Zeitschrift: Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte = Revue suisse d'art et d'archéologie = Rivista svizzera d'arte e d'archeologia = Journal of Swiss archeology and art history

Herausgeber: Schweizerisches Nationalmuseum

Band: 58 (2001)

Heft: 1: Experimentelle Archäologie im 3. Jahrtausend nach Christus

Artikel: La réduction du minerai de fer dans la Jura central suisse : vestiges et expérimentations

Autor: Eschenlohr, Ludwig

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-169613

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: 02.07.2025

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

La réduction du minerai de fer dans le Jura central suisse: vestiges et expérimentations

par Ludwig Eschenlohr

Remarque introductive

Le présent texte se limite aux connaissances acquises depuis 1989 dans le canton du Jura, dans le domaine des fouilles archéologiques, ainsi que dans le cadre des expérimentations menées depuis 1996.

Il avait été initialement prévu de brosser un tableau détaillé de l'état de l'expérimentation dans le domaine du fer au niveau suisse. Cet objectif n'avait pas été atteint dans le cadre de la communication présentée en décembre 1998. Faute de moyens et de temps, il ne le sera pas davantage dans cet article. L'auteur s'efforcera – en collaboration avec les confrères compétents – de remédier à cette lacune dans un proche avenir.

Le point de départ: la fouille archéologique mène à l'expérimentation

Comme l'archéologue qui débute des fouilles dans un domaine spécifique se fie aux connaissances acquises jour après jour, l'expérimentateur – même s'il possède de solides connaissances – doit en faire de même, s'il ne veut pas simplement quitter le champ de l'archéologie expérimentale.

Cette vérité apparemment banale s'est vérifiée à de multiples reprises depuis la fouille de l'atelier de réduction du minerai de fer découvert à Boécourt, Les Boulies en 1989: tout en acquérant une certaine expérience dans le domaine de la sidérurgie ancienne et de l'expérimentation qui s'y rapporte, nos progrès se heurtent tout d'abord aux évidences archéologiques – ou à l'absence de ces dernières. Il faut donc inlassablement revenir aux données archéologiques initiales ou, au mieux, les vérifier avec un œil nouveau lors de la fouille d'un autre site du même type (cf. les conclusions).

Bien que déjà vieille de dix ans, la fouille de l'atelier sidérurgique de Boécourt, Les Boulies[1] sert toujours de référence principale en matière d'expérimentation pour le Groupe jurassien de bénévoles qui œuvre dans ce domaine.[2] Il s'agit en effet de l'unique fouille exhaustive et récente de ce type de site qui a eu lieu dans cette région de l'Arc jurassien – malgré plus de 300 ferriers recensés et une moyenne d'environ cinq ferriers touchés ou détruits par an (depuis le début du recensement en 1991).

Le plus grand ensemble de ferriers connus au niveau suisse provient du Jura vaudois, grâce aux fouilles effectuées par P.-L. Pelet,[3] notamment celles du site des Bellaires. Malgré leurs spécificités, ces fourneaux fournissent des points de comparaison qui nous manquent sur le plan du Jura central.[4]

Les paramètres connus – les variables – tout ce qui ne se mesure pas…

Avant de se lancer dans l'aventure expérimentale, il fallait faire le point de nos connaissances. La reconstitution d'un bas fourneau est en effet une entreprise de grande envergure, particulièrement si l'on reproduit le modèle archéologique à échelle 1:1. Une erreur de conception a en effet des conséquences autrement plus importantes que s'il s'agissait, par exemple, de la reconstitution d'un bas foyer. Au moins cinq tonnes de matériaux de construction sont nécessaires pour un bas fourneau analogue à ceux que l'on connaît dans l'Arc jurassien. Leur obtention n'est pas aisée: aucune composante artificielle et/ou moderne ne peut être employée sans analyse préalable, du fait que ces éléments interviennent au cours de l'opération à travers le revêtement intérieur du fourneau. La première série d'essais a été par exemple fortement perturbée par l'utilisation d'un sable inadéquat, parce que trop riche en calcaire: à peine atteignait-on une température de 800 degrés environ que le revêtement intérieur du fourneau commençait à fluer et à obstruer l'ouverture frontale du fourneau! Une réfection de ce revêtement a donc été inévitable.

Il est toutefois dans la nature de l'approche expérimentale que l'on se base en premier lieu (outre les éléments évoqués) sur un modèle théorique. Ce n'est que l'expérience concrète qui permet de vérifier les données présupposées. Dans le contexte de la sidérurgie ancienne, au-delà des données techniques générales – inhérentes à toute expérimentation archéologique – les paramètres régionaux prennent une importance certaine. Ce qui veut dire que chaque région disposant d'un passé sidérurgique connaît ses particularités au niveau des matières premières (bois et charbon), des matériaux de construction, de la typologie des vestiges, etc.[5]

Dans le Jura central, à côté du modèle de Boécourt datant du Haut Moyen Age (fig. 1), on dispose d'esquisses de fourneaux – vraisemblablement médiévaux – publiées

Fig. 1 Les bas fourneaux jumelés de Boécourt, Les Boulies.

par Auguste Quiquerez[6] (fig. 2) durant la deuxième moitié du 19e siècle et des résultats de la fouille d'un ferrier médiéval en 1972/3 par l'Université de Bâle.[7] Des données issues d'une intervention d'urgence sur un bas fourneau (également médiéval) fortement abîmé, ainsi que la brève étude d'un fourneau fouillé dans les années soixante, viennent quelque peu compléter ce tableau. En outre, les relevés topographiques de plus de 200 ferriers permettent certaines extrapolations.

La référence archéologique que constitue le modèle de fourneau du Haut Moyen Age de Boécourt peut être considérée comme fiable. Plus de dix essais dans ce type de fourneau ont cependant montré que ce sont les variables non documentées sur le plan archéologique qui posent question: par exemple la circulation de l'air dans le fourneau, l'équilibre entre l'apport d'oxygène et l'ambiance réductrice dans le fourneau; le calibrage du charbon, celui du minerai; la manière et le rythme de charge. Autant d'éléments que seule une recherche empirique ou un savoir-faire initial permettent d'expliquer. Comme le second aspect fait défaut, l'acquisition du savoir passe logiquement par le premier.

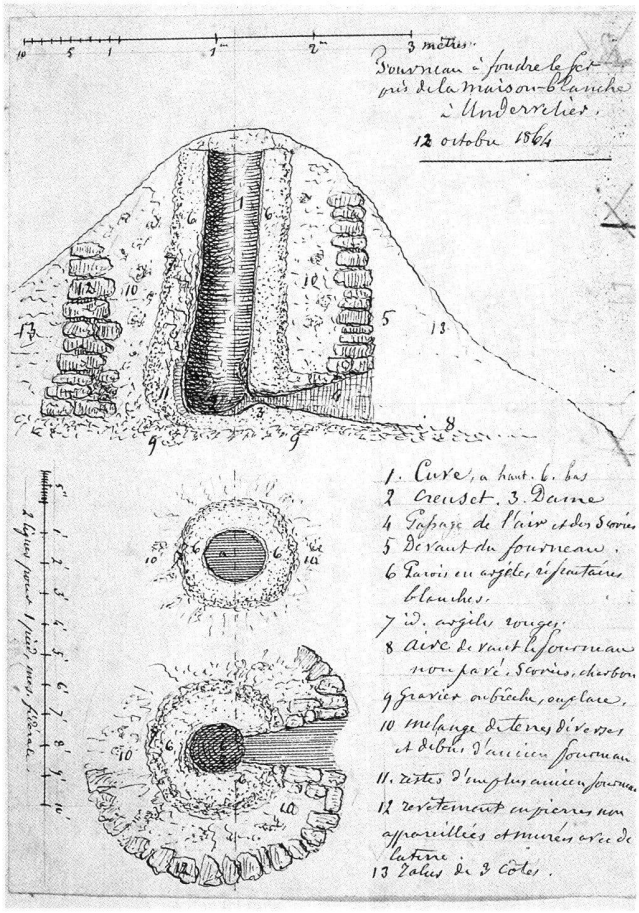

Fig. 2 Modèle de bas fourneau à tirage naturel par Auguste Quiquerez au 19e siècle.

Les premières expériences: charbonnage de bois et réduction de minerai

L'expérience du charbonnage, telle qu'elle s'est déroulée sous la conduite des deux charbonniers de l'Ecomusée d'Alsace à Lajoux en 1996 (fig. 3), a permis de produire du charbon sur la base du résultat des analyses anthracologiques réalisées sur plus de 100 ferriers jurassiens, ainsi que grâce au savoir-faire artisanal des collaborateurs alsaciens. La carbonisation de deux meules d'environ trente stères chacune – une en hêtre, l'autre en sapin – a été réalisée en 30 jours environ. Ce charbon, produit au cœur même du district minier du Jura, correspond assez exactement au matériau employé dans les nombreux bas fourneaux médiévaux des alentours.

Si les essences prédominantes ont été respectées, il faut toutefois préciser que le charbon a été produit à partir de troncs entiers or, selon les analyses, seules les branches ont été transformées en charbon pour chauffer les fourneaux. Ce constat nous a obligé à concasser tout le charbon qui était de trop grand calibre. Mis à part un cadre environnemental géré, tel que celui de l'Ecomusée, il est en effet difficile de pouvoir disposer des éléments de branchage nécessaires à la construction d'une meule selon la tradition ancestrale. Comme chaque région connaît une population forestière bien spécifique, il n'est pas aisé de reconstituer des meules avec les essences trouvées sur les sites archéologiques.[8]

Le lieu de charbonnage avait été choisi en fonction des possibilités actuelles et de la concentration évoquée des vestiges archéologiques. En ce qui concerne le choix de l'emplacement du site de réduction du minerai, la proxi-

Fig. 3 Charbonnage à Lajoux en mai 1996.

Fig. 6 Tuyère expérimentale, Boécourt, Les Lavoirs.

Fig. 4 Affleurement de minerai aux Lavoirs.

mité du minerai, ainsi que celle du site de référence, bien que détruit, ont primé (fig. 4). La question de l'emplacement du fourneau n'est pas négligeable et dans le cadre d'une expérimentation digne de ce nom, il faut en tenir compte. Le second site d'expérimentation du GAFJ a été implanté à l'Ecomusée d'Alsace: il a donc fallu trouver des compromis concernant les matériaux de construction, le charbon, la configuration topographique – tant de paramètres qui ne correspondent plus aux modèles originaux!

Après quelques tentatives qui ont permis de régler les composants non maîtrisés (ventilation, configuration de la porte, préparation des charges, durée d'une opération), les premières séries d'expériences en 1996 ont rapidement montré que la difficulté majeure réside dans la dynamique thermique à l'intérieur du fourneau (figs. 5 à 7). A l'aide d'un appareil de mensuration, il a été possible de démon-

Fig. 5 Tuyère latérale *in situ*, bas fourneau 1, Boécourt, Les Boulies.

Fig. 7 Les bas fourneaux expérimentaux aux Lavoirs: type Boécourt à gauche, type «Quiquerez» à droite.

trer que le gradient d'un côté du fourneau à l'autre – distants d'à peine cinquante centimètres – atteint souvent plus de 300 degrés, pour une température maximale de 1200 à 1300 degrés. Ce problème se pose pratiquement lors de chaque essai de réduction et n'est pas encore résolu, sans que l'on puisse disposer d'indices concluants sur le plan archéologique. Seules l'analyse des scories et l'étude métallographique du fer, entre autres, permettent d'affirmer que nous faisons bonne ou mauvaise route.

Malgré l'absence d'analyses systématiques et de l'élaboration des résultats des dernières séries d'essais, il est toutefois possible de dire que nous avons rapidement réussi à produire un fer très similaire aux restes trouvés sur le site archéologique. Il en va de même pour les scories. Les différences constatées découlent avant tout du fait que nous avons eu recours à des quantités trop élevées de fondant (cendres de bois): il est en effet difficile de gérer l'équilibre thermique au sein du fourneau tout au long de l'opération.

Les conditions cadres

A l'image de l'expérimentation dans d'autres domaines archéologiques, celle touchant à l'ancienne industrie du fer souffre de l'absence de tout soutien officiel et programmé. Ce qui implique que l'ensemble du travail – y compris pour l'archéologue – se fait sur la base du bénévolat. Ceci empêche actuellement le développement de programmes expérimentaux suivis, ainsi que l'élaboration et la publication des résultats. Une telle situation va également à l'encontre du concept initial de l'expérimentation archéologique: sans étude des résultats obtenus, la réflexion sur notre façon de faire reste tâtonnante et aléatoire. Conscient de ce fait, le GAFJ prévoit, en l'an 2000, l'élaboration d'une synthèse portant sur plus d'une vingtaine d'essais effectués dans le Jura et en Alsace, afin d'aboutir à la publication d'une plaquette sur les résultats essentiels.

Malgré ce constat quelque peu décevant, il faut souligner que nous disposons dans le Jura d'un très bon soutien logistique (appareils de mesure et équipements de protection) et financier de la part de l'industrie qui se sent tout à fait concernée par notre démarche: en effet, plus personne n'est en mesure aujourd'hui de produire du fer selon un procédé antérieur au haut fourneau – bien que le «know-how» actuel soit basé sur ce savoir-faire ancestral!

L'acquisition empirique: savoir et savoir-faire

Suffit-il de posséder le savoir pour acquérir le savoir-faire? Provocatrice, certes, cette question souligne cependant un élément essentiel à la réalisation de toute expérimentation archéologique, à savoir que, sans tâtonnement empirique, l'on ne peut pas parler d'un savoir-faire. Autrement dit, on a beau savoir comment il faut faire sur un plan théorique, si l'on ne maîtrise pas les choses en pratique, le résultat ne sera pas celui escompté. Le meilleur exemple qui corrobore cette affirmation est certainement la façon de faire et le savoir-faire de Philippe Andrieux (fig. 8). Avant de me lancer dans l'aventure expérimentale, l'observation des techniques employées par ce personnage hors du commun m'a appris mille fois plus que n'importe quelle théorie – malgré toutes les réticences que l'on peut émettre sur sa manière de faire parfois assez éloignée du modèle archéologique: construction d'un fourneau hybride, emploi de minerai moderne (à cause de sa richesse en oxydes incomparables avec les minerais archéologiques), etc.

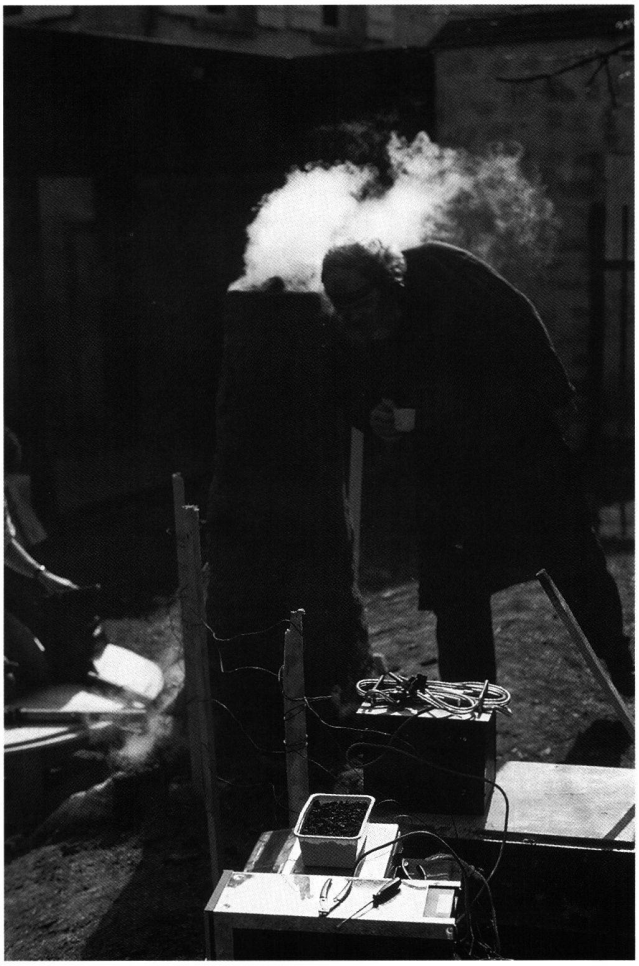

Fig. 8 Philippe Andrieux «écoute» son fourneau.

Le déroulement d'une opération de réduction

Tous les éléments concrets pris en compte lors d'une opération, ainsi que son déroulement détaillé ont fait l'objet d'une communication en Pays de Galles en 1997. L'article y

relatif étant toujours sous presse, sont résumés brièvement les points essentiels de notre démarche.[9]

A notre connaissance, les expérimentations archéologiques menées de façon systématique et utilisant le minerai pisolithique – largement dominant dans la partie centrale du Jura suisse – constituent une première au niveau européen.[10]

Protocole de l'essai n° 9 dans un bas fourneau de type Boécourt, Les Boulies, datant du Haut Moyen Age:

Matières premières:	± 120kg de charbon (hêtre et sapin, ratio 2:1) dont 150 kg pour le préchauffage 50 kg de minerai sidérolithique avec 5 kg cendres de bois.
Soufflerie:	deux anciens soufflets doubles de forge, un latéral et l'autre frontal avec des tuyères Soufflerie continue: (estimation) 900 litres air/minute Soufflerie discontinue: ± 12 coups par minute, 600 litres air/minute

Processus de réduction (début à 7 heures): les indications qui suivent sont des plages de temps à ajouter successivement à partir de l'heure de départ:

2 h 30:	chargement et préchauffage avec soufflerie latérale continue
1 h 30:	12 charges de 1 kg charbon + 1 kg minerai + 100 g cendres et soufflerie latérale continue
6 h:	19 charges de 2 kg charbon + 2 kg minerai + 200 g cendres et soufflerie latérale et frontale discontinue
1 h 30:	chargement de 6 kg charbon et soufflerie discontinue
± 3 h:	coulées de scories de façon discontinue, 8 h 30 après le début jusqu'à 11 h 30 (fig. 9)

Les scories et l'éponge n'ont pas été complètement triées et pesées.

Estimation:	± 30 kg de scories coulées ± 8 kg d'éponge non nettoyée (en trois parties) ± 5 kg de minerai non réduit ± ? kg de scories internes et de parois scorifiées

Température atteinte: entre 800–1000°C environ

L'opération a été stoppée après 11 h 45, l'éponge chaude extraite et les deux principaux morceaux ont été testés à l'aide d'un maillet (figs. 10 et 11).

En guise de conclusion:
l'expérimentation ramène à la fouille archéologique

Seule la fouille programmée d'un ferrier dans le Jura central permettra de progresser sur le plan expérimental (fig. 12). En attendant ce jour, il s'agira de toujours mieux maîtriser les nombreux paramètres qui interviennent dans une opération de réduction du minerai de fer. Néanmoins,

Fig. 9 La scorie coule, Lavoirs 1996.

avant de pouvoir compter sur de sérieux progrès, il est nécessaire de confronter régulièrement les acquis expérimentaux à des exemples archéologiques existants, tout en continuant à s'interroger sur les résultats issus de chaque nouvel essai. Produire du fer est à la portée de tout expérimentateur, à condition qu'il dispose de l'équipement

Fig. 10 Le fer est «battu», Lavoirs 1996.

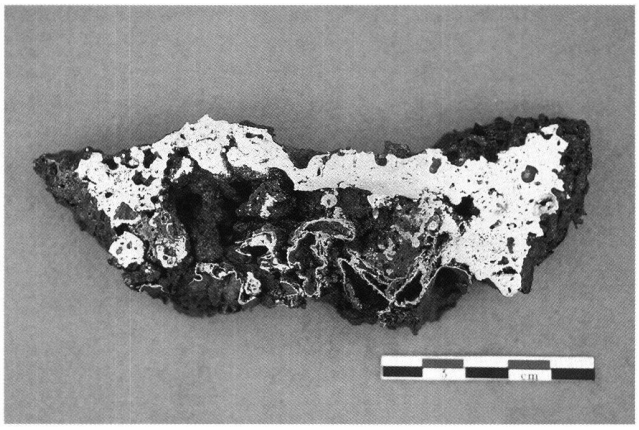

Fig. 11 Coupe à travers l'un des fragments de l'éponge du neuvième essai.

Fig. 12 Retour aux données archéologiques. Le gueulard d'un bas fourneau dans un ferrier médiéval situé à Lajoux (Franches-Montagnes).

adéquat; toutefois, cela n'est pas l'objectif de la démarche mise en place par le GAFJ. En effet, l'intérêt des expérimentations menées actuellement dans diverses régions réside dans leur spécificité relative à chaque district sidérurgique. Peut-être y a-t-il là un des secrets de la quête expérimentale: la recherche du savoir-faire de l'homme d'antan ne peut que progresser à l'échelle humaine – malgré tous les apports de la science moderne.

NOTES

1 LUDWIG ESCHENLOHR / VINCENT SERNEELS, *Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, Les Boulies (JU, Suisse)* (= Cahier archéologie jurassienne 3), Porrentruy 1991, 144 p.

2 Groupe de travail pour l'archéologie du fer dans le Jura, ci-après nommé GAFJ. Ce groupe est coordonné du point de vue scientifique par l'auteur (voir aussi LUDWIG ESCHENLOHR, *Le Groupe de travail pour l'archéologie du fer dans le Jura*, in: Actes de la Société jurassienne d'Emulation 1994, p. 185–193).

3 PAUL-LOUIS PELET, *Une industrie reconnue: Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud* (= Cahiers d'archéologie romande 60), Lausanne 1993, 142 p.

4 L'appellation géographique Jura central suisse comprend d'un côté le canton du Jura et de l'autre le Jura bernois. Cette délimitation est due à des raisons administratives, historiques et archéologiques.

5 Pour en savoir plus sur le concept général de la réduction du minerai de fer, le lecteur voudra bien se référer à la publication du Groupe de travail suisse pour l'archéologie du fer (GSAF et ASTFA (collectif), *Minerai, scories, fer*, Cours d'initiation à l'étude de la métallurgie du fer ancienne et à l'identification des déchets de cette industrie, Technique des fouilles/Grabungstechnik, numéro spécial, Bâle 1997, 95 p.).

6 AUGUSTE QUIQUEREZ, *De l'Age du fer*. Monuments de l'ancien Evêché de Bâle. Réimpression Porrentruy 1992.

7 MARCEL JOOS, *Ein spätmittelalterlicher Rennofen von Lajoux/JU*, in: Minaria Helvetica 14a, 1994, p. 53–73.

8 L'étude de tous les aspects archéologiques concernant la région du Jura central suisse sera publiée dans le cadre de la thèse de doctorat de l'auteur (soutenance en novembre 2000).

9 LUDWIG ESCHENLOHR, *Recent experiments in Switzerland and the interpretation of the archaeological finds*, in: PETER AND SUSAN CREW éditeurs, Early Ironworking in Europe, archaeology and experiment, Volume 2: Experimental and Technical Studies, Plas Tan y Bwlch, sous presse.

10 En Suisse, il y a plusieurs équipes qui ont utilisé des données provenant de Boécourt, ainsi que du minerai jurassien, notamment le Groupe de travail «Rennfeuer» sur le terrain expérimental du Musée national, au château de Wildegg. Voir aussi une plaquette publiée à l'occasion d'une semaine d'action devant le Musée national à Zurich: MARIANNE SENN-LUDER ET AL., *Experimentelle Archäologie: Eisenverhütten und Schwertschmieden*, Zurich/Dübendorf 1997, 10 p. – Voir aussi l'article de MARIANNE SENN / PETER LIENEMANN / THOMAS BÜHRER dans ce cahier, p. 81–88.

PROVENANCE DES ILLUSTRATIONS:

Fig. 1–3, 5: Office du patrimoine historique, Section d'archéologie.
Fig. 11: Philippe Fluzin.
Fig. 4, 6–10, 12: Ludwig Eschenlohr ou GAFJ.

RÉSUMÉ

L'interaction entre l'étude de vestiges archéologiques et la reconstitution expérimentale de ces mêmes vestiges est au cœur de cet article. L'auteur postule que l'acquisition d'un meilleur savoir-faire expérimental nécessite une comparaison permanente en se référant aux données archéologiques de terrain. Il est toutefois important de souligner que l'apprentissage – en l'absence d'un savoir-faire initial – passe par l'expérimentation, notamment en ce qui concerne les facteurs non observables lors de la fouille d'un bas fourneau. Un cas exemplaire d'un essai de réduction du minerai de fer est ensuite présenté. Enfin, les difficiles conditions cadres de l'expérimentation en matière de sidérurgie ancienne sont brièvement évoquées.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wechselwirkung zwischen der Auswertung von archäologischen Funden und der experimentellen Rekonstruktion dieser Funde bildet den Schwerpunkt dieses Beitrages. Der Autor postuliert, dass die Erweiterung und Verbesserung des Know-hows im experimentellen Bereich einen ständigen Vergleich mit den archäologischen Gegebenheiten voraussetzt. Der Lernprozess – ohne ursprüngliche Kenntnisse – basiert jedoch auf dem Experiment, insbesondere was jene Faktoren betrifft, welche bei der Ausgrabung eines Rennofens nicht beobachtet werden können. Ein Musterbeispiel eines experimentellen Verhüttungsvorganges wird anschliessend vorgestellt. Schliesslich werden auch die schwierigen Rahmenbedingungen des Experimentierens im Bereich der frühen Eisenindustrie kurz erwähnt.

RIASSUNTO

Il saggio verte principalmente sull'interazione fra la valutazione di reperti archeologici e la loro ricostruzione a titolo sperimentale. L'autore sostiene la tesi che l'ampliamento e il miglioramento delle conoscenze possa essere ottenuto soltanto mediante il confronto permanente con le condizioni archeologiche sul terreno. Il processo d'apprendimento, all'origine privo di conoscenze, si basa però sull'esperimento, in particolare per quanto riguarda quei fattori che non si lasciano osservare al momento dello scavo di un forno. Il saggio illustra infine l'esempio di un esperimento in cui viene fuso del ferro e conclude spiegando brevemente le difficili condizioni quadro in cui vengono condotti gli esperimenti relativi alla prima industria del ferro.

SUMMARY

This article examines how the evaluation of archaeological finds and their experimental reconstruction affect each other. The author is of the opinion that increasing and improving know-how in experimentation requires constant comparison with archaeological data. But the learning process – without prior knowledge – is based on experiment, especially regarding those factors that cannot be observed during the excavation of a furnace. After describing a sample experimental smelting process, brief mention is made of the difficulties involved in experimental studies of the early iron ore industry.