La production du fer

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Cahiers d'archéologie romande**

Band (Jahr): **88 (2001)**

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

3 La production du fer

3.1 La méthode directe

Un domaine aussi spécialisé que la sidérurgie utilise des termes peu connus. Voici quelques définitions fondamentales auxquelles nous faisons appel au fil des pages (tirées de l'ouvrage collectif du Groupe de travail suisse d'archéologie du fer, GSAF 1997).

Méthode directe de réduction du minerai de fer (méthode de fabrication du fer)
Le minerai, généralement sous forme d'oxydes de fer, est réduit à l'aide de charbon et transformé partiellement en fer métallique et/ou en acier dans un bas fourneau. Cette opération produit une éponge, mélange de métal et de déchets, qui doit être purifiée et compactée (raffinage) par chauffage et martelage.

Bas fourneau
Fourneau de réduction du minerai de fer par la méthode directe, produisant un bloc de fer et/ou d'acier. De nombreux modèles existent et sont plus ou moins connus: ils diffèrent par leur architecture (construction, dimensions, matériaux), expression des conditions matérielles et/ou culturelles locales. Quelques grands groupes se distinguent sur la base de différences dans la conduite de l'opération de réduction.

Remarque: le terme de bas fourneau possède d'autres sens, en particulier dans le domaine des autres métallurgies (métaux non-ferreux).

Bas fourneau à scorie coulée
Bas fourneau où la séparation métal/scories s'effectue en laissant s'écouler les scories vers l'extérieur par une ouverture prévue à cet effet. De nombreux modèles existent. Il semble que ce fut la technologie dominante en Europe occidentale jusqu'à la généralisation du haut fourneau.

Bas fourneau à scorie piégée
Bas fourneau où la séparation métal/scories s'effectue en laissant s'écouler les scories dans une fosse prévue à cet effet sous le bas fourneau. Il semble que ce fut la technologie dominante en Europe de l'Est et du Nord jusqu'à la généralisation du haut fourneau. Cependant, les découvertes récentes tendent à montrer que l'aire géographique où ce type de fourneau est présent s'étend davantage vers l'ouest: par exemple, les ferriers mis au jour à proximité du Mans (F), ainsi qu'aux Pays-Bas, comportaient des fourneaux à scorie piégée (communication orale de M. Mangin et Bielenin et al. 1998).

Méthode catalane
Méthode directe de réduction du minerai de fer. Elle se pratique dans un foyer profond et de grandes dimensions (fourneau catalan) muni d'une soufflerie hydraulique. On charge le minerai et le charbon en deux colonnes séparées. En bouchant la partie supérieure de la colonne de charbon, on force les gaz réducteurs à pénétrer dans la colonne de minerai. Les scories sont évacuées par une ouverture basse latérale et la pièce de métal par l'ouverture supérieure. Cette méthode était encore pratiquée au 19e siècle en Europe du Sud. Les métallurgistes de cette époque nous ont laissé des descriptions.

Remarque: le terme de méthode catalane (fourneau catalan) est souvent utilisé abusivement en synonyme de méthode directe (bas fourneau).

Éponge
Produit de la réduction du minerai de fer dans le bas fourneau. Il s'agit d'un bloc de métal, fer et/ou acier, mélangé à des déchets (morceaux de charbon, cendres, scories) de texture spongieuse. Il doit être raffiné avant d'être forgé.

Scories de réduction
Résidus de la fusion de la gangue du minerai lors de la réduction dans le bas fourneau.

Dans le cadre de l'approche archéologique qui est la nôtre, les considérations d'ordre théorique liées à la technologie de l'ancienne industrie du fer se limitent strictement à l'aire géographique de l'Europe occidentale. Il est fort utile d'apporter cette précision si l'on songe qu'au moment où se développe la culture laténienne dans nos régions, les Chinois fabriquaient déjà des objets en fonte de taille impressionnante (voir Rubin et Ko, in PFC, p. 111-117). Quant à l'Europe orientale, elle est marquée par une technologie bien différente, à savoir celle des bas fourneaux à scories piégées (voir Bielenin, Mangin et Orzechowski 1995, 1996 et 1998). En l'absence de tout fourneau appartenant à l'Age du Fer ou à l'Epoque gallo-romaine dans le district sidérurgique du *Jura central suisse,* qui serait susceptible de fonctionner de cette manière, nous faisons plus ou moins abstraction de cette aire géographique.

3.1.1 Approche technologique

«La technologie n'est pas la typologie. Elle tient compte de la totalité du matériel (lithique) sans isoler préférentiellement ce que nous choisissons arbitrairement comme "outils". Elle replace chaque objet dans la chaîne des actions techniques qui va (...) de la matière première brute à l'abandon, à la mort de l'outillage» (Tixier et al. 1980, p. 8).

Cette définition, qui concerne à l'origine la technologie du silex, conserve toute sa validité si l'on étudie les vestiges issus de l'ancienne industrie du fer. L'obtention du fer à partir de la matière première, le minerai de fer, se déroule en plusieurs étapes: l'ensemble de ces opérations techniques constitue la chaîne opératoire de la sidérurgie (fig. 26)[1]. L'approche technologique implique que l'on s'intéresse autant aux déchets provenant des différentes opérations – généralement présents en grande quantité – qu'aux objets archéologiques en fer, lesquels

[1] Le concept de *chaîne opératoire* est en effet propre à l'approche technologique d'un matériau quel qu'il soit. Il est, par exemple, aussi couramment utilisé pour le silex (Tixier et al. 1980).

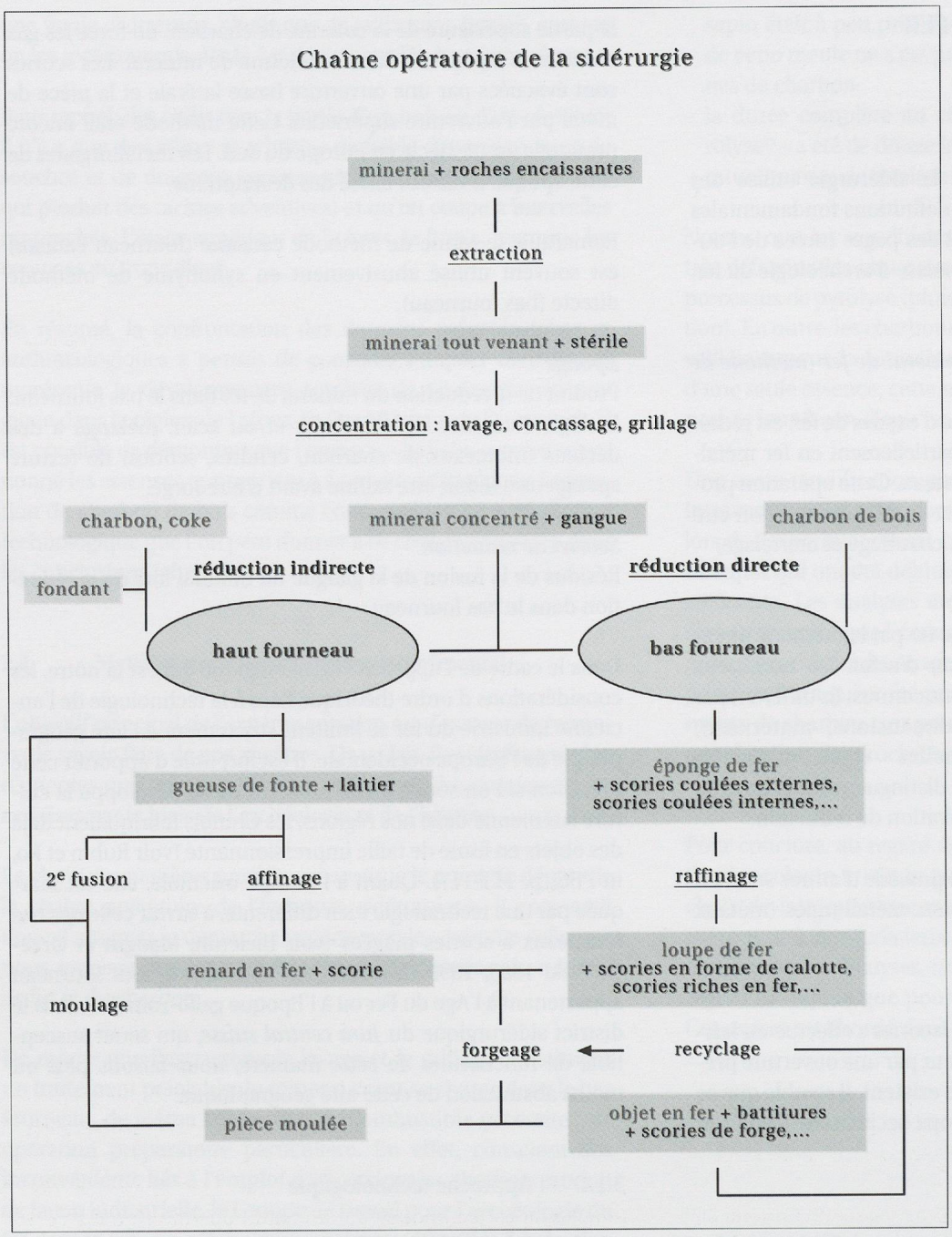


Fig. 26.
Schéma de la chaîne opératoire de l'industrie sidérurgique ancienne et moderne. Les cinq principales étapes sont soulignées; les deux procédés de réduction mis en parallèle.

sont en revanche rarement retrouvés dans les ateliers. Le fait d'avoir privilégié plutôt la prospection que la fouille extensive d'un site a encore accentué cet état de fait: en effet, pratiquement aucun objet archéologique «classique» n'a été trouvé[2].

Même si l'étape de l'extraction minière n'a pas lieu d'être développée ici – elle a fait l'objet d'une présentation détaillée dans le cadre de l'étude du site de *Boécourt, Les Boulies* et, comme nous l'avons vu plus haut, les vestiges archéologiques sont relativement rares.[3] –, il importe de rappeler qu'en général, l'exploitation de minerai dans le district, durant les périodes concernées par l'ancienne industrie du fer, a porté sur des affleurements à ciel ouvert, éventuellement dans des excavations horizontales (galeries) ou verticales (minières) peu profondes.

Dans les différents stades de la réduction, les réactions successives qui ont lieu dans le bas fourneau peuvent être décrites de façon schématique, de haut en bas pour la charge de minerai, et du bas vers le haut pour les flux de gaz. Les descriptions qui suivent sont tirées de l'étude de *Boécourt, Les Boulies* (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 49-50) et de celle de V. Serneels (1993, p. 45-46):

[2] Exception faite de quelques clous et pièces informes en fer, souvent ramassés en surface dans un contexte incertain.

[3] Eschenlohr et Serneels 1991, p. 27-47 ; ci-dessus, chap. 2.1.3.

① L'air qui entre par la tuyère ou par l'ouverture inférieure* dans la partie inférieure du fourneau active la combustion du charbon: celui-ci dégage de la chaleur et du gaz carbonique (CO_2). Cette réaction prédomine à cause de l'excédent d'oxygène (O_2).

② La plus grande partie de l'oxygène est ainsi rapidement utilisée dans un espace réduit de la partie inférieure du fourneau. Dès lors, le gaz carbonique réagit à son tour avec le carbone (C) du charbon. Tant qu'il y a du gaz carbonique libre, c'est cette réaction qui prédomine.

③ Au-delà, donc au-dessus de cette zone, le monoxyde de carbone (CO) est le seul composé carboné gazeux stable. Le gaz carbonique qui se forme par réduction des oxydes de fer (réactions 4 à 7) est régénéré tant que la température est supérieure à 600-700°C.

L'air injecté est froid, mais la réaction d'oxydation du carbone dégageant fortement de la chaleur se produit très rapidement. À faible distance de la tuyère ou de l'ouverture inférieure, la température augmente fortement. Elle dépend de la quantité d'air injecté. Les gaz chauds montent ensuite dans la cuve en se refroidissant. Il s'établit donc un gradient de température essentiellement vertical dans le fourneau. **(9)**

④ Le minerai, introduit par l'ouverture supérieure du fourneau, subit d'abord un simple échauffement. En descendant dans le fourneau, le minerai rencontre des températures toujours plus élevées.

⑤ La réduction des oxydes de fer (Fe_2O_3 et Fe_3O_4) par le monoxyde de carbone commence.

⑥ ⑦ Aux environs de 600°C, débute la formation de FeO, qui sera à son tour réduit. La réduction progresse de cette manière jusqu'à des températures de 1100°C environ.

Dans ces conditions, les autres composants du minerai et les oxydes de fer non réduits commencent à fondre **(10)**.

⑧ Les réactions entre les oxydes de fer de ce liquide et le carbone solide peuvent prendre dès lors une certaine importance.

Les particules de fer solides se rassemblent en une masse alors que la scorie s'écoule par gravité.

* Le schéma a été également adapté au bas fourneau à tirage naturel.

À la lumière des données récoltées lors de nos expérimentations, deux remarques relatives au modèle théorique s'imposent:

9 Il s'avère que, dans un bas fourneau pourvu d'un système de ventilation plus complexe (deux ou plusieurs tuyères et probablement une ouverture inférieure frontale), le gradient de température à la hauteur de l'arrivée d'air latérale (tuyère) peut être très important. Nous avons mesuré à maintes reprises des différences de 300 à 400°C sur une distance d'à peine 50 cm[4].

10 Une des principales difficultés de la réduction de minerai sidérolithique réside dans le fait qu'à chaque fois que du minerai est introduit dans le fourneau, une grande partie de celui-ci traverse les zones propices à la réduction pour finir sa chute dans la partie basse du fourneau. Il est évident que ce phénomène entraîne un gaspillage considérable de matière première. Dans le bas fourneau à tirage naturel, ce même phénomène a été observé de façon encore plus systématique. Il semble, dans ce dernier cas, trouver un écho dans le matériel archéologique: en effet, de nombreuses scories riches en fer comportent des quantités non négligeables de minerai non ou partiellement réduit. Comme les expérimentations ayant utilisé ce type de minerai sont encore relativement rares, nous manquons pour l'instant de base de comparaison pour mieux cerner les différents facteurs qui provoquent ce phénomène.

En résumé, on peut rappeler que la mise en place des différentes étapes techniques de la chaîne opératoire dépend de nombreux paramètres locaux, à savoir le type de matière pre-

Position dans le bas fourneau	Température °C	Réactions gaz / charbon	Réactions gaz / minerai	Comportement minerai / scorie
Gueulard	300 – 400	dilution dans l'air		
		CO_2 ne se régénère plus	④ $3\,Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 2\,Fe_3O_4 + CO_2$	
Cuve			⑤ $Fe_3O_4 + 4\,CO \longrightarrow 3\,FeO + 4\,CO_2$	
	600 – 700	③ $CO_2 + C \longrightarrow 2\,CO$	⑥ $Fe_3O_4 + CO \longrightarrow 3\,FeO + CO_2$	
			⑦ $FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2$	
	1100 – 1200			liquéfaction
	1100 – 1400	② $CO_2 + C \longrightarrow 2\,CO$		⑧ $FeO + C \longrightarrow Fe + CO$
Partie basse de la cuve / tuyère	30 ⟶ 1400	① $O_2 + C \longrightarrow CO_2$		
Fond				solidification

Fig. 27.
Réactions chimiques principales pendant la réduction d'un minerai de fer oxydé dans un bas fourneau (d'après Serneels 1993, fig. 37 et Eschenlohr et Serneels 1991, tab. 8).

[4] M. Leroy nous a confirmé avoir fait des observations similaires (communication orale et Merluzzo et Leroy 1999).

mière (tant pour le minerai que pour le charbon de bois); les matériaux de construction (qui vont interférer avec la charge dans la zone de contact interne); le savoir-faire local (qui s'enrichit au contact des artisans de zones sidérurgiques voisines ou plus lointaines – une caractéristique de l'industrie moderne –, ou qui se développe de façon autonome). Tous ces éléments font que chaque étude portant sur une région définie devra prendre en compte, certes, des données techniques générales,

mais aussi et surtout d'éventuelles spécificités ou adaptations régionales, lesquelles peuvent évoluer de façon indépendante au cours du temps (tradition locale). Là réside l'intérêt essentiel d'une étude de la sidérurgie par district.

3.1.2 Les bas fourneaux du district jurassien

À première vue, on pourrait croire que la méthode choisie, laquelle a préféré la prospection de l'ensemble d'un district sidérurgique à la fouille d'un ou plusieurs sites particuliers, n'a pas favorisé une étude techno-typologique des bas fourneaux ayant fonctionné dans les ateliers.

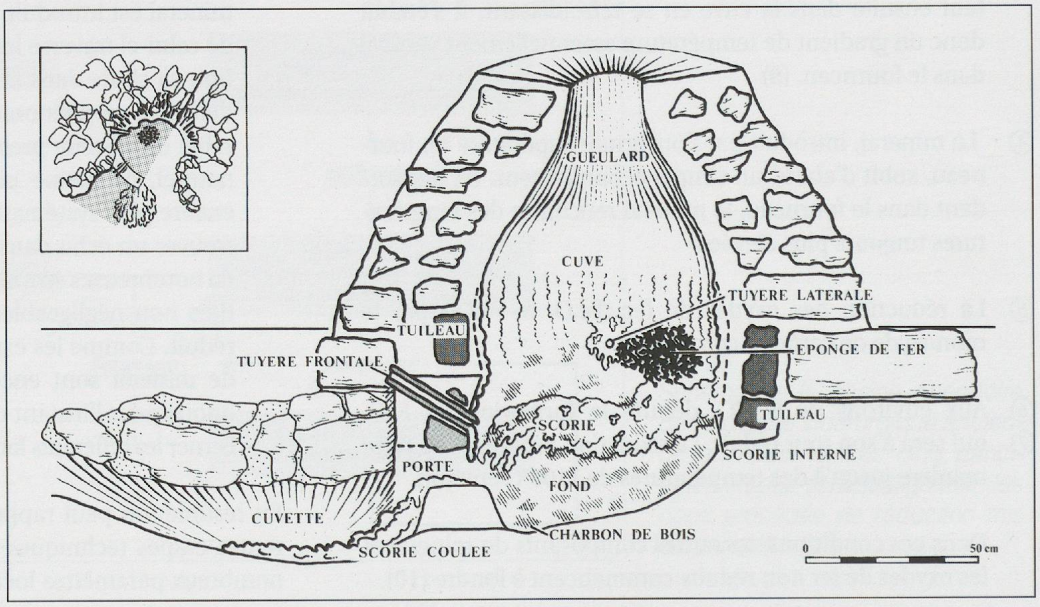


Fig. 28.
Reconstitution idéale d'un bas fourneau de Boécourt, Les Boulies. Au-dessus de la ligne, la reconstitution est hypothétique; au-dessous de la ligne, la reconstitution se base sur des données archéologiques (Eschenlohr et Serneels 1991, fig. 45).

Pourtant, la conjugaison des résultats issus des différentes approches qui caractérisent notre étude a permis de jeter un regard nouveau sur les types de bas fourneaux employés dans le Jura, d'autant plus que, dans ce domaine, les descriptions d'A. Quiquerez fournissent une foule de renseignements qui ne demandent qu'à être relues et commentées. En outre, il y a bientôt vingt ans que P.-L. Pelet a présenté une typologie technologique et que le même auteur a poursuivi ses réflexions à ce sujet à la lumière des données nouvelles disponibles (Pelet 1982a et 1992).

C'est sur cette base que les bas fourneaux du Jura ont été passés en revue. Pour une typologie plus globale, on peut se référer aux ouvrages cités ci-dessus, ainsi qu'au travail de V. Serneels (1993, p. 46-47). En l'état actuel de nos connaissances, trois types de bas fourneaux se distinguent dans le district jurassien:

- le bas fourneau à soufflerie double, attesté directement à *Boécourt, Les Boulies* et implicitement à *Corcelles, La Creuse* (grand nombre de fragments de tuyères, scories similaires à celles de Boécourt et même époque);
- le bas fourneau à soufflerie simple, à *Undervelier, Montépoirgeat 1;*
- le bas fourneau à tirage naturel fouillé à *Monible, Sous ce Mont 2* et à *Lajoux, Le Grand Pré,* attesté indirectement par A. Quiquerez à *Soulce, Cernetat; Lajoux, La Seigne*[5]*; Undervelier, Blanche Maison* (?).

3.1.2.1 Bas fourneau de type *Boécourt, Les Boulies*

Selon la définition de P.-L. Pelet, ce type comprend des fourneaux *«construits dotés d'une soufflerie»*, laquelle est constituée de deux tuyères au moins dont une frontale dans la porte (Pelet 1992, p. 341).

Comme ce type de fourneau a fait l'objet d'une publication, nous nous contenterons d'en illustrer ici les principales caractéristiques (fig. 28) et de renvoyer pour les détails à la monographie sur ce site (Eschenlohr et Serneels 1991).

3.1.2.2 Bas fourneau de type *Undervelier, Montépoirgeat*

La morphologie de ce fourneau n'est pas très bien connue, du fait que seule une petite partie du pourtour de la paroi de la cheminée a été conservée, adossée au talus; la reconstitution de la forme et du volume de la cheminée s'avère donc délicate. La hauteur originale du fourneau n'est pas connue.

[5] L'auteur indique comme localisation la Seigne, près de Rebévelier (fig. 30 et Quiquerez 1866a, pl. 2).

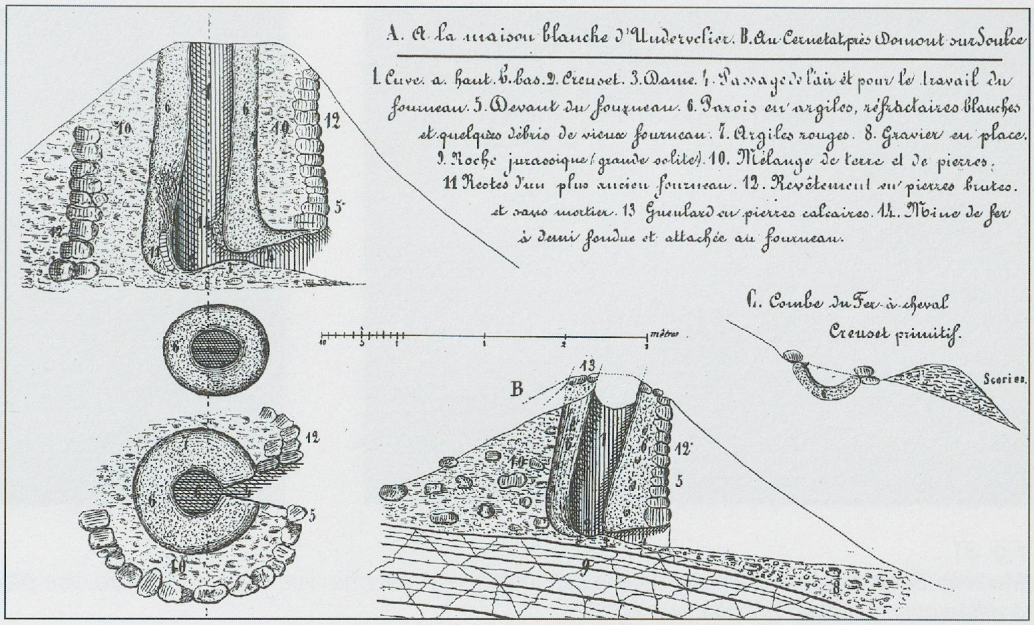


Fig. 29.
Coupes à travers deux bas fourneaux à tirage naturel (A et B; Quiquerez 1866a, pl. 1);

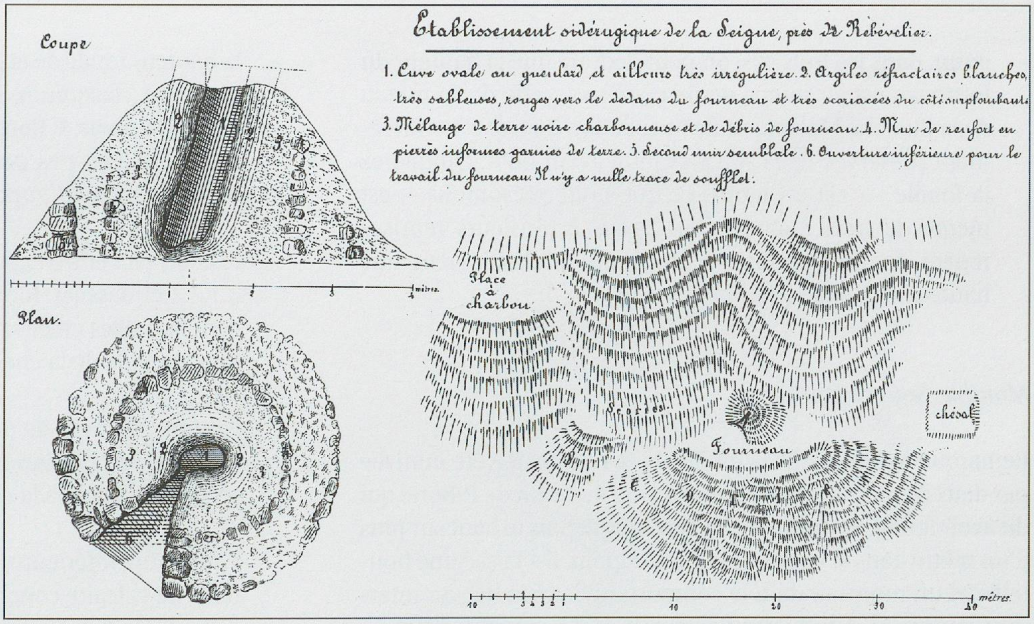


Fig. 30.
Coupes à travers un bas fourneau à tirage naturel (Quiquerez 1866a, pl. 2).

Malgré cet état de fait, la présence d'une tuyère, dont la position dans le fourneau a pu être reconstituée, apporte l'information essentielle: il s'agit d'une pièce cylindrique d'un diamètre interne de 5 cm, localisée à environ 65 cm au-dessus du fond du fourneau. Nous avons tenu compte de cet élément lors de l'interprétation des procédés postulés relatifs aux différents types de bas fourneaux (chap. 5.3.3).

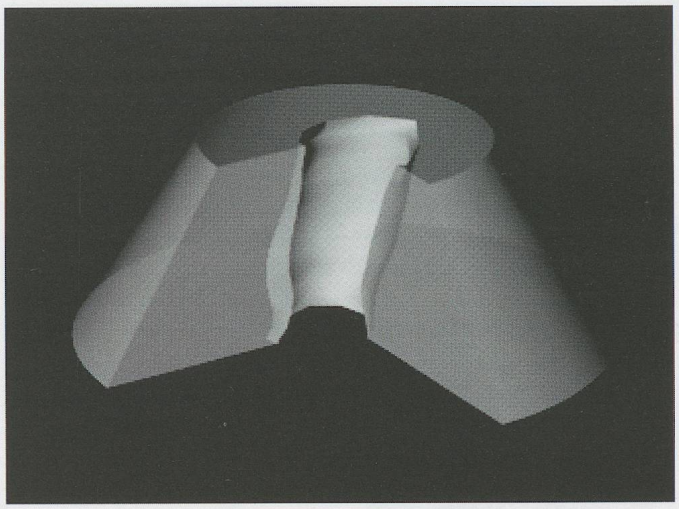
3.1.2.3 Bas fourneau à tirage naturel de *«type Quiquerez»*

Les fourneaux étudiés par A. Quiquerez

Dans le district du *Jura central suisse,* avant la fouille du ferrier de *Boécourt, Les Boulies* en 1991, seule celle du site de *Lajoux, Le Grand Pré,* menée en 1972, était à même de compléter la vaste documentation, vieille de plus d'un siècle, laissée par notre prédécesseur A. Quiquerez ! C'est dire l'importance qu'ont encore aujourd'hui les travaux entrepris par ce grand chercheur.

Abstraction faite d'un certain schématisme – dû à la conception scientifique de l'époque – dans les illustrations que ce savant propose, plusieurs éléments ont retenu notre attention (fig. 29 et 30):

- dans deux cas, la cheminée est inclinée; peut-être sa forme était-elle de type hélicoïdal, mais elle n'est pas rendue par le dessin;
- le passage extrêmement rétréci entre le fond de la cuve (appelé creuset sur les illustrations) et l'ouverture inférieure existe bel et bien, par exemple dans le fourneau de Monible: nous l'avons nous-même observé sans pouvoir le documenter (voir ci-dessous);
- la paroi est composée de différents éléments; de plus, les matériaux divers amoncelés autour de la cheminée sont consolidés par des blocs de calcaire empilés: le fourneau de Monible a une configuration tout à fait similaire;



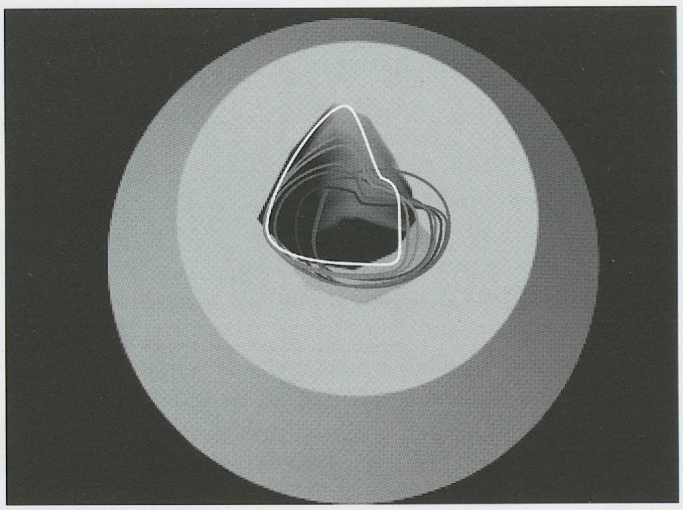


Fig. 31.
Monible, Sous ce Mont 2. Reconstitution schématique. A gauche: vue de 3 /4. A droite: vue plongeante avec relevé de la cheminée à différentes hauteurs. Echelle: voir fig. 32.

- enfin, dans les trois cas, on peut déduire que la hauteur du fourneau est au moins de deux mètres; celle du fourneau de la Blanche Maison, seule installation à avoir été entièrement préservée dans son élévation avant qu'A. Quiquerez la fouille – c'est du moins ce que nous présumons –, est même de trois mètres; nous avons à plusieurs reprises repéré des fourneaux qui atteignent probablement une hauteur analogue (chap. 4).

Monible, Sous ce Mont 2

Remarque préliminaire: la fouille de ce fourneau a été motivée par deux éléments: premièrement, une mention de P. Borel qui dit avoir fouillé ce fourneau en creusant depuis le haut sur plus d'un mètre dans la cheminée (pour témoin, il a laissé une bouteille et un morceau de tôle comportant l'année de son intervention; nous l'avons retrouvée à 1,25 m du sommet conservé du gueulard); deuxièmement, la parcelle de forêt, qui a été achetée tout spécialement par un des membres du GAFJ, afin de préserver et de mettre en valeur ce triple site sidérurgique (chap. 4.7).

Toutefois, la raison fondamentale qui nous a amené à fouiller ce site a été la possibilité inespérée d'examiner un bas fourneau dont la hauteur conservée était nettement supérieure (au moins trois fois !) à celle des deux appareils fouillés à Boécourt.

Dans ce cadre, la vidange nécessaire de la cheminée nous a donné une bonne leçon d'humilité: il est en effet extrêmement difficile d'approcher de façon méthodique une telle installation[6]. Plusieurs raisons sont à évoquer:

- la hauteur totale de la cheminée (± 1,85 m) et son très faible diamètre (maximum: 52 x 50 cm ou 62 x 41 cm) par rapport à cette hauteur; P. Borel en avait déjà fait l'expérience avant nous: il n'était pas possible de vider cette cheminée sans détruire une part importante de la partie sommitale[7];

- le contraste entre l'épaisse paroi scorifiée (voir aussi chap. 3.1.2.2 ci-dessus), formant un bloc dont les points faibles sont les failles créées par les racines d'arbres, et le remplissage meuble de la cheminée;

- l'amoncellement de dépôts de terres et de cailloux en vue d'améliorer l'isolation thermique du fourneau, lequel empêche l'accès à la cheminée du fourneau;

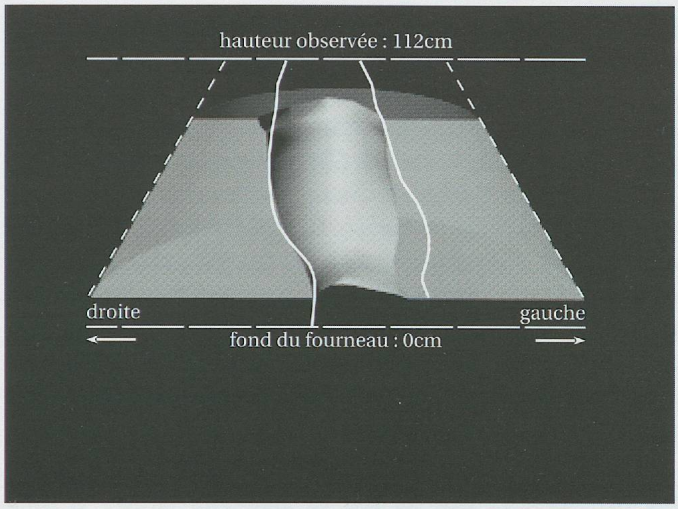
- l'ouverture inférieure, la «porte», qui a été obstruée par une dalle de calcaire couchée sur toute la surface de la cuvette: celle-ci était apparemment en place, étant surmontée de dépôts identiques à ceux qui constituaient le pourtour de la cheminée; en outre, une dalle similaire se trouvait de champ à droite de l'ouverture. Chacune d'elles pesait entre 50 et 60 kg;

- la morphologie intérieure du fourneau – ce fut même le problème majeur: la cheminée est en effet de forme hélicoïdale et décentrée (fig. 31 et 32). À notre avis, il ne s'agit ni d'un phénomène aléatoire, ni du résultat d'un dommage naturel: cette morphologie semble essentielle au bon fonctionnement de ce type de fourneau.

Malgré toutes ces réserves, nécessaires dans le cadre d'une approche qui se veut archéologique, nous tenons avec ce four-

[6] Nous avions porté un regard très critique sur l'article de M. Joos concernant la fouille du ferrier de Lajoux, Le Grand Pré. Notre propre expérience de terrain nous amène aujourd'hui à nuancer notre jugement.

[7] *«Nous avons vidé la cheminée remplie de terre noire, jusqu'à une profondeur de 1m70. Elle est un peu ovale, le grand axe d'est en ouest mesure 70 cm environ. Nous y avons déposé une bouteille contenant un papier portant la date de la découverte. Nous y avons joint une bande de fer blanc après avoir noté la date au moyen de trous. Nous avons creusé le terrain du côté nord où sont les scories pour essayer de dégager le canal de sortie de la fonte [sic !], mais sans succès. Avons arrêté les travaux car nous nous trouvions dans une forêt particulière et œuvrions sans autorisation. Avons rempli la cheminée puis recouvert l'ouverture.»* (Manuscrit P. Borel).



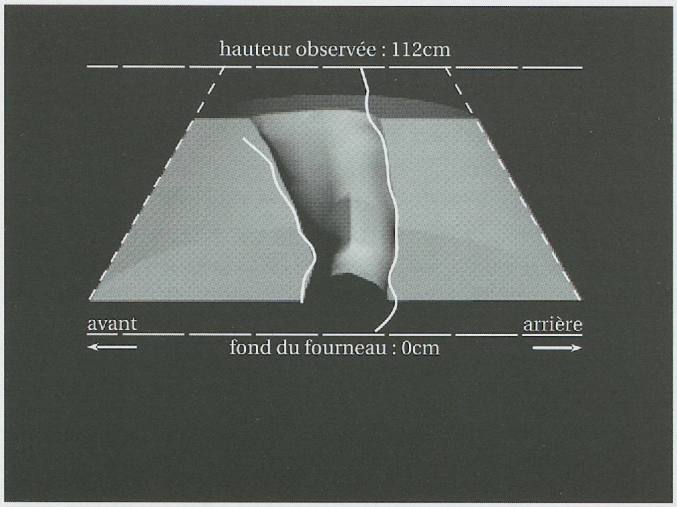


Fig. 32.
Monible, Sous ce Mont 2. Reconstitution schématique. A gauche: coupe perpendiculaire à la pente. A droite: coupe dans le sens de la pente.

neau une des preuves incontestables de la véracité des descriptions d'A. Quiquerez concernant les fourneaux à tirage naturel. Ajoutons que l'aire géographique où se répartit ce type de fourneau semble se limiter aux Franches-Montagnes, au Petit–Val et, apparemment, à la région d'Undervelier-Soulce. Il est utile de préciser qu'à notre avis, ce type de bas fourneau n'a pas constitué le modèle exclusif au Moyen Age dans ces secteurs, mais qu'il a été par contre probablement le modèle prédominant.

Pour terminer, il convient de souligner que ce fourneau de Monible ressemble beaucoup aux modèles dessinés par A. Quiquerez. Ce constat apporte un crédit supplémentaire à cet auteur, dont nous avons déjà relevé les très bonnes connaissances techniques.

Lajoux, Le Grand Pré

Bien qu'il subsiste des interrogations concernant le mode de construction du bas fourneau de *Lajoux, Le Grand Pré,* ce site apporte la deuxième preuve matérielle de l'existence de bas fourneaux à tirage naturel dans le district jurassien[8]. Toutes les données techniques n'ont pas encore été exploitées; en particulier, aucune analyse de scories n'a encore été faite à ce jour. Il est donc prématuré d'intégrer d'autres éléments, outre l'aspect architectural, dans notre réflexion.

La morphologie de la cheminée du bas fourneau du Grand Pré a un aspect nettement décentré, mais comme on ne dispose pas d'une coupe placée dans l'axe à travers le fourneau, il n'est pas aisé de dire si la cheminée avait également une forme hélicoïdale comme celle de la cheminée décrite à *Monible, Sous ce Mont 2.* La hauteur conservée de la paroi scorifiée est similaire à celle de Monible: 1.20 m.

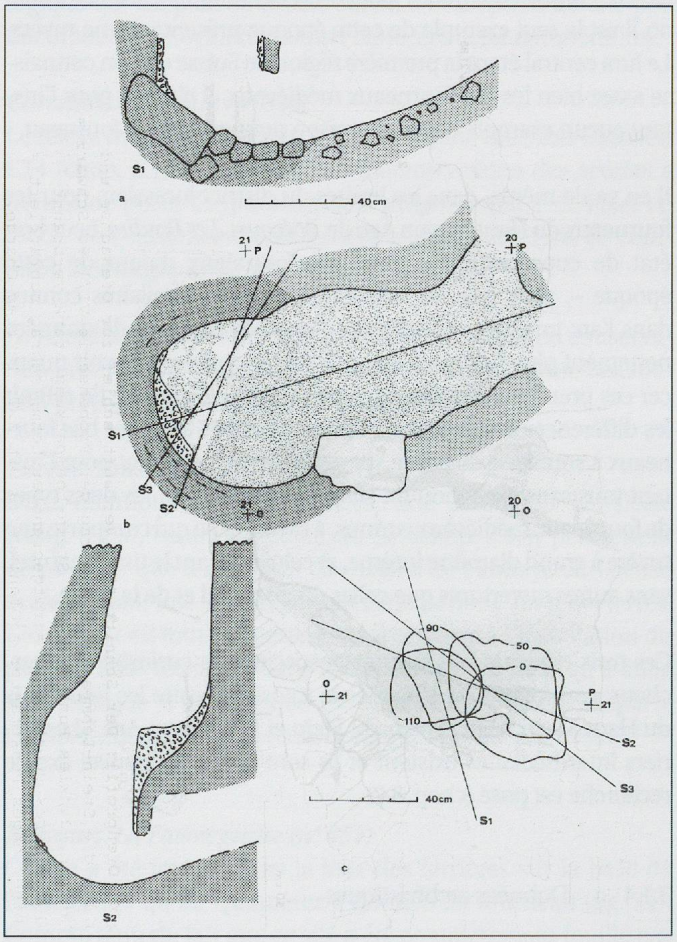


Fig. 33.
Plan et coupes du fourneau de Lajoux, Le Grand Pré (Joos 1994, fig. 3) de haut en bas a) Coupe à travers le fond du fourneau (S1); b) Plan de la partie basse du fourneau; c) Coupe longitudinale à travers la cheminée (apparemment pas dans l'axe ?; S2) et quatre sections, avec l'indication de l'altitude par rapport au fond du fourneau ?). Le nord ne peut être situé sur la base des explications fournies par l'auteur.

[8] Fouilles du Séminaire de Pré- et Protohistoire de l'Université de Bâle en 1972/73 (durée totale de cinq semaines), dirigées par M. Joos (Joos 1994).

3.1.3 Notions chronologiques

Attribuer à un phénomène technologique une appartenance chronologique n'est pas une démarche aisée. En effet, tout phénomène observé à un moment déterminé a pu exister auparavant, ailleurs ou dans l'aire géographique concernée, mais a aussi pu se manifester à une époque plus tardive, dans un cadre spatial identique ou différent. Sans entrer dans tous les détails, ces phénomènes technologiques peuvent correspondre à ce que l'on appellera une innovation technologique, une solution technologique à caractère local, ou enfin une survivance, voire une reprise d'un procédé technique plus ancien, qui peut être dépassé par ailleurs dans le même district (chap. 8.1).

Conscient de ces limites, nous sommes malgré tout à même de donner quelques jalons chronologiques, tout en précisant qu'ils ne sont valables que dans le district jurassien et dans les limites de nos connaissances actuelles.

Le bas fourneau médiéval tardif d'*Undervelier, Montépoirgeat* 1 (n° 105) représente pour l'instant un cas unique, dans la mesure où il est le seul exemple de cette époque présentant une tuyère. Le Jura central étant la première région de Suisse où l'on connaisse assez bien les bas fourneaux médiévaux, il n'existe pour l'instant aucun exemple de comparaison pour ce type de fourneau.

Il en va de même, dans les limites du district jurassien, pour les fourneaux du Haut Moyen Âge de *Boécourt, Les Boulies*. Leur bon état de conservation – pour des fourneaux datant de cette époque –, ainsi que les nombreux modèles similaires connus dans l'arc jurassien, constituent toutefois une base de données nettement plus fournie. Même s'il faut s'attendre à devoir nuancer ces premières observations par la suite, il importe de retenir les différences évidentes que l'on a observées entre les bas fourneaux à soufflerie disposée sur deux niveaux – datant pour l'instant tous sans exception du Haut Moyen Age – et les deux types de fourneaux médiévaux connus, à savoir celui qui comporte une tuyère à grand diamètre interne, et celui utilisant le tirage naturel, sans autres ouvertures que celles du gueulard et de la porte.

Ces trois types de bas fourneaux suscitent la curiosité du chercheur: comment s'est effectuée la transition entre les fourneaux du Haut Moyen Age et ceux du Plein et Bas Moyen Age ? Les ferriers intermédiaires existent et ils sont datés: un nouvel axe de recherche est posé (chap. 8.2).

3.1.4 Données archivistiques

Il est attesté avec une bonne probabilité que le haut fourneau n'a fait son apparition dans le district jurassien qu'au 15e siècle (Quiquerez 1855; Steiner, carte inédite et dates C14, voir chap. 5.1). Il nous a donc paru intéressant de relever les rares mentions trouvées dans les archives à propos de fourneaux antérieurs au 15e siècle. Il importe de préciser que le manque de documents antérieurs au 16e siècle dans les archives de l'ancien Evêché de Bâle (AAEB) est certainement dû en partie à l'incendie du château de Porrentruy, lequel abritait alors ces archives, en 1559 (Quiquerez 1855, p.71).

Pleigne, hameau de Lucelle, ancienne abbaye cistercienne
«Il y a des scories sur la route de Charmoille à Lucelle, qu'il ne faut pas confondre avec celle[s] du [haut] fourneau bâti près de ce village en 1516, et qui ne dura guère. C'est bien plutôt la localité citée dans les actes de Lucelle comme point de repère, en 1136 et 1152, sous la dénomination de vieux fourneau, a furno veteri.» (Quiquerez 1866a, p. 31-2). Aucune trace permettant de vérifier cette mention n'a été décelée dans le terrain. Si l'on tient compte d'une mention légèrement plus tardive (1225), il est très probable qu'il s'agissait d'une ferrière hydraulique (chap. 2.1.4).

Lajoux, hameau de Fornet
Vers 1181, Henri, évêque de Bâle, atteste que l'abbaye de Bellelay a échangé et acquis certaines propriétés à *Fornet*, mentionné sous *Fornaz*. Il est fait mention d'une *fabrica* des religieux dans cette zone[9].

En 1397, un document donnant les limites nord-est de la Courtine de Bellelay mentionne des *vieilles faverges* qui étaient localisées dans la même zone que la fabrica susmentionnée (transcription manuscrite par J.-C. Rebetez).

L'endroit précis n'étant pas situé dans le terrain, on ne sait pas si ces mentions font allusion à l'un des nombreux bas fourneaux connus actuellement dans cette région.

Une des mentions les plus intéressantes et les plus significatives est certainement celle de *Lajoux Mertenat:* la première attestation date de 1348 (AAEB, B133/3); on retrouve l'appellation également dans le document susmentionné de 1397.

Undervelier
En 1405, le prince octroya une concession à l'abbaye de Bellelay pour installer une forge avec droit de bois et de charbon *«a leuff de la fontayne du Tuc»* (Trouillat 5, p. 716). Dans ce cas-là aussi, cette mention n'a pas encore pu être mise en relation avec des vestiges localisés.

3.2 Transition méthode directe – méthode indirecte

Remarque préliminaire: au début de l'élaboration de ce chapitre, il nous a semblé qu'il fallait juste résumer quelques vagues notions et données acquises sur la phase transitoire. En progressant dans l'étude, nous nous sommes rendu compte de la place que prenait cette phase intermédiaire sous certains aspects techniques et chronologiques, mais en même temps occupant une place à part entière dans l'histoire de la sidérurgie jurassienne.

3.2.1 Considérations méthodologiques

Four à masse
Ce terme désigne les bas fourneaux de grandes dimensions

[9] Communication écrite de J.-C. Rebetez, conservateur des AAEB, et Trouillat 2, p. 22.

(plus de 3 m de haut) du Moyen Age. La forme du bâti préfigure celle du haut fourneau. La soufflerie est actionnée par la force hydraulique. Le produit est un bloc de fer et/ou d'acier solide (masse). Les premiers traités de métallurgie (16e siècle) nous ont laissé des descriptions.

Certains appareils pouvaient produire soit une masse de fer solide, soit de la fonte liquide en fonction de la conduite de l'opération de réduction (rapport charbon/minerai, température, durée).

Ce type de fourneau est très bien connu et documenté dans la région du comté de Mark[10]. En revanche, aucun vestige pouvant se rapporter à cette catégorie n'a été jusque-là mis au jour dans le district jurassien, ce qui découle peut-être du fait qu'aucune fouille programmée n'a été encore effectuée sur des sites susceptibles de contenir de tels appareils.

Par la suite, nous utiliserons le terme de ***ferrière*** qui entend simplement qu'il s'agit d'un bas fourneau – fonctionnant encore selon la méthode directe – dont la soufflerie est vraisemblablement actionnée par la force hydraulique et qui, de plus, est de dimensions supérieures aux «petits» bas fourneaux du Haut Moyen Age. Ce dernier élément ne constitue toutefois pas un trait distinctif au sein même de la famille des bas fourneaux médiévaux.

Nous n'avons pas la prétention d'englober tous les aspects propres à ce type de fourneau, lesquels peuvent certainement varier de la même façon qu'elle a été décrite précédemment pour les bas fourneaux; en s'approchant, par exemple, plus ou moins du procédé indirect utilisé dans le haut fourneau (chap. 3.3).

3.2.2 Apport historique

Dans le district du *Jura central suisse*, les installations représentant la transition entre bas fourneau et haut fourneau sont mal connues. Le terme de *«transition»* n'est d'ailleurs pas très exact, puisque nous avons précisé plus haut que ce type d'installation fonctionne selon la méthode directe. Toutefois, il existe plusieurs indices techniques qui rapprochent déjà nettement ce type de fourneau du haut fourneau.

En outre, ce type particulier d'installation doit probablement former le chaînon technologique manquant entre le bas fourneau à caractère purement «artisanal» et le haut fourneau industriel. Evoquons simplement une température plus élevée de façon constante – principal résultat de la soufflerie à force hydraulique – ce qui entraîne une modification dans le déroulement de l'opération de réduction, perceptible à travers la nature des scories.

L'apport des sources écrites provient des études menées par M. Steiner (fig. 36), il mentionne au moins quatre ferrières ou installations similaires, à savoir un «Blauofen» à Elay. A une importante exception près, aucun de ces fourneaux n'est connu dans le terrain.

3.2.3 Vestiges jurassiens

La découverte de quatre probables ferrières, ainsi que la mise au jour de quelques déchets en lien avec une potentielle cinquième installation du même type, représentait déjà une énorme surprise: or, celle-ci s'est encore accrue lorsque deux hauts fourneaux précoces, dont pour un des deux nous n'avions pratiquement aucune indication écrite, ont été repérés (chap. 3.3). Si l'on intègre encore les sources écrites, il s'avère assez clairement que les ferrières ont encore été plus nombreuses, approchant vraisemblablement la dizaine d'établissements.

Une relecture attentive de l'ouvrage principal d'A. Quiquerez *De l'âge du fer* nous a fait en outre penser qu'il a fouillé une ferrière au lieu-dit évocateur Favoirgeatte, au Pichoux de Montavon (commune de Boécourt). Parce que nous supposons qu'il s'agit de celui dont le fourneau a été fouillé par A. Quiquerez, ce site a fait l'objet d'une datation C14 (n° 451, chap. 5.1).

Les ateliers présentés ci-après se suivent dans l'ordre chronologique qui est plus ou moins établi, à l'exception du site peu documenté de Soyhières, lequel clôturera cette énumération.

Corcelles, La Creuse (n° 300)
Le relevé magnétique (chap. 5.2.2), combiné avec une datation C14 (chap. 5.1) et l'observation macroscopique des scories a permis de poser l'hypothèse, déjà proposée par P.-L. Pelet en 1993, de l'existence d'une ferrière hydraulique dans ce complexe sidérurgique sur une base assez solide.

Le relevé topographique semble indiquer un état de conservation prometteur. Datant du 11e siècle, il s'agirait d'une installation précoce pour nos régions (chap. 3.2.4).

Lucelle (sans numéro)
Deux mentions dans les sources, une datant du 12e siècle (chap. 3.1.5), l'autre du début du 13e (chap. 2.1.4) permettent de postuler que les moines cisterciens de l'abbaye de Lucelle avaient établi une ferrière durant cette période sur leurs terres. Celle-ci est en tout cas nettement antérieure à l'installation du premier haut fourneau dans le même secteur, bien qu'il faille tenir compte d'un manque de documents qui ont disparu. L'emplacement de cette ferrière supposée n'est pas connu.

Boécourt, La Favoirgeatte (n° 451)
Ce site a été intégré dans la liste des ferrières sur la base de l'illustration qu' A. Quiquerez a donnée du fourneau (fig. 34). Compte tenu du fait que ce site a été complètement fouillé par A. Quiquerez, les indices qui restent sont assez ténus: il s'agit de la forme générale du fourneau, ainsi que de sa situation au bord d'un torrent intermittent.

La description qu' A. Quiquerez nous donne est toutefois assez éloquente, elle établi en effet un lien entre ce site et celui de Soyhières, où nous n'avons trouvé plus que des scories vitreuses:

[10] Allemagne, région de Lüdenscheid ; nombreux articles de H. L. Knau et M. Sönnecken, voir bibliographie.

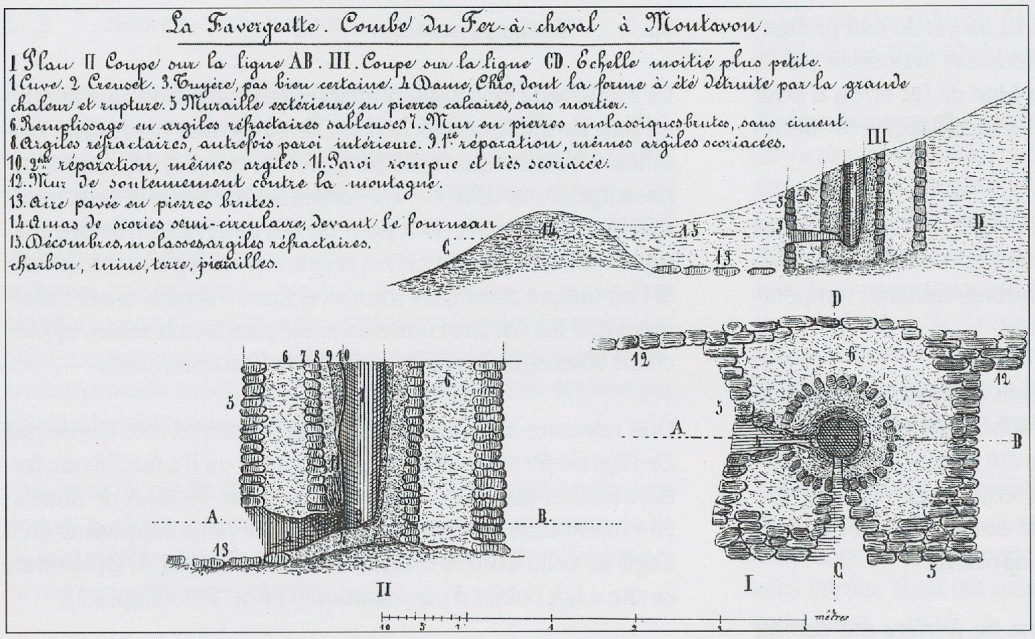


Fig. 34.
Coupe et plan d'une ferrière (?), à Boécourt, La Favoirgeatte (Quiquerez 1866a, pl. 4).

«Le fourneau de la Favergeatte est le premier qui nous a révélé l'usage du grès tertiaire ou de la molasse dans sa construction. Mais nous avons ensuite retrouvé l'emploi de cette même pierre à un autre fourneau, près de la source des fontaines de Soyhières. En ce lieu, l'eau est assez abondante pour faire mouvoir une roue, et nous pensons que c'est un des rares exemples de forges avec une roue marchant à l'eau, soit pour le soufflet, soit pour le marteau. Le fourneau de Soyhières offre de plus gros morceaux de grès qu'à la Favergeatte, mais ils étaient également reliés avec des argiles réfractaires, dont on trouve un amas sur la montagne voisine. Des débris de métal indiquent le fer spongique, d'autres une fonte blanche poreuse, mais du reste les scories n'ont aucun rapport avec le laitier des fourneaux produisant de la fonte liquide.» (Quiquerez 1866a, p. 51-52)

Il est utile de préciser que les analyses chimiques effectuées sur deux fragments de scories ne révèlent aucune particularité qui permettrait d'aller plus loin dans notre argumentation (chap. 5.3.2).

Bassecourt, Pré Borbet-dessous (n° 464)
Le site du Pré Borbet-dessous est un cas particulièrement intéressant, parce qu'il est rare. Une mention figurant dans les sources écrites se rapporte probablement à ce site. Par ailleurs, nous disposons de deux dates C14 assez cohérentes, de quatre analyses de scories, ainsi que d'un relevé magnétique du site[11]. Même s'il ne s'agit que d'une hypothèse de travail qui demanderait à être vérifiée par une fouille – de préférence avant la destruction totale du ou des fourneau(x) par l'érosion et les activités agricoles –, tous les indices dont nous disposons corroborent l'interprétation proposée pour ce site, à savoir qu'il correspond à l'emplacement d'une ferrière.

M. Steiner a retrouvé la mention d'une ferrière hydraulique antérieure à 1485, date de la construction d'un haut fourneau dans le même vallon. Les dates C14 placent le site soit entre 1290 et 1406 (1305, 1365,1386), soit entre 1333 et 1442 (1421); la plus grande probabilité oscille entre la deuxième moitié du 14e et le début du 15e siècle, ce qui signifie qu'elle est nettement antérieure à l'installation du haut fourneau, mentionnée en 1485.

L'analyse des scories confirme sans équivoque que le(s) fourneau(x) de ce site fonctionnaient selon la méthode directe. Leur aspect macroscopique fortement vitreux ne correspond cependant pas à celui des scories trouvées sur les ferriers médiévaux de la vallée de Delémont. La localisation des installations à proximité immédiate du cours d'eau est d'ailleurs significative. Tous ces éléments permettent de supposer qu'il s'agit bien d'une ferrière hydraulique, c'est-à-dire d'un fourneau qui n'est plus vraiment un bas fourneau – parce qu'il exploite la force hydraulique –, mais qui n'est pas encore un haut fourneau – parce qu'il fonctionne encore selon la méthode directe.

Delémont, ville (sans numéro)
Seule une indication incertaine dont fait mention M. Steiner permet de supposer qu'à la fin du 15e siècle, une forge et peut-être une ferrière fonctionnaient à Delémont, mais l'emplacement exact n'est pas spécifié.

Erschwil (sans numéro)
Le haut fourneau d'Erschwil (voir ci-après) a été vraisemblablement précédé par une ferrière dont l'existence est indiquée en 1474.

Elay (sans numéro)
Dans le troisième quart du 16e siècle, les archives font mention d'un «Blauofen»[12] à Elay. Sans entrer dans un débat terminologique – lequel serait d'ailleurs à mener en deux langues –, nous rapprochons cette mention d'une ferrière potentielle dont l'emplacement n'est pas connu.

[11] Pour les détails concernant les différents apports, voir chap. 5.1.2, 5.2.2 et 5.3.2.
[12] Blau- vient de blähen en allemand, qui signifie gonfler d'air, donc à soufflerie hydraulique.

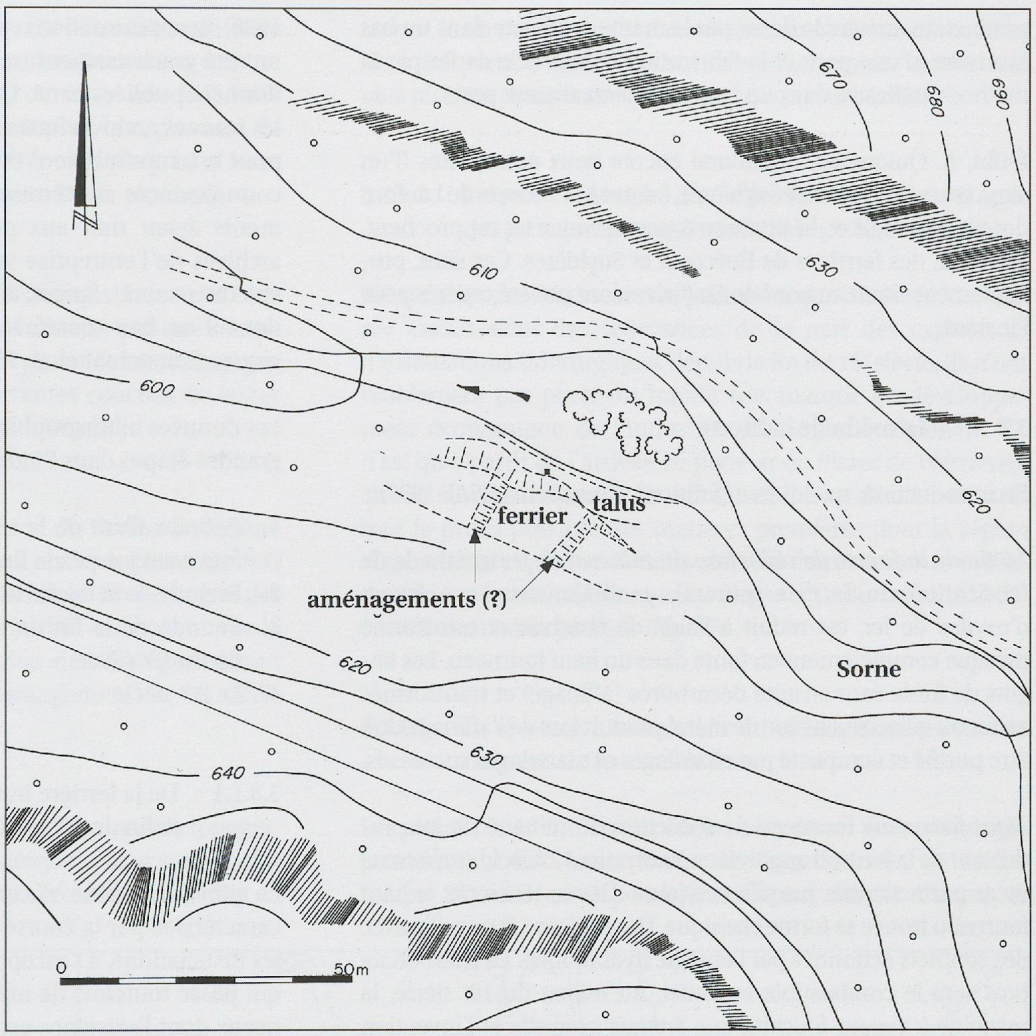


Fig. 35.
Relevé topographique de la ferrière potentielle située au bord de La Sorne dans les Gorges du Pichoux.

Sornetan (n° 136)
Nous avons découvert un emplacement d'installation sur la rive gauche de la Sorne tout en haut des Gorges du Pichoux. La datation récente (17e ou encore plus récent), l'aspect vitreux des scories et la configuration topographique du site nous font penser qu'il pourrait s'agir également d'une ferrière (fig. 35). Seule une investigation plus poussée en ces lieux permettrait d'éclaircir le mystère.

Soyhières, Source de la Dou (n° 612)
Le peu que nous savons sur ce site a été présenté lors de la description de la ferrière de *Boécourt, La Favoirgeatte* (voir ci-dessus).

Dans le cadre de la typologie des fourneaux que nous avons commentée (chap. 1.2.1.1), A. Quiquerez évoque encore deux endroits qu'il rapproche des deux sites que nous avons décrits comme ferrières – *La Favoirgeatte* à *Boécourt* et la *Source de la Dou* à *Soyhières* –: «*Car on ne doit pas oublier que les derniers de ces petits établissements ne peuvent se rapprocher plus près de nous que le courant du XVe siècle, et encore nous pensons que ceux de cette époque différaient déjà des deux premières espèces, que leurs fourneaux étaient déjà plus grands, qu'ils avaient des machines soufflantes mues à l'eau ou à bras, comme à la Favergeatte de Montavon, à la Dou de Soyhières, au Grand-Pré de Bellerive, à la Verrerie de Lauffon.*» (Quiquerez 1866a, p. 90).

En ce qui concerne l'installation de Bellerive, aucun indice n'est visible dans le terrain; quant à celle de Laufon, nous ne l'avons pas vérifiée car elle se situe en dehors de la zone étudiée.

3.2.4 Etat de la question

Du point de vue de la conservation, la difficulté majeure qui réside dans l'étude de ce type de vestige archéologique est que ces installations sidérurgiques précoces – en terme industriel –, construites à proximité immédiate d'un cours d'eau, ont généralement été détruites après leur abandon, soit par les forces de la nature, soit par une installation industrielle plus récente, succédant à la première construction de façon plus ou moins rapprochée dans le temps. Ce phénomène touche tout particulièrement les premiers fourneaux, appelés ferrières, qui ont exploité la force hydraulique. Malgré ce constat plutôt défavorable, les restes de plusieurs ferrières probables ont néanmoins pu être mis en évidence ainsi que l'existence de quelques installations basées sur les seules sources écrites.

A l'image des nombreux patouillets qui ont disparu dans des conditions à peu près similaires (à en croire un plan consulté aux Archives de l'Etat de Berne), les premiers témoins bien conservés de l'industrialisation de la sidérurgie jurassienne font cruellement défaut, d'autant plus qu'ils représentent le chaînon manquant entre deux filières technologiques bien établies: la

production artisanale de fer par la méthode directe dans un bas fourneau, d'une part; et la fabrication industrielle de fer par la méthode indirecte dans un haut fourneau, d'autre part[13].

Enfin, A. Quiquerez mentionne encore deux autres sites (l'un situé entre Delémont et Soyhières, l'autre à la Verrerie de Laufon) dont la typologie et la situation topographique les rapprochent, selon lui, des ferrières de Boécourt et Soyhières. Ces sites, probablement situés au bord de *La Birse,* n'ont pas été repérés pour l'instant.

3.3 La méthode indirecte

En introduction, quelques définitions s'imposent (GSAF 1997):

Méthode indirecte de réduction du minerai de fer (méthode de fabrication du fer): le minerai, généralement sous forme d'oxydes de fer, est réduit à l'aide de charbon et transformé presque complètement en fonte dans un haut fourneau. Les lingots de fonte sont ensuite décarburés (affinage) et transformés en fer ou en acier. Le bloc de métal produit lors de l'affinage doit être purifié et compacté par chauffages et martelages successifs.

Haut fourneau: fourneau de réduction du minerai de fer produisant de la fonte. Il apparaît en Europe au 12e siècle et n'a cessé de se perfectionner jusqu'à nos jours. Dès le 15e siècle, le haut fourneau trouve sa forme classique. Dès l'origine, il travaille avec des soufflets actionnés par l'énergie hydraulique. Le charbon de bois sera le combustible essentiel. Au milieu du 18e siècle, la machine à vapeur fournira une énergie nouvelle et l'invention du coke rendra possible l'utilisation du charbon minéral pour la réduction du minerai de fer.

Fonte brute: produit normal du haut fourneau.
Gueuse: lingot en forme de barre en fonte moulée à la sortie du haut fourneau.

Laitier: résidu de la fusion de la gangue du minerai et des fondants lors de la réduction dans le haut fourneau.

Affinage de la fonte: procédé de transformation de la fonte en acier ou en fer. Il s'agit pour l'essentiel d'une décarburation: on enlève le carbone dissous dans le métal en l'oxydant (formation de gaz CO et CO_2 qui s'échappent). Cette décarburation peut être provoquée par le contact avec l'oxygène de l'air à haute température mais dans ce cas, une partie du fer est réoxydée et perdue. On peut également utiliser des déchets riches en oxydes de fer (battitures, chutes de martelage, scories formées lors d'une précédente opération d'affinage) pour provoquer l'oxydation du carbone, ce qui permet de limiter la perte en fer.

3.3.1 Données bibliographiques

Cette partie de l'étude a été élaborée grâce à la documentation inédite de M. Steiner, à un article paru dans les *«Actes»* (Steiner 1985), aux informations relatives à ce travail inachevé qui nous ont été gracieusement transmises par P.-L. Pelet, ainsi qu'aux données publiées par A. Quiquerez (1855). Une recherche dans les sources archivistiques se serait avérée beaucoup trop vaste pour le temps qui nous était imparti. Nous y avons ajouté nos connaissances de terrain, ainsi que quelques autres documents ayant trait aux périodes récentes et provenant des archives de l'entreprise von Roll S.A, mises à disposition par son directeur H. Spiess, ainsi que d'une compilation récente – dont il ne faut toutefois retenir que les données chronologiques (Kürsteiner et al. 1990).

Les données bibliographiques permettent de distinguer quatre grandes étapes dans l'industrie sidérurgique moderne:

1. Période allant de la transition entre bas fourneau et haut fourneau jusqu'à la fin du 16e siècle
2. Période de la fin du 16e siècle jusqu'à la fin du 18e siècle
3. Période de la fin du 18e siècle / début du 19e jusqu'à la fin du 19e siècle
4. Le 20e siècle

3.3.1.1 De la ferrière hydraulique au haut fourneau: jusqu'à la fin du 16e siècle

La première phase d'expansion de l'industrie moderne est caractérisée par la courte durée de fonctionnement de toutes les installations, à l'exception du haut fourneau de Bassecourt qui passe toutefois de main en main (fig. 39). Six hauts fourneaux dont l'existence est attestée voient le jour à ce moment dans les localités suivantes: Bassecourt, Charmoille, Erschwil (SO), Roggenbourg (BL), Bellefontaine et Charoubez, voire peut-être Pleigne.

Bassecourt (n° 603)
Si l'emplacement exact du premier haut fourneau du Jura, attesté dans les sources écrites à partir de 1485, n'est pas encore repéré, on trouve par contre aisément des laitiers disséminés dans les champs cultivés du petit vallon de la Rouge Eau. La succession des installations liées à la sidérurgie dans ce secteur depuis le Haut Moyen Age jusqu'à l'aube de l'époque moderne rend cette zone particulièrement intéressante pour de futures recherches.

Charmoille (n° 426)
Là encore, si l'existence du haut fourneau est attestée dès 1516, son emplacement exact n'a pu être localisé. Nous avons toutefois retrouvé quelques fragments de laitier dans le secteur présumé de cette installation industrielle précoce.

Erschwil (sans numéro)
Localisé en dehors de la zone d'étude définie (chap. 1), nous reprenons simplement l'indication de M. Steiner. Il s'agit d'un complexe industriel comprenant une affinerie et un martinet.

Roggenbourg (sans numéro)
Les archives rapportent l'existence d'un haut fourneau à Roggen-

[13] Cette absence de vestiges contraste avec le bon état de conservation des ferriers médiévaux de la région des Franches-Montagnes ! (chap. 4)

bourg entre 1528 et 1545. Ce site est localisé à l'extérieur de notre zone d'étude. Son emplacement exact n'est pas connu. A notre avis, ce site est d'un grand intérêt, si l'on songe que P.-L. Pelet indique, sur la base des données de M. Steiner, que, plus tard, ce site est dit du ban de Pleigne (1596-1597): s'agit-il du haut fourneau découvert au lieu-dit La Favoirgeatte ? (voir plus bas).

Bellefontaine (n° 608)
La première installation de cet établissement industriel bien connu (1564-1594) a été certainement détruite par une seconde installation (à partir de 1753) puis probablement aussi par l'usine électrique moderne. D'importantes couches de laitier apparaissent encore le long de la rivière Doubs.

Charoubez (n° 132)
Le site est localisé au bord d'un affluent du Doubs. La lecture du contexte topographique n'est pas aisée, à cause du fort impact des activités humaines à cet endroit. On distingue des voies d'accès, des restes de bâtiment, des aménagements le long du ruisseau. Une approche plus détaillée permettrait peut-être de mettre en évidence l'arrangement de ces différentes installations (fig. 36).

Pleigne (n° 454)
Ce site a fait l'objet d'une étude très complète: relevés topographique et magnétique, datation C14, détermination anthracologique et analyse chimique de laitiers. Son contexte immédiat en amont, là où se trouvait l'arrivée d'eau pour actionner la soufflerie, a été perturbé par la construction d'un moulin à une date plus récente, comportant plusieurs bassins successifs.

3.3.1.2 Jacques Christophe Blarer de Wartensee: la sidérurgie des princes évêques de Bâle et la période française

Même si les prédécesseurs du prince évêque Blarer de Wartensee encaissaient des redevances de la part des exploitants d'installations sidérurgiques depuis la fin du 15e siècle, ils n'ont visiblement pas porté un intérêt très marqué au développement économique de l'industrie sidérurgique régionale. Ce n'est qu'à partir de l'arrivée au pouvoir de Blarer de Wartensee que la situation change. En effet, celui-ci va décider de tirer tout le profit possible des matières premières dont la région dispose en abondance. Il fonde alors les deux sites clefs de l'industrie moderne jurassienne: les forges d'Undervelier (n° 609) et de Courrendlin (n° 600) (fig. 37).

3.3.1.3 La révolution industrielle du 19e siècle et l'arrivée des chemins de fer dans le Jura

Les années 1840 à 1860 ont été les plus fastes de la sidérurgie jurassienne: huit hauts fourneaux fonctionnent en même temps. Or, elles correspondent aussi aux débuts d'une plus

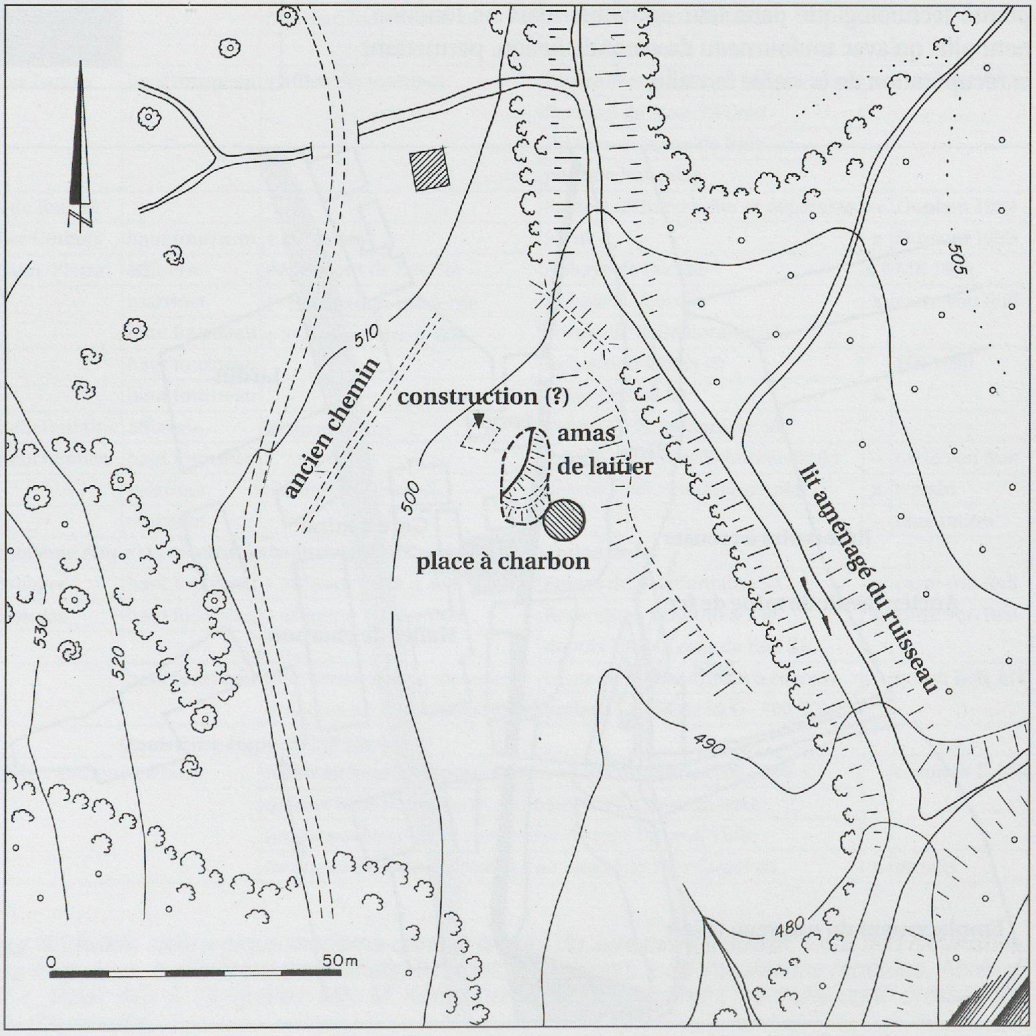


Fig. 36.
Relevé topographique du haut fourneau à Soubey, Charoubez.

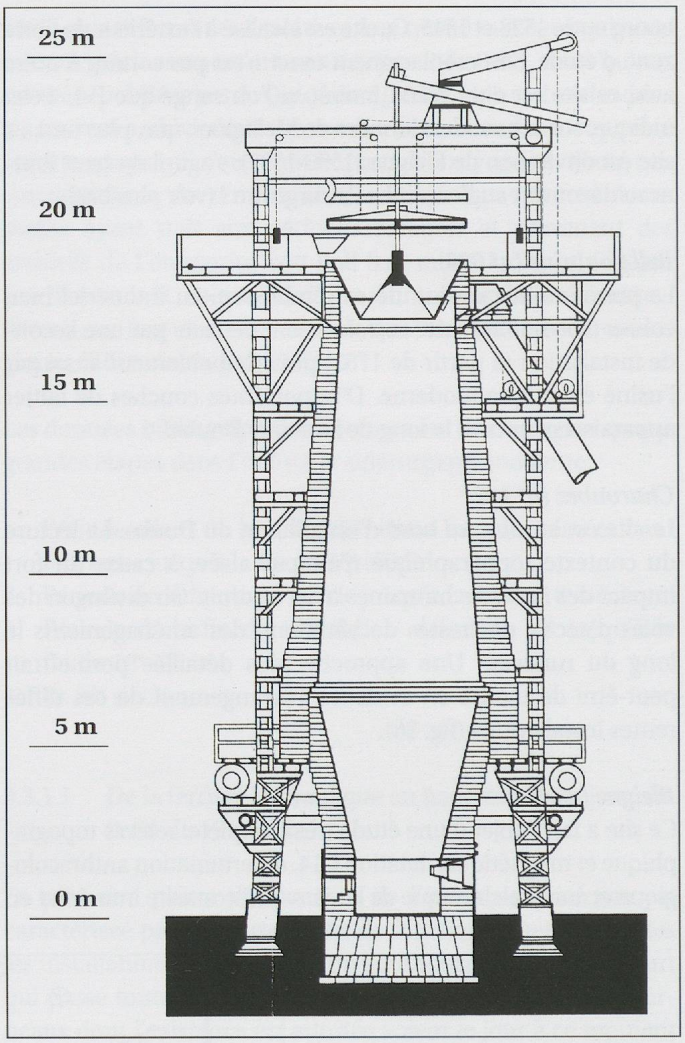


Fig. 38.
Le dernier haut fourneau du Jura fonctionnant au coke, à Choindez entre 1910 et 1935 ; à gauche, indication de la hauteur en mètre (Kürsteiner et al. 1990, dépliant).

grande productivité due à la concentration de l'activité industrielle dans une seule entreprise compétitive: il fallait en effet faire face à l'arrivée, par le biais du chemin de fer, de produits extérieurs moins chers. C'est l'entreprise soleuroise Louis de Roll qui s'installe donc au milieu du 19e siècle dans le Jura, afin de compenser l'arrêt successif de ses hauts fourneaux à Gänsbrunnen et à Klus-Balsthal. Trente ans après son arrivée, cette entreprise reste l'unique propriétaire de l'industrie moderne – dans tous les sens du terme – que compte le district jurassien: elle construit en 1877 l'unique haut fourneau jurassien qui fonctionne avec du coke et peut ainsi rester compétitive.

3.3.1.4 Le vingtième siècle

Le site industriel de Choindez est resté opérationnel et rentable tout long de la première moitié du 20e siècle, malgré des hauts et des bas dus aux deux guerres mondiales. L'exploitation minière a cessé rapidement après 1945 pour des questions de frais d'exploitation trop élevés et parce que les quantités de minerai s'avéraient insuffisantes en termes d'économie actuelle. Aujourd'hui, les fonderies de Choindez sont toujours à la pointe technologique dans leur domaine, mais ne fonctionnent plus qu'avec un fourneau de seconde fusion, permettant la récupération de la vieille ferraille.

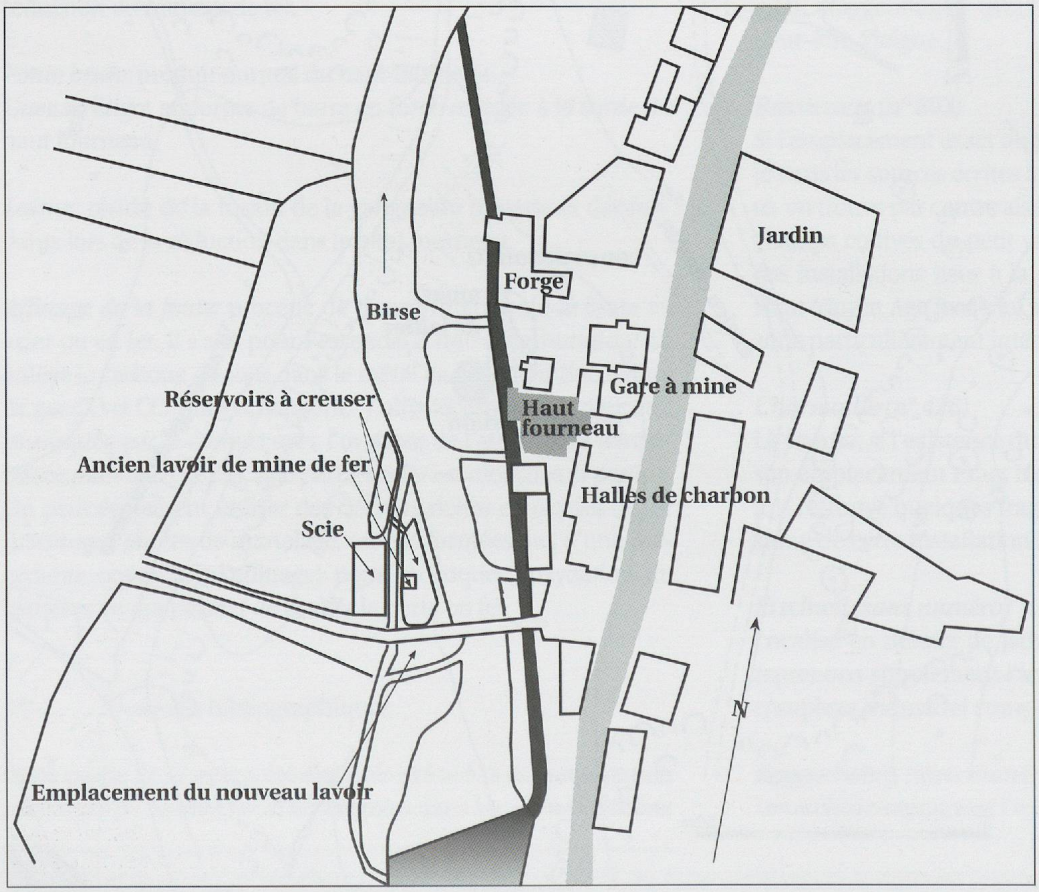


Fig. 37.
Plan des forges de Courrendlin (écrit Courrendelin) d'après un original dressé par A. Quiquerez, en août 1853; précision fournie sur le plan : tous ces terrains et ceux environnants appartiennent aux forges, de même que la scie et le cours d'eau.

Un relevé topographique du site en 1996 figure dans le catalogue: les différences entre les deux plans sont telles qu'il est impossible de les superposer; vraisemblablement, il y a aussi un problème d'échelle sur le plan du 19e siècle.

Malheureusement, il est plus que probable que la spéculation aura bientôt raison des derniers témoins de la longue histoire de l'industrie sidérurgique dans le Jura: en effet, en ce début de 20e siècle, l'intérêt de ceux qui sont à la tête de cette entreprise ne porte plus ni sur le savoir-faire, ni sur la productivité mais se concentre uniquement sur la progression des bénéfices boursiers. Un tel état esprit ne peut que prononcer l'arrêt de mort d'une industrie dont les fondements historiques sont pourtant parmi les plus importants de toute l'Europe.

Début	*Fin*	*Interruption*	*Localité*	*Lieu-dit*	*Type*	*Commentaire*	*Propriétaire*	*Terrain*	*Information*
Première étape : des débuts jusqu'à la fin du 16e siècle									
1475	1482		***Delémont***		ferrière ?	début ? ; **site n 612 ?**	inconnu	**x ?**	MS (c)
1480	1483		Delémont		forge	+ ferrière ?	inconnu		PLP (doc MS)
?	1485		***Bassecourt***		ferrière ?	**site n 464 ?**	inconnu	**x ?**	MS (c)
1466	1650				martinet	début ? ; **site n 601**	plusieurs industriels successifs	**x**	MS (c)
1485	1565				affinerie				
1485	1598			Pré Borbey	haut fourneau	Hüttenschmitte	plusieurs industriels successifs	**x ?**	AQ, MS (c)
16e			**Kleinlützel**		haut fourneau	quelques mots dans les actes	industriels bâlois	–	AQ, MK 1990
1516	1532		**Charmoille**		haut fourneau	**site n 426 ?**	industriels bâlois (?)	**x ?**	MS (c)
1516			**Bourrignon**		affinerie	en lien avec CHA ; **site n 602**	inconnu	**x**	MS (c)
1516					martinet				
1512	1590		**Erschwil**		haut fourneau	ferrière en 1474 (PLP, MS)	industriels bâlois	–	MS (c)
1528	1545		**Roggenburg**	Roggenberg	haut fourneau	1528 - 1549 (carte MS)	inconnu	–	MS (c)
1551	1565		**Boécourt**	Séprey	haut fourneau	1578 - ? (carte MS)	inconnu	**x ?**	MS (c) ?, PLP
1563	1584		**Saint-Ursanne**	Bellefontaine	haut fourneau	1e installation ; 1565 - 1595 (c)	industriel bruntrutain	**x**	MS (c)
1571	?		**Elay**		Blauofen	ferrière hydraulique	inconnu	–	MS (c), PLP
1583	1593		**Soubey**	Charoubez	haut fourneau	**site n 132**	industriel bruntrutain	**x**	MS (c)
1596	1597		***Pleigne***	(Plangne ?)	haut fourneau	suite de ROG ; **site n 454 ?**	inconnu	**x ?**	PLP (doc MS)
Deuxième étape : la sidérurgie des Princes-évêques et la période française									
1598	1866	1734 à 1740	**Courrendlin**	La Forge	haut fourneau	+ affinerie, martinet	Prince-évêque Blarer de Wartensee	**x**	carte von Roll
1637	1650						Bernard de Saxe-Weimar		
1753						nouveau haut fourneau	Princes-évêques de Bâle		
	1866	concentration à Undervelier					suite identique à Undervelier		
1599	1879	1734 à 1746	**Undervelier**	Les Forges	haut fourneau	+ affinerie, martinet	Prince-évêque Blarer de Wartensee	**x**	Duplain 1992
1637	1650						Bernard de Saxe-Weimar		
1650	1734	inondation					Princes-évêques de Bâle		
1793	1840						période française		
1840	1879	achat et démolition par Louis de Roll SA					Société d'Undervelier et dépendances		Duplain 1992
1857	1880		Undervelier	Les Corbets	haut fourneau	+ affineries	idem	**x**	Duplain 1992
1683	?			Saint-Pierre	affinerie	dépendant de Lucelle	Abbaye de Lucelle	**x ?**	MK 1990
1682	1682	incendie	**Lucelle**		martinet	1e installation moderne	Abbaye de Lucelle	**x**	carte von Roll
1801	1872				haut fourneau	+ 2e fusion ; **site n 604**	Forges de Bellefontaine SA		
1702			**Gänsbrunnen**		haut fourneau		industriels bâlois (?)		MK 1990
1805	1845				haut fourneau		Louis de Roll SA	**x**	
1768	1863		Saint-Ursanne	Bellefontaine	affinerie	2e installation	Forges de Bellefontaine SA ?		
1654	1690		**Péry**	Reuchenette	haut fourneau		Princes-évêques (Schönau-Rink)	–	carte von Roll
17e			**Corcelles**		martinet	encore fonctionnel	depuis 1983 : fondation Ankli	**x**	terrain
			Roches		martinet			–	illustration
Troisième étape : la révolution industrielle et l'arrivée des chemins de fer									
1838	1863		Delémont	***Wenger***	haut fourneau	+ affinerie ; **site n 605**	Forges de Bellefontaine SA	**x**	carte von Roll
1854	1889	1886 - 1887	Delémont	***Rondez***	haut fourneau	+ affinerie ; **site n 606**	Reverchon, Valloton & Cie,	**x**	carte von Roll
							depuis 1883 : Louis de Roll SA		
1846	1983		**Choindez**		haut fourneau	fonctionnant avec du coke	Louis de Roll SA (jusqu'à ce jour)		c. von Roll, MK
1877	1909					nouveau haut fourneau : préchauffage soufflerie (600 - 700 C)			
Quatrième étape : le 20e siècle									
1910	1918	1918 - 1928	Choindez	1918 : manque en coke		nouveau haut fourneau : préchauffage soufflerie (700 - 800 C)			c. von Roll, MK
1928	1935	1935 - 1943				dernier haut fourneau de première fusion avec du coke			
1943	1983					fourneau électrique à cuve basse de type Tysland-Hole			
1983						fourneau de seconde fusion à air chaud de type Cupol (?)		**x**	terrain

Fig. 39.
Synthèse des données disponibles sur l'industrie sidérurgique moderne dans le district du Jura central suisse. Liste non exhaustive: 24 sites industriels recensés (18 hauts fourneaux, 8 affineries, 9 martinets, 3 forges, 3 ferrières); ± 20 installations repérées. Abréviations utilisées: MS: M. Steiner; PLP: P.-L. Pelet; AQ: A. Quiquerez; MK: M. Kürsteiner; (c): renseignement tiré d'une carte dressée par M. Steiner; ROG: Roggenbourg; CHA: Charmoille.