

**Zeitschrift:** as. : Archäologie Schweiz : Mitteilungsblatt von Archäologie Schweiz = Archéologie Suisse : bulletin d'Archéologie Suisse = Archeologia Svizzera : bollettino di Archeologia Svizzera

**Herausgeber:** Archäologie Schweiz

**Band:** 24 (2001)

**Heft:** 3

**Artikel:** La métallurgie du bronze au milieu de l'âge du Fer

**Autor:** Mauvilly, Michel / Cristobal, Evencio / Peiry, Christian

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-18987>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

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

## m é t a l l u r g i e

«Ainsi dans le silence du toucher réappris, abolissant le temps et la mort, rencontrer et mieux entendre la voix de ceux qui ne laissèrent derrière eux que les paroles de leurs mains...»

P. Andrieux



1

## La métallurgie du bronze au milieu de l'âge du Fer

— Michel Mauvilly, Evencio Garcia Cristobal, Christian Peiry et Vincent Serneels

L'atelier métallurgique de Sévaz et l'étude par expérimentation de son fonctionnement éclairent d'un jour nouveau le travail du bronze au 5<sup>e</sup> s. av. J.-C.

Fig. 1  
Faces externe et interne d'un creuset expérimental. Ech. 1:1.

*Innen- und Aussenseite eines der für das Experiment hergestellten Gusstiegel.*

*Superficie esterna e interna di un crogiolo sperimentale.*

Dans nos régions, lorsque la métallurgie du fer fait son apparition, le travail des alliages à base de cuivre s'appuie déjà sur une tradition vieille de plus d'un millénaire. Le fer, contrairement au bronze, apparaît dans un monde où le métal est déjà hautement «socialisé».

Toutefois, dans l'histoire des techniques, la sidérurgie occupe certainement une place particulière. En effet, elle a non seulement octroyé à l'homme un pouvoir immense et jusque-là inégalé sur la matière, ouvrant ainsi à son imagination créatrice un champ de perspectives pratiquement infini, mais elle a éga-

lement fait glisser le genre humain dans une nouvelle ère où – et les mythes sont bien là pour nous le rappeler – le meilleur mais plus souvent le pire guette à la croisée des chemins. Plus que pour aucune autre technique, nous pouvons dire que le monde, après l'adoption du fer, ne fut plus tout à fait le même. Il n'est que de voir les transformations sociales et économiques que cette nouvelle technologie suscita progressivement!

L'apparition du nouveau métal dans nos régions n'a pas, loin s'en faut, sonné le glas de la métallurgie du bronze. L'art de la fibule, particulièrement florissant durant tout l'âge du Fer, est bien là pour en témoigner. Certes, le bronze a dû abandonner au fer des pans entiers de la production, comme une grande partie de l'armement et de l'outillage, mais il est manifeste que la concurrence fut source d'émulation, d'innovation et de création technologiques et artistiques.

Fig. 2  
Milieu du 5<sup>e</sup> s. av. J.-C., ambiance de travail autour du travail du bronze.

*Mitte 5. Jh. v.Chr., Stimmungsbild zur Bronzebearbeitung.*

Metà del V sec. a.C., ambiente di lavoro in un'officina per la lavorazione del bronzo.

Fig. 3  
Creusets en argile, pièces originales.

*Schmelztiegel aus Ton, Originale.*

Crogioli d'argilla originali.

### L'atelier métallurgique de Sévaz «Tudinges»

Sur ce site localisé dans la Broye fribourgeoise, les activités métallurgiques liées au travail du fer et des alliages cuivreux ont laissé des traces particulièrement importantes. L'association, jusqu'alors inédite dans la région pour le 5<sup>e</sup> s. av. J.-C., de structures de production (fosses-ateliers, foyers, etc.) et de témoins d'activités (déchets, fabricats, outils, etc.) constitue incontestablement le principal intérêt du site.

Concernant la technologie du bronze, et malgré une relative discrétion du volume de métal recueilli (120 g seulement!), l'étude minutieuse et comparée des différentes catégories de vestiges permet d'éclaircir certains aspects méconnus. Dans l'état actuel de la documentation, il est impossible de préciser sous quelle forme (lingots, pièces à recycler, etc.) le cuivre et l'étain arrivèrent sur le site, d'autant que la belle série de dépôts (Arbedo, Como, Golasecca, etc.)

découverts au sud des Alpes et plus ou moins contemporains de l'occupation de Sévaz témoigne d'un important recyclage de cet alliage.

Il est en tout cas manifeste que les premières étapes de la production des métaux (réduction du minerai et «conditionnement») n'ont pas été effectuées sur le site. En revanche, la seconde phase capitale, à savoir la fonte stricto sensu des alliages, est clairement attestée

**La métallurgie du bronze: du minerai à l'objet.** Un objet en bronze est le produit d'une suite complexe d'opérations techniques, une chaîne opératoire qui mène des matières premières naturelles, les minerais, aux objets fonctionnels. Il faut d'abord identifier et extraire les minerais bruts. Ensuite, il s'agit de les «concentrer», c'est-à-dire séparer les minéraux contenant le métal des autres constituants de la roche, la gangue. Ce travail se fait par concassage, tri et lavage. On peut faire subir une première chauffe au minerai, de manière à améliorer les autres opérations de séparation ou pour amorcer les réactions chimiques qui faciliteront le traitement métallurgique.

En chauffant le minerai concentré dans un fourneau alimenté au charbon de bois, on obtient l'élévation de température qui permet au carbone de réagir avec l'oxygène, libérant ainsi le métal. Dans le cas du cuivre, ce traitement s'effectue à des températures supérieures à 1100° et le métal est obtenu à l'état liquide. Le traitement de certains minerais, en particulier les sulfures, s'effectue par étapes: le produit de l'opération, impur, est retraité jusqu'à atteindre une qualité suffisante.

Il est ensuite nécessaire de refondre encore une fois le cuivre pour y incorporer d'autres métaux et fabriquer un alliage. Dans le cas du bronze, c'est de l'étain que l'on ajoute. L'artisan ajuste la composition de l'alliage à la fonction de l'objet qu'il veut produire.

Il faudra enfin refondre une ultime fois l'alliage pour pouvoir le verser dans un moule qui a la forme en négatif de l'objet projeté. Après solidification de l'alliage, on extrait la pièce du moule. Elle est ensuite retravaillée, soit pour corriger les défauts du moulage (ébarbage, etc.), soit pour en modifier la forme et les propriétés physiques. On travaille principalement par déformation plastique (martelage, étirage, etc.) en intercalant des chauffes qui permettent au métal de se «restaurer». Pour finir, on procède aux assemblages (manche, etc.) et aux finitions (polissage, gravure, etc.).

Les alliages à base de cuivre peuvent être refondus autant de fois qu'on le souhaite. Très tôt dans l'histoire de la métallurgie, le recyclage a joué un rôle essentiel dans l'approvisionnement.

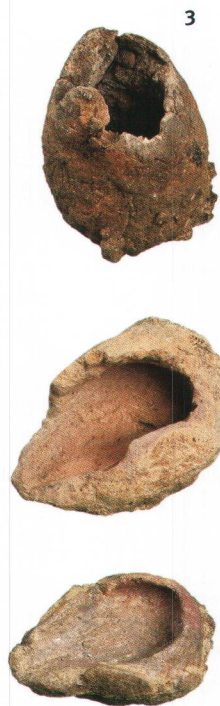




Fig. 4  
Rondelle de fer, bronzée en surface.

*Eisenscheibe mit Bronzeauflage auf der Oberfläche.*

Disco di ferro bronzato.

par la présence de plusieurs centaines de fragments de creusets en argile (fig. 3). Malheureusement, pour la suite de la chaîne opératoire, l'absence de moules ainsi que la rareté des déchets et des objets, finis ou non, empêchent de définir le type d'artefacts produits. Incontestablement, la matière première a fait l'objet d'une économie particulièrement drastique.

Concernant le savoir-faire des artisans, la présence de quelques pièces en fer bronzées (fig. 4) milite incontestablement en faveur d'une technologie bien maîtrisée.

### La métallurgie du bronze, côté creusets

S'agissant pour cette technologie, de la catégorie de déchets la mieux représentée sur le site et d'une pièce maîtresse du processus de fonte, les creusets ont été examinés avec une attention particulière qui s'est manifestée par une série d'études complémentaires (typo-morphologiques, géo-chimiques, expérimentales, etc.).

Sur la base des exemplaires les mieux conservés, nous pouvons restituer des creusets en «forme

de poire», qui font en moyenne 1 à 1,5 cm de diamètre à l'embouchure et une dizaine de centimètres de hauteur pour un diamètre maximal de 6 cm. Leur contenance oscille entre 50 et 60 cm<sup>3</sup>. Manifestement, du 6<sup>e</sup> au 4<sup>e</sup> s. av. J.-C., il s'agit du type classique de creusets utilisé en Europe.

L'état de surface des creusets pratiquement complets offre également de précieux renseignements quant à leur mode d'utilisation. Une série de différences se manifeste entre leurs faces interne et externe, entre leur fond et leur ouverture. En effet, alors que leur partie inférieure, soumise à une cuisson en atmosphère réductrice, se limite généralement à des tons foncés, leur partie supérieure connaît une gamme de teintes bien plus diversifiée et contrastée, qui varie du gris à l'orange pâle, en passant par des nuances verdâtres. Nous pouvons donc en déduire une exposition différentielle des faces du creuset à la source principale de chaleur. Incontestablement, la partie haute des pièces a été soumise à des températures atteignant «seulement» 600-700° alors que celles-ci sont supérieures à 1300° pour la partie inférieure, entraînant alors de sérieuses modifications de l'état de surface, qui se

Fig. 5  
Film du montage d'un creuset.  
*Der Aufbau eines Schmelztiegels.*  
Film sulla produzione di un crogiolo.



5

**Le montage des creusets fermés.** Suite aux multiples observations effectuées sur les pièces bien conservées, mais également sur des fragments plus modestes, le mode et les étapes de montage de ce type de creusets ont pu être restitués expérimentalement (fig. 5).

Ces pièces ne sont pas tournées, mais montées à la main. En fait, leur technique de fabrication repose avant tout sur le principe d'un assemblage à partir de deux pièces de masse inégale (A), réalisées séparément.

La fabrication débute par la confection de la pièce la plus importante, à savoir la «valve» inférieure. A partir d'une motte d'argile préalablement triée (B), travaillée et dégraissée (cf. analyse géo-chimique), quelques gestes simples suffisent à lui donner une «forme de bateau» (C). Un épaississement de la paroi «de la poupe vers la proue» doit néanmoins être respecté. C'est à ce moment qu'intervient une étape capitale dans la chaîne opératoire, à savoir le dépôt de la matière première à fondre (D). En effet, compte tenu de l'étroitesse de l'embouchure, il est pratiquement impossible par la suite, d'insérer le métal sans abîmer le creuset en cherchant à en augmenter l'ouverture.

La réalisation de la seconde partie du creuset, soit la «valve» supérieure, peut alors débuter. Plus simple, car d'épaisseur uniforme, celle-ci est d'abord façonnée à partir d'une galette plus ou moins circulaire (E) et suffisamment grande pour permettre à la fois la fermeture de la «valve» inférieure et un chevauchement partiel visant à assurer la jointure et l'assemblage des deux pièces (F). Naturellement, cette opération ne peut être effectuée que lorsque la pâte est encore humide et collante. Enfin, le façonnage de l'ouverture (G) constitue la touche finale. Quelques minutes seulement suffisent à la réalisation de ces pièces qui, au vu de leur emploi unique, n'ont que peu de valeur intrinsèque.

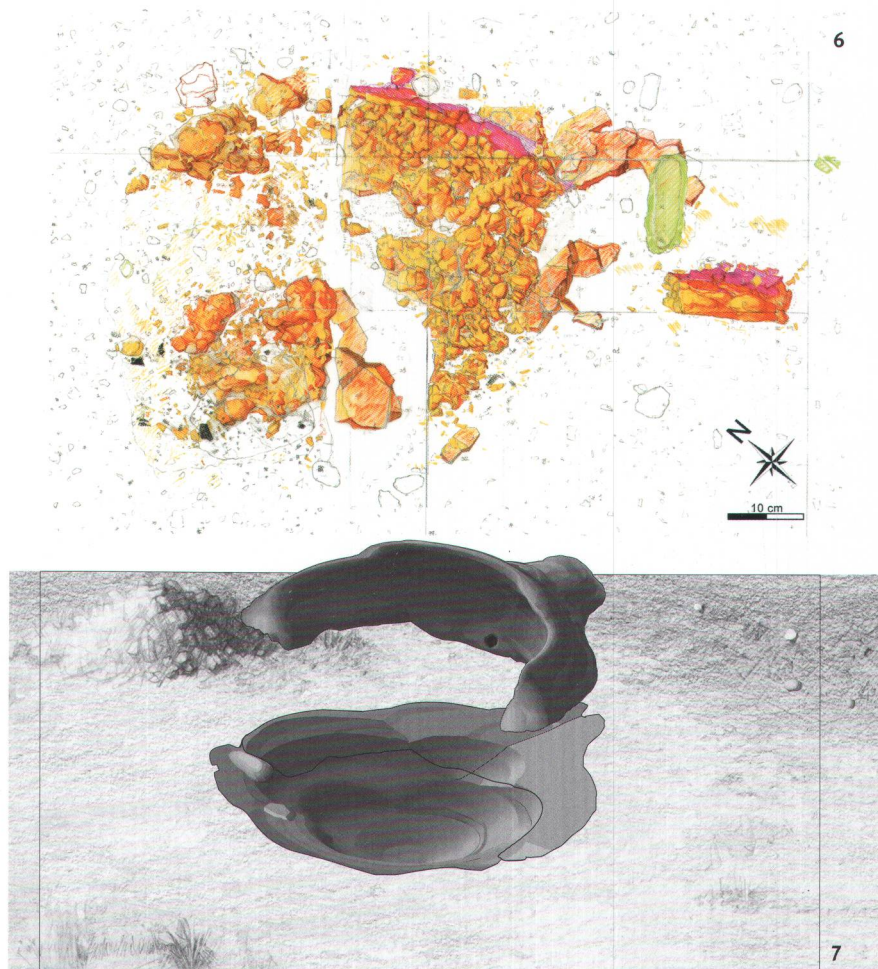


Fig. 6  
Four de bronzier (structure 13), relevés de terrain assemblés.

*Bronzeschmelzofen (Struktur 13), Gesamtansicht mit Umgebung.*

Fornace per la lavorazione del bronzo (struttura 13), insieme dei dati rilevati sul terreno.

Fig. 7  
Four de bronzier (structure 13), proposition de restitution.

*Vorschlag einer Rekonstruktion eines Bronzeschmelzofens (Struktur 13).*

Fornace per la lavorazione del bronzo (struttura 13), proposta di ricostruzione.

manifestent, principalement sur la face externe, par une fusion superficielle (fig. 1) avec boursouffures, vitrification et, par endroits, triplement de l'épaisseur initiale de la paroi. Ces modifications thermiques importantes sont localisées préférentiellement sur le fond et le côté le plus épais des pièces.

### La métallurgie du bronze, côté structure

Si le cœur de l'atelier de Sévaz a livré plusieurs foyers clairement destinés aux activités métallurgiques, un seul – la structure 13 – ne présentait pas, dans son remplissage ou à sa périphérie, d'association de déchets évoquant conjointement le travail du fer et celui des alliages cuivreux.

En fait, cette structure fut d'autant plus intrigante et digne d'intérêt qu'elle était plutôt isolée, qu'elle se singularisait par sa morphologie générale et surtout que le seul objet manufacturé découvert en son sein était un fragment de creuset.

A la fouille, non sans difficultés, nous avons pu identifier les contours d'une fosse dont le profil accuse d'abord une déclivité régulière et douce qui, vers le milieu, s'accroît brutalement pour donner naissance à une cuvette d'une trentaine de centimètres de profondeur, aux parois relativement abruptes. Mais l'élément le plus remarquable réside incontestablement dans la forte concentration de fragments d'argile cuite occupant principalement l'espace oriental de la fosse (fig. 6).

### La métallurgie du bronze, côté restitution, expérimentation et processus

Afin de proposer une restitution cohérente, nous avons dû intégrer aux données de fouilles des éléments externes à la structure, provenant soit du site directement, soit de nos expérimentations. Nous avons néanmoins toujours cherché à coller au plus près aux faits archéologiques, en confrontant constamment les altérations et les modifications produites sur les différents témoins actifs ou passifs, aux stigmates observés sur les pièces de Sévaz.

Concernant l'agencement général du foyer, après certains tâtonnements, nous proposons de restituer une structure de chauffe en creux, agrémentée d'une superstructure en argile. Ceignant un des côtés de la cuvette principale du foyer, cette dernière se présenterait sous l'aspect d'un muret massif et légèrement curviligne d'une vingtaine de centimètres de hauteur, auquel nous donnerions une forme en Y; la barre centrale, épousant la déclivité artificielle du terrain, ferait office de canal d'arrivée d'air. Du côté du foyer, le muret connaîtrait une légère voûture suggérée par la disposition des différents éléments d'argile cuite au sein de la structure 13 (fig. 7).

Comme le laissent sous-entendre les fortes modifications des éléments d'argile découverts au sein de cette structure, un apport important et dirigé d'air a dû venir nourrir le feu. La découverte de plusieurs fragments d'argile avec les traces, le plus souvent, d'un seul trou à vent de deux centimètres de diamètre en moyenne (fig. 8) et l'asymétrie très nette des marques de chauffe violente sur les creusets

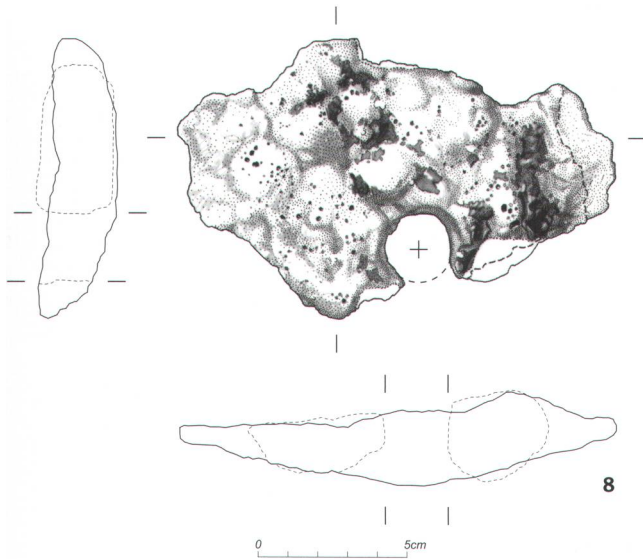


Fig. 8  
Trou à vent (extrémité du conduit de ventilation côté four), pièce originale.

*Ofenseitiger Luftzufuhrkanal.  
Original.*

Foro di ventilazione originale (estremità del condotto di ventilazione sul lato della fornace).

Fig. 9  
Du montage du four à la fonte du bronze, essai de reconstitution expérimentale.

*Vom Ofenaufbau zum Bronzeguss,  
Versuch einer experimentellen  
Rekonstruktion.*

Dalla costruzione della fornace alla fusione del bronzo, tentativo di ricostruzione sperimentale.

Fig. 10  
Bris accidentel des creusets au niveau du raccord de montage des deux valves.

*Auf der Höhe der Verbindung der  
zwei Tiegelhälften künstlich gebrochene  
Schmelztiegel.*

Rottura accidentale dei crogioli in corrispondenza della giuntura tra le due valve.



9

indiquent manifestement que les artisans-métallurgistes ont privilégié le système de ventilation à un seul conduit d'air, directement aménagé dans la masse de la superstructure en argile.

Avec ce type de structure, pour atteindre les températures de fusion du bronze (800 à 1100° suivant les alliages), l'emploi d'un système de ventilation artificielle est indispensable. Faute de témoignage archéologique direct, l'iconographique des vases grecs datant justement des 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> s. av. J.-C., permet de restituer l'utilisation d'une outre de peau, ouverte à son sommet.

Jusqu'à présent, dans le cadre de nos expérimentations (fig. 9), nous avons privilégié un système de ventilation à un seul soufflet qui s'est avéré suffisant, mais nous devons reconnaître que l'emploi d'un second soufflet, travaillant en alternance, aurait été manifestement plus efficace. Les expériences ont démontré l'avantage du muret voûté qui, outre la protection qu'il offre à la personne qui actionne le(s) soufflet(s), génère une réverbération

de la chaleur, diminue la déperdition et augmente donc d'autant les capacités calorifiques du four. Elles ont également apporté leur lot d'enseignements sur l'organisation et la gestion des opérations de chauffe:

- pour mener à bien l'opération de fonte, tout en cherchant à obtenir sur la surface des creusets les mêmes modifications que celles observées sur les pièces originales, il est nécessaire que ces derniers soient situés à très faible distance du trou d'arrivée d'air, mais légèrement en surélévation;



- par l'orifice supérieur du creuset, qui émerge du charbon pendant la chauffe, il est possible de contrôler, d'un coup d'œil expérimenté ou au moyen d'une tige, l'état de fusion du métal;

- compte tenu de la durée de l'opération qui nécessite au minimum, en partant d'un four éteint, une heure, et de l'affaissement des charbons de bois dont le poids atteint un kilogramme à peine, il est nécessaire d'opérer à trois ou quatre reprises un réajustement vertical des creusets, accompagné parfois d'un réapprovisionnement en combustible;

- manifestement, le système à un trou de ventilation ne permet de porter simultanément à la bonne température que deux creusets de dimensions comparables à ceux découverts à Sévaz;

- une cuvette trop large nuit à la bonne marche de l'opération (éparpillement des charbons, déperdition calorifique, etc.), d'où la nécessité d'une bonne structuration de l'aire de chauffe.

Mais c'est sans conteste dans le domaine des

Fig. 11  
Moitié de creuset, interprétée  
souvent à tort comme creuset  
en coupelle.

*Schmelztiegelhälfte, fälschlicher-  
weise oft als schalenförmiger  
Tiegel interpretiert.*

Metà di un crogiolo, spesso inter-  
pretata a torto come crogiolo a  
forma di scodellina.

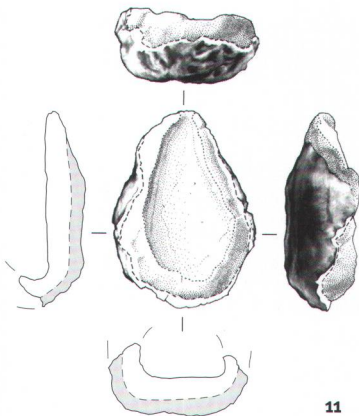
creusets que ces expériences furent les plus enrichissantes. Outre, comme nous l'avons vu, la question de leur fabrication et le rôle capital de leur positionnement dans le foyer, elles ont mis en exergue l'impossibilité de réaliser la fusion des alliages cuivreux dans un creuset plein jusqu'à la gueule. En effet, d'après le mode de chauffe, une trop grande différence de température se manifeste entre le fond et le haut du récipient, empêchant la liquéfaction de l'intégralité de la matière première. Pour une réussite assurée de l'opération, guère

### Perspectives de recherches

Le moment d'émergence de la nouvelle technologie du fer et ses impacts sur celles qui existaient auparavant constituent incontestablement des éléments fondamentaux et passionnants. Qu'elles soient directes ou indirectes, les conséquences se font souvent sentir de manière différée et sont étalées dans le temps. En fait, ce phénomène reste d'autant plus difficile à saisir que nous touchons à des périodes anciennes pour lesquelles nous ne dispo-



10



11

plus de la moitié du creuset doit être remplie. Ce volume correspond à une quantité de bronze oscillant entre 200 et 300 g environ. A titre de comparaison, nous rappellerons que le poids moyen d'une fibule en bronze de la fin du Premier âge du Fer est compris entre 5 et 10 g seulement... Ces expériences ont également démontré qu'il n'est pas nécessaire de cuire les creusets avant leur utilisation et ont mis en évidence un bris caractéristique des pièces, qui fut souvent source d'interprétation typologique erronée. En effet, dans la littérature, nous trouvons fréquemment mention de creusets en coupelle avec bec verseur intégré. Or, à plusieurs reprises, après un refroidissement relativement brutal des creusets, nous avons pu constater une fracture se produisant justement à la jonction entre les deux valves (fig. 10), qui donne donc involontairement naissance à deux faux creusets en forme de coupelle (fig. 11). En fait, cet «accident» relativement fréquent résulte de la technique de fabrication bivalve des creusets.

sons d'aucun témoignage direct. Certains éléments, comme le poids de la tradition ou les contraintes techno-culturelles, nous échappent complètement. Que les impacts aient été immédiats ou différés, il est impensable que la métallurgie du bronze soit restée hermétique à celle du fer et vice versa. Concurrence, cohabitation, résistance et transferts avec interactivités réciproques durent certainement caractériser les étapes des relations entre les deux métaux dont les technologies propres, si elles ne sont pas fondamentalement antinomiques, n'en demeurent pas moins différentes, non seulement dans leur mise en œuvre, mais également dans leur approche conceptuelle. Alors que les bronzes sont mis en forme à l'état liquide et que les variations de leurs propriétés physiques résultent du mélange volontaire de deux ou plusieurs métaux, les fers et les aciers se travaillent par déformation à chaud, et ce sont les traitements thermiques, comme la trempe et le recuit, qui déterminent en bonne partie leurs propriétés.

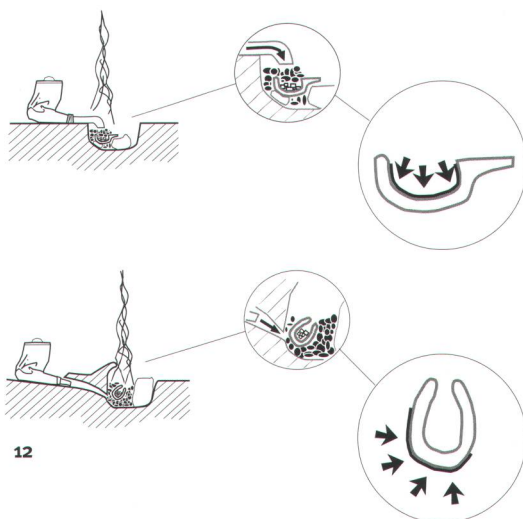


Fig. 12  
Principes de ventilation des fours à l'âge du Bronze (haut) et à l'âge du Fer (bas).

*Prinzipien der Ofenbelüftung in der Bronzezeit (oben) und in der Eisenzeit (unten).*

Sistema di ventilazione di una fornace dell'età del Bronzo (in alto) e dell'età del Ferro (in basso).

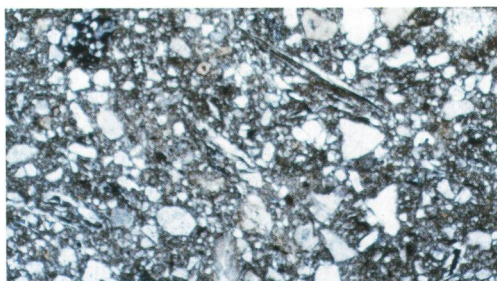
12

Parmi les éléments spécifiques à la métallurgie du fer, qui ont pu avoir un impact direct sur celle des alliages cuivreux, une place de choix revient à la nouvelle dynamique générale de ventilation des foyers. En effet, et les creusets sont là pour en témoigner, de «verticale et supérieure» dans la tradition de la fonderie de l'âge du Bronze, la ventilation devient latérale et partiellement souterraine, disposition mieux adaptée au travail du fer dans le foyer (fig. 12). Ce changement est plus fondamental qu'il n'y paraît

Fig. 13  
Vue au microscope (lumière polarisée) d'un creuset de Sévaz avec poils.

*Aufnahme unter dem Mikroskop (polarisiertes Licht) eines Schmelztiegels von Sévaz mit Tierhaarmagerung.*

Immagine al microscopio a luce polarizzata di un crogiolo di Sévaz, con degrassante costituito da peli di animale.

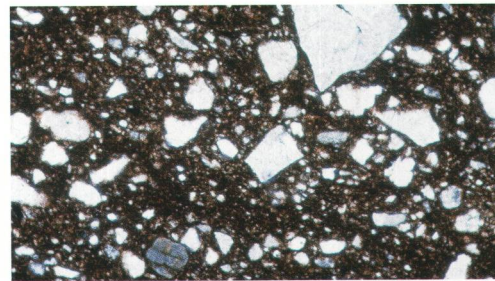


13

**Les données géo-chimiques.** Les creusets de Sévaz ont tous été réalisés selon la même recette. La pâte argileuse, dépourvue de micas, contient une forte proportion (environ 40%) de grains de quartz ou de feldspaths fracturés et de petits fragments de roches quartzitiques, dont la taille ne dépasse pas un millimètre. Les artisans ont également ajouté des poils d'animaux (fig. 13) et la pâte a été complètement homogénéisée.

Les inclusions visibles dans la pâte des creusets sont identiques à celles que l'on observe dans les argiles naturelles prélevées à quelques centaines de mètres en aval, dans le lit fossile de l'Arignon (fig. 14). Seules les proportions entre sables et argiles varient. Tout porte donc à croire que les artisans ont pu trouver dans leur environnement immédiat un banc d'argile contenant la proportion voulue de grains siliceux. Du point de vue chimique et minéralogique, les creusets sont également très proches des argiles utilisées pour les superstructures des foyers métallurgiques. Ils sont par contre nettement différents des céramiques trouvées sur le site.

Selon les critères de l'industrie moderne, ces creusets, très siliceux, ne correspondent pas à des réfractaires de bonne qualité, qui devraient être beaucoup plus riches en aluminium pour éviter la fusion de la matrice argileuse. On constate cependant que la



14

plupart des creusets anciens sont fabriqués de la même manière que ceux de Sévaz. C'est la forte proportion de grains de quartz qui permet au matériau de conserver une tenue mécanique suffisante malgré une fusion très importante et en profondeur de la matrice. L'utilisation de poils ou d'autres dégraissants organiques est une tradition qui se perpétue de nos jours chez les fondeurs traditionnels.

Les assemblages de minéraux présents dans les creusets montrent que les parties les moins exposées ont subi des températures de l'ordre de 600° alors que les parties fondues ont atteint au moins 1100°.

Pour les creusets expérimentaux, les argiles prélevées à proximité du site, pauvres en calcium, et une argile calcaire de l'Aquitainien (carrère de Vallon) ont été utilisées. Différents dégraissants ont été ajoutés en proportions variées: sable molassique calcaire, silex, roche calcaire, chamotte, crottin et poils. Tous ces mélanges se sont avérés utilisables et les creusets expérimentaux montraient des altérations comparables à celles observées sur les pièces archéologiques. Par contre, les pièces fabriquées avec des matériaux calcaires (argile et/ou dégraissant) ont été rapidement réduites en poudre en raison de la réaction d'hydratation de la chaux (fig. 15). Seules les pièces fortement siliceuses se sont conservées au-delà de quelques jours.

Fig. 14  
Vue au microscope (lumière polarisée) de l'argile naturelle de l'Arignon.

*Aufnahme unter dem Mikroskop (polarisiertes Licht) des in Arignon anstehenden Lehms.*

Immagine al microscopio a luce polarizzata dell'argilla naturale dell'Arignon.



**Fig. 15**  
Différence de conservation des creusets, consécutive à leur composition chimique.

*Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung unterschiedlich erhaltene Schmelztiegel.*

*Differente stato di conservazione dei crogioli, dovuto alla loro composizione chimica.*

## Glossaire

**Cuisson réductrice/oxydante.** La céramique change de couleur lors de la cuisson en fonction de la nature de la pâte (calcaire/non calcaire), de la présence de matière organique, de la quantité d'oxygène dans l'environnement de la poterie et de la température atteinte. Une des réactions qui influence cette modification est celle qui se produit entre le fer présent dans l'argile et l'oxygène de l'atmosphère qui entoure la poterie. En présence d'oxygène («cuisson oxydante»), le fer reste à l'état oxydé ( $Fe_2O_3$ ) et garde une teinte rouge. Dans le cas contraire («cuisson réductrice»), il se forme du fer réduit ( $FeO$ ), de couleur noire.

**Alliages cuivreux.** On peut incorporer dans le cuivre différents éléments d'alliage: l'étain (bronzes), le zinc (laitons) mais aussi l'arsenic, le plomb, l'or, l'argent, etc. En l'absence d'analyse, ils sont très difficiles à distinguer les uns des autres.

### Crédit des illustrations

Claude Zaugg (fig. 1, 3-5, 10, 15);  
Erencio Garcia Cristobal (fig. 2, 6-8, 11);  
Michel Mauvilly (fig. 9, 12);  
Institut de Minéralogie (fig. 13, 14).

à première vue, car c'est non seulement l'équilibre de la structure foyère, mais également celui de la technique en général qui s'en trouve modifié. Il n'est que de voir les incidences sur le procédé de fonte des alliages cuivreux, avec notamment des creusets qui, de forme ouverte à l'âge du Bronze, se «ferment» à l'âge du Fer et surtout, étant abandonnés après leur unique utilisation, perdent de leur valeur intrinsèque.

Cependant, ces réflexions, ces quelques amorces d'archéologie expérimentale ne doivent pas faire illusion: le langage technologique de cet homme du milieu de l'âge du Fer, véritable alchimiste de la matière au vu de la qualité de sa production, demeure encore incroyablement hermétique. Si les méthodes d'investigations analytiques modernes permettent de déchiffrer certains de ses «secrets» de fabrication, elles ne toucheront jamais qu'à la science de la technique; quant à l'alchimie spirituelle, véritable quintessence de la transformation de la matière, souvent déconcertante, voire irrationnelle ou inexplicable pour un esprit du 21<sup>e</sup> siècle, elle ne cessera de nous faire rêver... |

## Bibliographie

- Mauvilly M. et al., Sévaz «Tudinges»: chronique d'un atelier de métallurgistes du début de La Tène dans la Broye, AS 21, 1998, 144-153.  
Mohen J.-P., Métallurgie préhistorique, Introduction à la paléoméallurgie, Paris, 1990.  
Schindler M. P., Der Depotfund von Arbedo T1, Antiqua 30, Basel, 1998.

### Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier le Bureau des autoroutes du Canton de Fribourg pour sa compréhension et son soutien et D. Bugnon et J.-L. Boisaubert pour le temps consacré aux corrections. Les analyses géo-chimiques ont été réalisées à l'Institut de Minéralogie et Pétrographie de l'Université de Fribourg (Prof. M. Maggetti, avec la collaboration de A. Mais). Publié avec l'appui du Service archéologique du Canton de Fribourg.



## Zusammenfassung

*Die auf der Fundstelle Sévaz-Tudinges in der freiburgischen Broye entdeckten archäologischen Überreste haben zahlreiche interessante Informationen zu den Kupferlegierungen der Zeit um die Mitte des 5. Jh. v. Chr. geliefert. Die wichtigsten Erkenntnisse unserer Untersuchungen konnten aufgrund der gefundenen Schmelztiegel gewonnen werden und führen zu einem besseren Verständnis des Systems der Luftzufuhr des Ofens. Wir schlagen vor, die Struktur 13 als einen aus einer Vertiefung bestehenden Ofen mit einem Lehmaufbau zu interpretieren. Dieser gleicht einem massiven Mäuerchen, ist leicht gewölbt und in der Form eines Y gekrümmt, wobei der zentrale Teils des Y als Luftzufuhrkanal diente. |*

## Riassunto

Un insieme di rinvenimenti effettuati nel sito di Sévaz «Tudinges», nella Broye friborghese, ha portato a preziose informazioni riguardanti la lavorazione delle leghe rameose nella metà del V sec. a.C. Il presente studio si concentra, da un lato, sulla migliore conoscenza di uno degli elementi fondamentali nel processo di fusione dei metalli, vale a dire il crogiolo, e, dall'altro, su una comprensione nei minimi dettagli del sistema di ventilazione delle fornaci. E' proposta un'interpretazione della struttura 13 di Sévaz come fornace composta da una fossa e da una sovrastruttura d'argilla. Quest'ultima ha l'aspetto di un massiccio muretto, leggermente bombato e incurvato a forma di Y, dove il tratto centrale funge da canale per il passaggio dell'aria. |