

Zeitschrift:	Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber:	Bibliothèque Historique Vaudoise
Band:	140 (2013)
Artikel:	La Tène : la collection Schwab (Bienne, Suisse) : la Tène, un site, un mythe 3 : tome 1 : texte
Autor:	Lejars, Thierry / Alt, Kurt W. / Jud, Peter
Kapitel:	Étude métallographique d'une épée et d'éléments de fourreaux
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-836052

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Étude métallographique d'une épée et d'éléments de fourreaux

Nadine Dieudonné-Glad

Les premières études métallographiques d'objets en fer provenant du site de La Tène ont été effectuées par Felix Müller, dès 1917, sur 7 échantillons, dans le cadre de sa thèse (Müller 1917 : 33-34 et 53-63). À part une pointe de lance, les objets examinés étaient des éléments du quotidien : fibule, boucle de ceinture, anneaux.

Notre étude s'inscrit, quant à elle, dans un ensemble d'examens structuraux effectués sporadiquement sur les armes du site à partir des années 1950 par plusieurs spécialistes (fig. 218). Ces travaux ont surtout porté sur les épées (12 exemplaires analysés) tandis que les fourreaux, qui intéressaient surtout pour leur décor (Navarro 1972), ont été l'objet d'un intérêt moindre. Seul A. France-Lanord a abordé, d'un point de vue technique et métallurgique, l'étude de trois fourreaux provenant du site, concluant à l'hétérogénéité en carbone du matériau employé (France-Lanord 1960 : 12, pl. I.2 à 4). Or ces fourreaux sont des objets composites dont le procédé de mise en forme et d'assemblage est complexe. Même s'ils ne sont pas soumis à des contraintes mécaniques comme l'épée elle-même, ils doivent être assez résistants aux chocs et ajustés à l'épée pour assurer sa protection en dehors des phases de combat. A. Rapin écrivait que « *de même qu'un alliage très hétérogène est rédhibitoire pour l'obtention d'une tôle mince, uniforme et ductile, une trop forte teneur en carbone induit certaines déformations incontrôlables de l'acier martelé et rend la soudure plus aléatoire alors qu'un fer doux se soude à basse température* » (Rapin 2000 : 72). Ces contraintes ont-elles été ressenties par les forgerons de La Tène ? Quelles solutions ont-ils trouvées pour façonner les tôles des fourreaux ? Dans la mesure où les fourreaux découverts en contextes non humides sont souvent entièrement oxydés, et donc impossibles à étudier par métallographie, il a paru opportun de travailler sur les éléments du site de La Tène, particulièrement bien conservés par leur séjour dans l'eau. Des données nouvelles pouvaient donc être attendues de l'examen de 8 échantillons provenant de plaques et de gouttières de fourreaux, ainsi que d'un fragment d'épée⁹⁸⁶. Les analyse métallographiques, destructrices, ont été limitées à quelques fragments afin de ne pas mutiler des pièces plus importantes, complètes.

L'épée 7147

Ce fragment, proche de la pointe de l'épée (fig. 219), a été poli à ses deux extrémités sans qu'il soit nécessaire d'effectuer un prélèvement. L'avantage de cette opération est d'obtenir deux sections complètes à plusieurs centimètres de distance et de pouvoir observer d'éventuelles variations dans la structure de l'épée. L'inconvénient en est le risque d'observer des zones affectées par la rupture de la lame et dont la structure ne serait pas représentative de celle de l'ensemble de l'objet. C'est pourquoi un prépolissage a été effectué sur une épaisseur de 2 mm environ pour supprimer toute la corrosion de surface et s'éloigner de la zone de rupture du métal (fig. 219a).

Le métal comporte des zones ferritiques et des zones ferrito-perlitiques, à faible teneur en carbone. De nombreuses inclusions aplatis sont visibles. Elles sont parfois alignées en chapelet, mais aucune véritable soudure entre zones à teneurs en carbone différentes n'est visible (fig. 219f). Deux plages à très gros grains de ferrite se développent sur un des plats de l'épée. Cette particularité est souvent mise en relation avec la présence de phosphore dans le métal (Senn-Bischofberger 2005 : 248), mais nous n'avons pas pu vérifier la présence éventuelle de cet élément d'alliage dans l'échantillon. Un des tranchants possède une structure ferrito-perlitique (acier) à grains fins (fig. 219b, à gauche et d, à droite) qui se prolonge dans la partie centrale de l'épée tandis que l'autre tranchant est ferritique (fer doux) avec des grains de plus grande taille. Cette organisation générale s'observe sur les deux sections, les deux tranchants ferritiques étant en regard l'un de l'autre. On ne remarque aucune trace de soudure entre le corps de l'épée et les tranchants, qui n'ont donc pas été rapportés. Cette épée est à rapprocher des épées à tranchants asymétriques signalées par Pleiner (Pleiner 1993 : 148). Il faut cependant noter, et cet exemple le montre bien, que l'existence de deux tranchants de nature différente (fer doux et acier) n'implique pas que l'un d'entre eux soit un tranchant

986 Ces objets ont été examinés en 1997 au Laboratoire de Mécanique et de Physique des Matériaux de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique de Poitiers, en collaboration avec J. Parisot (CNRS). Après polissage et attaque au nital 5% ces objets ont été observés au microscope métallographique. La gouttière 7054 a, quant à elle, été également analysée par microscopie électronique à balayage (MEB). Des essais de dureté Vickers, sous charge de 20 kg ont été effectués sur l'épée 7147 et la gouttière de fourreau 6996.

lieu de conservation et n° de l'épée	première étude	deuxième étude	autres références bibliographiques	illustrations	structure et remarques
Laténium	Salin 1952 : 167-169	—	Salin 1957 : 75 France-Lanord 1964 : 317-318 Pleiner 1993 : 109	Salin 1952 : fig. 1-4 Salin 1957 : pl. X 1-2 France-Lanord 1964 : pl. I.1	Ferritique, Gros grains aux tranchants. Dureté 155 à 185 Hv.
MVK de Bâle 1947-639	Coghlan 1956 : 135	—	—	Coghlan 1956 : fig. 1-6	Ferritique. Dureté 161-190 Hv. Étude du plat de la lame, pas de section.
MVK de Bâle 1947-640	Coghlan 1956 : 135	—	—	Coghlan 1956 : 135, fig. 224-12	Structure « feuillettée » ferritique et ferrito-perlitique (« <i>piled structure</i> »). Étude du plat de la lame, pas de section.
Laténium	Salin 1957 : 76	—	—	Salin 1957 : pl. X, 3	Structure « feuillettée » ferritique et ferrito-perlitique. Gros grains de ferrite par endroits. Dureté 139 à 182 Hv.
Musées d'Art et d'Histoire de Genève M549	Wyss 1968 : 680	Senn-Bischofberger 2005 : 248-250, n° 103	Navarro 1972 (n° 62) Pleiner 1993 : 109	Wyss 1968 : pl. 8 Senn-Bischofberger 2005 : 249-250	1. Structure « feuillettée » ferritique et ferrito-perlitique. 2. Ferrito-perlitique. Tranchant ferritique. Phosphore 0,14%. Gros grains de ferrite. Pas de structure feuillettée clairement visible sur les illustrations publiées.
Nouveau Musée de Bienne 2759	Navarro 1972 (n° 49)	Senn-Bischofberger 2005 : 242-245, n° 101	—	Senn-Bischofberger 2005 : 243-245	1. Tranchant ferritique avec un peu de perlite. 2. Grains de ferrite aplatis en surface de l'épée.
BM Londres 67-7-1	Lang 1987 : 71	—	Pleiner 1993 : 109	—	Ferrito-perlitique, tranchant plus riche en carbone (dureté 426 Hv).
BM Londres 80-12-14-2	Lang 1987 : 71	—	Pleiner 1993 : 110	—	« <i>Edge to edge piling</i> », enrichissement en phosphore, mâcles, dureté 220-287 Hv.
Laténium MAR-LT 4	Lang 1987 : 71	—	Navarro 1972 (n° 66) Pleiner 1993 : 109	—	« <i>surface to surface piling</i> », dureté 150 à 300 Hv.
Laténium MAR-LT 199	Pleiner 1993 : 108	—	Buchwald 2005 : 119 ; tables 5.1.A et 5.1.B.	Pleiner 1993 : pl. XXXIII-XXXIV Buchwald 2005 : 120, fig. 118 et 119.	Ferritique et ferrito-perlitique, un tranchant ferritique, l'autre ferrito-perlitique, microdureté 170 à 310 mHv.
Laténium MAR-LT 588	Senn-Bischofberger 2005 : 246-248, n° 102	—	Navarro 1972 (n° 85)	Senn-Bischofberger 2005 : 246-248	Lignes de scories. Soudure de trois couches de métal. Ferrito-perlitique, phosphore 0,07 à 0,13%
Nouveau Musée de Bienne 2735	Senn-Bischofberger 2005 : 240-242, n° 100	—	—	Senn-Bischofberger 2005 : 240-242	Ferritique, mâcles, phosphore 0,22%

Fig. 218 : Récapitulatif des études métallographiques déjà menées sur les épées du site et résumé de leurs principaux résultats.

rapporté, mais relève plutôt de l'hétérogénéité initiale du métal. Il ne faut donc probablement pas voir dans cette organisation microstructurale un savoir-faire particulier de l'artisan.

L'extrême du tranchant ferritique a gardé la trace d'un martelage à froid qui a provoqué l'allongement des grains de ferrite perpendiculairement à la direction du martelage (fig. 219e). Ce traitement n'étant pas visible sur le plat

de l'épée, nous pouvons l'interpréter comme une action volontaire spécifique au tranchant. La question est de savoir si celle-ci a eu lieu au moment de la mise en forme de la lame pour durcir un peu le métal par écrouissage, ou si elle est le résultat d'interventions ultérieures sur ce tranchant. L'autre tranchant, qui est légèrement acieré, avec des grains de ferrite de petite taille et dont la structure est moins sensible au martelage à froid, ne montre aucun grain de ferrite allongé et ne garde aucune trace d'un

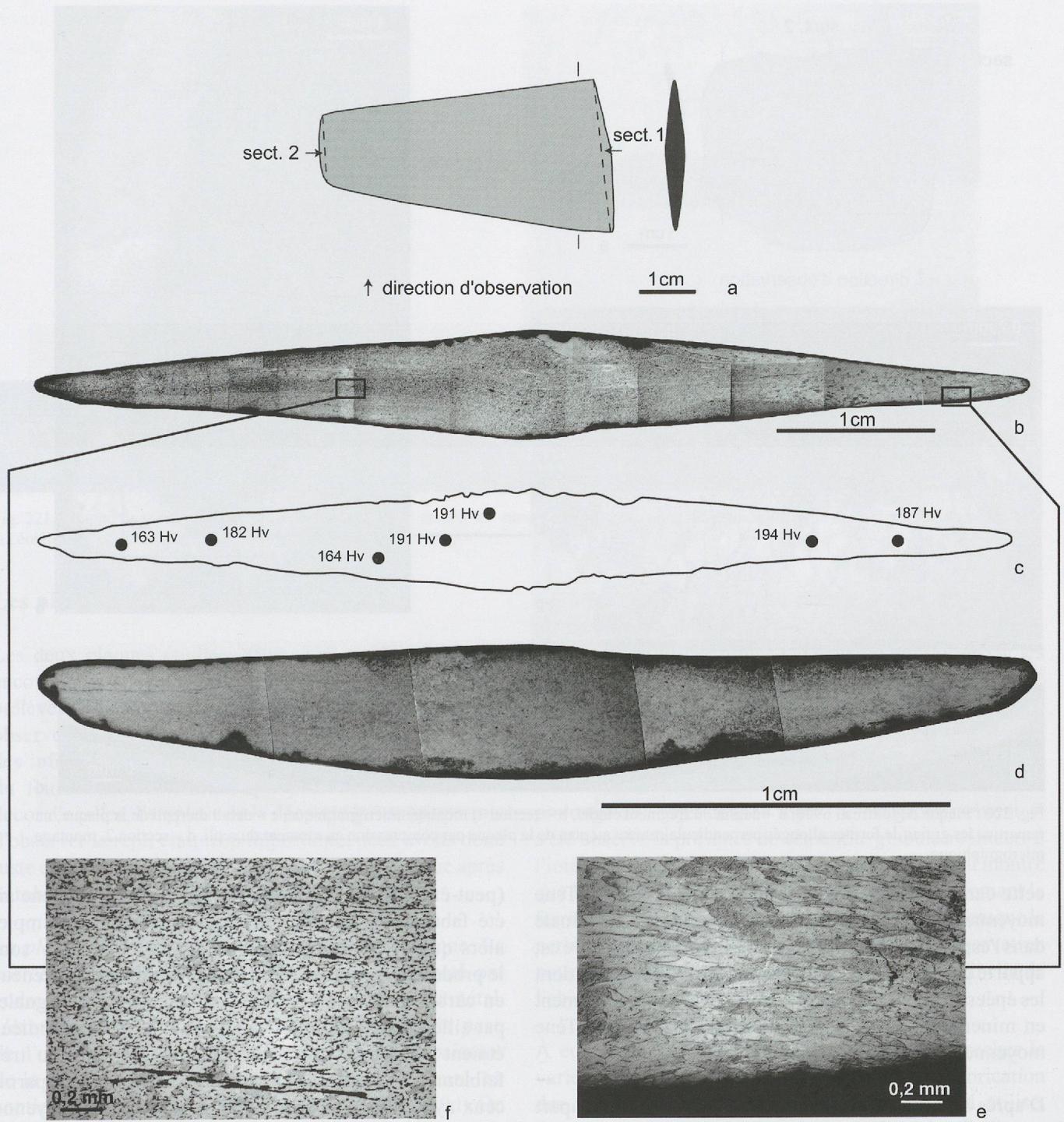


Fig. 219 : Épée 7147, a – dessin du fragment étudié, b – section 1, montage micrographique, c – essais de dureté sur la section 1, d – section 2, montage micrographique, e – tranchant ferritique de l'échantillon 1, grains de ferrite aplatis par martelage, f – inclusions de scories dans une région ferrito-perlitique du cœur de la lame.

éventuel martelage à froid. Les essais de dureté effectués sur l'échantillon 1 (fig. 219c) montrent une faible dureté de la lame (entre 163 et 194 Hv) qui est tout à fait cohérente avec les structures métallurgiques observées.

Cette dureté relativement faible paraît être une caractéristique des lames d'épées de la période, dans la mesure où les teneurs en carbone sont très souvent faibles et où des techniques de durcissement comme la trempe ne sont pas pratiquées. La dureté la plus grande relevée pour les épées du site de La Tène est de 426 Hv (Lang 1987 : 71),

mais la moyenne se situe plutôt en dessous de 200 Hv, que ce soit sur le tranchant ou au cœur de la lame.

La présence, dans les épées du site, de phosphore à des teneurs supérieures à 0,1% est signalée à chaque fois que celui-ci est dosé (Senn-Bischofberger 2005) et, dans plusieurs autres cas, la mention de gros grains de ferrite est un indice fort de la présence de phosphore dans l'échantillon. Au moins 7 épées sur les 13 étudiées contiennent donc probablement du phosphore. D'après M. Senn Bischofberger (Senn Bischofberger 2005 : 92)

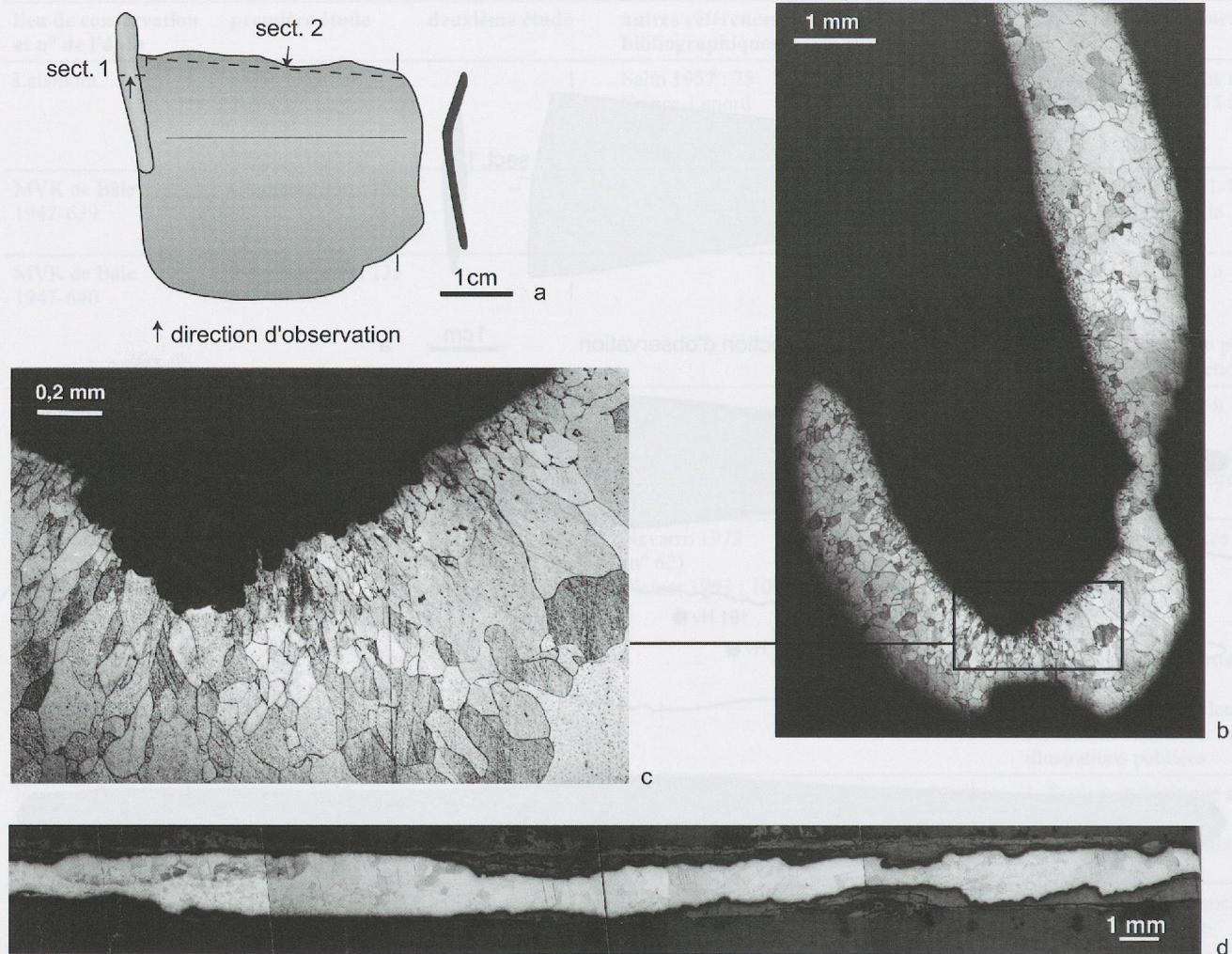


Fig. 220 : Plaque de fourreau 6946, a – dessin du fragment étudié, b – section 1, montage micrographique, c – détail du repli de la plaque, on remarque les grains de ferrites allongés perpendiculairement au plan de la plaque par compression au moment du repli, d – section 2, montage micrographique.

cette caractéristique apparaît dans les épées de La Tène moyenne et est toujours présente au cours de La Tène finale dans l'espace nord alpin. Dans la mesure où le phosphore est apporté par le minerai utilisé pour fabriquer le métal dont les épées sont issues, un changement d'approvisionnement en minerai est peut-être à envisager à partir de la Tène moyenne dans cette aire géographique.

D'après les études métallographiques publiées, la plupart des épées du site de La Tène (61 %) sont fabriquées à partir d'une seule masse de métal, sans soudure, les inclusions présentes étant les reliques des fragments de scories dispersées dans le métal brut. Pour 5 épées (40 %), un forgeage en « couches » ou une structure « feuillettée » sont signalés (*surface to surface piling, edge to edge piling*, fig. 218), mais l'examen de la micrographie proposée par Salin (Salin 1957 : pl. X, 3) ne permet pas de percevoir les soudures annoncées, si bien que la juxtaposition de zones ferritiques et ferrito-perlitiques résulte probablement de l'hétérogénéité du métal brut. Par ailleurs, l'identification d'une structure feuillettée par Coghlan ne s'appuie que sur l'observation du plat de la lame (Coghlan 1956 : fig. 227) et n'est pas tout à fait probante. Quant aux échantillons étudiés par J. Lang (Lang 1987), aucune illustration n'en a été publiée. Il semble donc qu'une grande majorité

(peut-être jusqu'à 75 %) des épées du site de La Tène ait été fabriquée avec une technique extrêmement simple, alors que de nombreuses lames contemporaines⁹⁸⁷ sont le produit de la soudure d'éléments métalliques de teneur en carbone ou en phosphore différente. Pleiner signale, par ailleurs, que 40 % des épées celtes qu'il a étudiées étaient formées d'une seule masse, ferritique ou très faiblement carburée, ce qui range le site de La Tène parmi ceux ayant une proportion plus grande que la moyenne d'épées de ce type (Pleiner 1993 : 140).

987 R. Pleiner fait le point sur ces études métallographiques dans son ouvrage *The celtic sword* (Pleiner 1993). On peut citer parmi les épées de La Tène moyenne montrant des traces de soudures, une épée trouvée dans la Saône et attribuée typologiquement à cette période (Pleiner 1993 : 111, n°46 ; France-Lanord 1964 : 320-324, pl. III et IV), une épée de Metz (Pleiner 1993 : 111, n° 48 ; France-Lanord 1964 : 318, pl. I,2), une autre de Saint-Dizier (Pleiner 1993 : 113 n° 54 ; Lepage & Claisse 1967), plusieurs épées de Gournay-sur-Aronde (Pleiner 1993 : 114, n° 56, d'après Uran 1983), l'épée n°2 de Mazerolles (Pleiner 1993 : 116, n° 64 ; Lejars 1989 : 18, 21), une épée d'Heiligenstein en Allemagne (Pleiner 1993 : 116 n° 67 ; Schulz & Pleiner 1965 : 38 et 44-45, pl. 11,2, 12,2, 16,3, 18,6), une autre d'Augsbourg (Allemagne) conservée au British Museum (Pleiner 1993 : 118-119 ; Lang 1987 : 71, pl. I), soit plus de la moitié des épées de La Tène moyenne décrites par Pleiner.

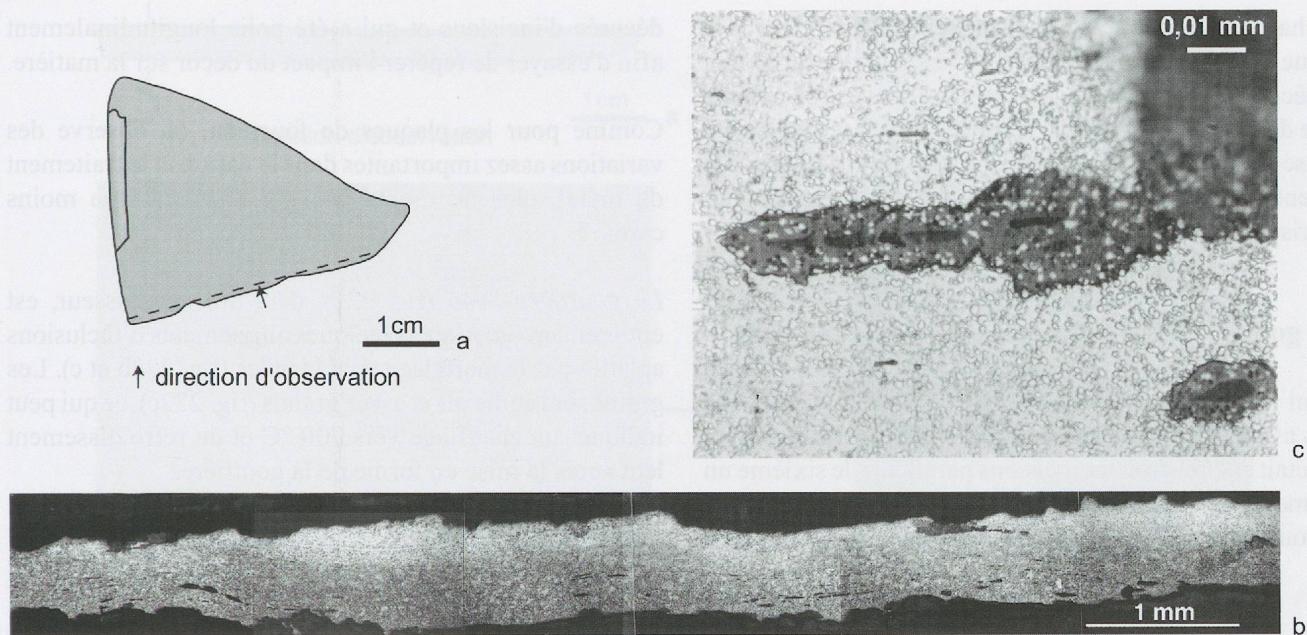


Fig. 221 : Plaque de fourreau 6947, a – dessin du fragment étudié, b – montage micrographique de l'ensemble de la section, c – détail montrant la cémentite globulaire conservée dans la corrosion.

Les plaques de fourreau d'épée

Les deux plaques étudiées (figs. 220 et 221) possèdent encore une partie de leur rebord replié. Pour l'une (6946) le prélèvement et le polissage ont été effectués de manière à observer l'ensemble de la plaque et son repli afin d'obtenir des informations sur le mode général de mise en forme du fourreau. Pour l'autre, qui possède en surface un décor d'ocelles, l'ampleur de la découpe qui aurait permis d'observer le repli était trop importante, nous avons donc juste effectué un polissage de la tranche de la plaque après enrobage provisoire dans la résine.

La plaque 6946 (fig. 220) est entièrement ferritique. La corrosion est d'importance variable, mais a affecté par endroits plus de la moitié de l'épaisseur initiale du métal. L'examen métallographique permet de repérer la peau de l'objet et de déterminer avec précision l'épaisseur de la plaque soit 1,4 mm. Le métal, très bien épuré, ne contient presque aucune inclusion de scorie (fig. 219d). On remarque une alternance de plages à petits grains, plutôt situées vers la surface de la plaque, et de plages à gros grains, peut-être un indice de la présence de phosphore. Le repli de la gouttière a été effectué à froid, comme en témoigne la forme allongée des grains de ferrite écrasés dans le creux du pli (fig. 220b et c). Aucun réchauffage suffisant pour que les grains de la pliure retrouvent leur forme équiaxe d'origine (autour de 700°C) n'a été effectué après la mise en forme.

La plaque 6947 (fig. 221) ne mesure que 0,7 mm d'épaisseur, elle est donc deux fois moins épaisse que la plaque 6946. Cependant, le métal est moins bien épuré que celui de l'autre plaque puisque l'on distingue des alignements d'impuretés aplatis par le martelage à chaud de l'objet lors de sa mise en forme (fig. 221b). Contrairement à ce

qui a été observé sur l'autre plaque, le métal de celle-ci est carburé de manière assez uniforme et présente une structure ferrito-perlitique. On peut, de plus, observer les conséquences d'un traitement thermique qui a été appliqué à la pièce après mise en forme, puisque la cémentite est sous forme globulaire (fig. 221c). Ce phénomène de coalescence se produit dans une plage de température avoisinant 700°C, à la suite d'un maintien relativement prolongé de l'objet dans le foyer. À fort grossissement, il a été observé la présence de cémentite globulaire intacte à l'intérieur des plages de corrosion (fig. 221c), ce qui montre que l'oxydation, dans ce cas, affecte préférentiellement la ferrite, contrairement à ce qui semble se produire lorsque la perlite est lamellaire. Une application de cette observation pourrait être le repérage précis de la surface originelle de l'objet lors de sa restauration.

À eux seuls, ces deux objets permettent d'approcher la variété des pratiques mises en œuvre dans la fabrication des fourreaux. Variété dans la nature du métal utilisé, fer doux ou acier. A. France-Lanord avait, d'ailleurs, mis en exergue l'hétérogénéité du métal composant le fourreau qu'il avait étudié puisque « *sur la même coupe, à quelques millimètres de distance, on peut observer du fer pur à très gros grains et du fer faiblement carburé* » (France-Lanord 1960 : 12, pl. II). Variétés dans les savoir-faire de chaudronnerie, puisque l'épaisseur des plaques varie du simple au double. Il faut cependant noter que le fer doux, plus malléable, risque probablement davantage d'être perforé au cours du martelage lorsque la plaque devient fine, alors que l'acier oppose une meilleure résistance mécanique. Variété, enfin, dans les traitements thermiques appliqués après mise en forme⁹⁸⁸, puisque la plaque 6947 a

988 On ne peut cependant exclure que la coalescence de la plaque 6947 ait eu lieu pendant la « vie » de l'objet, au cours d'un incendie violent, par exemple.

été chauffée jusqu'à coalescence de la perlite tandis que la plaque 6946 est restée brute après sa mise en forme. Quant au décor estampé du fourreau 6947, il n'a laissé aucune trace dans la section étudiée. On peut supposer qu'il a été réalisé à froid, la relative dureté de la plaque induite par la présence d'acier permettant que, malgré sa faible épaisseur, elle risque assez peu d'être perforée.

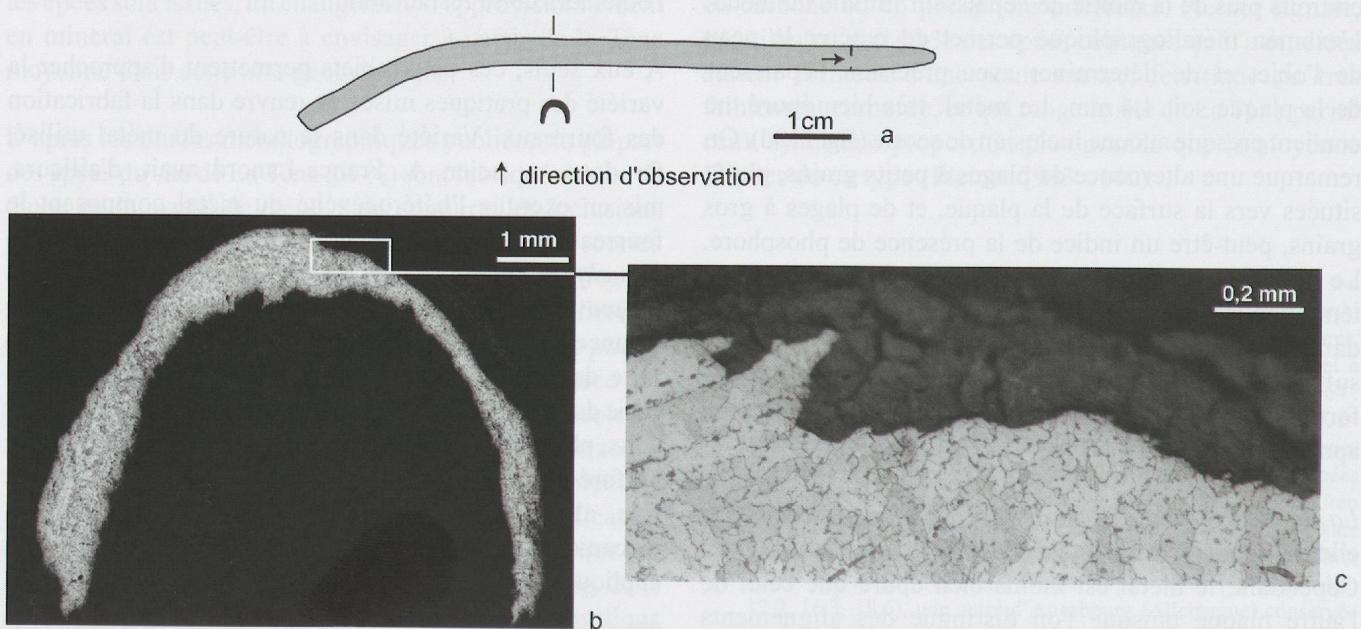
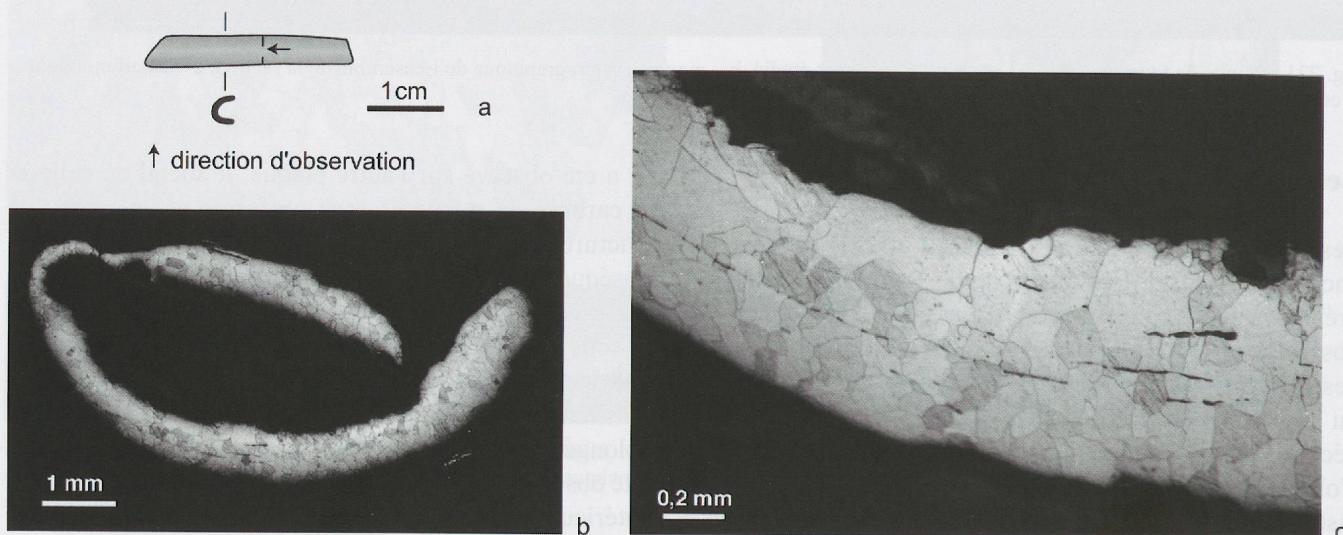
Les gouttières de bouterolles de fourreau d'épée

Parmi les 6 éléments de gouttières (figs. 222 à 227) que nous avons étudiés, cinq étaient des demi-cylindres dont l'un était décoré de deux incisions parallèles, le sixième un fragment d'extrémité distale de bouterolle. Les gouttières ont toutes été sciées transversalement, sauf celle qui était

décorée d'incisions et qui a été polie longitudinalement afin d'essayer de repérer l'impact du décor sur la matière.

Comme pour les plaques de fourreau, on observe des variations assez importantes dans la nature et le traitement du métal, plus ou moins bien épuré et plus ou moins carburé.

La gouttière 7046 (fig. 222), de 1 mm d'épaisseur, est entièrement ferritique. Quelques alignements d'inclusions aplatis par le martelage sont visibles (fig. 222b et c). Les grains sont équiaxes et assez grands (fig. 222c), ce qui peut indiquer un chauffage vers 700 °C et un refroidissement lent après la mise en forme de la gouttière.



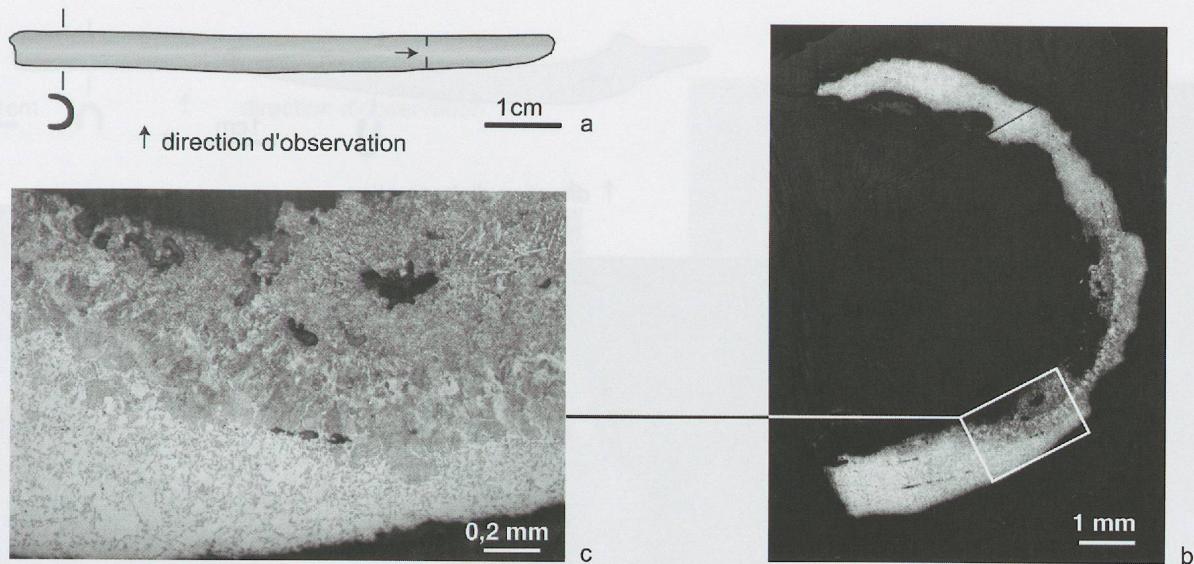


Fig. 224 : Gouttière 7010 ; a : dessin du fragment étudié ; b : montage micrographique de l'ensemble de la section ; c : détail de la zone la plus carburée.

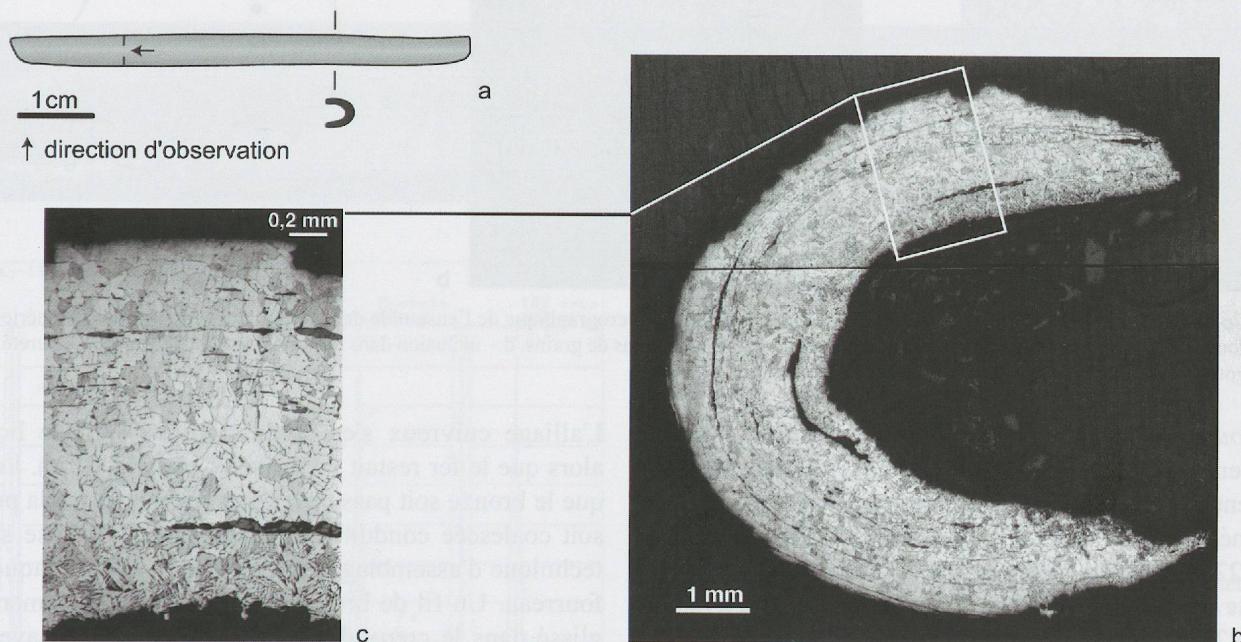


Fig. 225 : Gouttière 7011, a – dessin du fragment étudié, b – montage micrographique de l'ensemble de la section, c – détail montrant la ferrite aciculaire et la zone plus carburée dans le creux de la gouttière.

La gouttière 6998 (fig. 223) mesure également 1 mm d'épaisseur. Le métal apparaît bien épuré avec des inclusions de très petite taille allongées perpendiculairement à la direction du martelage. On observe une structure ferrito-perlitique homogène (fig. 223b) avec un pourcentage de carbone faible. La perlite a subi un début de coalescence (fig. 223c), mais celle-ci est moins poussée que celle de la plaque de fourreau 6947.

La coupe transversale de *la gouttière 7010* (fig. 224), faite dans une tôle de fer de 1,25 mm d'épaisseur montre qu'elle est constituée d'un métal médiocrement épuré, comportant des inclusions de taille relativement importante (fig. 224b). La carburation du métal n'est pas régulière : très faible aux deux extrémités de l'échantillon elle est beaucoup plus forte

(acier hypereutectoïde) dans le creux de la gouttière, sans que des lignes de soudure soient perceptibles (fig. 224c).

La gouttière 7011 (fig. 225) est, quant à elle, faite dans une tôle plus épaisse que les précédentes (2 mm). Le métal est assez mal compacté, puisque de nombreuses inclusions de grande taille sont visibles (fig. 225b). Certains alignements d'inclusions qui se développent sur la totalité de l'échantillon laissent à penser que le métal a peut-être subi des replis avant sa mise en forme finale (fig. 225b). La bande de métal située au creux de la gouttière apparaît un peu plus carburée que le reste de l'échantillon (fig. 225c). La ferrite de la zone la plus carburée possède une structure aciculaire (fig. 225c), qui indique un maintien assez prolongé à une température d'environ 1000°C et un refroidissement relativement rapide à l'air.

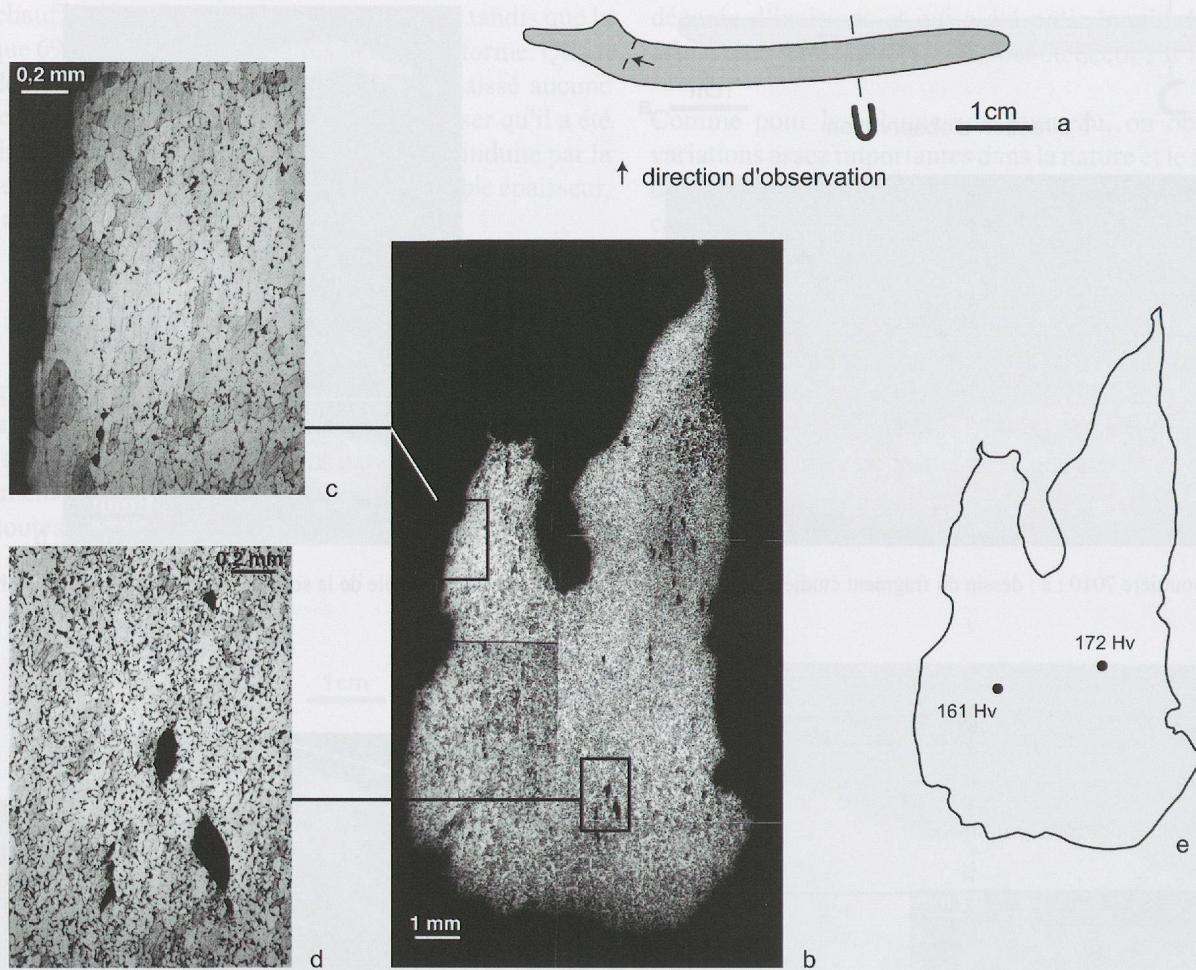


Fig. 226 : Gouttière 6996, a – dessin du fragment étudié, b – montage micrographique de l’ensemble de la section, c – détail de la périphérie de la gouttière montrant une zone ferritique avec un peu de perlite aux joins de grains, d – inclusion dans une zone ferrito-perlitique, e – dureté de la gouttière.

La gouttière 6996 (fig. 226) a été sciée au niveau de son renflement. Le métal est relativement bien épuré malgré la présence de quelques inclusions de grosse taille (fig. 226d). Le métal est un acier à teneur en carbone hétérogène (fig. 226b et c). La perlite est lamellaire et les grains de ferrite équiaxes. La dureté de cette pièce est très faible, (fig. 226e) malgré une teneur en carbone non négligeable.

La gouttière 7054 (fig. 227), qui a été polie dans le sens longitudinal apporte des informations originales sur la manière dont ces accessoires pouvaient être fixés sur les plaques de fourreau. Sa structure générale est similaire à celle des autres gouttières : dans sa coupe longitudinale, comme dans sa coupe transversale, on observe des teneurs en carbone variables (fig. 227c et d). C'est encore ici l'hétérogénéité originelle du métal employé qui peut expliquer ces variations de structure. Dans la partie la plus carburée de l'échantillon, la perlite est partiellement coalescée (fig. 227b). L'originalité de cette gouttière réside dans la présence d'une fine ligne de métal non ferreux au milieu de la coupe (fig. 227c). Son analyse par microsonde montre que ce métal est un alliage de cuivre et d'étain, donc du bronze (fig. 227f). Dans la coupe transversale, on observe que le bronze occupe tous les interstices laissés libres par le fer au moment de la fabrication du fourreau (la tache noire résulte de la corrosion ultérieure).

L'alliage cuivreux s'est donc trouvé en phase liquide alors que le fer restait en phase solide (fig. 227e). Le fait que le bronze soit passé par l'état liquide et que la perlite soit coalescée conduit à proposer une hypothèse sur la technique d'assemblage de la gouttière et des plaques de fourreau. Un fil de bronze a, en effet, probablement été glissé dans le creux de la gouttière au contact avec les plaques du fourreau. Le fourreau complet a alors été mis au feu à une température d'environ 700°C pendant un temps suffisamment long pour que le bronze devienne liquide et que la coalescence partielle de la perlite se produise. Ce procédé de brasure permet probablement de « souder » entre elles les différentes pièces composant le fourreau.

L'observation effectuée sur *la gouttière 7054* est à rapprocher de la présence de perlite coalescée dans une des plaques de fourreau et dans deux des gouttières. Elle témoigne d'un chauffage prolongé de la pièce après sa mise en forme. Cette technique peut être une simple pratique de certains forgerons sans intention précise, mais elle pourrait être l'indication de l'utilisation fréquente de la brasure pour monter la bouterolle sur les tôles de la partie distale de certains fourreaux d'épées. Ce procédé, attesté ici pour la première fois sur un fourreau d'épée celtique, est-il utilisé pour la fabrication ou la réparation de ces objets ? Il n'existe pas à ce jour d'études comparables,

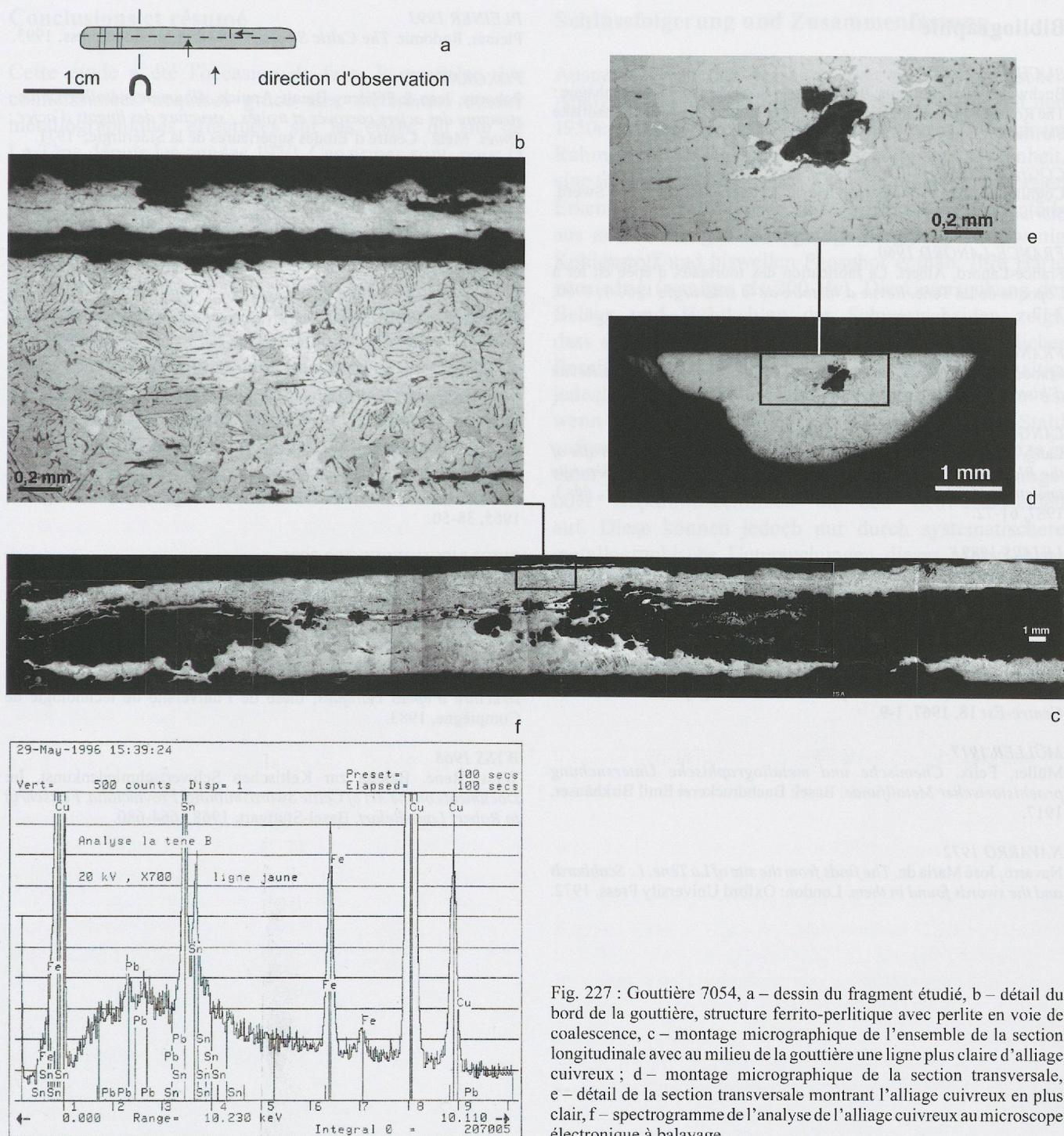


Fig. 227 : Gouttière 7054, a – dessin du fragment étudié, b – détail du bord de la gouttière, structure ferrito-perlitique avec perlite en voie de coalescence, c – montage micrographique de l'ensemble de la section longitudinale avec au milieu de la gouttière une ligne plus claire d'alliage cuivreux ; d – montage micrographique de la section transversale, e – détail de la section transversale montrant l'alliage cuivreux en plus clair, f – spectrogramme de l'alliage cuivreux au microscope électronique à balayage.

qui permettraient de discuter cette hypothèse. On peut simplement signaler la description par Pleiner d'une plaque de fourreau entièrement ferritique renforcée par un fil en acier provenant d'une tombe du site de Maňa en Slovaquie (Pleiner 1993 : 155).

Bibliographie

BUCHWALD 2005

Buchwald, Vagn Fabricius. *Iron and steel in ancient times*. Copenhague : The Royal Danish Academy of Sciences and Letters. Historisk-filosofiske Skrifter 29, 2005.

COGHLAN 1956

Coglan, Herbert H. Note upon Iron as a Materiel for the Celtic Sword. *Sibrium* 3, 1956/1957, 129-136

FRANCE-LANORD 1960

France-Lanord, Albert. La fabrication des fourreaux d'épée en fer à l'époque de La Tène. *Revue d'histoire de la sidérurgie* 1960-1, 1960, 7-12.

FRANCE-LANORD 1964

France-Lanord, Albert. La fabrication des épées de fer gauloises. *Revue d'histoire de la sidérurgie* 1964-5, 1964, 315-327.

LANG 1987

Lang, Janet. The Technology of Celtic Iron Swords. In : *The crafts of the Blacksmith, Symposium of the UISPP Comité pour la Sidérurgie ancienne, 16-21 september 1984*, (SCOTT B. G., CLEERE H., éds.), 1987, 61-72.

LEJARS 1989

Lejars, Thierry. Les armes des sanctuaires poitevins d'époque pré-romaine de Faye l'Abbesse (Deux-Sèvres) et de Nalliers (Vendée). *Gallia* 16, 1989, 1-41.

LEPAGE & CLAISSE 1967

Lepage, Louis & Claisse, Fernand, Une épée de la Tène II trouvée à Saint-Dizier (Haute-Marne). *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est* 18, 1967, 1-9.

MÜLLER 1917

Müller, Felix. *Chemische und metallographische Untersuchung prähistorischer Metallfunde*. Basel: Buchdruckerei Emil Birkhäuser, 1917.

NAVARRO 1972

Navarro, José María de. *The finds from the site of La Tène. I : Scabbards and the swords found in them*. London: Oxford University Press, 1972.

PLEINER 1993

Pleiner, Radomir. *The Celtic Sword*. Oxford : Clarendon Press, 1993.

POKORNÝ 1971

Pokorný, Jean & Pokorný-Brault, Annick. *Album de métallographie : structure des aciers corroyés et traités ; structure des lingots d'acier ; fontes*. Metz : Centre d'Études supérieures de la Sidérurgie, 1971.

RAPIN 2000

Rapin, André. Les fourreaux d'épée, un chef-d'œuvre de l'art de la forge des Celtes. *Les Celtes et les arts du feu, Dossiers d'archéologie* 258, 2000, 66-75.

SALIN 1952

Salin, Édouard. Sur les techniques de la métallurgie du fer de la préhistoire au temps des grandes invasions. *Revue de métallurgie* XLIX, 1952-1953, 165-176.

SALIN 1957

Salin, Édouard. *La civilisation mérovingienne, t. III. Les techniques*. Paris : Éd. Picard, 1957.

SCHULZ & PLEINER 1965

Schulz, Ernst H. & Pleiner, Radomir. Untersuchungen an Klingen eiserner Latèneschwerter. *Technische Beiträge zur Archäologie* 2, 1965, 38-50.

SENN-BISCHOFBERGER 2005

Senn-Bischofberger, Marianne. *Das Schmiedehandwerk im nordalpinen Raum von der Eisenzeit bis ins frühe Mittelalter* (IA Naturwissenschaft und Technologie 5). VML, 2005.

URAN 1983

Uran, Laurent. *Contribution à l'étude de la paléométallurgie du fer : structure d'épées celtes*, thèse de l'université de technologie de Compiègne, 1983.

WYSS 1968

Wyss, René. Belege zur Keltischen Schwertschmiedekunst. In: *Documents on the Art of Celtic Swordsmithing, Provincialia, Festschrift to Robert Laur-Belart*, Basel-Stuttgart, 1968, 664-680.

Conclusions et résumé

Cette étude a été l'occasion de faire la synthèse des connaissances acquises grâce aux différentes études métallographiques effectuées sur les épées du site de La Tène depuis les années 1950. Ces armes sont, pour la plupart, faites d'une masse unique d'un fer peu carburé et quelquefois phosphoreux. Leur dureté est faible (moins de 200 Hv). L'examen des plaques et des gouttières de fourreau montre une grande diversité dans la nature du métal utilisé. Peu carburé en général, mais à teneur en carbone hétérogène, il peut comporter, mais rarement, des plages d'acier hypereutectoïde. L'identification d'une brasure au bronze dans une des gouttières pose la question des techniques d'assemblage ou de réparation des fourreaux. Celles-ci ne pourront être précisées que par des études métallographiques plus systématiques de ce type de matériel.

Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Ausgehend von den verschiedenen metallographischen Analysen, die an den Schwertern aus La Tène seit den 1950er Jahren durchgeführt worden waren, bot sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung die Gelegenheit, eine Synthese der in diesem Zusammenhang erworbenen Erkenntnisse zu erstellen. Diese Waffen sind grösstenteils aus einem einzigen Eisengefüge hergestellt, das wenig Kohlenstoff und bisweilen Phosphor enthält. Ihre Härte ist niedrig (weniger als 200 Hv). Die Untersuchung der Beläge und Hohlkehlen der Schwertscheiden zeigt, dass das verwendete Metall von sehr unterschiedlicher Beschaffenheit war. Im Allgemeinen wenig karbonhaltig, jedoch mit sehr heterogenem Karbongehalt kann es, wenn auch selten, Stellen mit übereutektoidem Stahl aufweisen. Die Identifizierung von aufgelöster Bronze in einer der Hohlkehlen wirft die Frage nach Verbindungs- oder Reparaturtechniken an den Schwertscheiden auf. Diese können jedoch nur durch systematischere metallographische Untersuchungen dieses Materialtyps beantwortet werden.

