire incertaine.

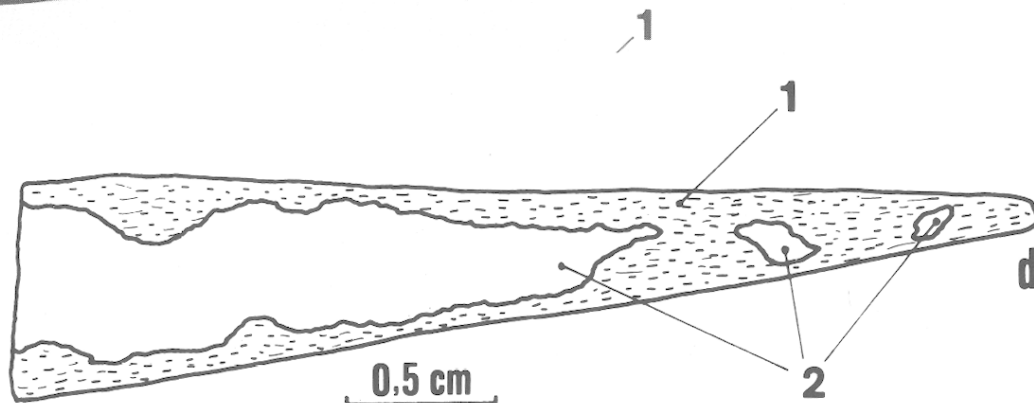
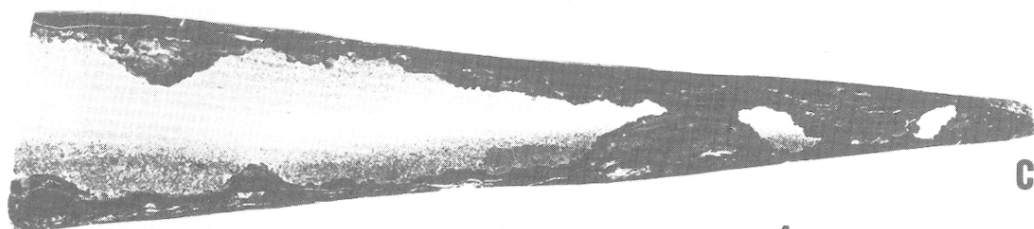
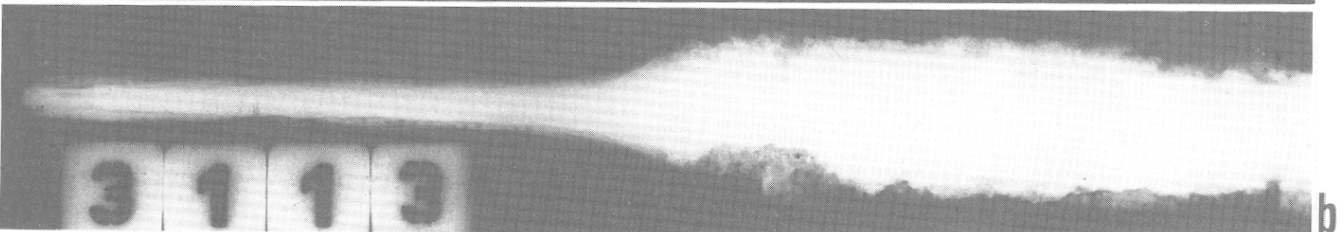
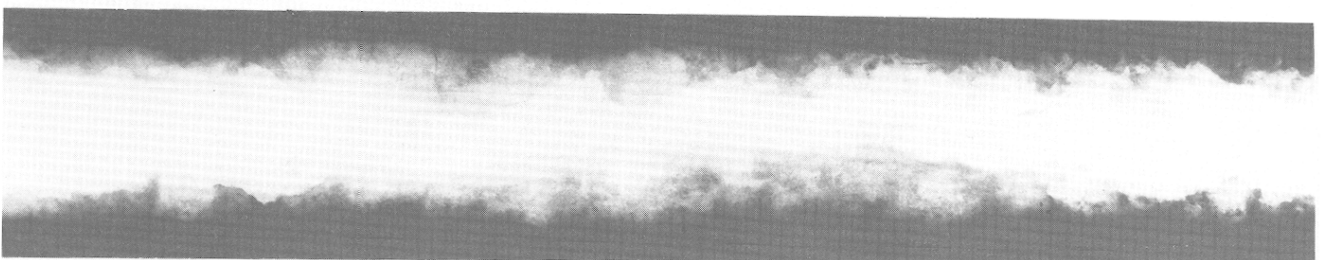
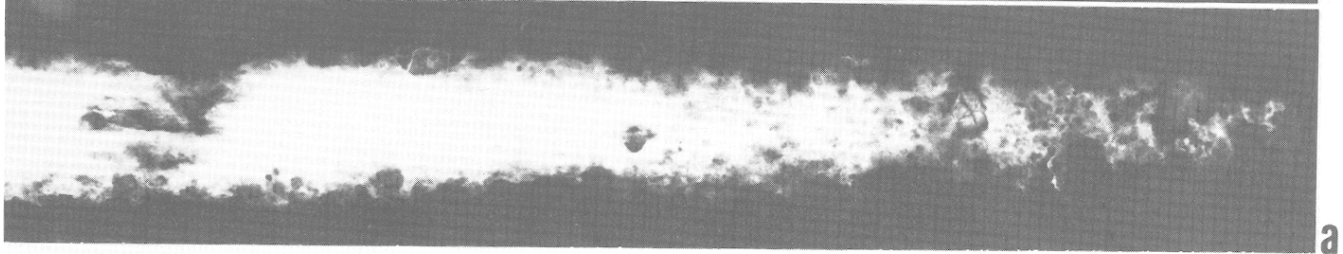
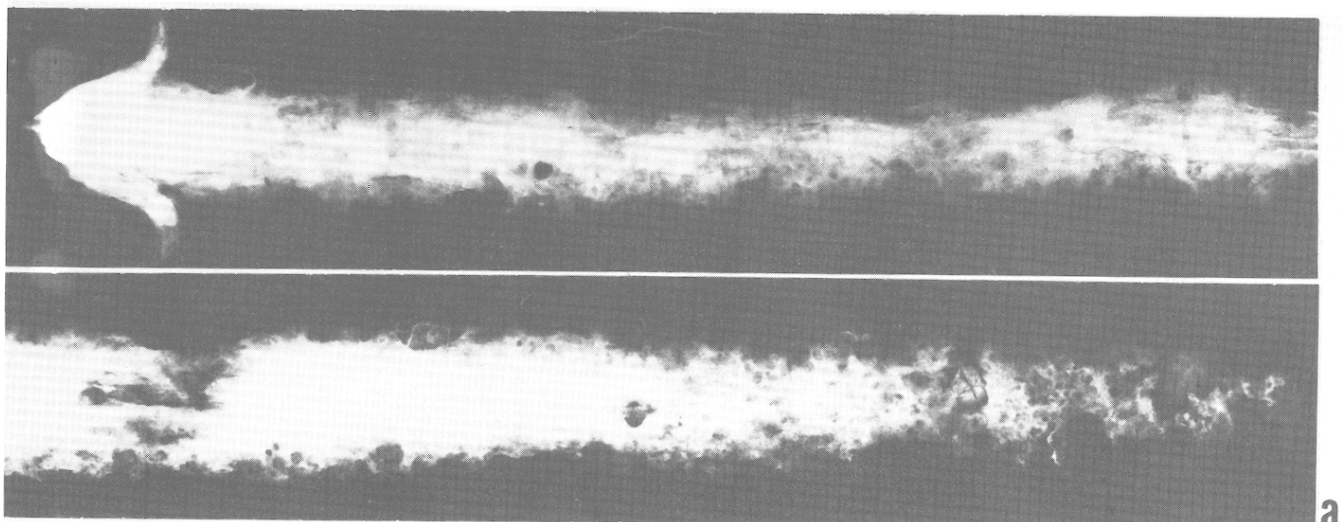
D'autre part, une fois les objets exhumés, l'état stationnaire qui s'était progressivement établi entre eux et leur environnement est brusquement rompu, occasionnant dans la plupart des cas une brusque accélération du processus de corrosion.

Les études effectuées consistent donc essentiellement à analyser qualitativement et quantitativement le métal résiduel, les produits de corrosion et les sols du site, en vue de déterminer les mécanismes de corrosion.

III. APPLICATION A L'ÉTUDE MÉTALLURGIQUE DES ÉPÉES ET DES POINTES ET TALONS DE LANCES

III.1. Mode de prélèvement des échantillons

Les épées découvertes à GOURNAY-sur-ARONDE comportent en général encore suffisamment de métal non oxydé pour permettre une étude métallurgique significative. Cependant, l'importance de la corrosion est telle qu'il est nécessaire de procéder à un examen radiographique préalable. Celui-ci révèle d'une part la morphologie réelle de la lame, parfois masquée par une gangue importante de produits d'altération, les éventuelles traces de mutilation sacrificielle (crantage des bords de la lame), et, d'autre part, l'importance des zones métalliques résiduelles (cf. pl. 3). Ceci permet de déterminer, en fonction de la spécificité de l'épée, les emplacements où il est en effet préférable d'examiner un échantillon comportant une zone métal-



PL. 3 : - Figures A et B : Radiographies d'épées. - Figures C et D : Prélèvement sur une demi-section de lame d'épée - C, échantillon après attaque chimique. - D, 1 - zone corrodée, 2 - zones métalliques.

lique maximale sur l'ensemble de la section, afin de réduire les pertes d'information dues à la corrosion (Uran, L., 1979). En général, nous prélevons des demi-sections selon le sens âme-fil de l'épée. Ces sections étant partielles, elles respectent la morphologie de l'objet, et, d'autre part, il est possible de les répéter éventuellement à différents niveaux de la lame et de la soie (cf. pl. 2) (Pleiner, R., Schulz, E.-H., 1965).

En ce qui concerne les pointes de lance, les prélèvements sont effectués généralement en trois points (cf. pl. 2) : à la pointe de la flamme, en son milieu et au niveau du raccord douille-flamme.

III.2. Etude structurale

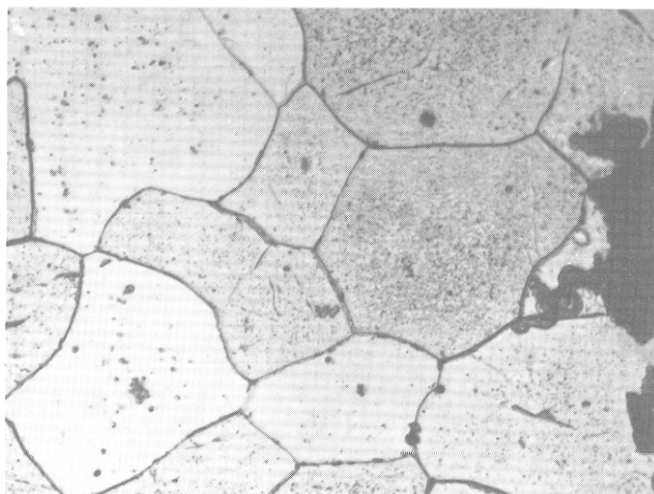
Dans l'ensemble, les structures observées sont du type hypoeutectoïde et parfois eutectoïde (pourcentage de carbone inférieur ou égal à 0,8 %) (cf. pl. 1, fig. B). Les structures ferritiques présentent souvent de nombreuses inclusions de scories emprisonnées dans la texture du métal lors de son élaboration et déformées selon le sens du martelage (cf. pl. 5, fig. A). Parfois, en particulier dans le cas des pointes de lance, elles sont d'une étonnante pureté, conséquence d'un travail en forge particulièrement soigné (cf. pl. 4, fig. A).

Ces objets ainsi composés pratiquement de fer pur ont probablement subi une décarburation par suite des chauffes successives. Ils possèdent de ce fait une souplesse importante, mais ont une assez mauvaise résistance mécanique et se déforment relativement facilement. C'est sans doute de telles armes qui ont justifié le récit de Polybe (II, 33) sur la qualité des épées gauloises : "Leurs épées, comme il a été dit déjà, n'ont d'efficace que leur premier coup et ensuite s'émeussent, se recourbant dans le sens de la longueur et de la largeur de sorte que si l'on ne donne pas à qui s'en sert le temps de la redresser avec le pied en l'appuyant sur la terre, le second coup est totalement inefficace".

De telles armes ont cependant une résistance à la corrosion beaucoup plus importante que les fers aciérés (Roualet, Rapin, Fluzin, Uran, 1981). La taille, la morphologie et l'orientation du grain de ferrite nous permettent également de déduire quelques informations quant à la mise en forme de l'objet. En effet, le grain est d'autant plus petit qu'il a subi un martelage important et qu'il s'est refroidi plus vite. C'est généralement ce que l'on constate à la superficie des pointes de lance (cf. pl. 4, fig. B). L'orientation préférentielle des grains indique clairement le sens de la mise en forme. La présence de macles dans certains grains de ferrite (cf. pl. 4, fig. C) indique, quant à elle, un travail de mise en forme réalisé à relativement basse température.

En ce qui concerne les fers plus aciérés, qui sont relativement courants, nous trouvons fréquemment des associations ferrite + perlite (acier hypoeutectoïde) et, plus rarement, une perlite lamellaire généralisée (cf. pl. 6, fig. C). Des structures particulières, comme la structure de Widmanstätten (cf. pl. 6, fig. A et B), peuvent être le résultat d'une surchauffe locale. On les trouve le plus souvent à proximité des zones de soudure. Nous n'avons, jusqu'à présent, pas mis en évidence sur de tels aciers de structures bainitiques ou martensitiques pouvant indiquer l'utilisation de certains traitements thermiques de trempe, volontaire ou accidentelle. Notons toutefois qu'un certain nombre d'informations ne sont plus accessibles, compte tenu

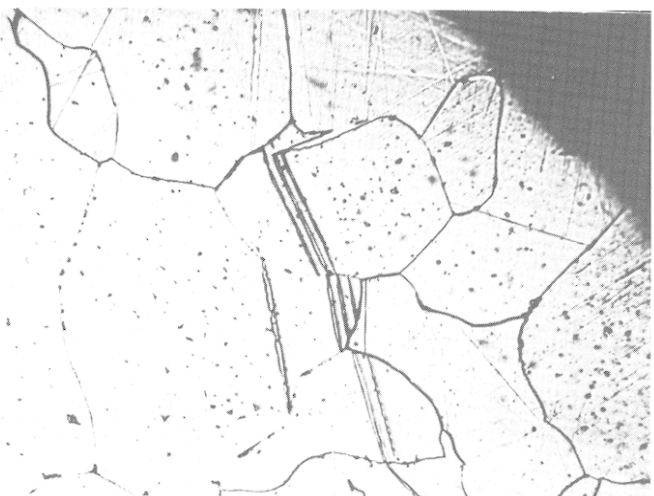
LE FER PUR la Ferrite



60 μm A

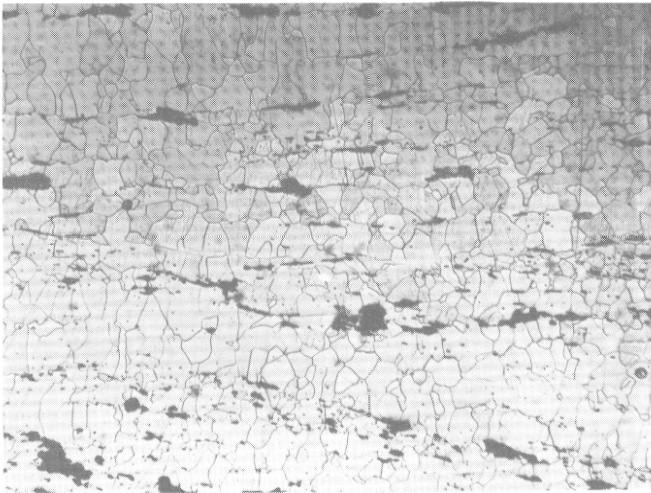


100 μm B

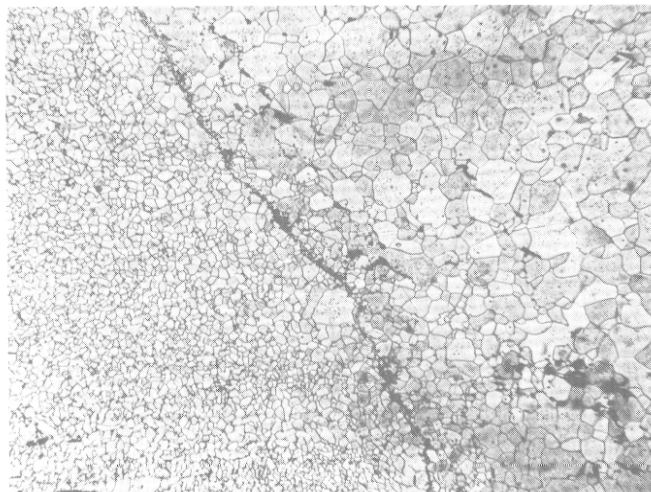


100 μm C

PL. 4 : -B : Inégalité dans la grosseur du grain. -C : Macles résultant d'un travail à faible température.



A 200 μm



B



C

de la dégradation des zones superficielles de l'objet. Par exemple, la mise en évidence d'un traitement de cémentation serait délicate.

Lorsque la feuille métallique présente une épaisseur importante, on constate généralement une relative hétérogénéité de constitution (structure, inclusions ...). Les objets sont bien souvent constitués d'associations de feuilles métalliques présentant ou non des structures différentes (France Lanord, 1964). Ceci pourrait traduire le souci d'une plus grande homogénéité du métal, beaucoup plus facile à épurer lorsqu'il est mince.

PL. 5 : Figure **A** - Inclusions de scories déformées par le martelage. - Figure **B** : Soudure. - Figure **c** : Variation de la taille des grains de ferrite.

PL. 6 : Structure proche de l'eutectoïde (intérieur à 0,8 % de carbone). **B** - Structure de Widmanstätten indiquant une surchauffe locale probable. **C** - Perlite lamellaire généralisée.

LE FER ACIÉRÉ



100 μm **A**



40 μm **B**



20 μm **C**

LES SOUDURES

Nous observons entre les feuilles des soudures imparfaites (cf. pl. 7, fig. A) non interrompues, témoins probables de la mise en forme de l'objet et d'autres, localement parfaites, probablement issues de l'élaboration du lingot de base par replis successifs d'une feuille métallique (cf. pl. 7, fig. B). Quelques-unes sont si parfaites qu'il est très difficile d'en suivre la ligne ; elles ne sont en fait révélées que par la juxtaposition de structures différentes (pl. 7, fig. C).

La qualité inégale des soudures entre les feuilles illustre la difficulté technique que représente le soudage, notamment dans le cas d'aciers de structure et de compositions variées. Il faut en particulier éviter au maximum la formation d'une couche d'oxyde entre les deux feuilles à souder. Quelques grains de silice retrouvés localisés dans une soudure relativement grossière peuvent peut-être indiquer que la technique du jet de sable était connue ! L'emploi de fondants ne peut cependant être jusqu'à présent infirmé ou confirmé avec certitude.

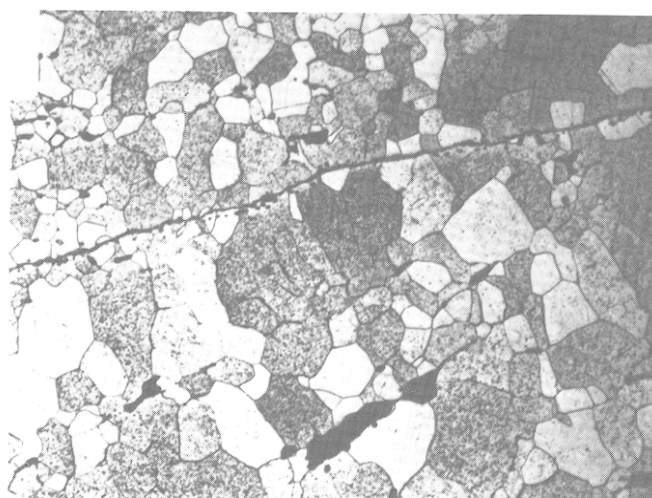
III.3. Morphologies et mises en forme

Les études précédemment décrites nous permettent de faire un certain nombre de remarques concernant la mise en forme de l'objet suivant la constitution du lingot de base qui peut être composé :

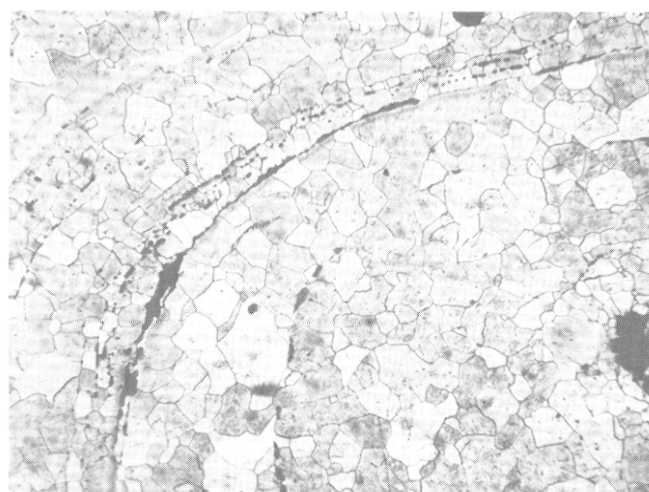
- d'une feuille unique relativement épaisse, de structure similaire, mais qui est généralement assez hétérogène ;
- d'une association de feuilles métalliques corroyées verticalement par rapport au plan de l'objet (cf. pl. 8, fig. A) ;
- d'une association de feuilles corroyées dans le plan de l'objet (cf. pl. 8, fig. B).

Dans ces deux derniers cas, les diverses feuilles employées (d'épaisseur 2 à 4 mm) ont des structures souvent très différentes et on observe fréquemment l'existence d'une symétrie de part et d'autre de la soudure médiane (cf. pl. 8), indiquant un repli possible du "lingot" sur lui-même. Sans entrer dans le détail de l'étude archéologique entreprise en parallèle, le cas de la morphologie de la flamme des pointes de lance peut être considéré à titre d'exemple.

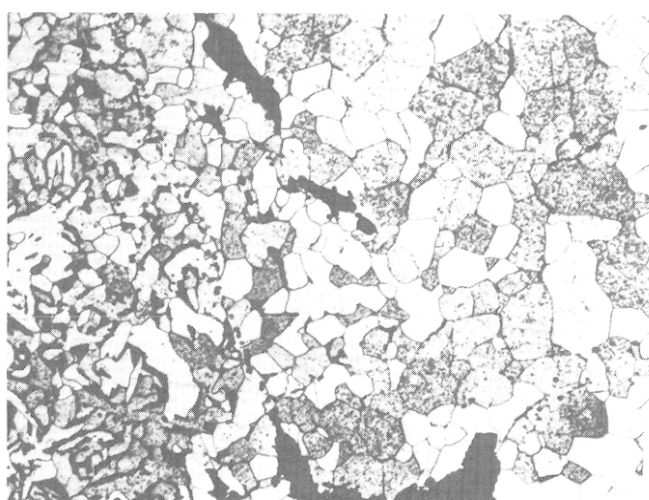
Le classement typologique (cf. pl. 8) réalisé sur le matériel de GOURNAY incite à penser que, dans la plupart des cas, la morphologie de la flamme correspond à une spécificité fonctionnelle et/ou rituelle. En effet, suivant le type morphologique, la mise en forme de l'objet présente des difficultés techniques très différentes. Ainsi, l'épanouissement de la flamme devient d'autant plus difficile qu'il est important à la base et que la feuille métallique est de faible épaisseur (pertes au feu). De même, le profil de la nervure en rapport avec la morphologie (cf. pl. 8) de la flamme implique des opérations de mise en forme délicates. Sur certaines d'entre elles (cf. pl. 8, type D), la nervure est tellement accusée et régulière, tant en épaisseur qu'en linéarité, qu'il ne semble pas envisageable de la réaliser en forge par simple martelage, comme nous en avons fait l'expérience. Il paraît plus vraisemblable que la technique du matricage ait été employée, ce qui semble correspondre par ailleurs à la configuration de certains outils découverts en Bohême (cf. pl. 9, d'après Pleiner, 1962).



200 μm A

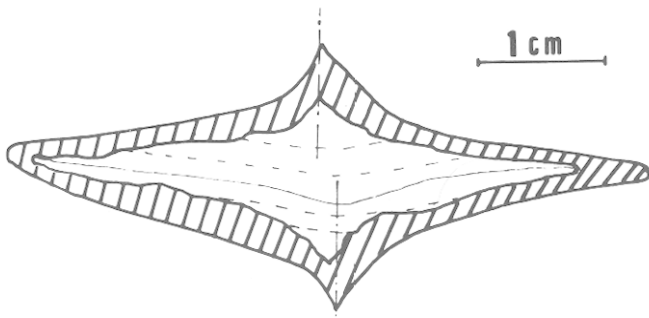


400 μm B

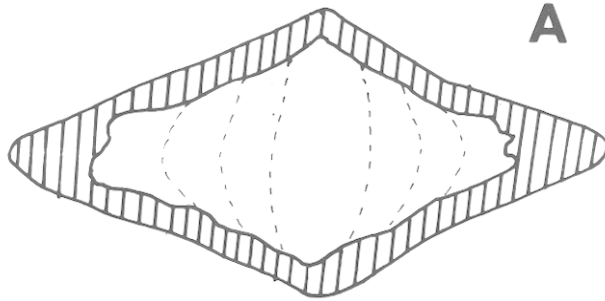


200 μm C

PL. 7 : A - Soudure imparfaitement réalisée. B - Soudure et alignements d'impuretés révélant le sens de la mise en forme. C - Soudure presque parfaite matérialisée par la juxtaposition de feuilles métalliques de structures différentes.

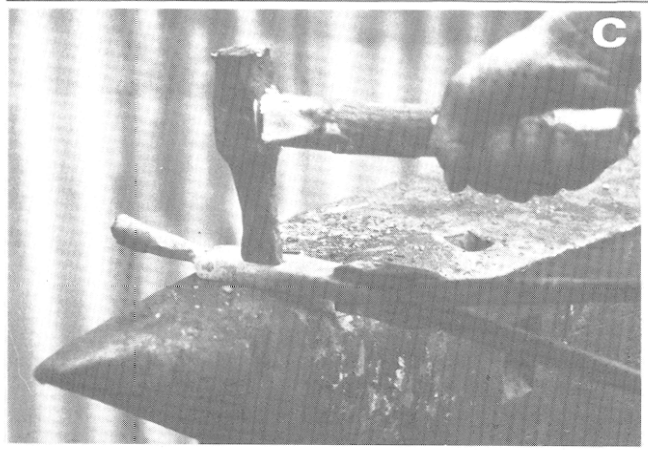
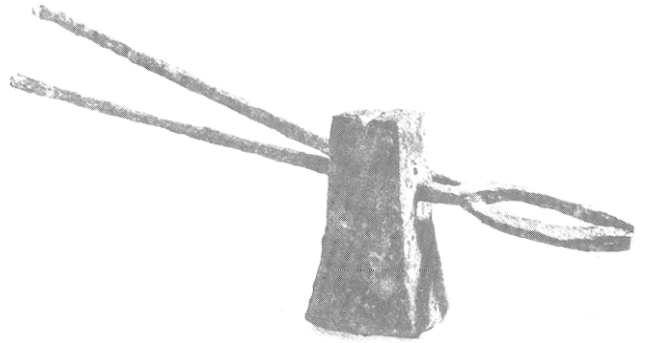
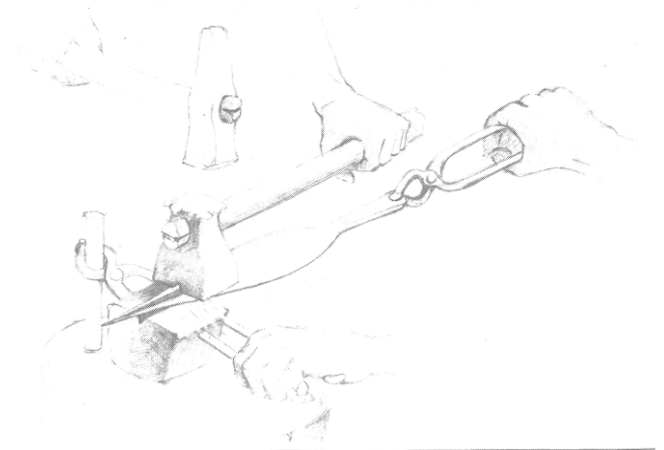
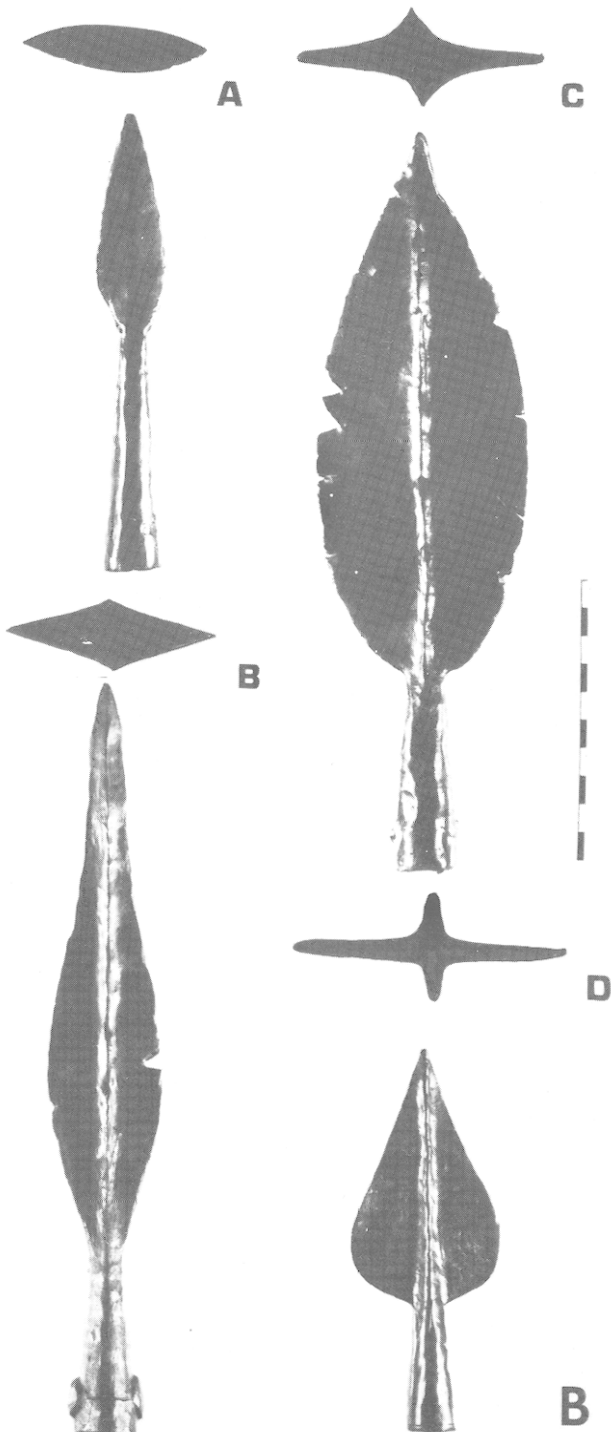


PL. 8 : Morphologies et mises en forme des pointes de lance.

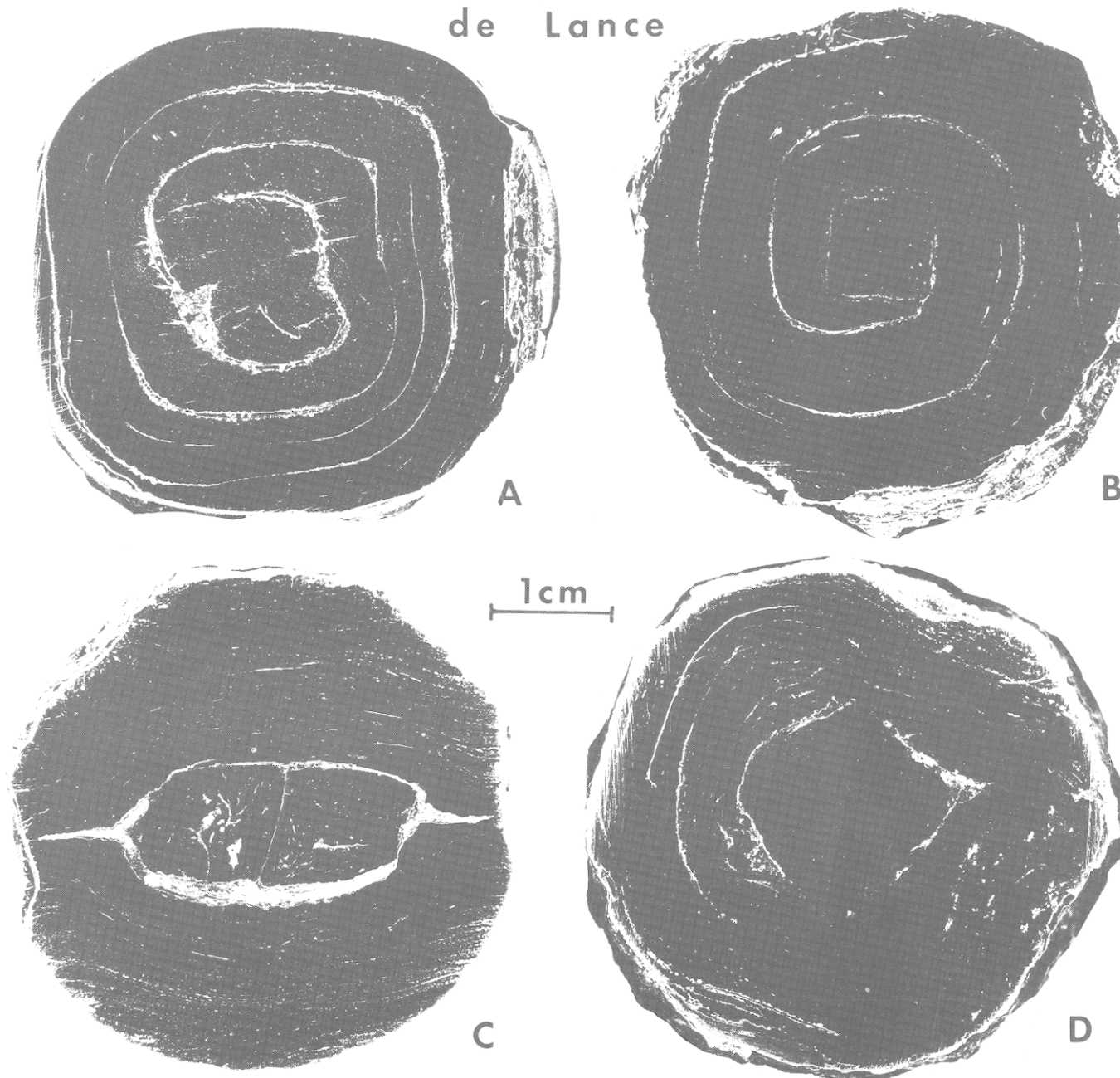


PL. 9 : A - Hypothèse d'élaboration. B - Exemple d'outils possibles d'après R. PLEINER. C - Reconstitution en forge : ébauche de la nervure au dégorgeoir.

Mise en forme d'une pointe de lance



Coupes Macrographiques de Talons de Lance



PL. 11 : On remarquera la diversité des mises en formes. Les talons B, C, D sont en soie «rapportée». Le talon A possède une soie «dans la masse».



La confrontation de ces données avec celles issues des observations stratigraphiques et analytiques, bien qu'insuffisantes pour le moment (16 talons étudiés sur une population de 32), devrait nous apporter dans un proche avenir des informations particulièrement intéressantes (corrélations) pour nous permettre d'apprécier l'ampleur de l'évolution technique.

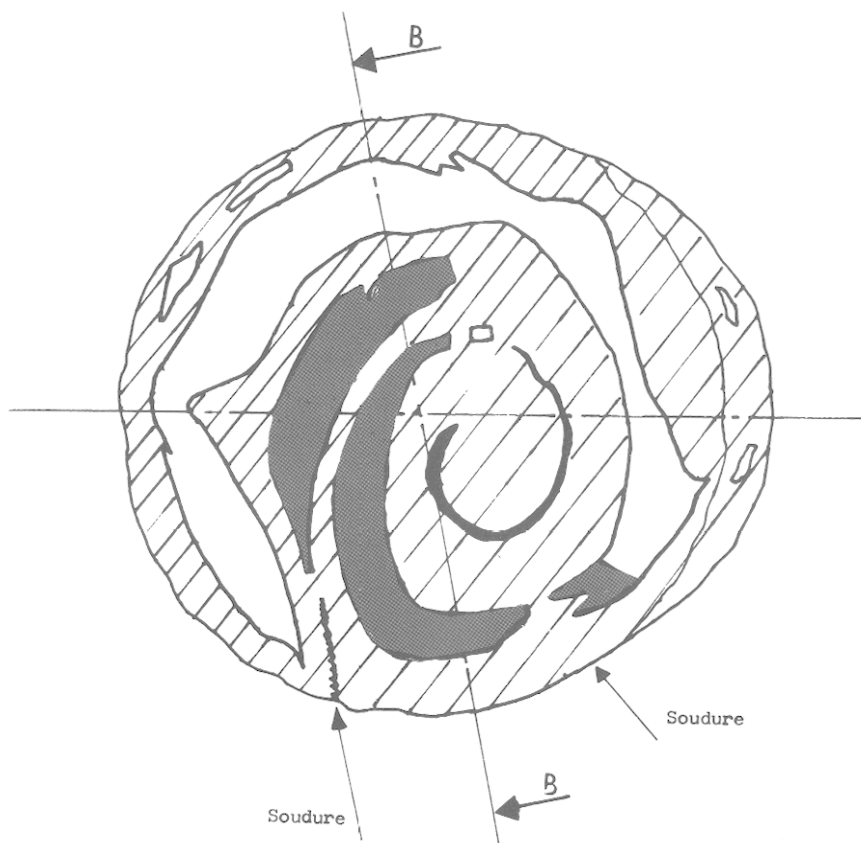
Notons qu'en dépit d'avoir utilisé les compétences de forgerons avertis, nous n'avons vraisemblablement pas retrouvé les "coups de main" des forgerons de l'époque. En conséquence, certaines difficultés rencontrées aujourd'hui ne sont peut-être pas totalement représentatives de celles affrontées à l'époque.

VI. CONCLUSION

C'est avec beaucoup d'intérêt que nous poursuivons actuellement cette étude qui montre, si besoin était, qu'il n'existe pas en archéologie d'objet de "seconde classe". La valeur documentaire de celui-ci ne se trouve pas, en effet, uniquement dans la noblesse de son utilisation ou dans son intérêt pratique. La simplicité de la fonction cache souvent, comme nous l'avons vu, la complexité de la conception et de l'exécution. On ne saurait à cet égard trop insister sur la relativité de la notion de "difficultés techniques" ! En effet, le concept de "simplification" (d'optimisation) est bien souvent conditionné par l'environnement technique et/ou socio-économique de l'exécutant.

Dans d'autres cas (cf. pl. 8, types B et C) par contre, la nervure est relativement irrégulière et il est probable qu'elle ait été alors obtenue par martelage. Notons que la nervuration étant faite d'un côté, il était peu aisé de faire l'autre côté sans écraser la première, même en utilisant le bord de l'enclume. Notons que l'on observe fréquemment une dissymétrie de centrage sur la flamme ainsi qu'un prolongement de l'empreinte sur la douille. La réalisation de cette dernière, quant à elle, ne présentait pas trop de difficulté, puisque résultant probablement (Pleiner, 1962) d'un épanouissement en éventail de la base du lingot et d'un enroulement en spirale de la feuille ainsi constituée ; ce que confirment nos observations (cf. pl. 10).

 : zone carburée (perlite lamellaire + ferrite).
 : zone à gros grains de ferrite.



PL. 10 : Reconstitution de l'enroulement de la douille après une analyse micro-graphique qui a particulièrement mis en évidence l'emploi de 2 feuilles :

Les talons de lances, et plus particulièrement les talons à soie (cf. pl. 2), présentent l'intérêt d'être relativement massifs et donc d'avoir conservé une grande partie de métal non oxydé. Les talons à douille ont en fait peu d'intérêt du point de vue technologique, puisque constitués d'un simple enroulement d'une feuille métallique. Par contre, les talons à soie présentent une grande variété de mise en forme. On peut déjà distinguer deux catégories selon que la soie est rapportée ou non. La planche 11 présente un échantillonnage de talons à soie rapportée (fig. B, C et D) et un talon dont la soie est réalisée dans la masse. Cette simple différenciation, outre une différence d'origine possible, pourrait indiquer une recherche technique notable. En effet, nos essais de reconstitution de talon à soie rapportée (cf. pl. 12) ont mis en relief la difficulté à réaliser un "ernmanchement" solide sans jeu dans le cône ; bien souvent, la soie insuffisamment soudée se désolidarise du cône dès que l'on martèle

pour achever la mise en forme. Il est à noter que la section de la soie, le plus souvent rectangulaire ou carrée, mais non ronde, limite pourtant favorablement les degrés de liberté.

Pour une même catégorie de talons, on peut aussi observer une très grande diversité de mises en forme, par exemple pour les talons à soie rapportée (cf. pl. 11, fig. B, C et D), selon que la soie est "prise en sandwich" par la feuille métallique sur le "dessus" (cf. pl. 11, fig. D et pl. 14, fig. A) ou sur le côté (cf. pl. 11, fig. C).

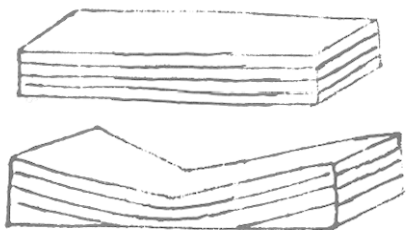
Le type dans lequel la soie est la base d'un enroulement de la feuille métallique (cf. pl. 11, fig. B et

pl. 12, fig. B) est relativement fréquent. En ce qui concerne les talons dont la soie est ébauchée dans la masse du lingot, deux types principaux peuvent être distingués à ce jour (cf. pl. 13). L'un correspond à une mise en forme relativement simple au dégorgeoir (Lagardelle) à partir d'un lingot de base de section rectangulaire ou carrée (fig. A). L'autre témoigne au contraire d'une mise en forme relativement complexe (fig. B).

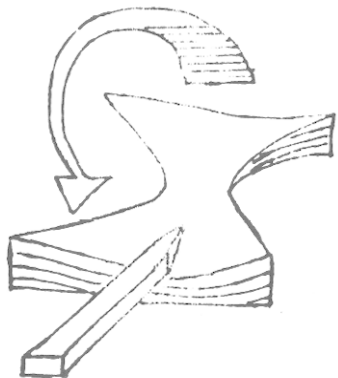
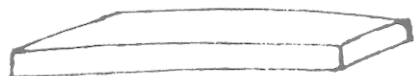
La justesse des reconstitutions peut être appréciée sur la planche 15 à partir de la comparaison des coupes pratiquées dans l'objet original d'une part et dans la reconstitution d'autre part.

La diversité des procédés de mises en forme rencontrée sur les talons de lance de GOURNAY-sur-ARONDE illustre certainement le génie inventif des forgerons de l'époque, mais témoigne aussi probablement d'une provenance très diversifiée.

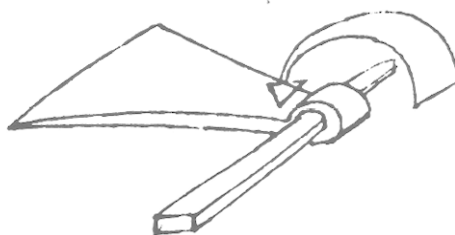
Reconstitution : Talons à soie "rapportée"



lingot



soie



A

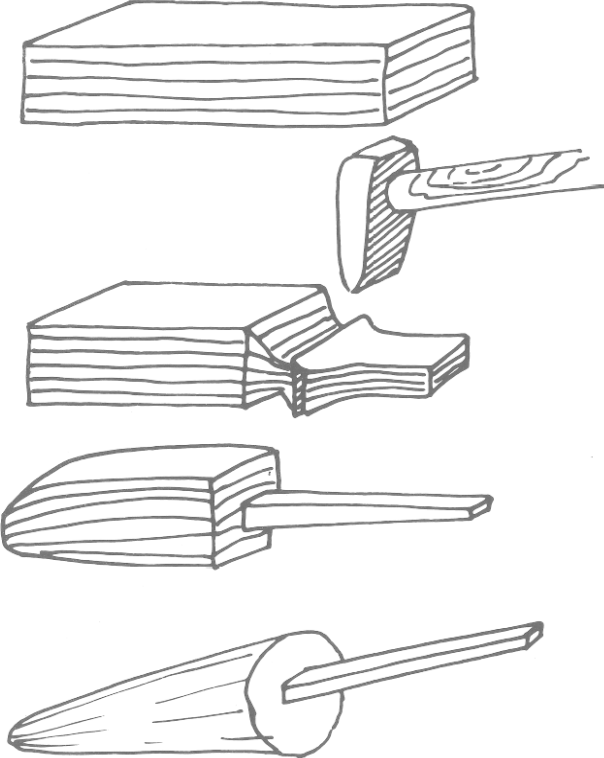


B

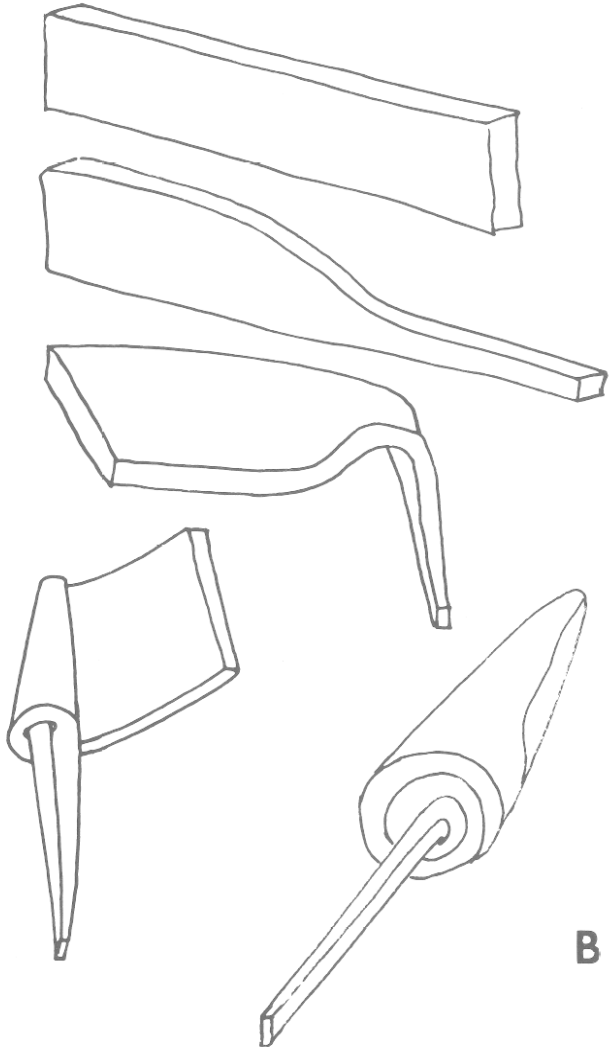
PL. 12



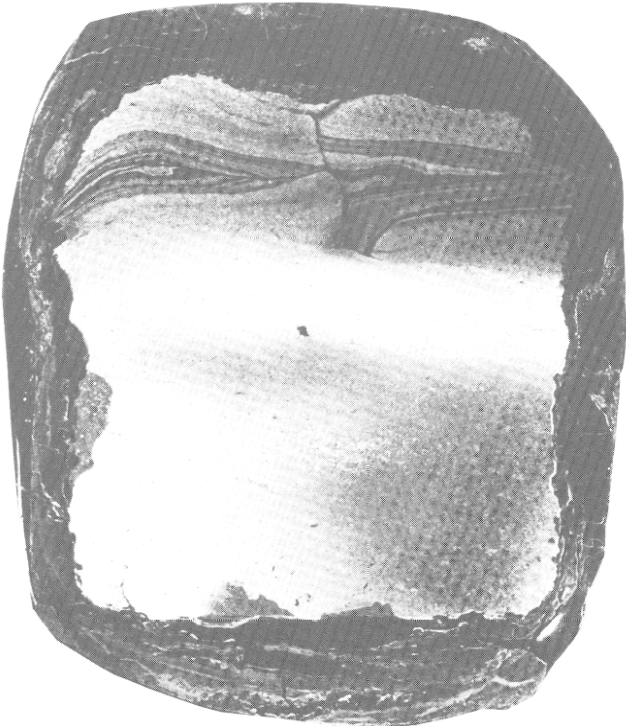
Reconstitution : Talons à soie "dans la masse"



A

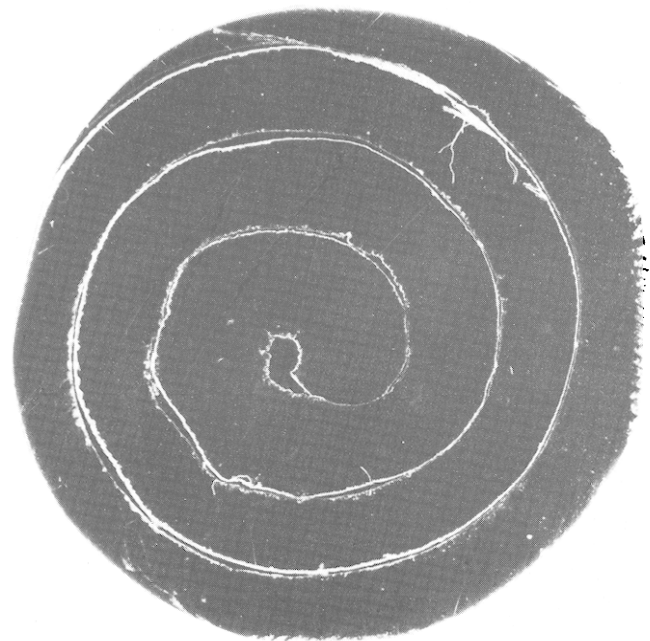


B



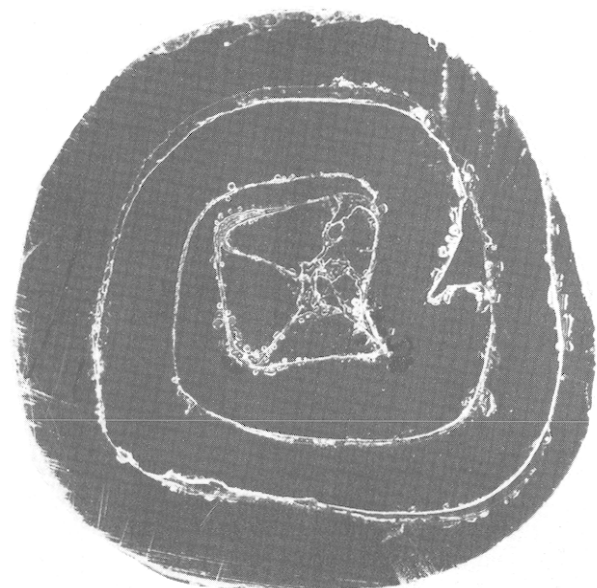
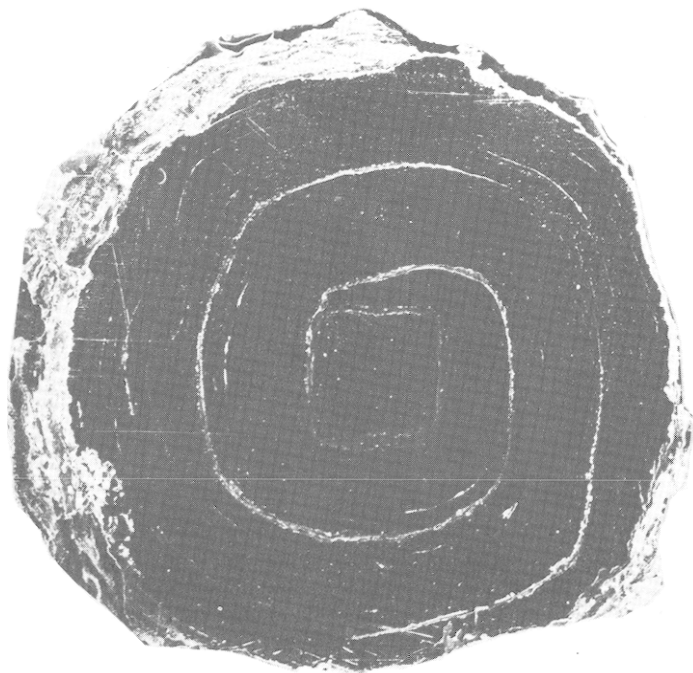


original



reconstitution

1cm



Talons à soie "rapportée"

De même, la lecture du document archéologique est tributaire des moyens et de l'esprit de la recherche d'aujourd'hui. Afin de préserver le potentiel d'information de ces objets particulièrement vulnérables une fois exhumés, il est indispensable de mettre en œuvre des méthodes de conservation adaptées et efficaces. Les études dans ce domaine sont pratiquement inexistantes et il peut être angoissant de penser à l'état dans lequel nous léguerons à la postérité la plupart de ces objets archéologiques métalliques.

BIBLIOGRAPHIE

CLEERE, H.-F. (1972) "The classification of Early Iron-smelting Furnaces", *The Antiquaries Journal*, Volume LII, pp. 1-23.

COGHLAN, H.-H. (1977) "Notes on prehistoric and Early Iron in the Old World", *Occasional Papers on Technology*, 8, Pitt Rivers Museum, University of Oxford, Second Edition.

CRUSSARD, C. (1982) "La thermodynamique en métallurgie, aspects historiques et perspectives nouvelles", *Mémoires et Etudes scientifiques, Revue de Métallurgie*, février 1982, pp. 57-66.

FLUZIN, Ph. (1980) "Etude paléométallurgique d'armes gauloises", *Rapport de DEA "Ruine des structures mécaniques"*, Université de Technologie de Compiègne.

FORBES, R.-J., (1971) *Studies in Ancient Technology*, VIII, Leiden, E.-J. Brill, Second Edition.

FRANCE LANORD, A. (1956) "Evolution de la technique du fer en Europe Occidentale de la préhistoire au Moyen-Age", *Actes du colloque international, le fer à travers les âges, Annales de l'Est*, Nancy.

FRANCE LANORD, A. (1964) "La fabrication des épées de fer gauloises", *Revue d'histoire de la sidérurgie*, tome V, oct.-déc., pp. 315-327.

LAGARDELLE, G. *Manuel du forgeron*, Bibliothèque professionnelle, Paris, 2^e édition.

MADDIN, R., MUHLY, J.-D. et WHEELER, T.-S. (1977) "Les débuts de l'âge du fer", *Pour la Science*, n° 2, décembre, pp. 12-20.

MARECHAL, J.-R. (1969) "Propagation du procédé direct de fabrication du fer et de l'acier par les Celtes et les Germains", *OGAM, Tradition celtique*, tome XXI, n° 121-126, janv.-déc., pp. 274-291.

MARECHAL, J.-R. (1975) "Procédé de réduction des minerais de fer avec four semi-creusé et son extension en Europe au début de notre ère", *Revue de Métallurgie*, novembre.

MOHEN, J.-P. (1980) *L'âge du Fer en Aquitaine du VIII^e au III^e siècle avant J.-C.*, Mémoires de la Sté préhistorique française, tome 14.

PIASKOWSKI, J. (1958) "Le développement de la technologie d'acier et du fer en Pologne d'après les examens métallographiques des produits anciens", *Kwartalnik historii nauki i techniki*, numéro spécial, pp. 54-76.

PLEINER, R. (1958) *Die Grundlagen der slavischen Eisenindustrie in den Böhmischen Ländern*, Ceskoslovenska Akademie Ved., Praha.

PLEINER, R. (1962) *Alteuropäisches Schmiedehandwerk, Stand der metallkundlichen Forschung*, Ceskoslovenska Akademie Ved., Praha.

PLEINER, R., SCHULZ, E.-H. (1965) "Untersuchungen an Klängen eiserner La Tène-Schwerter", *Technische Beiträge zur Archäologie*, Mainz, pp. 38-51.

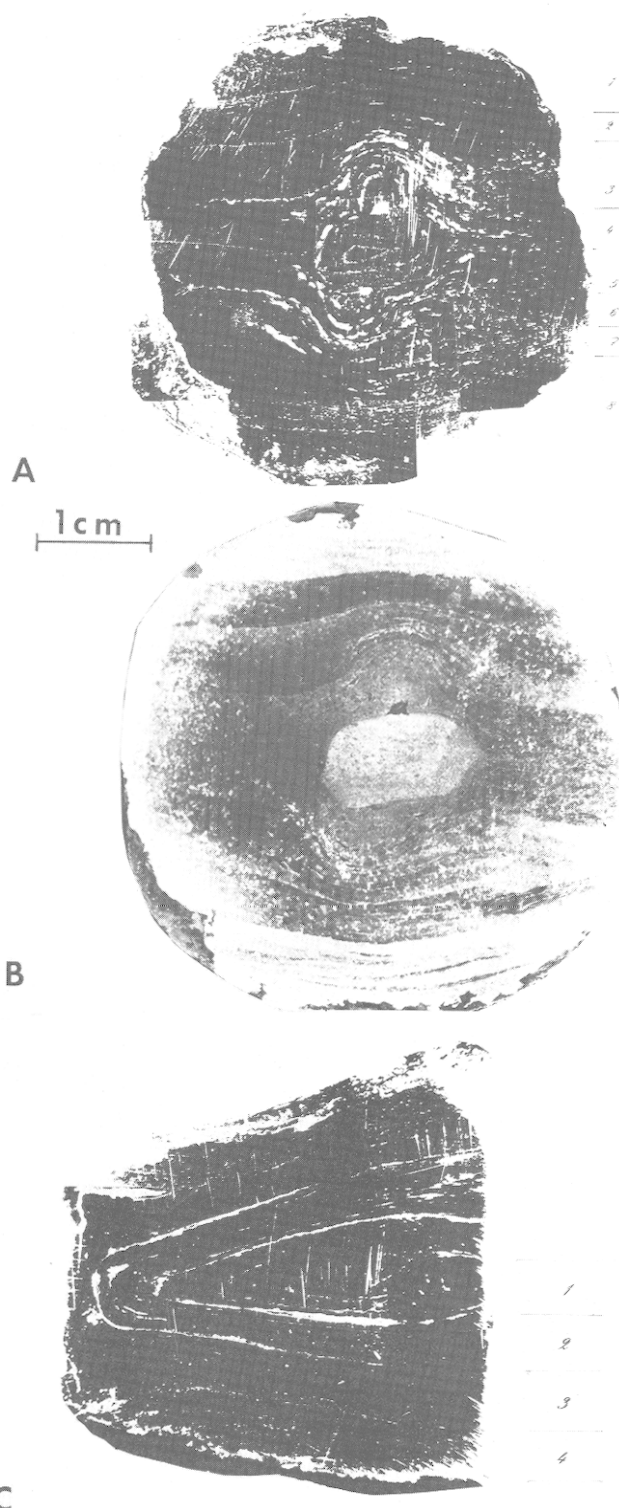
ROUALET, P., RAPIN, A., FLUZIN, Ph. et URAN, L. (1981) "Sépultures du CRAYON à ECURY-LE-REPOS (Marne)", *Mémoires de la Sté d'Agriculture, Commerce, Sciences et Arts de la Marne*, Châlons-sur-Marne.

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

SUTTERLIN, C. (1981) *La Grande Forge*, Editions d'Assailly.

TYLECOTE, R.-F. (1976) *A history of Metallurgy*, the Metals Society.

URAN, L. (1979) "Etude paléométallurgique d'armes gauloises", *rapport de DEA "Ruine des structures mécaniques"*, Université de Technologie de Compiègne.



PL. 14 : Micrographie avant (A) et après (B) attaque chimique (Nital 0,3 %). Mise en évidence de l'emploi d'un «lingot» à quatre feuilles métalliques. On distingue nettement la soie au centre de la coupe. Plan de coupe perpendiculaire au précédent précisant la mise en forme du talon (C).