

Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise
Band: 61 (1993)

Artikel: Archéométrie des scories de fer : recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale
Autor: Serneels, Vincent
Rubrik: Résumé = Summary = Zusammenfassung
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-836182>

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: 06.05.2025

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

RÉSUMÉ

Les scories sont les résidus des opérations métallurgiques. Pratiquement indestructibles, ce sont des matériaux que l'on trouve fréquemment et parfois en abondance au cours des fouilles archéologiques. Dans un tel contexte, elles attestent du travail des métaux et leur étude détaillée permet de décrire précisément cette activité.

Les scories sont des matériaux complexes et, au premier abord, peu engageants. Cependant elles possèdent des caractères propres et significatifs: composition chimique, composition minéralogique, texture microscopique, aspect macroscopique et forme générale. Cet ouvrage propose une méthodologie pour l'étude des scories issues de la métallurgie du fer, basée tant sur une approche macroscopique que sur les analyses de laboratoire.

Du point de vue de l'interprétation archéologique, c'est l'association de diverses catégories de résidus sur un même site qui est significative. Les quantités découvertes sont également une donnée essentielle si l'on cherche à connaître l'importance économique de l'activité métallurgique.

Par cette approche, il est possible de décrire et de situer les différentes étapes de la chaîne opératoire qui mène de la matière première, le minerai, au produit fini, l'objet en fer fonctionnel: extraction, concentration et réduction du minerai, raffinage et forgeage du métal.

L'identification des minerais de fer n'est pas sans poser des problèmes. La notion même de minerai évolue avec les conditions économiques et techniques. De même, les quantités nécessaires pour alimenter une industrie ancienne sont infiniment moindres que celles qui sont utilisées aujourd'hui. Dans la région étudiée, c'est le Sidérolithique, un minerai de fer pisolithique d'âge Eocène, qui a été utilisé au cours des périodes anciennes. Ce n'est qu'au Moyen Âge que d'autres minerais ont fait l'objet d'une exploitation.

La réduction du minerai de fer au bas fourneau est une méthode qui produit de grandes quantités de scories. Elles forment des accumulations importantes, de quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes, qui entourent ou recouvrent les vestiges des bas fourneaux. Dans les cas étudiés, les scories de réduction possèdent, dans leur grande majorité, une forme qui témoigne de leur écoulement à l'état liquide. Les détails morphologiques renseignent sur différentes particularités techniques. Ce sont des corps généralement cristallisés (fayalite et hercynite) ou parfois vitreux, riches en fer, en silice et en alumine. Les analyses chimiques permettent de définir la nature du minerai, voire de l'identifier. Sur cette base, on peut établir un bilan chimique de l'opération de réduction et fournir une estimation précise de la production de métal. Les rendements calculés se situent entre 10 et 30%. Les contaminations (charbon, paroi des fourneaux) et les ajouts volontaires (fondant) sont décelables au travers des compositions chimiques, en particulier les teneurs en calcium, strontium et potassium.

Le métal produit dans les bas fourneaux doit ensuite être purifié (raffinage) et mis en forme (forge à proprement parler). Au cours de ces étapes du travail, d'autres résidus sont fabriqués. En particulier, dans le fond du foyer métallurgique, une scorie se constitue par accumulation des matières fondues. Elle présente une forme caractéristique en calotte à laquelle adhère parfois le bord du foyer. Les analyses chimiques montrent des teneurs très élevées en fer. Les minéraux typiques sont la fayalite, la wüstite et le fer métallique. Le spectre des éléments mineurs et traces permet de différencier, au moins dans une certaine mesure, les résidus du raffinage et ceux de la forge. Au cours des premières phases de traitement, la scorie de

réduction encore piégée dans la masse métallique est refondue et contribue à la formation de la scorie en calotte. De fortes teneurs en éléments typiques du minerai et non réduits (Mn, V et Cr) sont donc caractéristiques des scories de raffinage. Lorsque le métal travaillé est pur, les principaux éléments traces qui seront présents dans la scorie sont ceux qui ont été réduits avec le métal (Ni, Co et éventuellement Cu). Enfin, la présence d'autres métaux non ferreux indique probablement une activité polymétallurgique.

L'apport de l'étude des scories à l'histoire de la sidérurgie est significatif. Il fournit des données technologiques (procédés, étape de la chaîne opératoire, degré de perfectionnement), économiques (volume de la production, impact sur l'environnement humain et naturel) et sociales (organisation de la production et du marché).

L'étude régionale de la Suisse occidentale couvre deux districts de métallurgie extractive (réduction) situés au pied de la chaîne du Jura. Celui du Salève (Savoie, France) était pratiquement inconnu. Il s'étend sur une quarantaine de kilomètres carrés et une vingtaine de sites y ont été repérés. Les vestiges métallurgiques du Mormont (Vaud, Suisse) sont parmi les mieux étudiés d'Europe (Pelet 1993). On compte 35 ateliers de réduction sur moins de 50 kilomètres carrés. Grâce aux fouilles archéologiques de plusieurs sites, on connaît bien la chronologie et l'architecture des fourneaux. Il a également été tenu compte des recherches récentes menées dans le canton du Jura (Eschenlohr et Serneels 1991).

Les ateliers de réduction se trouvent près des gisements de minerai sidérolithique, à l'écart des zones habitées, dans des zones qui étaient probablement complètement boisées. Dans une certaine mesure, le paysage actuel témoigne de l'impact sur le couvert forestier.

Sur le Plateau suisse où il n'y a pas de minerai de fer reconnu, aucun vestige se rapportant à la réduction n'a été mis en évidence. Les nombreuses trouvailles de scories témoignent de la présence de forges. Elles sont installées dans les villes, les villages et les habitats ruraux. Il y a donc une nette séparation entre les différentes phases du travail.

L'industrie sidérurgique pendant l'âge du Fer reste très mal connue, faute de découverte archéologique, mais il faut rappeler les importantes trouvailles d'objets en fer de cette époque à La Tène et Berne en particulier.

Pendant la période romaine, la production primaire de fer semble limitée en quantité alors que le métal est largement répandu et que les forges sont très nombreuses. Il est probable qu'une grande partie du fer utilisé à cette époque en Suisse occidentale ait été produite dans d'autres régions de l'Empire.

En ce qui concerne la sidérurgie, le Haut Moyen Âge est une période de développement considérable: la production augmente et les techniques s'améliorent, comme le montrent l'architecture des fourneaux et la nature des scories. En particulier, l'utilisation de fondants calcaires permettant un rendement plus élevé a pu être mise en évidence. Parallèlement, la qualité de certains objets, armes et parures, devient remarquable.

SUMMARY

Slags are the residua of metallurgical processes. These practically indestructible materials are frequently found, sometimes abundantly, on archaeological sites. In this context, they are indicative of metalworking and detailed study allows to describe precisely this activity.

Slags are complexe materials and, at first glance, not very attractive. However, they have their specific characteristics: chemical composition, mineralogical composition, microscopic texture, macroscopic aspects and general shape. This book provides a method to study the slags from iron metallurgy, based on both a macroscopic approach and laboratory analysis.

From the point of view of archaeological interpretation, the association of different categories of residua from the same site is significant. The quantities recovered are essential data to reconstruct the economic consequence of the metallurgical activities.

Therefore it is possible to describe and locate the different steps of the production line from the raw material, the ore, to the final product, the functional iron object via extraction, concentration and reduction of the ore, bloom- and ironsmithing.

The identification of iron ores is not easy. Even the idea of ore is related to the technical and economic conditions, changing with time. In the same way, the quantities necessary for an industry in ancient times are infinitely lower than those of today. In the study area, the Siderolithique, a kind of pisolithic iron ore from Eocene age was used during the early periods. Only during the Middle Ages, have other ores been exploited.

Reducing iron ore in low furnaces is a method producing large amounts of slags. They form large heaps, from one to tens of tons, surrounding or covering the furnace remains. In studied cases, the reduction slag shapes show evidence of flowing in a fluid stage. The morphological details yield information concerning furnace use. Slags are vitrified or crystallized materials (mainly fayalite and hercynite) rich in iron, silicon and aluminium. The chemical analyses define the nature of the ore and eventually identify it. On this basis, a chemical balance can be established for the reduction operation from which the metal production can be calculated. The calculated yields range from 10 to 30%. Contamination (charcoal, furnace linings) and additives (flux) can be detected through the chemical compositions, especially, the high levels of calcium, strontium and potassium.

The metal produced in the low furnaces was then purified (bloomsmithing) and shaped (ironsmithing). During these stages of work, others residua are produced. Especially, in the bottom of the metallurgical hearth, a slag is formed by accumulation of melted materials. It has a typical form of a plano-convex cake (PCB) with sometimes a trace of the hearth wall adhering. Chemical analyses indicate very high levels of iron. The typical minerals formed are fayalite, wüstite and metallic iron. Minor and trace elements help to differentiate between the residua of iron- and bloomsmithing. During the first stages of treatment, the slag formed during reduction and entrapped in the metallic body is remelted and contributes to the formation of the plano-convex slag. High levels of elements typical of the ore and not reduced (Mn, V and Cr) are characteristic for bloomsmithing slags. When the iron worked is pure, the most important trace elements in the slag were those reduced with the metal (Ni, Co and eventually Cu). The presence of other non-ferrous metals indicates probably the working of various metals in the same workshop.

This study of slag provides interesting data concerning the history of ironmaking. It shows technological changes (processes, stage in the production line, technical improvements), economical impact (production totals, environmental and social impact) and social organisation of production.

The regional study of western Switzerland covers two districts with primary production of iron (reduction), both located in the western Jura Mountains. The Salève area (Savoie, France) was previously unknown. It covers about 40 square kilometers and about 20 sites have been located. The remains of the Mormont area are one of the best studied examples in Europe (Pelet 1993). 35 reduction workshops are known from an area of less than 50 square kilometers. This study has taken account of the recent discoveries in the canton of Jura (Eschenlohr et Serneels, 1991)

The bloomeries are located near the ore deposits beside the inhabited zones, probably completely covered by forest at this time. The modern landscape shows of the impact on the forest.

On the Swiss Plateau, where there is no known iron ore, no remains related to reduction have been found. The numerous finds of slags indicate the presence of smithies. The workshops are located in the towns, villages and rural settlements, in or outside the mining areas. There is a quite clear division between the different steps in the production line.

Due to the lack of archaeological evidence, the organisation of the industry during the Iron Age, is still poorly understood. It is necessary to remember the important finds from iron objects of this period, for example at La Tène and Berne.

During the roman period, the primary production seems to be limited, later iron is common and smithies numerous. Probably a large part of the metal in use was imported from other parts of the Empire.

As far as iron is considered, during the Early Middle Ages, an important development occurred : production increased and technological advances are demonstrated by furnace designs and slag compositions. The use of lime as a flux has been demonstrated in one case, allowing a better yield. During the same period, some objects, weapons and ornaments, were a better quality.

Traduction D. Marshall

ZUSAMMENFASSUNG

Schlacken sind Überreste metallurgischer Prozesse. Praktisch unzerstörbar, findet man sie häufig und vielfach in grossen Mengen bei archäologischer Ausgrabungen. Eine detaillierte Untersuchung dieser Zeugen einer Metallverarbeitung erlaubt eine präzise Rekonstruktion aller Aspekte dieser menschlichen Tätigkeit.

Schlacken sind komplexe und äusserlich wenig anziehende Stoffe. Sie besitzen jedoch eine ganze Anzahl von spezifischen und bedeutungsvollen Merkmalen: chemische Zusammensetzung, mineralogische Zusammensetzung, mikroskopische Struktur, makroskopische Aspekte und die Gesamtmorphologie. Die vorliegende Arbeit präsentiert eine Methode zur systematischen Untersuchung von Eisenschlacken, welche sowohl auf makroskopischen Untersuchungsmethoden als auch auf Laboranalysen beruht.

Was die archäologische Fragestellung betrifft, ist das gemeinsame Auftreten von verschiedenartigen Schlackenarten am gleichen Ort am aufschlussreichsten. Auch die vorhandenen Mengen jeder Schlackenart sind wichtig, wenn es darum geht die wirtschaftliche Bedeutung einer Metallverarbeitung zu beurteilen. Mit dieser Arbeitsweise ist es möglich die verschiedenen Etappen der Prozesskette zu rekonstruieren, ausgehend vom Rohstoff Erz bis zum fertigen Produkt, einem Gegenstand aus Eisen: Erzabbau, Vorkonzentration und Verhüttung der Eisenerze (Reduktion), Reinigen (verfeinern, ausheizen) und Schmieden des Metalls.

Es ist nicht immer einfach, genaue Angaben über das Eisenerz zu machen, das zur Verhüttung diente, vor allem auch deshalb weil der Begriff abbauwürdiges Erz von der jeweiligen Wirtschaftssituation und dem Stand der Technik abhängt. Man muss sich dabei auch bewusst sein, dass der Erzbedarf einer frühen handwerklichen oder industriellen Tätigkeit sehr viel kleiner war als heute. In der untersuchten Region war es die eozän zeitliche Bohnerzformation, welche von der Frühzeit bis ins Mittelalter für die Eisenverhüttung gebraucht wurde. Andere Erze (z.B. oolithische Erze der Doggerformation) werden erst ausgebeutet vom Mittelalter an.

Die Verhüttung (Reduktion) der Erze im Rennofen ist eine Methode die grosse Schlackenmengen produziert. Diese treten als mächtige Ansammlungen von einigen Tonnen, aber auch von mehreren Zehnern von Tonnen auf, umgeben und bedecken, welche die Überreste von Rennöfen. In dem meisten untersuchten Fällen weisen die Schlacken Fliessstrukturen auf. Die morphologischen Details geben Auskunft über Eigenheiten der angewandten Verhüttungstechniken. Bei den Schlacken handelt es sich im allgemeinen um kristallisierte (Minerale Fayalith und Hercynit) oder manchmal um gläserne Materie, immes reich an Eisen, Silikat und Tonerde (Al_2O_3). Die chemischen Analysen erlauben, Schlüsse auf den verwendeten Erztyp zu ziehen, oder ihn sogar zu identifizieren. Auf dieser Basis lässt sich eine chemische Bilanz des ganzen Verhüttungsprozesses aufstellen und die Metallproduktion genau abschätzen. Die so berechnete Ausbeute variiert zwischen 10 und 30%. Die Verunreinigungen (Holzkohle, Ofenwände und die absichtlich zugefügten Stoffe, d.h. Flussmittel können ebenfalls aus den chemischen Analysen rekonstruiert werden, insbesondere mit den Kalzium-, Strontium- und Kaliumgehalten.

Das aus dem Rennofen erhaltene Metall muss anschliessend gereinigt (raffiniert, ausgeheizt) und durch Schmieden in eine bestimmte Form gebracht werden. Während dieser Operationen entstehen andere Überreste, insbesondere bildet sich auf dem Boden der Feuerstelle eine Schlacke, die sich durch Ansammlung von geschmolzenem Material bildet. Diese besitzt eine charakteristische Kalottenform, an deren Unterteil oft noch Wandreste der Esse kleben. Hier zeigen die chemischen Analysen sehr hohe Eisenwerte. Typische Minerale sind Fayalith, Wüstit und metallisches Eisen. Das Spektrum

der Neben- und Spurenelemente erlaubt bis zu einem gewissen Grade, Schlacken aus einer Ausheizungsphase und einer Schmiedephase auseinander zu halten. Im Verlauf der ersten Behandlungsphasen sind noch Reste der Verhüttungsschlacke in der Eisenmasse enthalten, die schmelzen und so die Kalottenschlacken mitbilden. Deshalb finden sich hohe Gehalte der im Erz enthaltenen, aber nicht reduzierten Metalle (Mn, V, Cr) in dem Ausheizschlacken. Nach erfolgter Reinigung des Eisens sind die Schlacken vor allem reich an Spurenelementen, welche mit dem Eisen reduziert werden (Nickel, Kobalt, eventuell Kupfer). Hingegen weist die Anwesenheit von nicht an Eisen gebundenen Metalle auf die gleichzeitige Verarbeitung von anderen Metallen in der gleichen Esse hin.

Das Studium von Schlacken leistet einen grossen Beitrag an die Geschichte der Eisenverarbeitung. Sie liefern Angaben über die verwendete Technik (Prozess, Identifikation des Arbeitsschrittes, Grad der Vervollkommnung), über die wirtschaftlichen (Produktionsvolumen, Auswirkungen auf das natürliche und menschliche Umfeld) und die sozialen Verhältnisse (Organisation der Arbeitsprozesse, Absatzmarkt).

Die durchgeführten regionalen Studien im Rahmen dieser Arbeit in der Westschweiz umfassen zwei metallproduzierende Gebiete am Jurafluss. Das erste Gebiet, der Salève (Savoyen, Frankreich), war praktisch unbekannt. Es erstreckt sich über 40 km², mit ungefähr zwanzig Schlackenfundstellen. Die Überreste der Metallverarbeitung in der Mormont-Gegend (Waadt, Schweiz) gehören zu den am besten untersuchten in Europa (Pelet 1993). Auf weniger als 50 km² sind 35 Verhüttungsplätzen bekannt. Dank archäologischen Ausgrabungen von mehreren Fundstellen, kennt man die Chronologie und Architektur der Ofen. Bei der Neubeurteilung und Ergänzung dieser Daten sind auch die Resultate der kürzlich erfolgten Ausgrabungen im Kanton Jura (Eschenlohr et Serneels 1991) berücksichtigt worden.

Die Verhüttungsplätze befinden sich durchwegs in der Nähe der Bohnerzlagerstätten, ausserhalb der Wohnzonen, wahrscheinlich in vollständig bewaldeten Gebieten. Bis zu einem gewissen Grad widerspiegelt die heutige Landschaft den Einfluss solcher Werkstätten auf die Waldbedeckung.

Im schweizerischen Mittelland, wo man keine Eisenlagerstätten kennt, sind auch keine Zeugen des Eisenverhüttung gefunden worden. Zahlreiche Schlackenfunde bezeugen hingegen die Existenz von Schmiedewerkstätten. Sie befinden sich in den Städten, Dörfern oder kleinen landwirtschaftlichen Siedlungen. Die zwei Hauptphasen der Eisenerzeugung (Verhüttung und Verarbeitung) sind also ortsmässig getrennt.

Über die Eisenindustrie der Eisenzeit ist, mangels neuer archäologischer Funde, wenig zu berichten, aber es sei daran erinnert, dass aus La Tène und aus Bern zahlreiche Eisenobjekte bekannt sind.

Während der Römerzeit scheint die primäre Eisenproduktion beschränkt gewesen zu sein, grössere Eisenmengen waren jedoch und es gibt im Umlauf waren, gibt es zahlreiche Schmiedewerkstätten. Es scheint wahrscheinlich, dass das meiste in der Westschweiz verwendete Eisen in andern Gebieten des römischen Reiches produziert wurde.

Während des frühen Mittelalters hat sich die Eisenindustrie hingegen gewaltig entwickelt. Die Ofenarchitektur und die Schlackenfundstücke weisen auf eine Erhöhung der Produktion und eine Verfeinerung der Techniken hin. Im Speziellen erlaubte die Verwendung von Kalk als Flussmittel die Ausbeute stark zu erhöhen. Gleichzeitig verbesserte sich auch die Qualität der daraus produzierten Gegenstände (Waffen und Schmuck).

Traduction H.-R. Pfeifer