



HAL
open science

Marianne Senn et Jürg Tauber, fonderie de fer dans le Dürsteltal. Un haut fourneau du XIIIe siècle à Langenbruck

Alexandre Disser

► **To cite this version:**

Alexandre Disser. Marianne Senn et Jürg Tauber, fonderie de fer dans le Dürsteltal. Un haut fourneau du XIIIe siècle à Langenbruck. *Archéologie médiévale*, 2021, 51, pp.334-337. 10.4000/archeomed.39688 . hal-04420102

HAL Id: hal-04420102

<https://hal.science/hal-04420102v1>

Submitted on 26 Jan 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Marianne SENN et Jürg TAUBER, *Eisenverhüttung im Dürsteltal. Ein Hochofen des 13. Jahrhunderts in Langenbruck*

Alexandre Dissier



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/archeomed/39688>

DOI : [10.4000/archeomed.39688](https://doi.org/10.4000/archeomed.39688)

ISSN : 2608-4228

Éditeur

CNRS Éditions

Édition imprimée

Date de publication : 20 décembre 2021

Pagination : 334-337

ISBN : 978-2-271-13980-1

ISSN : 0153-9337

Ce document vous est offert par Commissariat à l'Energie Atomique



Référence électronique

Alexandre Dissier, « Marianne SENN et Jürg TAUBER, *Eisenverhüttung im Dürsteltal. Ein Hochofen des 13. Jahrhunderts in Langenbruck* », *Archéologie médiévale* [En ligne], 51 | 2021, mis en ligne le , consulté le 26 janvier 2024. URL : <http://journals.openedition.org/archeomed/39688> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/archeomed.39688>



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

51

2021

Archéologie médiévale

*Ouvrage publié avec le concours
du ministère de la Culture
Direction générale des patrimoines
(Sous-direction de l'Archéologie)*

Revue soutenue par l'Institut des Sciences Humaines et Sociales du CNRS

CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche - 75005 Paris

Marianne SENN et Jürg TAUBER, *Eisenverhüttung im Dürstetal. Ein Hochofen des 13. Jahrhunderts in Langenbruck*, Schwabe Verlagsgruppe AG Schwabe Verlag, 2020, 203 p., ISBN : 978-3796542961.

Cet ouvrage, présentant les résultats de fouilles archéologiques réalisées entre 1995 et 1997 par une équipe du service archéologique du canton de Bâle, est bienvenu pour qui s'intéresse aux activités sidérurgiques médiévales. Jürg Tauber et Marianne Senn présentent une synthèse des travaux réalisés sur deux structures de réduction du minerai de fer mises au jour dans le vallon de Dürstetal. L'exploitation des données archéologiques est renforcée à propos par des études anthracologiques (Angela Schlumbaum) et archéométallurgiques (Barbara Guenette-Beck et Vincent Serneels).

Le sujet principal de l'ouvrage, un haut-fourneau probablement daté de la seconde moitié du XIII^e siècle, constitue l'un des rares exemplaires de ce type de structure connus à ce jour en Europe pour une période aussi haute. Le site de Dürstetal est d'autant plus important pour l'histoire des techniques qu'il s'inscrit dans un mouvement qui voit l'emploi de l'énergie hydraulique devenir de plus en plus courant dans les régions productrices de fer en Europe. Il contribue ainsi à documenter des objets techniques conçus au Moyen Âge et à l'époque moderne et désignés par une variété de termes : *hault fournelz, fonderesse, Stückofen, Flossofen, fusina*, etc. dont la réalité matérielle et le fonctionnement nous échappent en grande partie, faute de descriptions précises dans les textes ou d'exemplaires fouillés. Enfin, le fait que les installations similaires fouillées par ailleurs, en Suède et en Allemagne, n'aient pas fait l'objet de publications aussi détaillées n'ôte rien à la valeur de l'ouvrage que nous livrent ici Jürg Tauber et Marianne Senn.

La monographie, numéro 55 de la série *Schriften der Archäologie Baselland*, se compose de 164 pages de texte, augmentées de 21 pages d'annexes. Ces annexes sont majoritairement constituées par les résultats des analyses élémentaires réalisées sur le mobilier métallurgique. Le texte est intégralement en allemand, mais l'ouvrage comporte deux résumés en français et en anglais. Il est richement illustré par 313 photos, plans, restitutions, graphiques et tableaux. On peut retenir la très bonne qualité générale des illustrations, notamment celle des clichés de fouille et des clichés micrographiques. En addition, on trouve 8 planches amovibles représentant les principales coupes stratigraphiques, ainsi que les plans de masse des six phases de l'atelier du four 2. Ceci s'avère très utile à la lecture des données de fouille, présentées de façon très détaillée. On regrette que cette ergonomie ne se soit pas retrouvée dans certaines autres parties de l'ouvrage, notamment pour la description de certains résultats archéométriques dont les graphiques ou tableaux correspondants ne sont pas en vis-à-vis du texte.

Le texte est structuré en quatre parties principales : une introduction qui dresse l'état des connaissances antérieur aux fouilles (chapitre 1), une description des deux sites fouillés entre 1995 et 1997 (chapitres 2, 3 et 4), une présentation des résultats archéométriques (datations, études paléométallurgiques et anthracologiques) (chapitre 5), et une conclusion qui reprend les faits saillants mis au jour par la fouille et les interprétations qui en découlent (chapitre 6). Ces quatre parties seront décrites successivement, en prenant soin de les décrire le plus précisément possible afin de rendre ces informations disponibles aux chercheurs non germanophones. L'exposé de la dernière partie sera l'occasion de discuter certaines interprétations faites par les auteurs.

1. État des connaissances

Le premier chapitre expose l'état de l'art dressé par l'équipe de fouille. Il est fait état des sources écrites relatives aux activités minières et métallurgiques. Aucune de ces sources ne se rapporte directement aux

implantations sidérurgiques dans ce secteur. Elles font état, chose très fréquente dans ce type de contexte, de la gestion des droits afférant à l'exploitation des ressources forestières et minières.

Il est également fait état des recherches antérieures menées dans les cantons de Bâle et du Jura, liées aux activités métallurgiques. Cet état de l'art aurait toutefois gagné à présenter de manière plus générale la question de l'utilisation de l'énergie hydraulique. Les régions voisines (Bourgogne-Franche-Comté et Bavière notamment) ont bénéficié de recherches historiques et archéologiques sur ce thème. Un exposé général des connaissances sur la diffusion du procédé indirect en Europe aurait également été bienvenu en introduction mais ce manque est partiellement comblé, plus avant dans l'ouvrage, par les références faites à des fouilles menées en Scandinavie et en Westphalie.

Un recensement des toponymes et anthroponymes locaux se rapportant à l'exploitation minière, au charbonnage et à la métallurgie du fer est par ailleurs livré dans cette partie introductive.

Le contexte environnemental est abordé par des éléments généraux de géologie locale. Des photographies aériennes et un relevé Lidar mettent en évidence des chapelets d'excavations qui matérialisent très nettement les affleurements de minerai.

2. Les données archéologiques

La deuxième partie est structurée par le déroulement chronologique des fouilles. L'opération de 1995 a consisté à mettre au jour le four 1 et son environnement immédiat et a été complétée par une tranchée de sondage creusée à proximité directe du cours d'eau.

L'opération de 1995

L'excavation autour du four 1 présente une extension de 9 mètres par 12, et est prolongée au nord par une tranchée de 8 mètres de longueur. Cette tranchée a recoupé une couche de scories peu épaisse (de 10 à 20 cm), s'épandant le long de la pente.

La structure de réduction a été partiellement détruite par l'aménagement de la piste. Seule une moitié environ est conservée. Le diamètre intérieur est estimé à 80 cm. La couronne est constituée de blocs calcaires (env. 30-40 cm) présentant un fort impact thermique. Les blocs ont été liés à l'argile, qui constitue également le revêtement interne de la structure. Le fond du four est aménagé par un assemblage de dalles de calcaire présentant elles aussi un fort impact thermique. L'état de conservation de la structure ne permet de restituer ni sa hauteur, ni le système de soufflerie.

Le ferrier a été partiellement démantelé par l'aménagement de la piste, mais d'autres composantes de l'espace de travail apparaissent bien conservées. Au sud du four, une structure sur poteaux d'environ 4 m² de superficie délimite un espace marqué par la présence de charbon de bois ; il s'agit sans doute du « magasin » à charbon. Accolé à cette structure se trouve un épandage de minerai. En l'absence de mobilier datant, trois échantillons de charbon de bois ont été datés, mesures d'après lesquelles les fouilleurs placent le fonctionnement de la structure dans la seconde moitié du XII^e siècle.

La tranchée réalisée sur la rive gauche du Dürstelbach a révélé une stratigraphie d'environ un mètre d'épaisseur, constituée d'une alternance de couches contenant des blocs d'oolithes ferrugineux, des charbons de bois, et des blocs de calcaire chauffés. Des scories métallurgiques sont présentes dans l'intégralité des couches archéologiques visibles. Cette accumulation a motivé une recherche plus approfondie dans ce secteur bordant le Dürstelbach.

Les fouilles 1996-1997

Aiguillés par le sondage de l'année précédente et par une anomalie topographique, les fouilleurs ont réalisé une prospection géophysique (gradiométrie du magnétisme) mettant en évidence trois à quatre anomalies magnétiques. Une fouille d'une taille de 12 mètres par 20 a été réalisée à leur emplacement.

Les opérations ont mis en évidence quatre espaces démarqués par des solins. Entre l'un de ces espaces (secteur 4) et le cours d'eau, la fouille a révélé une structure de réduction du minerai de fer. Les parties les plus occidentales de l'atelier ont été perturbées par le creusement de fosse pour enterrer des cadavres de bétail. La limite sud de l'atelier a été aménagée en retaillant les affleurements calcaires.

La stratigraphie du site est décrite très en détail au moyen de deux coupes orthogonales orientées globalement nord-sud et est-ouest, dans les secteurs 3 et 4. Leur examen a permis aux fouilleurs de définir six séquences stratigraphiques. Chacune bénéficie d'un plan-masse permettant d'identifier les structures associées.

Caractéristiques du four 2

La structure de réduction a en partie été détruite par l'action d'ablation du Dürstelbach, seul un arc représentant le tiers sud-est de sa circonférence est conservé. La maçonnerie est constituée de blocs de calcaire liés par une argile contenant une forte proportion de sable. Le chemisage interne de la cuve n'est malheureusement pas conservé, mais il pourrait avoir été formé par cette même argile fortement sableuse. La portion de maçonnerie conservée, le diamètre externe de la structure serait entre 4 et 4,5 mètres de diamètre. L'état de conservation de la structure est par ailleurs insuffisant pour localiser l'arrivée d'air de la soufflerie et la ou les ouvertures d'évacuation des scories et/ou du métal. Une coupe stratigraphique révèle que le substrat marneux a été surcreusé afin de fonder la maçonnerie de la structure. La base de la cuve se serait trouvée à la cote de l'arase de la maçonnerie au moment de la fouille. Une poutre calcinée a été mise au jour par ailleurs sous cette maçonnerie. Quatre échantillons de charbon de bois prélevés dans la fosse de soubassement du four, ainsi que sur la poutre. La pertinence des dates peut être discutée en raison de l'effet « vieux bois », la méthode de prélèvement n'étant pas explicite. Toutefois, la multiplication des dates et leur concordance sur un intervalle couvrant le XIII^e siècle laissent à penser que cette donnée est raisonnablement fiable.

L'espace 3

Localisés directement au sud-ouest de la structure de réduction, les niveaux d'activité de l'espace 3 ont été perturbés par les fosses creusées pour enterrer le bétail. Un foyer quadrangulaire, dont les dimensions sont de 50 par 60 cm, est néanmoins conservé. Il est constitué par des blocs de calcaire, dont les éléments périphériques sont aménagés de chant. L'ensemble présente une forme concave. Fait marquant, la sole du foyer est constituée par un bloc de granite. Une épaisse croûte de scorie adhère à sa surface. Un bloc de granite est posé de chant, tout contre la paroi occidentale du foyer. Ses dimensions sont de 60 cm de long pour une hauteur de 40 cm et une épaisseur de 15 cm. Les vestiges conservés représentent deux états successifs du foyer. Un marteau de forgeron a été mis au jour à proximité de ce foyer. Un autre foyer a été mis au jour dans ce même espace, aménagé contre l'affleurement calcaire. Il est également aménagé au moyen de blocs calcaires.

Le secteur 4

Situé directement au sud-est du four 2, cet espace montre les traces de plusieurs aménagements, notamment des exhaussements successifs. Des trous de poteaux et des aménagements de blocs de calcaire amènent les fouilleurs à présenter cet espace comme étant

couvert et divisé en plusieurs espaces. Deux d'entre eux sont interprétés comme des magasins à charbon et à minerai, du fait de la forte présence respectivement de l'une et l'autre matières premières dans ces espaces. Des structures de pierres sont interprétées comme des calages pour un dispositif destiné à alimenter le haut-fourneau au niveau du gueulard.

Le secteur 5

Directement au nord-est du four 2, un radier de pierre a été mis au jour. Celui-ci est recoupé par au moins une tranchée large d'une trentaine de centimètres et orientée grossièrement nord-sud. Cet aménagement est interprété comme le soubassement des soufflets ayant assuré la ventilation du four.

3. Le mobilier archéologique

La collection de mobilier se montre très pauvre, si l'on exclut les scories et tuyères. Seuls quatre tessons de céramique ont été découverts dans l'espace de l'atelier, parmi lesquels deux ont été identifiés comme un fond de pot et un fragment de lampe. Les deux types sont utilisés à partir du premier tiers du XIII^e siècle, ce qui tend à confirmer l'hypothèse de datation formulée à partir des mesures radiocarbone. Six objets ferreux ont été découverts, parmi lesquels deux sont identifiés comme des outils. Le premier est un marteau de forgeron mis au jour à proximité du foyer interprété comme foyer d'affinage. Nous reparlerons de cet objet à l'occasion de la partie interprétative. Le second est un ciseau à bois.

Les fragments de tuyère se comptent en dizaines. Leur forme générale est légèrement conique. Leur épaisseur varie entre 1,1 et 2,7 centimètres. La longueur maximale observée est de 10 centimètres. Leur diamètre extérieur est compris entre 4 et 8 centimètres. Le diamètre interne moyen est de 4,5 centimètres. La totalité des fragments de tuyère retrouvés font partie de l'extrémité débouchant dans la cheminée du four. Ils sont cuits, voire scorifiés. S'appuyant sur ce constat, les auteurs pensent que les tuyères n'étaient pas cuites préalablement à leur installation, le reste s'étant désagrégé après leur usage. Il est en effet tout à fait possible d'envisager l'utilisation d'une terre séchée sans cuisson dans ce contexte. La grande majorité des fragments ont été retrouvés autour du four 2 et dans le secteur 3. Une restitution de la technique de fabrication est proposée. Le fait que les surfaces intérieures soient lisses alors que l'extérieur montre des traces de façonnage plaide en faveur d'une mise en forme par roulement d'un cylindre de terre sur une surface plane en employant une baguette de bois comme moyeu. D'après les fragments de paroi adhérents aux tuyères, l'angle d'attaque est très variable (de 25 à 80°), ce qui paraît étonnant lorsque les données sont confrontées au site de référence de Lapphyttan (55-65°).

4. Les données archéométriques

Les travaux archéométriques ont été motivés par des questions suscitées par la fouille. On a notamment cherché à déterminer quels types d'alliages ferreux étaient produits par les deux fours, à proposer des températures de fonctionnement, et à caractériser les matières premières utilisées.

Le chapitre est introduit par un bref état de l'art. À l'instar de la première partie, celui-ci se cantonne aux recherches menées dans le Nord-Ouest de la Suisse. L'étude porte sur une centaine d'échantillons (40 pour le four 1 et 62 pour le four 2), ce qui représente un corpus considérable. Les matériaux considérés sont des fragments métalliques (22), des parois de four (5), un bloc de calcaire, des scories (72) et deux fragments de minerai. On peut regretter qu'aucun examen n'ait été entrepris sur les fragments de tuyères afin de comparer leurs caractéristiques pétrographiques à celles des parois.

Le protocole d'étude consiste en un examen et une classification préliminaires à l'œil nu, puis en un examen microscopique en réflexion sur sections polies. Une attaque métallographique est réalisée sur le métal (réactif Nital). Un examen est réalisé au moyen du MEB-EDS sur certains échantillons pour établir des cartographies élémentaires employées à confirmer les identifications pétrographiques. Les éléments chimiques sont dosés par LA-ICP-MS pour le métal, par WDS pour les autres matériaux.

Nous présentons ici les principaux traits des analyses réalisées.

Four 1

Les caractérisations chimiques réalisées montrent que les scories sont assez pauvres en fer (<20%Fe₂O₃). Les examens métallographiques révèlent que le métal se présente tantôt sous la forme d'une fonte blanche, tantôt sous celle d'un acier. La fonte contient entre 0,2 % et 1,3 % de phosphore, l'acier n'en contient que très peu. La fonte contient aussi du vanadium et du chrome en quantités assez importantes.

Les scories sont classées en quatre types. Sur 93 kg identifiés, seuls 4 kg de scories vitreuses et 300 g de scories gris dense ont été comptabilisés. Deux autres types représentent la majorité du corpus : les scories brunes poreuses et les scories jaunes friables. Les individus observés en microscopie conservent parfois des fantômes d'oolithes. Les teneurs en Fe₂O₃ sont assez basses, inférieures à 15 %mass, hormis quelques individus présentant des teneurs comprises entre 25 et 30 %mass.

Les observations combinées sur le métal et les scories permettent de supposer que le four 1 a servi à réduire le minerai oolithique du Dogger pour produire du métal très carburé, acier ou fonte. *A priori*, la température de fonctionnement est élevée, puisque le chrome et le vanadium ont été réduits durant l'opération.

Four 2

Cette section est introduite par la description des caractéristiques des deux échantillons de minerai analysés. Ils montrent une teneur en oxydes de fer moyenne (environ 45 %mass Fe₂O₃), des taux de chaux (environ 35 %mass), phosphore (1,3 %mass P₂O₅), chrome (environ 250 ppm Cr) et vanadium (environ 920 ppm V) élevés, et une teneur en silice faible (11 %mass SiO₂).

Les principales données présentées concernent toutefois les scories. Sur 870 kg classés, le corpus compte 614 kg de scories attribuées à l'affinage, 238 kg de scories vitreuses et 16 kg de scories rouillées, le reste n'étant pas identifié. Les différences de représentation des types sont très marquées, lorsque comparées au four 1, puisque les scories vitreuses représentent ici plus du quart du corpus (contre 2,5 % pour le four 1). Trois groupes chimiques sont définis pour ce four, en fonction des teneurs en Fe₂O₃ et CaO.

Les auteurs arguent que les teneurs en Fe₂O₃, vanadium et chrome sont plus faibles dans les scories du four 2 que dans celles du four 1, indiquant une température de fonctionnement légèrement supérieure (amenant à un meilleur taux de réduction de ces éléments). Toutefois, les graphiques présentés dans les figures 175, 176 et 180 montrent qu'il s'agit d'une tendance, mais le recouvrement des plages de teneurs entre les deux lots reste important.

Les caractéristiques des scories d'affinage de l'atelier 2 sont par ailleurs présentées. Trois types sont distingués : calottes, scories plates et scories en cordons. On ne remarque pas de différence chimique notable entre les trois morphologies. Elles contiennent en moyenne 60 % de Fe₂O₃. La question des ajouts utilisés pour l'affinage est posée, en présentant les laitiers produits par le four 2 comme ajout potentiel. Toutefois, cette hypothèse est infirmée, le rapport SiO₂/ Al₂O₃ des scories d'affinage étant élevé (en moyenne 6,4) par rapport aux laitiers (moyenne de 2,5), ce qui exclut l'utilisation de ce type d'ajout dans le foyer d'épuration.

Les caractéristiques thermodynamiques (température et pression partielle des gaz nécessaires à la réduction des oxydes) du chrome et du vanadium sont utilisées pour déterminer une fourchette de fonctionnement des fours; celle-ci se situerait entre 1250 et 1500 °C. Les auteurs présentent également la formule générale pour réaliser le bilan-matière de l'opération de réduction, qui s'appuie sur la composition chimique du minerai, du charbon et de la terre des parois d'un côté, et sur celle du métal et des scories produits de l'autre. Toutefois, ils ne fournissent pas de résultats, faute de caractérisation chimique du charbon de bois. Il est dommage que cette démarche n'ait pas été entreprise, puisqu'elle permet de proposer un rendement de l'opération de réduction.

Une présentation détaillée des données disponibles sur les caractéristiques chimiques des minerais oolithiques du Dogger est livrée afin de comparer le minerai local à d'autres dont l'exploitation est archéologiquement attestée. Elle repose sur les études réalisées sur 37 sites en Suisse, France et Allemagne. Elles montrent bien les variétés de composition chimique de cette catégorie de minerai, qui se caractérisent par trois ou quatre « familles » chimiques.

La section archéométallurgique de ce chapitre est clôturée par un catalogue des échantillons métalliques analysés, très bien détaillée et illustrée par des clichés, des dessins et des données chimiques.

Anthracologie

Les études anthracologiques visaient à répondre aux questions suivantes :

- les essences charbonnées ont-elles été choisies en fonction de leur potentiel calorigène ?
- Quel a été le mode d'exploitation des forêts ?
- Y a-t-il eu un changement dans l'approvisionnement au cours de l'activité ?

350 échantillons ont été identifiés à partir de prélèvements issus de trois unités stratigraphiques, une pour le site 1 et deux pour le site 2. Le hêtre domine très nettement le corpus, et ce sur les deux sites (80 % environ). Le hêtre est un bois dur avec un pouvoir calorigène important. Mais il est impossible d'affirmer que ces chiffres traduisent un choix délibéré, le hêtre étant le taxon dominant dans l'environnement des sites. Les résineux représentent environ 10 % de la population pour le site 1, tandis qu'ils sont quasiment absents pour le site 2. Cette différence suggère que le charbon a été fourni par deux forêts distinctes, mais elle n'est pas assez marquée pour qu'on puisse l'affirmer. Il est délicat, pour le site 2, d'identifier un mode d'exploitation de la forêt car l'état de conservation des charbons n'est pas suffisant. Toutefois, six individus sont sans doute de possibles branches. Dans le cas du four 1, les mesures sont plus fiables, et révèlent un charbonnage utilisant du bois de tronc (de 40 à 50 cm) de diamètre.

La section anthracologique est complétée par la présentation des datations radiocarbone. Au total, 39 mesures ont été réalisées à partir de 10 prélèvements de sédiments charbonneux. Les auteurs soulignent les difficultés d'interprétation liées à une utilisation exclusive du ¹⁴C pour établir la chronologie d'un site, et exposent plus particulièrement le problème du vieux bois, étant donné que l'exploitation de fûts a été montrée pour le site 1.

5. Interprétations et discussions

Dans cette partie conclusive, Jürg Tauber et Marianne Senn reviennent sur les faits marquants mis en évidence par les fouilles archéologiques et les études archéométriques, et développent des questions qui restent ouvertes. Le chapitre est illustré à propos par plusieurs planches figurant la restitution de l'atelier métallurgique lié au four 2. Ces planches, d'une très grande qualité esthétique, restituent par ailleurs le plus fidèlement possible les données de fouille, tout en matérialisant les hypothèses formulées sur l'aménagement de l'atelier.

La discussion est initiée par des réflexions ayant trait au four 1. Rappelons que l'état de conservation de ce dernier ne permet de restituer ni sa hauteur, ni le système de ventilation. L'étude archéométrallurgique a mis en évidence le fait que les faciès de scorie dominants sont différents du four 2, pour lequel les scories vitreuses (ou laitiers) dominant. Il est délicat dans ce cadre de déterminer quel type d'alliage les métallurgistes avaient l'intention de produire. Il est toutefois certain que de la fonte a été obtenue, comme en attestent les découvertes faites dans l'épandage de scories associé au four. Les auteurs soulèvent les interrogations suivantes : a-t-on cherché à produire alternativement de la fonte et des aciers ? Ou la présence d'acier témoigne-t-elle d'un procédé encore imparfaitement maîtrisé ? Compte tenu des observations faites sur d'autres sites, certes plus anciens (le site antique du Latté à Oulches, et le site atomédiéval de Frouard), il est à notre sens judicieux d'envisager une autre hypothèse : l'intention n'aurait-elle pas été de produire des aciers fortement carburés ? Dans ce cas, c'est l'obtention de fonte qui aurait été accidentelle. Les fragments de fonte mis au jour sur le site seraient dans ce cas les rebuts d'une activité visant à produire des aciers fortement carburés.

Ce sont ensuite les réflexions portant sur la restitution du four 2 et sur les éléments de l'atelier associé qui occupent la plus grande partie de ces discussions. Ces réflexions s'appuient sur une description des vestiges, sur une analyse comparative avec des sites similaires, et sur des connaissances générales sur les installations hydrauliques médiévales. Pour le système de ventilation, les auteurs proposent un système constitué de deux soufflets mus par une roue hydraulique. L'utilisation de l'énergie hydraulique est totalement justifiée, à la fois par les dimensions du four 2, les températures atteintes dont témoignent les scories, ainsi que par l'implantation du site directement sur la rive d'un cours d'eau. Un emplacement sur le côté nord-est du four est proposé, et il s'agit bien de la seule possibilité étant donné le sens de la pente et la conformation de l'atelier. La roue est restituée comme une roue à augets alimentée par le dessus. Cette interprétation est certainement la plus plausible, étant donné l'absence de vestiges d'un canal au sol. L'alimentation serait assurée par un canal aérien en bois captant l'eau d'une retenue située en amont. Un réservoir se serait effectivement trouvé 60 mètres en amont, dont les vestiges auraient été encore visibles au XIX^e siècle.

La restitution du système d'alimentation du four en charbon et minerai, constitué par un échafaudage, une plateforme et une rampe en bois est convaincante, même si les témoins matériels sont ténus. Elle rend bien compte de la gestion de l'espace telle qu'elle a dû être envisagée par les métallurgistes. Le fait que le haut de la colonne, au niveau du gueulard, soit représenté comme incandescent, peut être sujet à discussion. Il est probable que la température à ce niveau soit beaucoup moins élevée, et ne gêne par conséquent pas les hommes chargés de l'alimentation du four.

La fosse de coulée du métal n'est pas conservée. Les auteurs la placent du côté sud-ouest du four. Il s'agit en effet de l'emplacement le plus probable, étant donné que l'espace au nord, entre le four et le talweg est réduit, et que l'espace au sud-est est occupé par les aménagements liés au stockage des matières premières et à l'alimentation du four. En revanche, l'espace de coulée est représenté comme étant à ciel ouvert sur la restitution graphique. Or il doit être obligatoirement être maintenu sec et protégé des intempéries, car la présence d'eau mènerait à l'explosion du métal en fusion.

On revient également sur les caractéristiques du four 2. Tandis que le diamètre extérieur a été restitué à 4-4,5 mètres, le diamètre interne ne peut être inféré à partir des vestiges conservés. À titre de comparaison, le haut-fourneau de Haus Rhade (Westphalie) présente un diamètre interne de 1,10 mètre. La hauteur ne peut être restituée avec fiabilité. La restitution du haut-fourneau de Lapphyttan est évoquée, pour lequel une paroi est conservée sur plus de 3 mètres de

hauteur. Des parallèles sont aussi établis avec des hauts-fourneaux plus récents. Un exemplaire bien conservé daté de 1828 à Salouf (canton des Grisons) montre une hauteur de 4,4 mètres. Des sources iconographiques des XVI^e et XVII^e siècles sont également convoquées (Marten Van Valckenbroch, 1534/35-1612), avec les réserves inhérentes à l'utilisation de ce type de représentation.

Le foyer d'affinage localisé dans le secteur 3 est par ailleurs l'un des rares exemples de ce type de structure mis au jour par l'archéologie et livre des informations précieuses sur l'aménagement de ce type de foyer. Le fait que le bloc de granite installé de chant tout contre le foyer ait été utilisé comme enclume paraît en revanche peu probable. Ce bloc paraît en effet trop proche du foyer pour permettre un travail aisé des métallurgistes. De plus, un support de frappe en pierre n'est pas forcément le plus indiqué pour l'épuration de métal brut. Sa fonction précise reste toutefois incertaine. Elle aurait également pu servir de support de levier pour un ringard permettant de manipuler le métal dans le foyer. On peut également remettre en question le fait que le marteau mis au jour à proximité ait servi à l'épuration. D'après sa morphologie, celui-ci semblerait plutôt adapté à des phases de travail plus avancées dans la chaîne opératoire.

Ces restitutions sont enrichies par des réflexions relatives au fonctionnement de l'atelier. Les datations obtenues ne permettent pas de déterminer précisément la durée d'occupation du site. Les vestiges matériels ne livrent pas par ailleurs d'indications quant à la fréquence ni la durée de chaque opération. Les auteurs s'appuient sur une documentation historique plus récente pour donner une idée générale du fonctionnement. Plusieurs campagnes de réduction par an, chacune durant quelques jours (données de l'époque moderne : entre 5 et 70 jours). Des sources écrites portant sur le district du Norberg au XVII^e siècle évoquent une activité représentant quelques dizaines de jours par an (5 à 70 jours pour Karbenning, 20 à 40 jours pour Olsbenning). Chaque session dure de 5 à 10 jours. Les intervalles entre chaque session sont dédiés à la réfection du four et de ses aménagements, ainsi qu'à la préparation du minerai.

Les discussions s'achèvent sur des réflexions concernant l'administration de l'activité sidérurgique. Il ne fait aucun doute que la construction et le fonctionnement de l'atelier 2 ont nécessité des investissements importants. Selon les auteurs, ceux-ci proviennent très probablement des comtes de Frohburg. Ceux-ci sont par ailleurs à l'initiative dans la fondation en 1140 d'un monastère bénédictin dans le vallon voisin de Schöntal. Cette thèse paraît fondée, puisque l'intérêt porté par la famille de Frohburg aux ressources minières locales est bien attesté par quelques mentions historiques. Néanmoins, le fait que les activités métallurgiques de Dürsteltal ne soient mentionnées par aucune de ces sources ne permet pas de valider totalement cette hypothèse.

En définitive, la monographie livrée par Jürg Tauber et Marianne Senn présente un travail de très bonne qualité, très bien illustré, et présentant un caractère interdisciplinaire marqué. Les multiples interrogations suscitées par les données de fouille sont traitées en convoquant des sources de natures diverses, en exploitant des méthodologies d'étude éprouvées. Les partis pris sont toujours argumentés et permettent de discuter leur validité. La représentation graphique de l'atelier se veut aussi fidèle que possible aux vestiges mis au jour. Elle constitue un atout indéniable de l'ouvrage en offrant au lecteur un outil d'interprétation efficace pour discuter les choix opérés par les auteurs dans la restitution de l'atelier. La précision des données et leur présentation claire permettront à l'avenir aux spécialistes de la métallurgie du fer de se référer sans peine à cet exemple.

Alexandre DISSIER
Laboratoire Métallurgie et Cultures, UMR 5060 IRAMAT CNRS