

Zeitschrift:	Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber:	Bibliothèque Historique Vaudoise
Band:	60 (1993)
Artikel:	Une industrie reconnue : fer, charbon, acier dans le Pays de Vaud
Autor:	Pelet, Paul-Louis / Carvalho-Zwahlen, Barbara de / Decollongny, Pierre
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-835406

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

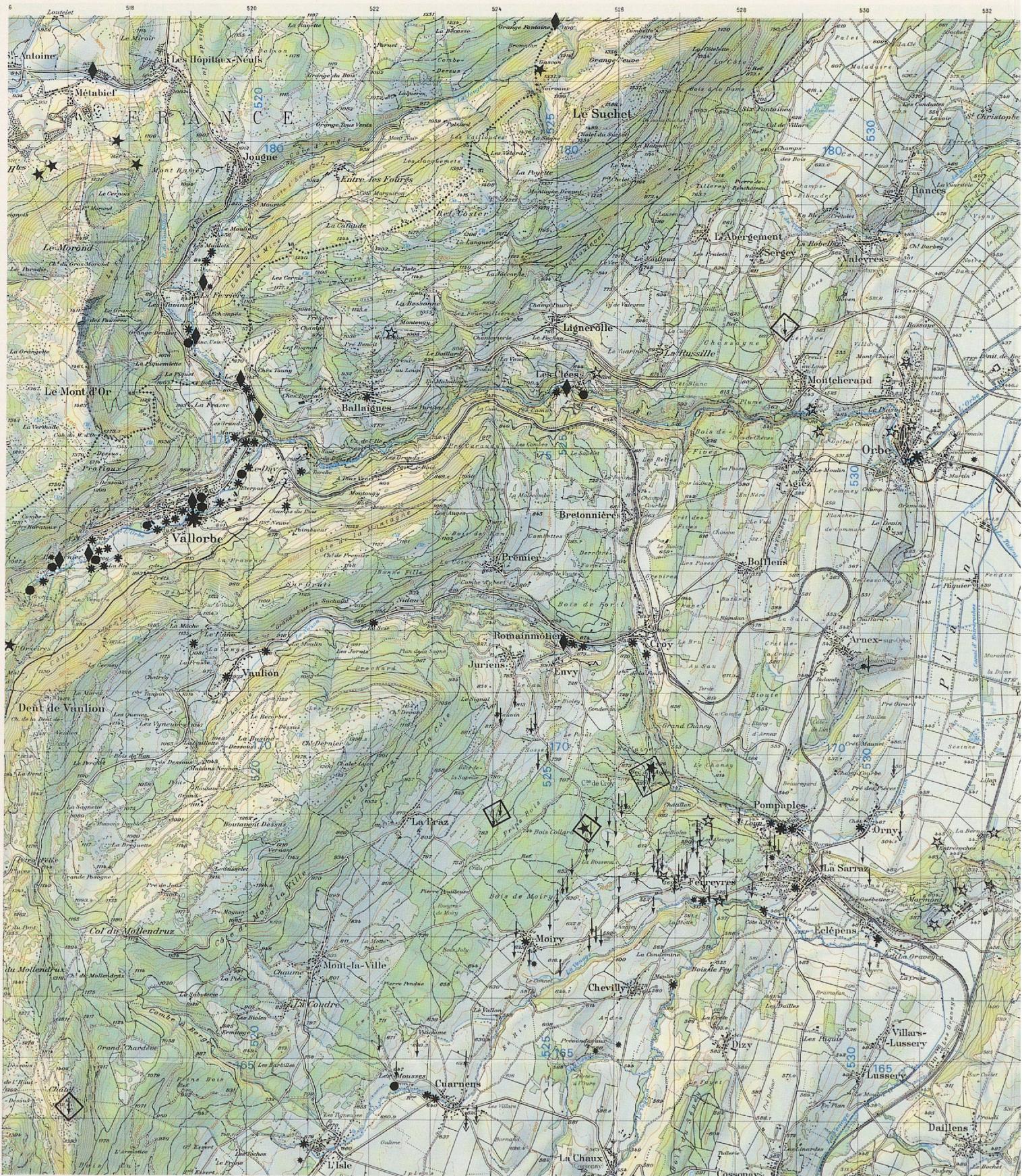
Download PDF: 28.12.2025

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

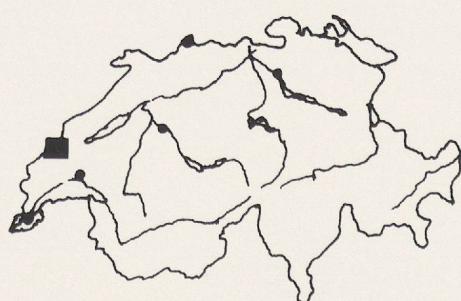
PAUL-LOUIS PELET
**Une industrie
reconnue:
Fer Charbon Acier
dans le Pays
de Vaud**



LAUSANNE 1993



INDUSTRIE DU FER JURA VAUDOIS – SECTEUR CENTRAL



- ◆ Ferrière hydraulique ou haut fourneau (11)
- Affinerie ou acierie
- *** 1, 5, 15 forges hydrauliques (71)
- ★ Gisement sidérolithique (17) ★ Mine (8)
- Toponymes rappelant l'industrie du fer (9)
- ◆ Ferrières ou forges antérieures à l'an mil (80)
- ◆ Sites fouillés (8)
- ◆ Scories de forge

Reproduit avec l'autorisation
de l'Office fédéral de
topographie du 27. 9. 1993.

0 1 2 3 4 5 km

Fig. 1.

CAHIERS D'ARCHÉOLOGIE ROMANDE
COLLECTION CRÉÉE PAR COLIN MARTIN

N° 60

Paul-Louis Pelet

avec la collaboration de
Barbara de Carvalho-Zwahlen et de Pierre Decollogny

Une industrie reconnue :

**F e r
c h a r b o n
A c i e r**

dans le Pays de Vaud

2^e édition revue et complétée

LAUSANNE 1993

Ce volume est publié grâce à l'appui
du Département de l'instruction publique et des cultes du canton de Vaud,
de la Fondation van Walsem *Pro Universitate*, à Lausanne,
de la Société académique vaudoise.

Tous les droits de traduction et d'adaptation réservés pour tous les pays
© 1993 by Cahiers d'archéologie romande
ISBN 2-88028-060-5

Les commandes et demandes d'ouvrages peuvent être adressées à

Cahiers d'archéologie romande
Case postale 210
CH-1000 LAUSANNE 17

Couverture: A. Rahman, CH 1426, Corcelles-près-Concise
Composition: Atelier La Rebuse Bercher
Photolitho et impression: Imprimerie Cavin SA Grandson

DU FER DANS LES LABOURS

LORSQUE *Une industrie méconnue, Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud – Les sources archéologiques* paraît en 1973, la collection des Cahiers d'archéologie romande n'a pas vu le jour. C'est dans la Bibliothèque historique vaudoise (vol. 49), que l'ouvrage est publié.

Le canton de Vaud passe encore pour essentiellement agricole. Les prairies, les labours, les vergers et les vignes font oublier que 93% de la population résidante vit de l'industrie et des services.

Le souvenir du savoir-faire technique antérieur à la révolution industrielle s'est perdu. Deux autres volumes le font revivre grâce aux sources historiques: *La lente victoire du haut-fourneau* (1978), et *Du mineur à l'horloger* (1983) publiés dans la Bibliothèque historique vaudoise (vol. 59 et 74), sous le titre général de *Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud*.

La vitalité et la longue durée de la sidérurgie vaudoise, source de notre essor industriel sont maintenant reconnues et mises en évidence par le pavillon construit *in situ* aux Bellaires et par le vivant Musée du fer ouvert à Vallorbe en 1980.

On ne peut plus parler d'*industrie méconnue*. La 2^e édition du premier volume de *Fer Charbon Acier*, remaniée, mise à jour, augmentée et transférée dans les Cahiers d'archéologie romande est obligée de modifier son titre, – d'un iota!

Le volume de 1973 décrit 23 fourneaux à fer mis au jour au cours de 8 campagnes de fouilles entre 1963 et 1970, et rappelle les 24 fourneaux inventoriés à Prins-Bois I en 1959.

Il est déjà presque épousé, lorsque le Dr Gerhard Sperl, ingénieur au haut fourneau de Donawitz près de Leoben annonce au colloque d'Eisenstadt en 1975 son intention de fondre du fer dans un bas fourneau, pour mieux comprendre la composition physico-chimique des scories obtenues par la réduction directe.

Le rédacteur du premier volume et ses collaborateurs souhaitaient reconstituer un fourneau primitif et produire eux-mêmes du fer pour mieux comprendre les vestiges déga-

gés. Il leur manquait la collaboration d'un ingénieur thermicien – et l'expérience des métiers du feu.

Sautant sur l'occasion qui s'offre, le regretté Michel Steiner (1939-1991) et Jean-Philippe Dépraz participent avec moi aux expérimentations que Gerhard Sperl organise à partir de 1978 à Vordernberg en Styrie.

Nous comparons les déchets obtenus (glaisages et scories) à ceux que nous avions si longuement observés sur nos champs de fouilles, et constatons que les parois des fourneaux réagissent d'une chauffe à l'autre autrement que nous ne l'avions supposé.

Des incertitudes se dissipent.

La prospection sur le terrain après 1973 conduit à la découverte de plusieurs sites inédits: au cours de ses recherches géobotaniques Pascal Kissling relève un important crassier En Tillérie (Eclépens); B. Vauthier repère des scories à La Raisse et aux Favarges (Concise). L'inventaire des sites doit être complété.

Les recherches de Jan Hedley à l'Université de Genève sur les rémanences magnétiques nous ramènent aux Bellaires en 1982 pour y pratiquer des carottages significatifs. Mais la datation par le déplacement des courants magnétiques terrestres reste très délicate dans les crassiers et c'est la dendrochronologie, à peine connue au moment de nos fouilles, qui nous apporte un système de datation plus précis et, dans un seul cas, déroutant...

La préparation et la publication des deux volumes fondés sur les sources écrites accaparent l'équipe de chercheurs, tandis que Philippe Andrieux reconstitue à l'Archéodrome de Beaune, en 1983, un fourneau calqué sur ceux de Bellaires III. Il le met à feu durant deux étés. Ce fourneau, aux formes pour nous familières, produit d'abord des scories, puis une loupe de fer qui vibre sous nos marteaux. Pendant que Philippe Andrieux relève les courbes thermiques et s'efforce d'élucider l'effet réducteur de parois non réfractaires, le relevé des températures révèle l'avantage de l'implantation de tuyères sur deux niveaux. Il vaut la peine de l'expliquer aux chercheurs.

Sur le tracé de la future autoroute N 9, le site de Montcherand, sondé en 1978, fouillé en 1983, édité par Emmanuel Abetel en 1992 met au jour une fosse de charbonnage inemployée et surtout dégage les substructures de neuf fourneaux à fer apparentés à ceux des Bellaires et de La Bossena. Soigneusement menée par Max Klausener pour le Service archéologique cantonal, cette fouille date les ateliers successifs grâce à la dendrochronologie. Le rapport détaillé et rigoureux d'Emmanuel Abetel élargit le paysage industriel du pied du Jura gallo-romain et roman. A ce jour quelque 70 sites ont été localisés sur le versant vaudois du Jura et les vestiges de 56 fourneaux à fer dégagés.

Enfin «L'Archéométrie des scories de fer» de Vincent Serneels, publié cette année même (*Cahiers d'archéologie romande* 61), qui couvre toute la Suisse occidentale, apporte le moyen de distinguer dorénavant les scories des forges et les crassiers des ferrières. Grâce à lui, les sites sont mieux définis.

Des appareils plus perfectionnés, un échantillonnage plus

large, des observations plus nombreuses, et la sagacité d'un minéralogiste répondent aux questions suscitées par les premières séries d'analyses, rectifient certaines déductions trop hâtives. Les chiffres de Vincent Serneels remplacent avantageusement les analyses spectrographiques qualitatives de la première édition. C'est sur eux qu'il faudra dorénavant se fonder.

Avec les travaux d'Emmanuel Abetel à Montcherand (Vaud), de Ludwig Eschenlohr à Boécourt (canton du Jura) et ceux de Vincent Serneels, l'archéologie sidérurgique est entrée dans une phase nouvelle, que confirme la création du Groupe de travail suisse d'archéologie du fer.

Le moment est venu d'offrir une réédition refondue, mise à jour et augmentée, de l'instrument de travail qu'est devenu *Fer Charbon Acier I*, pour les chercheurs d'une discipline en pleine expansion tout autour de nous.

Lausanne, le 9 février 1993

Paul-Louis Pelet

AVANT-PROPOS DE LA PREMIÈRE ÉDITION

L, ÉTUDE dont nous publions ici la première partie se situe sur deux plans: c'est au premier abord la découverte d'un phénomène localisé, local même, l'exploitation bimillénaire des minerais de fer recueillis dans les chaînes du Jura vaudois et à leur pied, et le relevé d'une zone industrielle antique inconnue dont l'activité s'étend sur huit siècles. Ces données nouvelles complètent l'histoire du fer en Europe.

Notre recherche se place aussi au point d'interférence dans le passé de deux activités humaines: la technique et l'économique, que l'esprit différencie, que la réalité associe indissolublement.

Dans ce premier volet, l'investigation archéologique met l'accent sur la technique. La mise au jour de vingt-trois fourneaux à fer nouveaux qui se rattachent à sept types différents,

de dix ateliers superposés ou juxtaposés dans le seul Bellaires I, de souffleries qui rompent avec l'évolution dont on fait la règle ailleurs, bref de vestiges assez riches pour suggérer une théorie plus nuancée de l'évolution architecturale et technique des fourneaux, ouvre des voies nouvelles à l'interprétation. La variété des formes relevées ne provient pas de l'incohérence, de la fantaisie aveugle des maîtres de forges, comme on l'a dit souvent. Elle résulte au contraire d'une évolution voulue, empirique certes, mais subtile. *L'homo faber* réfléchit avant de bâtir.

Nos fouilles apportent non seulement un témoin: les fourneaux conservés *in situ* aux Bellaires, mais des chaînons nouveaux de cette histoire des techniques, qui est celle de l'intelligence humaine appliquée aux besoins des hommes.



Fig. 2. Sur le chemin des Bellaires, l'effondrement du vallon d'Engen. Au premier plan, à gauche, un chêne pubescent. Au-dessus de la paroi rocheuse un humus pauvre, des taillis (octobre 1972).

1

UNE INDUSTRIE MÉCONNUE

Du fer pour chacun

COMME tous les terroirs d'Europe, le sous-sol du canton de Vaud recèle des minerais de fer. Mais sa configuration tourmentée les rend peu accessibles. Dans toute sa partie centrale – le Plateau, – les molasses du Tertiaire et les alluvions glaciaires du Quaternaire ont recouvert les roches susceptibles de contenir du fer, aussi bien que les dépôts ferrugineux (sidérolithiques) qui s'étaient formés à l'Eocène à la surface du Crétacé. Un seul gisement affleure dans le Moyen-Pays, celui de Goumoens-le-Jux, repérable dans la «boutonnière» que forment dans la molasse les gorges du Talent (Schardt, 1923, 129-136). Les concrétions ou pisolithes qui parsèment son bolus contiennent plus de 40% de fer. Bien que le gisement ait été évalué à 200 millions de tonnes, la teneur moyenne du dépôt (14%) est trop faible pour qu'une exploitation puisse être envisagée de nos jours.

La zone de déviation magnétique du Jorat (Mercanton et Wanner, 1945, 35-48) ne correspond de son côté à aucun gisement de magnétite localisé et accessible. Mineraï le plus apprécié des sidérurgistes actuels, la magnétite est présente en quantités minimales dans les graviers et dans les serpentines charriées par les glaciers. On en a cependant trouvé à Mont-la-Ville trois blocs d'origine erratique (poids total = 30,5 kg, Golliez, 1888, p. VII). Ses propriétés physiques aussi bien que métallurgiques n'ont pas retenu l'attention des forgerons d'autrefois. Habitüés à tirer pourtant parti des plus petits dépôts, ils ne disposaient pas d'installations suffisantes pour fondre un mineraï au point de fusion aussi élevé (1527°).

Dans les Alpes et dans la région jurassienne, des hématites (Fe_2O_3 , teneur en fer de plus de 50%) et des hydroxydes ($FeOOH$, teneur en fer de 20 à 45%) ont été repérés et fondus très tôt.

Les hématites apparaissent dans le Jura supérieur: dans le massif du Mont-Tendre, et surtout aux mines du Risoux et au Corbey sur Sainte-Croix.

Les hydroxydes de fer, beaucoup plus fréquents, se pré-

sentent à trois niveaux géologiques différents: les oolithes du Dogger (Jurassique) affleurent au Mont-de-Baulmes (Jura) et à la Frête-de-Saille dans le massif alpin du Grand-Muveran.

Les limonites du Valanginien (Crétacé) ont été exploitées aux Charbonnières (vallée de Joux), au Mont-d'Orzeires près de Vallorbe et à L'Auberson sur Sainte-Croix.

Les minerais compacts ou en grains (pisolithes) du sidérolithique remplissent des failles ou des poches tout le long du Jura, de la région d'Arzier jusqu'à la frontière neuchâteloise – et bien au-delà. Ils ont été repérés entre autres à Saint-George et à la vallée de Joux: Praz-Rodet, Sèche-des-Amburnex, Pré-d'Etoy. Au pied du Jura, le sidérolithique a été utilisé principalement dans la région de Cuarnens, Moiry, Ferreyres, La Sarraz, et à Montcherand sur Orbe.

Repérées dès l'Antiquité, exploitées avec ténacité jusqu'à l'aube du XIX^e siècle, ces ressources du sous-sol vaudois, plus répandues qu'abondantes ont suscité pendant plus de deux millénaires des entreprises sidérurgiques.

Depuis lors, elles sont tombées dans un oubli total. Pourtant, les bas foyers, les hauts fourneaux, les forges et les mines ont laissé des traces perceptibles: dans les fonds d'archives, on les entrevoit dès le XII^e siècle, elles abondent dès le XV^e. Et les vestiges d'exploitations marquent encore le terrain, avec leurs galeries effondrées ou leurs amoncellements de scories.

Des archives à dépouiller

Les sources de l'histoire du fer ne se différencient guère, au premier abord, de celles de l'histoire économique en général: les concessions et les abergements, les terriers et les reconnaissances, les plans et les registres cadastraux fixent les points de départ et situent les entreprises. Les comptes officiels, les péages, les registres des organes responsables de la politique économique précisent leurs rapports avec l'Etat et esquiscent leur évolution. Les litiges et les procès, les actes de droit privé révèlent quelques détails de leur activité.

Mais autant l'éventail des sources disponibles est ouvert, autant les documents y sont épars; autant ils risquent d'être fragmentaires et unilatéraux.

Sur le versant suisse du Jura, entre le Léman et le lac de Neuchâtel, le fractionnement de l'autorité politique agrave cette difficulté. Les seigneurs locaux usurpent les droits régaliens, et les conservent lorsque la maison de Savoie étend sa domination sur le Pays de Vaud. Le prieur de Romainmôtier, les abbés de Bonmont et du val de Joux, les barons de La Sarraz, les seigneurs de Ballaigues ou de Genolier concèdent à leur guise forges et hauts fourneaux.

Au gré des successions, des guerres ou des ventes, les archives seigneuriales se sont perdues. Celles de la baronnie de La Sarraz ont été saccagées en 1802, lors du soulèvement des *Bourla-Papey*, qui, irrités du maintien provisoire des dîmes, entreprennent de brûler tous les documents qui fixent les redevances féodales.

Au contraire, les archives des comtes de Savoie, celles du gouvernement bernois qui leur a succédé, celles des couvents sécularisés par Berne se sont mieux conservées.

Les archives privées des usines ont disparu en même temps qu'elles, et les entreprises encore existantes, qu'elles remontent à 1689 ou à 1495, ne gardent que rarement leurs comptes et leur correspondance au-delà de quelques décennies. De leur côté, les notaires ont transcrit dans leurs registres les contrats définitifs, et non les conventions passagères d'apprentissage ou de négoce, qui restent dans leurs minutaires. Ces minutaires, souvent mal tenus, n'ont pas été conservés systématiquement.

Malgré ces lacunes, les archives vaudoises renferment des milliers de documents qui concernent l'industrie du fer. Perdus dans des séries volumineuses, ils ont peu frappé les chercheurs.

Dans un pays aux campagnes vallonnées – et vastes à l'échelle de la Suisse – aux montagnes frontalières très boisées, les usines d'autrefois passent aisément inaperçues. Auteur du premier ouvrage d'ensemble sur l'histoire du Pays de Vaud, Juste Olivier (1837, I, pp. 364-65) n'ignore pas les activités industrielles du Jura. Il n'en pense pas moins que la vocation réelle des Vaudois est ailleurs:

«...Les arts mécaniques, les procédés industriels qu'elle [l'industrie] emploie ou qu'elle a créés, ne présenteraient pas non plus d'observations bien particulières. Ce n'est point ici un pays de manufactures. Et dans plusieurs de ses parties, il lui serait impossible de le devenir. La-Vaux ne transformera jamais ses vignes murées en fabriques; ses ruisselets à sec ou torrentueux, ses pentes rapides, ne le permettraient pas; et les chalets des hauts pâturages ne se feront jamais de moins rustiques ateliers. Certaines parties des vallées de l'Orbe et de la Venoge, de la Sarine [sic] et peut-être de celle du Rhône, voilà la part de l'industrie et le théâtre que nous pouvons lui offrir. Mais, jusqu'ici nous nous sommes bornés au commerce des denrées premières; l'agriculture, avec le soin des troupeaux, sera toujours notre art principal, notre industrie propre et originale.»

En note, il ajoute encore: «La plupart des métiers proprement dits sont laissés aux étrangers, allemands, savoyards, auvergnats, etc.»

Juste Olivier exprime ici la conviction de la plupart de ses contemporains.

Les premières trouvailles

Lorsque les archives s'ouvrent aux historiens, dans le second quart du XIX^e siècle et que naît le goût des études fondées sur des manuscrits inédits, d'autres sujets que l'industrie du fer s'imposent aux premiers chercheurs: la féodalité, les couvents, les communes. Cependant, Frédéric de Gingins-La Sarra (1790-1863), qui publie les *Annales de l'Abbaye du lac de Joux* (1842, I, 2-3, 293), donne *in extenso* en appendice le texte de la concession des forges de L'Abbaye, de 1481. Dans *La Vallée de Joux sous le Régime bernois*, qui lui fait suite, il insère dans les pièces justificatives l'abergement perpétuel du haut fourneau du Brassus (1555) et une série de documents relatifs aux usines. Frédéric de Charrière, (1844), relève de son côté les actes qui évoquent l'ancienne *ferrière* de Vallorbe; il cite des reconnaissances qui prouvent la survivance de cette industrie sidérurgique jusqu'au XVII^e siècle. Mais les documents publiés ne forment pas un ensemble cohérent; ils font l'effet plutôt de curiosités que de matériaux pour une histoire économique, à laquelle personne ne songe encore.

Dans les séries inédites, les chercheurs, qui préoccupent d'autres problèmes, s'étonnent eux aussi de rencontrer les traces d'une industrie du fer. Mais ces traces leur paraissent fugitives, incertaines; ils ne les suivent pas. A quoi pourraient-elles mener dans un pays «qui n'a pas de vocation industrielle»?

Les premières grandes prospections archéologiques aboutissent à un résultat analogue. Frédéric Troyon (1815-1866), que sa découverte de la nécropole de Bel-Air près de Cheseaux (Vaud) et que son étude des stations palafittiques ont rendu célèbre, relate dans ses *Habitations lacustres des temps anciens et modernes* (1860, 358, n.3), la présence de mâchefer roulé avec des tessons de céramique romaine dans un ancien lit de la Venoge, près de Lussery (Vaud). Il remonte le lit de cette rivière jusqu'à son confluent avec le Veyron à La Tine de Conflens et y constate la présence continue de scories; le long du Veyron, il n'en trouve aucune. «Il me reste à explorer, écrit-il, la partie supérieure de la Venoge et à m'assurer si le village voisin de Ferreyres ne tire pas son nom de quelque antique *ferraria*.» Troyon ne semble pas avoir poursuivi ses investigations, mais le botaniste et paléontologue Théophile Gaudin (1822-1866), son contemporain, recueille des scories provenant de la «fonderie romaine de Ferreyres». Ces scories, léguées au Musée lausannois des Arts industriels, ont échoué dans les collections de l'Ecole des Métiers à Lausanne.

Le géologue Auguste Jaccard (1869, 117) signale à son tour des scories aux Rochat-sur-Provence (altit. 1160 m env., coord. 541,650 / 193,400). Cette mention passe inaperçue.

Dans le canton du Jura, Auguste Quiquerez (1855; 1866a; 1866b; 1871, 71-88) découvre plusieurs centaines de dépôts de scories; il entreprend d'en fouiller quelques-uns. Ingénieur des mines et «antiquaire» passionné, Auguste Qui-

querez démontre l'existence de fourneaux archaïques à ventilation naturelle et fonde l'archéologie sidérurgique. Alors que ses travaux convainquent les métallurgistes et sont suivis par Daremberg et Saglio (1877, art. *Ferrum*), ils déconcertent les philologues, qui soupçonnent Quiquerez de supercherie et insinuent parfois qu'il a déposé lui-même dans ses fouilles les monnaies celtiques qu'il prend à témoin. Le discrédit jeté sur ses travaux d'une part, et d'autre part la nécessité de joindre la connaissance de la chimie et de la métallurgie à celle de l'Antiquité retiennent aussi bien les archéologues que les géologues ou les physiciens. Quiquerez n'aura pas d'émules.

La découverte de traces d'une industrie du fer antique en terre vaudoise ne suscitera aucune recherche susceptible de rectifier l'image d'un terroir voué uniquement à l'agriculture.

Le folklore, très pauvre, évoque l'idylle malheureuse du forgeron Donat et de la fée de Vallorbe. Philippe-Sirice Bridel visite la Grotte-aux-Fées en 1785 et la décrit dans ses *Etrennes helvetiennes*: «Non que je crusse y trouver Mélusine ou Urgande la Déconnue avec leurs fontaines et leurs fuseaux, mais pour m'assurer par moi-même si elle méritoit sa réputation». La réédition de 1813 (p. 255) reprend uniquement la description de l'excursion souterraine. Juste Olivier (1837, 320) qui relève d'autres légendes ignore l'histoire de Donat – un nom totalement étranger au Jura. Le conte moralisant, très littéraire, reste dans les papiers du Doyen. Il est publié dans la réédition posthume de 1856. Jean-David Dulex-Ansermoz (1872), puis Paul Sébillot (apr. 1890), le reprennent à leur compte. Il finit dans les livres de lecture de l'Ecole primaire vaudoise.

Dans son *Vallorbes, Esquisse géographique...*, P.-F. Vallotton-Aubert (1875, 249-252) rattache la légende à la forge de Cugillon, la plus proche de la grotte. Cette affinerie n'a été exploitée en fait qu'entre 1682 et 1689 par Etienne, Antoine et Jérémie-Olivier Vallotton puis par Moyse Favre (Pelet, 1978, 235-6; 1983, 326-7).

A part cette fiction littéraire, l'exploitation des mines de fer des Rochers-de-Naye dans les Préalpes se mue dans les souvenirs des riverains du Léman en une recherche de métaux précieux et de trésor fabuleux (Pelet, 1971a; Cérosle, 1921, 212). Et c'est dans cette ligne que se situent deux autres évocations: celle des gnomes qui gardent une mine au Rubli (Pays-d'Enhaut), celle du Groebehllou qui protège l'or imaginaire de la Dent de Vaulion. La veille de Noël, le Groebehllou traverse la vallée de Joux accompagné d'une escorte qui chevauche des sangliers dont la queue sert de bride (Olivier, 1837). Autant dire qu'il n'a pas subsisté de tradition minière dans le pays.

Un intérêt furtif

Le premier auteur qui s'intéresse vivement aux questions économiques, l'historien Louis Vulliemin détaille l'activité artisanale et industrielle dans son *Tableau du canton de Vaud* dont la première édition remonte à 1849. Il décrit la production des affineries, des chaîneries, des cloute-

ries de Vallorbe et rappelle tout ce que l'on sait alors sur l'histoire du fer. Il s'étonne qu'aucune mine n'en soit plus exploitée. Lui aussi, il attribue leur abandon à un manque d'esprit d'entreprise de ses concitoyens. «Si notre Jura recèle des mines de fer, elles attendent un nouveau développement de notre esprit industriel» (Vulliemin, 1862, 201).

Au moment où triomphait la métallurgie au coke, l'épuisement des mines riches du Haut-Jura, la faible teneur en fer (20%) de l'abondante limonite des Charbonnières (vallée de Joux), les réserves forestières menacées, les filons de lignite de Paudex ou d'Oron trop minces, trop éloignés et trop sulfureux, ne permettaient plus à une entreprise sidérurgique locale de résister à la concurrence européenne, anglaise ou rhénane. Vulliemin ignore la longue enquête menée par le gouvernement vaudois entre 1808 et 1821 pour déterminer s'il convenait de rétablir un haut fourneau dans le Jura, et ses résultats négatifs (Pelet, 1971a).

La révolution économique provoquée par les chemins de fer, qui ruine après 1860 l'artisanat villageois traditionnel accentue l'impression que le Progrès condamne le canton de Vaud à l'agriculture et à l'élevage. L'opinion admet qu'il en fut toujours ainsi. Les hommes politiques locaux, les historiens, les journalistes, lorsqu'ils se penchent sur les problèmes industriels, minimisent le rôle des ateliers qui ont survécu à la crise; ils estiment leur existence artificielle, et menacée. Et lorsqu'ils sont amenés à évoquer les forges et hauts fourneaux d'autrefois, ils ne relèvent que leur abandon, leur faillite. Ils les jugent par conséquent déraisonnables, et forcément voués à l'échec. Ces échecs s'intègrent d'ailleurs dans le mythe du pays essentiellement agricole.

Le complexe campagnard aidant, comme on ne peut effacer entièrement le souvenir des entreprises métallurgiques, on attribue leur implantation à des étrangers. Dans un pays où chacun est paysan, seuls les étrangers ont su fondre le fer! (On ignore le rôle joué par les «Bauernschmiede», les forges paysannes dans toute l'Europe centrale). Vulliemin lui-même y prêtait la main: «Enfin Vinet Rochat vint de Bourgogne, fonder près des sources de la Lienne des forges, maintenant détruites...» (Vulliemin, 1862, 304). Le *Dictionnaire historique, géographique et statistique du Canton de Vaud* de David Martignier et Aymon de Crousaz (1867) monte en épingle le rôle de la famille de Hennezé, propriétaire pendant trois générations à peine de l'antique Ferrière de Vallorbe. Et Pierre-François Vallotton-Aubert (1822-1893), qui relève la réussite des autres maîtres de forges dans son *Vallorbes, Esquisse géographique, statistique et historique* (1875), ne parvient pas à se détacher de cette optique.

Depuis lors, l'«Essai historique ...» de F.-Raoul Campiche dans *Les Mines de fer de L'Auberson* (1919), les publications de Robert Jaccard: *Sainte-Croix et ses Industries* (1932), *Sainte-Croix dans le Passé*, (1950), celles d'Auguste Piguet: *Le Territoire et la Commune du Lieu jusqu'en 1536* (1946), *Le Territoire du Chenit et la Naissance de cette Commune* (1947), suivi de *La Commune du Chenit de 1646 à 1701* (1952) ont apporté quelques précisions supplémentaires sur l'activité des maîtres de forges. Mais ces ouvrages qui ne s'intéressent qu'en passant aux activités sidérur-

giques, n'ont pas frappé l'opinion comme ils l'auraient pu. Les Vaudois ne s'attribueront un passé industriel – il est à craindre qu'ils ne l'exagèrent – que quand ils auront pris pleinement conscience du fait que les activités secondaires et tertiaires jouent depuis longtemps un rôle prépondérant dans leur canton.

Une enquête systématique

Après tant de travaux partiels, il convenait d'entreprendre un dépouillement méthodique des fonds d'archives. Contrairement à l'opinion répandue, les tentatives de produire du fer n'ont pas été occasionnelles, clairsemées et sans lendemain, mais constantes et souvent fructueuses. Les étrangers y ont joué un rôle passager, peu significatif. Certes les entreprises sidérurgiques sont souvent limitées dans le temps, à l'activité d'un homme ou à celle de ses proches descendants; les usines se déplacent plus fréquemment que les moulins, du fait de l'épuisement des filons ou des forêts à charbonner. Mais l'industrie du fer est endémique dans le Pays de Vaud. Son influence n'a pas disparu le jour où s'est éteint le dernier haut fourneau: elle est à l'origine d'une grande partie de l'activité industrielle présente du Jura.

Remontant au-delà des documents d'archives, des fouilles méthodiques ont prouvé que cette industrie était bien

antérieure à l'arrivée d'un Vinet Rochat ou aux fondations du prieur Dom Gaufridius de Romainmôtier. Elle florissait à l'époque d'Hadrien et de Commodo et les fourneaux les plus anciens datent pour le moins de l'époque de La Tène.

Avant cette date, des fondeurs de bronze avaient opéré au pied du Jura, à Burtigny et à La Coudre sur L'Isle; sur le Plateau vaudois à Echallens; sur les bords du Léman à Saint-Prex; dans la vallée du Rhône à Saint-Triphon (Viollier, 1927; Troyon, 1860, 112; DHV).

De cette longue histoire de l'industrie du fer, seule l'époque de transition halstattienne nous échappe encore, alors qu'elle transparaît dans les épées de bronze décorées de fer, ou de fer imitant le bronze recueillies à Mörigen au bord du lac de Biel (Gross, 1883, 33-34; 71; pl. XVI) et dans le ciseau de bronze à tranchant en fer recueilli dans les palafittes de Chevroux (canton de Vaud, lac de Neuchâtel) et conservée au Musée cantonal d'archéologie et d'histoire à Lausanne¹.

1. Sur le passage de l'âge du Bronze à celui du Fer en Suisse, voir Emil Vogt, (1972), pp. 47-52; Ulrich Ruoff, (1974); Transition Bronze final, Hallstatt ancien: colloque (1985); Patrice Brun et Claude Mordant, (réd.), (1988).

2

L'EXPLORATION

La découverte

Nous avions commencé à réunir les documents d'archives sur l'histoire du fer, lorsque M. Pierre Decollogny, ingénieur forestier, inspecteur de l'arrondissement d'Orbe (canton de Vaud) repérait un amoncellement de scories à l'extrême méridionale du territoire de Juriens, dans la forêt des Prins-Bois¹.

A l'écart de tout ruisseau, cette halde ne correspondait à aucune forge signalée dans les archives. Les sondages entrepris entre 1958 et 1960 révélaient une quinzaine de sites analogues. Nous en connaissons une soixantaine actuellement (voir fig. 1, p. 2 de couverture). En 1959, une campagne de fouilles relativement brève – une quinzaine de jours – prouvait l'existence d'une exploitation antique du minerai de fer local (Pelet, 1960a, 49-110). Mais le dégagement partiel d'un seul site (Prins-Bois I), aux vestiges très démolis, ne permettait pas de répondre à toutes les questions soulevées par ces premières découvertes. L'industrie du fer repérée à l'écart de tout cours d'eau n'avait-elle flori qu'à l'époque romaine, ou les exploitations archaïques s'échelonnaient-elles à travers les siècles, jusqu'à la révolution technique entraînée par l'adoption de souffleries hydrauliques?

Le désir de déterminer s'il y avait simultanéité ou continuité de cette industrie, l'espoir de trouver des vestiges médiévaux ou celtiques, la nécessité d'étayer par d'autres faits que les documents d'archives nos recherches sur l'histoire du fer nous ont conduit à entreprendre entre 1963 et 1968 une fouille systématique dans la forêt des Bellaires (commune de Romainmôtier) où les scories affleurent au milieu des feuilles mortes, à trois emplacements différents. Ces fouilles ont été complétées en 1968 par celles de La

Bossena I sur Ferreyres, de Prins-Bois II sur Juriens et de Châtel sur Montricher (1968-1970).

Les moyens

Collaborateurs

Une équipe et l'aide de nombreux spécialistes ont permis de mener à chef notre entreprise. M. Pierre Decollogny n'a pas cessé de nous apporter une collaboration et un appui constants; ses connaissances géologiques et forestières, son expérience pratique et son étudition archéologique nous ont été d'un précieux secours.

Dès 1963, M^{me} Barbara de Carvalho-Zwahlen (1939-1993), alors candidate ès lettres, a fonctionné comme secrétaire de fouilles. Après avoir préparé son mémoire de licence sur un secteur des Bellaires et s'être spécialisée dans la photographie scientifique, M^{me} de Carvalho a continué à collaborer jusqu'en 1968 comme assistante diplômée de recherches. Elle est l'auteur de la plupart des photographies reproduites, d'une partie aussi des figures; c'est à elle qu'a incomblé la première mise au net des profils et des plans mesurés au cours de quelque cent cinquante journées de fouilles. Grâce à l'amabilité du professeur Jacques Mathyer, directeur de l'Institut de police scientifique de l'Université de Lausanne, nous avons pu utiliser les appareils de ses laboratoires pour les photographies d'objets.

Nous avons aussi bénéficié du concours d'étudiants géomètres avancés qui, sous la direction du professeur Albert Jaquet, ont exécuté en 1963 le premier relevé topographique et le niveling de Bellaires I. Par la suite, M. Fernand Spertini, dessinateur du Service des forêts, s'est chargé du niveling de Bellaires II, de Bellaires III et de la Bossena; il a établi la carte au 1:5000 des haldes des Bellaires et des vestiges repérés dans la forêt.

En 1964, M. Edmond Hennard, préparateur du Musée cantonal d'archéologie et d'histoire et M. Eugène Kuttel ont

1. Carte nationale de la Suisse 1:25.000, f. 1222, Cossonay, coord. 524,050 /168,800.

procédé au moulage du four XIV de Bellaires I. Les premières analyses spectrographiques ont été faites dans les laboratoires des professeurs Georges Brunisholz et Robert Woodtli, à la Faculté des sciences de l'Université de Lausanne, ainsi que par la maison Jarrell-Ash au Locle. Grâce à l'amabilité du professeur Dr Mme Maria-Emma Modl-O-nitsch et grâce à la compréhension généreuse de la maison Sulzer Frères SA, à Winterthour, nous avons pu obtenir des analyses quantitatives de mineraï, de scories et d'éclats ou d'objets de fer. Nous remercions sa direction et M. Henri Gut qui, à Winterthour, a pris la responsabilité de ces analyses.

Le laboratoire C14 de l'Université de Berne (professeur Hans Oeschger) nous a donné les indices les plus précieux pour la datation de nos découvertes.

Sur le terrain même, à côté des manœuvres que nous avions engagés et qui sont devenus des collaborateurs soigneux et sûrs, nous avons bénéficié de l'aide de membres du Cercle vaudois d'archéologie, d'étudiants et de gymnasiens, d'amis et de parents. C'est grâce à eux tous que nous avons pu achever cette tâche à la fois modeste et ambitieuse, l'étude exhaustive d'un site archéologique.

Notre reconnaissance va aussi aux communes d'Arnex, de Croy, de La Sarraz, de Juriens et de Ferreyres, propriétaires des forêts, qui nous ont aimablement autorisés à abattre les arbres qui gênaient nos recherches.

Financement

Les deux premières campagnes ont été subsidiées par l'Etat de Vaud et par la Société académique vaudoise. Dès 1965, le Fonds national suisse de la recherche scientifique a pris leur relève. Seule cette aide financière soutenue et renouvelée nous a donné le loisir de poursuivre et d'achever notre entreprise.

Les travaux

Durée

Les fouilles de Bellaires I ont duré quinze jours en 1963, trente-deux jours en 1964, trente en 1965; les trente journées de fouilles de 1966 ont été partagées entre les dernières prospections de Bellaires I, la remise en état des lieux et le dégagement de la halde de Bellaires II, plus exiguë. Trente jours ont suffi en 1967 aux fouilles de Bellaires III. En 1968, en plus de contrôles dans ces sites, pendant la construction du pavillon destiné à recouvrir les fourneaux XIX et XX, nous avons dégagé le fourneau de la Bossena I sur Ferreyres et celui de Prins-Bois II sur Juriens, puis participé à l'exploration du refuge de Châtel sur Montricher (trente-neuf jours au total). Reprises en 1969 et 1970, les fouilles de Châtel ont exigé encore deux campagnes de trois semaines et quelques journées supplémentaires de contrôle sur le terrain.

Méthodes de fouilles

De préférence aux champs labourés, les sites fouillés sont dans la forêt, à l'abri des bouleversements dus aux tech-

niques agricoles modernes ou à l'industrialisation. Les chances de découvertes en place sont plus grandes en forêt malgré les souches et les racines.

Les talus abrupts, boisés et rocheux, que recherchaient les forgerons d'autrefois ne facilitent cependant pas la prospection. Une fois les buissons coupés et les arbres abattus, leurs racines et des rocs pesant parfois plusieurs quintaux opposent une succession d'obstacles harassants – et souvent dangereux pour les vestiges sous-jacents.

Pour épargner de longues fatigues et des pertes de temps, nous avons tracé des tranchées de recherche étroites (60 cm), parfois asymétriques, suffisantes pour la stratigraphie. Nous ne les avons élargies que lorsque leur profondeur dépassait 140 cm. Il n'était utile de procéder à de plus vastes excavations qu'à proximité des fourneaux.

La masse même des déchets industriels (600 m³ à Bellaires I, 500 m³ à Bellaires III) nous a obligés à déplacer d'importants volumes. Nous avons limité autant que faire se pouvait le brouettement retardateur, spécialement pénible en forêt, en comblant au fur et à mesure les secteurs entièrement explorés.

Les constatations et les mesures faites sur le terrain ont été notées sur plus de 3500 fiches à perforations marginales². Des plans détaillés au 1:10 ou au 1:20 ont servi de base à notre travail. Nous avons pris au cours des fouilles plus de 160 diapositives, destinées aux observations à un fort agrandissement ou à des fins didactiques, et plus de 400 photographies, la plupart en couleur. Seule la couleur différencie suffisamment le bleu sombre des scories du gris noir de la terre charbonneuse, du rouge violacé des restes de mineraï. Depuis 1966, un appareil Alpa-Réflex 9d à cellule photoélectrique éclairée à travers l'objectif, nous a permis de photographier de 17 cm à l'infini sans changer d'objectif, ou d'utiliser un objectif grand angulaire très ouvert (75°). La disparition des risques d'erreurs d'exposition ou de parallaxe a simplifié notre tâche.

Un musée dans la forêt

La découverte à Bellaires III des deux fourneaux jumelés XIX et XX dans un état de conservation exceptionnel nous a incités à les maintenir tels que nous les avions dégagés. Les intégrer dans un musée aurait exigé un travail délicat: il aurait fallu ou les emporter en pièces détachées ou les transporter d'un bloc. Dans le premier cas, comment aurait-on pu remonter sans tricher un ensemble formé principalement de galets glaciaires enrobés d'une glaise entièrement délitée? Dans le second cas, un transport global aurait pesé, avec le coffrage de béton nécessaire, environ seize tonnes. Il n'aurait pas été possible de le faire sans grands risques sur quatre kilomètres de chemins forestiers ou de voies secondaires peu résistantes. Enfin, aucun musée n'aurait pu accueillir cette masse sans percer une de ses parois. Et quelle salle

2. Randlochkarten Din A5/209/N, de la maison Haensel & Co., à Schlitz/Hessen.

aurait-elle été assez robuste pour supporter le poids des deux fourneaux?

La conservation *in situ* se révélait la solution la moins risquée et la moins onéreuse. Elle était aussi la plus scientifique, puisqu'elle laissait les fourneaux au sein même de la forêt qui avait été charbonnée autrefois pour eux.

Grâce à l'aide de sociétés savantes, d'entreprises métallurgiques et de l'Etat de Vaud³ un pavillon de ciment a été construit par-dessus les fours (Pelet, 1970a, 86-95). Eclairé par des coupoles de polyester et muni de petites fenêtres, il permet à chacun d'observer la «plus ancienne usine vaudoise conservée» et de lire les panneaux explicatifs placés à l'intérieur.

Terminologie

Filtrée par les grammairiens et les littérateurs, la langue française officielle n'a pas enregistré, n'a pas retenu les termes techniques anciens, inconnus des gens de lettres. Elle est, dans ce domaine, d'une pauvreté, d'une imprécision souvent affligeantes. Dans la langue courante, le verbe *fondre* confond deux opérations différentes: la réduction du minerai (schmelzen, to smelt) et la coulée du métal (giessen, to cast).

Le terme de *forge* est employé indifféremment pour l'atelier villageois de maréchal-ferrant et pour l'entreprise propriétaire de mines et de hauts fourneaux.

Alors que l'allemand dispose de Rennherd, Rennfeuer, Gebläseofen, Blauofen, Stückofen, Flossofen, Hochofen,

haut fourneau désigne seul dans la langue actuelle tout four à réduire le minerai, qu'il produise de la fonte ou du fer et quelles que soient ses dimensions ou son système de ventilation.

Le terme de *mazerie* est tombé en désuétude et celui de *ferrière* n'a subsisté que dans les toponymes dans son acception étymologique: «ferraria», exploitation sidérurgique.

Haut fourneau s'applique difficilement aux modèles d'autrefois qui ne dépassaient pas la taille de l'homme, et bas fourneau n'est guère entré dans l'usage. Par leurs dimensions, les installations des plus anciens artisans du fer ne se différencient guère de celles des potiers, des verriers, des chaufourniers surtout. De plus, au moment de leur découverte, les vestiges ne sont pas toujours explicites. Il n'est pas aisément de distinguer d'emblée les fourneaux de réduction détruits des feux de forge ou des fours à recuire. Au terme impropre de haut fourneau, nous avons préféré sur le terrain le vocable plus général et plus neutre de *four*. Les termes techniques peu connus sont expliqués en fin de volume.

3. La Société académique vaudoise, le Fonds du cinquantenaire de l'Ecole des hautes études commerciales de l'Université de Lausanne; les Ateliers Mécaniques, Vevey; J. Bobst & Fils SA, Prilly; Jean-Victor Degoumois, Neuchâtel, le Groupement romand des fondeurs de fer, de l'Association suisse des fondeurs de fer; Jaquet SA, Vallorbe; Wolfram & Molybdène SA, Nyon.

3

LES SITES

LES Bellaires, la Bossena et les Prins-Bois s'intègrent dans le vaste ensemble des forêts subjurassiennes, qui recouvrent plus de mille hectares entre les cours de la Venoge et du Nozon (fig. 3).

Si les glaciers alpins y ont déposé leurs graviers, leurs glaises et leurs blocs erratiques, la moraine n'y forme pas une nappe continue; le calcaire – urgonien supérieur ou hauerivien – affleure fréquemment¹. C'est dans ses failles que se sont infiltrés les dépôts sidéolithiques, qui assurent le ravitaillement des forges en minerai de fer.

Une relative sécheresse (70 cm de précipitations annuelles dans les années très sèches), des déboisements rapprochés, un humus parcimonieux ont donné à cette forêt un caractère insolite sur le Plateau suisse. Comme dans les montagnes qui bordent la Méditerranée, le chêne domine, dans sa variété pubescente, naine. Il est entouré de ses accompagnants habituels: tilleuls, sorbiers, poiriers sauvages, néfliers, buis, genévrier, prunelliers et aubépines. A cette végétation s'ajoutent les vestiges d'une flore steppique de type asiatique, comme l'anémone pulsatille².

Dans les environs des Bellaires, la proximité d'un ruisseau et l'humidité du vallon ont favorisé la croissance de quelques épicéas, de hêtres et de plusieurs chênes de grande taille, des hybrides sans doute, au milieu des taillis d'alisiers, de houx, de noisetiers, de genévriers, d'érables, de frênes, de charmes et d'épinettes.

Les Bellaires

Limitée au nord-est par les gorges du Nozon, au sud-est par l'effondrement du vallon d'Engens (fig. 2), la forêt des

Bellaires (La Bellere en 1421, Bellerie en 1423)³ s'étend sur les territoires d'Envu et de Romainmôtier. Elle n'a aucun rapport avec la célèbre nécropole de Bel-Air près de Chezeaux, fouillée par Frédéric Troyon (1841) à partir de 1838.

Accolées à l'actuelle limite des communes de Romainmôtier et de La Sarraz, qui perpétue celle de l'abbaye et de la baronnie médiévales, les trois exploitations repérées aux Bellaires sont sises sur Romainmôtier, de part et d'autre du ruisseau de la Cressonière – un affluent du Nozon – et du chemin reliant Romainmôtier à Ferreyres, appelé dans son secteur nord la *Vy ferroche*.

Bellaires I

La première halde repérée (coord. 526,575/169,575; alt. 615-621 m), dans une forêt qui appartient à la commune d'Arnex, descend du nord au sud vers le ruisseau. Trois grands chênes et quelques sapins dominaient des taillis de noisetiers et d'épines. La pente, de 24 à 27% au haut du talus, s'accentue et oscille entre 31 et 35% au bas de la halde. Les scories affleurent sur une surface d'environ 800 m². Aucun moutonnement ne révèle l'emplacement des fourneaux (fig. 6).

Bellaires II

Sur l'autre versant du ruisseau, Bellaires II (coord. 526,575/169,525; alt. 611-618 m) est situé dans une forêt aujourd'hui propriété de la commune de Croy. Malgré quelques sapins d'environ soixante-dix ans, d'assez belle venue, les alisiers, les noisetiers et les hêtres donnent à l'ensemble l'aspect d'un taillis plutôt que d'une futaie.

Orienté au nord-est, le site n'est pas exactement symétrique à Bellaires I, dont la pente fait face au midi.

L'affleurement de calcaire hauerivien qui borde le talus, trop petit pour figurer dans l'Atlas géologique, apparaît dans l'ombre du bois comme un petit mur de moellons moussus (fig. 72). De gros blocs s'en sont détachés et jonchent le sol.

1. Atlas géologique de la Suisse au 1:25.000, feuille 5, 1935.

2. Atlas de la Suisse, (1965), c.17; E. Schmid, (1943-1950); (1961); Stähelin & Christ, (1913).

3. Barbey (1911-1912); DHV, art. Bellaires.

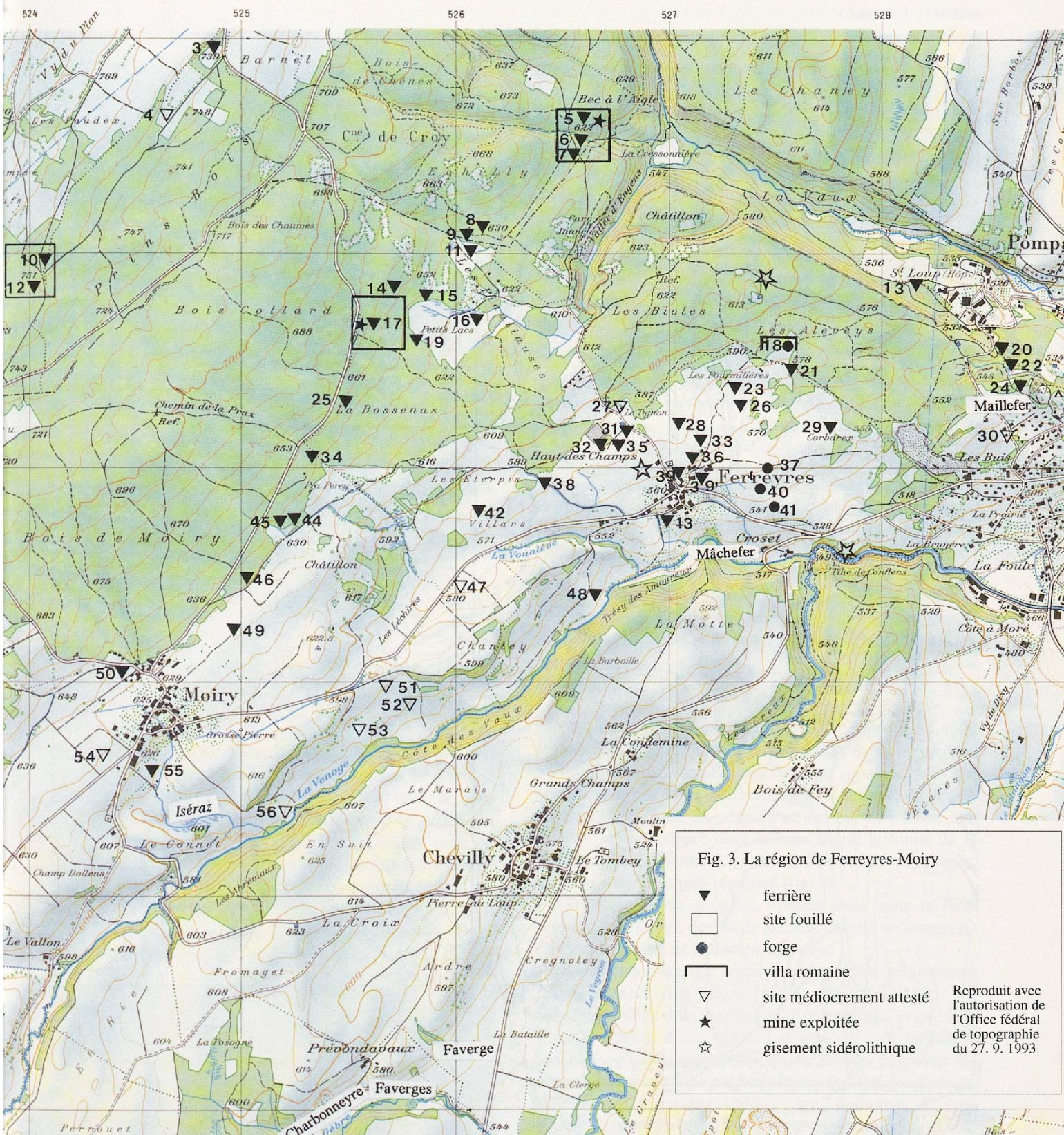
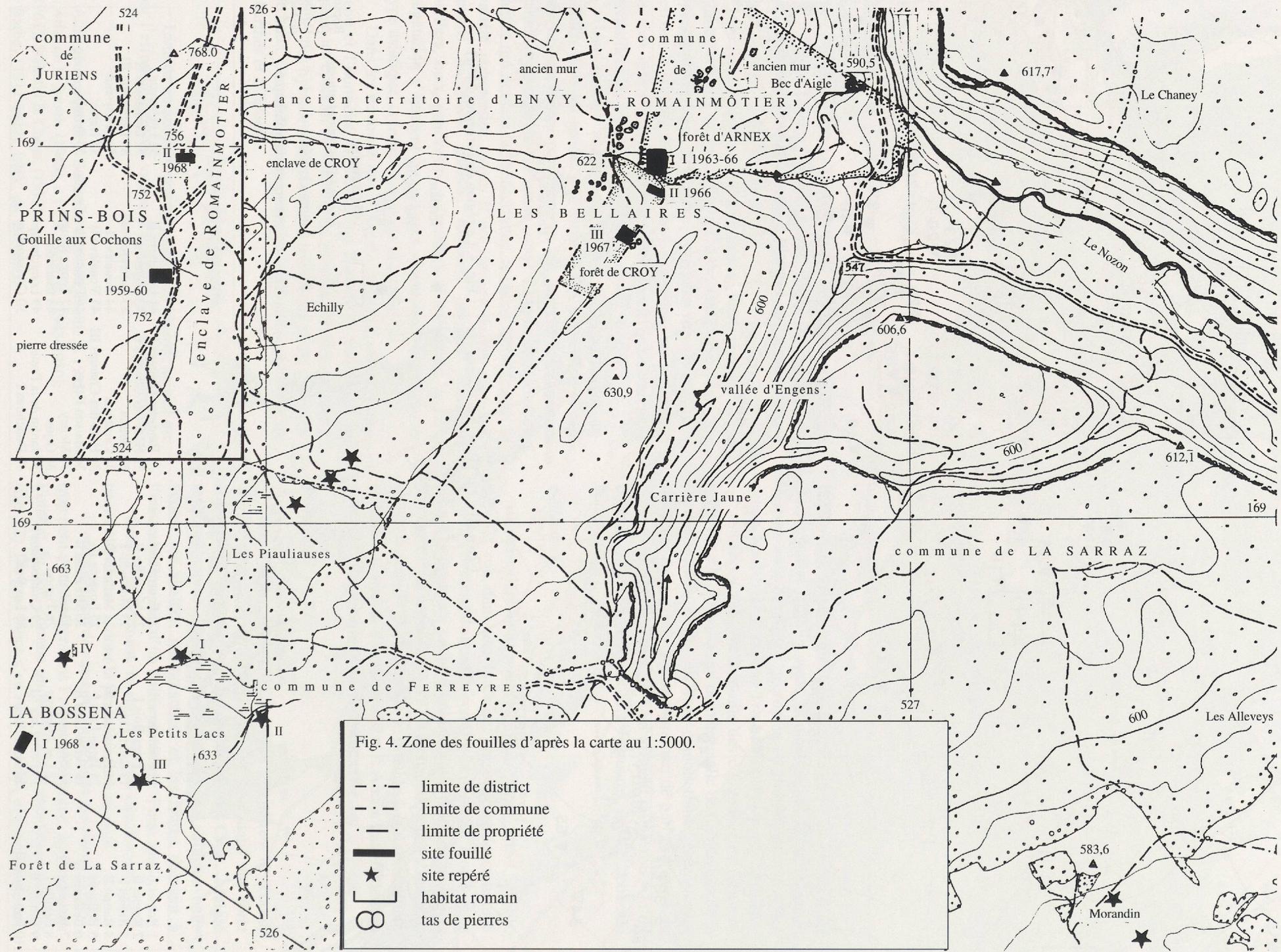


Fig. 3. La région de Ferreyres-Moiry

Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 27.9.1993

1 Rosset I	11 Piaulauses	21 Fourmilières	31 Haut-des-Champs I	41 Donchires II	51 Lécherette I
2 Rosset II	12 Prins-Bois I	22 Maillefer II	32 Haut-des-Champs II	42 Rogenex	52 Lécherette II
3 Barnel I	13 Saint-Loup	23 Morandin I	33 Montet	43 Ferreyres-sud	53 Lécherette III
4 Barnel II	14 Petits-Lacs IV	24 Maillefer III	34 Carolines	44 Voualève I	54 Moiry-sud
5 Bellaires I	15 Petits-Lacs I	25 Bossena II	35 Haut-des-Champs III	45 Voualève II	55 Iséraz
6 Bellaires II	16 Petits-Lacs II	26 Morandin II	36 Maison Favre	46 Fontaine-des-Forges	56 Pertuis
7 Bellaires III	17 Bossena I	27 Isérale	37 Melley	47 Terres Rouges	
8 Echilly I	18 Les Alleveys	28 Tignon	38 Orjus	48 Esserton	
9 Echilly II	19 Petits-Lacs III	29 Combattions	39 Jardin de la Poste	49 Longchamps	
10 Prins-Bois II	20 Maillefer I	30 Les Buis	40 Donchires I	50 Cressonière	



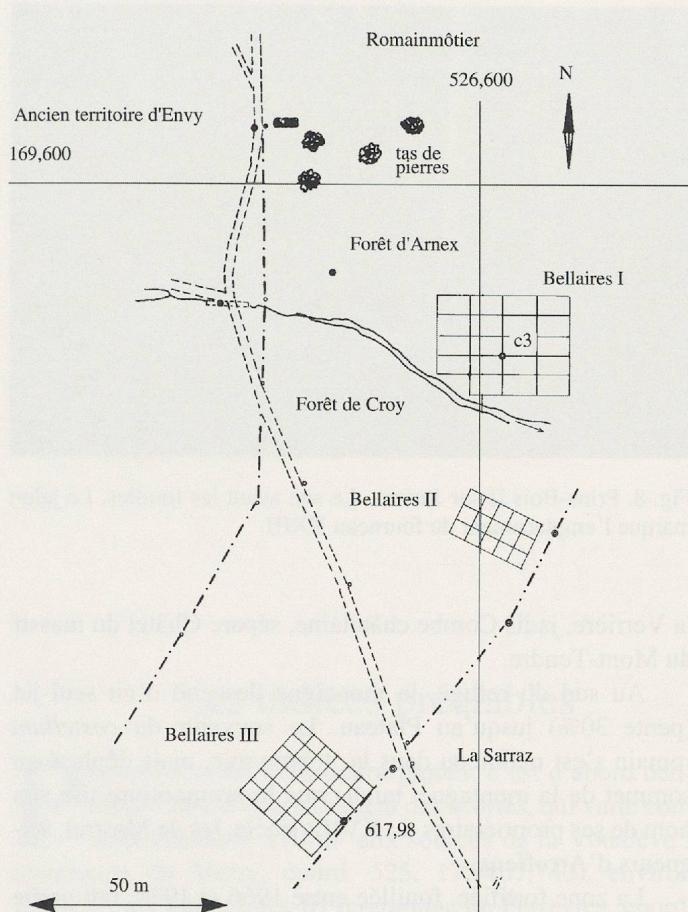


Fig. 5. Les Bellaires. Plan de situation, d'après les levés de juin 1963, juin 1966, juillet 1967.

Plusieurs d'entre eux sont rougis violemment par le feu, tant en surface qu'en profondeur. Au haut du talus, la déclivité varie de 47 à 57%; elle s'adoucit à 39% dans la zone d'exploitation avant de plonger vers le ruisseau actuel, qui cascade à l'altitude de 600 m environ. Un ancien bras, où l'eau coule encore à la fonte des neiges arrive à proximité; deux déversoirs naturels, le plus récent en amont, le plus ancien en aval de la halde, rendent l'eau au cours principal. Précédemment, le lit se prolongeait à flanc de coteau. Il est encore discernable en aval des forges.



Fig. 6. Le talus de Bellaires I: la pente est uniforme (mai 1963).



Fig. 7. Bellaires III, début des travaux, avril 1967. Le mouvement du terrain (terrasse de scories) se remarque lorsque les arbres sont abattus.

Une fois déboisé, le talus ne révèle aucune irrégularité autre que celles dues à la chute des pierres. Le ruisseau, l'exploitation de la roche, les travaux forestiers enfin ont niévelé le site.

Seules les scories, découvertes dès 1964, signalent l'emplacement d'une *ferrière*. Peu abondantes, elles s'éparpillent du nord-ouest au sud-est en une bande de quelque 30 m de long sur 6-8 m de large, soit sur environ 200 m².

Bellaires III

A l'ouest du chemin, Bellaires III, découvert en 1965 (coord. 526,550/169,450; alt. 618-622 m) s'étend sur environ 500 m², dans une combe sans ruisseau apparent, mais qui appartient au bassin de la Cressonnière. A la limite du lieu dit En Echilly, la halde est orientée au sud-est. Elle forme une terrasse semi-circulaire dont la base atteint la limite de la commune de La Sarraz. La forêt de feuillus: hêtres, chênes, charmes, etc., y est plus régulière (fig. 7).

D'anciens fours à chaux, visibles dans toute la forêt autour des Bellaires, des tas de pierres – tumuli ou murages – révèlent le théâtre de multiples activités.

On assure même que la clairière ensoleillée qui s'ouvre à 250 m au nord des haldes (coord. 526,400/169,800) fut autrefois le siège d'un couvent ou d'un ermitage, et que l'on y voit les ruines d'une église. Les gens de Croy attribuent aux moines de Romainmôtier les forges des Bellaires. Ils évoquent le souvenir d'un ermite, le «Belleyrone». Dans le *Dictionnaire historique vaudois*, (art. Bellaires), le juge fédéral Georges Favay (1847-1919), originaire de la région, signale qu'au XVIII^e siècle, un misanthrope de qualité vivait en solitaire aux Bellaires.

Certes, la clairière, aujourd'hui à nouveau habitée, a été autrefois enclose d'un mur; et des vestiges de constructions, vraisemblablement rurales, y sont encore visibles. A part les restes d'un four à chaux, ses propriétaires actuels y ont trouvé un batz fribourgeois de 1623, un fleuret cassé et une petite broche en or.

Ni le cartulaire de Romainmôtier (F. de Gingins-La Sarra, 1844, F. de Charrière, 1844), ni les archives du couvent⁴ ne conservent le souvenir d'un bâtiment ou d'une exploitation des Bellaires.

La Bossena I

A 1200 m à vol d'oiseau au sud-ouest de Bellaires II, la Bossena I (commune de Ferreyres, coord. 525,625/168,675; alt. 655-659 m) s'inscrit dans une ligne de sept haldes repérées au pied d'un affleurement de calcaire urgonien qui longe la route de Moiry à Envy (voir carte générale fig. 1) sur près de 2 km, selon un axe nord-est/sud-ouest (27° NE). Un décrochement qui ne dépasse guère 2 m de hauteur apparaît par intermittence dans la forêt, à une cinquantaine de mètres en dessous de la route. Il n'est pas signalé sur les cartes. C'est au pied du rocher que sont situées les haldes de la Fontaine-des-Forges (coord. 525,025/167, 450; alt. 630 m), de Bossena II (coord. 525,450/168,275; altitude 650 m) et de Bossena I.

Le banc d'urgonien (hauteur 140-150 cm au maximum) est formé de couches presque horizontales qui se détachent en plaques. A sa base devait se trouver le filon de minerai (fig. 103, 106-108). Au pied du rocher, un talus d'une pente vive (17%), orienté vers l'est-sud-est forme le sommet de la halde. Les scories s'éparpillent sur 400 m² environ. Mais leur densité est faible.

La zone forestière de la Bossena, très pauvre, a été exploitée jusque dans les années 70 en taillis à révolution de vingt-cinq ans. Le calcaire urgonien y affleure en larges plaques; seuls les buissons s'y multiplient, d'où son nom (Bossena = Buissonnaie).

Prins-Bois II

Découvert en 1967 par M. Charles Bonard, Prins-Bois II (commune de Juriens, coord. 524,087/168,975; altitude 752 m) est situé à 175 m de Prins-Bois I, fouillé en 1959-60 (Pelet, 1960a) au nord du Carrefour des herbes sèches. Une fois de plus, la halde est accolée à l'actuelle frontière communale. Elle forme un talus en triangle de 35 m sur 27 (400 m² environ), à la base orientée au sud. Distante de 1,5 km de Bossena I, de 2,5 km des Bellaires, la futaie des Prins-Bois est plus riche en conifères du fait de l'altitude; mais les chênes et les autres feuillus n'ont pas disparu (fig. 8).

Châtel sur Montricher

En 1965, M. Jean-Pierre Gadina découvre dans le pâturage d'Arruffens, sur la montagne de Châtel (commune de Montricher) à une altitude moyenne de 1390 m, un habitat de l'âge du Bronze, auquel a succédé une place forte de la fin de l'Empire romain. Les vestiges archéologiques (qui comprennent des scories ferrugineuses) sont concentrés à l'extrémité du promontoire qui termine la zone sommitale (coord. 517,050 à 517,125/163,400 à 163,585). Une dépression assez profonde, aux flancs abrupts (pente 75%), la Combe de



Fig. 8. Prins-Bois II sur Juriens. Le site avant les fouilles. Le jalon marque l'emplacement du fourneau XXIII.

la Verrière, jadis Combe châtelaine, sépare Châtel du massif du Mont-Tendre.

Au sud du refuge, la montagne descend d'un seul jet (pente 30%) jusqu'au Plateau. Le souvenir du *castellum* romain s'est maintenu dans la toponymie, mais déplacé au sommet de la montagne, tandis que le promontoire tire son nom de ses propriétaires du XVIII^e siècle, les de Mestral, seigneurs d'Arruffens.

La zone fortifiée, fouillée entre 1966 et 1970, fait partie d'un pâturage boisé devenu réserve naturelle, parsemé de sapins, de cytises et de genévriers ébranchés par les bourrasques du vent d'ouest. L'herbe a recouvert de grossières fortifications, faites de blocs entassés pêle-mêle et liés par calcination. Elles ceignent d'un bourrelet un dos d'âne d'environ 12 000 m², où affleure le rocher.

Les fouilles ont mis au jour un matériel abondant: monnaies, céramique, objets en os, en bronze, en fer, débris de verrerie, qui remontent les uns à l'âge du bronze, les autres à la fin de l'époque romaine. A de rares exceptions près, les monnaies datent de la seconde moitié du IV^e siècle et du début du V^e (Théodore, Arcadius, Honorius, Jovin) (Pousaz, 1984; voir pp. 108-110). Habité longuement jusqu'à la fin de l'âge du Bronze, puis délaissé, le promontoire de Châtel est occupé à nouveau au moment de l'effondrement de la frontière du Rhin.

Dans un terrain sans alluvions et exposé aux vents les plus violents, la couche archéologique est peu enfouie, le niveau romain apparaît immédiatement sous les mottes, à une profondeur de 12 cm environ. La couche stérile est atteinte entre 25 et 75 cm. Dans un sol parsemé de bancs rocheux, rasé par les meules des charbonniers, défoncé par les pas des vaches, arraché par la chute des sapins, remanié par les terrassements des occupants romains puis par les récolteurs de racine de gentiane jaune, les niveaux sont le plus souvent méconnaissables.

Dans les zones préservées, les scories ferrugineuses appartiennent à la couche supérieure.

4. Atlas géologique de la Suisse au 1:25.000, feuille 5, 1935.

4

TUYÈRES ET VENTILATION

Les indices préalables

PROSPECTER des sites sidérurgiques, c'est d'abord délimiter l'aire d'éparpillement des scories, qui varie considérablement: 110 m² aux sources de la Voualève I (commune de Moiry, coord. 525, 175/167,740), environ 1000 m² aux Petits Lacs III (commune de Ferreyres, coord. 525, 800/168,580). L'observation attentive du terrain permet d'évaluer approximativement l'importance de la halde et de constater la présence des vestiges d'un seul ou de plusieurs fourneaux. La superposition des terrasses de décombres révèle une succession d'entreprises, par exemple aux Carolines (commune de Moiry, coord. 525,325/ 168,050). Mais l'absence de mouvements de terrain ne prouve pas l'unicité d'une industrie. Ainsi, à Bellaires I, les scories de la dernière exploitation ont recouvert les tas antérieurs et uniformisé la pente.

Du fait de la modicité des affleurements de minéraux, nous ne découvrons pas au pied du Jura des crassiers gigantesques comme ceux du Berry ou de l'Aude, dont la masse peut être évaluée à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes, si ce n'est à quelques millions (Tryon-Montalembert, 1955, 158, 165). Les 600 m³ de Bellaires I, les 500 de Bellaires III se prêtent plus aisément à une investigation systématique, bien que la couche des déchets industriels atteigne déjà, par places, jusqu'à 2,50 m d'épaisseur. Cette couche est formée avant tout de scories, qui trahissent par leur apparence les techniques de réduction utilisées. Compactes et lourdes, couvertes de circonvolutions analogues à celles d'un cerveau, elles remontent à une exploitation faiblement ventilée; parsemées de bulles, et irisées, elles indiquent une combustion à plus haute température, elles sont l'indice d'une ventilation artificielle (Gilles, 1957, 179-180). Du fait des fluctuations de la combustion au cours de chaque opération de fonte, tous les types de scories se retrouvent dans toutes les haldes. Un échantillonnage statistique indique les prédominances. Cet examen visuel, préscientifique, ne fait que

précéder les analyses spectrographiques et chimiques en laboratoire. Ce sont elles qui détecteront, grâce à la teneur en fer et à la proportion des autres éléments constituants, les types de minéraux fondus et les techniques utilisées. Nous en parlerons au chapitre 8.

Les bûchettes de charbon mêlées aux scories révèlent l'arborisation des forêts antiques. Le carbone 14 qu'elles contiennent contribuera à dater les ateliers (voir chapitre 10).

Des pierres, parfois rougies par le feu: gneiss, granits, moellons de calcaire, des tuiles brisées, des mottes de glaise cuite éclairent la masse noirâtre des scories. Restes de chapes, de parois, de cheminées, ces matériaux varient selon les types de fourneaux et selon les époques. Ils fournissent une série d'indices préalables. De nombreuses empreintes digitales montrent que les constructeurs des fours glisaient leurs parois à main nue (fig. 9).

De tous les matériaux dus à la destruction des fours, ce sont les fragments de tuyères qui apportent cependant les indices les plus significatifs.

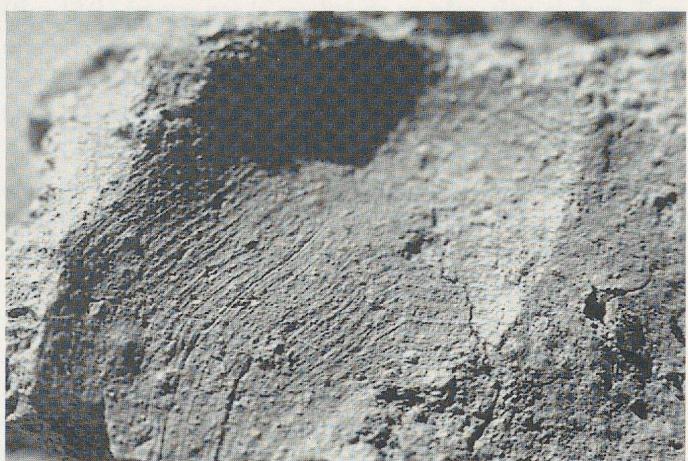


Fig. 9. Bellaires II. Empreinte digitale sur un fragment de glaise cuite, agrandi environ 2,5 fois.

La ventilation

Les fourneaux à fer se divisent en deux types fondamentaux dont les différences les plus marquantes résultent du système de ventilation adopté: les uns se contentent d'un tirage naturel, les autres exigent une soufflerie.

La présence parmi les scories de *conducts de glaise* dont le diamètre est constamment supérieur à 5 cm, ou celle de *tuyères* (d'un diamètre minimal inférieur à 5 cm) permet de reconnaître, avant même de les avoir dégagés, les fourneaux de chaque type.

Une fois cette distinction faite, les dimensions et les formes des tuyères proprement dites apportent une série d'indices sur le degré de perfectionnement technique des fours. On admet en général que les plus archaïques – qui ne sont pas nécessairement les plus anciens – adoptent les plus larges diamètres. Le perfectionnement de la ventilation fait adopter des canalisations de plus en plus étroites, qui ne descendent cependant pas au-dessous de 2,5 cm. C'est en effet ce calibre qui assure la soufflerie la plus efficace.

Les fragments de tuyères abondent dans les trois sites des Bellaires; ils ne manquent pas à la Bossena I et à Prins-Bois II.

La glaise dont ils sont faits varie non seulement d'une pièce, mais d'un morceau à l'autre: compacte ou friable, lisse ou sablonneuse, graveleuse parfois; ocre-jaune, grise, brique, rose ou violacée selon les coups de chaleur qu'elle a subis.

Du fait du degré variable de la destruction et de la présence vraisemblable de fourneaux d'époques et de constructions différentes, les critères distinctifs des tuyères divergent d'un site à l'autre. A Bellaires I, tous les fragments retrouvés proviennent de modèles qui ne dépassent pas 15 cm de longueur. Ils se différencient en premier lieu par leur forme, tantôt approximativement cylindrique, tantôt en entonnoir.

A Bellaires II, des déchets massifs longs d'au moins 40 cm sont mêlés à des becs aussi courts que ceux de Bellaires I, mais d'un diamètre en général beaucoup plus large.

A Bellaires III, des tuyères longues et massives subsistent en place dans les fours XIX et XX. Mais 22% des nombreux fragments qui gisent dans la halde ont un conduit ovale.

Pour plus de clarté, nous étudierons pour commencer les tuyères site par site.

Bellaires I

Quatre-vingts échantillons proviennent d'au moins trente-trois tuyères ou conduits différents. Aucun n'est resté en place dans un fourneau. Beaucoup de ces fragments, à peine reconnaissables ou trop petits, n'apportent pas d'indices probants. Ainsi, quinze d'entre eux suggèrent un diamètre de plus de 5 cm, mais sept proviennent d'une encolure de tuyère en entonnoir. Deux becs, relevés dans la partie supérieure du terrain où les tuyères ont en général un assez fort calibre, dépassent légèrement 5 cm. Cette largeur peut résulter d'une déformation due à une chaleur excessive. Quatre autres fragments oscillent entre 8 et 5,4 cm, mais ne

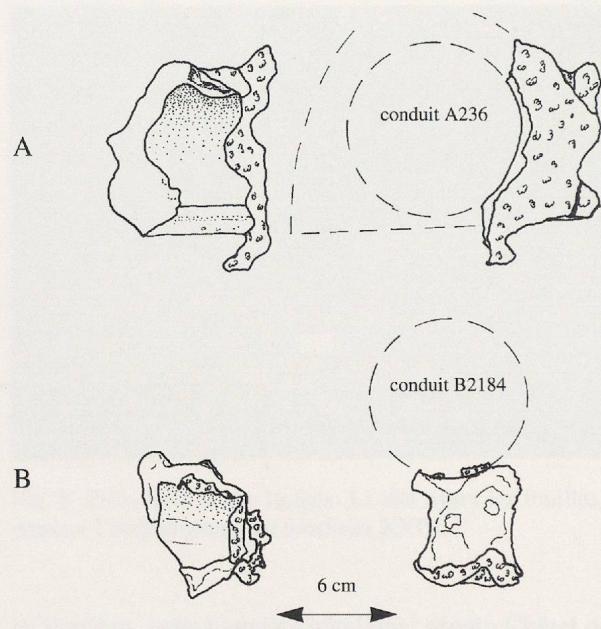


Fig. 10. Bellaires I. Conduits de ventilation. Dans toutes les figures 3 w w symbolise la scorification.

portent aucune scorification significative. Ils pourraient provenir d'évasements.

L'un d'eux, A289, reposait cependant au niveau du four X, le plus ancien. Seuls A236 et B2184 présentent un conduit indiscutablement large (8,5 et 8 cm) jusqu'à son abouissement dans le foyer (fig. 10 /A, B). A 1 m sous le niveau du sol, A236 gît en aval du four X, dans une couche qui ne peut provenir que de son exploitation. B2184 a été retrouvé dans une couche de déblais profonds au bas du secteur oriental. Deux fourneaux au moins ont utilisé une ventilation naturelle à Bellaires I.

Les tuyères en entonnoir

Trente-quatre fragments appartiennent indubitablement au type en entonnoir. Ces tuyères, ramassées, ne dépassent pas 10,5 cm de longueur; la plus courte mesure 6,5 cm seulement. Leurs encolures, massives et asymétriques, ont un diamètre extérieur de 10 à 12 cm. Il atteint 18 cm à B76, ovale. Mais il s'agit vraisemblablement de l'**appui** sur lequel reposait la tuyère proprement dite, comme l'ont montré les expérimentations de Gerhard Sperl à Vordernberg en 1978. L'épaisseur de la glaise des encolures varie de 2 à 6 cm. Le bec, au contraire, est très mince: 0,5-1 cm. Le diamètre minimal, repérable dans 17 cas, oscille entre 3 cm et 4,4 cm (moyenne 3,9 cm). L'évasement varie de 5 à 10 cm.

Ces tuyères se subdivisent en quatre groupes:

a) Le plus abondant comprend des échantillons d'un modelage grossier, à l'évasement irrégulier (fig. 12/4a, 4b; 12/7a, 7b).

b) Les tuyères B275-77-78 (fig. 11/2) et A178 (fig. 11/3) sont plus soigneusement formées. Leur évasement est moins accentué. B275-77-78 s'est fendu en cours de travail et la scorie s'est infiltrée dans les fissures.

c) Trois fragments, B490 (à la glaise grise), B433-435 et

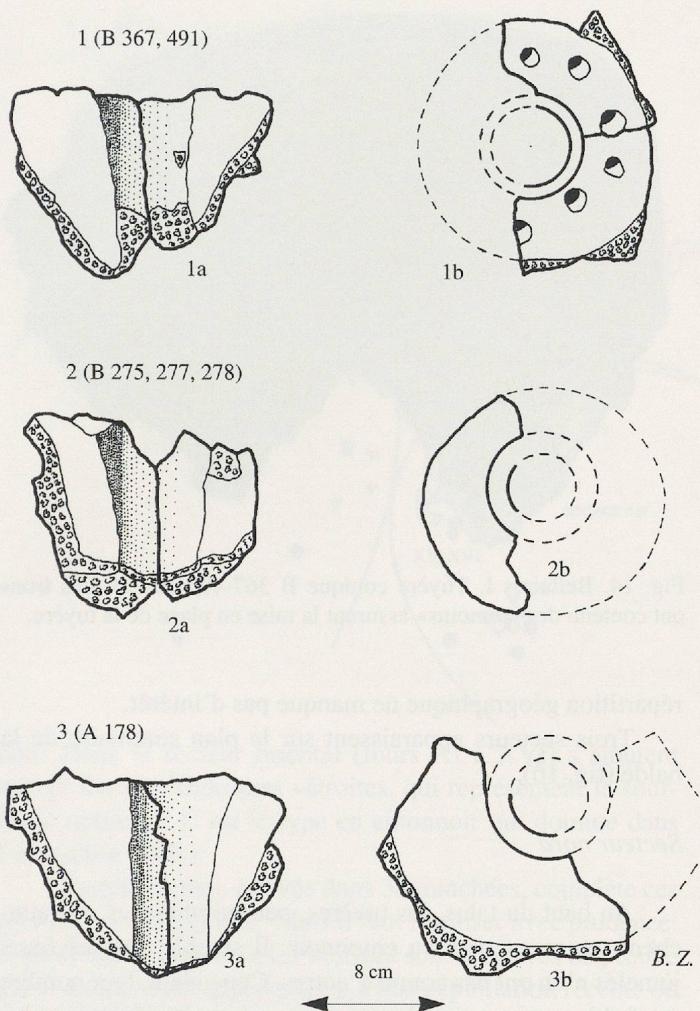


Fig. 11. Bellaires I. Tuyères coniques.

B2103 s'insèrent avec un angle de 45° dans la paroi (fig. 12/5, 3/6). L'évasement de B433-435 atteint 10 cm.

d) Plus curieux encore, A290, B367-491, B409 et B2097 représentent trois ou quatre tuyères en entonnoir à l'encolure parsemée d'alvéoles. Ces trous semblent résulter de la pression d'une série de baguettes pointues (fig. 11/1, fig. 14). Ils suggèrent le remplacement d'une tuyère cassée ou obstruée au cours d'une chauffe. On ne peut en effet fixer correctement un nouveau bec à l'intérieur de la cuve qu'en le dirigeant avec un faisceau de «témoins», comme les appellent aujourd'hui les fondeurs italiens, c'est-à-dire de baguettes de dimension fixe, qui facilitent la mise et le maintien en place.

Quelles que soient leurs caractéristiques, les tuyères en entonnoir s'encastrent dans une porte ou une embrasure, où elles sont retenues par leur encolure, qui forme souvent un bourrelet, un collier. Le bec, qui pénètre à l'intérieur de la cuve se couvre d'une épaisse couche de scories.

Les tuyères dont le conduit est horizontal ou légèrement incliné reposaient à proximité du fond, celles qui sont inclinées à 45° étaient au contraire insérées dans la paroi à une certaine hauteur (environ 40 cm). Elles étaient utilisées soit à la fin d'une période de fusion, soit dans des fourneaux d'un modèle différent.

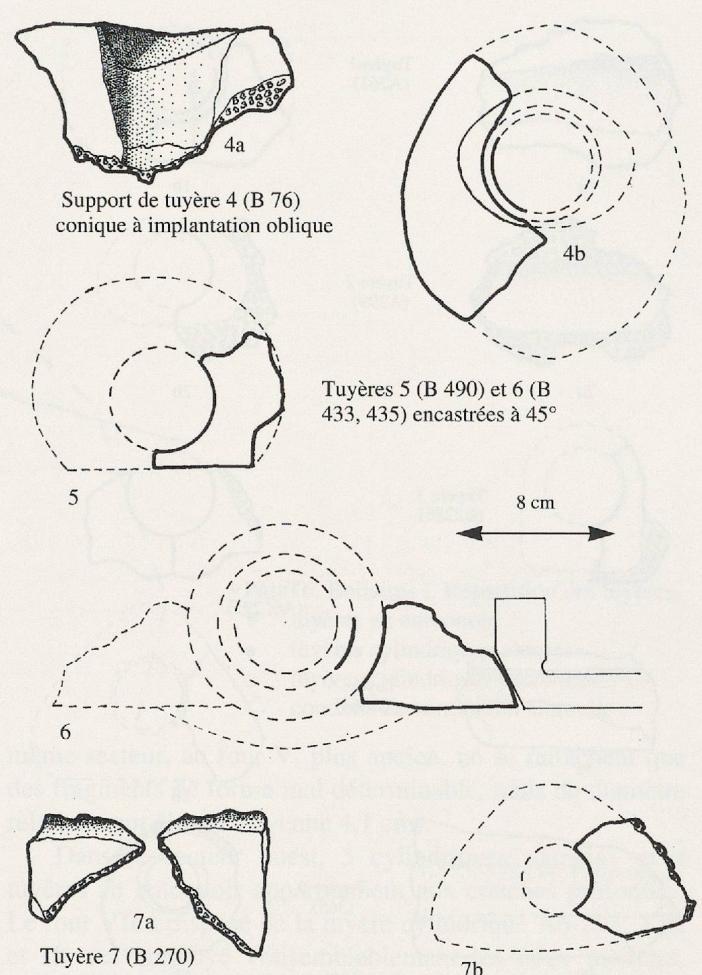


Fig. 12. Bellaires I. Tuyères à implantation oblique.

Les tuyères cylindriques

Les dix tuyères que nous appelons cylindriques ne dépassent pas, en longueur, 15 cm. Modelées *grosso modo* en forme de tuyau, elles se distinguent de tous les modèles analogues relevés dans d'autres champs de fouilles par leur fond plat. Leur diamètre est compris entre 3 et 4,4 cm. A261 (fig. 13/1) frappe par la qualité de sa pâte, fine et dure. Son diamètre minimal conservé est de 3,9 cm. D'une glaise tout aussi soigneusement corroyée, la tuyère B286 (fig. 13/3) est beaucoup plus étroite (diamètre 3,4 cm).

A299 (fig. 13/2) et A6-295 (fig. 13/4), d'une pâte plus rugueuse ont les mêmes caractéristiques de minceur (l'épaisseur des parois s'abaisse de 2 cm à 0,8 cm) et le même calibre. A299 s'est tordue sous l'effet de la chaleur. A6-295 s'est brisée sous la pression d'un bouchon de scories, retrouvé à proximité.

B364 (fig. 13/5), au diamètre minimal conservé de 3 cm, tend vers une forme triangulaire. Cette forme n'a jamais été relevée non plus dans des fouilles, mais elle subsiste dans des hauts fourneaux du Harz et de Saxe bâtis au XVIII^e siècle pour réduire le plomb et l'argent. Schlüter (1738, pl. XXVIII, XXXIII) dessine des buses en forme de tétraèdre

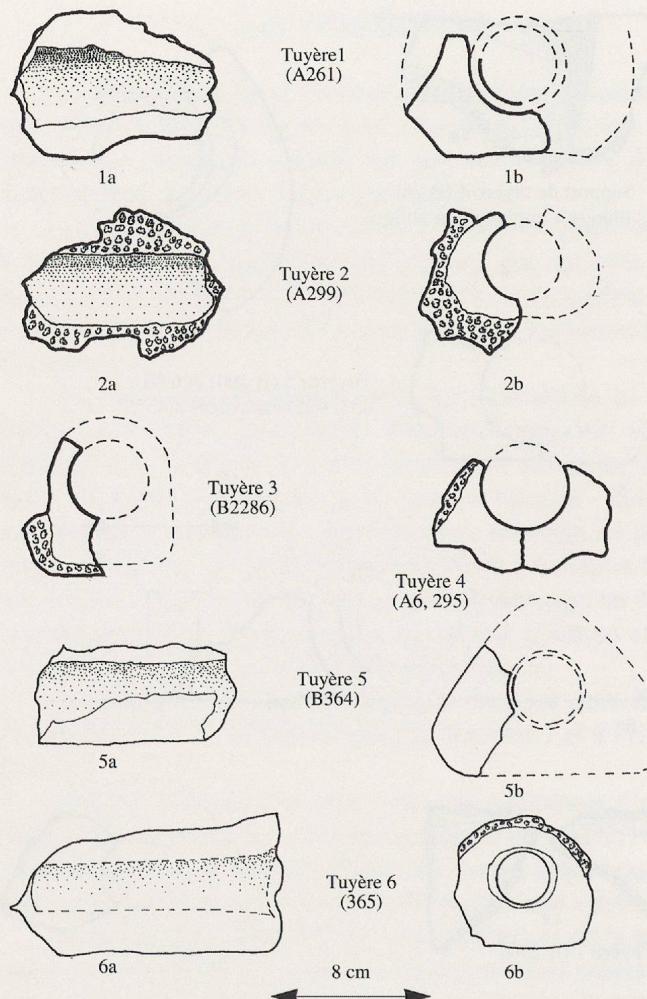


Fig. 13. Bellaires I. Tuyères cylindriques.

aux angles arrondis. Leur dimension (2 pieds environ) est évidemment proportionnée à celle de fourneaux de 15 pieds de haut.

Par sa texture, sa couleur et sa position dans le terrain, B364 s'apparente à la pièce la plus intéressante, B365 (fig. 13/6, fig. 15), que nous classons parmi les tuyères cylindriques «étroites». Première tuyère retrouvée intacte en Suisse, B365 forme un cylindre de 15 cm de long, au fond aplati. Sa hauteur extérieure s'abaisse de 8 à 5 cm près du bec, tandis que le diamètre du conduit passe de 3 à 2,5 cm. La glaise, surchauffée, a pris une teinte violet noir. Son bec est recouvert d'une fine couche de scories; le reste du cylindre semble avoir subi à l'air libre la chaleur du brasier. Trouvée parmi les déchets, au niveau du fond du four XII, elle se rattache probablement à son exploitation.

Un seul autre fragment relevé tout au bas de la halde (B2163) dispose d'un conduit aussi perfectionné (2,8 cm).

Les tuyères sur le terrain

Dans un sol constamment remanié par l'implantation de nouvelles forges, où seize fourneaux sont tantôt juxtaposés, tantôt superposés, il est difficile d'attribuer les échantillons de tuyères à un four déterminé. Toutefois, leur simple

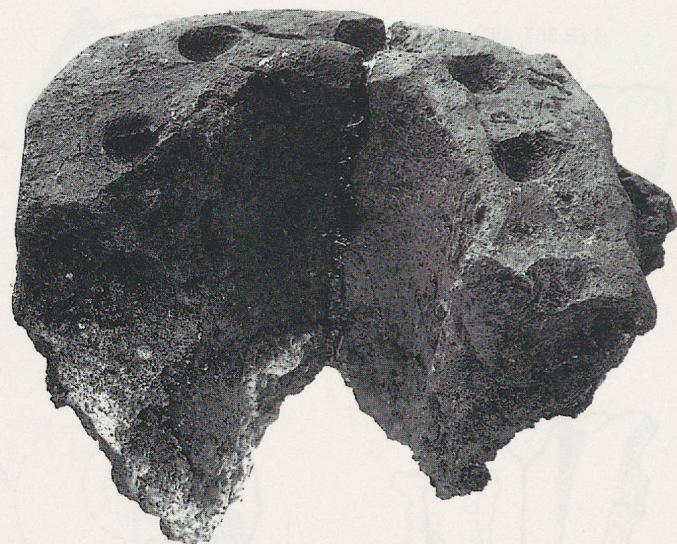


Fig. 14. Bellaires I. Tuyère conique B 367-490 (B.Z.). Les trous ont contenu des «témoins» assurant la mise en place de la tuyère.

répartition géographique ne manque pas d'intérêt.

Trois secteurs apparaissent sur le plan sommaire de la halde (fig. 16).

Secteur nord

Au haut du talus, les tuyères, peu nombreuses, se rattachent toutes au type en entonnoir. Il semble que les fours jumelés n'en ont pas connu d'autres. Cependant, leur nombre est faible: une partie d'entre elles ont roulé par-dessus les exploitations antérieures qui s'étaient implantées à mi-pente. Il faut en tenir compte lors de l'examen des secteurs ouest et est.

Secteur ouest

Dans la zone des fours VII à X, à l'ouest, on constate des tuyères cylindriques «larges» à côté des modèles en enton-

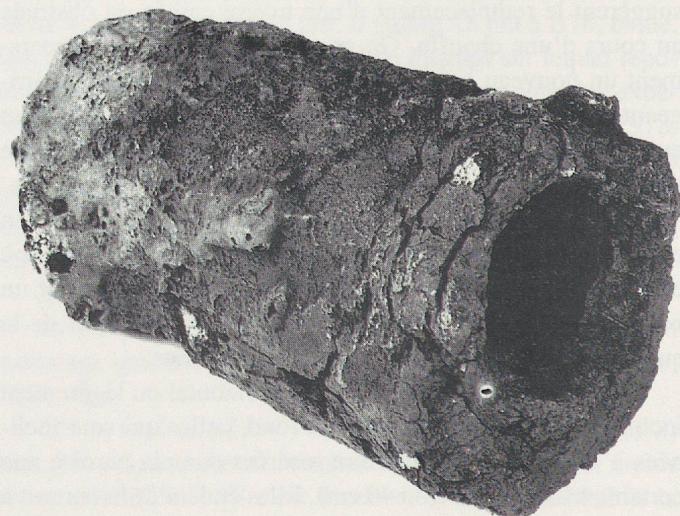


Fig. 15. Bellaires I. Tuyère cylindrique B 365, intacte (B.Z.).

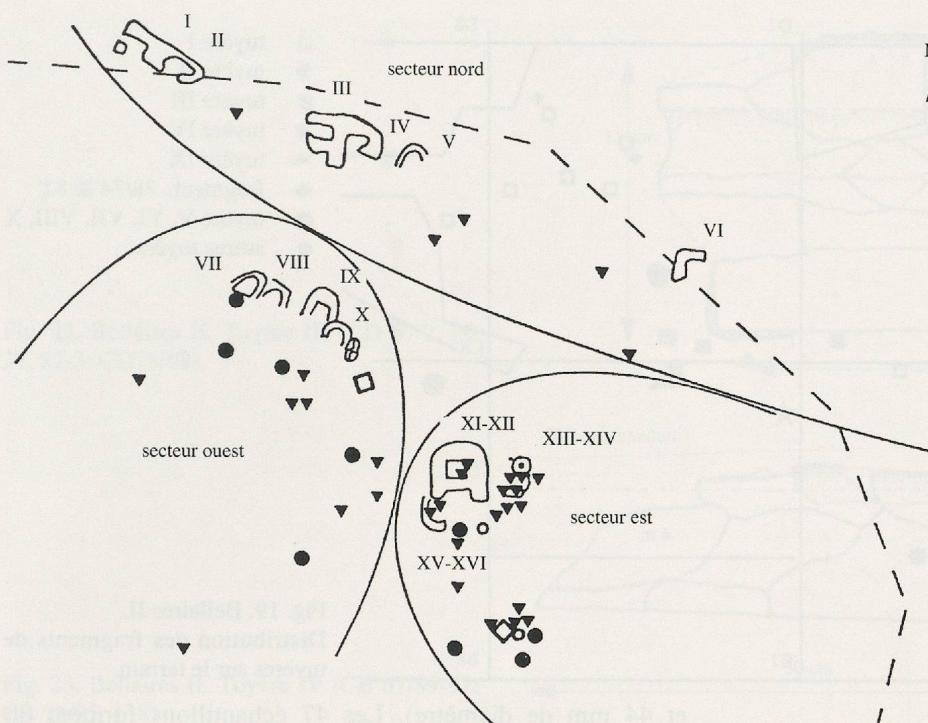


Fig. 16. Bellaires I. Répartition des tuyères.

- ▼ tuyères en entonnoir
- tuyères cylindriques «larges»
- tuyères cylindriques «étroites»
- ◇ conduits de ventilation naturelle

noir. Dans le secteur oriental (fours XI à XVI) s'ajoutent encore deux cylindriques «étroites», qui représentent la soufflerie optimale. C'est le type en entonnoir qui domine dans l'ensemble (74%).

La stratigraphie, relevée dans 38 tranchées, complète ces premières constatations. Mais il faut l'utiliser avec prudence: la profondeur à laquelle les vestiges sont retrouvés ne prouve pas d'emblée leur appartenance à une exploitation récente ou ancienne. Il existe un peu partout, particulièrement au bas de la halde, des couches de rejet, interverties. Les tuyères les plus anciennes, déblayées lors d'un remaniement, gisent parfois dans une couche superficielle, immédiatement au-dessous d'échantillons beaucoup plus récents. Compte tenu de ce problème, on constate que, comme la répartition géographique, la stratigraphie attribue uniquement des tuyères coniques aux fours I, II, III, IV et VI du haut du site. Dans le

même secteur, au four V, plus ancien, ne se rattachent que des fragments de forme mal déterminable, mais de diamètre relativement élevé (moyenne 4,1 cm).

Dans le secteur ouest, 5 cylindriques «larges» et 4 tuyères en entonnoir appartiennent aux couches profondes. Le four VII a disposé de la tuyère cylindrique A6-295; VIII et IX ont employé vraisemblablement les deux modèles. A290 (entonnoir à alvéoles) provient probablement de IX. Aucune tuyère n'est relevée dans les couches du four X (le plus ancien), mais un, ou peut-être deux conduits de ventilation naturelle.

Secteur est

Dans le secteur est, la répartition des trois types entre les six fourneaux se révèle plus délicate encore. Aucune tuyère ne provient clairement du four XIII, mais bien le conduit de ventilation B2184. XI, XIV, XV, XVI ont disposé de modèles en entonnoir. C'est à XIV que se rattachent ceux qui s'inclinent à 45°, et ceux à alvéoles du secteur B. Le four XII était très probablement pourvu de tuyères cylindriques et, parmi elles, des plus étroites. Il n'est pas exclu qu'il ait utilisé aussi des tuyères coniques.

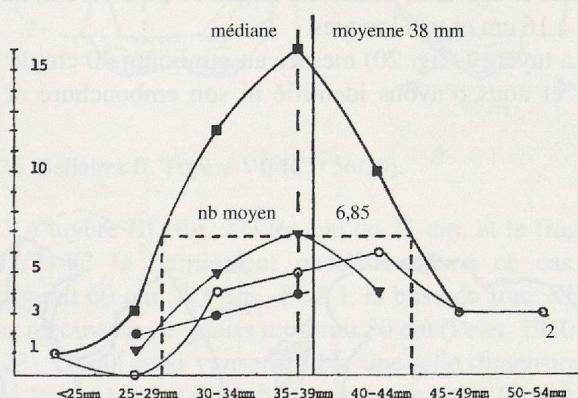


Fig. 17. Bellaires I. Diamètre minimum des tuyères.

- ▼ tuyères en entonnoir, moyenne 37 mm
- tuyères cylindriques, moyenne 33 mm
- fragments de type incertain 41 mm
- ensemble des tuyères, moyenne 38 mm
- 1 fragment aberrant (trou de ringard ou chalumeau, 18 mm)
- 2 fragments déformés par la chaleur

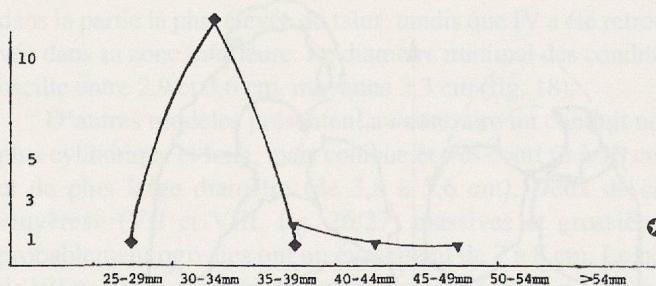


Fig. 18. Bellaires II. Diamètre minimum des tuyères.

- ▼ tuyères en entonnoir très courtes, moyenne 41 mm
- ◆ tuyères cylindriques ultralongues (buses), moyenne 33 mm
- ★ conduits de ventilation naturelle

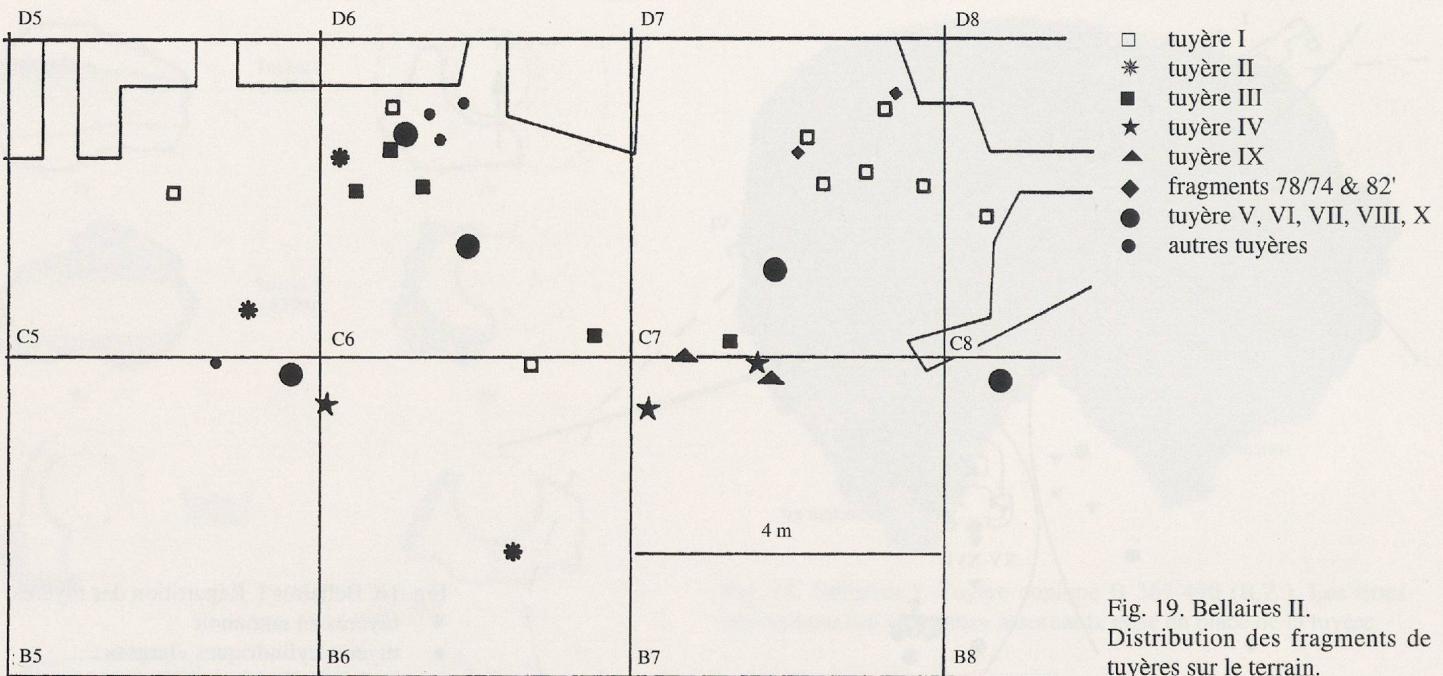


Fig. 19. Bellaires II.
Distribution des fragments de tuyères sur le terrain.

Diamètre minimal des tuyères

Le relevé des 47 échantillons qui ne sont ni des évasements ni des trous de ringard (fig. 17) montre que le diamètre minimal moyen des modèles en entonnoir dont le bec est mesurable est de 39 mm. Les cylindriques, peu nombreux il est vrai, semblent plus étroits (33 mm). Seuls les fragments de type indéterminé dépassent en moyenne 4 cm (41 mm). Le mode des tuyères en entonnoir et celui de tous les échantillons se situent sur la médiane. 81% des tuyères sont groupées dans le secteur délimité par le nombre moyen (entre 30

et 44 mm de diamètre). Les 47 échantillons forment un ensemble homogène.

Une étude par secteur et par couches est plus significative: les six diamètres mesurables des échantillons de la couche supérieure (fours I à IV et VI) atteignent 44 mm. Les tuyères en entonnoir des couches plus profondes ont au contraire un diamètre moyen de 37 mm. La soufflerie des dernières exploitations semble en régression, avec son calibre nettement plus élevé.

Bellaires II

Deux cents débris de tuyères (dont une soixantaine de conduits) étaient dispersés parmi les scories et les restes de four de Bellaires II. 80 morceaux, épars sur 70 m² ont été regroupés et recollés (fig. 19). Ils permettent de reconstituer une série de tuyères d'un type tout autre que celles de Bellaires I: ogivales, massives, larges de 10 à 13 cm, hautes de 15 à 16 cm et très longues.

La tuyère I (fig. 20) mesure au minimum 40 cm de longueur et nous n'avons identifié ni son embouchure ni son

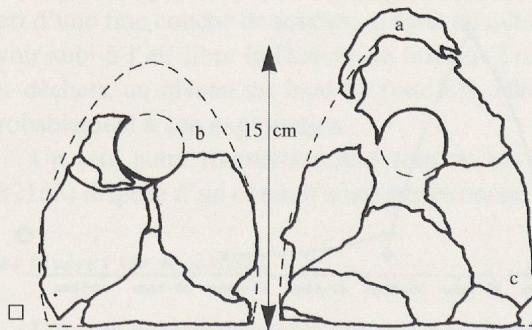
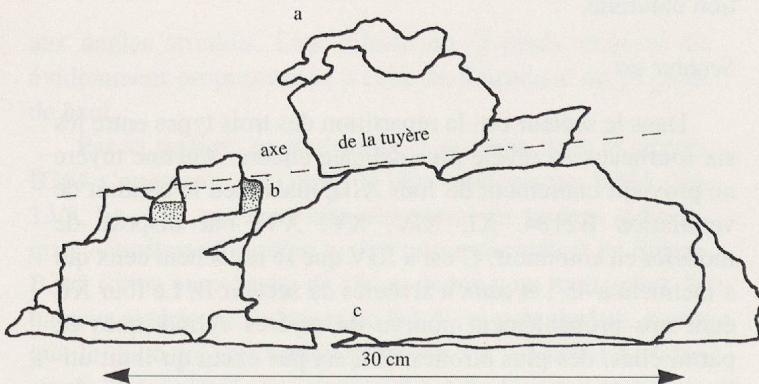


Fig. 20. Bellaires II. Tuyère I (CD56/11; 67/41, 81; 78/5, 11, 68, 81; 89/104).

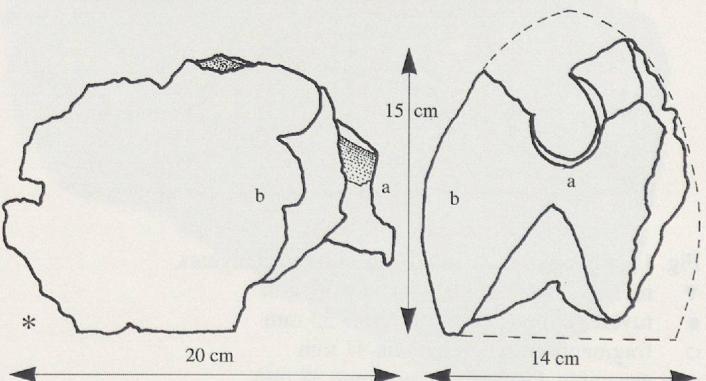


Fig. 21. Bellaires II. Tuyère II (CD56/24; CD67/58, 64).

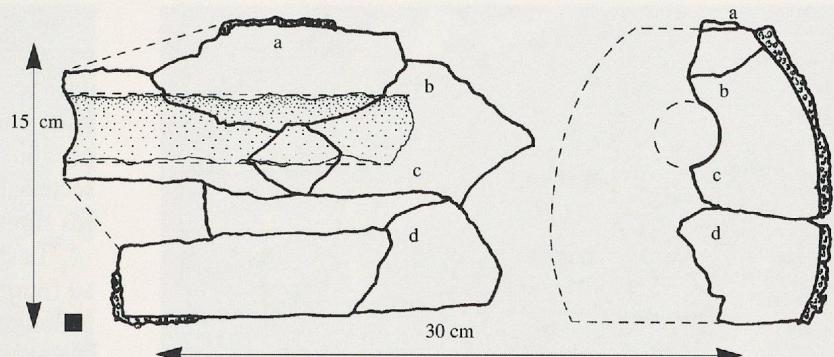


Fig. 22. Bellaires II. Tuyère III (CD 67/2, 20, 37, 82-3; CD78/99).

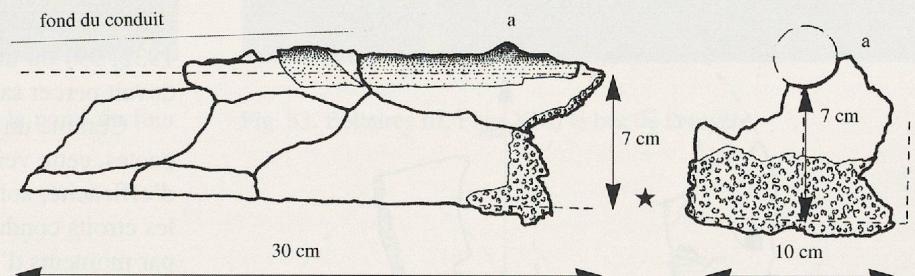


Fig. 23. Bellaires II. Tuyère IV (CB 67/89-92; CB 78/85, 118).

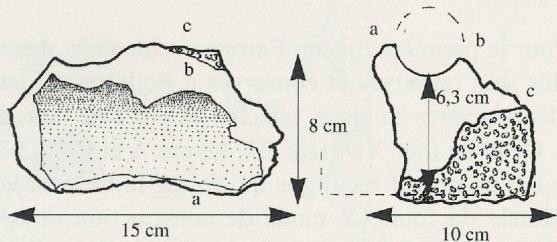


Fig. 24. Bellaires II. Tuyère V (CD 67/42).

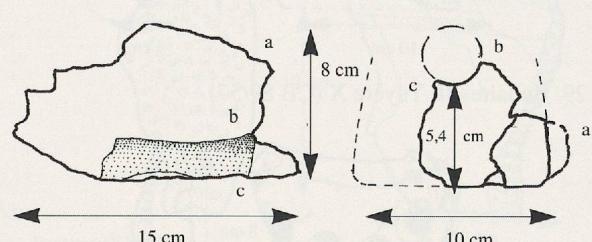


Fig. 25. Bellaires II. Tuyère VI (CD 67/87).

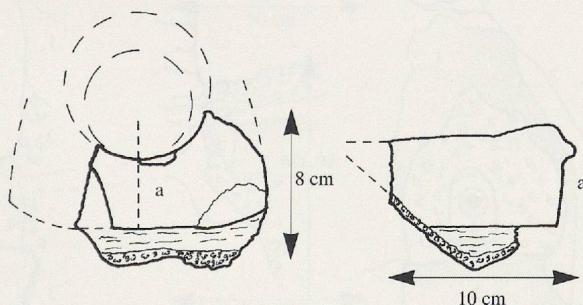


Fig. 26. Bellaires II. Tuyère VII (CD 56/20).

bec. La tuyère III (fig. 22) longue de 21 cm, et le fragment CD78/74-82 la terminaient peut-être. Dans ce cas, elle dépasserait 60 cm. A Prins -Bois I, la buse du four XIX, en glaise recouverte de gneiss mesurait 80 cm (Pelet, 1960a, 70, fig. 23), ce qui rend vraisemblable une telle dimension. De même les tuyères en place dans les fourneaux XIX et XX de Bellaires III atteignent environ 40 cm.

Une enveloppe de glaise enrobait la tuyère I de Bellaires II pour la cimenter à la paroi. Jonction sans doute approximative: la scorie s'est collée sur une longueur de 19 cm contre le flanc de la tuyère III. Les becs de IV et de V (fig. 23-24) appartiennent à une variante aux flancs verticaux dans leur partie inférieure. Les tuyères I, II, III gisent principalement

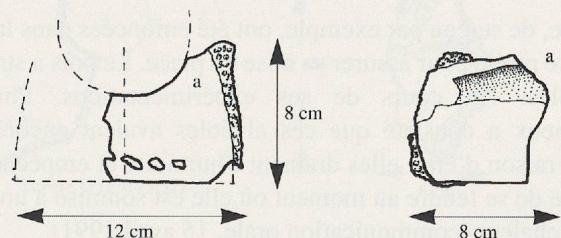


Fig. 27. Bellaires II. Tuyère VIII (CD 78/266).

dans la partie la plus élevée du talus, tandis que IV a été retrouvée dans sa zone inférieure. Le diamètre minimal des conduits oscille entre 2,9 et 3,6 cm, moyenne 3,3 cm (fig. 18).

D'autres modèles présentent au contraire un conduit non plus cylindrique et long, mais conique et très court (5 à 10 cm) et de plus large diamètre (de 3,8 à 5,6 cm). Deux de ces «tuyères» (VII et VIII, fig. 26/27) massives et grossières, probablement ogivales ont un évasement de 7 à 8 cm. Le bec de VII ne paraît pas avoir atteint un diamètre inférieur à 5,6 cm. La tuyère IX, plus soignée (fig. 28) présente un évasement ovale de 9,9 sur 7 cm, qui aboutit à un bec de 3,8 cm. L'encolure est parsemée d'alvéoles circulaires au fond desquelles subsiste un pédoncule de glaise. Des baguettes à moelle

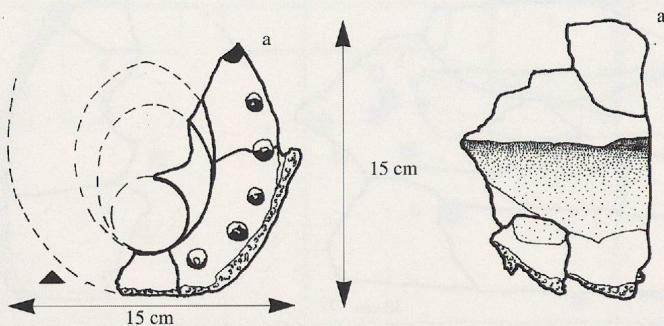


Fig. 28. Bellaires II. Tuyère IX (CB 78/97', 108, 108').

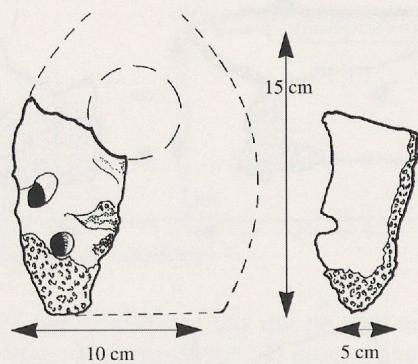


Fig. 29. Bellaires II. Tuyère X (CB 89/57).

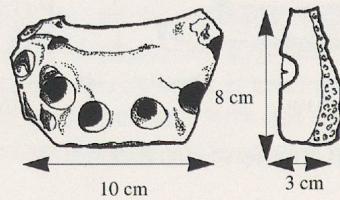


Fig. 30. Bellaires II. Plaque scoriée (CD 78/226).

tendre, de sureau par exemple, ont été enfoncées dans la pâte encore molle pour assurer sa mise en place. Le bois a strié les alvéoles. Au cours de ses expérimentations, Philippe Andrieux a constaté que ces alvéoles avaient encore une autre raison d'être: elles drainent l'humidité et empêchent la tuyère de se fendre au moment où elle est soumise à une très forte chaleur (communication orale, 15 avril 1991).

Plus inattendue encore, la tuyère X (fig. 29) apparaît comme une plaque ogivale de 5 cm d'épaisseur (diamètre du conduit 4,8 cm). La scorie, qui recouvre la face intérieure a glissé par-dessous et a collé au bas de la face extérieure. Les coniques grossières et larges VII et VIII (fig. 26-27) n'ont pas servi de trou de coulée: leur conduit est vierge de scories. Elles suggèrent une ventilation naturelle. Avec leur conduit pratiquement horizontal, les coniques de Bellaires II ne seraient pas encastrées à une certaine hauteur dans la paroi du four, comme celles de XIV de Bellaires I. Elles étaient logées vraisemblablement dans la porte. La plaque scoriée à trous (fig. 30) a pu soutenir l'une d'elles, tout en retenant le métal en voie de réduction.

Parmi les vestiges d'une seule couche archéologique, – d'un seul fourneau, nous avons recueilli les restes de huit tuyères au moins (douze peut-être), quatre à six cylindriques

ultralongues, quatre à six coniques et ultracourtes. Des reconstructions partielles, dont nous retrouvons les traces dans les glaisages, et sans doute une exploitation d'une certaine durée, expliquent le surnombre des tuyères et leur dispersion dans le crassier. Comme dans le secteur II et le secteur III de Bellaires I, des modèles différents ont été utilisés simultanément.

Les ogivales ultralongues traversaient les parois comme au fourneau XIX de Prins-Bois (Pelet, 1960a, 70) ou comme à Bellaires III. Les coniques s'inséraient dans la porte, ou remplaçaient une pointe endommagée. Le fourneau semble avoir possédé au moins deux tuyères ogivales à la fois, plus peut-être, comme certains modèles carinthiens (W. Schmid, 1932, 39) ou africains (Straker, 1969, 22-23). Une conique devait percer sa porte.

Comme un grand nombre de scories sont pâteuses, compactes, cette ventilation multiple paraît avoir manqué parfois d'efficacité, soit que les soufflets aient été trop faibles pour les étroits conduits, soit que les forgerons se soient contentés par moments d'un tirage naturel.

Bellaires III

Pour la première fois en Europe occidentale, deux fours jumelés sont retrouvés et conservés à Bellaires III en 1967 avec leurs tuyères en place, intactes ou peu s'en faut, dans la paroi. Celle du four XIX (fig. 31, tuyère A et fig. 32-33) est posée sur un massif rectiligne qui forme la base de la paroi occidentale du four. Ce mode de construction se retrouve encore dans les «Stückofen» de Vordernberg en Styrie, au

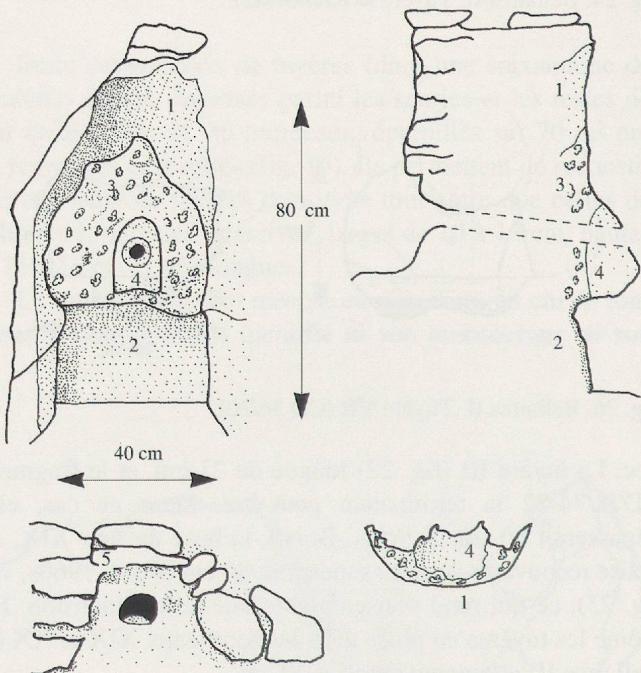


Fig. 31. Bellaires III. Tuyère A (four XIX).

- 1 paroi de la cuve, concave
- 2 paroi du creuset, rectiligne
- 3 motte de scories
- 4 bec de la tuyère
- 5 embrasure de la tuyère



Fig. 32. Bellaires III. Tuyère A encastrée dans la paroi du four XIX.

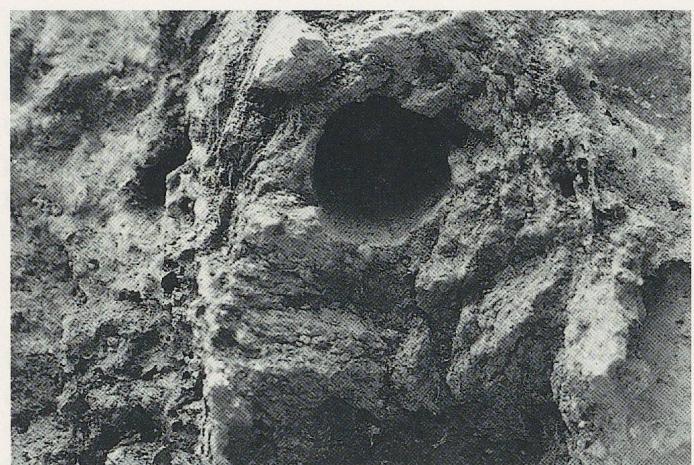


Fig. 33. Bellaires III. Four XIX, le bec de la tuyère.

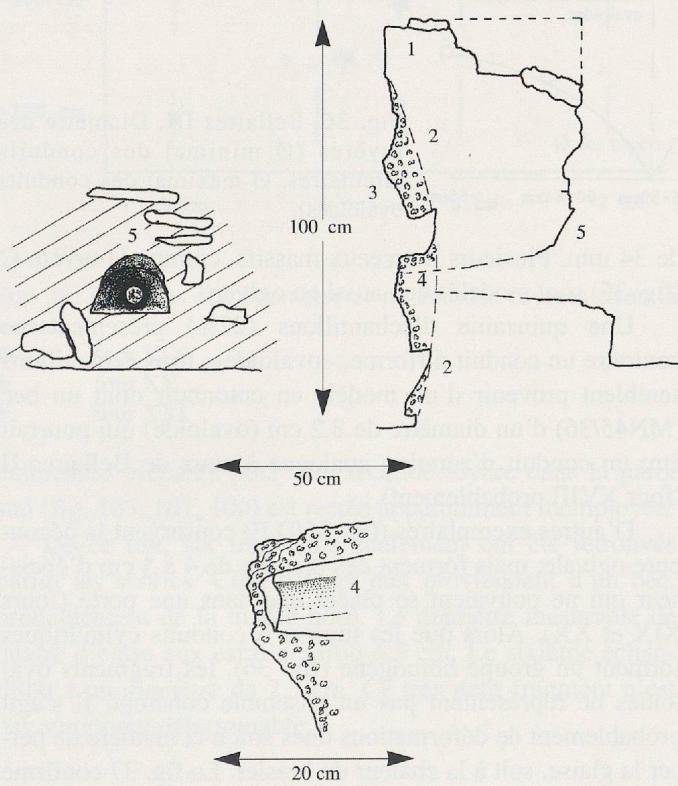


Fig. 34. Bellaires III. Tuyère B (four XX).

- 1 paroi verticale et rectiligne
- 2 paroi concave
- 3 motte de scories
- 4 bec de la tuyère
- 5 embrasure de la tuyère

XVIII^e siècle (Courtivron et Bouchu, 1761-2, III, 35). Le bec de la tuyère, d'un diamètre de 42 mm, débouche à 35 cm du fond. Le conduit est légèrement incliné (5°) en direction du creuset. Il est percé dans une motte de glaise ogivale, analogue par ses dimensions et par sa forme à celles que nous avions reconstituées en 1966 à Bellaires II. Le bec, qui s'avance d'environ 15 cm à l'intérieur de la cuve, est recou-

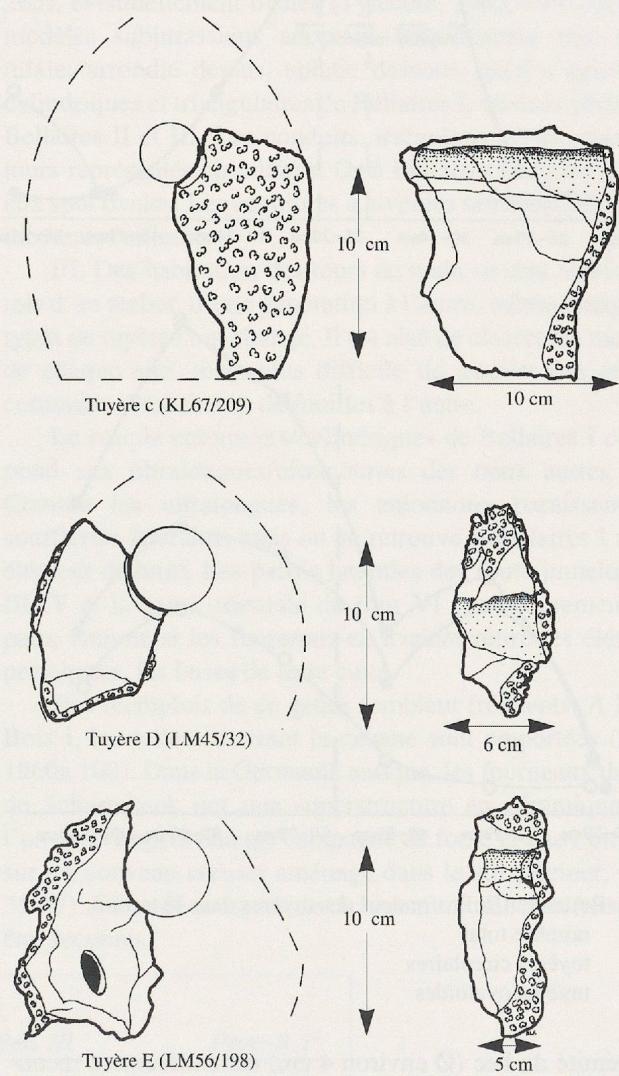


Fig. 35. Bellaires III. Tuyères C, D, E.

vert d'une carapace de scories qui s'étale sur toute la paroi (voir fig. 98). A l'extérieur, l'embrasure est protégée par des pierres (\varnothing du conduit: 8 cm).

La tuyère du four XX (fig. 34, tuyère B) dans la paroi orientale présente une embrasure plus évasée (15 cm).

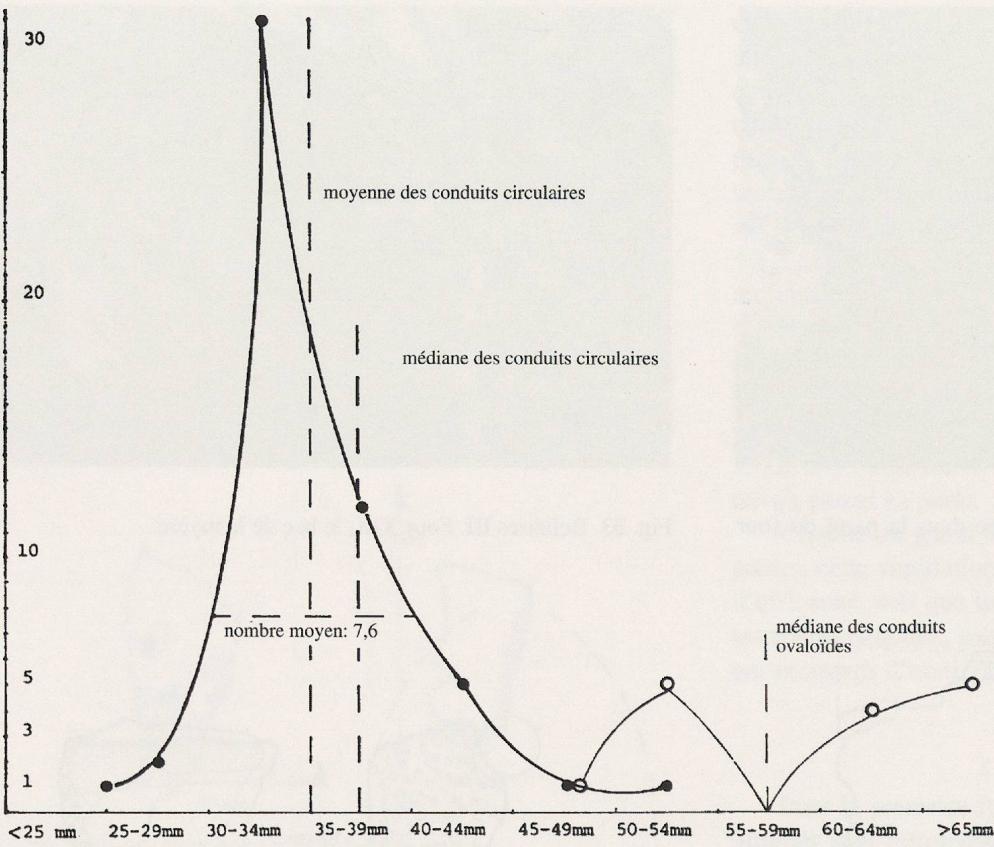


Fig. 36. Bellaires III. Diamètre des tuyères (\varnothing minimal des conduits circulaires, \varnothing maximal des conduits ovaloïdes).

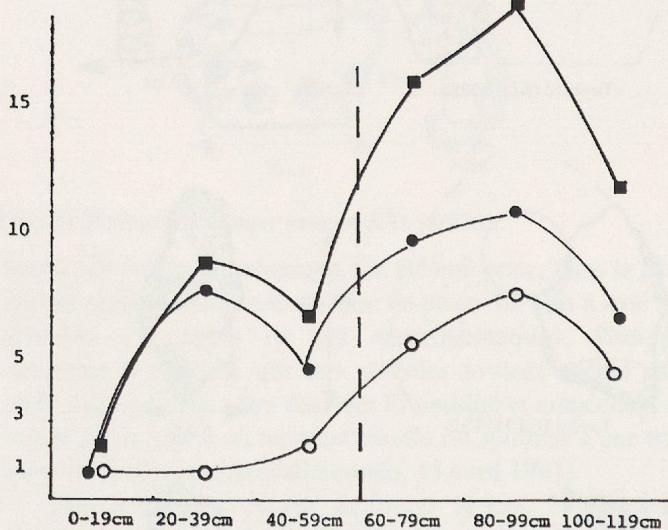


Fig. 37. Bellaires III. Profondeur des tuyères dans le terrain.

- nombre total
- tuyères circulaires
- tuyères ovaloïdes

L'extrémité du bec (\varnothing environ 4 cm) est entièrement recouverte par une couche de scories. Le four a été abandonné après cette obstruction, peut-être à cause d'elle. Le conduit, qui débouche 38 cm au-dessus du fond, est pratiquement horizontal.

Outre les tuyères en place, une cinquantaine de fragments, provenant d'au moins dix-sept tuyères ou conduits différents, relevés dans les déchets, ont un diamètre moyen

de 34 mm. Plusieurs morceaux massifs, comme la tuyère C (fig. 35) sont modelés eux aussi en ogive.

Une quinzaine d'échantillons (22%) présentent au contraire un conduit difforme, «ovaloïde»; trois échantillons semblent provenir d'un modèle en entonnoir dont un bec (MN45/36) d'un diamètre de 8,2 cm (ovaloïde) qui pourrait être un conduit d'aération analogue à ceux de Bellaires II (four XVIII probablement).

D'autres exemplaires (fig. 35/D,E) conservent la découpe ogivale, mais forment des plaques de 4 à 5 cm d'épaisseur qui ne pouvaient se placer que dans une porte (fours XIX et XX). Alors que les tuyères à conduits cylindriques forment un groupe homogène (fig. 36), les fragments ovaloïdes ne représentent pas un ensemble cohérent. Il s'agit probablement de déformations dues soit à la manière de percer la glaise, soit à la chaleur du brasier. La fig. 37 confirme cette hypothèse: leur distribution est analogue à celle des modèles circulaires. Grâce à la clarté de cette stratigraphie, 33 échantillons peuvent être attribués avec certitude aux fours XIX, XX et XXI. Bien que ces fours représentent deux étapes d'exploitation différentes, ils ont utilisé les uns et les autres des tuyères ovaloïdes ou ogivales massives à conduit circulaire. Ni leur forme ni leur diamètre ne varient en fonction du niveau où elles ont été trouvées. La fig. 38 prouve qu'à Bellaires III la soufflerie n'a pas évolué.

Bossena I

Le fourneau unique de la Bossena I sur Ferreyres conservait lui aussi en 1968, lors de sa découverte une tuyère en place dans sa paroi nord, mais passablement détériorée. Une

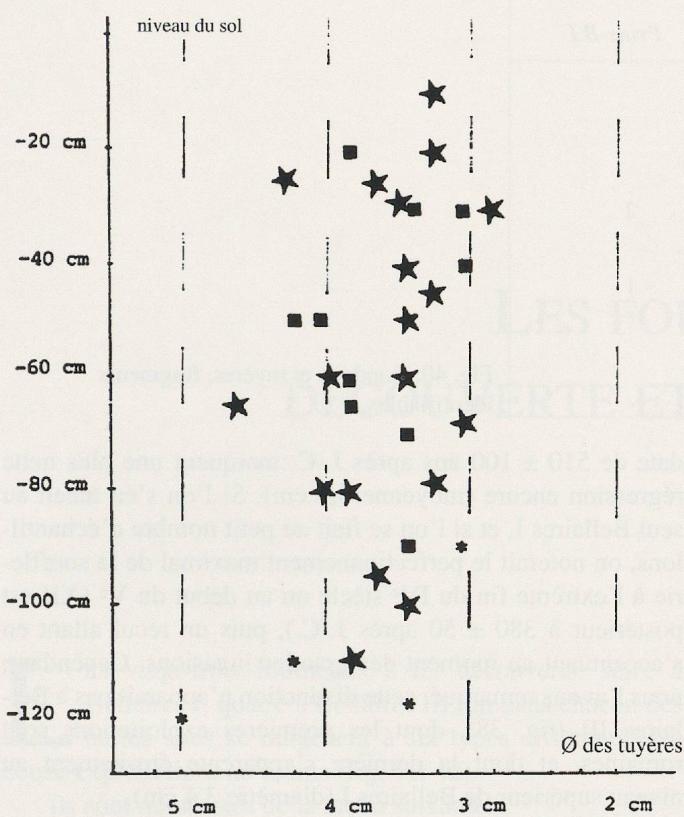


Fig. 38. Bellaires III. Diamètre et niveau des tuyères dans le terrain.

- four XIX
- ★ four XX
- * four XXI

embrasure préparée pour une seconde tuyère dans la paroi sud (fig. 105, 107, 109) est restée apparemment inemployée.

De ce fait, six fragments seulement ont été retrouvés parmi les scores. Cinq d'entre eux proviennent d'un bec, probablement de la tuyère nord. Le diamètre mesurable de quatre d'entre eux est d'environ 4,5 cm. Le sixième échantillon a un diamètre de 2,5 cm. Ce très petit fragment n'est pas autrement déterminable.

Prins-Bois II

Le fourneau de Prins-Bois II n'a livré qu'un seul débris de bec, de 5 cm de longueur, d'un type indéterminable. Ce

morceau, légèrement scorié, a un diamètre irrégulier qui oscille entre 4,8 et 5 cm. Il était peut-être ovale. Cependant, comme aucune embrasure n'a été retrouvée dans les parois bien conservées de ce four, la tuyère ne pouvait prendre place, à l'inverse du modèle de la Bossena I, que dans la porte.

Des tuyères diversifiées

I. Les forgerons du pied du Jura, comme tous ceux de l'Europe celtique, ont repassé de la ventilation naturelle (fours X, XIII) à la ventilation artificielle, mais sans renoncer définitivement à l'ancien procédé; ils s'en sont servi à Bellaires II (four XVII) et à Bellaires III (fours XVIII et XXI).

II. Les tuyères qu'ils ont utilisées aux Bellaires présentent une certaine originalité: partout ailleurs, elles sont ou quadrangulaires ou circulaires (Pleiner, 1958, 12, 233, 257, 263), éventuellement ovales (Tylecote, 1962, 199-201). Les modèles subjurassiens adoptent fréquemment une forme mixte, arrondie dessus, aplatie dessous, qu'il s'agisse des cylindriques et triangulaires de Bellaires I, ou des ogivales de Bellaires II et III. Les conduits, irréguliers certes, sont toujours représentés circulaires. Or à Bellaires III, 22% d'entre eux sont ovales. Les encolures à alvéoles semblent elles aussi inconnues ailleurs.

III. Des habitudes, des tours de main se sont ainsi transmis d'un atelier, d'une génération à l'autre, même lorsque les types de tuyères ont changé. Il est aisément de classer les modèles de chaque site, mais plus difficile de trouver des critères communs d'un champ de fouilles à l'autre.

Le couple entonnoirs/cylindriques de Bellaires I correspond aux ultralongues/ultracourtes des deux autres sites. Comme les ultralongues, les entonnoirs paraissent des souffleries latérales; mais on ne retrouve à Bellaires I aucun élément de buse. Les parois latérales des fours jumelés I-II, III-IV et la paroi orientale du four VI ont entièrement disparu, comme si les forgerons en avaient retiré les éléments principaux, les buses de terre cuite.

Des réemplois de ce genre semblent fréquents. A Prins-Bois I, les tuiles couvrant la cabane sont emportées (Pelet, 1960a, 100). Dans la Germanie antique, les fourneaux du type de Scharbeck ont une superstructure en céramique, que l'on enlève après chaque campagne de fonte et que l'on place sur un nouveau creuset aménagé dans le sol (Pleiner, 1965, 35-37). Faute de marques de tâcheron, un transfert ne saurait être reconnu.

Formes	Bell. I	Bell. II	Bell. III	Prins-B. I ¹
Entonnoir	33 tuyères	1 tuyère	2 tuyères	2 tuyères
Évasement ovale	—	2 conduits	1 conduit	—
Bec ovale	1 entonnoir	1 entonnoir	15	2 entonnoirs
Encolure à alvéoles	4 entonnoirs	1 entonnoir	2 ogivales	
Fonds plats	8 cylindres	1 ogivale	3 ogivales	

1. Pelet, (1960a).

Fig. 39. Facture des tuyères et conduits (éléments sûrs).

Ventilation	Bell. I	Bell. II	Bell. III	Boss. I	Prins-B.I
Conduits:					
Obtus en entonnoir	2	2	1		
Tuyères à entonnoir:					
horizontal à 45°	31 2	1	2		2
Tuyères cylindriques:					
Ø>30 mm	10		1		1
Ø 25-30 mm	2				
Tuyères ogivales:					
ultralongues		4(6) 1	8	1	
ultracourtes		2			

Fig. 40. Conduits et tuyères, fragments identifiables.

Comme les ultracourtes, les cylindriques s'appliquent dans les portes. Elles représentent une variante d'un type fréquemment retrouvé en Europe. Elles se concentrent dans les ateliers intermédiaires de Bellaires I (ateliers III à VIII). Tylecote décrit des plaques circulaires scoriées d'un côté, retrouvées à Ballyvourney en Irlande, qui rappellent les ogivales ultracourtes, mais qui datent du VI^e au X^e siècle.

Il les interprète comme un écran protecteur planté à la pointe du soufflet (Tylecote, 1962, 200-01). La scorification s'explique mal dans ce cas.

IV. Ce qui est certain, c'est que les forgerons ont utilisé simultanément deux types de tuyères à Bellaires I (IX, et probablement VIII et XII), trois même à Bellaires II (XVII) et Bellaires III (XIX, XX).

V. La forme de la tuyère découle en premier chef de sa position dans le four et non de son calibre. D'un type à l'autre, les variations de diamètre sont peu significatives.

VI. Les conduits, peu nombreux, et trop irréguliers, ne révèlent pas une évolution chronologique incontestable. Cette évolution ne fait que s'esquisser à Bellaires I, où l'antépénultième atelier (fourneau XII), possède les tuyères cylindriques les plus étroites, de 2,5 cm au minimum, de 3,4 cm en moyenne. Mais son successeur XIV (à tuyères en entonnoir) retrouve les calibres antérieurs (3,9 cm). Les fours de l'exploitation la plus récente (I à IV et VI), que le carbone

date de 510 ± 100 ans après J.-C. marquent une plus nette régression encore (moyenne 4,4 cm). Si l'on s'en tenait au seul Bellaires I, et si l'on se fiait au petit nombre d'échantillons, on noterait le perfectionnement maximal de la soufflerie à l'extrême fin du IV^e siècle ou au début du V^e (XII est postérieur à 380 ± 50 après J.-C.), puis un recul allant en s'accentuant au moment des grandes invasions. Cependant, nous l'avons remarqué, cette distinction n'apparaît pas à Bellaires III (fig. 38), dont les premières exploitations sont romaines, et dont la dernière s'apparente étroitement au niveau supérieur de Bellaires I (diamètre 3,4 cm).

Certes, les becs des deux tuyères encore en place dans les fours XIX et XX atteignent 4 à 4,2 cm. La mesure de l'extrême pointe, seule accessible, ne nous donne pas à coup sûr le diamètre minimal.

On ne saurait déduire de cette unique constatation que le dernier remaniement des fourneaux est dû à de nouveaux venus.

VII. Enfin, comme le montrera le chapitre suivant, les fourneaux qui utilisent les mêmes tuyères ne se ressemblent pas nécessairement par leur architecture et les modèles apparentés n'ont pas nécessairement des tuyères du même type. De telles interférences suggèrent la transmission de traditions locales survivant à la découverte ou à l'apport de techniques nouvelles.

5

LES FOURNEAUX, DÉCOUVERTE ET RECONSTITUTION

LES vingt-trois fourneaux à fer découverts: seize à Bellaires I, quatre à Bellaires III, un dans chacun des autres sites se rattachent à six types différents et à douze exploitations au moins (fig. 41, 42).

Ils sont numérotés de la façon suivante:

Bellaires I, fours I à XVI

Bellaires II, four XVII

Bellaires III, fours XVIII à XXI

Bossena I, four XXII

Prins-Bois II, four XXIII

La numérotation est établie en fonction du plan de chaque site. Elle commence à partir de l'angle supérieur gauche et se poursuit selon le sens de l'écriture. Elle ne tient compte de la stratigraphie que lorsque deux fours sont superposés. Le plus récent reçoit le numéro le plus élevé. Cette numérotation ne révèle donc ni la succession chronologique générale, ni l'ordre de découverte pendant la campagne de fouilles, mais elle permet un repérage topographique immédiat.

Les découvertes peuvent être divisées grossièrement en trois groupes, dont les fours seront étudiés dans l'ordre suivant:

a) Les vestiges les plus anciens: Bellaires I, fours X et XIII.

b) Les étapes intermédiaires: Bellaires I, fours IX, V, VIII, VII, XI, XII, XV, XVI, XIV; Bellaires II, four XVII; Bellaires III, fours XVIII, XXI.

c) Le niveau supérieur: Bellaires I, fours III-IV, I-II, VI; Bellaires III, fours XIX-XX; Bossena I, four XXII; Prins-Bois II, four XXIII.

a) Les fourneaux les plus anciens

Deux exploitations frappent à la fois par leur implacable degré de destruction et par la profondeur de leur implantation, les fourneaux X et XIII de Bellaires I.

Four X (plan et coupe, fig. 43)

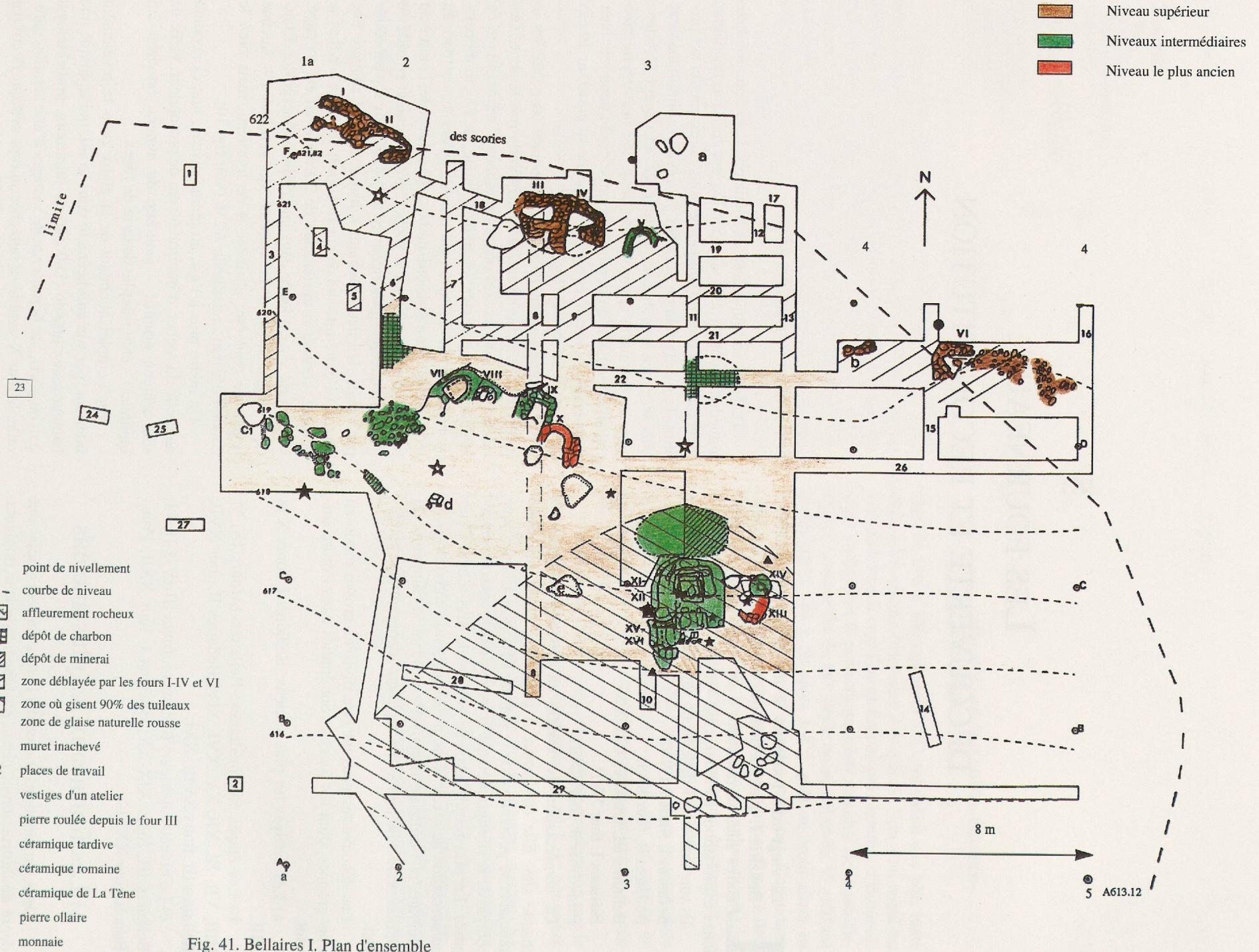
Dans le secteur ouest de Bellaires I, le four est bâti immédiatement en aval du four IX, sur le flanc du même rocher, au bas mot 160 cm au-dessous du niveau du sol primitif. Les deux fours n'auraient pu travailler simultanément sans se gêner. Les maîtres du four IX ont dégagé les alentours en détruisant la paroi ouest de X. Par la suite, un bloc calcaire de plus d'un demi-mètre cube, roulé depuis le haut de la halde l'a écrasé et repose au bas de sa porte sur 19 cm de glaise et de scories (fig. 41).

Il ne subsiste plus du four qu'une trace rougeâtre sur le banc calcaire et, au levant, la fondation du revêtement extérieur, formée de grosses pierres enrobées d'argile (50 cm de largeur). Une poussière de glaise orange, de 78 cm d'épaisseur le recouvre: la cuve était montée en argile. Le fond, en fer à cheval, d'un diamètre de 60 à 70 cm repose, comme au four IX, directement sur le rocher, grossièrement entaillé en forme de cuvette (profondeur 10 cm). La scorie s'y est collée par places. Un décrochement brusque en aval suggère une porte. A l'extrémité sud de la paroi ouest, les traces rouges se perdent, comme si un passage de 20 cm avait été ménagé. Une scorie s'y est logée dans une petite anfractuosité. Était-ce l'emplacement d'un système de ventilation? Aucune tuyère ne peut être attribuée à ce fourneau, mais bien le conduit d'aération naturelle A236 (voir fig. 10).

Un mètre plus à l'est, au même niveau, une excavation naturelle du rocher, d'environ 60 cm de profondeur, vidée de son contenu primitif – peut-être du minerai (environ 2,5 quintaux) – était remplie de terre de forge.

Par l'emploi abondant de la glaise pour le revêtement intérieur, par son enfouissement dans le sol, qui implique une hauteur assez grande (180 cm) au minimum, probablement 2 m ou plus), par la présence de vestiges d'une aération naturelle, le four X semble se rattacher au type celtique décrit par Quiquerez (1866) et par Gilles (1957, p. 181).

L'analyse d'un morceau de charbon faite au laboratoire



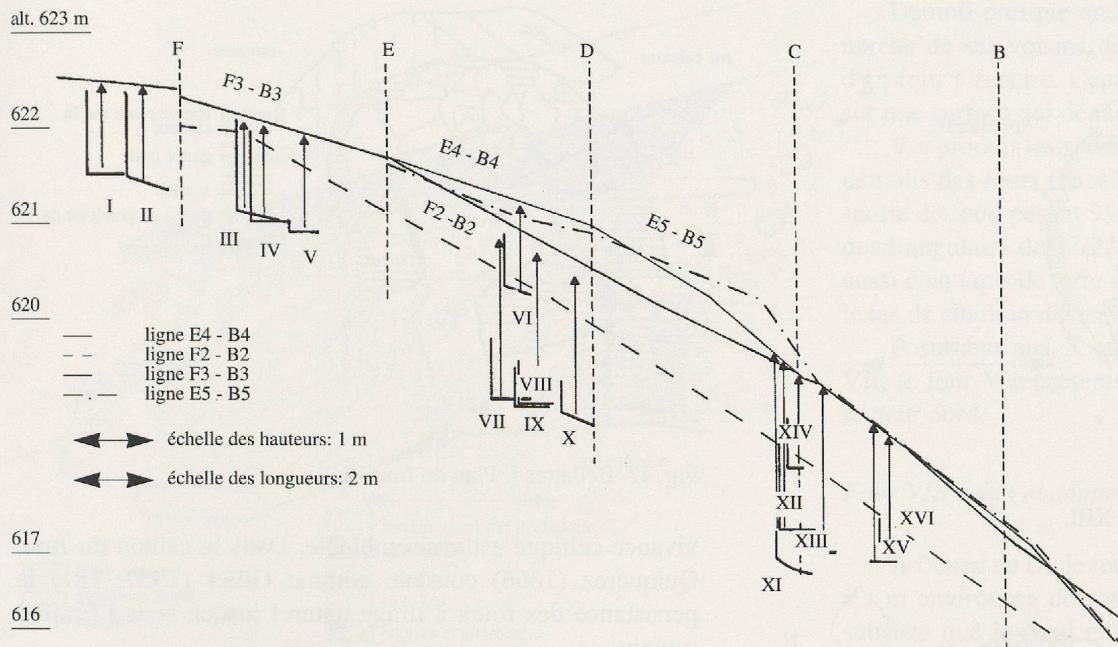


Fig. 42. Bellaires I.
Profil du site selon
les lignes 2, 3, 4, 5.

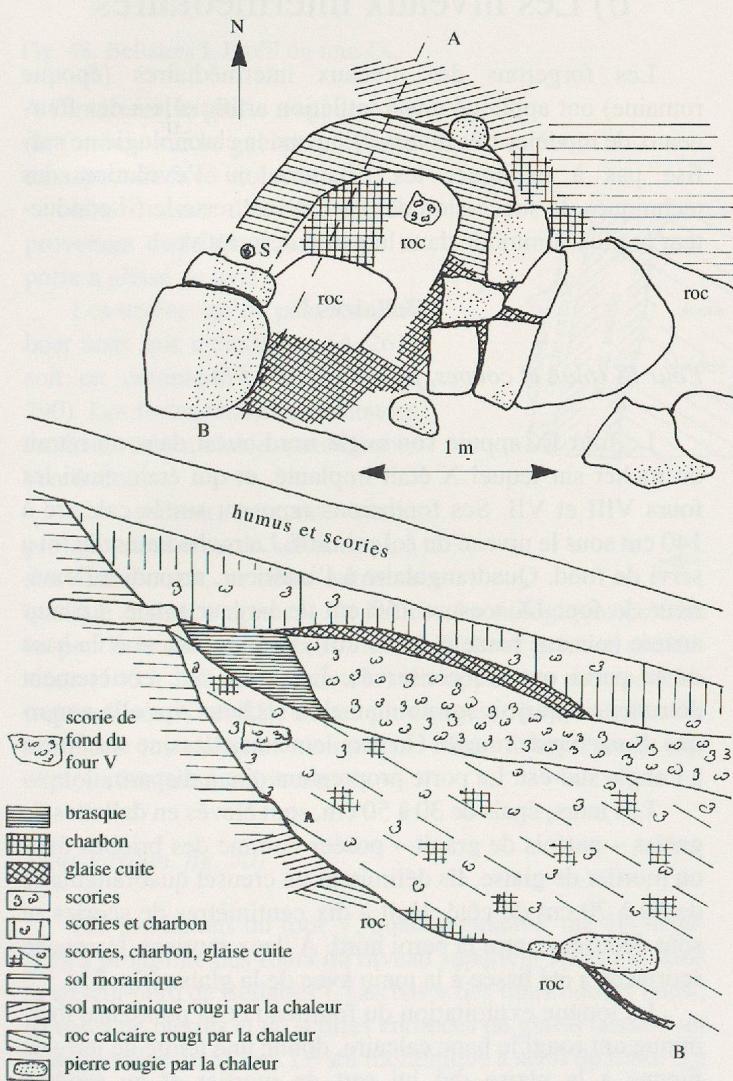


Fig. 43. Bellaires I. Plan et profil du four X.

C 14 de l'Université de Berne (professeur Hans Oeschger) le date de 350 ± 80 avant J.-C., c'est-à-dire de l'époque de La Tène (second âge du Fer).

Four XIII (plan et coupe, fig. 44, 46)

A environ 2 m sous le niveau du talus primitif, le four XIII représente la première installation du secteur oriental. Il s'appuie contre le flanc d'une dalle rocheuse semi-circulaire et repose sur le sol morainique naturel.

Ses vestiges se réduisent à un muret de pierres cimentées de glaise cuite, de 40 cm de hauteur, de 35 à 40 cm d'épaisseur, et subsistant sur une longueur, elle aussi de 40 cm. Une couche de glaise délitée le prolonge sur 35 cm encore.

Les forgerons des entreprises suivantes, désireux de travailler sur sol ferme, ont déblayé méthodiquement la place et remployé sans doute ses pierres, pour les fours XI-XV. C'est pendant cette opération de déblayage que s'est cassée la pioche dont la pointe est analysée plus loin (cf. fig. 162-164). Les déchets du four XIII se distinguent mal, en aval de la terrasse, de ceux de ses successeurs.

Des traces rouges délimitent ses points d'appui contre le talus: sa base atteignait une largeur totale de 150 à 160 cm dans l'axe nord-sud. Le creuset devait former un vide intérieur assez vaste, de 70 à 100 cm de diamètre. Le profond encastrement dans le talus (2 m environ) indique d'autre part un fourneau de taille relativement haute, 2,20 m au minimum.

Aucune des tuyères retrouvées ne peut être attribuée au four XIII, mais bien le conduit B 2184 (voir fig. 10).

Un fragment de céramique de style de La Tène (voir p. 106), est resté implanté à la surface du sol morainique qui soutient les fondations du four XIV. Il devait provenir de la terrasse arrière du four XIII.

Une analyse du C 14 fait remonter ce four à 30 ± 80 ap. J.-C., soit au début de la romanisation de l'Helvétie. Une sur-

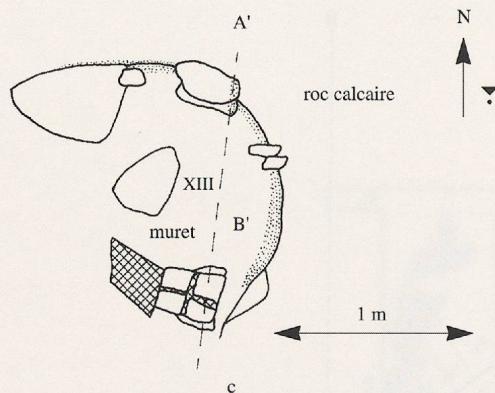


Fig. 44. Bellaires I. Plan du four XIII.

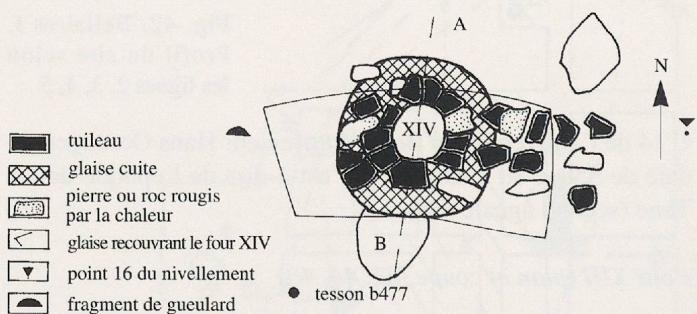


Fig. 45. Bellaires I. Plan du four XIV.

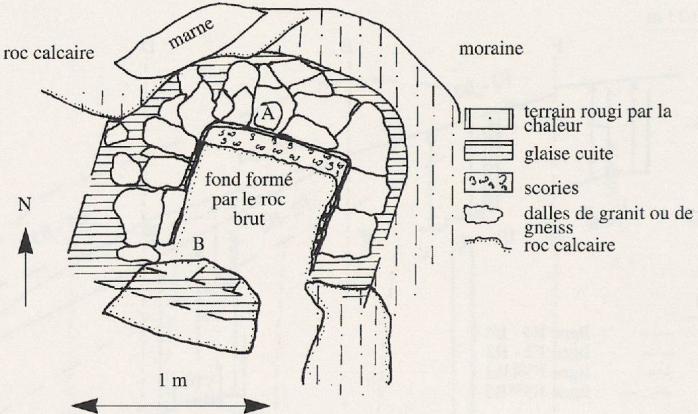
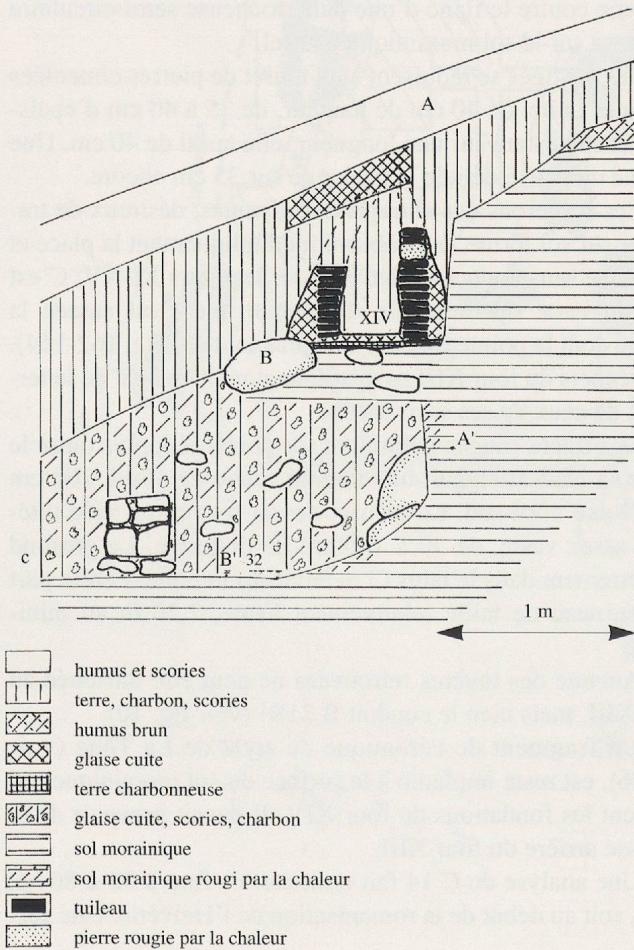


Fig. 47. Bellaires I. Plan du four IX.

vivance celtique est vraisemblable. Dans le canton du Jura, Quiquerez (1866) constate comme Gilles (1957, 181) la persistance des fours à tirage naturel jusque sous l'Empire romain.

b) Les niveaux intermédiaires

Les forgerons des niveaux intermédiaires (époque romaine) ont appliqué une ventilation artificielle à des fourneaux de modèles très divers. Bien que la chronologie ne suffise pas à expliquer les filiations ou l'évolution des techniques, la succession des entreprises reste le fil conducteur le plus commode dans la partie descriptive.

Bellaires I

Four IX (plan et coupes, fig. 47, 48, 49, 51)

Le four IX appuie son angle nord-ouest dans un retrait du rocher sur lequel X était implanté, et qui étaie aussi les fours VIII et VII. Ses fondations reposent sur le calcaire à 140 cm sous le niveau du sol primitif. La roche naturelle lui a servi de fond. Quadrangulaire à l'intérieur, arrondi à l'extérieur, le four IX mesure 150 cm de largeur totale. Le mur arrière (sur une hauteur de 65 cm), le retour ouest et la base de la paroi ont été conservés. La paroi sud, entièrement détruite, s'appuyait sur un mamelon rocheux, qu'elle a marqué d'une bande rouge. Un écoulement se dessine sur 30 cm à l'angle sud-est. La porte proprement dite a disparu.

Les murs, épais de 30 à 50 cm, sont élevés en dallettes de gneiss – parfois de granit – posées comme des briques dans un mortier de glaise. Ils délimitent un creuset quadrangulaire de 60 à 70 cm de côté. Huit à dix centimètres de scories se sont déposés contre la paroi nord. A deux reprises, la couche scoriacée a été lissée à la main avec de la glaise (fig. 51).

La longue exploitation du fourneau et sa puissance thermique ont rougi le banc calcaire, donné une teinte de terre de Sienne à la glaise qui lui sert de mortier et au remblai morainique qui l'isole au nord-est, jusqu'à 70 cm du creuset!

◀ Fig. 46. Bellaires I. Profil des fours XIII et XIV.

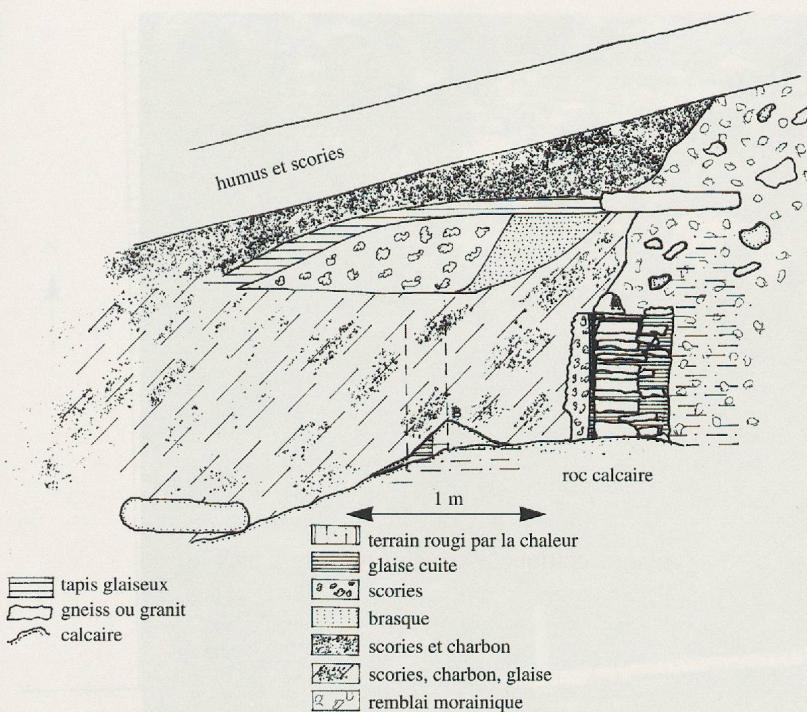


Fig. 48. Bellaires I. Profil du four IX.

A l'intérieur, la glaise a agi comme un fondant sur le gneiss qui prend un aspect de lave violacée.

Une masse d'argile délitée, provenant de la paroi sud et de la porte a glissé en aval.

Les tuyères qu'on peut lui attribuer sont soit cylindrique (A 261) soit en entonnoir (à alvéoles, A 290). Les fortes chaleurs constatées rendent vraisemblable cette double ventilation.

Un tuileau romain perdu presque au niveau du sol naturel, à son flanc ouest, et deux autres à quelque distance donnent un indice chronologique: ce four ne peut être antérieur aux Romains. D'assez grandes dimensions (140 à 160 cm de hauteur) il s'apparente aux modèles trapézoïdaux XI et XII, un peu plus larges, où les tuileaux ont remplacé les dalles de gneiss. Mais il représente une exploitation très antérieure.

Four V (plan, fig. 50)

Les fondations du four V, quadrangulaires, ont été dégagées à proximité des fours du niveau supérieur III et IV, dans le secteur nord de Bellaires I. Les bases des murs nord et ouest, formées de pierres et de scories enrobées de glaise laissent un vide intérieur de 55 cm. Le sol morainique a servi de fond. Il a rougi sur une profondeur de 15 cm. Les déchets de tuyères recueillis avec ses scories prouvent une ventilation artificielle. Leur diamètre moyen est de 4,1 cm (voir page 18).

Démoli presque entièrement, le four V laisse au niveau de ses voisins des vestiges analogues à ceux d'un four à recuire. Cependant, le sol naturel a rougi sur une surface qui dépasse largement son foyer.

V a produit les scories qui ont rempli les creusets démolis des fours IX et X (fig. 43), en particulier une scorie de fond pesant 9,740 kg et formant une masse quadrangulaire de 37/22 cm (fig. 152). Il a recouvert aussi d'un tapis de terre de forge le talus où sera placé le tas de charbon desservant le four VII (fig. 57).

Postérieur aux X et IX, mais antérieur à VIII et VII, le four V représente la première exploitation du secteur nord.

Four VIII (plan et coupe, fig. 52)

A l'ouest de IX, le four VIII repose sur le sol naturel à 1 m environ en dessous du terrain primitif. Il n'en subsiste que le fond et la base de la paroi nord (65 cm). Cette paroi, en glaise pure, légèrement incurvée à l'intérieur, rectiligne au dehors, s'élève verticalement du roc calcaire. Deux couches de dalles de

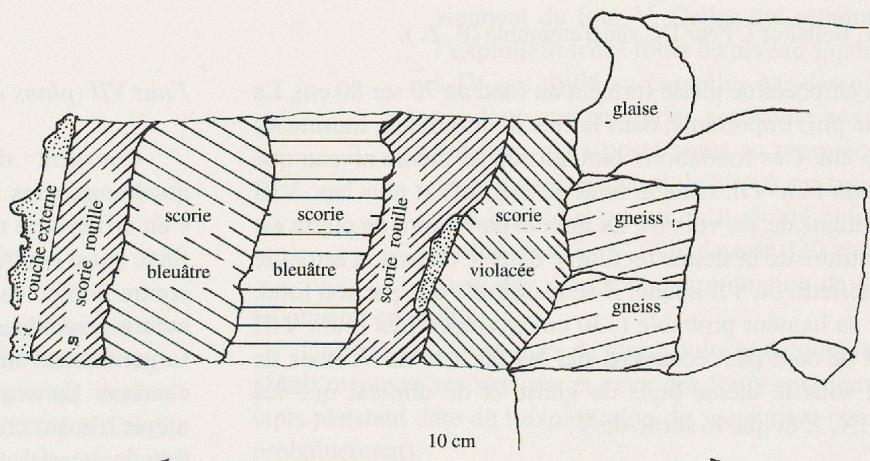


Fig. 49. Bellaires I. Paroi nord du four IX, coupe de la couche de scories.

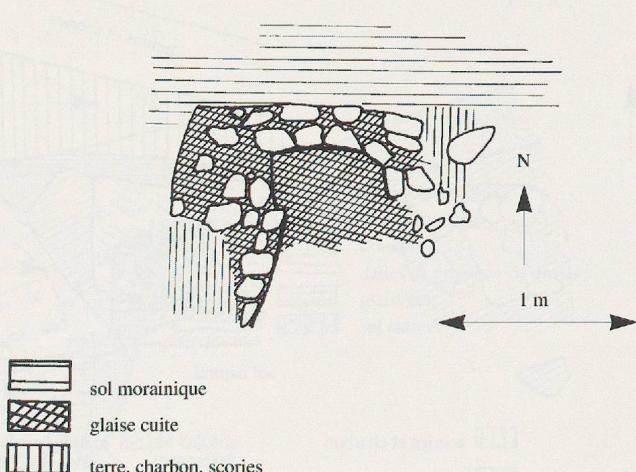


Fig. 50. Bellaires I. Plan du four V.



Fig. 51. Bellaires I. Four IX, vue d'ensemble (B. Z.).

gneiss enrobées de glaise forment un fond de 70 sur 80 cm. La dalle la plus importante, dans la couche inférieure, mesure 42 sur 46 cm. Ces fondations sont situées au même niveau que celles du four VII, mais le fond du creuset est plus bas. VIII se distingue de ses voisins: IX dont la paroi nord de pierre est au contraire de la sienne rectiligne dans le creuset et arrondie à l'extérieur, ou VII auquel il ne ressemble que par son fond, et par sa hauteur probable (130 cm environ). Les fours VIII et VII ne sont pas recouverts par les déchets de V, mais ils gisent sous le même tapis de glaise et de minerai que les fours IX, X et que la sorne de V.

Four VII (plans et coupes, fig. 53-57)

Construit dans le prolongement ouest des fours quadrangulaires IX et VIII et sur le même niveau, le four VII s'en différencie nettement. Bâti en fer à cheval, il appuie son flanc ouest contre un banc de marne blanchâtre, sa paroi nord contre le bloc calcaire. Four en puits typique, il s'enfonce à contre-pente dans le terrain (fig. 54). En amont, à l'ouest, les forgerons ont nivelé une plate-forme pour entreposer leur charbon. En aval, ils ont empierré l'humus. Devant le four même, ils ont creusé une excavation pour faciliter l'évacuation des scories.

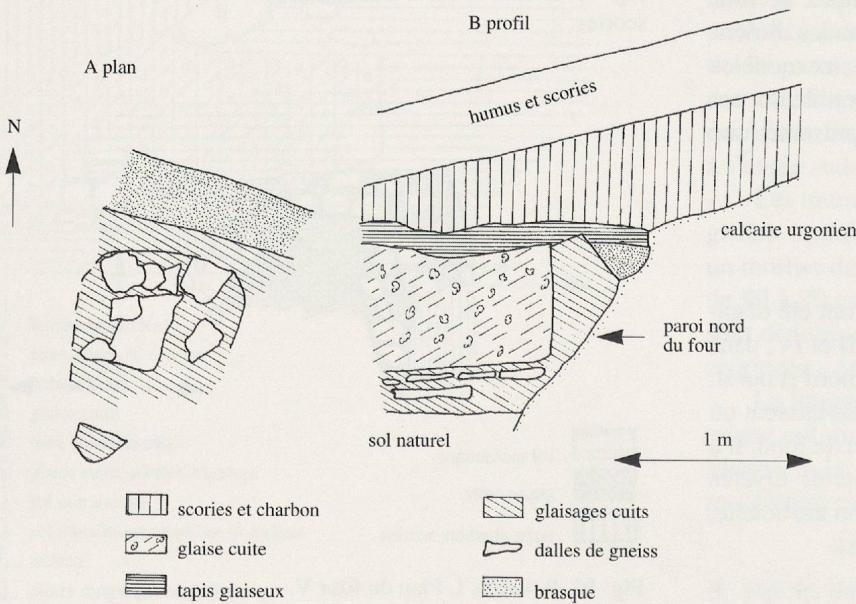


Fig. 52. Bellaires I. Four VIII.

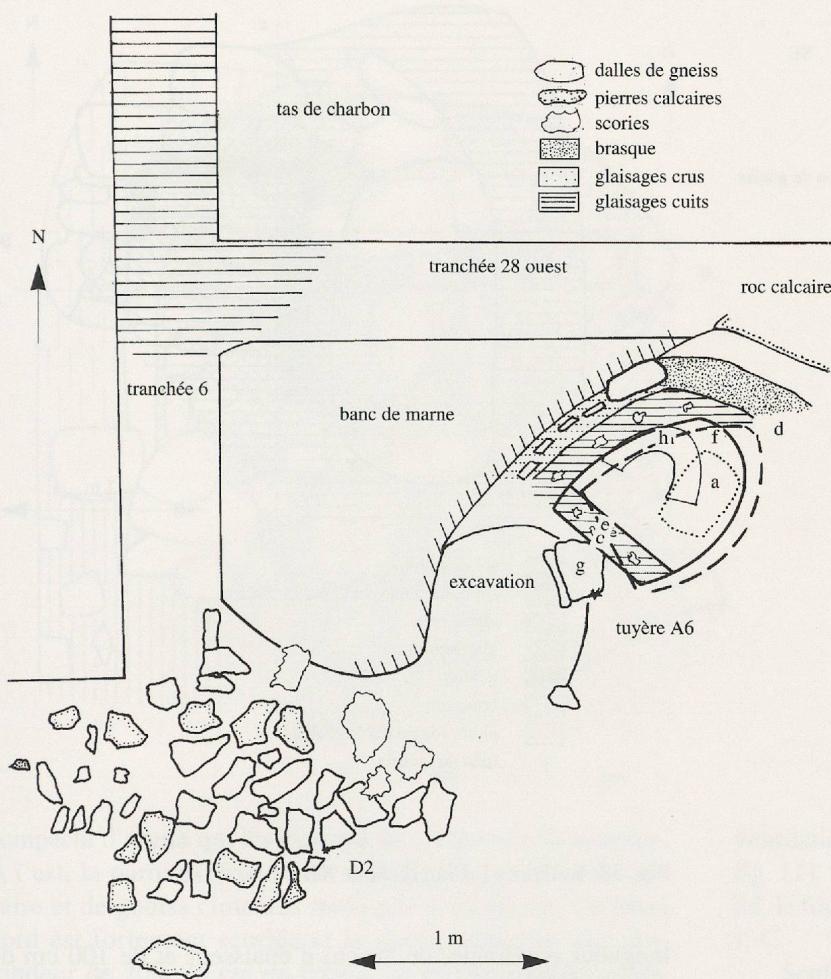


Fig. 53. Bellaires I. Plan du four VII.

La paroi intérieure du four enrobe de sa glaise des scories d'une exploitation plus ancienne. Le revêtement extérieur est formé à l'ouest d'un mur de pierres dressées verticalement contre le banc de marne, et cimentées d'argile crue (fig. 55-56). Au nord, l'interstice entre le banc de rocher

et le creuset est rempli d'un isolant léger, mélange de charbon, de grains de mineraux et d'argile.

Au fond, un bloc de granit de 30 sur 40 cm soutient deux couches de dalles de gneiss noyées dans la glaise. Le four VIII dispose les gneiss de la même façon, mais directement sur le sol naturel. Le granit est l'indice d'une réimplantation dans un sol surélevé et affaibli par les scories de VIII.

En retrait de 10 cm, une dame d'argile (fig. 53 et 54, lettre e) s'appuie sur le fond. Haute de 15 cm, elle semble destinée à retenir la scorie et à soutenir une tuyère. Le fragment cylindrique A6-A295 peut lui être attribué.

L'arc de cercle de glaise très délitée (fig. 53, 54, 56, lettre h) de 15 cm d'épaisseur tombé dans les déchets esquisse un gueulard. Le creuset est asymétrique et s'élève vraisemblablement avec un léger mouvement de torsion (fig. 54).

A 2 m à l'ouest, en amont, un tas de charbon repose sur un lit de scories qui proviennent du four V. Celles qui remontent à l'exploitation des fours du niveau supérieur I à IV ont roulé au contraire par-dessus. VII est donc une entreprise antérieure aux fours jumelés, mais postérieure au premier fourneau du secteur nord, le V et à ses trois voisins immédiats, bien qu'il ait été enfoui à leur niveau. Le C 14 le date de 330 ap. J.-C., avec une marge d'approximation de 80 ans en plus ou en moins.

Une même couche dure de glaise cuite et de mineraux mal réduits recouvre ses vestiges et ceux des fours antérieurs. Ce tapis résistant date de l'exploitation du secteur est (four XII probablement).

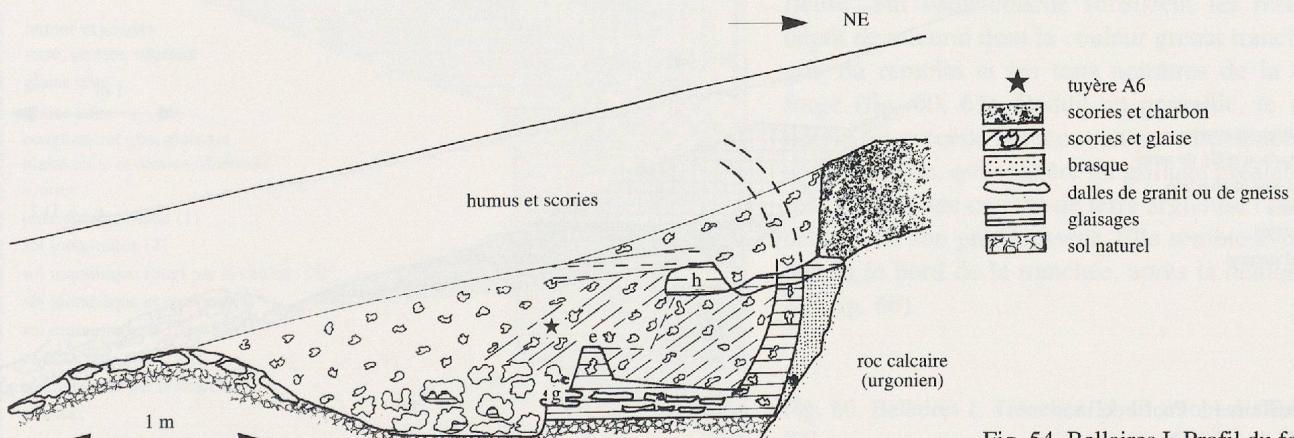


Fig. 54. Bellaires I. Profil du four VII.

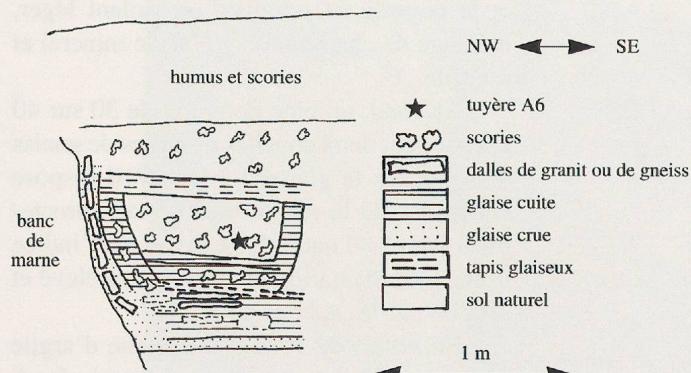


Fig. 55. Bellaires I. Coupe du four VII.

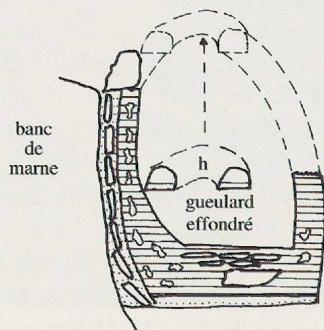


Fig. 56. Bellaires I. Essai de reconstitution du four VII.

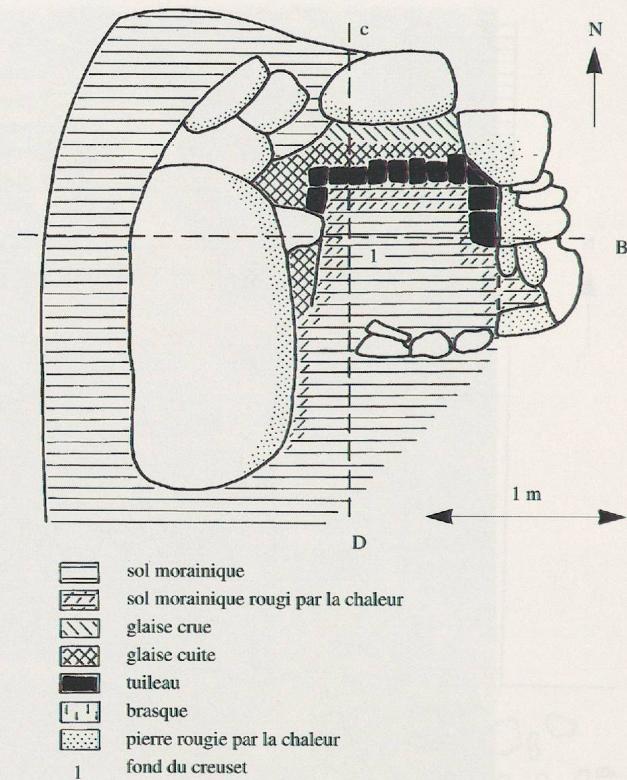


Fig. 58. Bellaires I. Plan du four XI.

Four XI (plan et coupes, fig. 58, 61-66)

Les murs du four XI qui apparaissent sous les fondations de XII, reposent sur une mince couche de déchets provenant de XIII, 135 à 145 cm en dessous du niveau présumé du sol primitif. Il ne reste au fond du creuset que le gravier morainique naturel. Un granit de 50 sur 70 cm (épaisseur 5 à 6 cm), remployé à l'envers dans le four XII (il porte des traces de chaleur sur sa face inférieure) pourrait lui avoir servi de fond.

La paroi nord du terrassement s'élève presque verticalement grâce à une pierre massive, haute de 50 cm, large de 65, pesant quelque 150 kg. A 110 cm du fond, elle s'évase, peut-être à la suite des remaniements provoqués par la construction du four XII. A l'ouest, un bloc calcaire de 160 cm de

longueur maximale, de 80 cm d'épaisseur et de 100 cm de hauteur, pesant près de 2 tonnes, limite la tranchée (fig. 58). Grossièrement équarri, il sert de mur extérieur au four. A l'est, au contraire, le terrassement remonte en pente douce, tandis qu'au sud il se prolonge presque horizontalement sur 2 m environ.

Le creuset forme un trapèze dont la base nord mesure 70 cm, la base sud 80 cm, la hauteur 75 cm. Ce plan asymétrique se retrouve dans le four XII. La paroi sud n'est plus marquée que par une faible bordure de pierres. Les autres murs encore discernables ont une épaisseur qui varie entre 40 et 55 cm. Leur revêtement intérieur est en tuileaux romains. Les tessons de *tegulae* et *d'imbrices*, d'une largeur de 9 à 10 cm, s'enfoncent d'un demi-pied (14 cm) dans la paroi. Ils sont enrobés de glaise. A l'ouest et au nord, c'est une couche

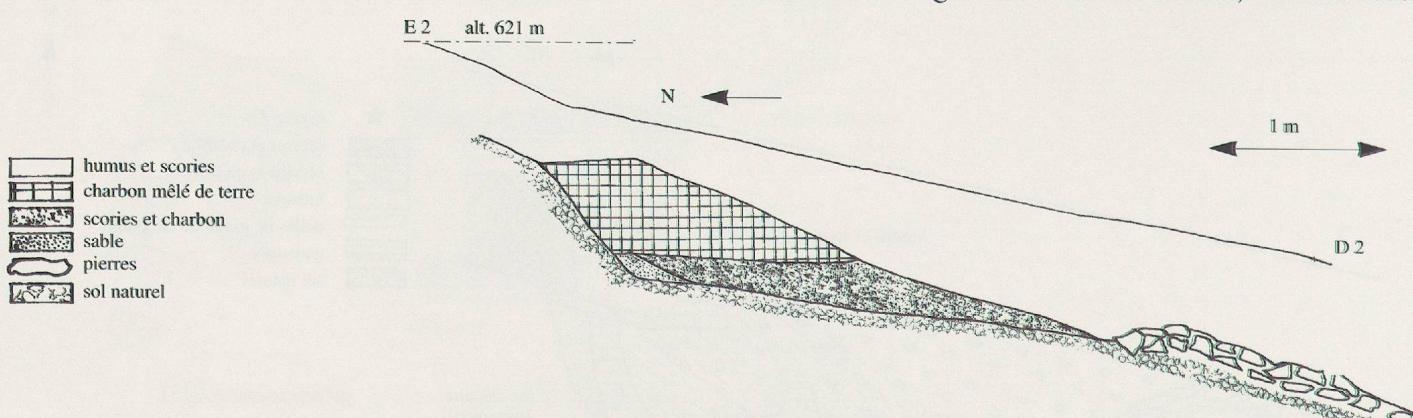


Fig. 57. Bellaires I. Profil de la tranchée 6, de E2 à D2.

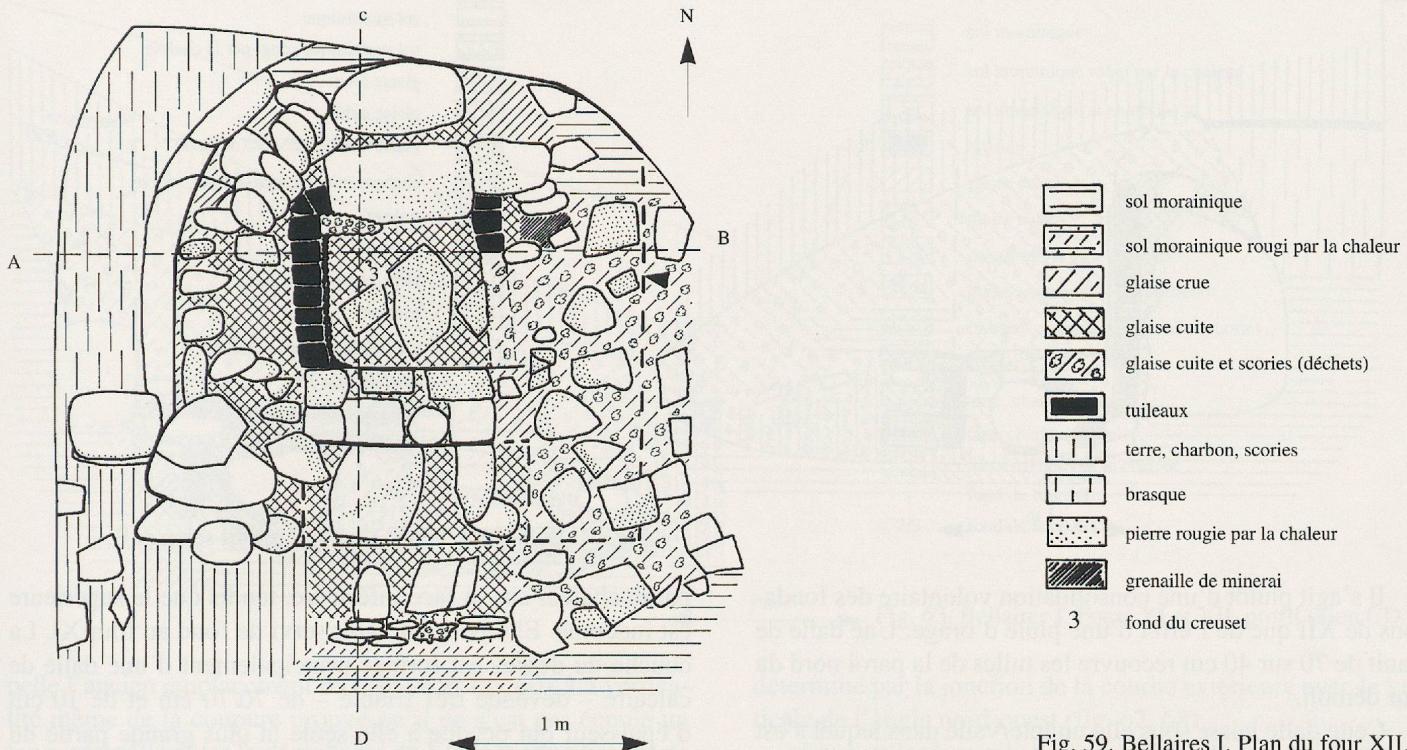


Fig. 59. Bellaires I. Plan du four XII.

compacte d'argile qui les cimente au rocher et à la moraine. À l'est, la paroi extérieure est montée en moellons de calcaire et de gneiss cimentés aussi par de la glaise. La paroi nord est fortement scoriée et la glaise cuite sur une profondeur de 20 à 25 cm en arrière du revêtement de tuiles. Les blocs de rocher ont rougi sous l'effet de la chaleur. La

ventilation se faisait au travers de tuyères en entonnoir (voir fig. 11). Contemporain de XV avec lequel il est étroitement lié, le four XI peut être daté, grâce au C 14, de 380 ± 50 après J.-C.

Seule la partie inférieure du four XI a subsisté, sous le XII. Son creuset a été vidé de ses déchets puis comblé par un bloc de granit de 45 sur 50 cm et de 35 cm de hauteur (poids environ 150 kg), destiné à assurer l'assise du nouveau fourneau.

Four XII (plans et coupes, fig. 59-68).

Bâti sur les vestiges des fours XI et XIII, le four XII, légèrement décentré s'avance de 14 cm plus au sud, et de 5 à 10 cm plus à l'est que son prédécesseur. En amont, la zone de travail a été remaniée (pas d'humus en place) et rehaussée par un apport de 30-40 cm de pelletées de gravier morainique mêlé de terre charbonneuse datant d'une exploitation antérieure. Sur cette couche subsistent les restes d'un dépôt de mineraï dont la couleur grenat tranche sur le gris du remblai et les tons noirâtres de la terre de forge (fig. 60, 67). Réduit en grenaille, le sidéolithique est précédé et recouvert par une mince couche charbonneuse, qui suggère un grillage préalable.

A l'est, une couche de terre argileuse colmate les déchets de son prédécesseur. Elle semble avoir coulé depuis le bord de la tranchée, après la démolition de XI (fig. 66).

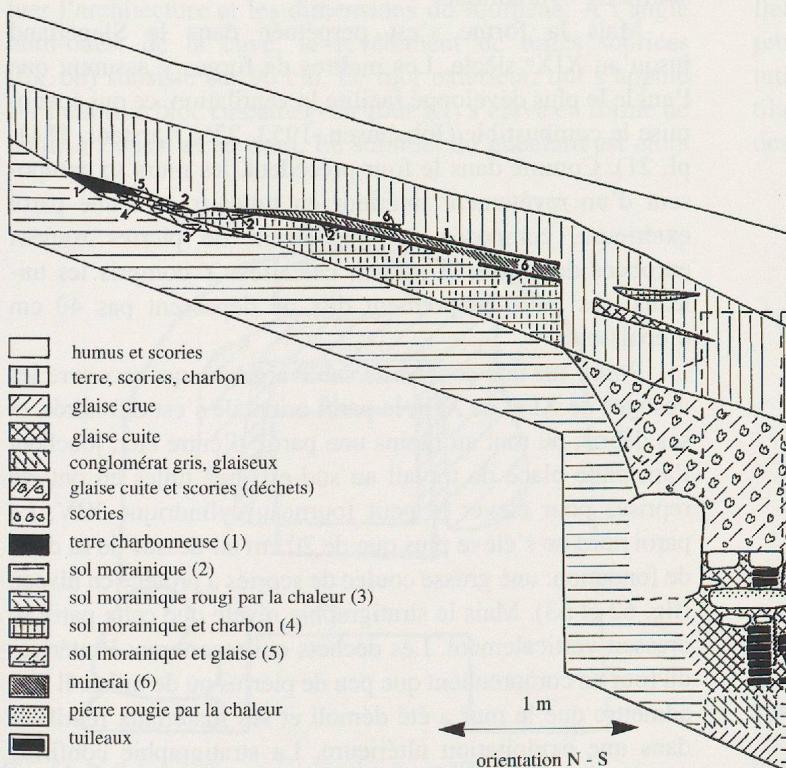


Fig. 60. Bellaires I. Tranchée 11 en amont des fours XI et XII.

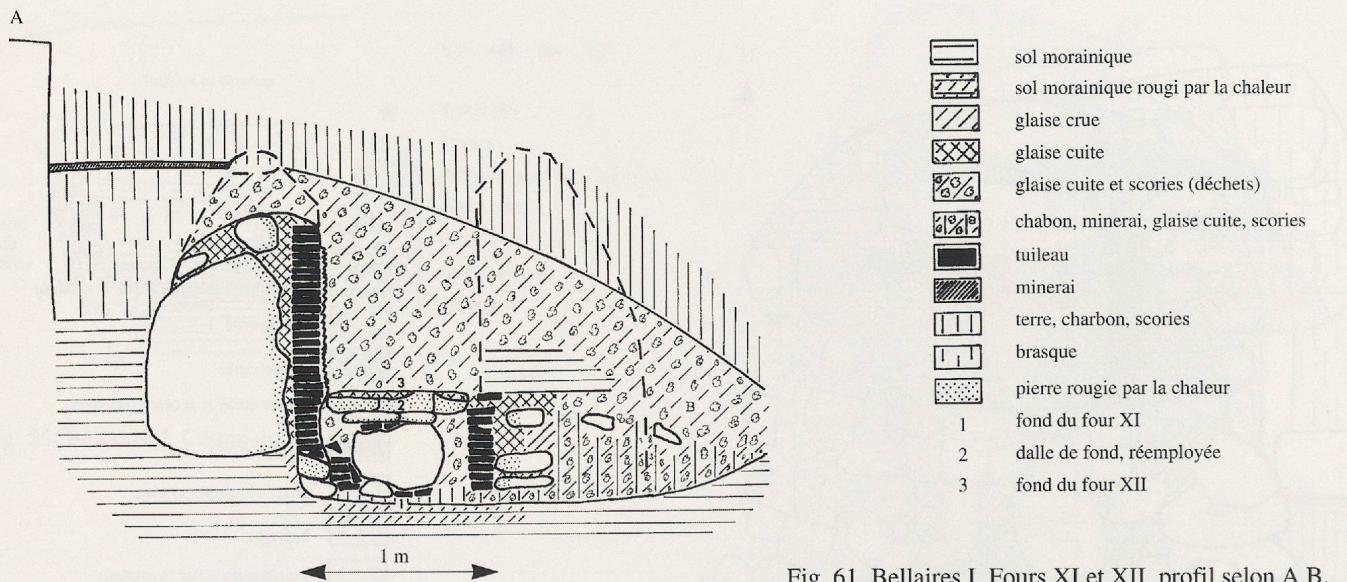


Fig. 61. Bellaires I. Fours XI et XII, profil selon A-B.

Il s'agit plutôt d'une consolidation volontaire des fondations de XII que de l'effet d'une pluie d'orage. Une dalle de granit de 70 sur 40 cm recouvre les tuiles de la paroi nord du four démolî.

Cette dalle laisse sous elle un intervalle dans lequel s'est glissé un os brisé passablement délité (B1031). Cette circonstance est trop unique pour qu'on puisse en déduire un geste rituel.

Sur le granit de 40/50/35 cm qui comble le creuset de XI, huit tuileaux assurent l'équilibre et l'horizontalité du fond du nouveau fourneau, qui est formé de deux couches de dalles enrobées de glaise (épaisseur totale 18 cm). La pierre la plus importante de la couche inférieure, un granit, mesure 50/70 cm sur 5-6 cm d'épaisseur. Matériau de réemploi, elle est rougie

par la chaleur sur sa face inférieure, tandis que la supérieure est indemne. Elle pourrait avoir servi de fond au four XI. La couche du dessus est formée principalement d'une dalle de calcaire – devenue très friable – de 70/70 cm et de 10 cm d'épaisseur qui occupe à elle seule la plus grande partie du fond. C'est la préfiguration d'une technique en honneur jusqu'au début du XIX^e siècle dans la construction des hauts fourneaux (Courtivron et Bouchu, 1761-62, III, 63 et pl. I). Les dimensions intérieures du creuset ne dépassent pas, en effet, 75-80 cm. Comme pour son prédécesseur XI, le creuset du four XII s'inscrit dans un trapèze plus irrégulier encore, plus efficace au dire des techniciens d'autrefois. Sur ce point aussi, le modèle retrouvé à Bellaires I fait figure de précurseur: c'est, à ma connaissance, la première fois que l'on relève cette disposition des parois dans des fourneaux sans soufflerie hydraulique.

Mais la forme s'est perpétuée dans le Siegerland jusqu'au XIX^e siècle. Les maîtres de forges y assurent que l'angle le plus développé facilite la ventilation, ce qui économise le combustible (Johannsen, 1953, 226; Karstens, 1841, pl. 21). Comme dans le four précédent, les murs se composent d'un revêtement intérieur en tuileaux et d'une paroi extérieure, composée essentiellement de pierres roulées enrobées de glaise, la plupart calcaires. Y compris les tuileaux, les murs proprement dits ne dépassent pas 40 cm d'épaisseur.

Posée sur une couche de sable argileux qui recouvre les vestiges de XI et de XIII, la paroi orientale s'est effondrée, et ses débris, ou tout au moins une partie d'entre eux, jonchent l'ancienne place de travail au sud-est. Les tuiles en ont été reprises pour éléver le petit fourneau cylindrique XIV. La paroi nord ne s'élève plus que de 20 cm au-dessus de sa dalle de fondation: une grosse coulée de scories a protégé ce niveau (fig. 62 et 63). Mais la stratigraphie révèle que cette paroi se dressait verticalement. Les déchets qui recouvrent l'intérieur du four ne comprennent que peu de pierres ou de tuiles. Il faut admettre que le mur a été démolî et ses matériaux réutilisés dans une exploitation ultérieure. La stratigraphie confirme cette hypothèse. En amont, la rupture totale des couches rap-

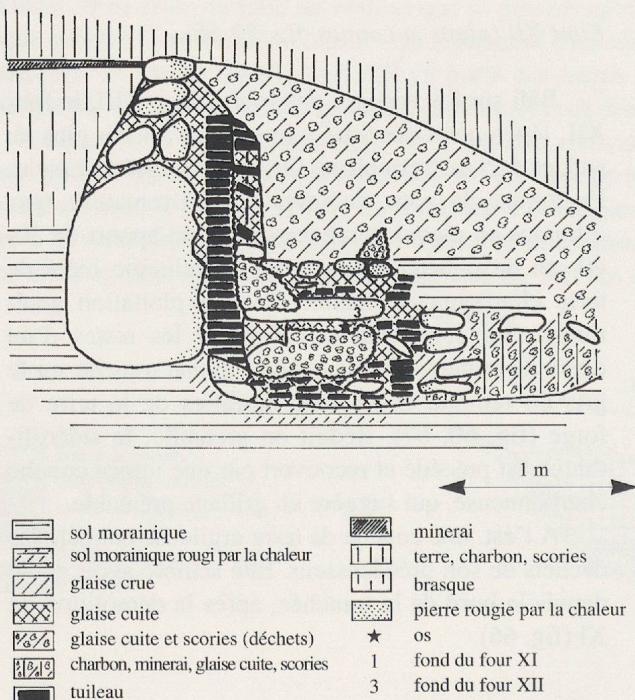


Fig. 62. Bellaires I. Parois nord des fours XI et XII.

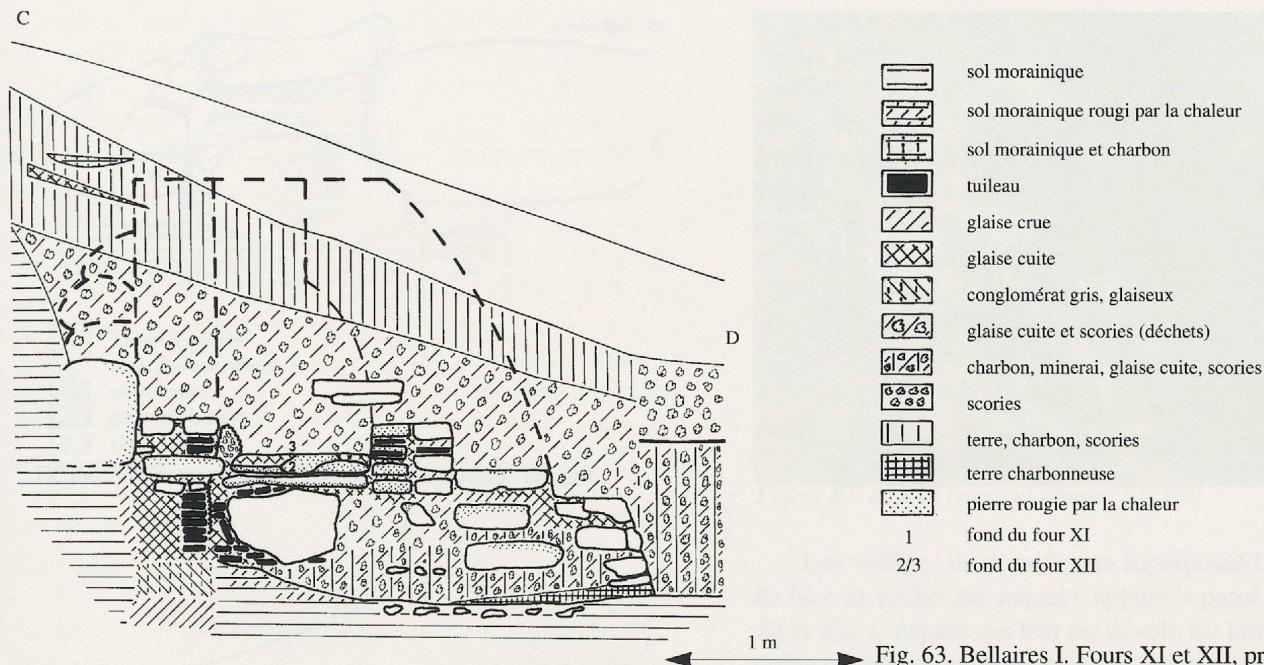


Fig. 63. Bellaires I. Fours XI et XII, profil selon CD.

pelle l'ancien emplacement du four (voir fig. 60). La verticalité même de la coupure prouve qu'il ne s'est pas écoulé un long intervalle entre la démolition de XII et le remplissage de l'excavation. Les forgerons d'une des entreprises suivantes (III, IV ou VI), ont repris les matériaux de cette paroi, ce qui avait un double avantage: procurer les moellons nécessaires à la construction du nouveau four et faciliter l'évacuation de leurs propres déchets. En effet, l'excavation a été presque entièrement remplie par le mélange typique de scories et de grumeaux de glaise, que l'on évacue à la fin d'une fonte (épaisseur maximale de la couche 105 cm). Puis elle a été nivelée par la terre de forge.

La paroi ouest, la mieux conservée, permet de reconstituer l'architecture et les dimensions du fourneau. A l'angle nord-ouest de la cuve, le revêtement de tuiles scorées (fig. 68) subsiste sur 96 cm. Le mur extérieur, qui s'appuie sur l'énorme bloc calcaire (voir four XI) s'élève en forme de dôme à l'ouest et au nord. Le sommet du gueulard est alors

déterminé par la jonction de la courbe extérieure avec la verticale de l'angle nord-ouest (fig. 62, 68).

Le gueulard se situe donc 135 à 140 cm au-dessus du fond.

De la paroi sud, subsiste un muret de 38 cm de hauteur et de 40 cm d'épaisseur, formé de pierres plates et de tuiles romaines. La chaleur n'a pénétré et cuit la glaise qui les cimente que sur 20 cm. Au-delà, l'argile a gardé sa couleur jaune naturelle. La face supérieure du muret ne porte aucune trace de démolition, la glaise y est parfaitement lissée; il semble achevé, complet. Comme il dépasse de 18 cm le fond du fourneau, il peut avoir tenu lieu de la costière sur laquelle reposent les tuyères. Il fermerait ainsi l'embrasure des soufflets, embrasure dont les soubassemens apparaissent dans le profil exécuté selon la ligne CD (fig. 63 et essai de reconstitution, fig. 64-65). La voussure qui devait surmonter la ventilation s'est effondrée. Mais un fragment de mur a chuté en dessus du muret; il s'avance à l'intérieur du creuset et incite

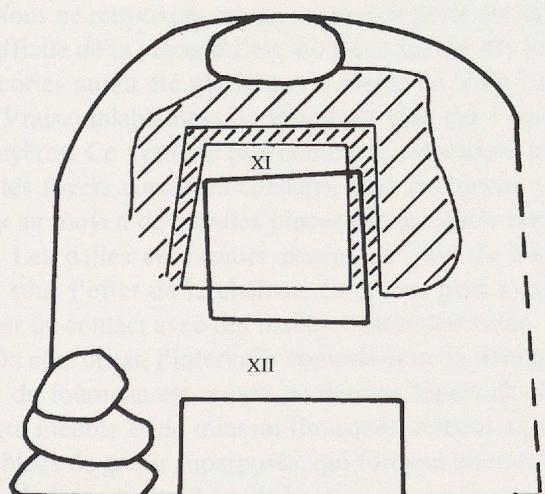


Fig. 64. Bellaires I. Superposition des fours XI et XII.

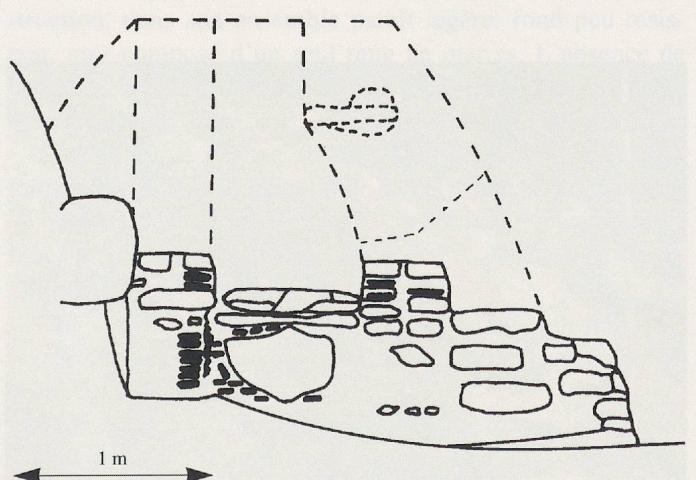


Fig. 65. Bellaires I. Essai de reconstitution du four XII.



Fig. 66. Bellaires I. Four XII et substructure du four XI.



Fig. 67. Bellaires I. Dépôt de minerai en amont du four XII (tranchée 11).



Fig. 68 Bellaires I. Four XII.

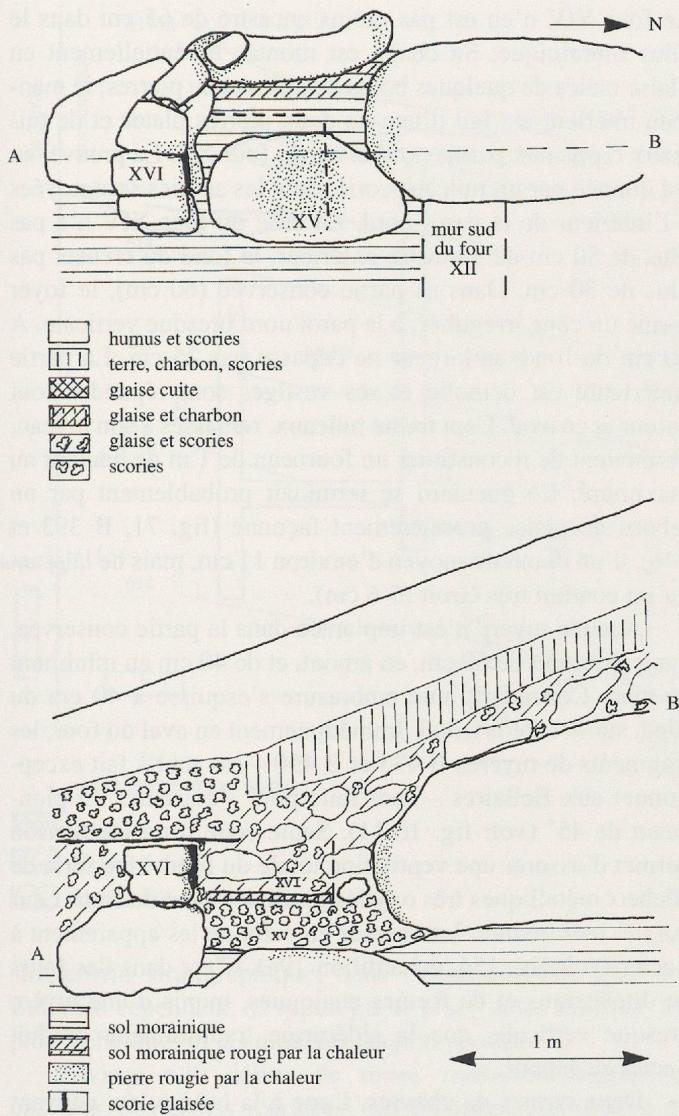


Fig. 69. Bellaires I. Plan et profil des fours XV et XVI.

à penser que la paroi sud s'incurvait et rétrécissait l'ouverture du gueulard, donnant au foyer une forme de cornue, (fig. 63 selon profil CD et essai de reconstitution) comme dans les fours jumelés XIX et XX de Bellaires III par exemple. Nous ne retrouvons aucun vestige de porte au sud. Il eût été difficile de la placer à l'est, où l'évacuation des loupes et des scories aurait été gênée par la forme en V de l'excavation. Vraisemblablement, le four était vidé par l'embrasure des tuyères. Ce système peu commode est encore employé dans les foyers corses ou catalans, dont les loupes sont extraites au moyen de grandes pinces par-dessus le bord de la cuve. Les dalles en escalier posées au pied du muret ont rougi sous l'effet de la chaleur, ce qui ne peut s'expliquer que par un contact avec des matières incandescentes.

Du côté ouest, l'intervalle compris entre la tranchée et le dôme du fourneau est rempli de détritus légers de charbon, de terre meuble et de minerai (brasque), retenus au sud par deux blocs de granit superposés, qui forment un mur de 45 à 50 cm de large et de 40 cm de haut.

Aucune tuyère n'est mêlée aux déchets des parois.

Cependant deux pièces, le fragment B 364 (cylindrique, diam. 3,5-4 cm) et la tuyère entière B 365 (fig. 13, 15), recueillies dans les scories en aval du fourneau, au niveau même du creuset, semblent lui appartenir. Toutes deux sont destinées à être posées à plat; B 365 n'a pas été encastrée dans une paroi. Ses côtés et son dos ont subi l'effet de la fournaise, mais sans agglutiner beaucoup de scories, comme les becs coniques qui s'avancent dans le creuset. Elle devait être placée dans une embrasure. Seule tuyère courte (14 cm) retrouvée intacte en Suisse, elle est du diamètre le plus étroit (2,5 cm). Nous n'en relevons que deux échantillons. Le four XII, à la forme très étudiée, semble avoir disposé, de plus, d'une soufflerie perfectionnée.

Fours XV et XVI (plan et coupe, fig. 69)

Les vestiges de deux foyers superposés flanquent le sud du bloc de rocher sur lequel s'appuie la paroi ouest des fours XI et XII. L'espace qui leur est dévolu est limité à un mètre à peine par un second banc calcaire, lui aussi en place.

Four XV: l'existence du four XV est révélée par les marques de chaleur qui rougissent d'une part le fond et d'autre part les flancs des rochers qui le bordent. Ces traces ne peuvent provenir du foyer postérieur; elles appartiennent au niveau stratigraphique du four XI. Le carbone 14 les date de 380 ± 50 après J.-C.

Four XVI: vingt-cinq centimètres de scories compactes séparent les maigres vestiges de XV du fond de XVI. Ce second foyer est décalé de quelque 10 cm plus au sud (comme XII par rapport à XI).

Il est délimité lui aussi par les traces rouges repérables à un niveau plus élevé sur les rochers au nord, au sud et à l'ouest, où même le sol morainique a rougi. Un seul mur de moellons d'origine glaciaire (largeur 35-40 cm), cimenté de glaise, subsiste au sud. Il s'incurve en quart de cercle vers l'ouest. Deux de ses pierres sont liées par une scorification, que les forgerons ont reglaissée. Le foyer atteignait au maximum 70 cm du nord au sud, 50 à 60 cm de l'est à l'ouest. La plus grande dimension extérieure (nord-sud) ne dépasse pas 140 cm. Le fond – 5 cm de glaise durcie, et noircie par le charbon – repose sur un remblai de scories (25 cm). La construction, dans son ensemble paraît légère: fond peu résistant, mur composé d'un seul rang de pierres. L'absence de tuiles romaines comme revêtement intérieur le différencie de ses proches voisins.

L'emploi de pierres glaciaires rappelle au contraire les fours du niveau supérieur (I à IV et VI). Mais la stratigraphie ne permet pas de les rapprocher chronologiquement. Les fours XV et XVI ont été implantés avant l'abandon des fours XI et XII.

Ils sont recouverts par les pierres qui en sont tombées. Par la suite, cette couche de déchets a été masquée par les scories provenant de III-IV et de VI.

Le four XV, nous l'avons dit, se trouve en étroite connexion archéologique avec XI. XVI se retrouve au niveau de XII. Pourtant XV et XI, XVI et XII ne forment pas des couples comme les fours jumelés I-II, III-IV (voir pp. 48-51).



Fig. 70. Le four XIV avant son dégagement.

Leur bâti, leurs dimensions sont trop différents; d'autre part, leurs foyers ne sont pas alignés, mais à angle droit. Ils sont trop proches pour que les forgerons aient pu y travailler simultanément. XV et XVI semblent moins des fourneaux de réduction que des fours à recuire que l'on utilise après les chauffes de XI ou de XII.

Four XIV (plan et coupe, fig. 45-46, 70)

Bâti presque exactement au-dessus du four XIII, mais 110 cm plus haut, le four XIV doit sa position surélevée à l'abondance des déchets provenant des exploitations XI et XII. Ses bâtisseurs accentuent la pente en amont (elle passe de 19 à 33°), rafraîchissent la tranchée en la reculant de quelque 10 cm (pente 86°). Ils jettent leurs déblais, formés principalement de tout-venant d'origine morainique par-dessus les scories, les tuiles, les pierres et la glaise délitée provenant des fours XI et XII. Pour assurer une couche de fond suffisamment résistante, ils dament fortement leur remblai.

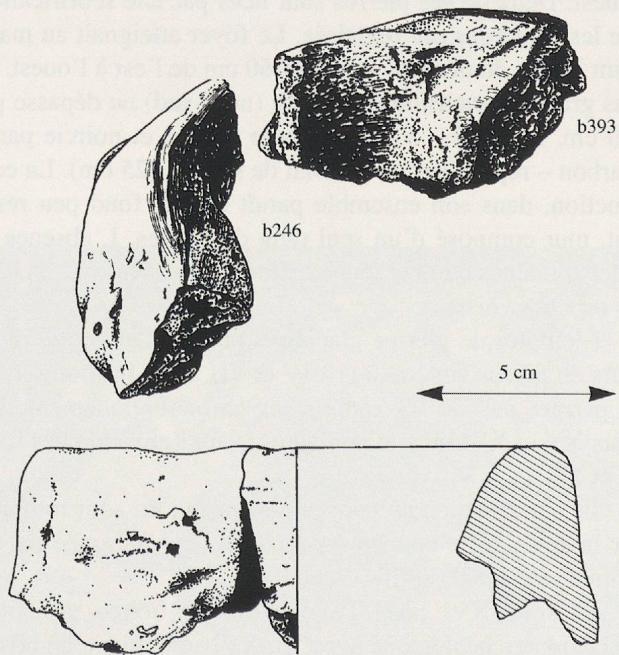


Fig. 71. Bellaires I. Rebord du gueulard du four XIV.

Le four XIV n'en est pas moins encastré de 65 cm dans le talus morainique. Sa chape est montée essentiellement en glaise mêlée de quelques bouts de tuiles et de pierres; le manteau intérieur est fait d'une ou deux pierres plates et de tuileaux repris aux parois nord et est du four XII. La preuve en est donnée par un tuileau scorié, dont les scories sont noyées à l'intérieur de la paroi nord. La base du four XIV n'a pas plus de 80 cm de diamètre extérieur, le fond du creuset pas plus de 30 cm. Dans sa partie conservée (60 cm), le foyer forme un cône irrégulier, à la paroi nord presque verticale. A 40 cm du fond, sa largeur ne dépasse pas 25 cm. La partie supérieure est démolie et ses vestiges sont répandus tout autour et en aval. Cent trente tuileaux, ramassés à son niveau, permettent de reconstituer un fourneau de 1 m de hauteur au maximum. Le gueulard se terminait probablement par un rebord de glaise grossièrement façonné (fig. 71, B 393 et 246), d'un diamètre moyen d'environ 11 cm, mais ne laissant qu'un conduit très étroit (5-6 cm).

Aucune tuyère n'est implantée dans la partie conservée, haute pourtant de 60 cm, en amont, et de 40 cm au minimum en aval. Cependant, une embrasure s'esquisse à 40 cm du fond, sur le côté oriental. Immédiatement en aval du four, les fragments de tuyères B 433 et B 490 – cas tout à fait exceptionnel aux Bellaires – sont faits pour s'encastrener en plongeant de 45° (voir fig. 10-11). Seule cette forte inclinaison permet d'assurer une ventilation totale du fond. Une série de déchets métalliques très oxydés gisaient à l'est du four. Leur dureté, leur texture, leur teneur en carbone les apparentent à l'acier (voir fig. 154, échantillon 19a). C'est dans des fours de dimensions et de formes analogues, munis d'une tuyère presque verticale, que la sidérurgie traditionnelle produit l'acier au Japon¹.

Deux cornes de chèvres, l'une à la base sciée, peuvent être rattachées à son niveau.

Sous les scories venues du haut du talus, une zone de glaise rouge délitée de forme rectangulaire couvre le fourneau. Mais elle en est séparée par une couche de terre de forge très charbonneuse de 20 cm d'épaisseur. Cette nappe de glaise doit dater des dernières exploitations.

Le four XIV ne s'apparente à ses prédecesseurs que par les matériaux qu'il leur emprunte. Il diffère de tous les autres fourneaux de Bellaires I par ses dimensions réduites: il entrait tout entier à l'intérieur du creuset du four XII, son prédecesseur. Il s'en distingue aussi par la position de sa soufflerie. Postérieur au four XII, antérieur aux fours jumelets, il doit remonter au Ve siècle ap. J.-C.

Bellaires II

Four XVII (fig. 72-77)

Rattacher l'unique fourneau de Bellaires II aux étapes intermédiaires peut paraître inadéquat d'un point de vue

1. Nancy, Musée du fer, Rencontre-atelier, du 1 au 15 juin 1989 entre archéologues et maîtres armuriers (fabricants d'épées) japonais.

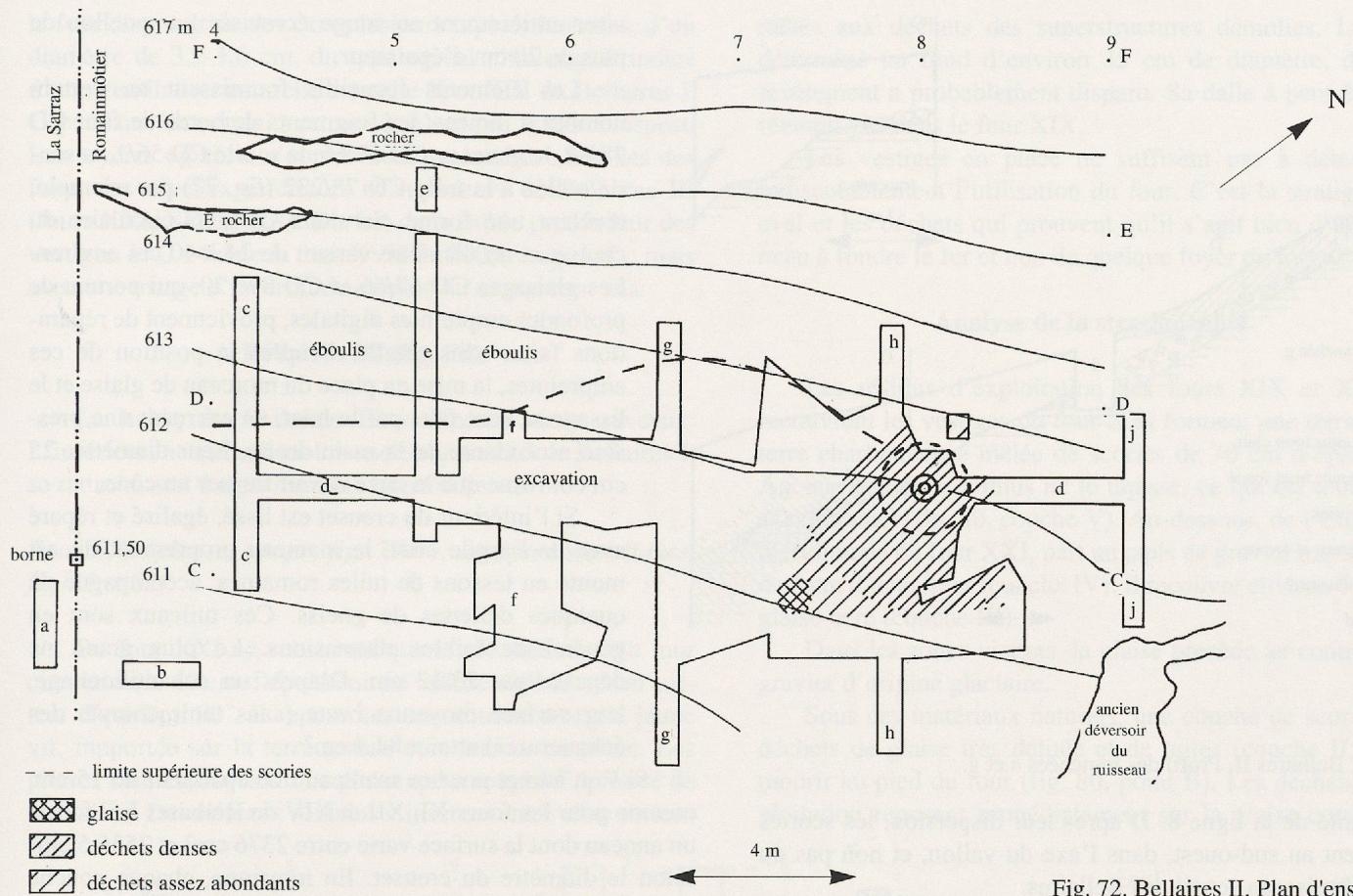


Fig. 72. Bellaires II. Plan d'ensemble.

strictement stratigraphique; dans l'ensemble des sites des Bellaires cependant, sa typologie le place entre les fours les plus archaïques et les modèles les plus récents.

Environ 640 débris de tuiles romaines, *tegulae* et *imbrices*, des gneiss scoriacés, des glaïsages, 201 tesson de tuyères, du fer, du charbon, des moellons rougis par le feu et quelque 40m³ de scories attestent la présence et l'activité d'un fourneau dont il ne subsiste pas même les fondations. Les vestiges incontestables de parois ou de fond ont été dispersés, entre autres par la chute d'énormes blocs de rochers. Les morceaux d'une même tuyère (voir fig. 19) sont répan-

dus sur 10 m. Malgré cet éparrillement, les déchets ont tendance à se concentrer à mi-pente, entre les lignes 8 et 7 du plan C6. Quatre-vingt-un pour cent des témoins recueillis l'ont été entre les lignes 6,5 et 8,5 (fig. 73).

Les scories ne forment qu'une seule couche, distincte en amont dans le terrain à partir de la ligne 8. Leur densité atteint son maximum entre les lignes 6 et 7, plus aval. Extraites du fourneau, c'est là qu'elles se sont entassées avant que ne les dispersent les intempéries, les travaux des carriers ou des forestiers. Les deux courbes de densité de la fig. 73 montrent qu'un seul four a été construit, vraisemblablement à

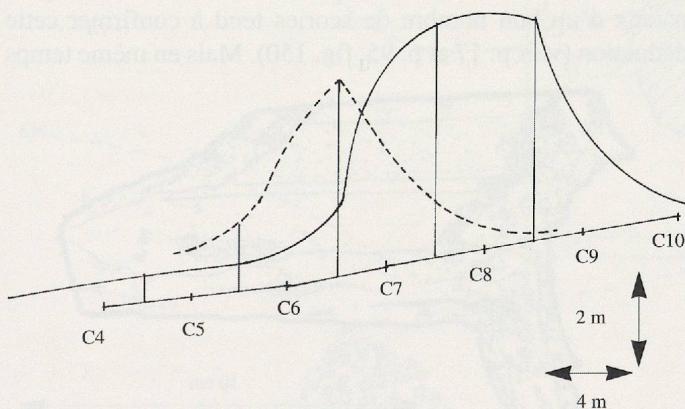


Fig. 73. Bellaires II. Distribution des objets-témoins et des scories.
— objets
- - - scories

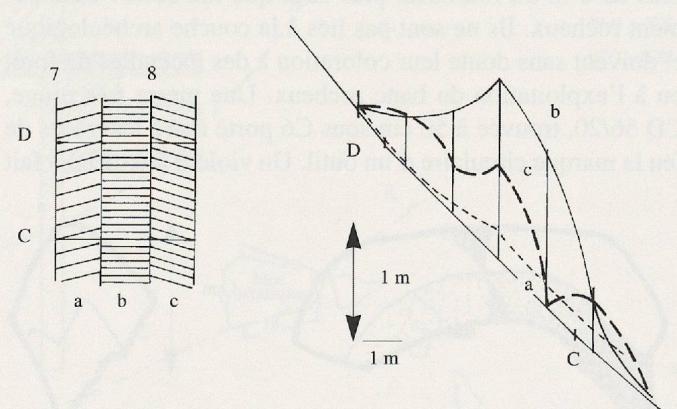


Fig. 74. Bellaires II. Densité des objets-témoins dans le secteur 7-8, selon la plus forte pente.

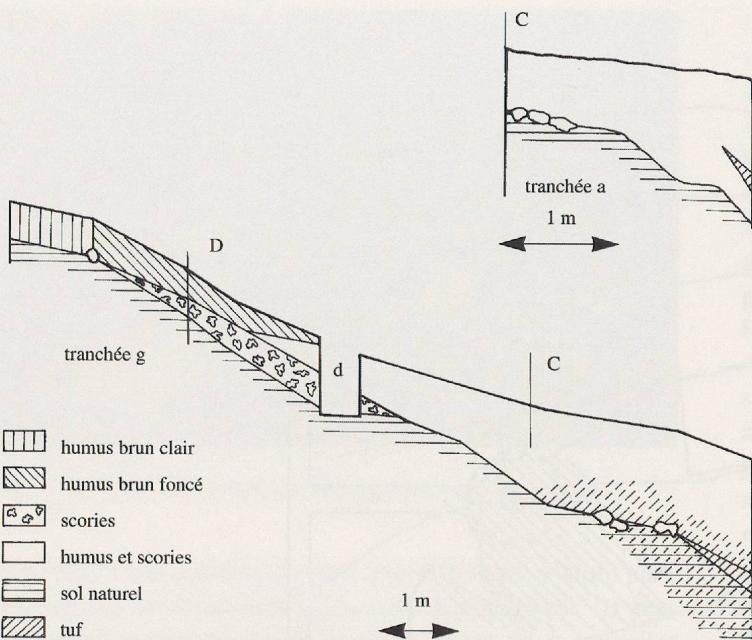


Fig. 75. Bellaires II. Profil des tranchées a et g.

proximité de la ligne 8. D'après leur dispersion, les scories coulaient au sud-ouest, dans l'axe du vallon, et non pas du côté du ruisseau actuel des Bellaires.

Dans le sens de la plus forte pente (fig. 74), la densité des objets témoins atteint son maximum sur la ligne 8, 150 cm en dessus du point C8. Le point de chute de quelques fragments de parois, l'altitude des tuiles et des tuyères gisant au niveau le plus élevé, et le début supérieur de la couche de scories (plan C6, tranchée g, et fig. 75) confirment cette implantation. Les 50 dm³ de glaise pulvérulente dégagés en contrebas sur la ligne C7-C8 (plan C6) ne proviennent pas d'un fond, mais d'une superstructure pulvérisée par la chute d'énormes pierres. Quelques fragments d'encolure, très irréguliers, d'un diamètre de 11 cm environ (fig. 76) ressemblent au gueulard du four XIV (voir fig. 71).

Des blocs calcaires massifs, rougis par le feu gisent à plus de 8 m du fourneau, plus haut que lui, sous l'affleurement rocheux. Ils ne sont pas liés à la couche archéologique et doivent sans doute leur coloration à des incendies de forêt ou à l'exploitation du banc rocheux. Une pierre très rouge, CD 56/20, trouvée à 50 cm sous C6 porte outre les traces de feu la marque circulaire d'un outil. Un violent feu de bois fait

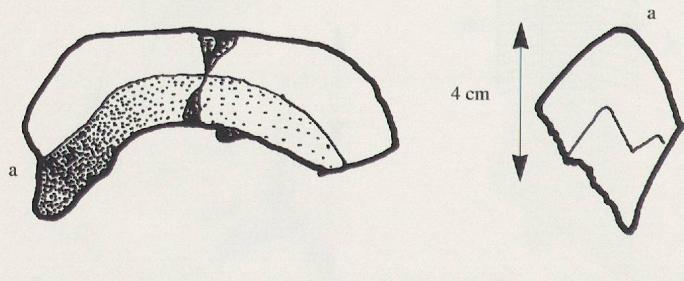


Fig. 76. Bellaires II. Gueulard du four XVII.

virer entièrement au rouge écrevisse un moellon de plus de 20 cm d'épaisseur.

Les éléments recueillis fournissent un certain nombre d'indices: les fragments de bords de four CD 78/82, le glaisage CD 67/66, la scorie CD 56/1, la scorie collée à la tuile CD 78/232 (fig. 77) par exemple, révèlent une forme circulaire ou semi-circulaire du creuset et un diamètre variant de 24 à 40 cm environ. Les glaisages CD 67/66 et CD 89/120, qui portent de profondes empreintes digitales, proviennent de réparations faites sans truelle. D'après la position de ces empreintes, la mise en place du morceau de glaise et le lissage se sont faits par le haut, en exerçant une pression ascendante de la main droite. Leur diamètre: 25 cm confirme que la cuve devait former un cône.

Si l'intérieur du creuset est lissé, égalisé et réparé avec de l'argile crue, le manteau proprement dit est monté en tessons de tuiles romaines, accompagné de quelques dallettes de gneiss. Ces tuileaux sont en général de faibles dimensions. Le plus grand ne dépasse pas 23/13 cm. D'après un échantillonnage, leur surface moyenne brute (sans tenir compte des échancrures) atteint 84,4 cm².

Si l'on admet pour ce manteau une épaisseur de 15 cm, comme pour les fours XI, XII et XIV de Bellaires I, il forme un anneau dont la surface varie entre 2376 cm² et 2536,5 cm² selon le diamètre du creuset. En moyenne, chaque couche nécessite 29 tuileaux. Les 640 recueillis suffisent pour environ 22 couches. Les tuileaux qui auraient été intégralement détruits, ceux qui ont été épargnés hors de la zone fouillée et les quelques gneiss ne dépassent pas 4 à 5% du total. Comme une couche de tuiles et la glaise qui l'enrobe et la cimente ont une épaisseur moyenne de 5 cm (voir Bellaires I, fours XI et XII), ces matériaux suffiraient pour une cuve de 120 cm de haut, de 135 au plus avec un gueulard de glaise.

Le revêtement extérieur du four était formé de calcaires parfois rougis par la chaleur, de quelques gneiss et de terre.

Au sud-ouest vraisemblablement, une porte étroite, aux montants de gneiss, permettait l'évacuation des scories. Des tuyères très courtes et d'un large diamètre placées dans la porte assuraient à l'occasion un tirage naturel. L'aspect pâteux d'un bon nombre de scories tend à confirmer cette déduction (voir p. 17 et p. 95, fig. 150). Mais en même temps

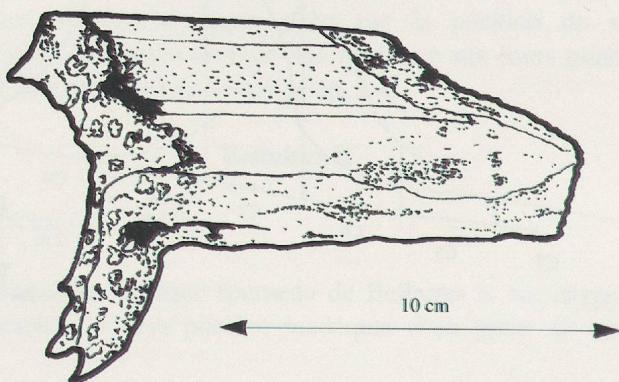


Fig. 77. Bellaires II. Four XVII. Tuile scoriée.

le four disposait de deux ou plusieurs tuyères latérales, d'un diamètre de 3,2-3,6 cm, du type ogival ultralong. L'indice d'une ventilation naturelle rappelle X et XIII de Bellaires I. Cependant, les conduits retrouvés n'ont pas le même aspect. Les tuyères ogivales s'apparentent au contraire à celles des fours des niveaux inférieurs et supérieurs de Bellaires III (fours XXI, XIX et XX). Du fait de la faible profondeur des vestiges, le C 14 date le four XVII de 300 ans ap. J.-C., mais avec une marge d'incertitude de plus ou moins cent ans.

Bellaires III (fig. 78)

La halde de Bellaires III comprend deux niveaux. L'inférieur, nettement moins ancien que celui de Bellaires I, se rattache aux étages romains intermédiaires.

Four XXI (plan et coupe, fig. 79-80; analyses statistiques, fig. 81 et 82)

Du four XXI ne subsistent que les fondations. Un mur circulaire de 40 cm d'épaisseur est encore visible sur un secteur d'environ 90°. Il repose sur une couche d'argile jaune vif, rapportée sur la terre grasse ocre encore en place. Les pierres sont enrobées d'une glaise qui a rougi à l'épreuve de la chaleur. Des tuileaux romains s'insèrent entre elles ou sont

mêlés aux déchets des superstructures démolies. Le mur détermine un fond d'environ 35 cm de diamètre, dont le revêtement a probablement disparu. Sa dalle a peut-être été réemployée dans le four XIX.

Les vestiges en place ne suffisent pas à déterminer indiscutablement l'utilisation du four. C'est la stratigraphie aval et les déchets qui prouvent qu'il s'agit bien d'un fourneau à fondre le fer et non de quelque foyer de forge.

Analyse de la stratigraphie

Les résidus d'exploitation des fours XIX et XX qui recouvrent les vestiges du four XXI forment une terrasse de terre charbonneuse mêlée de scories de 70 cm d'épaisseur. Aucune couche d'humus ne le tapisse, ce qui est tout à fait exceptionnel (fig. 80, couche V). Au-dessous, de l'extrême méridionale du four XXI, part un tapis de gravier morainique de 4 cm d'épaisseur (couche IV). Il recouvre environ 6 cm de glaise ocre (couche III).

Dans les zones vierges, la glaise précède au contraire le gravier d'origine glaciaire.

Sous ces matériaux naturels, une couche de scories, de déchets de glaise très délitée et de tuiles (couche II) vient mourir au pied du four (fig. 80, point B). Les déchets d'exploitation reposent immédiatement sur la glaise ocre natu-

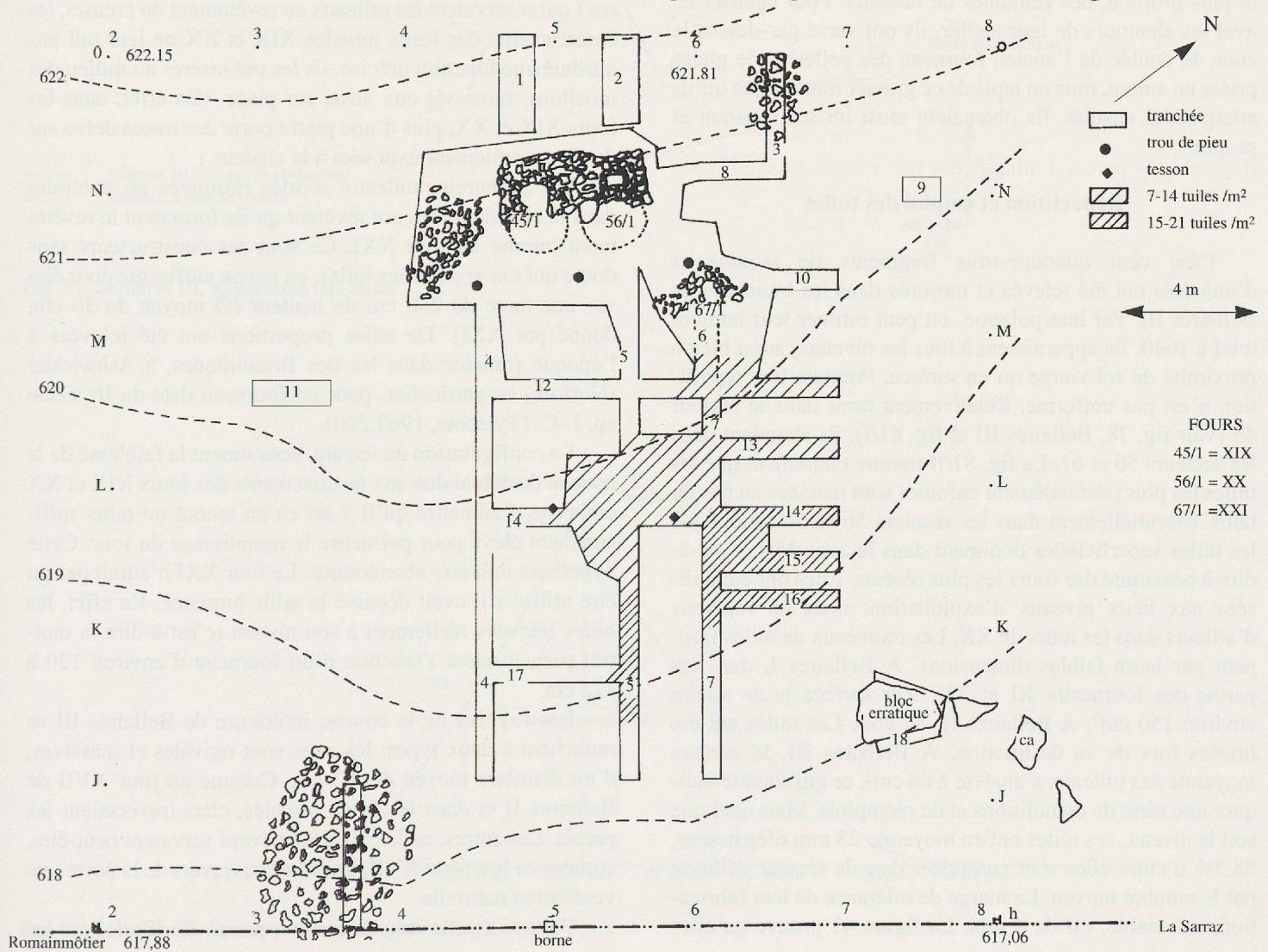


Fig. 78. Bellaires III. Plan d'ensemble.

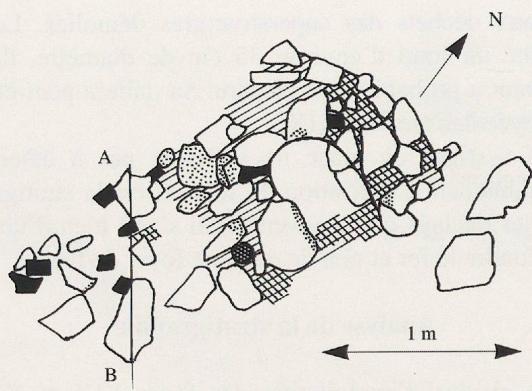


Fig. 79. Bellaires III. Four XXI. Plan.

relle. L'absence d'humus prouve que les forgerons ont entaillé le talus pour assurer l'évacuation des scories; scories qui ne peuvent d'ailleurs provenir que de XXI. Nous avons ainsi la preuve que XXI était un fourneau de réduction et non un four à recuire.

Les couches III et IV, inversées, résultent des travaux postérieurs. Les constructeurs de XIX et XX ont aménagé à leur tour la place de travail, l'ont agrandie. Ils ont réemployé les moellons utilisables et versé les déchets superflus, inutiles ou gênants au bas du talus. On y retrouve, au niveau le plus profond, des centaines de tuileaux. Pour égaliser en aval les alentours de leur atelier, ils ont versé par-dessus la zone de coulée de l'ancien fourneau des pelletées de glaise prises en amont, puis un tapis de ce gravier morainique qu'ils atteignaient ensuite. Ils obtenaient ainsi un sol résistant et propre.

Répartition et emploi des tuiles

Cinq cent quarante-trois fragments de *tegulae* et *d'imbrices* ont été relevés et mesurés dans les tranchées de Bellaires III. Par interpolation, on peut estimer leur nombre total à 1640. Ils apparaissent à tous les niveaux, aussi bien à proximité du sol vierge qu'en surface. Pourtant leur répartition n'est pas uniforme. Relativement rares dans le secteur 45 (voir fig. 78, Bellaires III et fig. 81/I), ils abondent dans les secteurs 56 et 67. La fig. 81/II montre clairement que les tuiles les plus profondément enfouies sont massées au bas du talus, essentiellement dans les secteurs 56 et 67, tandis que les tuiles superficielles dominent dans la zone MN, c'est-à-dire à proximité des fours les plus récents. Elles ont été utilisées aux deux niveaux d'exploitation; nous en repérons d'ailleurs dans les murs de XX. Les morceaux de tuiles frappent par leurs faibles dimensions. A Bellaires I, dans les parois des fourneaux XI et XII, leur surface brute atteint environ 150 cm². A Bellaires II, 84 cm². Les tuiles ont été brisées lors de sa destruction. A Bellaires III, la surface moyenne des tuileaux s'abaisse à 68 cm², ce qui semble indiquer une série de démolitions et de réemplois. Mais quel que soit le niveau, ces tuiles ont en moyenne 25 mm d'épaisseur; 88,5% d'entre elles sont comprises dans le secteur délimité par le nombre moyen. La marge de tolérance de leur fabrication, calculable, est de 4 mm. La figure 41 prouve qu'elles

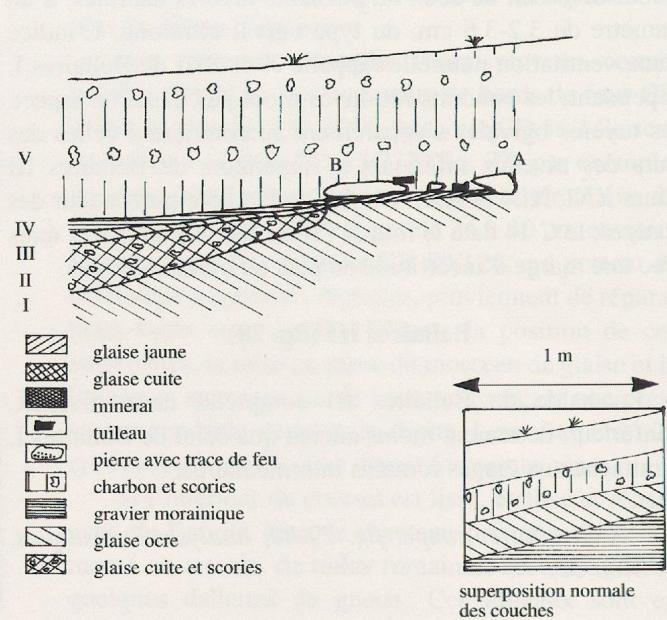


Fig. 80. Bellaires III. Profil de la tranchée 6.

forment un ensemble parfaitement homogène. Toutes les tuiles relevées à Bellaires III ont la même provenance.

Au contraire des bâtisseurs des fours XI et XII de Bellaires I qui réservaient les tuileaux au revêtement du creuset, les constructeurs des fours jumelés XIX et XX ne leur ont pas attribué une fonction précise. Ils les ont insérés au milieu des moellons, ramassés eux aussi sur place. (En effet, dans les fours XIX et XX, plus d'une pierre porte des traces defeu sur des faces nullement exposées à la chaleur.)

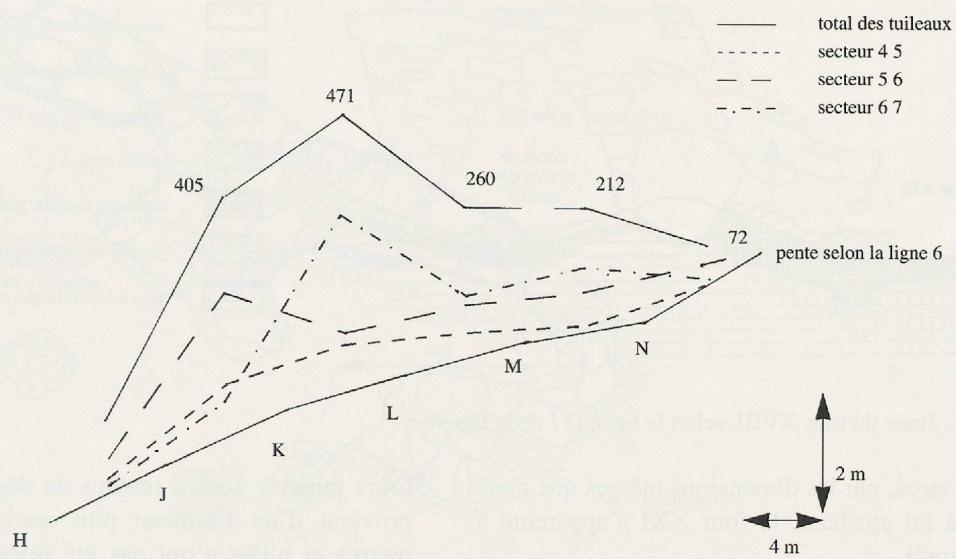
Les nombreux tuileaux scoriés retrouvés au contraire dans la couche inférieure révèlent qu'ils formaient le revêtement interne du four XXI. Ce sont ses constructeurs sans doute qui ont apporté les tuiles, en masse suffisante pour éléver une cuve de 250 cm de hauteur (\varnothing moyen de 30 cm, donné par XXI). De telles proportions ont été relevées à l'époque romaine dans les îles Britanniques, à Ashwicken (Norfolk) en particulier, pour un fourneau daté du II^e siècle ap. J.-C. (Tylecote, 1962, 220).

La configuration du terrain, notamment la faiblesse de la couche de déblai due aux terrassements des fours XIX et XX empêche d'admettre qu'il y ait eu en amont un talus suffisamment élevé pour permettre le remplissage du four. Cette hypothèse doit être abandonnée. Le four XXI n'aurait pas pu être utilisé s'il avait dépassé la taille humaine. En effet, les tuiles relevées réellement à son niveau (c'est-à-dire la moitié) permettraient l'érection d'un fourneau d'environ 120 à 125 cm.

Les **tuyères** de la couche inférieure de Bellaires III se rattachent à deux types: les unes sont ogivales et massives, d'un diamètre moyen de 3,3 cm. Comme au four XVII de Bellaires II et dans les fours jumelés, elles traversaient les parois. Les autres, au bec ovaloïde évasé servaient peut-être, comme au fourneau XVII, à assurer au travers de la porte une ventilation naturelle.

Par son étroite base circulaire, par sa soufflerie, par les

I. Par secteur



II. Selon la profondeur

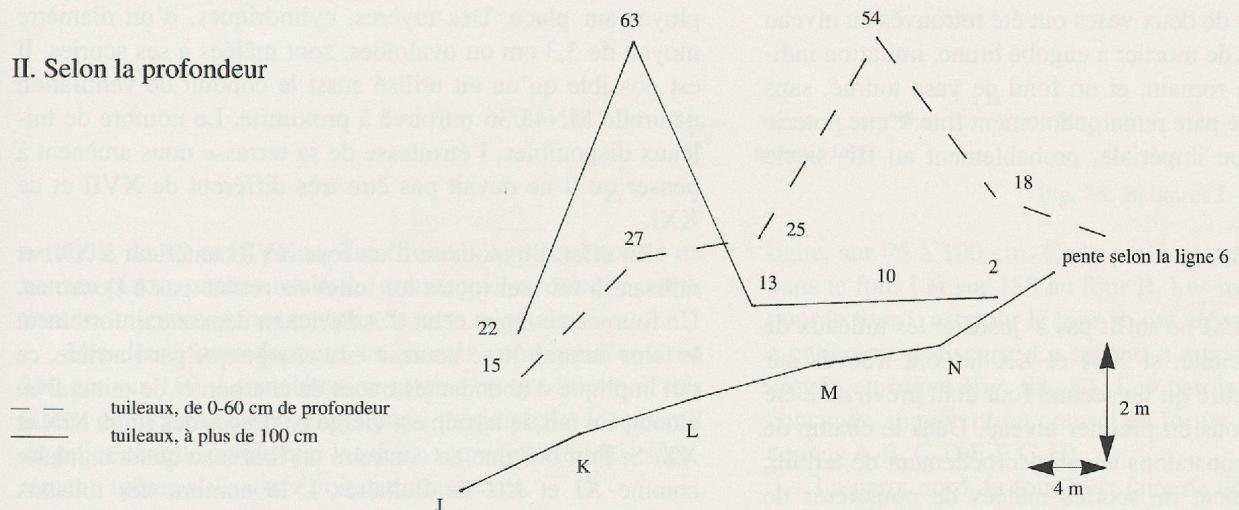


Fig. 81. Bellaires III. Répartition des tuiles.

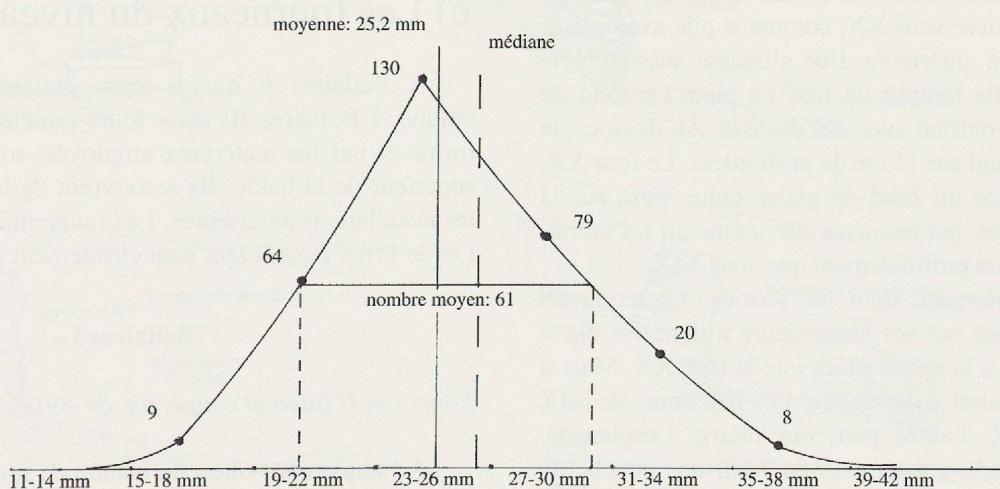


Fig. 82. Bellaires III. Epaisseur des tuiles plates.

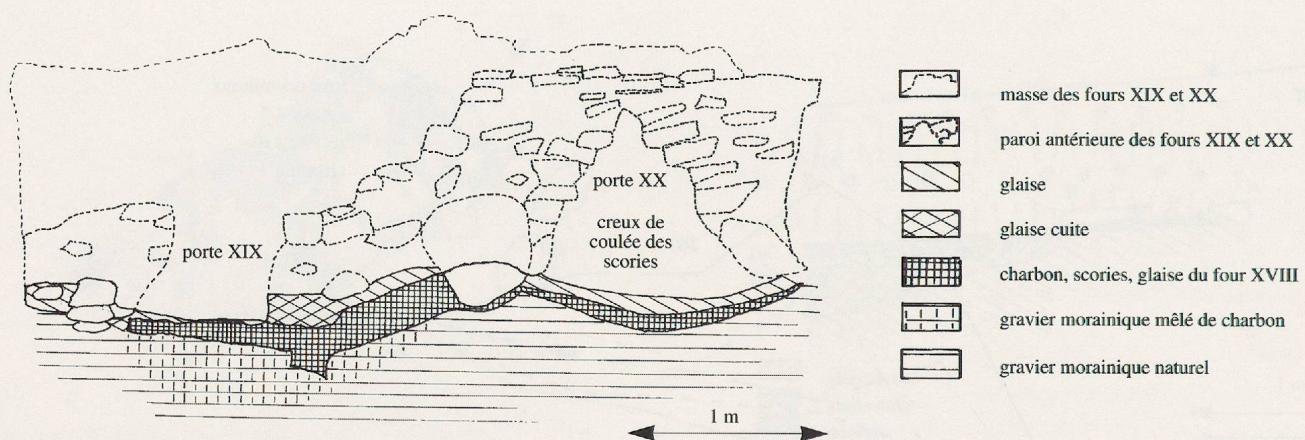


Fig. 83. Bellaires III. Trace du four XVIII, selon la ligne G J de la fig. 98.

matériaux utilisés aussi, par les dimensions mêmes que nous sommes amenés à lui attribuer, le four XXI s'apparente à XVII, lui aussi démolie.

Les fragments de deux vases ont été retrouvés au niveau de XXI: un rebord de mortier à engobe brune, imitation indigène d'un modèle romain, et un fond de vase tourné, sans engobe, mais d'une pâte remarquablement fine. Cette poterie remonte à l'époque impériale, probablement au III^e siècle (voir p. 108).

Four XVIII (fig. 83, 98)

Le fourneau XXI ne suffit pas à justifier les tuileaux de la couche superficielle, si XIX et XX les ont trouvés sur place. Il faut admettre qu'un second four était prévu ou a été bâti par les forgerons du premier niveau. Dans le champ de fouilles, nous ne constatons aucun décrochement de terrain, aucun amoncellement de scories mêlées de poussières de glaise, aucune substructure analogue à celles du secteur 67. Cependant, le pilier central des fours XIX et XX repose sur quelque 20 cm de charbon, de glaise et de fines scories (fig. 83) qui ne peuvent provenir que d'une exploitation antérieure; cette couche n'est pas en connexion avec celles qui entourent le four XXI. Sa provenance est autre.

La couche s'étend sur 340 cm devant les portes des fours XIX et XX et s'incurve sous XX, comme si elle avait glissé dans une excavation antérieure. Elle s'incline aussi sous le pilier central, où elle remplit un trou de pieu. Le fond du creuset de XIX se confond avec ces déchets. Au-dessous, le sol morainique a rougi sur 15 cm de profondeur. Le four XX, au contraire, possède un fond de glaise cuite, posé sur la couche charbonneuse, qui recouvre elle-même un sol morainique rougi tout aussi profondément que sous XIX.

Un premier fourneau, dont les scories ont recouvert l'emplacement utilisé par ses successeurs a donc été élevé approximativement à la même place que le four XX. Mais il ne devait pas être aussi volumineux. Les bâtisseurs de XIX d'une part, de XX d'autre part, ont rélargi l'esplanade. Comme la glaise et le gravier près de XXI, une couche de gravier morainique recouvre la halde primitive en aval de XIX (p. 86, fig. 140/4). Le désir de conserver intacts les

fours jumelés nous a retenus de dégager cette couche. Elle provient d'un fourneau plus ancien dont les matériaux, pierres et tuiles n'ont pas été rejetés en aval, mais réemployés sur place. Des tuyères, cylindriques, d'un diamètre moyen de 3,3 cm ou ovaloïdes, sont mêlées à ses scories. Il est possible qu'on ait utilisé aussi le conduit de ventilation naturelle MN45/36 retrouvé à proximité. Le nombre de tuileaux disponibles, l'étroitesse de sa terrasse nous amènent à penser qu'il ne devait pas être très différent de XVII et de XXI.

En effet, l'hypothèse d'un four XVIII antérieur à XXI et utilisant à lui seul toutes les tuiles ne résiste pas à l'examen. Un fourneau comme celui d'Ashwicken dépasserait fortement le talus naturel. Il ne pourrait être chargé que par l'arrière, ce qui implique d'abondantes traces de charbon et de mineraux en amont. En fait, le terrain est vierge en dessus des fours XIX et XX. Si l'on imagine au contraire un fourneau quadrangulaire comme XI et XII de Bellaires I, le nombre des tuileaux disponibles – ou plutôt leur masse – ne permettrait pas d'élargir un four d'un creuset de plus de 65 cm de côté. Mais cette dimension est assez forte pour que les fondations suffisent à l'établissement de ses successeurs. Surtout, la stratigraphie ne permet de relever aucun indice de trois exploitations successives (voir fig. 140, tranchées 4, 5 et 7).

c) Les fourneaux du niveau supérieur

A Bellaires I, quatre fours jumelés et un fourneau unique, à Bellaires III deux fours jumelés, parents par leur forme et par les matériaux employés, sont bâtis au niveau supérieur de la halde. Ils recouvrent de leurs scories toutes les installations antérieures. Les fours uniques de la Bossena I et de Prins-Bois II leur sont étroitement apparentés.

Bellaires I

Fours I et II (plan et coupe, fig. 84-89)

A l'angle nord-ouest du champ de fouilles, en dessus de la limite des scories, quelques pierres à fleur de terre signalaient une construction. Sur une terrasse qui entame la pente

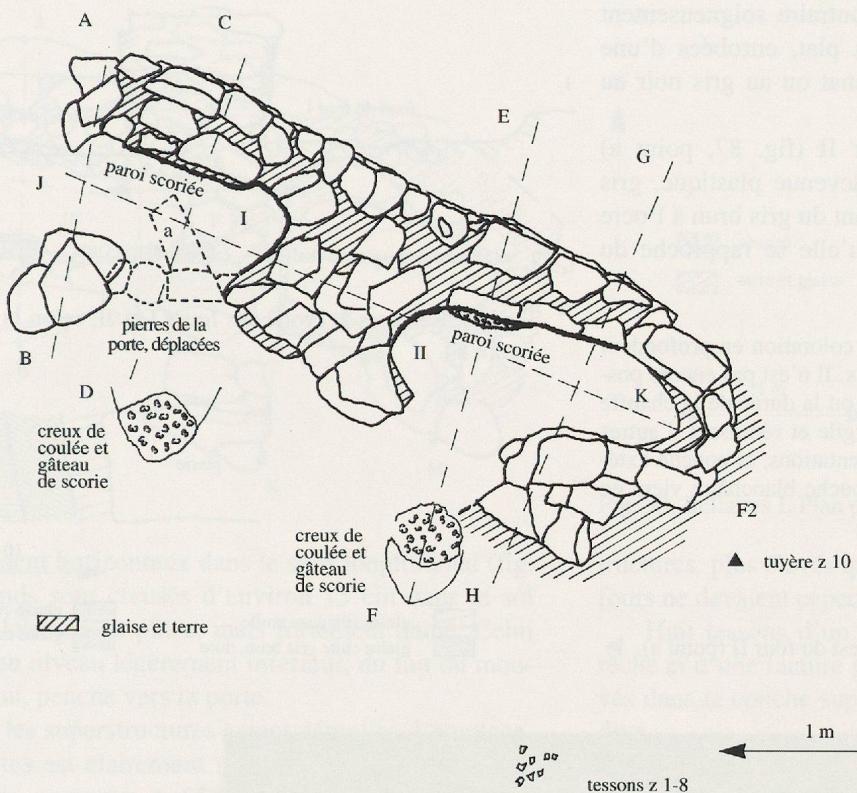


Fig. 84. Bellaires I. Plan des fours I et II.

naturelle de 40 cm à peine, deux fours s'appuient contre un mur en pierres sèches roulées, (granit, gneiss, calcaire, etc.), dont les interstices sont remplis de terre végétale.

Les deux fours forment un massif compact d'environ 350 cm sur 150. Leur élévation atteint encore 90 cm. Trois piliers de pierres composent la paroi méridionale. L'appareil du pilier central révèle que les deux fours ont été bâtis séparément, même s'ils sont étroitement associés.

Allongés, ovaloïdes, les foyers ne dépassent pas 45 cm en largeur. Des scories ont adhéré à leur paroi nord, recti-

ligne, sur 95 à 100 cm. Cette paroi se prolonge sur 110 cm dans le four I et sur 150 au four II. Les murs latéraux, ouest pour le four I, est pour le four II, ont été rompus. Le premier a entièrement disparu. Le second n'a conservé que sa base arquée en ogive (fig. 84, K). Les parois nord et centrales, concaves, suggèrent un creuset en forme de cornue (fig. 85, coupes A-B, C-D, E-F, G-H).

La paroi nord du four I est faite de deux parties distinctes. L'arrière, contre le talus, est formé de pierres grossièrement disposées dans la glaise crue et appuyées par de la terre

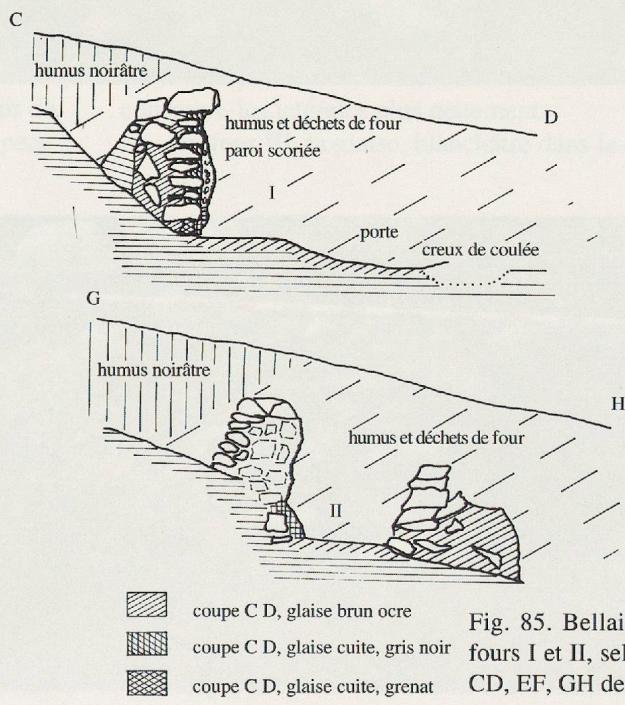
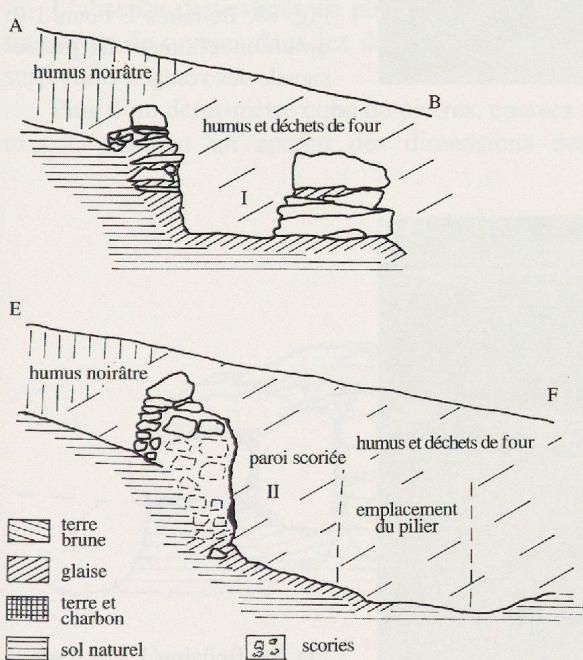


Fig. 85. Bellaires I. Profils des fours I et II, selon les lignes AB, CD, EF, GH de la figure 84.

végétale damée. Le creuset est au contraire soigneusement bâti en pierres réfractaires posées à plat, enrobées d'une glaise qui passe du brun ocre au grenat ou au gris noir au contact des scories.

Le revêtement intérieur du four II (fig. 87, point a) montre quatre états de la glaise: redevenue plastique, gris jaunâtre contre la pierre dure, et passant du gris brun à l'ocre rose puis au blanchâtre à mesure qu'elle se rapproche du foyer².

2. Philippe Andrieux (1990) a mesuré la coloration en profondeur de l'argile de ses fourneaux expérimentaux. Il n'est pas encore possible d'en déduire la température atteinte ou la durée de la chauffe dans des fourneaux utilisant une autre argile et réduisant d'autres minéraux. Dans la plupart de ses expérimentations, la couche extérieure du glaïsage est rouge brique, la couche blanchâtre vient en second rang.

Fig. 87. Bellaires I. Glaïsage de la paroi ouest du four II (point a). ►

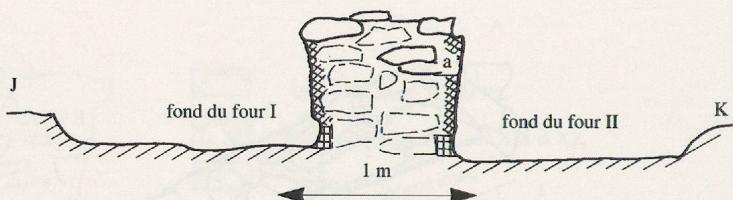


Fig. 86. Bellaires I. Profil des fours I et II, selon la ligne JK de la figure 84.

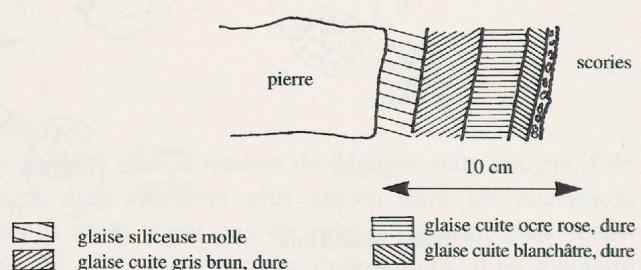


Fig. 88. Bellaires I. Fours I-II: un amoncellement de pierres signale des vestiges.



Fig. 89. Bellaires I. Les fours jumelés I et II dégagés.

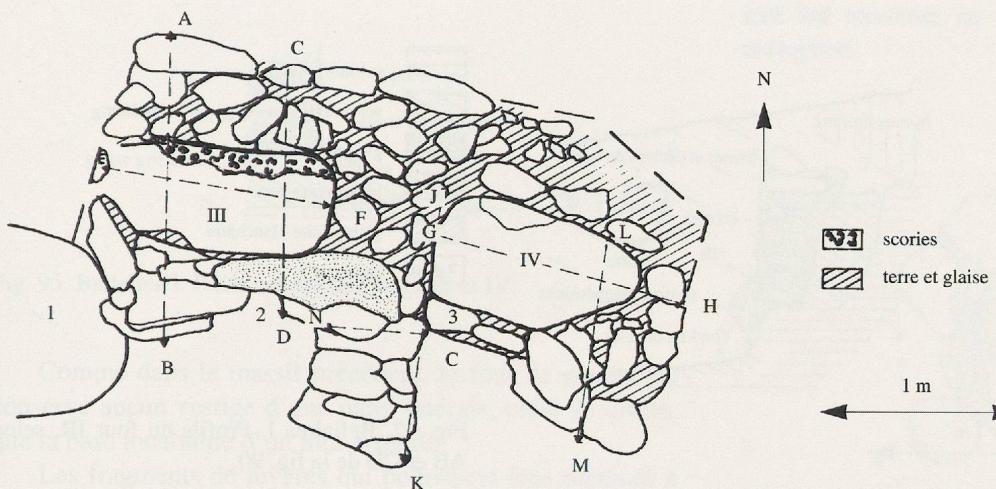


Fig. 90. Bellaires I. Plan des fours III et IV.

Pratiquement horizontaux dans le sens longitudinal (fig. 86/A), les fonds sont creusés d'environ 15 cm dans le sol morainique glaiseux, en place, mais fortement damé. Celui du four II, à un niveau légèrement inférieur, du fait du mouvement général, penche vers la porte.

Bien que les superstructures soient démolies, l'emplacement des portes est clairement marqué par les piliers. Une dalle du linteau, un gneiss de 55/50 cm, a viré à l'intérieur du creuset du four I (fig. 84, a).

En aval de chacune des portes, le sol, légèrement creusé, facilite l'évacuation. Des scories en gâteau ont rempli ces dépressions (fig. 84).

Les deux fours, aux murs fortement scoriés, ont été reglaissés en cours d'exploitation. Des traces de doigts sont visibles sur ces retouches.

Deux fragments de tuyère en entonnoir, retrouvés à l'est de II, semblent indiquer qu'une soufflerie était placée à 90° de la porte, dans l'alcôve du creuset. Cependant, l'accumulation des scories sur la paroi nord oblige à admettre qu'un autre soufflet était engagé dans la porte.

L'absence de vestiges en place et le faible nombre des fragments de tuyères dans les déchets ne manquent pas de surprendre.

Plus d'un demi-mètre cube de pierres, éparses autour du massif, donnent un aperçu des dimensions des supers-

tructures: plus élevés qu'au moment de leur dégagement, les fours ne devaient cependant pas dépasser 130 cm de hauteur.

Huit tessons d'un vase caréné fait au tour, d'une pâte rêche et d'une facture peu soignée (p. 107, fig. 168), retrouvés dans la couche superficielle semblent d'une époque tardive.

Fours III et IV (fig. 90-95)

Quatre mètres à l'est des modèles précédents, sur le même sol morainique aplani et débarrassé de son humus, les fours III et IV, bâtis avec les mêmes matériaux que les précédents sont eux aussi accolés. Mais leur pilier central est monté d'un seul tenant en lourdes pierres, maçonées en retrait. Son épaisseur ne dépasse pas 55 cm. Aussi le massif est-il plus court (310 cm) et plus irrégulier. Sa largeur, de 110 cm aux extrémités, passe à 200 cm au centre. La hauteur conservée atteint 100 cm au four III, 110 cm au four IV. Les déchets qui l'entourent font estimer à 20 ou 30 cm la superstructure disparue.

Un peu moins étirés que ceux des premiers fours, les foyers, ellipsoïdes, mesurent 110/50 cm (III) et 105/55 cm (IV). Les parois conservées au nord et au sud sont à peine concaves, les latérales plus nettement.

Au four III, la glaise, blanchâtre dans le creuset, passe à

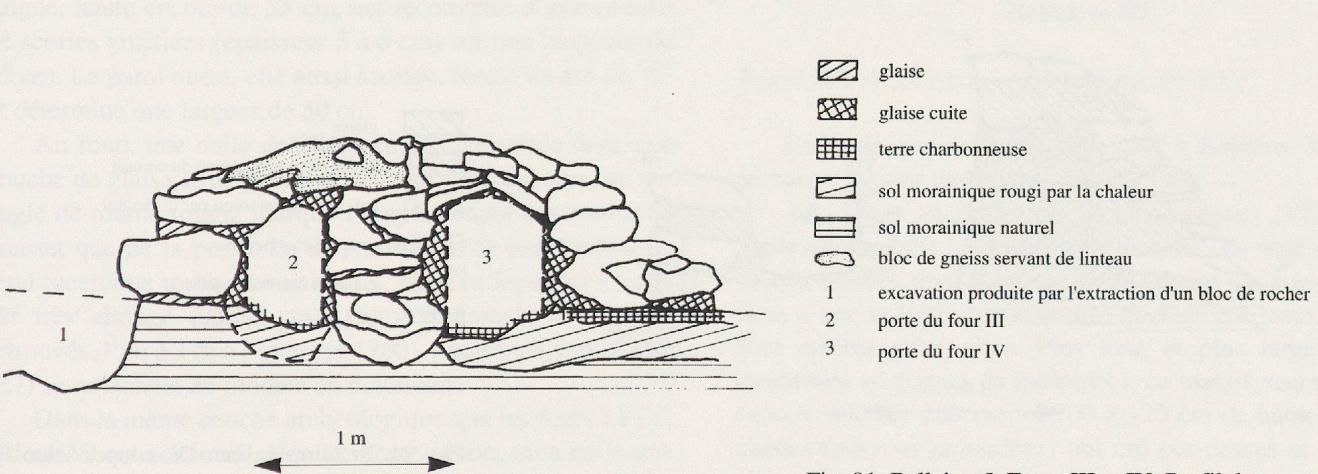


Fig. 91. Bellaires I. Fours III et IV. Profil des portes.

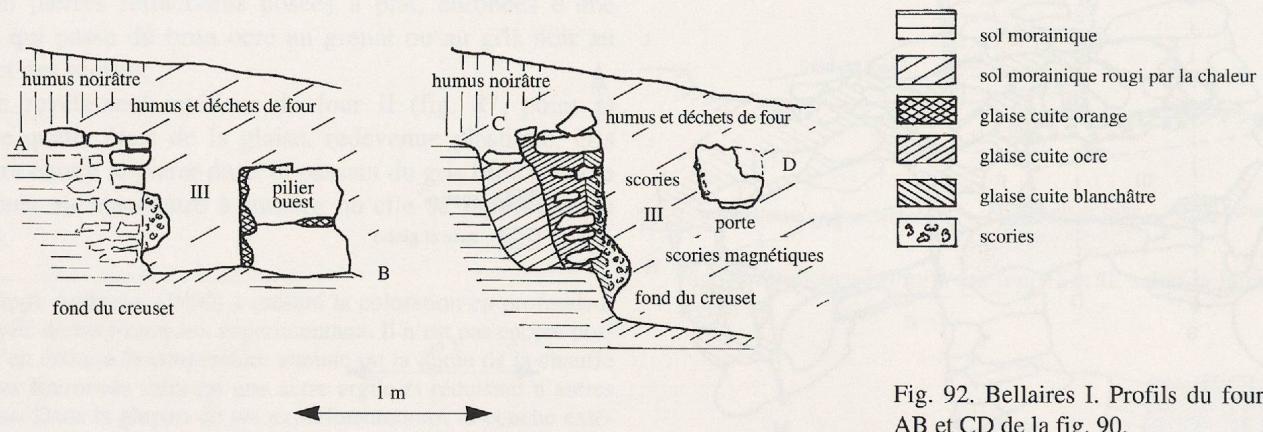


Fig. 92. Bellaires I. Profils du four III, selon AB et CD de la fig. 90.

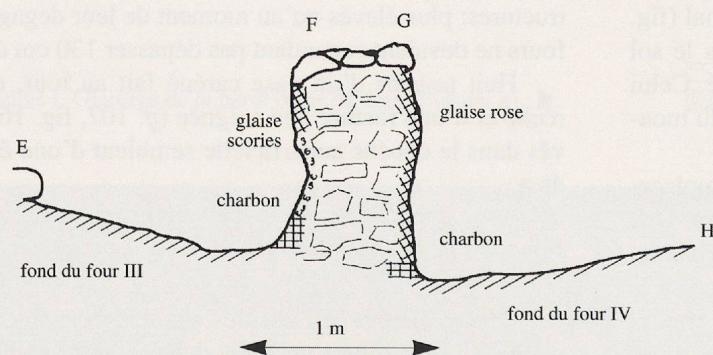


Fig. 93. Bellaires I. Profil des fours III et IV, selon EF et GH de la fig. 90.

l'ocre, puis au rouge brun. La paroi nord (fig. 92, coupe C et D) est couverte d'une double couche de scories de 10 à 15 cm, qui contient assez de fer réduit pour attirer l'aimant. L'intérieur du four IV, au contraire, est tapissé d'une glaise orange clair ou rose, très dure, peu scoriée. Le creuset était rempli de déchets de ce glaisage, tombés du gueulard (fig. 94). Les expérimentations de Gerhard Sperl à Vordernberg en 1978 et 79 ont montré que les parois du four s'encressent quand la température n'y dépasse pas 1200°. Un four mieux ventilé, dont la température atteint 1270° est au contraire «autonettoyant». L'épaisseur de la couche de scorie résulte moins d'un long emploi que d'une chaleur insuffisante.

Le sol morainique, damé, sert de fond. Il est rougi profondément (20 cm environ). Du fait de la pente générale de la halde, le fond du four IV est établi à un niveau légèrement inférieur. Les creusets s'abaissent régulièrement en direction du pilier central (fig. 93); leur dénivellation totale atteint 20 cm.

Moins détériorés que les précédents, les fours III et IV ont conservé leurs portes, soutenues par des blocs volumineux, pesant de 100 à 200 kg chacun (fig. 91). Une plaque de gneiss de 97 cm de longueur sert de linteau à la porte III. La porte du four IV, effondrée, avait été construite en encorbellement, avec des pierres plus modestes.

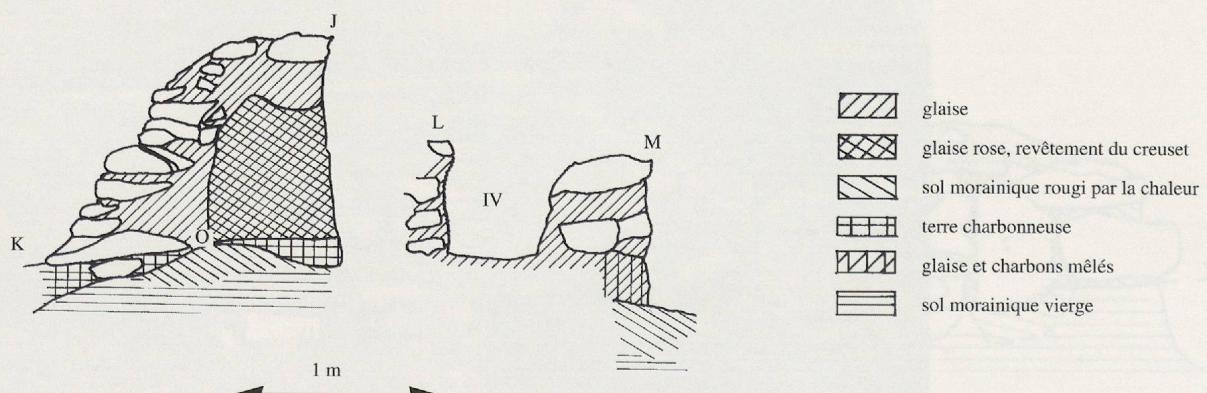


Fig. 94. Bellaires I. Four IV, coupes selon JK et LM de la fig. 90.

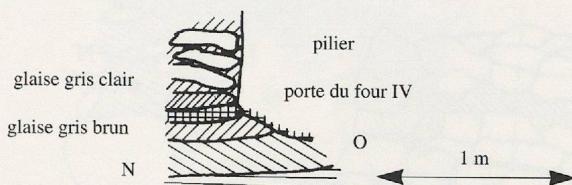


Fig. 95. Bellaires I. Pilier central des fours III et IV.

Comme dans le massif précédent, le four de gauche ne conserve aucun vestige d'une paroi latérale; celui de droite, que la base incertaine d'un mur arrondi.

Les fragments de tuyères qui pourraient être attribués à ces fours, retrouvés en aval parmi les scories, se rattachent au type conique.

A l'angle sud-ouest de III, une excavation ovale de 95/120 cm, remplie de terre de forge, rappelle l'emplacement d'un bloc calcaire. Si proche du four qu'il porte des traces de brûlures, ce bloc encombrerait et la porte et la soufflerie latérale. Roulé au bas du talus par-dessus les fours IX et X, il gît sur la ligne C, altitude 619 du plan général de Bellaires I (fig. 41).

Une couche charbonneuse recouvre le sol sur lequel est bâti le four IV. Au-dessous, le gravier morainique est rougi profondément (20 cm.) Cette zone s'étend sur plus de trois mètres cinquante; elle est liée aux vestiges d'une exploitation antérieure, à laquelle appartient le four V entièrement démolî. Le C 14 date le four III de 510 ± 100 ap. J.-C.

Four VI (fig. 96-97)

Au nord-est de la halde, le fourneau VI, solitaire, mais parent des modèles jumelés, occupe une excavation de 5 m sur 3, due vraisemblablement à une extraction antérieure d'argile jaune (orange après cuisson).

Comme I à IV, le four VI (dimensions extérieures 190/140 cm) s'appuie contre un petit talus. Les parois en moellons sont elles aussi colmatées par de la glaise à l'intérieur du creuset, par de la terre ordinaire à l'extérieur. Leur épaisseur totale ne dépasse pas 50 cm. La paroi nord, rectiligne, haute encore de 55 cm, est recouverte d'une couche de scories vitrifiées (épaisseur 5 à 6 cm) sur une longueur de 95 cm. La paroi ouest, elle aussi scoriée, forme un arc de 45° et détermine une largeur de 50 cm.

Au fond, une dalle de 20/40 cm est encastrée dans une couche de glaise cuite grisâtre, très dure. Au-dessous, un triangle de marne rouge marqué l'emplacement aussi bien du creuset que de la porte. La disparition de la paroi orientale rend incertaine toute reconstitution. Mais le foyer est à coup sûr très allongé (95/50 cm). Deux fragments de tuyères retrouvés, l'un à 3 m à l'ouest (B1700), l'autre à 3,5 m au sud (E7) se rattachent au modèle en entonnoir.

Dans la même couche archéologique que les fours I à IV, le four VI est construit selon le même canon, bien qu'il soit resté unique. Les nombreuses pierres gisant à l'est ont peut-

être été récoltées en vue d'une sixième fournaise, jamais entreprise.

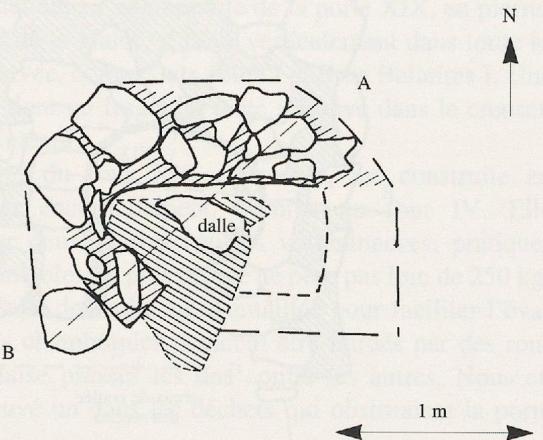


Fig. 96. Bellaires I. Plan du four VI.

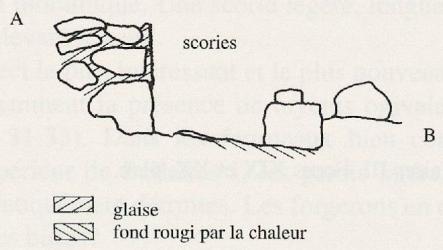


Fig. 97. Bellaires I. Four VI, profil selon AB.

Muret inachevé (fig. 41, lettre b)

En effet, à 2 m à l'ouest, un muret glaisé, long de 1 m, dessine apparemment la paroi arrière d'un fourneau. Placé en dessus de l'excavation, trop haut pour être accolé au VI, il a été abandonné.

Bellaires III

Fours XIX et XX (plan et coupes, fig. 98-102)

La campagne de fouilles de 1967 à Bellaires III éclaire les mises au jour des saisons précédentes.

A la limite amont du site, deux fourneaux (XIX et XX) apparaissent dans la couche superficielle. Ils sont élevés en pierres roulées dont quelques-unes portent des traces de feu dues à une utilisation antérieure; quelques tuileaux romains sont insérés entre elles. Plus long et plus large que les ensembles analogues de Bellaires I, ce massif, rectangulaire, mesure 400 sur 200 cm, et 100 à 120 cm de hauteur. Deux chênes (*quercus pubescens*) ont crû par-dessus et plongent chacun leurs racines dans un des creusets.

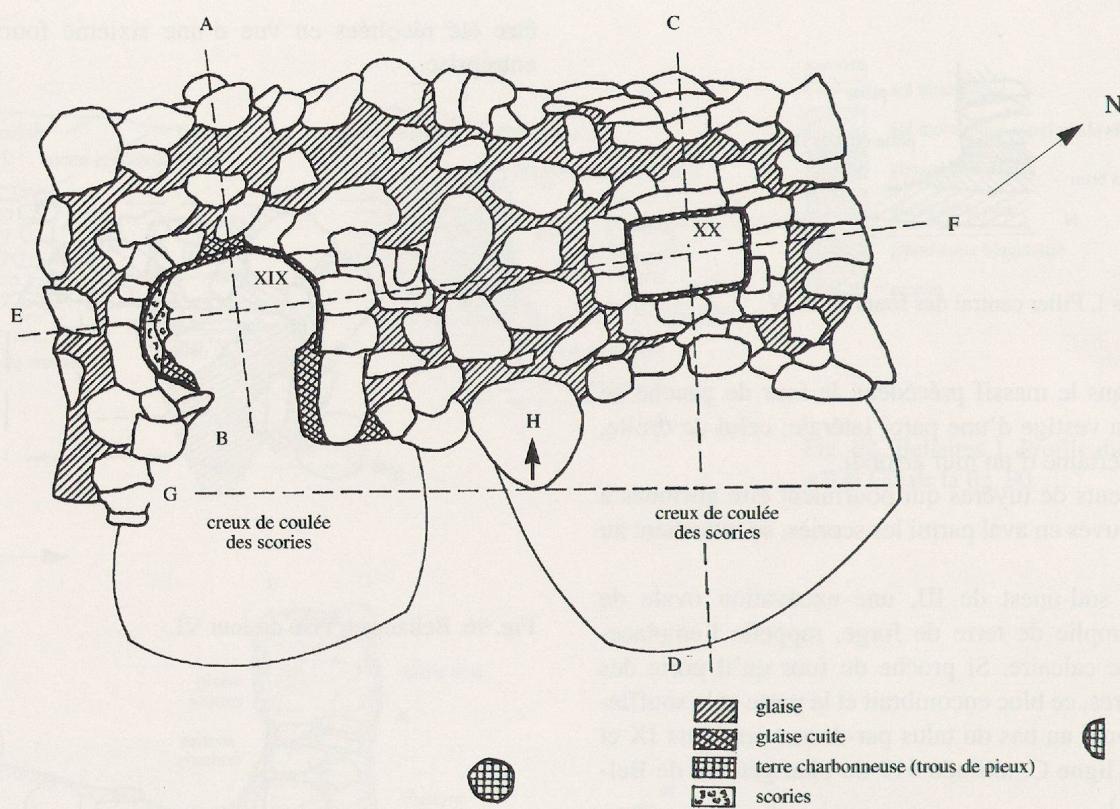


Fig. 98. Bellaires III. Fours XIX et XX, plan.

Un remblai de gravier morainique mêlé d'humus et de coulées de charbon relie la construction au talus amont. Le complexe découvert en 1967 n'a pas été bâti en une fois: la maçonnerie centrale, large de 150 cm, est faite de deux murs accolés; les deux fours ne sont pas identiques ni même symétriques. Les creusets sont moins allongés qu'à Bellaires I. Le fond de XIX, ellipsoïde, mesure 86/50 cm.

Le fond de XX est de 70/50 cm. Tous deux sont horizontaux. Tandis que XIX repose directement sur le sol naturel, rougi sur 15 cm de profondeur, la couche de glaise cuite qui forme le fond de XX recouvre une installation antérieure (couche charbonneuse mêlée de scories, et sol naturel rougi par le four XVIII). Il est de ce fait 14 cm plus haut (fig. 99, coupe E F).

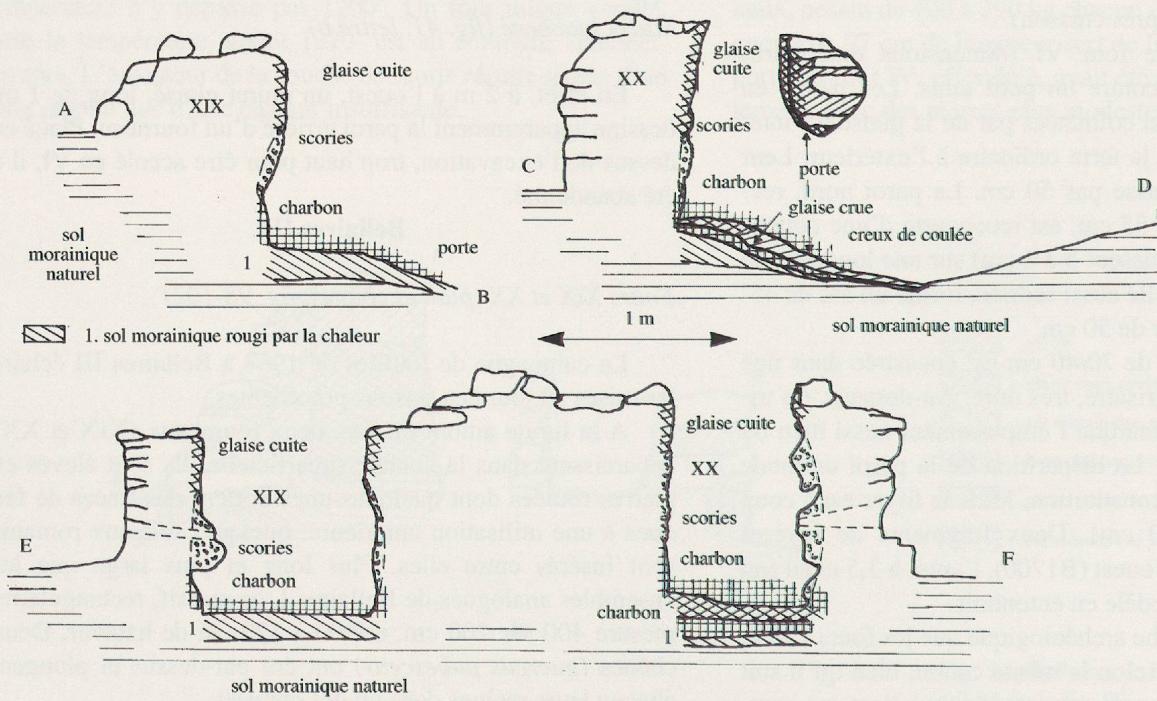


Fig. 99. Bellaires III, profils des fours XIX et XX, selon AB, CD et EF de la fig. 98.

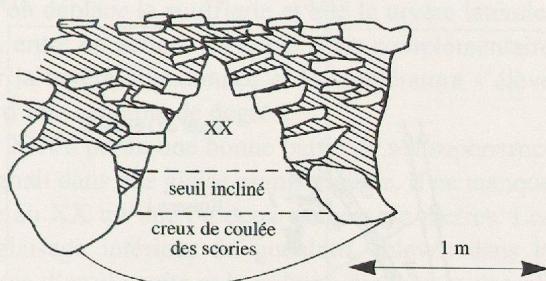


Fig. 100. Bellaires III. Four XX, porte en encorbellement.

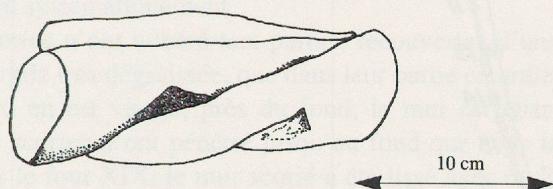


Fig. 101. Bellaires III. Glaisage en rouleau.

Les parois nord-ouest et de contre-vent du four XIX s'incurvent de 8 à 10 cm, celle de la tuyère de 3 cm. A 65 cm du fond, la cuve s'est rétrécie à 72/50 cm. Plus haut, elle s'élève verticalement.

Au four XX, mieux conservé, le bord de la cheminée rectangulaire surplombe la paroi nord-ouest de 12 cm. A l'inverse du four précédent, c'est la paroi de la tuyère qui s'incurve d'autant, tandis que celle de contre-vent le fait à peine (3 cm). Pour la superstructure disparue, aucun indice ne suggère un gueulard vertical.

Fait surprenant, au lieu d'être bâti symétriquement, les deux foyers orientent vers le nord-est leurs plus fortes concavités.

La tuyère latérale s'insère dans une paroi presque verticale à XIX, dans une paroi très concave à XX.

Les robustes portes des fours diffèrent elles aussi dans leur construction. Le chambranle de la porte XIX, en pierres scellées par de la glaise, s'élève verticalement dans toute sa partie conservée, comme aux fours I et II de Bellaires I. Une dalle plate, dont un fragment a été retrouvé dans le creuset, servait de linteau.

La porte du four XX, conservée, est construite au contraire en encorbellement, comme au four IV. Elle s'appuie sur deux pierres roulées volumineuses, pratiquement inébranlables (la plus grosse ne pèse pas loin de 250 kg; fig. 100). Celle de droite a été entaillée pour faciliter l'évacuation. Les chambranles devaient être bordés par des rouleaux de glaise pressés les uns contre les autres. Nous en avons retrouvé un dans les déchets qui obstruaient la porte (fig. 101).

La forte inclinaison du seuil (20°) chasse les scories dans une excavation de 110/145 cm à XIX, de 130/190 cm à XX; ces excavations, profondes de quelque 30 cm, sont creusées dans le sol morainique. Une scorie légère, longue de 30 cm, est restée devant le seuil.

L'aspect le plus intéressant et le plus nouveau des fours, c'est évidemment la présence de tuyères ogivales en place (voir fig. 31-33). Dans les fourneaux bien conservés du niveau supérieur de Bellaires I, les parois latérales avaient été systématiquement détruites. Les forgerons en auraient-ils récupéré les buses?

De plus, à Bellaires III, des tuyères extrêmement courtes insérées au bas de la porte, intensifiaient l'effet de celles des parois latérales. Les expérimentations de Philippe Andrieux à l'Archéodrome de Beaune, en 1983-84, dans un fourneau du type «Bellaires» révèlent l'utilité d'une ventilation à deux niveaux. Tant que la tuyère inférieure, placée dans la porte alimente seule le foyer, la température dépasse difficilement 1150° .



Fig. 102. Bellaires III. Les fours jumelés XIX et XX.

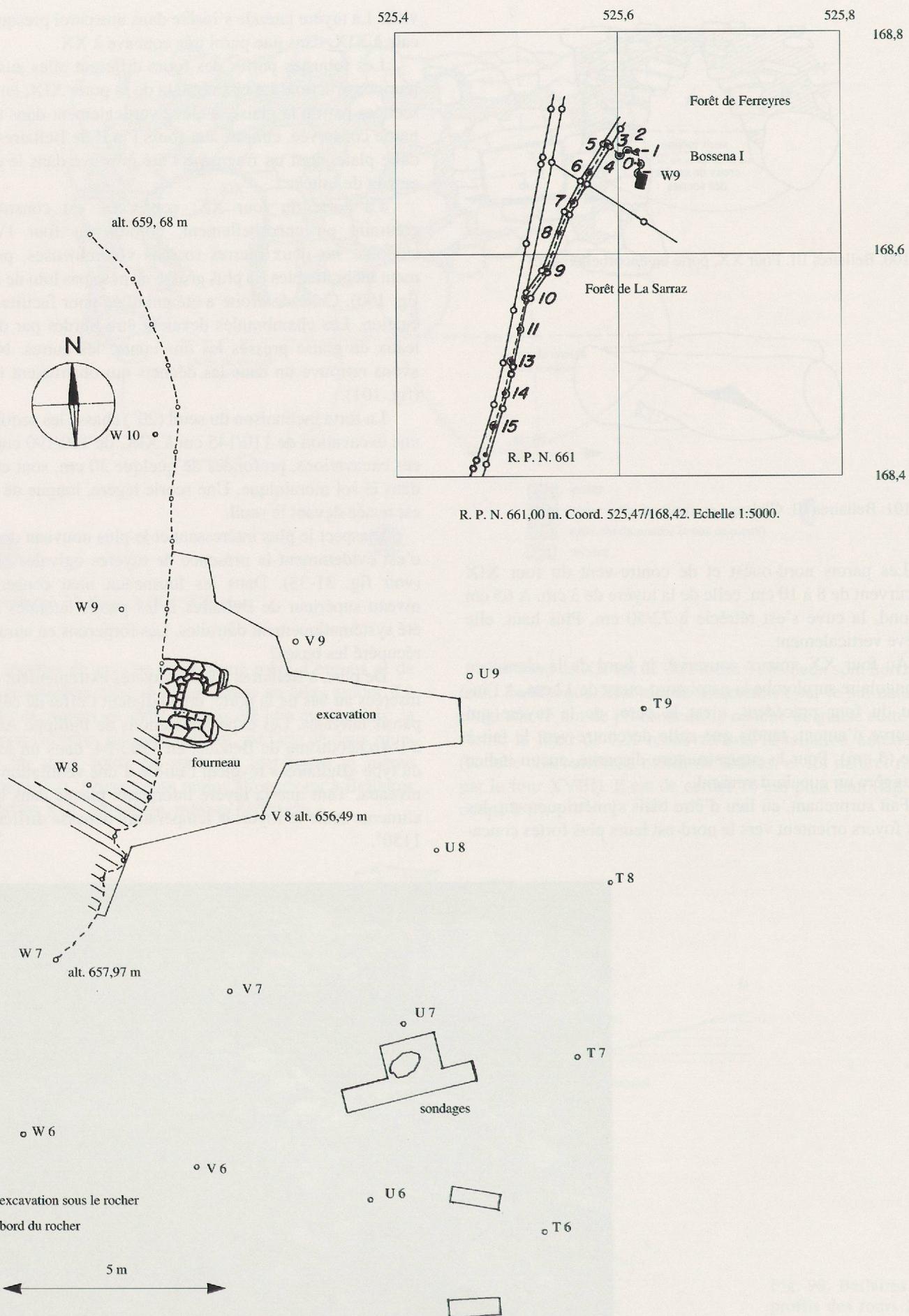


Fig. 103. Bossena I sur Ferreyres. Plan de situation, d'après le levé de Fernand Spertini, 25 juin 1968.

Dès qu'on déplace la soufflerie et que la tuyère latérale, plus élevée, entre en action, un appel d'air complémentaire s'établit par la tuyère abandonnée et la température s'élève rapidement d'une centaine de degrés.

Le four XIX a perdu une bonne partie de ses superstructures; il baignait dans une glaise orange délitée. Il ne manque au contraire au XX qu'une ou deux rangées de pierres. Les débris du glaçage intérieur du gueulard, relevés dans la cuve, la masse d'argile cuite et le volume des pierres descellées reconstitueraient un canal d'environ 30 cm de hauteur. Le four pouvait atteindre 130 cm.

Le revêtement intérieur, surtout dans la cheminée, contient quelques tuileaux romains. Mais ce matériau n'est pas employé systématiquement.

Les scories n'ont adhéré aux parois, recouvertes d'une couche d'argile très dégraissée, que dans leur partie centrale. Le gueulard en est vierge; près du fond, le mur est charbonné. Les scories n'ont pénétré jusqu'au fond que sous la porte. Dans le four XIX, le mur scorié a été lissé avec de la glaise (comme aux fours I, II, III, IX, etc.), pour permettre une nouvelle chauffe.

Trois trous de pieux, situés approximativement à une toise (2,90 m) l'un de l'autre, apprennent l'existence d'un abri sommaire devant les fours. Du fait de la pente, la toiture devait s'appuyer en amont directement sur le talus, où ne subsiste aucune trace d'implantation. Les nombreuses pierres jonchant le flanc sud-ouest de la terrasse, par-dessus la couche charbonneuse accumulée autour des fours, proviennent peut-être d'un mur protégeant des averses les plus fréquentes, celles du sud-ouest. Ni à Bellaires I, ni à Bellaires II, nous n'avons retrouvé l'indice d'une telle construction. Si quelque avant-toit ombrageait les fours, il appuyait sa poutraison sur des dalles, ou il était simplement tendu entre les arbres, comme l'abri des fouilles!

La toiture au-dessus des fours de Bellaires III s'apparente à celle que Piero di Cosimo peignait vers 1500 derrière Vulcain et Eole³. Au XVI^e siècle, Breughel de Velours place devant le célèbre haut fourneau de la galerie Doria-Pamphili un appentis rustique couvert de chaume⁴. C'est une installation tout aussi rudimentaire qui protégeait les forgerons des Bellaires.

A Bellaires III, un pavillon construit *in situ* a permis de préserver cet ensemble et de le présenter au public (Pelet, 1970a).

Bossena I (fig. 103)

Four XXII (plan et coupes, fig. 104-114)

A la Bossena I sur Ferreyres (coord. 525,625/168,675), le fourneau s'adosse à un décrochement rocheux de calcaire urgonien (fig. 104, ligne gh) qui le surplombe de 220 cm. En dessus, aucun vestige archéologique: un humus vierge. Les forgerons ont abordé leur four par le bas. Il ne s'agissait donc pas d'un fourneau de grande dimension, dont le gueulard aurait atteint le haut du rocher, mais d'un modèle de petite taille.

Les vestiges en place forment une masse approximativement quadrangulaire, de 180 cm de côté et de 73 cm de hauteur conservée. A part quelques gneiss, quelques granits et quelques moellons de molasse, les murs sont construits en calcaire urgonien et en tuileaux romains. Pris sur place dans une couche qui se clive en dalles assez régulières, l'urgonien favorise une construction beaucoup plus élégante que celle de tous les autres fours dégagés. Les blocs qui forment les piliers de la porte ne sont pas simplement superposés en encorbellement comme dans les fours IV, XX ou XXIII.

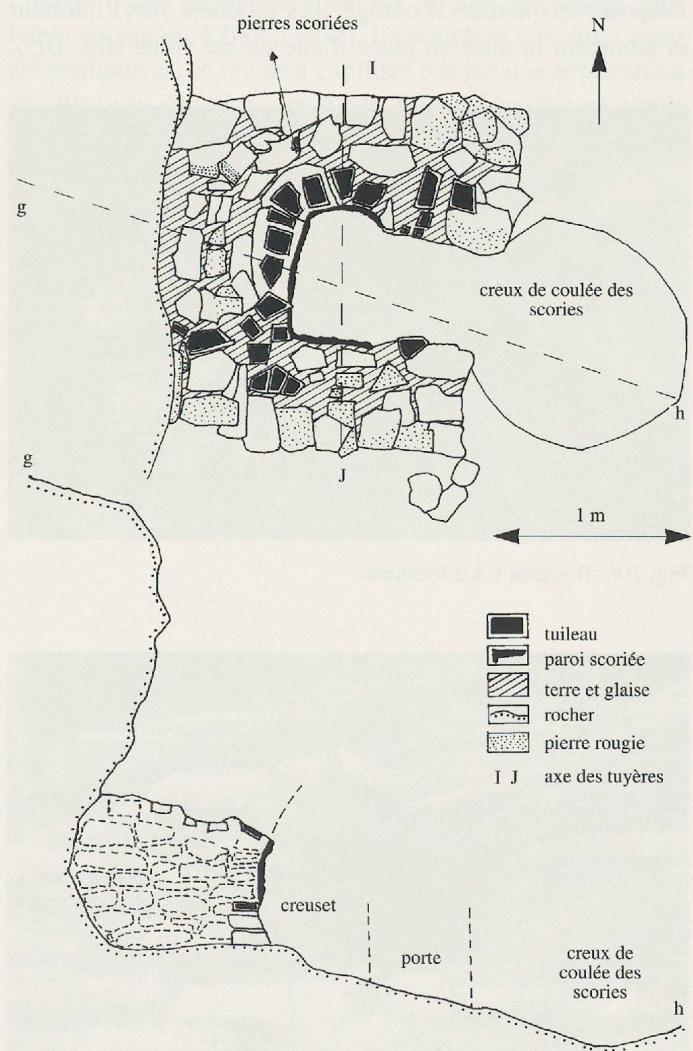


Fig. 104. Bossena I sur Ferreyres. Plan et coupe du four XXII.

3. Piero di Cosimo (1462-1521), *Vulcain et Eole* (155,5/166 cm), Ottawa, Galerie nationale du Canada. Détail. – Vulcain forge un fer à cheval sur un feu de charbon à même le sol. Eole avive la flamme en comprimant deux outres, selon la technique hellénique. Derrière eux se dresse un auvent rustique qui abrite une masse sombre et basse, évocation d'un fourneau archaïque – mais peut-être de peu antérieur à Piero di Cosimo.

4. Jan Breughel, *Le Haut Fourneau*, Galerie Doria-Pamphili, Rome. – Devant la construction massive du fourneau, un appentis couvert de chaume protège la coulée de la fonte et le travail des forgerons.

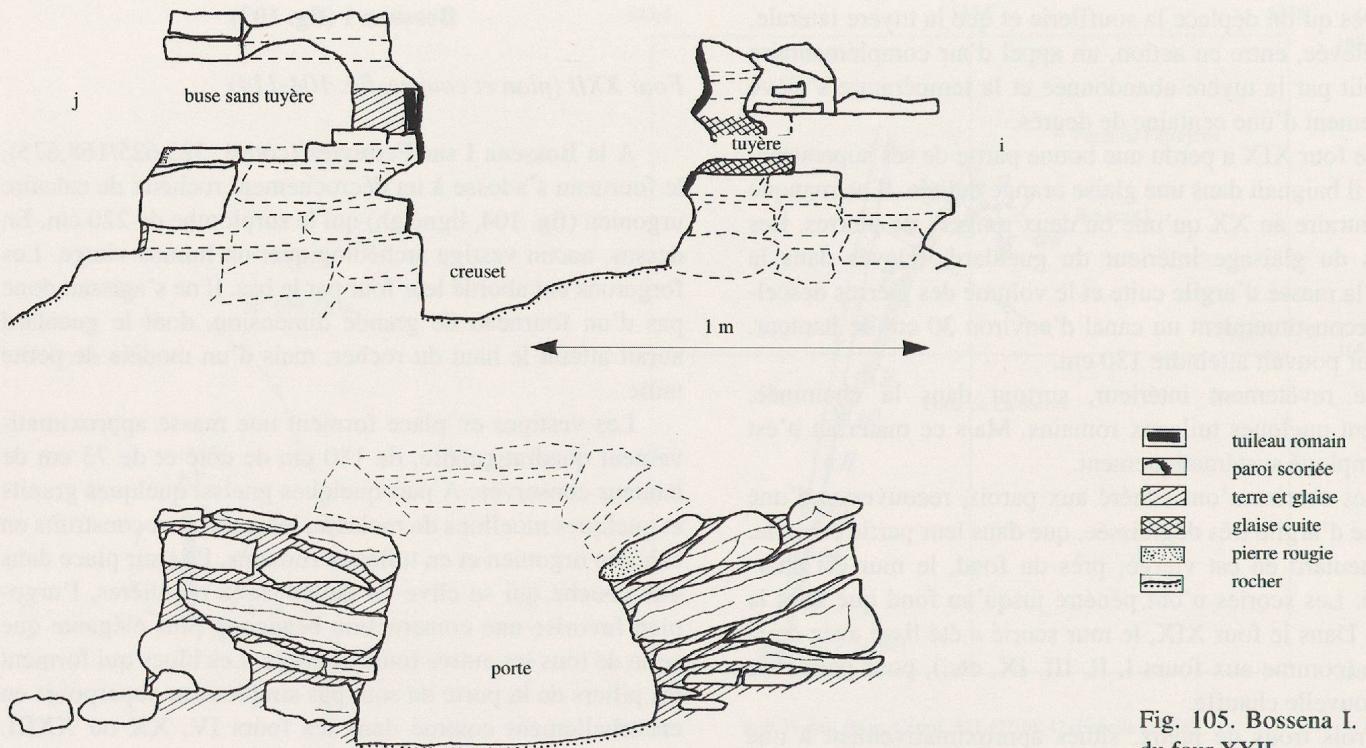


Fig. 105. Bossena I. Coupe du four XXII.

Disposés en quartiers d'orange, ils s'inclinent vers l'intérieur et amorcent la mise en place d'une clé de voûte (fig. 105).



Fig. 106. Bossena I. Le fourneau.

Une partie des pierres provient d'un réemploi: moellon scorié scellé au cœur de la paroi, dalles rougies à l'extérieur, etc. Les tuileaux, nombreux, comblent les intervalles entre les blocs; ils revêtent le creuset, dont la base est cependant formée de gneiss et de molasse; le rocher naturel sert de fond. Il s'incline vers l'est-sud-est, ce qui détermine la position de la porte et du creux de coulée entaillé dans le calcaire.

Le creuset allongé, en trapèze irrégulier (fig. 110), comme XI et XII, atteint 58/40 cm. La cuve: 70/40 cm. La paroi sud en effet s'incurve de 12 cm environ à quelque 20 cm du fond. Celle de rustine (face à la porte), s'élève en esquissant un surplomb: la cuve allait en se rétrécissant d'une manière asymétrique, comme VII.

Alors qu'au four XXII la paroi de rustine, et celle du sud, ont une base approximativement rectiligne, celle du nord s'incurve fortement. Dimensions et disposition semblables à celles que nous avons constatées aux fours XIX et XX de Bellaires III. Comme dans la halde précédente, la



Fig. 107. Bossena I. Embrasure d'une tuyère latérale.



Fig. 108. Bossena I. L'angle méridional du four et la mine.

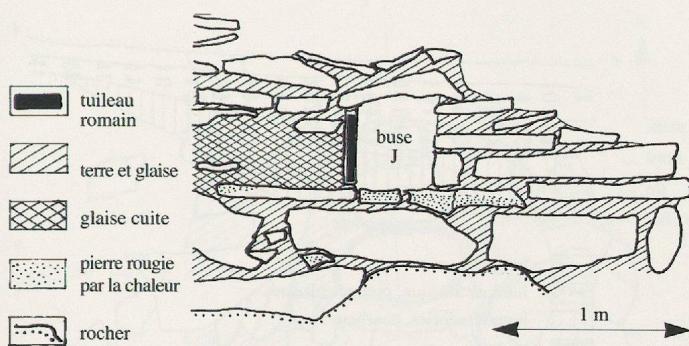


Fig. 109. Bossena I. Embrasure de la tuyère sud (J).

différenciation des côtés n'influe pas sur la distribution des tuyères; il en est prévu dans chacun d'eux.

Placé à 25 cm du fond, le manchon de glaise très siliceuse de la tuyère nord repose sur des dalles plates (pierres ou tuiles). Bien que le bec en ait disparu, le canal mesure encore 23 cm (\varnothing 4 cm environ). Il est incliné de 4°. Une embrasure quadrangulaire – passablement endommagée – de 35 cm de profondeur en assure l'accès.

Dans la paroi méridionale, cette embrasure, intacte, haute de 25 cm, large de 20, s'enfonce jusqu'à 45 cm dans la paroi. Elle est située 45 cm au-dessus du point le plus bas du creuset. Mais elle aboutit à un cul-de-sac: 13 cm de glaise compacte, puis un tuileau, la séparent du creuset. Ainsi les forgerons ont prévu deux tuyères latérales, mais ils n'en ont mis qu'une en service, la plus basse (fig. 105, 107, 109).

Les superstructures du fourneau devaient être élevées essentiellement en glaise et en tuile romaine. Devant la porte,

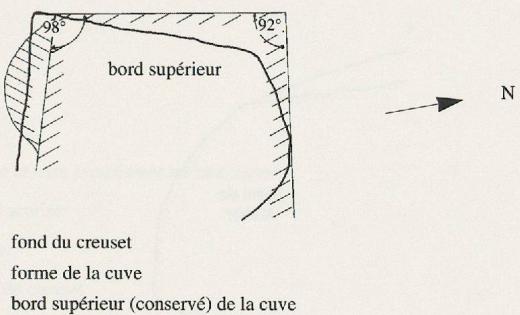


Fig. 110. Bossena I. Fond du creuset et forme de la cuve.

leurs déchets s'étagaient sur 50 cm. Au total, 1416 tuileaux ont été relevés dans les tranchées. Par interpolation, l'ensemble de la halde doit en contenir plus de 5000. Ces tuileaux parfois scoriacés, mêlés aux vestiges du four, ne sont pas tombés de la toiture qui aurait pu l'abriter. D'une épaisseur moyenne de 24 mm, ils disposent d'une marge de tolérance (écart type) de 4 mm, comme à Bellaires III. 86% d'entre eux sont compris dans le secteur délimité par le nombre moyen (fig. 111). L'homogénéité statistique est l'indice d'une provenance unique. D'une dimension plus faible encore qu'à Bellaires III, ils semblent eux aussi avoir été réemployés, ce qui ne s'explique pas par une exploitation antérieure *in situ*: il n'y en a pas. La stratigraphie ne révèle qu'une seule couche archéologique (fig. 112-113, ligne ef et 114, ligne ab).

Les matériaux de construction auraient-ils été récoltés dans les ruines d'une autre halde, par exemple aux Petits-

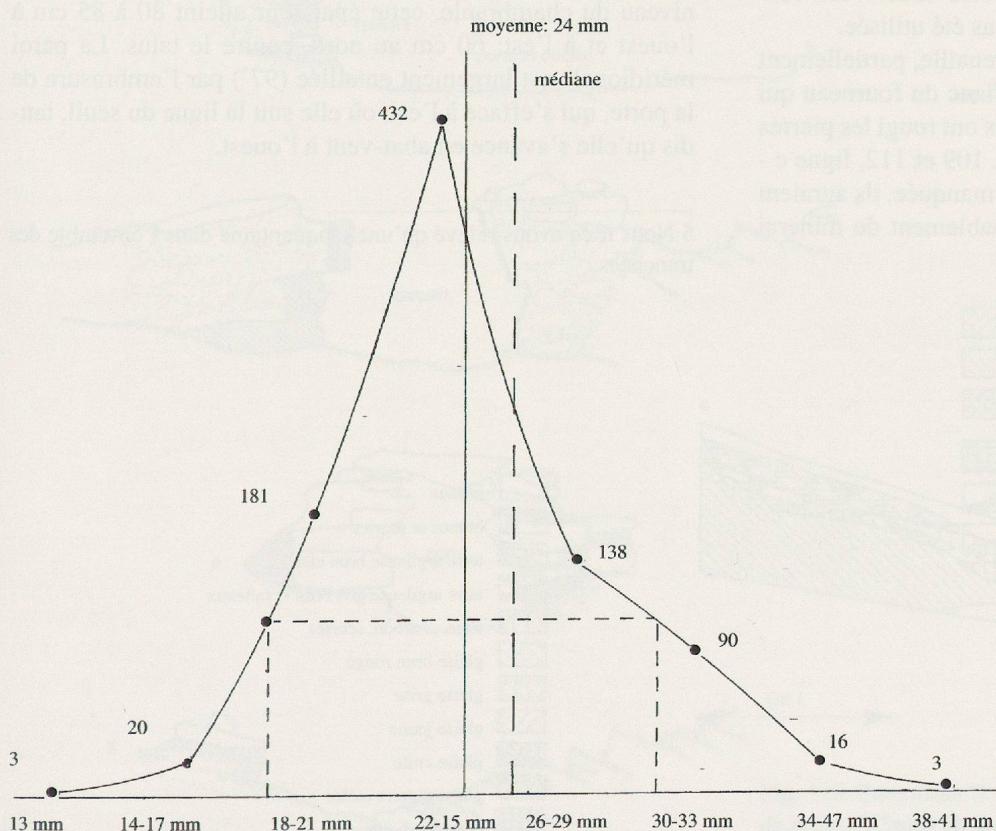


Fig. 111. Bossena I. Epaisseur des tuiles plates.

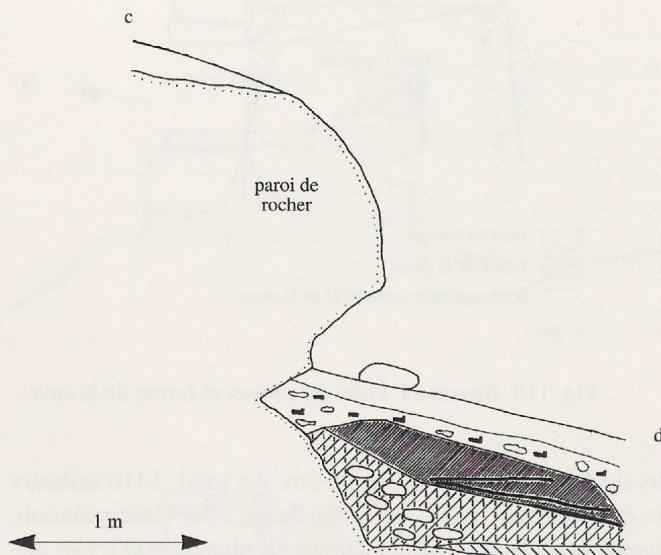


Fig. 112. Bossena I . Coupe c d, 40 cm au sud du foyer.

Lacs III à 200 m au sud-est ou aux Petits-Lacs IV à 180 m au nord-est, deux exploitations beaucoup plus importantes (voir fig. 4), qui n'ont pas été fouillées?

Superposées en couches cimentées de glaise de 5 cm d'épaisseur, les tuiles permettraient de surélever les vestiges existants d'environ 50 cm (sous la forme d'un massif quadrangulaire, comme XIX et XX). Du fait que quelques pierres aussi ont été utilisées dans la superstructure, on peut penser que le four mesurait au minimum 120 cm.

Le fourneau de Bossena I a fonctionné assez longtemps pour laisser dans le terrain 30 à 40 m³ de scories. Il a été abandonné pourtant avant d'avoir épuisé toutes ses ressources: ainsi la tuyère supérieure n'a pas été utilisée.

Environ 150 litres de minerai en grenaille, partiellement réduit, ont été déposés brûlants sur le flanc du fourneau qui n'était pas encombré par la soufflerie. Ils ont rougi les pierres extérieures de la paroi méridionale (fig. 109 et 112, ligne c - d). S'ils avaient résulté d'une réduction manquée, ils auraient été évacués par la porte. Il s'agit probablement de minerai grillé déversé à portée de main.

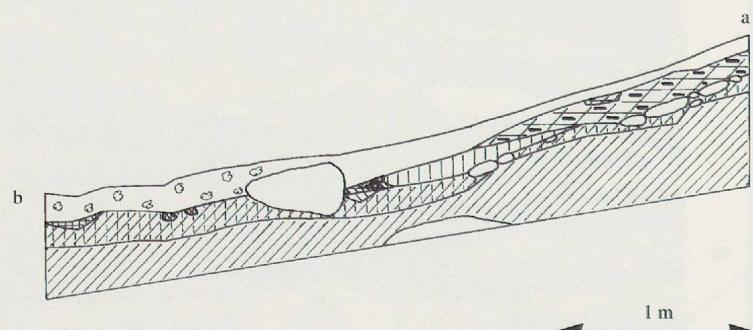


Fig. 114. Bossena I. Tranchée a b, 4 m au sud du four.

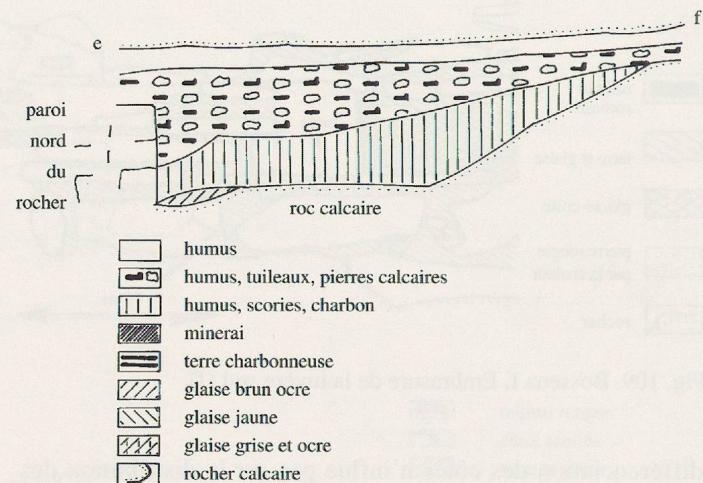


Fig. 113. Bossena I. Coupe e f, place de travail au nord du four.

Prins-Bois II

Four XXIII (plan et coupes, fig. 115-117)

La halde de Prins-Bois II (commune de Juriens) résulte d'un seul fourneau, encastré au point le plus élevé d'un petit talus orienté au sud (fig. 8). Contre le talus, le four a conservé une hauteur de 120 cm environ. Les autres parois se sont éboulées naturellement. On peut replacer exactement une série de pierres. Construit en gneiss et en granits, auxquels sont mêlés quelques blocs de calcaire et une vingtaine de tuileaux romains⁵, le fourneau s'encastre de 80 cm dans le calcaire urgonien. Sa base forme une ellipse de 225 cm sur 200 environ. Les parois ont une épaisseur considérable: au niveau du chambranle, cette épaisseur atteint 80 à 85 cm à l'ouest et à l'est; 60 cm au nord, contre le talus. La paroi méridionale est largement entaillée (97°) par l'embrasure de la porte, qui s'efface à l'est, où elle suit la ligne du seuil, tandis qu'elle s'avance en abat-vent à l'ouest.

5 Nous n'en avons relevé qu'une cinquantaine dans l'ensemble des tranchées.

■	humus
▨▨	humus et scories
▨▨▨	terre argileuse brun clair
▨▨▨▨	terre argileuse gris brun et tuileaux
	terre, charbon, scories
▨▨▨▨	glaise brun rouge
▨▨▨▨	glaise grise
▨▨▨▨	glaise jaune
▨▨▨▨	glaise cuite
▨▨▨▨	glaise et terre mêlée
▨▨▨▨	terre charboneuse

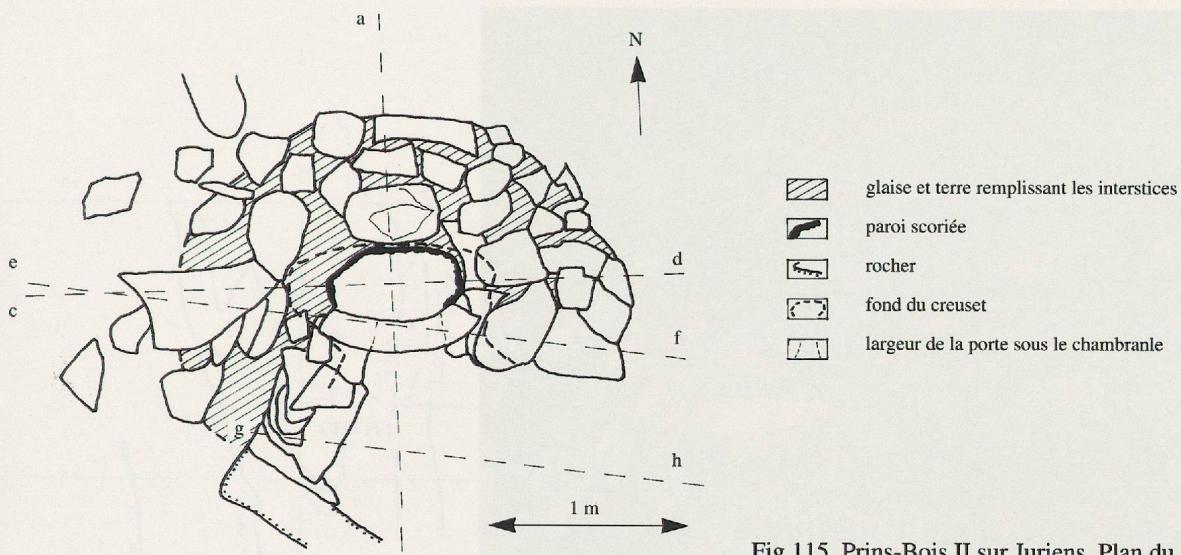


Fig.115. Prins-Bois II sur Juriens. Plan du four XXIII.

A la hauteur du chambranle, la cuve n'a plus que 65/35 cm. Le gueulard, détruit, devait être plus étroit.

Le roc calcaire, calciné par la chaleur, sert de fond. Il descend en direction de la porte. Pour atteindre le niveau du seuil, le rocher a été entaillé à coups de pioches du côté est; il s'est détaché en escalier du fait du clivage naturel des couches calcaires (fig. 116, ligne gh, 117).

Aucune tuyère n'a été retrouvée dans les parois; un seul déchet (bec ovaloïde, Ø 4,5-5,5 cm) dans les tranchées d'approche. La soufflerie devait être placée dans la porte uni-

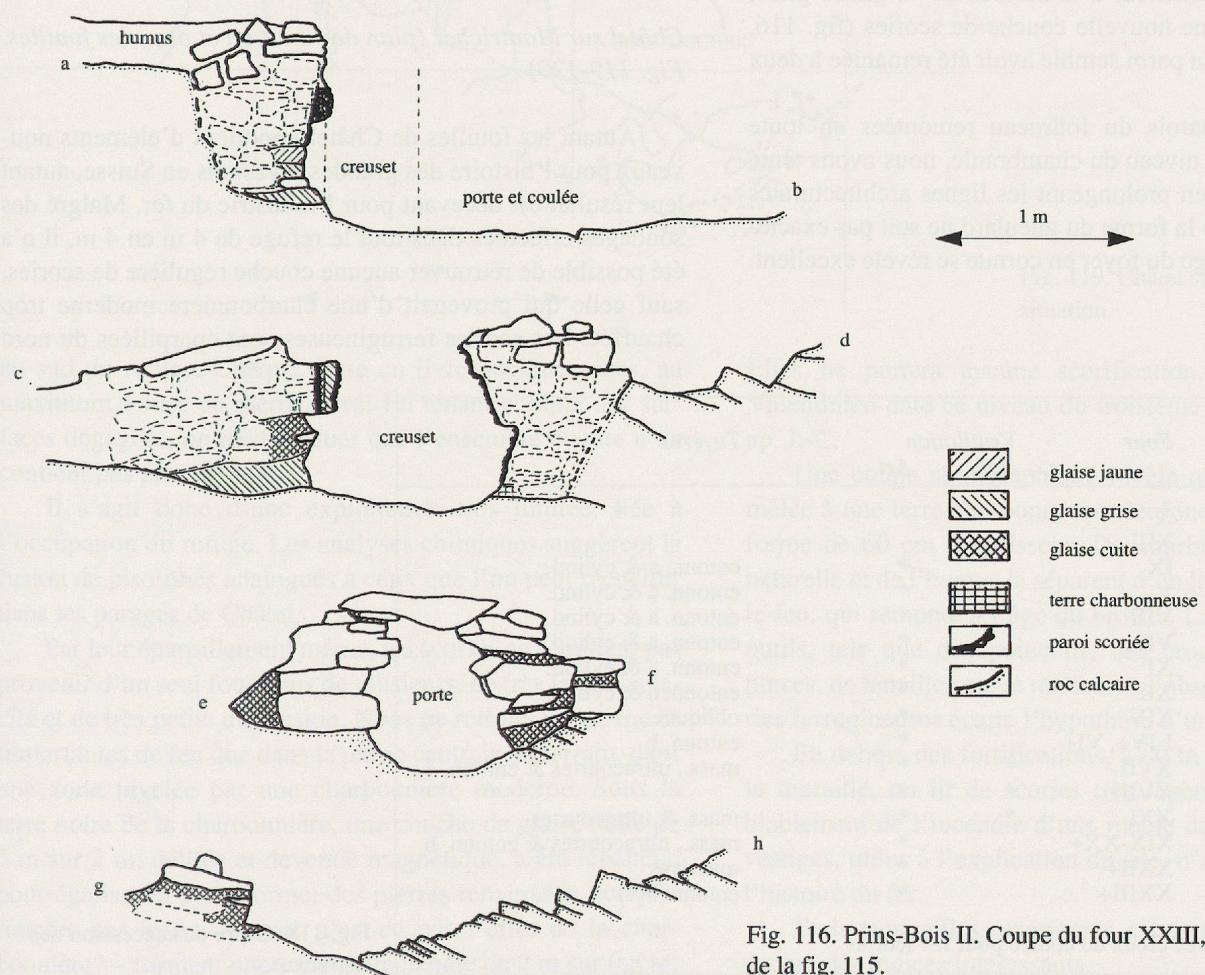
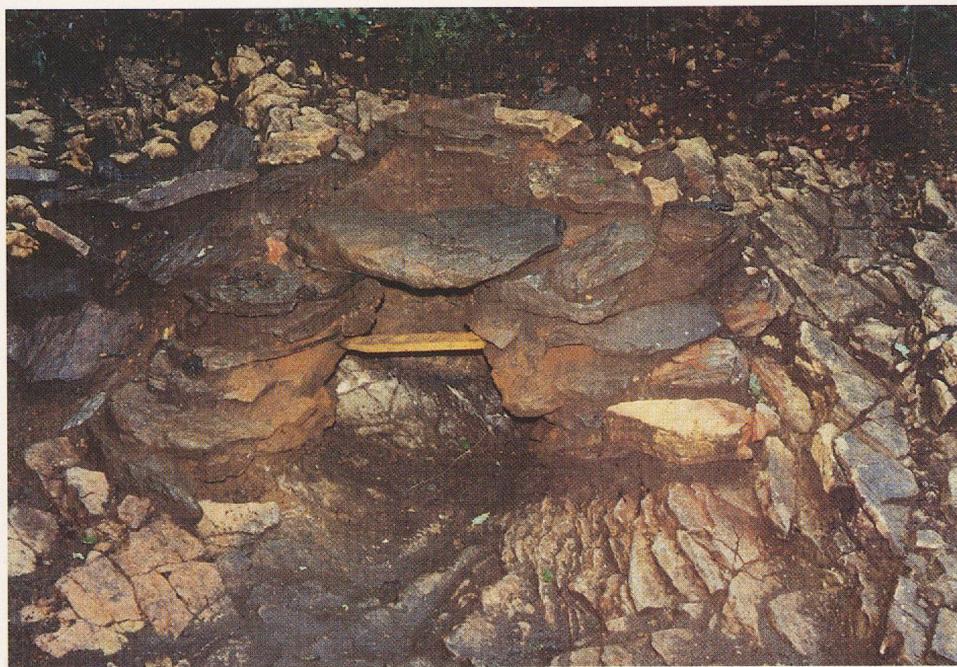


Fig. 116. Prins-Bois II. Coupe du four XXIII, selon a b, c d, e f, g h de la fig. 115.



quement; elle était cependant assez puissante pour provoquer la formation d'une coulure de fonte de 22 cm de longueur pesant 405 g.

Le four a été restauré en cours d'exploitation: sur la paroi ouest, les scories se sont agglutinées d'abord au gneiss. Elles ont été reglaisées (couche rouge contre la scorie, grise à l'intérieur du four sous l'effet de la surchauffe). Des éclats de pierre, collés verticalement à la surface de la glaise grise, sont recouverts d'une nouvelle couche de scories (fig. 116, ligne cd). Au nord, la paroi semble avoir été remaniée à deux reprises.

Une fois les parois du fourneau remontées en toute exactitude jusqu'au niveau du chambranle, nous avons tenté une reconstitution, en prolongeant les lignes architecturales existantes. Bien que la forme du gueulard ne soit pas exactement connue, le tirage du foyer en cornue se révèle excellent.

Fig.117. Prins-Bois II. La porte du four et le creux de coulée entaillé dans les couches calcaires.

L'ordre de succession des fourneaux

L'examen attentif de la stratigraphie des sites permet de fixer l'ordre de succession des fourneaux dans chacun des champs de fouilles (fig. 118).

Fourneaux arasés

Châtel sur Montricher (plan de situation et plan des fouilles, Fig. 119-120)

Autant les fouilles de Châtel apportent d'éléments nouveaux pour l'histoire des grandes invasions en Suisse, autant leur résultat est décevant pour l'industrie du fer. Malgré des sondages effectués dans tout le refuge de 4 m en 4 m, il n'a été possible de retrouver aucune couche régulière de scories, sauf celle qui provenait d'une charbonnière moderne trop chauffée. Les scories ferrugineuses sont épargnées du nord

Site	Niveau	Four	Ventilation Nat. Art.	Tuyères
Bell.I	1a(W)	X	*	
	1b(E)	XIII	*	
	2	IX	*	
	3	V	*	
	4	VIII	*	
	5	VII	*	
	6	XI	*	
	7	XII	*	
	8	XIV	*	
Bell.II	9	I-IV+, VI+	*	
	unique	XVII	*	enton. a & cylind.
Bell.III	1	XVIII	*	enton. a & cylind.
Boss.I	1	XXI	*	enton. a & cylind.
	2	XIX-XX+	*	enton. a & cylind.
Pr.-B.II	unique	XXII+	*	obliques
Pr.-B.II	unique	XXIII+	*	enton. b
				mass., ultracourtes & entonn. a
				mass. & ultracourtes
				mass., ultracourtes & entonn. b
				massives
				enton. b(?)

N. B. + fourneau avec creux de coulée pour les scories

Fig. 118. Ordre de succession des fourneaux.

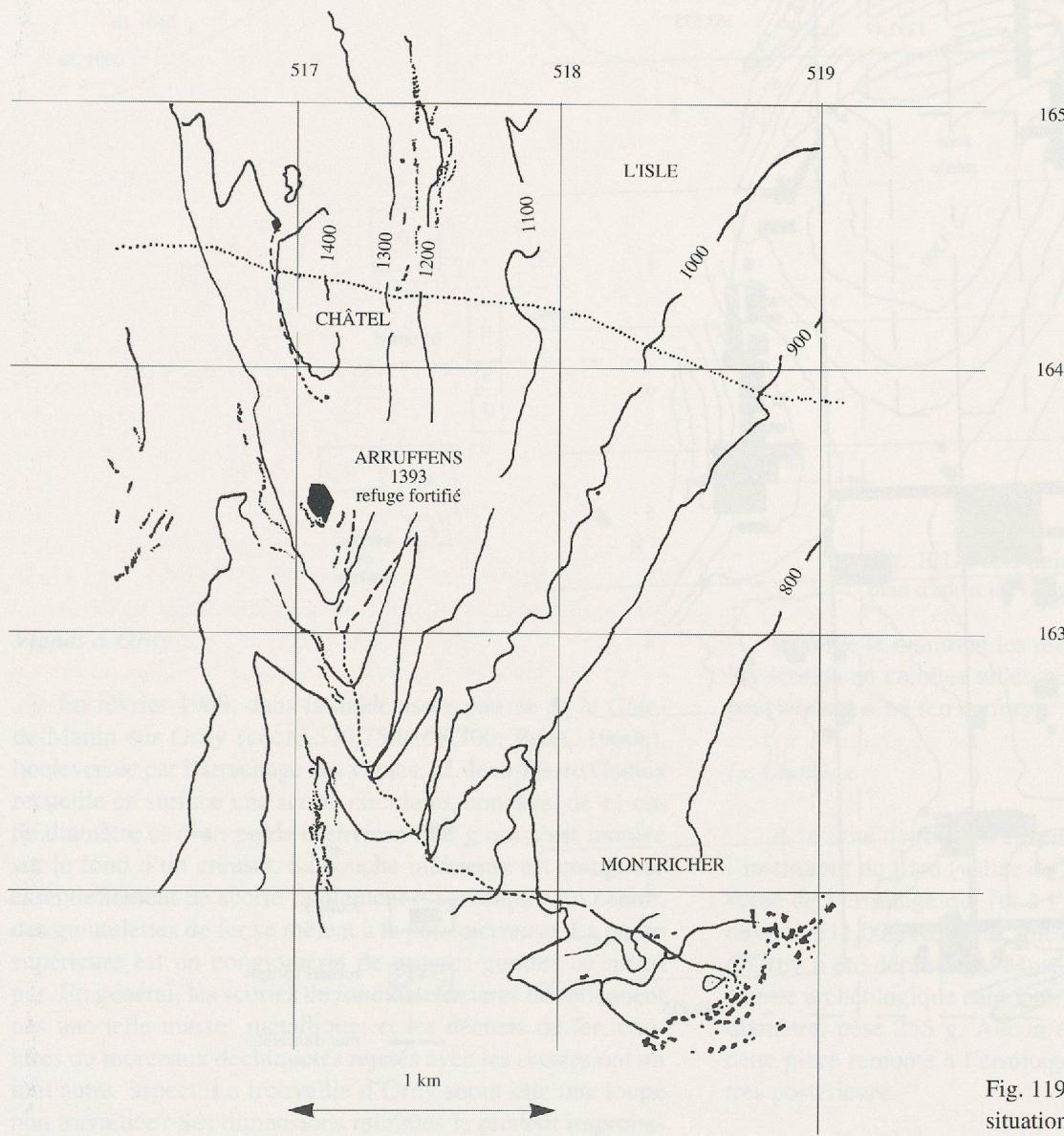


Fig. 119. Châtel sur Montricher. Plan de situation.

au sud du refuge. Chaque fosse en livre quelques-unes, au maximum 1 litre au mètre carré! En tenant compte des surfaces dégagées, on peut évaluer que l'ensemble du site n'en contient pas plus de 3m³.

Il s'agit donc d'une exploitation très limitée, liée à l'occupation du refuge. Les analyses chimiques suggèrent la fusion de pisolithes analogues à ceux que l'on peut recueillir dans les parages de Châtel.

Par leur épargillement même, les scories ne semblent pas provenir d'un seul four mais de plusieurs, de très faible capacité et de très petite dimension. Nous ne retrouvons de traces importantes de feu que dans la partie centrale du terrain, dans une zone nivelée par une charbonnière moderne. Sous la terre noire de la charbonnière, une couche de glaise cuite de 5 m sur 2 m, délitée et devenue magnétique, a été répandue pour égaliser la plate-forme; des pierres renversées, souvent rougies par le feu – mais n'est-ce pas l'effet de la charbonnière? – forment une sorte de rectangle de 2 m sur 0,8 m.

Elles ne portent aucune scorification. Une monnaie de Valentinien date ce niveau du troisième quart du IV^e siècle ap. J.-C.

Une coupe stratigraphique révèle que la glaise délitée mêlée à une terre charbonneuse s'enfonce en une masse informe de 60 cm d'épaisseur. Du charbon, puis de la terre naturelle et de l'humus la séparent d'un lit de glaise rougi par le feu, qui remonte à l'âge du bronze. La présence de petits outils, tels que des poinçons, des crochets, l'absence de pinces, de tenailles ou de marteaux, l'absence surtout de scories ferrugineuses écarte l'hypothèse d'une forge.

En dehors des fortifications, à 80 m environ au nord de la muraille, un lit de scories très légères résulte vraisemblablement de l'incendie d'une meule de charbonniers. Ces vestiges, utiles à l'explication du site, n'apportent que peu à l'histoire du fer.

Trois trouvailles extérieures à nos fouilles fournissent encore des indices intéressants.

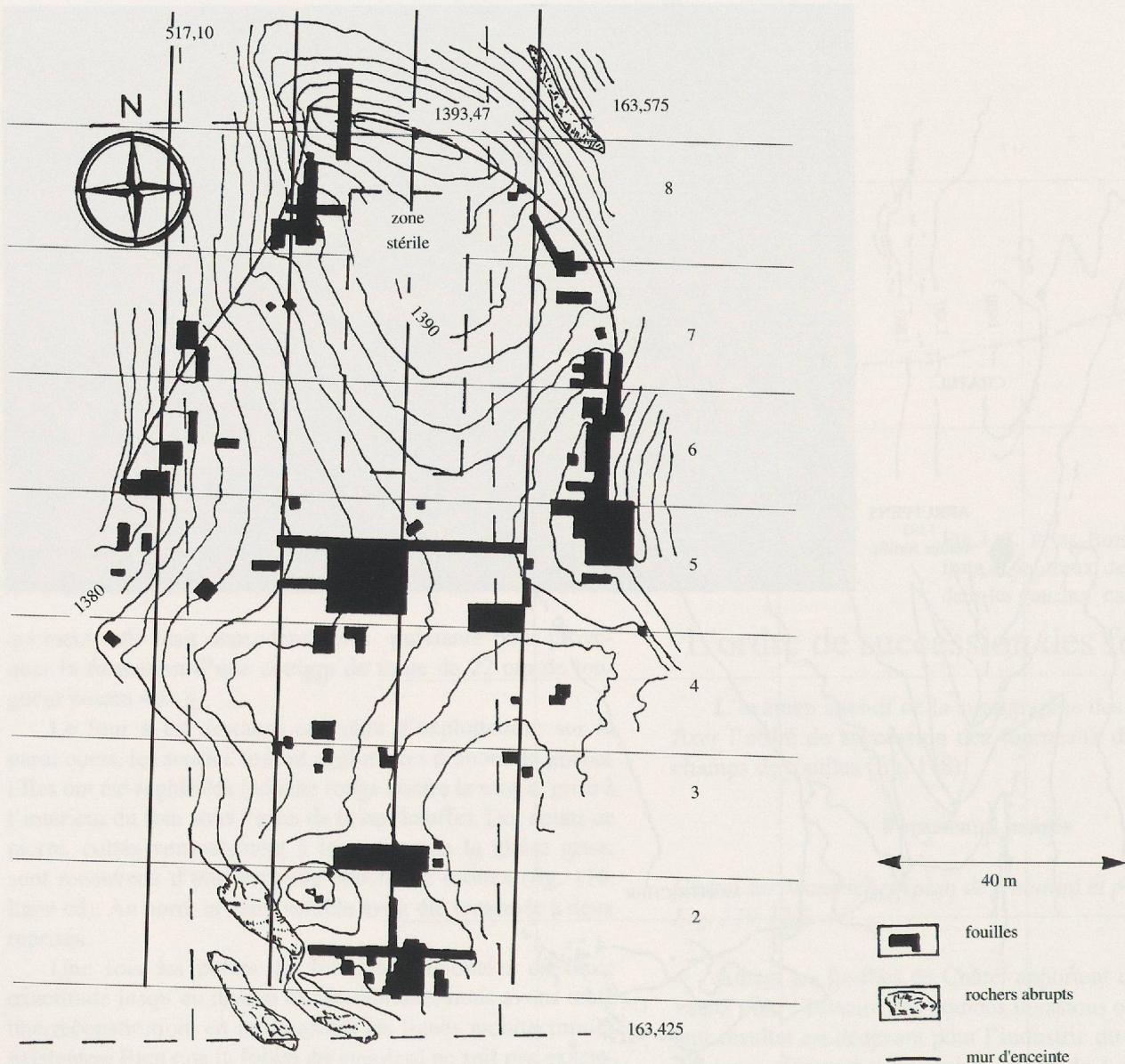


Fig. 120. Châtel sur Montricher. Plan des fouilles, d'après le levé stéréophotogrammétrique de MM. Gross et Luyet. Equidistance des courbes de niveau: 1 m.

Forel/Saint-André (profil et plan du site, fig. 121)

Sur l'arête boisée et abrupte qui domine de 400 m le village de Baulmes au sud-ouest (coord. 528,725/182,425), M. Gustave Ravussin relève en 1968, à 1060 m d'altitude, le plan de sept bâtiments dont les murs sont encore décelables. L'ensemble forme un quadrilatère d'environ 50 m sur 80 qui occupe toute la largeur du dos d'âne. Une vaste cour intérieure est déchirée par un creux profond, puits ou doline. La situation précaire de bâtiments confinés sur une arête étroite et stérile semble indiquer une époque d'insécurité; le petit volume des scories, une activité momentanée, une production destinée à la satisfaction de besoins immédiats.

Un sondage limité révèle la présence de tuiles romaines (épaisseur moyenne 23 mm). Au nord-est, des scories magnétiques sont relevées dans la couche superficielle, tandis qu'à l'angle nord-ouest du bâtiment F, un amoncellement de scories – une vingtaine de kilos – est mêlé aux restes du mur du côté extérieur, entre les racines d'un sapin renversé par le vent. Ces scories frappent par leur lourdeur et par l'abondance des sornes ou calottes, qui dessinent le fond d'un creuset d'environ 20 cm de diamètre. L'une d'elles a été extraite d'un coup de pioche.

Le revêtement intérieur du foyer était fait de tuileaux romains. Les recherches d'archéométrie sidérurgique de Vincent Serneels confirment que ces déchets peu abondants proviennent d'un foyer de forge et non d'une ferrière.

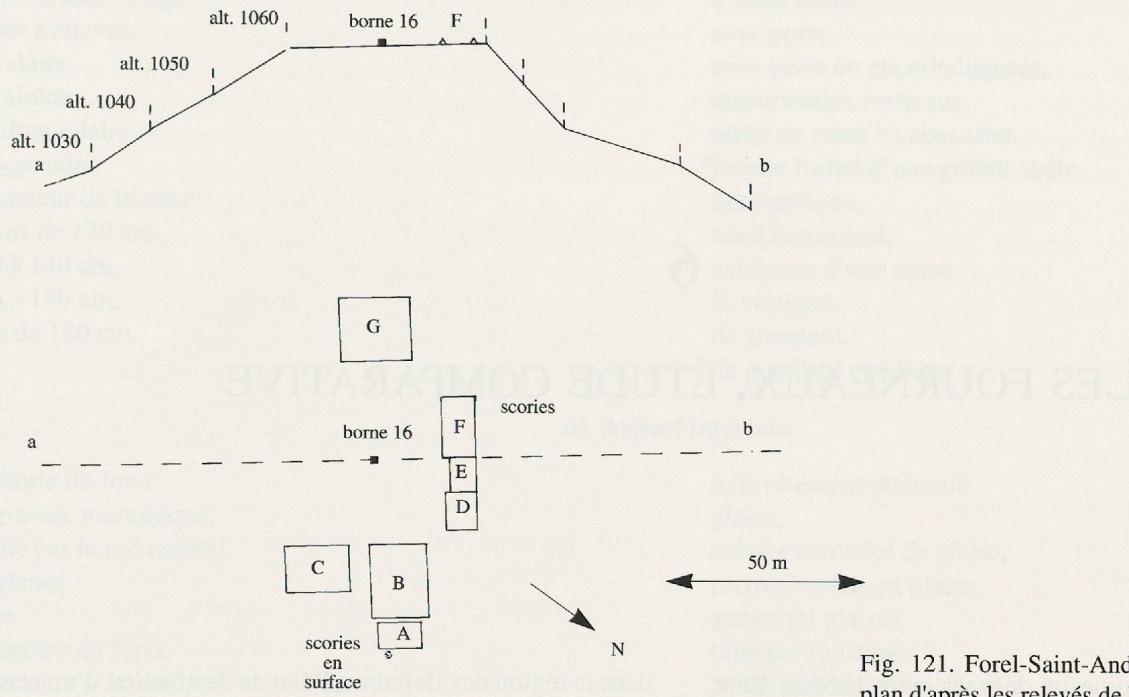


Fig. 121. Forel-Saint-André sur Baulmes. Profil et plan d'après les relevés de M. Gustave Ravussin.

Vignes d'Orny

En février 1969, dans la halde assez pauvre de la Côte-de-Manin sur Orny (coord. 530,750/168,700; Pelet, 1960a), bouleversée par l'arrachage des vignes, M. Jean-Pierre Gadina recueille en surface une scorie circulaire, concave, de 11 cm de diamètre et d'un poids d'environ 388 g qui s'est moulée sur le fond d'un creuset. Sa couche inférieure est composée essentiellement de scorie faiblement magnétique. Au centre, des gouttelettes de fer se mêlent à la pâte pierreuse. La partie supérieure est un conglomérat de grosses gouttes de métal pur. En général, les scorries de fond des ferrières ne retiennent pas une telle masse métallique; et les déchets de fer, coulures ou morceaux déchiquetés rejetés avec les scorries ont un tout autre aspect. La trouvaille d'Orny serait-elle une loupe non travaillée? Ses dimensions minimes le rendent improbable: le fourneau le plus étroit relevé dans nos fouilles, le XIV de Bellaires I mesure 22 cm de diamètre au gueulard, 30 à 35 cm au fond.

Comme le montrent les recherches de Vincent Serneels, les scories en calottes telles que celle de la Côte-de-Manin proviennent d'un feu de forge.

Le Charoux

A la suite de fouilles exécutées au début de ce siècle par l'instituteur du Lieu (vallée de Joux) sur l'emplacement présumé de l'ermitage qui fut à l'origine de la localité (coord. environ 511,000/167,000), une calotte de fer analogue à celle d'Orny a été déposée au Musée scolaire du Sentier puis au Musée archéologique cantonal. Cette calotte mesure 9 cm de diamètre, pèse 255 g. Aucun élément ne permet de dire si cette pièce remonte à l'ermitage du Ve siècle ou à une forge très postérieure.

6

LES FOURNEAUX, ÉTUDE COMPARATIVE

LES vingt-trois fourneaux dégagés entre 1963 et 1968 forment une série limitée et passablement disparate, mais mieux conservée que celle de Prins-Bois I (Pelet, 1960a). Les découvertes de ce premier site sont trop fragmentaires pour qu'il soit utile de les intégrer dans l'étude comparative. Nous les reportons en fin de chapitre. Même

dans la région des Bellaires, l'état de destruction d'un certain nombre de fours ne permet plus qu'une description lacunaire. Une analyse comparative risque donc de tourner court, si l'on ne relève pas tous les indices susceptibles d'apporter un éclaircissement. Quatre-vingt-onze caractéristiques ont été retenues.

Caractéristiques des fourneaux

a) Position des fourneaux dans le terrain

1. niveau inférieur,
niveau intermédiaire,
niveau supérieur,
niveau unique.
2. four seul,
four en batterie,
four superposé ou sous un autre,
four jumelé.

3. four sans isolation thermique,
four à isolation thermique,
four encastré, en puits,
four accoté à un talus,
four appuyé à un rocher,
four en tour.

b) Matériaux

1. pierres morainiques,
dalles de granit et gneiss,
dalles calcaires,
glaise,
scories et glaise.

2. a) construit avec des matériaux de réemploi cimentés avec glaise:
jaune orange,
brun rouge tournant au gris
b) dont le mur extérieur est colmaté d'humus.

c) Aspects extérieurs

1. épaisseur des murs:
parfois moins de 40 cm,
40 à 60 cm,
constamment supérieure à 60 cm.

2. forme extérieure générale:
trapue,
allongée,
très allongée.

3. forme extérieure:

en fer à cheval,
circulaire,
«ovaloïde»,
quadrangulaire,
polygonale.

4. hauteur de la cuve:

moins de 120 cm,
120 à 140 cm,
140 à 180 cm,
plus de 180 cm.

5. sans porte,

avec porte,
avec porte en encorbellement,
chambranles verticaux,
pilier de porte en abat-vent,
linteau formé d'une grande dalle,
seuil oblique,
seuil horizontal,
existence d'une dame.

6. vestiges:

de gueulard,
de gueulard en glaise.

d) Aspect intérieur

1. nature du fond:

en gravier morainique,
formé par le roc naturel,
en glaise,
dallé.

2. surface du fond:

supérieure à 30 dm²,
supérieure à 20 dm²,
supérieure à 10 dm²,
inférieure à 10 dm².

3. forme du fond:

trapu,
relativement allongé,
très allongé,
en fer à cheval,
circulaire,
pratiquement ovale,
quadrangulaire,
trapézoïdal.

4. revêtement intérieur:

glaise,
scories enrobées de glaise,
pierres roulées et glaise,
gneiss (et glaise),
tuileaux romains.

5. cuve avec:

une paroi verticale au moins,
une paroi amont verticale,
une paroi latérale verticale.

6. forme de la cuve

conique,
tubulaire,
asymétrique.

7. intérieur:

fortement scorié,
moyennement scorié,
faiblement scorié,
reglaisé.

e) Ventilation

1. ventilation:

naturelle,
artificielle,
mixte.

2. forme des tuyères:

en entonnoir,
à alvéoles,
cylindriques,
cylindriques étroites,

ogivales massives,

ultracourtes,
à implantation oblique.

3. position des tuyères:

dans la porte,
latérale,
deux tuyères latérales ou plus,
tuyère près du fond du creuset,
tuyère à plus de 20 cm du fond.

Ces caractéristiques, groupées ci-dessus selon la logique de la description n'ont pas toutes la même importance. Certaines sont dues à des circonstances fortuites plus qu'à une volonté concertée. Ainsi, onze fourneaux encastrés dans un talus reposent sur un fond morainique, cinq autres sur le roc. Ces deux sous-ensembles naissent simplement des surprises du terrassement. Les fours à faible, ou au contraire à forte scorification, doivent cette différence autant, si ce n'est plus, aux péripéties de l'exploitation qu'à leur architecture et à leurs qualités intrinsèques.

Le choix des matériaux de construction dépend probablement moins de l'expérience technique des forgerons que des ressources mêmes du site. Certaines différences ou ressemblances frappantes au premier abord se révèlent très secondaires après analyse. Ainsi le revêtement intérieur en tuiles romaines de XIV qui le rapproche de son prédécesseur XII est simplement repris et réutilisé. C'est du matériel de réemploi pour un modèle en fait totalement différent. Au contraire, le revêtement en dalles de gneiss du four IX paraît étranger à ceux en tuileaux romains de XII ou de XI. En fait,

des manteaux de pierres plates ou de tuiles résultent du même désir de superposer des matériaux réfractaires en couches parfaitement horizontales. Les constructeurs de IX puis de XI et de XII tendent au même but.

Groupe I. Caractéristiques fondamentales

Ia Four:

à isolation thermique,
sans isolation thermique.

Ib Four:

à ventilation naturelle,
à ventilation artificielle,
à ventilation mixte.

1c Hauteur de la cuve:

moins de 4 pieds (moins de 118 cm),
4 à 5 pieds (118-148 cm),
5 à 6 pieds (148-177 cm),
plus de 6 pieds (plus de 177 cm).

Id Surface du fond:

supérieure à 30 dm²,
inférieure à 30 dm²,

Une hiérarchie peut être établie: les traits catalogués forment cinq groupes, non plus selon l'ordre de la description, mais selon leur importance dans la construction des fourneaux et dans la fabrication du fer (groupes I à V).

inférieure à 20 dm²,
inférieure à 10 dm².

Ie Forme de la cuve:

tubulaire (type 3),
asymétrique (type 4a),
conique (type 5a).

If Forme du fond du creuset:

en fer à cheval,
circulaire,
pratiquement ovale,
quadrangulaire régulier,
trapézoïdal.

Ig Four:

avec porte,
sans porte.

Ia) L'isolation thermique

Sous les tropiques, les maîtres de forges se soucient peu de la déperdition de chaleur. Les fours du Togo, de l'Inde et des Philippines (Johannsen, 1953, 11,16,35 par ex.) ne s'embarrassent pas d'épaisses parois. En Europe centrale et septentrionale au contraire, les foyers sont isolés de la fraîcheur ambiante. On peut donc distinguer deux types de fourneaux:

- a) ceux qui ne sont pas protégés du froid,
- b) ceux qui disposent d'une isolation thermique sérieuse.

Le climat et les craintes qu'il inspire aux maîtres de forges créent cette différence, et non le choix d'une technique de fusion. Cette distinction n'a pas l'importance technique qu'on lui a attribuée souvent (Forbes, 1950, 129), mais elle correspond à une distribution climatique très générale. En Europe, les fours mal isolés sont des foyers de forge ou des fours à recuire.

Les fourneaux de réduction de type b, que l'on tient donc à protéger du froid sont les uns encastrés dans le sol, les autres entourés d'une chape isolante en glaise, en pierres, en scories ou en terre végétale.

Comme nos fouilles le montrent clairement, cette subdivision dépend le plus souvent d'un accident, la configuration du terrain. 22 des 23 fourneaux des Bellaires, de la Bossena et de Prins-Bois II, comme 20 des 24 fourneaux de Prins-Bois I sont encastrés dans des talus abrupts. Les autres (Prins-Bois I/VII, XVIII, VIII, XI, Bellaires III/XXI) ont été élevés sur des replats rompant la pente. Il est inutile d'en faire un sous-groupe. Les seuls foyers pour lesquels nous ne constatons pas une isolation systématique (voir p. 41) sont les fours, probablement à recuire XV et XVI de Bellaires I.

Dans son essai de classification des fours à métaux, Forbes, (1950, 129) qui attache une grande importance au problème de l'isolation thermique la combine avec le choix des matériaux de construction et l'apparence générale pour obtenir trois catégories de fourneaux de réduction:

- les fours creusés, «ditch furnace»,
- les fours montés en glaise, «pot furnace»,
- les fours encastrés en puits, «shaft furnace».

Cette classification ne permet pas d'englober les types bâtis en scories (Prins-Bois I, Pelet, 1960a) ou les modèles mi-creusés, mi-bâtis, de la Germania Magna (Pleiner, 1965, 22), découverts depuis. Il faut l'abandonner et s'arrêter à un critère plus significatif, la ventilation.

Ib) La ventilation

Forbes (1950,129) a relevé à juste titre l'importance fondamentale de la ventilation, parfois naturelle (type I), le plus souvent artificielle: soufflets à main ou à pied (type II), trompes hydrauliques (type III), soufflets à moteur hydraulique (type IV).

Site	Naturel	Artificiel	Mixte	Total
Bell. I	2	14*		16
Bell.II			1	1
Bell.III		2	2	4
Boss.I		1		1
Pr.-B.II		1		1
Total	2	18	3	23

* dont 2 fours à recuire

Fig. 122. Ventilation.

Cette classification des techniques ne correspond pas à une évolution chronologique absolue. Sans parler des survivances archaïques, il est évident que les plus anciens foyers, les petits modèles creusés du premier âge du fer ne pouvaient se passer de soufflets ou de chalumeaux tout au moins (Osann, 1971, I, 9-10; Pertlwieser, 1970 /I, 51, 74). L'invention du type I remonte à l'époque de La Tène.

Si nous tentons de classer nos trouvailles du pied du Jura selon ces critères, nous faisons la constatation suivante: 18 des 23 fours dégagés disposent d'une soufflerie artificielle, tandis que deux sont conçus pour une ventilation naturelle. Ces deux familles ont cependant créé des bâtards, qui munis de tuyères se satisfont occasionnellement du seul effet du vent. De tels modèles ne sont pas inconnus ailleurs (Schweinfurth, 1875, I, 202).

- La forme intérieure du fourneau

Une fois reconnu le type de ventilation, le critère distinctif le plus important, c'est le vide intérieur du fourneau et son volume, qui déterminent au premier chef les qualités réductrices de l'appareil et ses possibilités de production. Comme les destructions empêchent le plus souvent d'évaluer ce volume, trois données peuvent compenser partiellement cette lacune: la hauteur totale de la cuve, son architecture, la surface du fond.

Ic) La hauteur

Très significative dans les forges primitives de types I et II, la hauteur de la cuve est en fait corollaire de la ventilation adoptée. Les fourneaux à tirage naturel n'obtiennent apparemment une température suffisante qu'en portant leur gueulard à plus de deux mètres de hauteur. Avec une soufflerie, une telle élévation n'est pas nécessaire; des dimensions plus modestes économisent matériaux et frais de construction, jusqu'au jour où, après l'an 1000 en Occident, des souffleries perfectionnées conduisent à nouveau à accroître la charge utile de chaque fonte. Si l'on écarte Prins-Bois I où les données sont insuffisantes (voir pp. 78-79), les fourneaux retrouvés se divisent en quatre groupes, ceux dont la taille, en pieds romains:

- dépasse 6 pieds (177cm),
- atteint 5-6 pieds (148-177cm),
- atteint 4-5 pieds (118-148cm),
- n'atteint pas 4 pieds (118cm).

Ils se répartissent de la façon suivante:

Site	Incrt.	< 4'	4-5'	5-6'	> 6'	Tot.
Bell. I	1	1	9	1	2	21
Bell.II			1			1
Bell.III			4			4
Bossena I			1			1
Prins-B.II			1			1
Total		1	1	16	1	21
:: pieds						

Fig. 123. Hauteur des fourneaux (en pieds).

Id) La dimension du fond

La dimension du fond suggère une échelle de production. Il est évident que les modèles les plus petits ne récolteront qu'une quantité minime de fer. Et des fonds de forme très diverse, oblongs ou quadrangulaires, mais d'une superficie analogue pourront contenir des loupes de poids équivalent. Nos fouilles nous amènent à distinguer les fourneaux dont le fond a une superficie:

- égale ou supérieure à 30 dm²,
- entre 20 et 30 dm²,
- entre 10 et 20 dm²,
- inférieure à 10 dm².

Site	Inconn. dm ²	<10 dm ²	10-20 dm ²	20-30 dm ²	≥30 dm ²	Tot.
Bell. I		1		1	12	14
Bell.II			1			1
Bell.III	1		1		2	4
Bossena I				1		1
Prins-B.II					1	1
Total		1	1	2	15	21

Fig. 124. Dimension du fond.

Ie) La forme intérieure de la cuve

A part le précieux tableau donné par Radomir Pleiner (1958, 279) pour la Tchécoslovaquie, il n'existe au moment des fouilles aucune étude systématique détaillée de la forme des foyers. Depuis le colloque d'Eisenstadt en 1975 (Pelet, 1976; 1977d) plusieurs systèmes de classification ont été proposés. Une délimitation de séries mouvantes est toujours arbitraire. Seuls les *noyaux* des ensembles décrits se caractérisent clairement. Le progrès technique suscite fréquemment des modèles intermédiaires, à l'*intersection* de deux ensembles (Pelet, 1982a).

Indépendamment de la ventilation adoptée, les cuves se répartissent en sept classes reconnaissables, dont les dimensions varient d'une époque, d'un pays, d'un modèle à l'autre.

1. Foyer **en forme de marmite**, creusé dans le sol, dont le diamètre varie entre 15 et 150 cm. Connu dès l'époque de Hallstatt, survivant à l'époque romaine, il subsiste jusqu'au XIX^e siècle chez les Tatares «Kouzneski», c'est-à-dire Forgerons (Beck, 1891, I, 285).

2. Foyer **en entonnoir**, qui facilite la concentration du minerai en voie de réduction. Cette forme, qui dérive de la précédente, subsiste dans des modèles répandus dans tout l'Ancien Monde: foyers catalans, petits fourneaux de l'Angermanland en Suède (XVIII^e siècle), «hauts fourneaux» produisant de la fonte, de Chine et des Philippines (Pleiner, 1965, 22; Courtivron et Bouchu, 1762, IV, 69, & pl. III).

3a. Foyer **tubulaire** relativement élevé (plus de 2 m) prévu à l'origine pour une ventilation naturelle. Il a été mis au jour de l'Angleterre (Ashwicken, Tylecote, 1962, 220) à l'Autriche (Lölling, W.Schmid, 1932, 39).

Site	Inconnu	3	4a	5a	Tot.
Bell. I	1	2	10	1	14
Bell.II				1	1
Bell.III	2		2		4
Bossena I			1		1
Prins-B.II			1		1
Total	3	2	14	2	21

Fig. 125. Les types de cuves.

3b. Foyer **tubulaire incliné**, qui diminue les risques d'étouffement et facilite la formation de la loupe. Décrit pour la première fois par Quiquerez (1855), il se retrouve dans des modèles plus petits en Europe de l'Est.

4a. Foyer à **panse asymétrique** (voir plus bas).

4b. Foyer à **panse élargie**, assurant tirage et réfraction, fréquent en Europe centrale (Pleiner, 1965, 17, fig.1).

5a. Foyer **conique**, réfléchissant la chaleur. Type relevé dès l'époque de La Tène dans le Siegerland, fréquent dans toute la *Germania Magna* des Anciens.

5b. Foyer **conique à chicanes** ralentissant la descente de la charge; Schweinfurth en signale lors de son exploration du Haut-Nil (Schweinfurth, 1875, I, 202).

6. Foyer en forme de **meule** ou de **coupole**, accentuant l'effet de réfraction. Connu dès l'époque romaine dans l'Yonne (Tryon-Montalembert, 1955, 191) et en Pologne, à Mechlin sur la Warta (Pleiner, 1965, 30, fig.7), il subsiste avec des dimensions plus réduites à Merishausen (Schaffhouse, Suisse) au VII^e siècle.

7. Foyer en **double cône** ou en **double pyramide**, assurant la meilleure distribution du combustible et du minerai et la meilleure concentration du métal. Cette forme qui s'esquisse dans les fourneaux de la montagne de la Sainte-Croix en Pologne (Radwan, 1966, 63-88), au III^e siècle ap. J.-C., caractérise en général les modèles de grande dimension, à soufflerie hydraulique: «*Stückofen*» produisant des loupes de fer doux, et haut fourneau. Dans le Siegerland, une base trapézoïdale (XVIII^e siècle) est censée améliorer encore le tirage (Johannsen, 1953, 226).

Dans nos fouilles, es superstructures des fourneaux sont trop dégradées pour que l'on puisse reconnaître d'emblée l'architecture de leur cuve. Mais il en subsiste des indices significatifs: parois verticales ou obliques, esquisses d'un renflement ou d'un rétrécissement par exemple.

Les fours X et XIII de Bellaires I, à ventilation naturelle et de haute taille se rattachaient probablement, comme les

fours I à III de Prins-Bois I (Pelet, 1960a), moins élevés, au type tubulaire (type 3a ou 3b).

Les fours VII, VIII, IX, XI, XII et ceux du niveau supérieur: I à IV, VI, de Bellaires I, XIX et XX de Bellaires III, de même que XXII (la Bossena) et XXIII (Prins-Bois II), correspondent à quatre sous-ensembles de 4a, à panse asymétrique.

Le four XIV qui s'intercale stratigraphiquement entre XII et I à IV est au contraire de type conique (type 5 a). L'évolution de la technique thermique semble donc rompue et XIV apparaît comme un intrus entre des modèles apparentés.

If) La forme du creuset

Une caractéristique moins importante, et souvent négligée dans les descriptions, apporte une indication précise sur les intentions du constructeur: c'est la forme donnée au fond du creuset, forme qui reste visible le plus souvent.

Fixée au départ par le maître de forges, elle révèle un choix prémedité. Dans la plupart des études sur la sidérurgie antérieure à la soufflerie hydraulique, les fourneaux sont dessinés avec un creuset circulaire. Nous constatons dans nos fouilles cinq formes différentes:

1. en fer à cheval,
2. quadrangulaires,
3. trapézoïdales,
4. tendant à l'ovale,
5. circulaires,

formes qui peuvent apparaître aussi bien dans les modèles sans soufflets que dans les autres. Nous en tirerons un classement significatif.

Ig) La porte

La présence ou l'absence d'une porte est elle aussi une donnée d'importance première, puisqu'elle dépend du rôle que le maître de forges entend faire jouer à son fourneau. Certes, les modèles creusés (cuve 1) ou ceux en entonnoir (cuve 2) peuvent s'en passer: on en extrait la loupe avec une pioche ou avec une pince, comme on le fait encore au XIX^e siècle dans les forges catalanes.

Les modèles à gueularde étroit – ceux que nous rencontrons dans nos fouilles – impliquent ou l'établissement d'une porte ou la destruction d'une partie de la cuve pour sortir la loupe.

Lorsque le four est prévu pour une chauffe unique ou pour un très petit nombre d'opérations de fusion, la construc-

Site	Fer à cheval	Quadrangulaire	Trapézoïdal	«Ovale»	Circulaire	Incertain	Total
Bell. I	3	2	2	5	1	1	14
Bell.II					1	1	1
Bell.III	1			2		1	4
Bossena I			1				1
Prins-B.II				1			1
Total	4	2	3	8	1	3	21

Fig. 126. Fond du creuset.

Site	Porte	Dame	Sans porte	Inconnu	Total
Bell. I	8	2	1	3	14
Bell.II	1				1
Bell.III	3			1	4
Boss.I	1				1
Pr.-B.II	1				1
Total	14	2	1	4	21

Fig. 127. Absence ou présence de porte.

tion de montants de pierres et d'un chambranle en encorbellement ou en voûte est une dépense inutile. Elle ne s'impose que lorsque le four est destiné à un usage répété.

Placée à 1 ou 2 dm **au-dessus du fond**, la porte oblige à extraire la loupe avec un outil, pince ou pioche; un seuil élevé, une «dame» comme dans le haut fourneau, retient plus sûrement la masse en voie de réduction, peut favoriser la décarburation en prolongeant le contact avec les scories. Située **au niveau du fond**, cette porte permet l'évacuation des scories pendant la mise à feu, si la température atteinte est suffisamment élevée (plus de 1200°); la production de chaque chauffe en est fortement accrue. C'est la technique adoptée par les fours des niveaux supérieurs: Bellaires (I à IV, VI, XIX, XX), Bossena (XXII) et Prins-Bois II (XXIII).

Nous avons donc affaire à des fourneaux destinés en général à une utilisation prolongée – ce que prouve le volume de leurs scories. Un seul des fourneaux n'a eu, en toute certitude, aucune porte: le XIV de Bellaires I qui, une

fois de plus, apparaît comme un cas unique. L'étude des caractéristiques fondamentales (groupe Ia à Ig) aboutit déjà à des constatations intéressantes.

Les tableaux des pages précédentes mettent en relief l'importance de Bellaires I dans nos investigations.

Ce site fournit les séries les plus complètes; il permet d'autre part de les contrôler, grâce à une stratigraphie complexe, certes, mais déterminable. Pour commencer, nous ne prenons que le cas de Bellaires I.

Classification des fourneaux de Bellaires I

Limitée à un seul site, la figure 128 laisse de côté certaines caractéristiques, comme la ventilation mixte. La simplification qui en résulte facilite une première vue d'ensemble. Dans ce tableau, deux cas extrêmes se détachent nettement: à gauche, les fours à ventilation naturelle caractérisés par leur absence de soufflerie, par leur hauteur et probablement par la forme de leur cuve. A droite, le four XIV, différent de tous les autres modèles à tirage artificiel dans chacune des caractéristiques relevées. Au centre, les onze fours de taille moyenne et à soufflerie qui se différencient progressivement et font entrevoir des influences ou des parentés inattendues. Ainsi, les fours VII et VIII ont un fond en fer à cheval comme X (et comme XXI de Bellaires III, à ventilation mixte). Au dernier échelon, les modèles pourvus d'une dame et par conséquent d'une embrasure de porte surélevée se situent au milieu de la série à porte normale. Ces fluctuations dont nous ignorons la logique aboutissent en fait

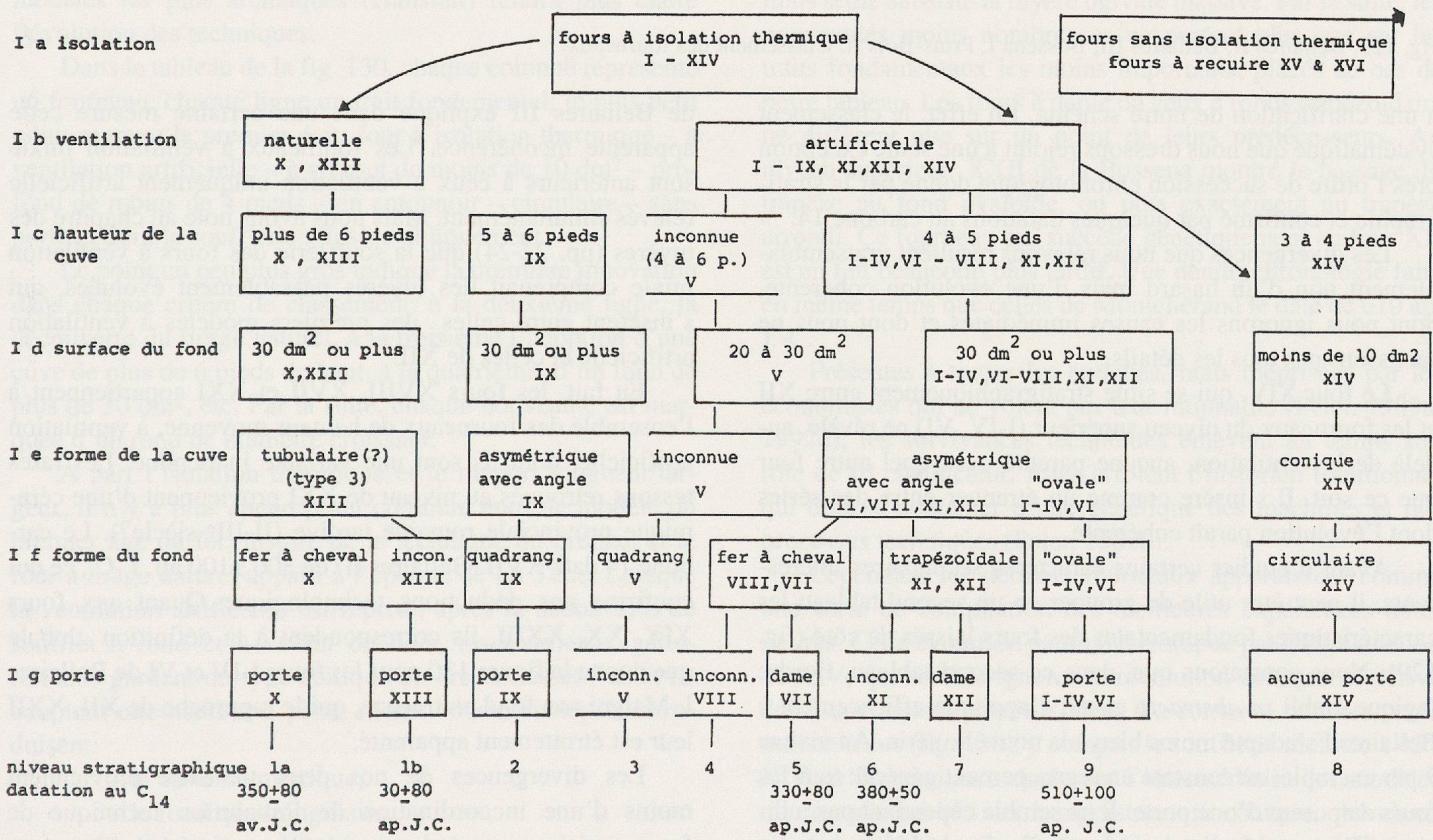


Fig. 128. Bellaires I. Classement des fourneaux.

I a isolation, I b ventilation, I c hauteur de la cuve

fours à isolation thermique
à ventilation artificielle
hauts de 4 à 5 pieds
XVII - XXIII

I b' ventilation artificielle ou mixte

v. naturelle prévue
XVII, XVIII, XXI uniquement artificielle
XIX, XX, XXII, XXIII

I d surface du fond

inconnue
XVIII

moins de 20 dm²
XVII, XXI

20 à 30 dm²
XXII

plus de 30 dm²
XIX, XX, XXIII

I e forme de la cuve

inconnue
XVIII

inconnue
XXI

conique(?)
XVII

asymétrique
XXII

asymétrique
XIX, XX, XXIII

I f forme du fond

inconnue
XVIII

fer à cheval
XXI

inconnue
XVII

trapézoïdale
XXII

"ovale"
XIX, XX, XXIII

I g porte

inconnue
XVIII

porte
XXI

porte
XVII

porte
XXII

porte
XIX, XX, XXIII

niveau stratigraphique

inférieur
XVIII

inférieur
XXI

unique
XVII

unique
XXII

supérieur
XIX, XX

unique
XXIII

II a tuyères

o g i v a l e s m a s s i v e s
X V I I I - X X I I

entonnoir
type b
XXIII

Fig. 129. Bellaires II, Bellaires III, Bossena I, Prins-Bois II. Classement des fourneaux.

à une clarification de notre schéma. En effet, le classement systématique que nous dressons rejoint à une seule exception près l'ordre de succession chronologique donné par la stratigraphie et confirmé par quelques datations au carbone 14.

Les divergences que nous relevons résultent vraisemblablement non d'un hasard mais d'une évolution cohérente, dont nous ignorons les causes immédiates et dont nous ne saissons pas tous les détails.

Le four XIV, qui se situe stratigraphiquement entre XII et les fourneaux du niveau supérieur (I-IV, VI) ne révèle, au-delà de la ventilation, aucune parenté avec quel autre four que ce soit. Il s'insère comme un étranger entre des séries dont l'évolution paraît cohérente.

Avant d'étudier certains caractères secondaires intéressants, il peut être utile de grouper en un second tableau les caractéristiques fondamentales des fours laissés de côté (fig. 129). Nous constatons que, dans ce second tableau, l'ordre logique établi *in abstracto* et qui s'applique efficacement à Bellaires I s'adapte moins bien à la nouvelle série. Au niveau 7 par exemple, on constate un regroupement général: tous les fours disposent d'une porte. Il ne semble cependant pas judicieux d'intervenir l'ordre adopté. Renier la hiérarchie des critères choisis fausserait la vue d'ensemble. La stratigraphie

de Bellaires III explique dans une certaine mesure cette apparente incohérence. Les fourneaux à ventilation mixte sont antérieurs à ceux à ventilation uniquement artificielle relevés simultanément. Mais nous avons noté au chapitre des tuyères (pp. 22-24) que la soufflerie des fours à ventilation mixte comprenait des tuyères passablement évoluées, qui s'insèrent entre celles des premiers modèles à ventilation artificielle et celles de XII.

En fait, les fours XVIII, XVII et XXI appartiennent à l'ensemble des fourneaux de hauteur moyenne, à ventilation artificielle, dont ils sont une variante inattendue. Les rares tessons retrouvés au niveau de XXI proviennent d'une céramique provinciale romaine tardive (II-III^e siècle?). Le carbone 14 date XVII (Bellaires II) de 300 ±100 ap. J.-C., ce qui confirme nos déductions technologiques. Quant aux fours XIX, XX, XXIII, ils correspondent à la définition globale que donne la figure 130 pour les fours I-IV et VI de Bellaires I. Malgré son fond en trapèze, qui le rapproche de XII, XXII leur est étroitement apparenté.

Les divergences de nos deux tableaux proviennent moins d'une incoordination de l'évolution technique de forges voisines que de la pauvreté de notre échantillonnage. Nous pouvons cependant corriger cette faiblesse de notre

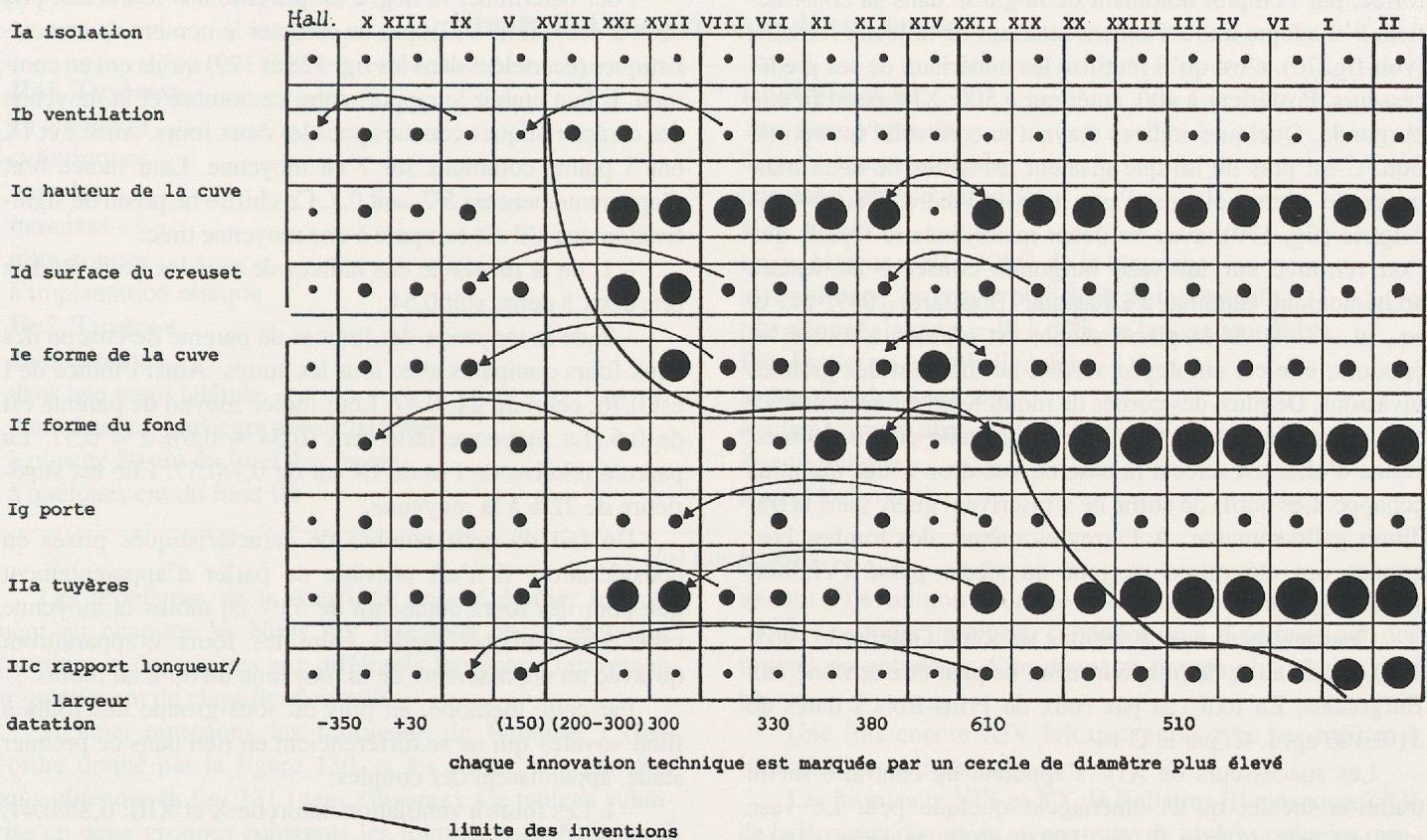


Fig. 130. Evolution technique des fourneaux.

construction génétique en y introduisant dans une seconde étape les données chronologiques. De plus, un rappel des modèles les plus archaïques (Hallstatt) rendra plus claire l'évolution des techniques.

Dans le tableau de la fig. 130, chaque colonne représente un fourneau, chaque ligne un trait fondamental; le plus petit point marque le premier état: four à isolation thermique – à ventilation artificielle – à creuset de moins de 10 dm² – profond de moins de 4 pieds – en entonnoir – circulaire – sans porte et dont la soufflerie s'insère obliquement.

Le point un peu plus gros indique la première innovation dans chaque critère de classement: à la deuxième ligne, la découverte du tirage naturel, à la troisième l'adoption d'une cuve de plus de 6 pieds de haut, à la quatrième, d'un fond de plus de 30 dm², etc. Par la suite, chaque nouveauté est marquée d'un rond de diamètre croissant.

A part l'isolation thermique et le rapport longueur/largeur, il n'y a plus aucun point commun entre le modèle du premier âge du fer, inspiré de la technique du bronze, et le four à tirage naturel apparu à l'époque de La Tène. Lorsque la ventilation artificielle est reprise, après la découverte du soufflet à fond et à volant de bois, les fourneaux gallo-romains gardent du type celtique un creuset assez vaste; ils adoptent une hauteur à peine moins considérable; ils introduisent:

- la cuve asymétrique,
- le fond quadrangulaire,
- des tuyères cylindriques

qui s'insèrent quasi horizontalement.

Les fours à ventilation mixte qui leur succèdent atteignent la taille optimale qui restera; de leurs autres innovations seule subsiste la tuyère ogivale massive. Par la suite, les nouveautés moins nombreuses ne portent plus que sur les traits fondamentaux les moins importants, placés au bas de notre tableau. Les fours à dame ou ceux à fonds trapézoïdaux ne diffèrent que sur un point de leurs prédécesseurs. Au niveau supérieur, XXII de la Bossena montre le passage du trapèze au fond ovaloïde, ou plus exactement au trapèze arrondi. Ce fourneau qui succède génétiquement au four XII est en fait beaucoup plus tardif. Une dendrochronologie faite en même temps que celles de Montcherand le date de 610 ap. J.-C.

Présentes à toutes les époques, mais méprisées par les économistes qui ne voient pas leur rationalité (Pelet, 1989a; 1992d), les survivances techniques enlèvent au temps son rôle de fil conducteur. Elles affolent l'historien traditionnel qui doit se contenter d'une génétique des machines et des processus techniques (Pelet, 1982b).

Cependant les derniers fourneaux apparaissent comme une sorte de compilation des meilleures expériences antérieures. Cette évolution paraît interrompue par l'implantation de XIV, qui semble ignorer la révolution celtique. Il dérive des fours creusés primitifs, dont il a conservé huit des neufs traits retenus (fig. 130), y compris la soufflerie inclinée à 45°. XIV en descend sans doute par l'intermédiaire des modèles mi-creusés, mi-bâtis et à superstructure conique, abondamment connus dans l'ancienne «Germania Magna» (Pleiner, 1965). Il se rapproche d'eux par ses dimensions, par sa

forme, par l'emploi dominant de la glaise dans sa construction. S'il adopte un revêtement intérieur de tuileaux romains (voir fig. 70), c'est qu'il réutilise les matériaux de ses prédécesseurs. Postérieur à 400, antérieur à 500, XIV pourrait être burgonde. Quelques indices étaient encore cette interprétation. C'est près de lui que gisaient les restes de deux marmites de pierre ollaire, l'une très grossière, l'autre plus soignée (fig. 170), avec un décor quadrilinéaire répété, que l'on retrouve sur un vase burgonde conservé au Musée archéologique cantonal à Lausanne (Bouffard, 1947, 141 et sq., pl. 47, 4). Si la pierre ollaire est tournée à toutes les époques, elle est employée surtout au moment des grandes invasions. De plus, des cornes de mouton ont été recueillies à côté et en dessous du four, dans la couche de ses déchets. L'une d'elles est sciée à la base en vue d'un usage qui nous échappe. Les outils de corne ne s'inscrivent guère dans la tradition gallo-romaine. A Ferreyres même, des tombes burgondes ont été mises au jour au siècle passé (Viollier, 1927, 171).

Contrairement aux assertions de René Guichard (1965, 370), aucun autre de nos fourneaux ne peut être attribué aux Burgondes. En tout cas pas ceux de Prins-Bois I datés de 310 ± 100 ap. J.-C. par le C 14¹.

Les successeurs de XIV s'appuient au contraire sur la tradition locale, qu'ils aménagent quelque peu. Le vase retrouvé près du four II (fig. 168), corrobore nos constatations: il reprend une forme carénée typiquement celtique.

Les innovations les plus importantes sont les plus anciennes. Les plus récentes, jusqu'à la révolution du haut fourneau, sont secondaires. L'affirmation généralement admise de la pérennité des techniques primitives (Gilles 1957) ne se vérifie que, dans les grandes lignes; il convient de la nuancer: les variations de forme relevées ne sont pas dues au simple hasard, à la maladresse ou à la fantaisie des maîtres de forges, mais à la recherche consciente d'un progrès technique, qui reste certes limité. Ce progrès demeure hésitant et l'on reprend fréquemment un système abandonné précédemment. Les dernières variations techniques de IIa et IIc ne semblent plus liées à la chronologie générale, mais marquent des essais presque simultanés (formes des fours I-IV, par exemple).

Les fourneaux à isolation thermique de nos fouilles se divisent donc en trois groupes:

- à ventilation naturelle (2 fours),
- à ventilation mixte (3 fours),
- à ventilation artificielle (16 fours).

Le troisième groupe se subdivise en plusieurs sous-groupes. L'un d'eux est indiscutable: celui des fours du niveau supérieur de Bellaires I et III et Prins-Bois II auquel se joint celui de Bossena I; les autres n'apparaissent pas aussi clairement.

1. L'île de Bornholm, berceau des Burgondes permettait une métallurgie variée avec ses gisements de cuivre pyriteux, de galène et de fer (Nielsen, 1925). — La Loi Gombette montre que les artisans sont souvent des serfs. Qui tue un serf laboureur versera 30 sous, le meurtre d'un forgeron coûte 50 sous, celui d'un orfèvre 200 sous (*Monumenta Germaniae Historica, Legum sectio I, T.II/I*, 51).

Pour déterminer le degré de parenté des fourneaux pris deux à deux, il ne suffit pas de compter le nombre de caractéristiques (écartelées dans les fig. 128 et 129) qu'ils ont en commun. Il faut établir le rapport entre ce nombre et la moyenne des caractéristiques connues pour les deux fours. Ainsi I et IX ont 5 points communs sur 7 en moyenne. Leur indice brut d'apparentement est 5/7, soit 0,7. Ce chiffre ne prend de signification que s'il est comparé à une moyenne tirée:

— 1, de la moyenne des indices de tous les fours étudiés pris deux à deux, soit 0,54,

— 2, de la moyenne des indices de parenté de chacun des deux fours comparés avec tous les autres. Ainsi l'indice de I est 0,76; celui de IX, 0,47. Leur indice moyen de parenté est de 0,6. La moyenne utile sera $(0,54 + 0,6) : 2 = 0,57$. La parenté relative de I et de IX est de 0,7/0,57. Elle est supérieure de 22% à la moyenne.

Du fait du petit nombre de caractéristiques prises en considération, il n'est possible de parler d'apparentement que pour des fours dépassant de 33% au moins la moyenne utile. Les parentés réelles entre les fours n'apparaîtront qu'avec un dépassement de la moyenne de 66% au moins.

Par cette méthode, en plus du sous-groupe des fours à fond «ovale» qui ne se différencient en rien dans ce premier stade, apparaissent des couples:

— I. Les fours à ventilation naturelle X et XIII: 0,85/0,47, soit 80% en dessus de la moyenne.

— II. Les fours à ventilation mixte XVII et XXI: 0,7/0,47, soit + 66%.

— III. Les fours à ventilation artificielle VII et VIII: 0,9/0,5, soit + 80%; XI et XII: 0,9/0,5, soit + 80%; VII et XII: 0,85/0,5, soit + 70%; VIII, XI et XII ont une plus faible parenté: 0,7/0,5, soit + 40%; V et IX ne sont pas sans points communs: 0,66/0,49, soit + 34%.

L'analyse des caractéristiques fondamentales aboutit ainsi à des résultats marquants. Mais elle donne une définition sommaire des fours du niveau supérieur et elle n'explique ni les emprunts ni les filiations.

Les caractéristiques du deuxième groupe (cf. page suivante) apporteront des précisions complémentaires. Ces caractéristiques révèlent des variantes importantes dans la technique de la fusion du fer.

Groupe II. Caractéristiques déterminantes

IIa1. Tuyères:

en entonnoir
cylindriques
ogivales
massives
ultra-courtes
à implantation oblique

IIa2. Tuyères:

dans la porte
dans une paroi latérale
dans deux ou plusieurs parois latérales
à plus de 20 cm du fond du creuset
à quelques cm du fond IIb

IIb. Cuve ayant:

une paroi verticale
la paroi amont verticale
une paroi latérale verticale

IIc. Fond:

trapu, largeur = 80 à 100% de la longueur
assez allongé, largeur = 60 à 80% de la longueur
très allongé, largeur = 40 à 60% de la longueur IIId.

IIId. Porte: en encorbellement

à chambranles verticaux
à pilier formant abat-vent
à seuil oblique
à seuil horizontal

IIa) Les tuyères

Les problèmes de la soufflerie ont été étudiés longuement au chapitre V. Nous n'y revenons pas. Cependant, l'attribution des tuyères aux différents fourneaux fait ressortir un élément de classification utile.

Si nous reprenons les fourneaux de Bellaires I dans l'ordre donné par la figure 130, et les autres, site par site, nous obtenons la fig. 131 (page suivante). Ce tableau subdivise en deux groupes cohérents les fourneaux de Bellaires I qui disposent d'une ventilation artificielle:

1. ceux du niveau intermédiaire munis simultanément de tuyères en entonnoir (type a) relativement étroites et de tuyères cylindriques. Le plus récent du groupe, XII (**)

aboutit à l'évolution optimale des modèles cylindriques.

2. Les fours du niveau supérieur dont il ne reste que des tuyères en entonnoir d'un diamètre moyen plus élevé (type b).

Une fois encore XIV fait exception avec ses tuyères à implantation oblique.

Les fourneaux XIX et XX de Bellaires III ainsi que XXII de la Bossena disposent au contraire de tuyères ogivales massives qui les apparentent à des modèles très différents: XVII de Bellaires II et XXI (Bellaires III) et les distinguent de I-IV et VI de Bellaires I, et de XXIII de Prins-B. II.

Site:	Bellaires. I												Pr.B. II	Bell.II	Bell. III	Boss. I		
Four:	IX	V	VIII	VII	XI	XII	I	II	III	IV	VI	XIV	XXIII	XVII	XXI	XIX	XX	XXII
en entonn. cylind. ogivales ultra-c. obliques	a	a	a	*	a	(a)	b	b	b	b	b	b	b?	a	b	b		
	*	*	*	*	*	**								*	*	*	*	
														*	*	*	*	

Fig. 131. Distribution des tuyères.

IIb) Les cuves (cf. pp. 68-70)
IIc) Les fonds

La forme plus ou moins allongée du fond apporte au contraire un complément intéressant pour les fours du niveau supérieur. XXII de la Bossena I, au creuset trapézoïdal moyennement allongé et dont la cuve prend une forme approximativement ovale dès 20 cm au-dessus du fond (proportion largeur-longueur 60/100) s'apparente à XIX et XX de Bellaires III et aux six autres fourneaux du même niveau, classés comme XIX et XX sous la rubrique: fond «ovale». L'allongement varie dans les proportions ci-dessous (fig. 132).

La diversité des proportions du creuset ne résulte pas de l'incompétence des maîtres ferriers, ou d'un laisser-aller, qu'ils ne sauraient se permettre: une chauffe manquée anéan-

tit des semaines de travail. Cette variété résulte au contraire de perfectionnements prudents, mais parfois divergents, qui tendent à améliorer le rendement ou à diversifier la production. Les cuves asymétriques favorisent la réfraction de la

Fourneau	N°	dimensions du creuset	largeur/ longueur
Bell.III	XX	50/70	1/1,4
	XIX	50/86	1/1,7
Bossena I	XXII	40/68	1/1,7
	VI	50/95	1/1,9
Bell.I	IV	55/105	1/1,9
	XXIII	50/105	1/2,1
Pr.-Bois II	III	50/110	1/2,2
	I	45/126	1/2,8
Bell.I	II	45/140	1/3,1

Fig. 132. Les fonds, largeur/longueur.

chaleur; leurs tuyères latérales, la ventilation. Versés dans le gueulard, le charbon et le minerai forment normalement un cône, avec une pente de 45°. Dans les fours allongés, la tuyère latérale reste dégagée (Pelet, 1992a). Mais le volume à chauffer augmente, et la consommation de charbon aussi. Pour être rentables, ces fourneaux doivent produire plus, ou mieux. Les plus allongés ne s'expliquent pas uniquement par le dégagement de la tuyère. Ils ne sont rationnels que s'ils s'emploient simultanément pour deux opérations. J. G. Blumhof signale en 1801 dans Evenstad, p. VI, les *Twäkällingar*, doubles fourneaux norvégiens munis de deux tuyères, qui produisent deux loupes à la fois. Bien qu'ils soient accolés, les fours I et II ont été construits séparément. Chacun d'eux formait une unité de travail. La destruction de leurs parois latérales ne permet pas de déterminer la position de la tuyère. Mais on peut admettre le processus suivant: pendant qu'une nouvelle loupe se concentre dans la cuve, entre le gueulard et la porte, la loupe du jour précédent est placée dans l'allongement. Sous le vent d'une tuyère placée 20-25cm au-dessus du fond, elle se recuit, se purifie. Relevée d'à peine 10 cm, la tuyère, provoque un fort courant ascendant dans la partie supérieure de la cuve, mais laisse sous elle un espace peu ventilé, favorable à un processus de cémentation. C'est de cette façon que les métallurgistes slaves produisent au VIII^e siècle leur acier².

Les fours III et IV, aux creusets un peu moins oblongs et fortement inclinés vers les portes, ont été construits d'un seul tenant. Une lourde couche de scories tapisse la paroi amont du four III sur toute sa longueur; son jumeau n'est presque pas scorié. Le four III, souffre-t-il d'une ventilation déficiente, tandis que son collègue atteint la chaleur optimale qui décrasse ses parois? Le contraste est si marqué qu'il semble plutôt provenir de deux phases différentes de la production: contrairement à I ou II, le four III emploie toute sa cuve à réduire le minerai, le four IV se borne à recuire ou à acierer.

Le four XXIII de Prins-Bois II se différencie des précédents par son abat-vent et par l'absence de tuyères latérales. Sa porte s'ouvre sur la droite de l'ellipse. A gauche, une cavité de 40 cm s'abrite derrière l'abat-vent. Peu ventilée, elle convient à la cémentation d'une loupe pendant qu'il s'en forme une nouvelle sous le gueulard.

Les vestiges d'un autre fourneau encore suggèrent une activité diversifiée. Le four trapu de la Bossena (XXII) opère la réduction avec le vent d'une tuyère frontale et celui d'une tuyère latérale qui souffle à 32 cm en dessus du centre du creuset. Une troisième tuyère est prévue sur l'autre flanc. Elle ne sera pas employée. Placée 7 cm. plus haut, elle ferait remonter dans la cuve les points de plus forte chaleur. Dans les Flossofen de Smalkalde, au XVIII^e siècle encore, relever

la tuyère de 5 cm change du tout au tout la production, qui passe de la fonte blanche (procédé indirect) au fer doux (procédé direct). Dans un bas fourneau, la moindre ventilation du fond favoriserait un processus de cémentation.

La nécessité de rationaliser ou d'accroître la production et de ménager le combustible conduit les maîtres ferriers à mener de front deux opérations: a) la réduction du minerai et b) l'affinage ou l'aciérage de la loupe.

Ils le font:

- dans un four au creuset très allongé,
- dans deux fourneaux jumelés utilisés simultanément.

Pour produire de l'acier, ils ménagent une cavité moins ventilée (production simultanée) ou rehaussent la soufflerie (production alternée) (Pelet, 1992a).

Id) Les portes

La présence d'une porte aux parois obliques ou au contraire verticales implique ou des conceptions architecturales différentes ou un opportunisme lié aux matériaux à disposition. Les cas clairs sont trop rares pour qu'on puisse en tirer dès maintenant un élément de classification ou dénier toute valeur à ce critère. Les fours I et XIX seulement ont une porte à chambranles verticaux, tandis que leurs jumeaux l'ont en encorbellement.

De même, un seuil incliné facilite l'écoulement des scories ou l'extraction de la loupe. Deux fours ont cependant un seuil pratiquement horizontal: VI de Bellaires I et XXIII de Prins-Bois II. Cette exception est trop peu fréquente aussi pour qu'on puisse affirmer qu'elle n'est pas due à la configuration du terrain. Il est certain que le rocher sur lequel est bâti XXIII ne favorise pas l'établissement d'un plan incliné.

L'analyse de la seconde série de caractéristiques précise et clarifie notre classement; d'une part le clan II à fond «ovale» se subdivise en deux familles:

famille A: Bellaires I et Prins-Bois II;

famille B: Bellaires III (XIX-XX) et Bossena I.

De plus, tous les fours des niveaux intermédiaires de Bellaires I se regroupent en un clan I (fours à tuyères cylindriques et en entonnoir). Enfin, l'influence des fourneaux à ventilation mixte sur la famille B apparaît clairement.

Un bref calcul des parentés brutes entre les fours ainsi regroupés fait constater que XXIII de Prins-Bois II se distingue des autres modèles de sa famille: il est un cousin éloigné de I-IV et VI! Le four de la Bossena avec une parenté brute de 0,6, s'éloigne du couple XIX-XX (0,8).

Le clan I (non compris V, trop médiocrement connu), qui groupe deux couples interassociés et deux autres fours, peut-être apparentés, donne un indice moyen de 0,6. Cette parenté qui s'espace sur près de quatre siècles reste assez floue.

La plupart des observations groupées sous le chiffre III ci-dessous ne fourniront plus, malgré leur importance, que des constatations ou banales, ou particulières à tel ou tel four.

2. Pleiner (1958,210-214; (1969,458-487). – Sur les structures de l'acier, voir Honeycombe (1981). Sur les phases de réduction du fer, Moesta (1986,165-171).

Groupe III. Caractéristiques importantes

IIIa. Four: encastré accoté à un talus en tour	assez allongé (largeur = 60 à 80% de la longueur) très allongé (largeur = 40 à 60% de la longueur)
IIIb. Tuyères: en entonnoir munies d'alvéoles cylindriques étroites	IIIIf. Forme extérieure: en fer à cheval circulaire ovaloïde quadrangulaire polygonale
IIIc. Linteau de la porte formé d'une seule dalle	IIIg. Four: seul en batterie
IIId. Murs: épais parfois de moins de 40 cm de 40 à 60 cm d'épaisseur dont l'épaisseur est toujours supérieure à 60 cm	superposé à un autre four ou sous un autre four jumelé
IIIe. Aspect extérieur du four: trapu (largeur = 80 à 100% de la longueur)	

IIIa) Les fours

L'implantation des fourneaux, nous l'avons expliqué plus haut, dépend surtout de la configuration du site, et ses variantes n'ont qu'une importance très secondaire dans un échantillonnage aussi limité que le nôtre.

IIIb) Les tuyères

La tuyère cylindrique étroite signale un perfectionnement technique remarquable, mais limité à un seul four. La présence d'alvéoles dans certaines tuyères en entonnoir montre la persistance de modes de montage dans des modèles de type et d'époque très différents, tels que IX et XIV de Bellaires I, XVII de Bellaires II et XIX de Bellaires III.

IIIc) Les linteaux

Les rares précisions sur les linteaux montrent tout au

plus un trait commun supplémentaire entre les fours jumelés de Bellaires I (en particulier I et III) et Prins-Bois II (XXIII).

IIId) Les murs

Une seule constatation certaine peut être tirée de l'épaisseur des murs: les fourneaux jumelés de Bellaires III, et ceux de la Bossena et de Prins-Bois II ont en commun des parois de plus de 60 cm d'épaisseur, ce qui les distingue de Bellaires I.

IIIe, f, g) Les formes et la disposition des fours

La forme extérieure du four, très importante au moment du dégagement et dans la description générale apparaît comme peu significative pour un classement: elle n'est pas en corrélation avec celle du creuset et semble dépendre avant tout de la quantité de matériau de construction disponible et de la configuration du terrain. La distribution des fours, jumelés ou non, en batteries, résulte des besoins quantitatifs

Groupe IV. Caractéristiques secondaires et détails accessoires

IVa. Four appuyé à un rocher	IVe. Paroi extérieure: colmatée par de l'humus matériaux de réemploi
IVb. Fond du four: en gravier morainique rocheux dallé en glaise	Va. Four cimenté d'une glaise: jaune puis orange à la cuisson brun rouge puis gris rosé à la cuisson
IVc. Revêtement intérieur: en glaise en scories glaissées en pierres roulées et en glaise en dalles de gneiss et glaise en tuileaux romains	Vb. Vestiges d'un gueulard
IVd. Matériaux de base: pierres morainiques dalles de granit et de gneiss dalles calcaires glaise	Vc. Intérieur de la cuve: très scoriacé moyennement scoriacé peu scoriacé reglaisé
	Vd. Niveau stratigraphique: inférieur intermédiaire supérieur unique

de la production. Les fourneaux jumelés peuvent profiter du rayonnement calorifique de leur voisin; mais cet avantage n'est pas recherché inconditionnellement, puisque certains fours du niveau supérieur, tels VI de Bellaires I restent isolés, et que d'autres, I et II par exemple, sont nettement construits comme s'ils étaient uniques.

Cette troisième série confirme avant tout la position ambiguë de XXIII dans la famille A. Elle montre enfin la transmission ou la persistance de certains tours de main.

Quant aux caractéristiques secondaires (IV), et accessoires (V), elles ne révèlent plus guère que des rencontres fortuites: utilisation de matériaux trouvés sur place ou réemployés, ou des influences superficielles (revêtements intérieurs en tuileaux romains). Il vaut cependant la peine de les mentionner et de les utiliser globalement.

La comparaison de ces caractéristiques secondaires et accessoires précise ou confirme le degré de consanguinité à l'intérieur des familles. Les membres de Bellaires I de la famille A disposent dans une proportion de 90% des mêmes traits secondaires et accessoires; Prins-Bois II, de 50%. Son éloignement se confirme. Il a, à ce niveau, les mêmes relations avec la Bossena et avec XIX et XX de Bellaires III.

Dans la famille B, du fait même du terrain où il est implanté, le four de la Bossena accentue ses divergences avec XIX et XX (40% de points communs seulement). Il n'a plus aucun point commun avec les fours I à IV et VI.

Les caractères secondaires et accessoires confirment quelque peu le rapprochement de VII et de XII; mais ils en suggèrent un entre XII et XIV (60%), dû au réemploi des matériaux de XII par les constructeurs de XIV!

L'analyse comparative aboutit ainsi à une classification qui peut se traduire par la figure 133 et qui montre à la fois la complexité et la rationalité des évolutions étudiées.

L'apport de Prins-Bois I (Pelet, 1960a)

En 1959-60, les fouilles de Prins-Bois I prouvent l'existence d'une industrie sidérurgique gallo-romaine au pied du Jura vaudois. Les fouilles, partielles ont mis au jour les vestiges ou les traces de 24 fourneaux à fer. Le carbone 14 date le four XVIII (ni le premier ni le dernier construit) de 310 ± 100 ap. J.-C. Les plus récents montrent leurs parois avec les scories et les moellons trouvés sur place. Ils bouleversent les ateliers antérieurs et disloquent leurs couches. Construits en matériaux friables et perméables, ils ont eux-mêmes beaucoup souffert. L'emploi dominant de scories dans la construction des cuves n'a été retrouvé à ce jour qu'à la Comme Philippe, à Thoste (Côte d'Or) par le professeur Michel Mangin (1990; 1992, 52-55).

Si l'on tente d'appliquer à leurs vestiges le schéma analytique ci-dessus, on aboutit aux constatations suivantes:

Ia) Isolation

Les fourneaux, disposent évidemment d'une isolation thermique; vingt d'entre eux sont encastrés dans le talus;

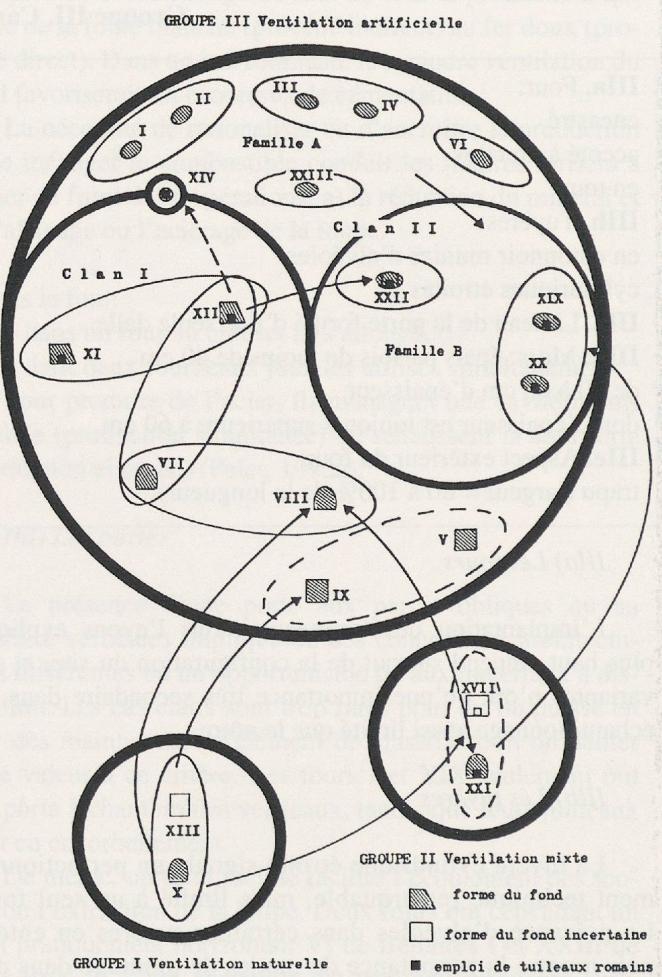


Fig. 133. Classement et filiation des fourneaux.

quatre seulement (PBI/ XVIII, VII, VIII, XI) sont bâtis au pied du talus, dans une situation dégagée, comme XXI de Bellaires III.

Ib) Ventilation

Les fourneaux encastrés dans le talus ont disposé d'une ventilation artificielle, en particulier PBI/IV, V, X, XIII, XIX, XX, XXIII.

Aucune tuyère n'a été relevée auprès des fours construits sur le plat. Ce fait résulte peut-être d'une fouille limitée.

Ic) Hauteur de la cuve

Seule la hauteur des fourneaux I à III est perceptible: leurs vestiges atteignent 140 cm de hauteur; ils auraient pu s'élever jusqu'à 160-165 cm, comme IX de Bellaires I. Ces trois fourneaux ont été passablement détériorés, et leur description n'est pas sûre.

Ia) La surface du fond

La superficie du creuset semble en général supérieure à 30 dm². Ne font exception que le four XXIII dont le fond dépasse 20 dm², et les fours jumelés XVIII et VII d'une surface de moins de 20 dm², comme XXI de Bellaires III, bâti dans une situation analogue.

Ie) La forme de la cuve

Notre reconstitution de 1960 attribue aux fourneaux une cuve tubulaire, à étranglement médian. Elle s'inspire principalement des fours PBI/I à III et V. Il est probable que la cheminée se rétrécissait au niveau du gueulard. Ce type de cuve rappelle les modèles les plus anciens de Bellaires I, ou plus exactement, les modèles celtiques en général.

If) La forme du fond

Vu l'état de destruction du site, les fonds eux-mêmes sont souvent détériorés; il est difficile de préciser s'ils sont circulaires ou s'ils forment un fer à cheval plus ou moins ouvert. Un seul fond est ovale, avec une largeur égale à 62% de la longueur (PBI/XXI); aucun n'est quadrangulaire.

Ig) La porte

Aucune porte n'a été clairement retrouvée, aucune dame n'est visible.

IIa) Les tuyères

Les échantillons recueillis se rattachent aux modèles en entonnoir (type a) de Bellaires I. Aux fours V et XIII, elles sont placées symétriquement, à flanc de coteau, à quelques centimètres du fond. Au four XIX, un conduit de glaise recouvert de dalles de gneiss aboutissait à un bec conique. Cette tuyère, située en amont du creuset était posée directement sur le rocher servant de fond. Au-dessus du conduit, la paroi du four avait complètement disparu.

Prins-Bois I se distingue visiblement des autres sites par l'emploi systématique des scories dans la construction des fours PBI/I à VI et XXIV. Ce matériau n'a été utilisé en moindre quantité que par VII de Bellaires I. Mais nous avons noté que le choix du matériel de construction dépend de circonstances fortuites, géographiques ou géologiques par exemple. La prédominance des formes circulaires ou semi-circulaires frappe aussi. PBI/XIX présente enfin une soufflerie dont l'architecture est unique. Les fours PBI/I à III se situaient technologiquement dans la figure 130 plutôt entre les fours XIII et IX de Bellaires I, qu'à proximité de VII de Bellaires I. Il s'agit pourtant d'une des dernières exploitations de Prins-Bois I.

PBI/XVIII et VII qui appartiennent à un niveau antérieur, sont datés de 310 après J.-C. ± 100 ans ce qui correspond à la chronologie des fours de petit calibre tels XXI de Bellaires III ou XVII de Bellaires II.

Ces données sont trop ténues pour qu'on puisse en tirer des déductions précises. On peut en inférer cependant que la fouille exhaustive d'un site du même genre mais mieux conservé amènerait à nuancer encore notre analyse.

7

LES ATELIERS ET LES MINES

L’ÉTUDE systématique des fours fait ressortir leurs particularités architecturales et techniques; une description des installations qui les entourent mettra en évidence les conditions de travail et les dimensions de chaque entreprise.

La répartition symétrique de certaines installations, en particulier le long de la route de Moiry à Envy suggère un lotissement général, si ce n’est deux lotissements successifs. Il n’en reste pas moins que l’emplacement précis des fourneaux dépend moins d’une distribution arbitraire que des ressources du terrain. Les forgerons choisissent un talus (nous ne connaissons que 5 exceptions) qui, taillé en terrasse, assure d’emblée une bonne partie de l’isolation thermique, et qui peut faciliter d’autre part la charge et la vidange du four. Ils sont amenés parfois à évacuer de gros blocs de pierre, susceptibles de peser plusieurs tonnes; par exemple, le calcaire qui remplissait l’excavation relevée à l’angle ouest du four III de Bellaires I (voir fig. 86, 90-91), a été roulé par-dessus les vestiges des fours X et IX. A Bellaires III, le bloc erratique de la tranchée 18 (voir fig. 78) reposait sur un sol glaiseux parsemé de scories. Il avait été déplacé par les bâtisseurs des dernières entreprises. Ce bloc a été relevé lors des fouilles. Dressé, il signale leur emplacement. Il ne s’agit pas d’un menhir, pas plus que la pierre qui affleure de l’autre côté du chemin, près de Bellaires II, sur le bord d’un sondage.

Les matériaux nécessaires

Les emplacements retenus, dont l’orientation est très variable, fournissent autant que possible les matériaux de construction: les moellons calcaires, ou mieux encore, les gneiss et les granits des dépôts morainiques, leurs argiles – et l’eau.

L’eau

La proximité d’une source est indispensable, il ne faut pas l’oublier, pour préparer le mortier argileux d’abord, puis pour

arroser les loupes incandescentes (c’est un moyen efficace d’en chasser les scories), enfin pour étancher la soif des travailleurs du feu tout au long de la campagne de fonte. Des sites tels que Voualève I et II, Carolines, les Petits-Lacs I-IV, Bellaires I et II, «La Fontaine des forges», Barnel (soit *Fontaine*) et plus de trente autres encore se situent ou se situaient à proximité d’une fontaine, d’un ruisseau ou d’une mare.

A Prins-Bois II et I, un lieu dit «La Gouille-aux-cochons» rappelle la zone humide disparue.

A Bellaires III, la combe actuellement sans ruisseau visible est liée au système hydrographique régional. Les huit haldes où la proximité d’un point d’eau n’est pas prouvée peuvent se ravitailler en eau à moins de trois cents mètres et les deux haldes apparemment les moins favorisées, celles de Pré-Penard (Cuarnens) n’en sont qu’à quelque 500 m. En fait, de toutes les entreprises relevées au pied du Jura, une seule n’a certainement jamais eu de source toute proche: celle de Manin, au sommet de la butte molassique du Mont-d’Orny. Les scories peu abondantes et la minuscule calotte de fer qui y a été recueillie (voir fig. 121) signalent, comme à Pré Penard II, un atelier de forge. Les analyses de Vincent Serneels le confirment.

Les matériaux de construction

La glaise

La moraine quaternaire fournit la glaise: grise à Prins-Bois I, ocre jaune à Bellaires III, ocre brun à Bellaires II, jaune ou au contraire ferrugineuse et rousse à Bellaires I. Dans trois cas, cette glaise se présente en couches régulières, à flanc de talus (Prins-Bois I, ép. 30 cm, Bellaires II et Bellaires III, ép. plus de 80 cm). A Bellaires I, au contraire, elle forme des poches entre les affleurements calcaires et les dépôts de gravier. La glaise ferrugineuse rousse abonde au nord des fourneaux, la jaune à l’est; c’est dans une terrasse due à son extraction qu’a été aménagé le four VI.

A Prins-Bois II et à la Bossena I, les fours sont bâti directement sur le roc; les fouilles, limitées à un secteur étroit n'ont pas révélé de dépôt naturel d'argile.

L'emploi de la glaise est réservé en général au revêtement intérieur du fourneau. Le mortier qui enserre les moellons de la chape est fait le plus souvent d'une terre médiocrement argileuse, prise à proximité.

Les pierres

A Bellaires et à Prins-Bois, les granits et les gneiss utilisés systématiquement dans la construction de certains fourneaux proviennent des abords immédiats, où les blocs erratiques abondent. A la Bossena I, le four est bâti en grande partie avec des dalles extraites du calcaire en place. La fouille ne révèle qu'un niveau d'exploitation, et bien que l'on ne constate aucun autre indice de remaniement, des pierres d'origine glaciaire, déjà scoriées ont été insérées au milieu des parois. La présence de ces pierres ne s'explique que par un transport depuis une ferrière abandonnée. Les haldes les plus proches, les Petits-Lacs III et IV, sont distantes d'à peine 200 m. Cette constatation surprenante est cependant corroborée par le fait que les forgerons de la Bossena I ont amené aussi des tuiles cassées et des briques.

Les tuileaux et les briques

Dans les fours XI, XII, XIV, XVII, (XVIII), XXI des Bellaires, XXII de la Bossena I, XXIII de Prins-Bois II, les constructeurs ont employé quelques briques et des masses de tuiles cassées, principalement pour monter le revêtement intérieur réfractaire des cuves, parfois pour caler les moellons (Prins-Bois II, Bossena I), pour remplir une paroi (XIV de Bellaires I) ou pour équilibrer une dalle de fond (XII de Bellaires I).

Des briques n'apparaissent qu'à Bellaires I, Bellaires III et Bossena I. A Bellaires I, deux fragments ont été relevés près des fours I et II, tandis que deux briques quasiment intactes, de 25 cm de côté et 5 cm d'épaisseur servaient de pierre d'angle pour les deux angles nord du four XI.

A Bellaires III, des cinq fragments recueillis, deux se rattachent indiscutablement à la première exploitation (four XXI), deux autres ont été retrouvés dans les déchets du niveau supérieur.

A la Bossena I, 35 morceaux ont une épaisseur qui varie entre 37 et 60 mm (moyenne 50 mm). On peut par interpolation évaluer leur nombre dans l'ensemble du site à environ 120 morceaux, ce qui ne représente guère qu'une vingtaine de briques. C'est donc un matériau tout à fait exceptionnel.

Dans un seul site, Prins-Bois I (Pelet, 1960a, 60), des tuiles ont couvert une bâtisse. C'est paradoxalement la seule ferrière où aucun des fourneaux n'en a utilisé! Aux Bellaires, à la Bossena, il a fallu amener les tuileaux pour les nécessités de la construction. Sans parler du *terminus a quo*: les forgerons ne peuvent s'en servir avant l'époque romaine, ces fragments de tuiles plates à rebord (*tegulae*) ou rondes identiques à nos tuiles faïtières (*imbrices*) fournissent quelques indices

utiles sur la construction des fourneaux à fer et sur la fabrication locale des tuiles. Cependant, les déchets d'*imbrices* ne sont pas significatifs et ceux des tuiles à rebord, très mutilés, ne permettent pas de déterminer la longueur et la largeur des pièces entières.

La hauteur et l'épaisseur des rebords eux-mêmes ne sont pas régulières: elles s'amenuisent d'une extrémité à l'autre; on ne peut en tirer des mesures valables. Seules les variations de l'épaisseur de la tuile proprement dite apportent des constatations intéressantes. A Bellaires I, un premier relevé, en 1964, montre que sur 148 tuileaux, 113 (76%) ont une épaisseur comprise entre 25 et 30 mm, que 24 (16%) dépassent 30 mm et 11 (8%) n'atteignent pas 25 mm. Dès 1965, des mesures précises donnent les chiffres suivants:

Bellaires I: 177 fragments de tuiles plates: épaisseur moyenne 26 mm

Bellaires II: 424 fragments de tuiles plates: épaisseur moyenne 23,5 mm

Bellaires III: 310 fragments de tuiles plates: épaisseur moyenne 25,2 mm

Bossena I: 883 fragments de tuiles plates: épaisseur moyenne 24 mm

Prins-Bois II: 41 fragments de tuiles plates: épaisseur moyenne 22,5 mm

A part Prins-Bois II où les tuileaux semblent un peu plus minces – comme à Prins-Bois I d'ailleurs – leur épaisseur moyenne se situe entre 24 et 26 mm. Les figures 82 pour Bellaires III, 111 pour la Bossena I et 134 pour les autres sites montrent une distribution des tuiles très équilibrée. L'épaisseur moyenne, la médiane et le mode sont très rapprochés. La plus grande partie des tuileaux se concentre dans l'espace marqué par le nombre moyen des échantillons:

80% à Prins-Bois II (fig. 134)

85% à Bossena I (fig. 111)

88% à Bellaires III (fig. 82)

90% à Bellaires II (fig. 134)

92% à Bellaires I (fig. 134)

Ce sont là les caractéristiques de populations statistiques homogènes. On peut en déduire sans crainte d'erreur que les tuileaux ont une provenance unique dans chaque site. Les cas extrêmes qui frappent sur le champ de fouilles, tuileaux très minces ou très épais ne représentent que de rares malfaçons. Le calcul de la déviation standard montre d'autre part que la marge de tolérance dans l'épaisseur des pièces fabriquées correspond à 4 mm en plus ou en moins de la moyenne retrouvée. Une tuile normale aura entre:

22 - 30 mm d'épaisseur à Bellaires I

21 - 29 mm d'épaisseur à Bellaires II

20 - 28 mm d'épaisseur à Bellaires III et Bossena I

18 et 27 mm d'épaisseur à Prins-Bois II (déviation standard 4,3 mm)

Les archéologues ont remarqué depuis longtemps¹ que les tuiles romaines, qui se fabriquent encore plusieurs siècles

1. En particulier Adrien Blanchet (1920, II, 189-210). Jean Chauffin (1956, 81-88) relève surtout la forme des rebords des *tegulae*; leur hauteur semble moins irrégulière qu'au pied du Jura.

après la chute de l'Empire romain tendent à s'alléger au cours des ans. On devrait arriver à les dater d'après leur épaisseur. Mais un tel indice chronologique, valable tout au plus province par province, nécessite de multiples relevés. Faute de comparaison pour la Suisse romande, nos chiffres (d'ailleurs très peu différenciés) ne fournissent aucune chronologie – sans parler du fait que les tuiles peuvent avoir été reprises par les forgerons plusieurs siècles après leur fabrication!

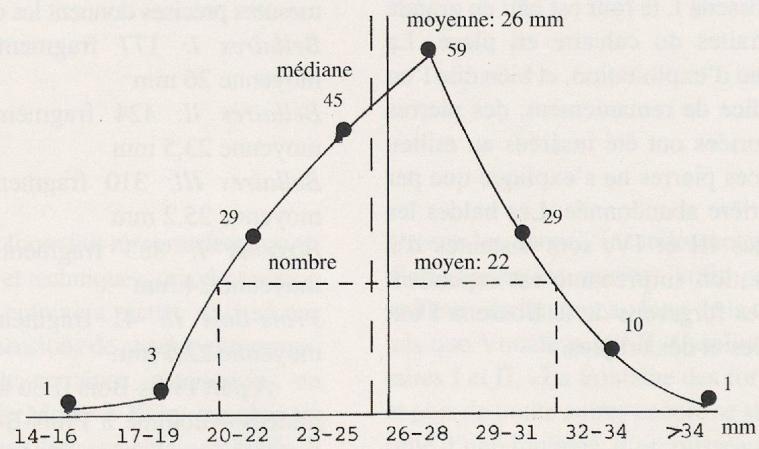
Elles sont cependant toutes du même type, avec leur lissage au doigt de la base interne du rebord. Nous n'avons relevé aucune estampille. Si le terme de Bellaires évoque une

industrie de guerre, rien ne prouve que les tuiles proviennent de fabriques militaires. Une seule d'entre elles porte quelques incisions que l'on peut interpréter comme un T suivi de deux petits jambages, avec, en dessous, un IX oblique (fig. 135).

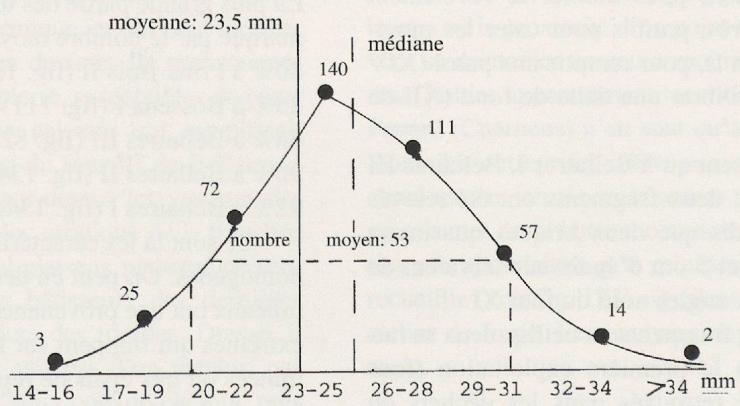
Les forgerons n'ont pas brisé des tuiles neuves pour monter leurs cuves; ils se sont contentés de déchets. Le plus ancien fourneau qui en utilise, XXI de Bellaires III remonte probablement à la seconde moitié du III^e siècle. Les autres sont plus tardifs encore. Il ne devait pas être difficile alors de ramasser les tuiles de maisons ruinées.

Dans chaque champ de fouilles, les tuileaux ont des dimen-

A. Bellaires I: 177 tuileaux



B. Bellaires II: 424 tuileaux



C. Prins-Bois II: 41 tuileaux

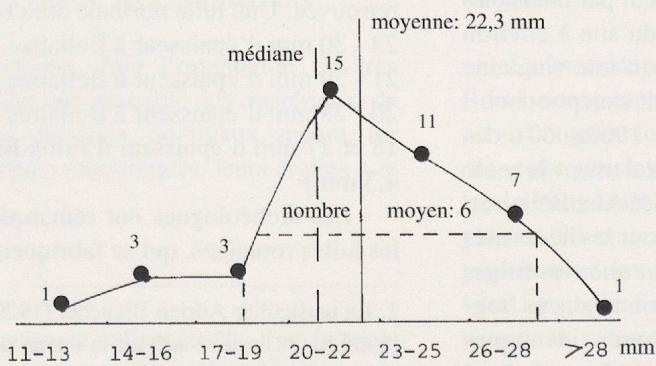


Fig. 134. Epaisseur des tuiles plates.

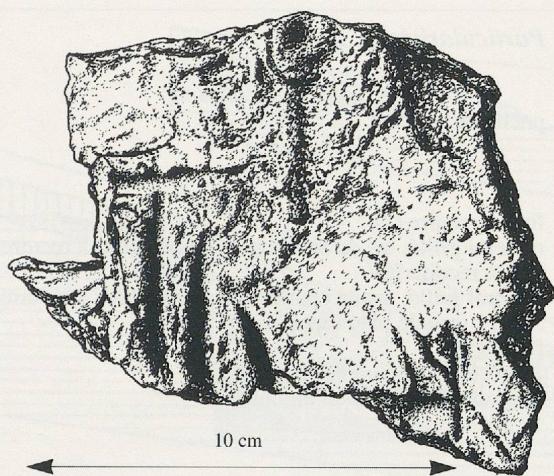


Fig.135. Bellaires I. Tuileau a 533.

sions très variables. Le calcul de leur surface brute (plus grande longueur multipliée par leur plus grande largeur) donne les moyennes suivantes:

Bellaires I:	150 cm ²
Bellaires II:	84 cm ²
Prins-Bois II:	73 cm ²
Bellaires III:	68 cm ²
Bossena I:	53 cm ²

Ces chiffres ne manquent pas d'intérêt pour l'histoire des sites. A l'origine, la dimension normale des tuileaux utilisés doit varier de 150 à 250 cm². Mais les fours ont été démolis, et leurs matériaux réemployés. A Bellaires I, ce réemploi n'a été que partiel. A Bellaires II, le fourneau a été remanié probablement à plusieurs reprises.

De plus, il a été écrasé par des chutes de pierres. Les tuileaux de Bellaires III ont été utilisés d'abord pour les fours XVIII et XXI, puis déversés au bas du talus et repris partiellement par XIX et XX. De là leur détérioration. Les échantillons de la Bossena I, pris dans les tranchées et non dans les parois intactes du fourneau ont été épargnés et brisés sans doute par l'exploitation tantôt forestière et tantôt agricole du site. Il se peut d'ailleurs qu'ils aient été repris d'une ferrière voisine, comme quelques pierres scoriées (voir pp. 59-60).

Les matières industrielles

L'emplacement des ateliers dépend sans doute dans une plus large mesure encore de la proximité des matières industrielles: mineraux et combustible. Apparemment, les forgerons devaient souhaiter mettre la main sur le mineraux à fondre

dans la forêt à charbonner! Cette conjonction existait en tout cas à la Bossena I, et probablement dans toutes les entreprises bâties au pied du même affleurement rocheux: Bossena II, Carolines, Voualève I et II, Fontaine des Forges, Longchamp (voir fig. 1, page de couverture). Elle est vraisemblable aussi aux Bellaires (voir p. 29), et dans bon nombre d'autres sites autour de Ferreyres.

Les sites relevés dans la zone molassique, où l'on ne trouve pas les fissures remplies de sidérolithique: en particulier Pré Penard I et II (Cuarnens), Prêle (Cuarnens), Trois-Noyers (Eclépens), Côte-de-Manin (Orny) correspondent apparemment à de simples forges. A la Grand-Ferrière (Arnex), si la moraine a recouvert le coteau, le calcaire est très proche comme le montrent les analyses pédologiques (voir p. 115).

L'installation des ateliers

Une étude systématique des fours dégage leurs particularités architecturales et techniques.

La description des installations qui les entourent fera ressortir les conditions de travail et les dimensions réelles de chaque entreprise.

La réduction du mineraux se faisait-elle au cœur d'un complexe englobant des forges et un habitat régulier? Etait-elle au contraire une occupation précaire et saisonnière? Aucun mur ne délimite l'emplacement des forges; il ne reste aucune substructure de maison importante. Nous n'observons qu'une seule fois, à Bellaires III, une lignée de trous de pieux, indice certain d'un appentis devant les fours XIX-XX. Les installations annexes: tas de charbon, de mineraux, foyers de grillage ou fours à recuire n'apparaissent ni à Prins-Bois II, ni à Bossena I, ni à Bellaires II. Dans les sites complexes comme Bellaires I et III, les bouleversements successifs du terrain ont effacé le plus souvent les traces de ces places de travail (si elles ont jamais existé); elles ne subsistent, en tout cas, qu'exceptionnellement. La figure 137 résume le résultat de nos investigations.

Ainsi, les vingt et un fours de réduction et les deux à recuire mis au jour dans cinq sites représentent quinze ateliers. Trois d'entre eux sont uniques dans leur halde. Dix autres ont été juxtaposés ou superposés aux deux installations initiales de Bellaires I et III.

Dans les sites complexes, les fourneaux s'élèvent le plus souvent à quelques pas de leurs prédécesseurs (par exemple les fours XI-XIV); ils créent des cônes de déchets qui déferlent sur les vestiges plus anciens. Parfois les maîtres de

	Calcaire	Gneiss, granit	Glaise	Charbon	Mineraux	Tuiles	Tuileaux
Pr.-B.I	*	*	*	*		*	
Pr.-B.II	*	*		*			(*)
Bell.I	*	*	*	*	(*)		*
Bell.II	*	*	*	*			*
Bell.III	*	*	*	*			*
Boss.I	*			*	*		*
Châtel/M.	*	(*)	*	*	*		

Fig. 136. Les apports du site.

Site	Niveau	Four	Atelier	Terrasse type	position	Particularités
Bell.I	1a	X	I	P.n.	adossée à un rocher	poche de minerai
	1b	XIII	J	P.n.	dans moraine	
	2	IX	J	P.r.	idem	
	3	V	J	F.n.	idem	
	4	VIII	J	P.r.	adossée à un rocher	four à recuire (?)
	5	VII	J	P.r.	idem	minerai grillé, tas de charbon en amont, four à recuire (?)
	6	XI	J	P.r.	flanquée d'un rocher	four à recuire XV
	7	XII	S	M.r.	idem	minerai grillé, tas de charbon en amont, four à recuire XVI, 1 trou de pieu (appentis?)
	8	XIV	S	M.r.	dans moraine et scorie	forge (?)
	9	I, II	J	F.n.	dans moraine	zone charbonneuse en amont
		III, IV	J	F.r.	idem	zone charbonneuse en amont
		VI	J	F.n.	idem	
Bell.II	unique	XVII	U	M.n.	dans talus	
Bell.III	1	XVIII	I	M.n.	dans moraine	
		XXI	I	F.n.	idem	
	2	XIX	S	M.r.	idem	
		XX	S	M.r.	idem	zone charbonneuse latérale, appentis sur 3 piliers
Bos. I	unique	XXII	U	M.n.	adossée à un banc de rocher	mine, minerai grillé latéral
Pr.-B.II.	unique	XXIII	U	M.n.	entaille dans un banc de rocher	

N.B. Atelier: I=initial, J=juxtaposé, S=superposé. Terrasse: P = profonde, M = moyenne, F = faible; n = nouvelle, r = réemployée, U=unique

Fig.137. Les ateliers.

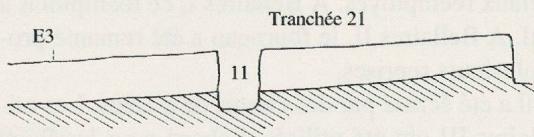
forges tiennent à appuyer leurs fondations sur le sol vierge, moraine ou rocher. Ils déblaient alors totalement les couches antérieures qui affaibliraient leur construction ou qui gênent leur travail. C'est le cas du four XI de Bellaires I, qui a rasé le four XIII. De toute façon, la réinstallation dans un site déjà occupé antérieurement nécessite un aménagement du terrain, en général un nettoyage égalisateur, qui rejette au bas du talus une bonne partie des vestiges des installations précédentes. Les trois tranchées horizontales 21, 22 et 26 du plan général (fig. 41, et fig. 138) montrent très clairement ces rejets: au haut du site (tranchée 21), le terrain a été entièrement déblayé, l'humus primitif lui-même a été enlevé; la couche superficielle d'humus et de scories due à l'exploitation des fours III-IV et VI repose immédiatement sur le gravier morainique.

Un mètre en aval (tranchée 22), l'humus brun antérieur aux exploitations recouvre encore la moraine. Par-dessus, un mélange de cet humus et de terre de forge provient du nettoyage fait en amont.

Deux mètres cinquante plus bas, dans la tranchée 26, aucun déblai d'humus ne s'est infiltré entre les scories de V, qui sont recouvertes à l'est par du gravier morainique, déblai final des travaux d'aménagement de VI. Les successions des couches ne sont pas toujours aussi faciles à identifier. Les scories de tous les fourneaux à fer primitifs utilisant un minerai apparenté ou identique ont le même aspect et les mêmes composants chimiques. Cependant des marques de stratification, une nuance dans la couleur des déchets terreux, plus ou moins charbonneux, l'abondance variable des débris de glaise cuite distinguent en général les couches. Mais leur séparation est rarement nette. Une terre légère, charbonneuse ou graveleuse tend à se mêler aux masses plus grossières où dominent les scories. La ligne de démarcation entre les

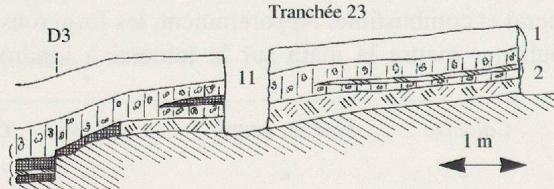
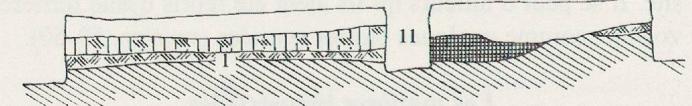
couches reste approximative. Nos relevés à échelle réduite les schématisent obligatoirement.

De plus, les interférences de déchets provenant de cônes d'éboulement de fours décalés sur le terrain posent des



La couche d'humus et des scories repose sur le gravier morainique débarrassé de son humus primitif.

Tranchée 22



- humus et scories
 - ▨ scories et charbon
 - charbon mêlé de terre
 - ▨▨▨ gravier morainique en déblai
 - ▨▨▨▨ humus primitif
 - ▨▨▨▨▨ gravier morainique en place
 - ▨▨▨▨▨▨ humus primitif et charbon
- 1 niveau des fours I-IV & VI
2 déblais du four V
3 déchets du four V
4 niveau du four IX
5 niveau du four X

Fig. 138. Bellaires I. Tranchées 21, 22, 23.

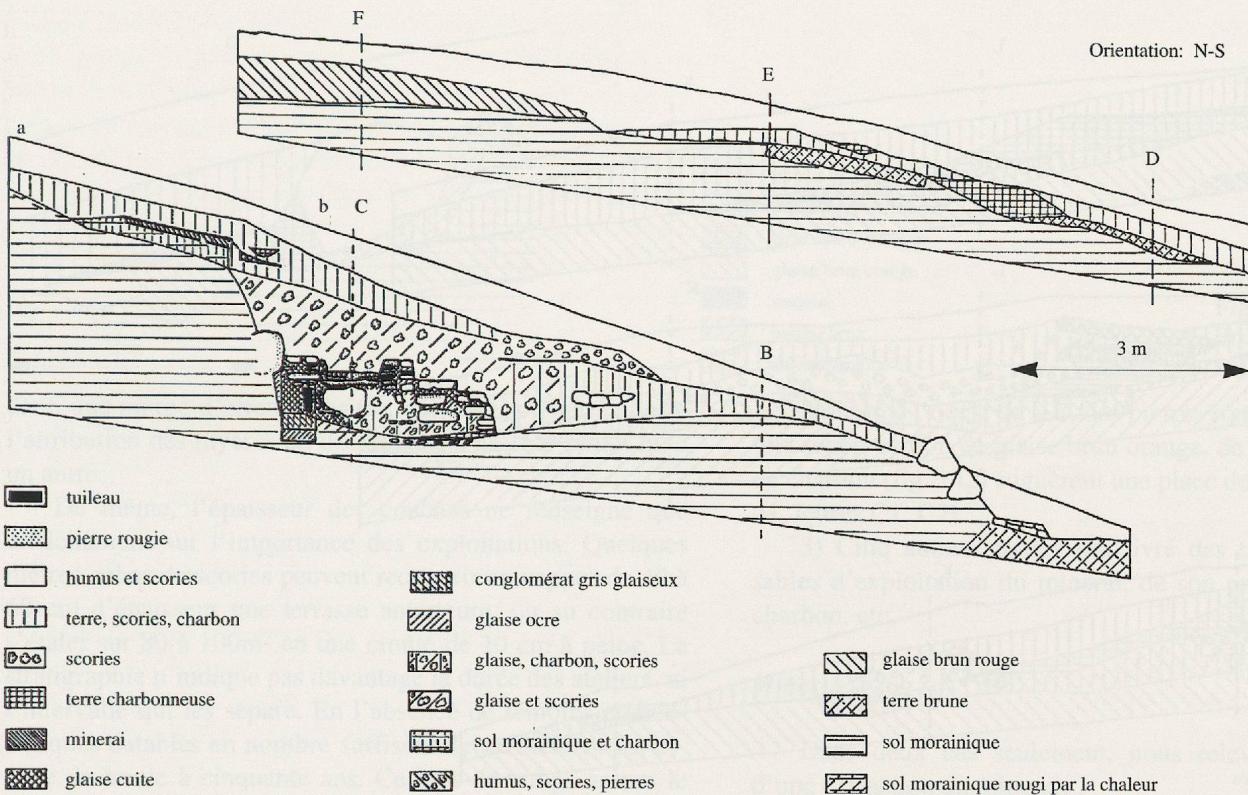


Fig. 139. Bellaires I. Profil de la tranchée 11.

problèmes délicats. Seule la multiplication des relevés stratigraphiques de tranchées (39 à Bellaires I) permet de s'y retrouver. (Voir fig. 138-140, tranchées 11;4;5;7;8).

La tranchée 8 en est un exemple caractéristique. Creusée dès 1963 dans sa partie centrale, prolongée en aval et en amont et approfondie en 1964 et 1965, cette tranchée qui traverse tout le site enregistre les traces de sept des dix installations successives de Bellaires I (voir fig. 141), bien qu'elle coupe les ruines de deux fours seulement, le III au haut du terrain, le IX au milieu (voir fig. 41). L'implantation de ces deux entreprises ne va pas sans bouleverser le terrain, sans le dégager des restes de fourneaux antérieurs. Ainsi les fours jumelés III et IV rasent le four V et en déblaient les éléments (fig. 141, V/3-4).

Le four V avait aménagé une terrasse et en avait déversé l'humus et la terre morainique sur les ruines du four IX, son prédecesseur. Il avait fait rouler ensuite ses scories et le minerai infondu au bas du talus (fig. 141, V).

Pour s'implanter, IX avait lui aussi débarrassé les matériaux accumulés auparavant par le four X, le premier construit à Bellaires I. Mais le four X lui-même avait commencé par aménager sa place de travail: il avait établi une terrasse dans le talus, dont l'aplanissement est reconnaissable, puis il avait déversé ses déchets d'exploitation au-delà de la terrasse. Au bas de la pente, les scories se sont mêlées au gravier morainique rejeté, avant de former par-dessus une couche typique de «terre de forge» avec sa dominante de scories et de charbon (fig. 141, X). En préparant sa place, IX a d'abord repoussé un gros bloc calcaire, contre lequel sont venues buter les pelletées de glaise cuite et de scories qui provenaient de la dernière chauffe de X (ces scories sont caractéristiques).

Les forgerons les ont recouvertes des déchets des campagnes de fonte précédentes, mêlées à davantage de charbon, elles ont formé ainsi un remblai à contrepente, qui commence à trois mètres en aval du fourneau IX (fig. 141, X/9). Les déchets d'exploitation de IX se sont accumulés contre ce remblai. Longuement employé, ce fourneau a nécessité quelques remaniements (voir p. 32). A un moment donné, ses possesseurs ont nettoyé ses alentours jusqu'au sol naturel, dont quelques brouettées forment une bande jaunâtre au milieu des scories et du charbon.

Une série de couches ne s'expliquent que par l'intermédiaire d'autres entreprises: ainsi, tout au bas de la tranchée, une couche où la terre de forge se mêle au gravier semble rejetée sur les déchets imputables à X. Elle ne s'explique que par un remaniement du terrain dû au four XIII, bâti plus à l'est. Ses constructeurs semblent avoir cherché à aménager un passage jusqu'à l'actuelle Vy-Ferroche, en y jetant des scories mêlées de gravier dues à X et prises en amont. Par la suite, ils ont recouvert ce passage de leurs propres matériaux ((fig. 141, X/13 et XIII)).

La couche de glaise orange et de tuileaux romains qui les recouvre ne peut provenir que de la démolition du four XI par les bâtisseurs de XII.

Pour atteindre la place de travail de cette nouvelle exploitation, une sente s'établit 8 à 9 m plus haut à flanc de coteau, sur les ruines de IX; elle aboutit entre le tas de charbon et celui de minerai du four XII. Les forgerons de XII, pour passer plus commodément ont rejeté une partie des scories de V en aval ((fig. 141, V/12)).

La stratigraphie fait de X le four le plus ancien de la zone; il est suivi par XIII, IX, V, XI, XII, III et IV. Les données du carbone 14 s'accordent avec cette répartition. Cepen-

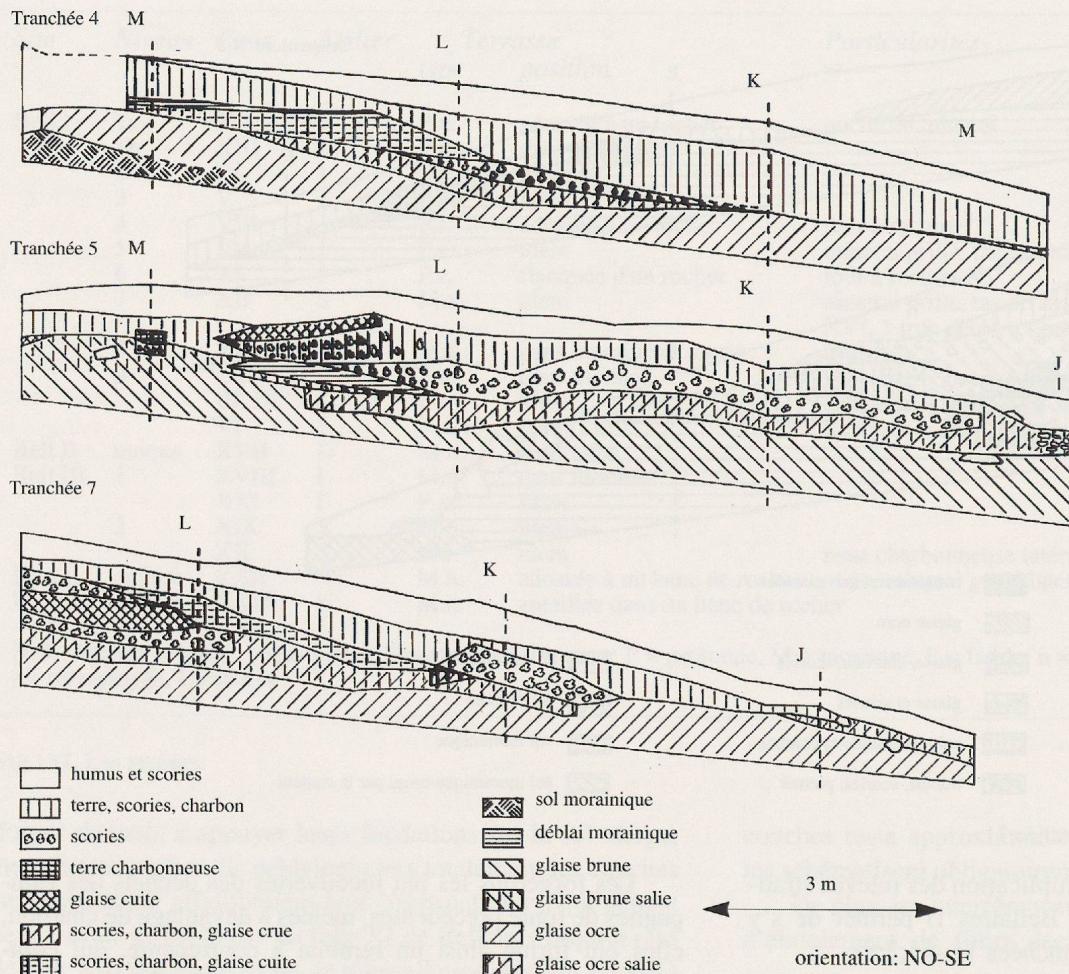


Fig. 140. Bellaires III. Profils des tranchées 4, 5, 7.

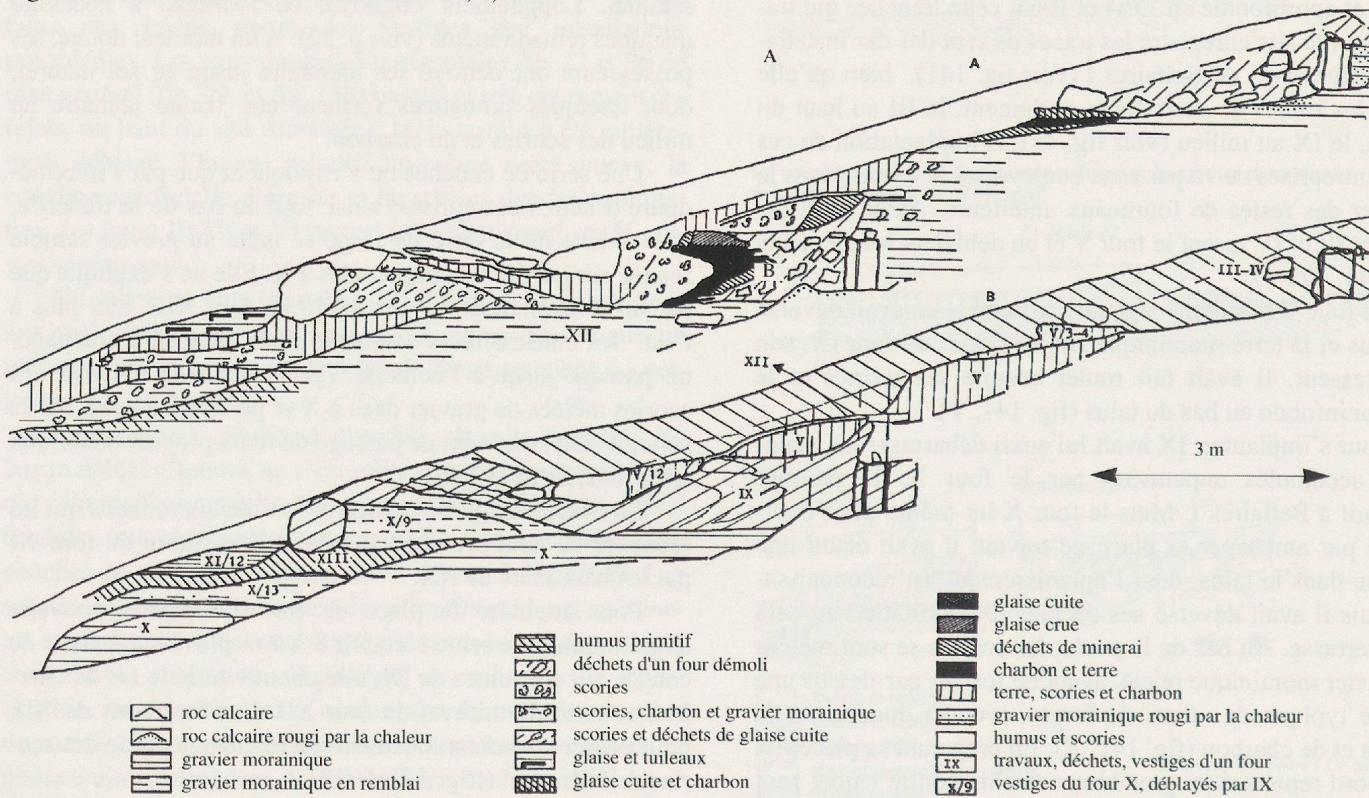


Fig. 141. Bellaires I. Profil de la tranchée 8. Les couches et leur provenance.

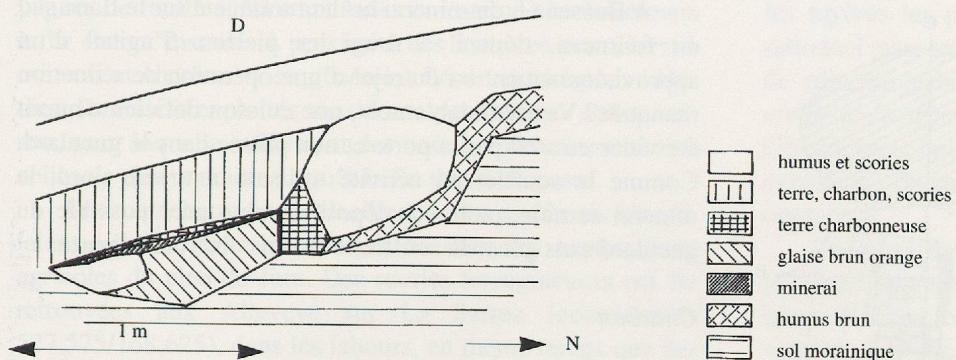


Fig. 142. Bellaires I.
Profil partiel de la
tranchée 3.

dant, une marge d'erreur subsiste, qui rend souvent délicate l'attribution des tuyères ou des tessons à un four plutôt qu'à un autre.

De même, l'épaisseur des couches ne renseigne que difficilement sur l'importance des exploitations. Quelques mètres cubes de scories peuvent recouvrir en nappes de 40 à 60 cm d'épaisseur une terrasse antérieure, ou au contraire s'étaler sur 80 à 100m² en une croûte de 10 cm à peine. La stratigraphie n'indique pas davantage la durée des ateliers, ni l'intervalle qui les sépare. En l'absence de témoins archéologiques datables en nombre suffisant, le carbone 14 les espaces de trente à cinquante ans. Ce laps de temps assure le reboisement.

Fourneaux et mines

Fourneaux

Dans douze cas sur quinze, les ateliers mis au jour dépendent d'un seul fourneau à fer. Cela semble la règle à Bellaires I jusqu'au début du V^e siècle ap. J.-C. Il ne faut pas oublier que la datation, donnée essentiellement par les analyses du carbone 14, reste très approximative. Mais c'est en tout cas à partir du Bas-Empire que les ateliers prennent davantage d'ampleur.

Les trois ateliers à fourneaux multiples sont donc l'exception. C'est même faute d'indices stratigraphiques suffisants que nous jumelons XVIII et XXI de Bellaires III, de l'époque impériale, l'un très détérioré, l'autre inaccessible sous les fours XIX et XX! XIX et XX forment au contraire un couple dont on utilisait sans doute alternativement les foyers. L'un d'eux était remis en état pendant que l'autre fonctionnait.

A Bellaires I, les fours jumelés I-II, III-IV et le solitaire VI sont construits dans le secteur supérieur de la halde, sur un sol uniformément débarrassé des vestiges antérieurs et même de sa terre végétale (voir fig. 41, 138). Leurs scories, qui reposent directement sur le gravier morainique forment une couche uniforme.

Les *installations accessoires* ont disparu – ou n'ont jamais existé – dans huit des quinze ateliers. Il en subsiste des traces difficilement explicables dans deux cas, claires dans cinq autres.

1a) 4 m en aval de VIII et sur la même couche, les fouilles ont relevé une pile quadrangulaire de pierres et de glaise cuite qui pourrait provenir d'un atelier annexe (fig. 41, lettre d).

2a) 7 m à l'ouest de VII, des pierres rougies par le feu et une superposition de glaise brun orange, de minerai délité et de charbon (fig. 142) suggèrent une place de travail (voir fig. 41, lettres C1, C2).

3) Cinq autres ateliers ont livré des traces reconnaissables d'exploitation du minerai, de son grillage, de tas de charbon, etc.

Mines

Dans deux cas seulement, nous relevons les indices d'une extraction du minerai:

1. A Bellaires I, à proximité du four X, le plus ancien, une poche naturelle du rocher était remplie de scories et de terre charbonneuse; elle avait été vidée antérieurement de son contenu originel, probablement du sidérolithique.

2. A Bossena I, immédiatement au sud du fourneau, une couche de terre de forge de 40 cm d'épaisseur s'enfonce sous le rocher jusqu'à une profondeur de 3 m au moins. Il s'agit d'une «taille» que soutient un pilier fait de pierres glaciaires (fig. 142, 108). Une excavation analogue est visible le long du même banc rocheux à une cinquantaine de mètres plus au nord. Ailleurs, l'emplacement des filons ou les traces d'extraction ne sont plus repérables.

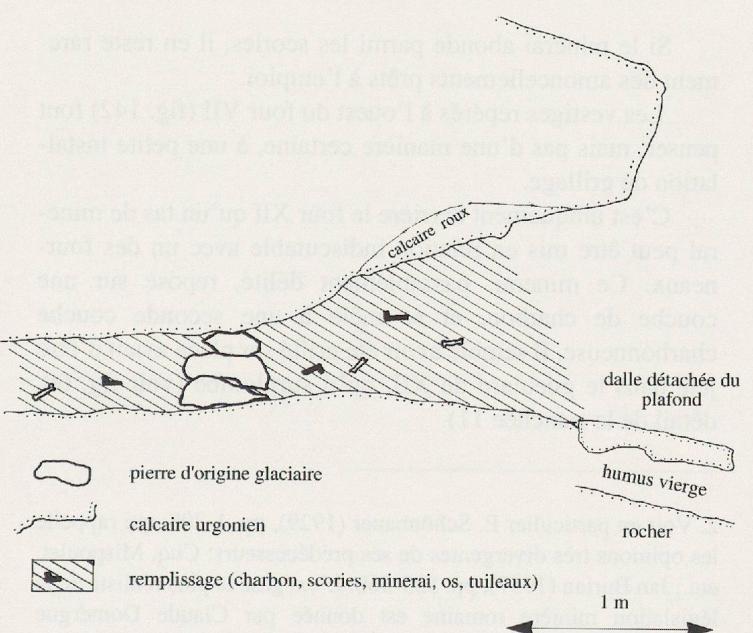


Fig. 143. Bossena I. Profil de la taille de mine.

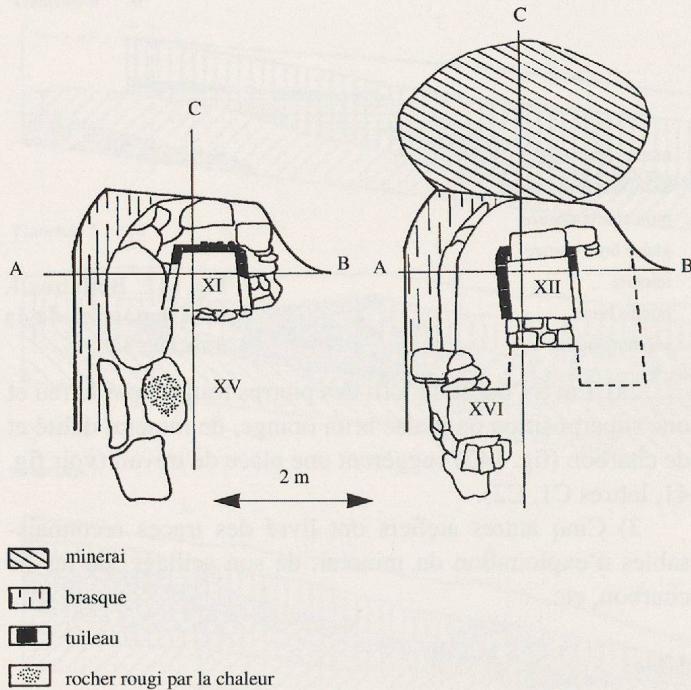


Fig. 144. Bellaires I. Les ateliers superposés XI et XII.

L'étroitesse des filons dans les failles de l'urgonien ou la présence de poches de faibles dimensions n'ont pas conduit à des exploitations en gradins comme celles que Wilsdorf (1952) a décrites et que Corot (1921, I, 127-131) avait découvertes chez les Eduens, sans se rendre compte qu'il s'agissait d'une minière. Leur exploitation n'a pas parsemé non plus la forêt d'entonnoirs et de mamelons comme les multiples puits relevés par Hans Frei (1966) en Bavière. La législation et l'organisation minières romaines n'apportent aucun éclaircissement à ce sujet².

Minerai préparé

Si le minerai abonde parmi les scories, il en reste rarement des amoncellements prêts à l'emploi.

Les vestiges repérés à l'ouest du four VII (fig. 142) font penser, mais pas d'une manière certaine, à une petite installation de grillage.

C'est uniquement derrière le four XII qu'un tas de minerai peut être mis en relation indiscutable avec un des fourneaux. Ce minerai, passablement délité, repose sur une couche de charbon, et se mêle à une seconde couche charbonneuse. Il semble avoir été grillé sur place avant d'être jeté dans le gueulard de XII, qu'il surplombe (voir fig. 60, détail de la tranchée 11).

2. Voir en particulier E. Schönbauer (1929), pp. 1-208, qui rappelle les opinions très divergentes de ses prédécesseurs: Cuq, Mispoulet, etc.; Jan Burian (1957), pp. 535-560. L'exégèse la plus réaliste de la législation minière romaine est donnée par Claude Domergue (1983), à ce jour le meilleur connaisseur de l'exploitation minière antique.

A Bossena I, du minerai brûlant a été jeté sur le flanc sud du fourneau, dont il a rougi les pierres. S'agit-il d'un approvisionnement ou du rejet d'une opération de réduction manquée? Vraisemblablement, une cuisson déficiente aurait été vidée en aval par la porte et non puisée dans le gueulard. Comme le soufflet en activité utilisait la tuyère nord, le minerai semble avoir été déposé le plus près possible du gueulard sans gêner la soufflerie et sans obstruer la porte.

Charbon

L'accumulation des réserves de charbon devrait laisser des traces indélébiles; ce n'est que rarement le cas. A Bellaires I, subsistent les bases de deux tas; l'un ravitaillait le four VII, l'autre le XII.

Une zone de terre très charbonneuse surplombe les fours I-II et III-IV de Bellaires I, peu enfouis dans le terrain. VI, au contraire n'était en tout cas pas alimenté d'amont. A Bellaires III, une zone analogue est visible sur le flanc ouest du four XIX.

Fours à recuire

La présence d'un fourneau de réduction devrait attirer en corollaire celle d'un four à recuire les loupes. A Bellaires I, XV et XVI (fig. 144) semblent avoir joué ce rôle. Blottis au pied sud du rocher qui flanque à l'ouest les fours XI puis XII, ils s'ouvrent du côté est, et le forgeron n'avait qu'un quart de tour à faire pour déplacer la loupe du fourneau dans le foyer à recuire. Il n'existe rien d'analogique dans les autres cas. Les forgerons (excepté peut-être ceux de VIII et de VII) ont utilisé vraisemblablement leur fourneau ou un de leurs fourneaux de réduction pour réchauffer le fer brut.

Forges

Nous n'avons retrouvé aucune base d'enclume, aucune pince, aucun marteau, aucune place de forge. Tout au plus, à l'est du four XIV subsistait-il dans les déchets une vingtaine de petites plaques de fer battu qui pourraient provenir d'un travail sur place du métal. Ici encore un aspect exceptionnel de ce fourneau aberrant, «burgonde».

Constructions et abris

Un seul trou de pieu a résisté aux multiples aménagements de Bellaires I, à proximité de XII. A Bellaires III, trois trous distants l'un de l'autre de 3 m révèlent l'existence de pilier soutenant sans doute une toiture légère, de 6 m de façade, qui surmontait XIX-XX et s'appuyait derrière eux sur le talus (où elle n'a laissé aucune trace). Dans les autres ateliers, si les forgerons ont travaillé sous abri, ils se sont contentés de parois de rondins fixées à des arbres en place et de toitures liées à leurs ramures, (comme l'abri des fouilles, à Bellaires I). De maisons, de murs de pierre, aucune trace.

L'absence d'un habitat durable, d'outils, la rareté de la vaisselle et la découverte d'une seule monnaie en six cam-

pages de fouilles montrent sans conteste que les fourneaux à fer étaient installés à proximité des matières premières, – minerai et charbon –, en général à l'écart des régions habitées. Ils étaient exploités sans doute pendant une courte saison, pour laquelle suffisaient des huttes, sommaires comme celles de charbonniers jusqu'à la fin du siècle passé.

Les maréchaux, les taillandiers ou les armuriers travaillaient ailleurs, dans les villages ou dans les exploitations agricoles du pied du Jura. Des scories ferrugineuses ont été retrouvées aux Alleveys sur La Sarraz (cordonnées 527,575/168,625), dans les labours, en même temps que des tuileaux romains, de la céramique courante ou sigillée et qu'une monnaie de Commodo. Il en est de même à proximité de la «villa» d'Orny (coord. 530,625/ 169,050). Des forges domaniales y existaient probablement.

Les unités de production

Ainsi douze au moins des quinze ateliers fouillés représentent une exploitation unitaire, individuelle ou familiale. Bien que les fourneaux se perfectionnent graduellement, l'installation dans la forêt reste précaire pour l'habitat, sommaire pour le travail du fer.

Apparemment, une main-d'œuvre limitée suffisait comme pour les bas fourneaux de l'Österland norvégien. Ole Evenstad (pp. 13-15), qui les décrit vers 1790, constate que trois personnes peuvent récolter le minerai, construire le four, le ravitailler en combustible et le mettre à feu pendant 4 à 5 semaines.

Seul le four XII, dont nous avons relevé la construction robuste et subtile, avec son creuset trapézoïdal, et qui utilisait

les tuyères les plus racées, révèle un ensemble de travail rationnel avec son four à recuire et ses réserves de charbon et de minerai grillé. L'absence de forge dans cet ensemble confirme la séparation de la production et du travail du fer. Cet atelier, le huitième de Bellaires I, apparaît comme le plus évolué de l'époque gallo-romaine. Il est aussi l'un des mieux conservés.

Deux entreprises, trois peut-être, comprennent deux ou plusieurs unités de production. Le couple XIX-XX, de Bellaires III, dont les fourneaux massifs fonctionnent alternativement, doit disposer d'une équipe plus nombreuse que les ateliers à four unique, pour assurer le roulement des chafes. Son rendement est certainement plus considérable, de type déjà «industriel». En effet, les 21 fourneaux dégagés dans les cinq haldes ont accumulé en moyenne entre 50 et 60 m³ de scories chacun. Les quatre de Bellaires III, 500 m³. Or, les fours XVIII et XXI, d'un très petit diamètre, ont rempli au maximum 20% de la halde de leurs déchets. XIX et XX ont produit ensemble environ 400m³ de scories.

L'entreprise la plus vaste comprend les fours I à IV et VI de Bellaires I. Elle dispose probablement de trois équipes renforcées pour l'exploitation alternative des fours jumelés. Cette exploitation intensive semble de durée relativement courte: le jumeau de VI n'a pas été construit. A eux cinq, ils n'ont probablement pas déversé plus de 300 m³ de déchets et scories. Mais c'est peut-être aux dimensions exceptionnelles de cet atelier que les Bellaires doivent leur toponyme: *Bellarria*, qui, en bas latin désigne les arsenaux ou les équipements militaires. La dernière ferrière de Bellaires I aurait-elle été une hâtive usine de guerre dans la tourmente des grandes invasions? (Jones, 835).

8

L'EXPLOITATION

La découverte, entre 1963 et 1972, de plus de 40 sites inconnus et la fouille de six d'entre eux rendaient indispensables des analyses nouvelles: spectrographiques, pour contrôler l'authenticité et éventuellement les parentés des scories et des minerais; quantitatives, pour compléter les données fournies par les fouilles de Prins-Bois I entre 1958 et 1960.

Les analyses spectrographiques ont été effectuées, au gré des possibilités, par l'Institut de chimie minérale de l'Université de Lausanne (professeur G. Brunisholz) en 1963, par la maison Jarrell-Ash au Locle en 1965, puis par l'Institut de minéralogie (professeur R. Woodtli) en 1971-72. De plus, grâce à la complaisance des usines Sulzer Frères à Winterthour, les analyses quantitatives de 6 minerais, de 15 scories, de 5 déchets de métal et d'un tranchant de pioche ont été effectuées dans leurs laboratoires par M. Henri Gut. Tandis que les analyses quantitatives gardent toute leur valeur, mais forment à elles seules un échantillon trop restreint, les analyses spectrographiques qualitatives ont perdu une grande partie de leur intérêt. Entre 1983 et 1993, au Laboratoire de minéralogie de l'Université de Lausanne-Dorigny Vincent Serneels a multiplié pour sa thèse d'archéométrie sidérurgique les analyses de scories et de minerais. Des appareils plus perfectionnés et un échantillonnage statistiquement plus satisfaisant répondent aux questions que nous nous posions en 1973, complètent, nuancent et parfois rectifient nos premières déductions.

1. Les minéraux

Les analyses quantitatives

Les analyses faites lors des fouilles de Prins-Bois I en 1959-60 (Pelet, 1960a, 88) ont révélé l'utilisation du sidérolithique local par les forgerons antiques, alors que les géologues du début du siècle l'avaient considéré, en particulier à Goumoens, comme inutilisable (Schardt, 1923).

Les échantillons retenus aux Bellaires parmi beaucoup d'autres se distinguaient par leur aspect ou par leur consistance; b131 avait une couleur brun rouge, b50 brune, c20 bleu acier, cd78/94 de Bellaires II brun grenat violacé, b1581 enfin, violacé avait été broyé et probablement grillé; o3 était un fragment de galet glaciaire magnétique (Bellaires I). Les résultats de ces analyses sont reportés dans la figure 145.

Fer et manganèse

L'analyse faite en 1959 pour Prins-Bois I découvrait 34% de fer et de manganèse; 40% pour Ferreyres/Haut-des-Champs. Les analyses postérieures oscillent entre 36 et 46% de Fe+Mn. Pratiquement, les forgerons pouvaient escompter une teneur de l'ordre de 40%, satisfaisante. Le minerai n'avait pas la pauvreté qu'on lui attribue fréquemment à la suite des travaux de Schardt (1923). En effet, les analyses sur lesquelles le géologue s'est fondé, en fonction des conditions modernes d'exploitation reposaient non sur les pisolithes lavés, comme on le faisait autrefois, mais sur l'ensemble du bolus sidérolithique, très pauvre à Goumoens (teneur moyenne Fe+Mn: 12,8%) et trop siliceux pour les hauts fourneaux.

La proportion du manganèse est en général faible dans le sidérolithique: environ 0,4%. Mais certains rognons peuvent en contenir une forte proportion; deux d'entre eux, d'une couleur bleu acier (échantillon c20) ont été retrouvés au haut du site de Bellaires I, dans la couche de la dernière exploitation. Aisément repérables dans les scories du fait de leur couleur voyante et exceptionnelle, ils contiennent 20% de Mn contre 16% de Fe. Les analyses faites avant 1973 n'ont relevé aucun résultat correspondant dans les scories. Celles de Vincent Serneels, plus nombreuses, constatent de temps à autre une teneur en Mn qui dépasse de beaucoup celle du sidérolithique normal. Il relève à Prins-Bois II, 4,5%, 4,9%, à Voualève 5,5%. A Montcherand où la teneur générale en Mn est un peu plus forte qu'aux Bellaires, elle peut atteindre

N° col.	1	2	3	4	5	6	7	1-7	8
	Pr.-B.I	Ferreyres Haut-des- Champs			Bell.I.		Bell.II	Moyenne	Bell.I
<i>Minerais</i>			b 131 brun rouge	b 50 brun	c 20 bleuâtre	b 1581 grillé	CD 78/94 rougeâtre		0,3 galet magnétique
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fe tot.	33,65	40,6	46,30	38,30	16,30	39,30	45,30	37,11	10,10
Mn tot.	0,42	0,60	0,24	0,55	20,30	0,37	0,22	3,24	0,23
Fe+Mn	34,02	41,20	46,54	38,85	36,60	39,67	45,50	40,34	10,33
FeO	2,16	11,49	0,26	0,26	0,26	4,92	0,22	2,79	
Fe2O3	45,09	44,31	66,28	54,78	23,20	50,83	64,88	49,90	13,10
MnO	0,54	0,78	0,32	0,71	19,30	0,49	0,28	5,11	0,31
MnO2					13,04				
Ni			0,04	0,04	<0,01	0,02	0,03		
SiO2	25,60	23,85	15,28	20,58	11,53	28,42	15,17	20,06	38,15
Al2O3	11,50	6,25	8,72	11,79	5,72	9,78	8,38	8,87	1,80
TiO2	0,55	0,28	0,27	0,28	0,26	0,62	0,26	0,36	0,03
Cr2O3			0,01	0,01	0,01	0,02	0,03		
CaO	0,80	4,10	3,51	2,70	5,36	3,10	3,20	3,25	0,84
MgO	0,06	0,20			7,20				37,20
H2O					8,40				
CO2									
S	<0,01	<0,01		0,22	0,22	0,22			
P	0,25	0,38							

dans certaines scories jusqu'à 8%. Une pièce exceptionnelle en contient quelque 22%! Les forgerons n'ont pas rejeté systématiquement les rognons manganifères. Ils les ont réduits avec le mineraï normal, mais sans réussir à en capturer le manganèse qui aurait amélioré la qualité du fer.

Nickel

Aux Bellaires, la plus forte teneur en Ni ne dépasse pas 0,04%. Les analyses spectrographiques semi-quantitatives qui ont précédé les qualitatives en 1959, proposaient 0,01% à Ferreyres/Haut-des-Champs, 0,02 à Prins-Bois I. La présence de Ni est dix fois plus forte (0,2%) dans certains déchets de fonte ou dans le tranchant de pioche analysé (voir p. 104). Ce métal ne passe pas aisément dans les scories et reste mêlé au fer. L'accroissement de la teneur est trop faible malgré tout pour que l'on puisse supposer l'adjonction de fer météorique.

Composants acides et basiques

Les composants acides du mineraï: SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ ou basiques: FeO, MnO, CaO, MgO sont très importants pour déterminer les conditions de réduction et de fusibilité.

Du tableau précédent, nous tirons les proportions suivantes:

Site	Composants acides	Composants basiques	Prépondérance acide	Prépondérance basique
Pr.-B.I	37,65	3,56	34,09	
Ferreyres, Ht-des-Champs	30,38	16,57	13,81	
Bell.I, 3 éch.	31,91	5,42	26,49	
Bell.I, c20	17,51	24,92		7,41
Bell.II	23,81	3,70	20,11	
moyenne	28,25	10,83	23,62	

Fig. 145. Mineraïs de fer: analyses quantitatives.

Comme dans les analyses antérieures, la silice abonde: 20% en moyenne (entre 11,5% et 28,4% SiO₂). L'alumine oscille entre 5,7 et 11,8% (Al₂O₃ moyenne: 8,38%). L'oxyde de titane est toujours présent, mais en faible dose: 0,36% en moyenne. L'acidité moyenne des scories est inférieure à 30%.

Les éléments basiques, au contraire, sont plus faiblement représentés: ils forment en moyenne 10,83% du mineraï, – 7,31% sans l'échantillon c20. Le CaO oscille entre 0,8 et 5,36% (en moyenne 3,25%). Seul c20, exceptionnellement manganifère a une prépondérance basique.

Autre caractéristique frappante, le magnésium est absent de 5 analyses; dans les autres, sa teneur ne représente au maximum que 0,2%. Il entre au contraire pour un tiers dans le galet glaciaire magnétique (MgO:37%).

L'analyse de ce galet, est, elle aussi, instructive: elle enregistre environ 10% de Fe. La très faible teneur en magnésium des scories dont nous possédons des analyses quantitatives (voir fig. 145) montre que de tels minéraux n'ont pas retenu l'attention des métallurgistes. Sans parler de la faible fusibilité de la magnétite, ils étaient trop siliceux pour servir de fondants à des minérais à prépondérance acide.

Comme précédemment, les minérais paraissent pauvres en impuretés fâcheuses: le soufre (0,22%), l'arsenic (<0,1%), le phosphore ne semblent pas avoir été réellement gênants.

Les analyses qualitatives

Alors que les analyses de Prins-Bois marquaient une différence sensible entre les minérais du groupe Prins-Bois -

Fig. 146. Composants acides et basiques.

Bellaires I												
Four	IX paroi amont	V	IV ou V tuyère a6	VII	XV	XIIa paroi ouest	XIIb fond du four	XIV	II paroi amont	III paroi amont	VI paroi amont	Moy.
Niveau	2	3	9 ou 3	5	6	7	7	8	9	9	9	%
Fe	17,32	19,35	44,43	30,17	37,28	18,13	31,30	50,60	7,26	26,27	28,59	28,25
Mn	0,09	0,04	0,30	0,25	0,25	0,08	0,09	0,14	0,09	0,30	0,07	0,15
Fe+Mn	17,41	19,39	44,73	30,42	37,53	18,21	31,39	50,74	7,35	26,57	28,66	28,40
FeO	0,00	0,00	0,00	31,93	39,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,45
Fe2O3	24,75	27,65	63,48	7,63	9,82	25,90	44,72	72,76	10,38	37,53	40,85	33,18
MnO	0,12	0,05	0,39	0,32	0,32	0,11	0,12	0,19	0,12	0,39	0,09	0,20
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
SiO2	58,30	51,20	18,07	41,00	31,16	53,28	27,09	13,48	55,05	38,05	40,85	38,86
Al2O3	11,28	11,20	0,00	16,69	13,02	11,92	10,12	9,12	9,35	11,69	11,48	11,08
TiO2	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,58	0,49	0,00	0,39	0,00	0,44	0,23
CaO	0,28	0,70	2,66	2,24	3,93	2,94	2,80	0,56	5,89	5,05	1,54	2,60
MgO	0,20	0,66	0,00	0,20	1,21	1,31	2,62	0,60	0,71	1,21	0,40	0,83
CO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	
SO4												0,78 (S=0,26)

Bellaires II			Prins - Bois I	Bossena I	Rosset I	Moiry		Châtel	Moy.	
Four	XVIIa	XVIIb		XIX de fond	XXII	1 compacte	2 soufflée			
Niv.strat.	unique	unique			unique			unique		
Fe	30,33	44,69	26,07	22,23	23,73	29,31	22,93	16,79	45,11	27,48
Mn	0,30	0,27	0,38	0,60	0,35	0,35	0,58	0,78	0,17	0,27
Fe+Mn	30,63	44,96	26,35	22,83	24,08	29,65	23,51	17,57	45,28	28,87a
FeO	35,35	47,28	9,77	6,18	22,56	30,32	13,79	5,03	0,00	16,06
Fe2O3	4,06	11,32	26,35	24,86	8,86	8,14	17,40	18,36	64,45	27,40
MnO	0,39	0,36	0,49	0,78	0,45	0,44	0,75	1,01	0,22	0,35
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO2	42,44	25,66	29,06	41,24	43,37	38,44	42,06	48,48	19,90	38,24b
Al2O3	13,88	11,51	20,10	5,30	17,30	14,40	17,75	20,95	4,90	12,40
TiO2	0,00	0,00	0,42	0,55	0,67	1,00	0,54	1,00	0,25	0,35
CaO	3,65	3,08	1,50	0,70	3,15	4,30	5,00	3,95	7,84	3,08c
MgO	0,40	0,40	0,13	0,19	0,70	0,35	0,24	0,05	0,86	0,62
CO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S		(<0,01)	(<0,01)	(<0,01)	<0,01	<0,01	0,01	0,02		
P		0,19	0,23	0,16	0,21	0,17	0,09			

N.B. a: (sans Châtel 28,6) b: (sans Châtel 37,89) c: (sans Châtel 2,69)
Bellaires II et Châtel: analyses faites en 1967; Prins-Bois I, Bossena I, Rosset et Moiry: Pelet, 1960a

Fig. 147. Analyses quantitatives des scories, en %.

Ferreyres et ceux du Mormont et de Goumoens (Pelet, 1960a, 88), 26 analyses spectrographiques des maisons Jarrell-Ash et Sulzer Frères et des instituts de chimie minérale et de minéralogie de l'Université de Lausanne ne marquent que la grande similitude des minéraux recueillis dans un rayon de 3 kilomètres, entre La Sarraz et Moiry.

Les seuls échantillons qui s'en différencient par la présence de plomb, d'argent, de zinc ou par une teneur plus forte en arsenic viennent du haut Jura: Châtel sur Montricher, mines du Risoux et des Grangettes près du lac Saint-Point.

2. Les scories

Les analyses des scories complètent ces premières constatations en montrant ce que les sidérurgistes d'autrefois ont su tirer des minéraux à disposition. Elles donnent d'autre

part une série d'indications sur la qualité ou la quantité du métal extrait.

Les analyses quantitatives

Onze échantillons de Bellaires I, deux de Bellaires II, un de Châtel sur Montricher, soit quatorze en tout ont été analysés en 1967 dans les laboratoires de Sulzer Frères à Winterthour. Les résultats en sont reportés dans la figure 147, en même temps que les analyses faites antérieurement pour Prins-Bois I, Bossena I, Rosset I et Moiry / Fontaine-des-Forges (Pelet, 1960a, 82-83). Ces vingt séries de chiffres confirment et nuancent les constatations antérieures.

Les scories de Bellaires I analysées se rattachent en définitive à sept exploitations sans roue à eau, à ventilation artificielle cependant. Issues du même site, du même minerai,

elles sont formées des mêmes éléments. Mais la proportion de ces éléments varie considérablement selon le moment de la formation de la scorie: au début de la fonte, la silice domine; en fin de fusion, le fer est plus abondant. Mais les fluctuations de la température au cours de la chauffe provoquent de nombreuses entorses à cette règle très générale.

Cinq des scorries des Bellaires ont été détachées de la paroi d'un four. Soit parce qu'elles se sont formées au début de l'opération de fonte, soit par affinité avec le revêtement glaiseux du foyer, elles contiennent une plus forte proportion de silice (près de 50%) et une teneur assez faible en fer et en manganèse (environ 20% en moyenne). De l'une à l'autre d'ailleurs, la variabilité reste extrême: ainsi, les scorries des parois amont des fourneaux II, III et VI, du même type et pratiquement contemporains ont une teneur en Fe+Mn qui va de 7,35 à 28%, une teneur en SiO₂ qui va de 38 à 55%.

Les scorries prises dans les tranchées ou au fond des fourneaux ont entre 20 et 50% de Fe+Mn (en moyenne 35,7%), et entre 13,5 et 51% de SiO₂ (en moyenne 28,6%). Ce ne sont pas celles des fourneaux les plus anciens qui sont les plus riches en fer. Pour arriver à déceler une amélioration éventuelle de la réduction – difficilement perceptible et souvent peu probable de fourneau en fourneau – il aurait été nécessaire de découpler les analyses quantitatives. Notre échantillonnage restreint donne l'essentiel: un ordre de grandeur.

Les fouilles de Prins-Bois I relevaient dans les scorries moins de 28% de Fe + Mn. Cette proportion se retrouve dans les analyses de Bellaires I (28,4%) aussi bien que pour l'ensemble du tableau XV (28,87%). En gros, on peut admettre qu'au pied du Jura les scorries du sidérolithique fondu sans soufflerie hydraulique contiennent environ 30% de fer et de manganèse. Ce chiffre paraît faible lorsqu'on le compare aux analyses nombreuses exécutées en Europe (voir fig. 148).

D'une manière générale, dans les fourneaux sans souffleries hydrauliques, la teneur en fer des scorries, très variable certes, atteint plus de 40% en moyenne. Mais les données de la fig. 147 sont trop incomplètes, trop disparates aussi pour qu'on puisse même esquisser l'évolution de la capacité de réduction des fourneaux. Tant qu'elle n'est pas simultanément comparée aux minerais fondus, la teneur en Fe des scorries n'est pas aussi significative qu'on l'a dit parfois. La présence de 28% de Fe seulement dans nos scorries ne provient pas d'une mise à feu exceptionnellement habile. La teneur en fer du minerai lui-même atteint à peine 40%. Si les scorries en contenaient autant, quel fer aurait-on produit?

Comme le montrent les recherches de Vincent Serneels, une gangue riche en silice et en alumine abaisse le point de fusion du minerai.

Si l'on admet que la scorie est composée à 95% par les résidus du minerai et à 5% par ceux du charbon et des parois non réfractaires des fourneaux (les analyses ne décèlent pas l'emploi de fondants aux Bellaires), on peut estimer que les métallurgistes ont retiré du sidérolithique environ 10% de fer, ce qui veut dire qu'un quart seulement du métal contenu dans le minerai a été utilisé. A Tannerre en Puisaye un minerai avec 56% de Fe donne apparemment des scorries contenant 38,5 et 40% de Fe. Les forgerons ont extrait quelque

15% du minerai, soit 26% du métal existant (Monot, 1964; Goudard, 1936). Dans les exploitations hydrauliques du Parc national suisse, des scorries ont une teneur en Fe de 28% environ, pour des minerais de 50% (Schläpfer, 1960).

Les forgerons seraient parvenus à tirer 20% de fer, soit 40% du métal contenu dans le minerai. Multiplier de telles comparaisons serait du plus haut intérêt. Elles sont cependant souvent tendancieuses: il faut être sûr du minerai réellement fondu, et tenir compte des différentes conditions de fusion.

Les scorries révèlent un autre aspect, intéressant, de la technique antique, que les travaux de M. Bartuska et Radomir Pleiner (1965) ont mis en évidence. Une chaleur légèrement insuffisante aboutit à la combinaison de FeO avec la silice (SiO₂). Les silicates qui en résultent (la fayalite en particulier) sont ensuite très difficilement réductibles.

Lorsque le FeO abonde dans les scorries, la fusion s'est opérée médiocrement. Sur les 20 échantillons analysés, un quart (5 échantillons) est dans ce cas, avec une teneur totale en Fe+Mn de 35%, nettement supérieure à la moyenne. Deux d'entre eux appartiennent au four XVII de Bellaires II dont les scorries, par leur aspect même suggéraient une ventilation peu efficace (voir page 17). Les autres proviennent l'un du site non fouillé de Rosset, l'autre de la scorie agglutinée à la tuyère a6 du four VII, le troisième enfin des scorries recueillies sur le fond du four à recuire XV (où de plus faibles températures s'expliqueraient très aisément).

La réduction en général satisfaisante du minerai diminue la proportion de FeO tandis que l'abondance du SiO₂ accentue l'acidité des scorries. Cette acidité apparaît dans la somme de SiO₂ + Al₂O₃ + TiO₂, dont on soustrait les monoxydes FeO, MnO, CaO et MgO.

Dans les scorries comme dans le minerai (voir fig. 150), les bases sont beaucoup moins importantes. Seule la présence de FeO peut abaisser la prépondérance acide. Aucune des scorries analysées n'est cependant basique.

Malgré la formation d'une forte quantité de Wustite (FeO) dans quelques scorries, la prépondérance acide est encore plus marquée dans la fig. 150 (28, 45) que pour les minerais (23,62). Ce qui s'explique par le fait que pratiquement tous les composants acides ont passé dans la scorie alors qu'une partie du fer en est extraite.

Si, comme les forgerons, on ne tient pas compte de l'échantillon de minerai c20 fortement manganifère, la teneur en Mn des scorries, en moyenne 0,27% s'apparente à celle des échantillons de minerai (0,40%).

Les analyses des déchets métalliques (voir fig. 154) montrent qu'il en est resté moins de 0,01% dans le métal. Nos échantillons ne comprennent pas de scorries riches en manganèse. Elles n'apparaîtront qu'au cours des travaux de Vincent Serneels.

D'après les scorries analysées, les artisans du pied du Jura n'ont pas introduit de fondant calcaire: la proportion de CaO est de 3% dans les scorries comme dans le minerai.

La scorie de Châtel sur Montricher suggère un minerai plus riche en calcaire (CaO: 7,84%) que celui du pied du Jura – mais autre que la limonite valanginienne – et plus pauvre en alumine: 4,9%.

Lieu	Epoque incertaine	La Tène	Rome	Haut Moyen Age	XI-XIIe siècle	XIV-XVe siècle	Réf.
Allemagne							
Siegerland		47-55			38-56		1
Angleterre							2
Ariconium/Hereford.		50					
Achwicken/Norfolk.		53					
Bagendon/Glos.		18-58					
Boho/Ferm.		50					
Camerton/Somer.		26 (15), 44-57,6					3
Chelm's Combe/Somer.	44-52						
Corbridge/N'land		60					
Dinas Powy/Glam.				54			
Great Casterton/Rut.		51,5			38,05		
Harthope Mill/c. Durham						33,8	
Heronbridge/Chesh.		49,9					
High Bishopley/c. Durham					29-42,5		
Kentor/Devon.	49,5						
Maiden Castle/Dorset		57					
Wilderspool/Lanc.		14-55					
York				53			
France							
Berry		26-36					4
Bretagne		34-50		39-52	47-52		5
Haute-Savoie (Salève)		44,6					6
Morvan (Thoste)		36					7
Morvan (Lécussy)					25,4		7
Moselle (Bliesbruck)		47-57,9					8
Ouest		39-50		49-52	47-52		4
Yonne		38,5-48					9
Pologne							
Cracovie				34-55			10
Rép. Tchèque							
Bohème et Moravie	31,49	15,4-59,8		49	38,47		11
Moyennes	46,50	43,80		48,6	42,30	33,8	
1 Gilles, 1957, p.179; 1936, p.252; 1956, p.57				7 Mangin, 1992			
2 Tylecote, 1962, p.: 188, 246-7, 262, 286				8 Forrières, 1987			
3 Wedlake, 1958				9 Monot, 1964			
4 Davy, cité: Rev.Hist.Sidér. II/1, 1961, 64; Kerleroux, 1965, 68				10 Nosek, 1969, pp. 183-193			
5 Puzenat, 1939				11 Bartuska & Pleiner, 1965; Pleiner, 1958, p.283			
6 Maréchal, 1982							

Fig. 148. Teneur en fer (Fe) des scories en Europe, en %.

Lieu	Epoque incert.	Rome	Haut Moyen Age	XIV-XVe siècles	Réf.
Bargen				10-44	3
Laufon		43			1
Merishausen			53		2
Parc national				6,4-49	4
Schaffhouse ct.	52				2
Boécourt (11 éch.)			31-49,7		5
VD Montcherand (45 éch.)			30,8		6
VD Région Ferreyres		7-50 m. 28			
1 Epprecht, 1980, p.79			4 Schläpfer, 1960		
2 Guyan, 1946, p.72-73			5 Eschenlohr & Serneels, 1992		
3 Guyan, 1957, p.159-174			6 Serneels, 1993		

Fig. 149. Teneur en fer (Fe) des scories en Suisse, en %.

Les analyses qualitatives

Tous les sites n'ont pas livré, dès les sondages, du minerai. Analyser les scories apporte un complément d'information utile. Cinquante-quatre échantillons ont été

spectrographiés à l'Institut de minéralogie; six autres à l'Institut de chimie minérale.

Six d'entre eux provenaient de l'étranger: des ferrières de la Burbanche, près du Bourg de Rossillon (Ain), du Creux-de-Mâchefer dans le bois du Charlet, commune de

Site Nb anal.	Bell.I 11 %	Bell.II 2 %	Pr.-B.I 2 %	Boss.I 1 %	Rosset I 1 %	Moiry 2 %	Châtel I 1 %
Acides:							
SiO ₂	38,86	34,05	35,15	43,37	38,24	45,27	19,90
Al ₂ O ₃	6,45	12,70	12,70	17,30	14,40	19,35	4,90
TiO ₂	0,23	0,00	0,48	0,67	1,00	0,77	0,25
Total	50,17	46,75	48,33	61,34	53,64	65,39	25,05
Bases:							
FeO	6,45	41,31	7,97	22,56	30,32	9,41	0,00
MnO	0,20	0,37	0,63	0,45	0,44	0,88	0,22
CaO	2,60	3,37	1,10	3,15	4,30	4,47	7,84
MgO	0,83	0,40	0,16	0,70	0,35	0,14	0,86
Total	10,08	45,45	9,86	26,86	35,41	14,90	8,92
Prépondérance acide	40,09	1,30	38,47	34,48	18,23	50,48	16,13

Fig. 150. Acides et bases dans les scories, en %.

Cheigneu-La Balme (Ain, transmis par M. Jean-Paul Maret, La Bertrandière, 42 L'Etrat), de Courcelles-Trémoy dans l'Yonne,(transmis par M. Arthur Brocard, Le Larderet près Champagnole) et d'anciennes exploitations de chalcopyrites de la vallée d'Aoste: Tour-d'Héréraz (val d'Aya) et Extrapierraz (val Gressonney recueillies grâce à l'obligeance de M^{le} Rosanna Mollo, superintendante de la circonscription archéologique de la vallée d'Aoste).

La composition moyenne des scories, même broyées et mélangées est plus variable encore que celle des échantillons de minerai. Il faut éviter d'en inférer plus qu'elles ne peuvent apporter.

Les analyses spectrographiques confirment cependant l'absence, la présence ou l'abondance du fer. Elles signalent aussi quelques éléments secondaires significatifs.

Toutes les scorifications présentent de grandes similitudes. Cependant, 4 des 5 échantillons étrangers se distinguent par une particularité frappante:

- présence de cuivre (Extrapierre, Tour d'Héréraz, vallée d'Aoste),

- de plomb (Creux de Mâchefer, Cheigneu-la-Balme, Ain),

- de baryum (Courcelles-Trémoy).

Seules les scories de la Burbanche (Ain), ne se distinguent pas de celle pied du Jura vaudois. Des analyses quantitatives décèleraient probablement de minimes différences.

Pour des raisons diverses, 6 échantillons ne contiennent presque pas de fer:

- 2 fragments de laitier du haut fourneau du Brassus, (vallée de Joux); le fer a passé presque entièrement dans la fonte,

- les scories de la charbonnière brûlée de Châtel II, (haut Jura); il ne s'agit pas d'industrie du fer,

- les scories ramassées aux Trois-Noyers (Eclépens), site suspect, hors de la zone sidérurgique,

- les scories de Saint-Prex, (artisanat du bronze)

- les scories de Vidy b, (artisanat du bronze?).

Quatre échantillons contiennent nettement du cuivre: Orny/Sur-le-Mont,

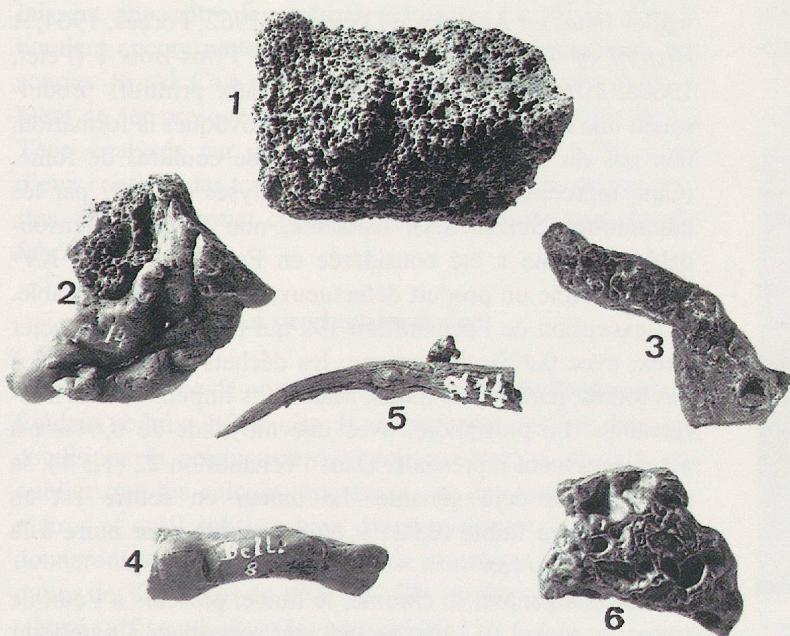


Fig. 151. Bellaires I. Petites scories: 1, spongieuse; 2, en grappe; 3, 4, en gouttes; 5, en épine; 6, soufflée.

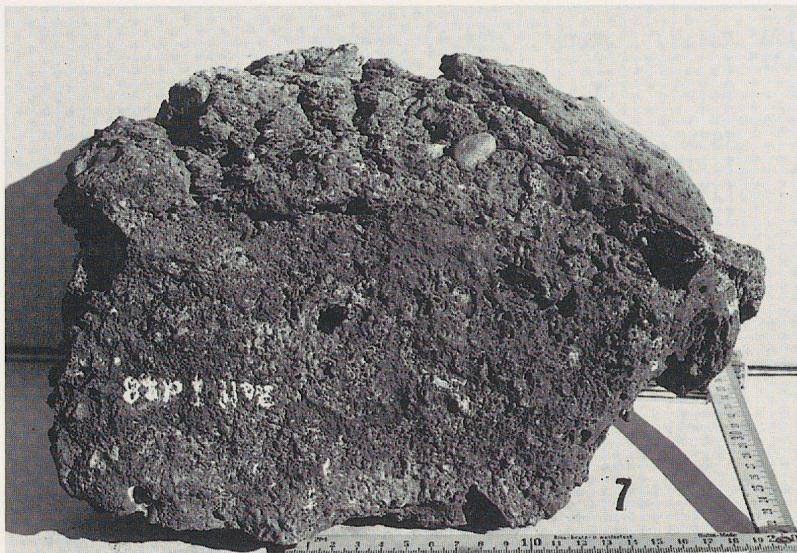


Fig. 152. Bellaires I. Scories massives: 7, fond du four V; 8, paroi du four XI.

Saint-Prix,
Extrapierre, val Gressoney
Hérerez, val d'Ayaz.

Les deux premiers, prélevés hors du bassin sidérurgique proviennent d'un artisanat du bronze, les deux autres, pris dans la vallée d'Aoste correspondent à une industrie du cuivre.

Cinq échantillons relèvent une teneur importante en calcium:

Châtel B.
Orny ch.
Vidy
Cuarnens/Pré-Penard,
Buron.

Châtel B, dérive d'un minerai plus riche en calcium que le sidérolithique du pied du Jura. Les quatre autres, ont été prélevés en dehors de la zone sidérurgique (ateliers de forge).

L'absence totale des raies du manganèse paraît elle aussi significative. L'échantillon N° 43, Châtel I, semble provenir d'un atelier de verrier (fer très secondaire). Dans le N° 45, laitier du haut fourneau du Brassus, le manganèse a entière-

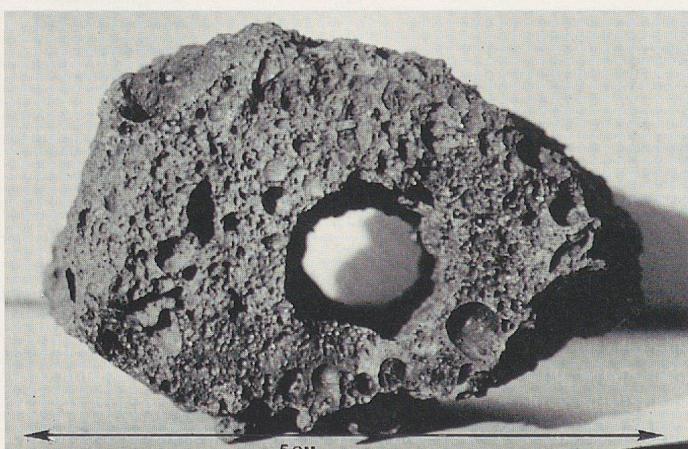
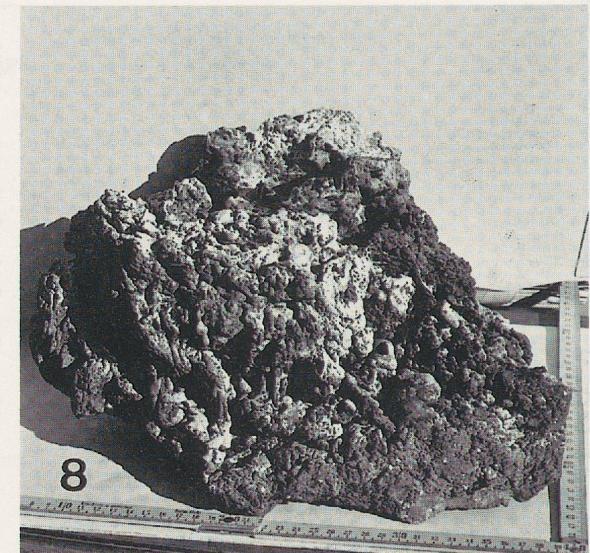


Fig. 153. Scorie percée d'un coup de ringard.



ment passé dans la fonte. Le N°49 (Châtel II) est tiré d'une meule de charbonnier incendiée.

Ainsi, les analyses qualitatives des scories :

- éliminent quelques sites suspects,
- reconnaissent les scories qui proviennent du sidérolithique, mais elles ne permettent pas de différencier d'une manière significative le minerai de chaque ferrière.

3. Fonte et fer

En l'absence de saumons trouvés sur leur lieu de fabrication, seule l'analyse de déchets métalliques abandonnés parmi les scories peut nous apporter quelques indices sur la réduction du métal et sur ses qualités éventuelles.

A part quelques éclats de fer perdus par inadvertance, rares, les morceaux négligés n'ont pas les qualités que recherchaient les sidérurgistes.

En effet, comme les travaux de Joseph-Wilhelm Gilles en Allemagne, de K. Bielenin en Pologne, comme les trouvailles faites en Angleterre (Tylecote, 1962; Forbes, 1964; *A History of Technology*, I, 1954) et à Prins-Bois I (Pelet, 1960a, 103) l'ont prouvé, les fourneaux primitifs produisaient une chaleur assez élevée pour provoquer la formation, non pas du fer doux souhaité, mais de coulures de fonte. (Cinq morceaux de fonte ont été analysés en 1967 par les laboratoires Sulzer SA). Cassante, non forgeable, insoudable, la fonte a été considérée en Europe jusqu'au XV^e siècle comme un produit défectueux, un déchet inutilisable. A l'exception de l'échantillon 19a qui ressemble à un acier doux, avec 0,42% de carbone, les déchets correspondent à des fontes, parfois très dures. Mais leurs impuretés sont intéressantes. Le phosphore, avec une moyenne de 0,64% est assez fortement représenté. Dans l'échantillon 22 (1,3%), sa présence est déjà gênante. La teneur en soufre est au contraire trop faible (0,031% en moyenne) pour nuire à la forgeabilité du fer.

Le manganèse, le chrome, le titane, présents à l'état de traces, le nickel (0,14%) ne peuvent contribuer à améliorer

Métal	<i>Bellaires I</i> acier doux	coulure	fente très dure	fragments métalliques	<i>Bellaires II</i> fragments métalliques	Moyenne
N° déchets éléments	19a %	19b %	20 %	21a %	22 %	%
P	0,290	0,470	0,610	0,520	1,300	0,640
C	0,420	2,260	2,980	1,710	3,420	2,160
S	0,012	0,008	0,048	0,056	0,032	0,031
Si	0,150	0,110	0,460	0,160	0,150	0,200
Mn	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Cr	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Ni	0,140	0,110	0,110	0,200	0,140	0,140
Ti	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	1,040	2,980	4,240	2,670	5,080	3,200

Fig. 154. Analyses des déchets métalliques

les qualités du métal. La teneur en carbone trop élevée est la cause du rejet de ces déchets.

Autant qu'on en puisse juger, le fer des Bellaires ne contenait guère d'impuretés nuisibles; il profitait peu des éléments susceptibles de le durcir.

Les rognons du sidérolithique riches en manganèse n'influencent pas la teneur en Mn des scories que nous avons analysées. Leur réduction n'apparaît que si l'on multiplie les analyses, comme le fait Vincent Serneels dans ses Recherches archéométriques sur la sidérurgie ancienne en Suisse romande. Apparemment, les saumons n'étaient que rarement acierés.

L'examen métallographique des deux échantillons 19b et 19a (fig. 155-156) fait ressortir dans le premier cas le rôle eutectique des phosphite second échantillon chauffé à haute température jusqu'au point de liquéfaction s'est ensuite refroidi rapidement en ne formant que des aiguilles de ferrite.

Les analyses spectrographiques d'un déchet de loupe provenant de Croset sur Ferreyres et des quatre saumons que possède le Musée cantonal d'archéologie à Lausanne, saumons recueillis à Chabrey et à Niédens sur Yvonand (Vaud), laissent apparaître les mêmes éléments. Le fer de Croset contient encore nettement les éléments caractéristiques des scories: Si, Al, Ca à côté du Mn et du Ni. Les saumons semblent en fer presque pur, comme les saumons de fer de La Tène analysés par A. France-Lanord, (1963, 175). L'un d'eux contient des traces d'As, comme certaines de nos scories. Rien ne permet cependant de déterminer leur lieu de fabrication.

La production de fer

Un seul type de mineraï a été fondu aux Bellaires; aucun fondant ne lui a été adjoint. Il est tentant d'évaluer dans ces conditions la production des ateliers. Mais il ne faut pas oublier que les calculs reposent sur des moyennes sommaires et qu'il subsiste bien des incertitudes. Les résultats donneront tout au plus un ordre de grandeur: moins de 10t, moins de 30t, moins de 100t, etc. Ces chiffres dans leur grossièreté suffisent à situer les entreprises.

Nous l'avons constaté plus haut, les forgerons du pied du Jura sont parvenus à extraire entre un quart et un tiers du métal contenu dans le mineraï (soit entre 10 et 13,3% du poids du mineraï). En cubant le volume des terrasses de déchets et en déterminant la proportion des scories qui entrent dans leur composition, on peut établir combien de fer est resté dans chaque halde. Le calcul est évidemment très approximatif.

D'après les relevés faits à Bellaires III, la couche supérieure «humus et scories» des figures, comprend dans son volume environ 52% de scories; la «terre de forge», 54%; les couches de «glaise cuite» qui s'accumulent devant les portes des fours, 24%. Beaucoup moins abondantes, les poches de «glaise cuite» ne forment pas 5% des haldes. Dans l'ensemble, les scories font au minimum 50% du volume des déchets. Ainsi, les 600 m³ de Bellaires I feraient 300 m³ de scories pures, proprement dites, les 500 de Bellaires III, 250 m³.

Quelle que soit la densité réelle des matériaux fondus, les scories, lorsqu'elles sont simplement triées et lavées, pèsent du fait de leur forme déchiquetée et des bulles qu'elles contiennent, environ 980 kg au mètre cube. Avec en moyenne 28% de Fe, chaque mètre cube a retenu 274 kg de fer, soit moins de 300 kg.

Dans les 300m³ de scories pures de Bellaires I, on peut admettre qu'il est resté près de 90t de fer inutilisé, inutilisable. Comme les trois quarts du métal passent dans les scories, à chacun de leurs mètres cubes correspond une production de fer inférieure à 100 kg (91,3 kg).

L'extraction de mineraï a donc été d'environ 1t (913 kg) pour 1 m³ de scories, soit 0,25m³ de mineraï réductible (densité du sidérolithique: 4).

Les fourneaux de Bellaires I auraient produit un peu moins de 30 t de fer et exigé 300 t de mineraï, soit environ 75 m³. La figure 157 estime la production des haldes fouillées. Dans la mesure où nous pouvons nous fonder sur un site non entièrement dégagé, les 24 fourneaux de Prins-Bois I, d'une construction beaucoup plus fragile ont eu une production moyenne nettement inférieure pour l'ensemble de leur chauffe. Les valeurs minimales que nous retenons pour nos calculs, aboutissent à une évaluation de la production



I. Fer

← lamelles de graphite

← texture intermédiaire

← aiguilles de nitrides

← eutectique des phosphides

*grossi 50 fois.
Photo Laboratoires Sulzer SA
22104/6*

II Fonte

← texture de Wittmanstätt
consistant en:
aiguilles de ferrite

← texture intermédiaire.
Cet échantillon, qui avait atteint
de hautes températures, a été refroidi rapidement.

*grossi 50 fois.
Photo Laboratoires Sulzer SA
22103/6*



Fig. 155-156. Bellaires I. L'examen métallographique de déchets métalliques non travaillés.

Site		Scories pures m³	Fer perdu t	Fer produit t	Minerai utilisé t	m³
Bellaires I		300	90	30	300	75
Bellaires I	four I-IV, VI	150	45	15	150	37,5
Bellaires II		20	6	2	20	5
Bellaires III	four XVIII/XXI	50	15	5	50	12,5
Bellaires III	four XIX/XX	200	60	20	200	50
Bossena I		20	6	2	20	5
Prin-Bois II		25	7,5	2,5	25	6,25
Production moyenne d'un four		26,7	8	2,7	26,7	6,7
Prins-Bois I		125	37,5	12,5	125	31,25
Production moyenne d'un four		5,2	1,6	0,5	5	1,25

Fig.157. Production des haldes fouillées.

environ 6 fois plus faible que celle que proposait Auguste Quiquerez (1866b, 60 et suiv.), dont nous nous étions inspiré en 1960 pour estimer la production de Prins-Bois I. Nous n'avions pas déduit non plus la part des déchets terreux, glaïseux et pierreux mêlés aux scories.

Grosso modo, on peut évaluer la production des fourneaux. Les chiffres que nous proposons restent approximatifs, pour ne pas dire incertains. Les variations de la production d'un atelier à l'autre ne sont qu'exceptionnellement repérables; elles se superposent incomplètement sur les observations faites à propos des progrès techniques et sur les données chronologiques. Malgré ces handicaps, l'esquisse grossière que nous proposons met en évidence une transformation de la production très nette à l'aube des temps barbares: les deux dernières entreprises ont une allure déjà «industrielle». Les fourneaux plus résistants des niveaux supérieurs de Bellaires I et surtout de Bellaires III produisent davantage de fer, sans que l'puisse relever toutefois une réduction nettement plus efficace du minerai. Malgré l'essor de leur production – peut-être de guerre – les fours XIX-XX n'ont consommé que 50 m³ de minerai.

Les 13 ou 14 ateliers de Bellaires I, II et III pris ensemble ont extrait moins de 150 m³ (600 t) de sidérolithique utilisable. Il est aisément de comprendre dans ces conditions, que les besoins d'un atelier soient loin d'épuiser les ressources même modestes d'un gisement; leur exploitation reprend quand la forêt a repoussé.

Il n'est pas impossible que certains filons aient été exploités sans interruption pour des entreprises forcées de se placer dans un secteur forestier plus éloigné.

4. Le charbon et la forêt

Si limitée soit-elle, la production de fer a exigé la fabrication d'un volume considérable de charbon de bois. Des estimations prudentes (Pelet, 1960a, 93, n.2 et 3), inclinent à admettre qu'un fourneau à soufflerie manuelle brûlait **en poids** quatre fois plus de charbon que de minerai.

Les fourneaux les plus anciens en auraient consommé chacun de 20 à 100 t, ceux des entreprises «industrielles» du niveau supérieur, de 120 à 400 t par fourneau. Les cinq de Bellaires I auraient brûlé 600 t, ceux de Bellaires III 800 t. Quelle surface de forêt était-il nécessaire d'abattre pour fournir le combustible? La densité de peuplement des forêts subjurassiennes au sol pauvre ne peut être que supputée; elle rendait vraisemblablement quelque 150 stères à l'ha, soit environ 30 t de charbon de bois dur.

Chaque atelier aurait exigé le déboisement suivant:

Bellaires I, niv. infér. et intermédiaire	1,5 - 2 ha
Bellaires II, Bossena I	2 - 3 ha
Prins-Bois II	3 - 4 ha
Bellaires III, niv. infér. 1 ou 2 atel.	3 - 8 ha
Bellaires I, fours I-IV, VI	15 - 20 ha
Bellaires III, niv. sup. fours XIX-XX	25 - 30 ha

Les plus anciens ateliers créaient donc une clairière de 140 à 200 m de côté, les plus récents ont défriché des surfaces douze à vingt fois plus importantes.

Les charbonniers qui, dès le XV^e siècle exploitent les forêts du haut Jura creusent dans les talus des terrasses circulaires de 6 à 10 m de diamètre avant d'y dresser leurs meules (Pelet, 1983, 257-278). Ces places se repèrent aisément au mouvement du terrain et à l'épaisse couche de poussier noir qui les recouvre. Tandis que les recherches entreprises sous la direction de Claude Domergue dans les Pyrénées constatent la présence de terrasses de charbonnage liées à des sites

Site	Four	Fer produit par fourneau t	Minerai utilisé par fourneau t	m³
Pr.-B.I		0,5	5	1,25
Bell.I	des niv. infér. & intermédiaires	1,5	15	3,75
Bell.II	XVII	2	20	5
*Boss.I	XXII	2	20	5
Bell.III	XVIII/XXI	2,5	25	6,25
Pr.-B.II	XXIII	2,5	25	6,25
Bell.I	I-IV, VI	3	30	7,25
Bell.III	XIX/XX	10	100	25

N.B. *Bossena I= production interrompue

Fig. 158. Fer produit par fourneau.

métallurgiques antiques ou antérieurs à l'an mil (Cl. Dubois, 1990, à paraître), aucune de ces terrasses n'a été relevée dans les forêts qui entourent les sites fouillés au pied du Jura. Les forgerons antiques et médiévaux ont pratiqué une carbonisation en fosses. Vite comblées, ces fosses disparaissent avec la repousse de la forêt. Seul le sondage effectué en novembre 1978 par Roland Jeanneret (1979) sur le tracé de la future autoroute N° 9 a dégagé sur le flanc du site sidérurgique de Montcherand une fosse de ce type. Creusée dans le sable, cette fosse, profonde d'environ 120 cm, large d'autant, n'avait pas été utilisée. Elle était remplie de déchets typiques d'une industrie sidérurgique: fragments de glaisages, scories, pierres rubéfiées, cendres. Mais les sidérurgistes ne creusent pas des dépotoirs: les scories dévalent le talus en aval des fourneaux. Restée apparemment inutilisée, la fosse ne pouvait servir qu'à la carbonisation. – Le processus est encore décrit par Biringuccio en 1540 (éd. 1678, 232).

Les essences charbonnées

C'est par centaines que des morceaux de charbon ont été perdus autour des fourneaux, ou ont été rejettés non consumés avec les scories. 1207 échantillons provenant de 344 prélèvements distincts ont été déterminés par le Dr Fritz Schweingruber de l'Institut fédéral de recherche forestière à Birmensdorf (Zurich). Sa collaboration amicale et efficace a permis de tirer un parti exceptionnel d'un tel matériau archéologique. Pour l'apport de ces analyses à l'histoire de la forêt, voir Fritz Schweingruber (1976); (1978); P. Schläpfer et R. Brown, (1948).

Dans nos fouilles, les prélèvements ne se répartissent pas uniformément. A Bellaires I, ceux qui s'inscrivent dans un niveau stratigraphique indiscutable se distribuent de la façon suivante:

Niveau 9	
(supérieur) fours I-IV, VI:	64
Niveau 8	
(intermédiaire) four XIV:	22
Niveau 7	
(intermédiaire) four XII:	50
Niveau 6	
(intermédiaire) four XI:	16
Niveau 5	
(intermédiaire) four VII:	29
Niveau 3	

Essences	Morceaux N	Morceaux %	Plantes N	Plantes %
Hêtre/fagus	529	44	135	39,25
Chêne/quercus	407	34	111	32,25
Erable/acer	128	10,5	46	13,5
Frêne/fraxinus	94	8	36	10,5
Peuplier/populus	39	3	8	2,25
Orme/ulmus	8	0,5	6	1,75
Pommier ou poirier	2	(0,1)	2	0,5
Total	1207	100	344	100

Fig. 159. Les essences charbonnées. Nombre et %.

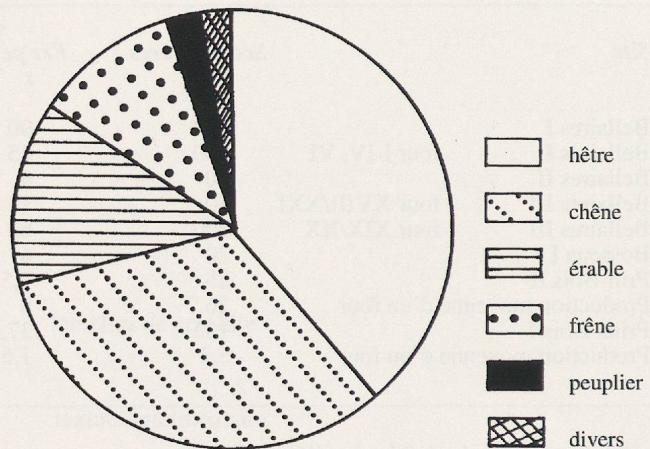


Fig. 160. Les essences charbonnées.

(intermédiaire) four V:	14
Niveau 2	
(intermédiaire) four IX:	1
Niveau 1	
(inférieur) four X:	1
Total	197

Du fait de la pauvreté des couches inférieures, l'échantillonnage ne peut renseigner que sur l'exploitation forestière de l'Empire romain finissant.

Certains morceaux sont parfaitement conservés, d'autres – provenant des mêmes essences – ont été brisés ou réduits en poussière par les travaux sidérurgiques successifs, par les labours ou les déboisements et par deux mille ans d'intempéries. De plus, le nombre des fragments peut dépendre d'accidents: le charbon humide est souvent fragile: il s'effrite. Quelle foi accorder alors à des comptages? Nous avons comparé le nombre des morceaux recueillis et la fréquence des espèces, pondérée par le nombre de fragments clairement différenciés par leur âge, à l'intérieur de chaque prélèvement («Plantes / N») de la figure 159).

La hiérarchie est la même. Notre échantillonnage n'est sans doute pas très éloigné de la réalité.

Les forgerons de tous les ateliers ont préféré le hêtre et le chêne (plus de 70%), au meilleur pouvoir calorifique¹. Ils ont utilisé fréquemment l'érable et le frêne (15-25%) et occasionnellement d'autres bois de valeur approchante, l'orme, le pommier ou le poirier.

Un décapage du terrain tout entier aurait probablement mis au jour quelques autres cas exceptionnels, mais sans changer les prépondérances caractéristiques de cette sélection. Une analyse du charbon de bois recueilli sur le site de la maison Favre (Affolter) à Ferreyres (voir p. 117) en 1989 relève la même prédominance du hêtre et du chêne accompagnés du noisetier, du saule, de l'orme et du buis (Weidmann, 1990, 113).

1. L'analyse d'un lot de charbon «de charme» pour les feux de pique-niques, en provenance de l'Allemagne de l'Est a révélé qu'il comprenait 43% de hêtre, 30% de chêne, 26% de charme et 1% d'autres essences. Pour les deux dominantes, ce sont les proportions que nous trouvons aux Bellaires!

Site Ø en cm	Bellaires I N	Bellaires I %	Bellaires II N	Bellaires II %	Bellaires III N	Bellaires III %	Bossena I N	Bossena I %	Totaux N	Totaux %
<= 1,9	5	2,5	2	5,5	4	10			11	4
2 - 3,9	84	39	9	25	9	22,5			102	34
4 - 5,9	59	27,5	11	30,5	10	25			80	27
6 - 7,9	29	13,5	9	25	9	22,5	2	49	16,5	
8 - 9,9	21	10	2	5,5	4	10	2	29	9,5	
10 - 11,9	11	5			2	5	3	16	5,5	
=> 12	5	2,5	3	8,5	2	5			10	3,5
Totaux	214	100	36	100	40	100	7		297	100

Fig. 161. Diamètre des bûches.

Le seul combustible de qualité inférieure, le peuplier ne représente que 2 à 3% de l'ensemble; il peut avoir servi de complément, si ce n'est de menu bois d'allumage. Aucun conifère n'est utilisé, soit parce que le charbon de sapin qui donne une flamme pure, recherchée pour les foyers de forge, n'est pas assez riche en calories pour la réduction du minerai, soit parce que les résineux, rares dans la forêt actuelle sont absents de la sylve antique. Le buis qui, avec le chêne pubescent, fait aujourd'hui l'originalité du peuplement forestier n'apparaît qu'une fois, à Ferreyres. Pline (LXVI, ch. 71) estime inutilisable ce bois très dur et difficilement inflammable. Au XVI^e siècle, Nicolas Bourbon le rejette expressément². Le charme enfin, accompagnant classique du chêne, présent sur les champs de fouilles et qui donne un excellent charbon fait aussi défaut. E. Straker (1969, 110), ne le relève dans la forêt de Weald en Angleterre qu'à partir des Tudor et non à l'époque romaine. Les forgerons le réservent-ils à d'autres usages: coins de bois, maillets, manches d'outils, pièces de chars, etc., ou le charme ne peuple-t-il pas la forêt romaine? Au Bois-de-Forel sur Romainmôtier, de type analogue, la population des arbres d'un diamètre de 16 cm au maximum est la suivante:

<i>Feuillus</i>	
Hêtre	30,2%
Chêne	19,2%
Erable et frêne	9,6%
Autres feuillus	8,7%
Total	67,7%
<i>Conifères</i>	
Sapin	26,7%
Mélèze	2,9%
Epicéa	1,7%
Autres résineux	0,9%
Total	32,2%

Si l'on exclut les résineux, qu'ils aient été absents autrefois ou simplement méprisés par les charbonniers, on constate que de nos jours encore la hiérarchie des feuillus est la même:

Hêtre	44,5%
Chêne	28,3%
Erable et frêne	14,2%
Divers	13,0%

Les quatre essences dominantes représentent au Bois-de-Forel 87% des arbres à feuilles caduques.

L'orme, le pommier, le poirier, le cerisier, le prunier sauvages, le peuplier, le noisetier, l'aubépine, l'alisier, etc., – et le charme ne font ensemble que 13%.

Aux Bellaires et à la Bossena, 84% des échantillons proviennent de troncs; 300 morceaux permettent la reconstitution de leurs diamètres. L'épaisseur moyenne des bûches carbonisées est de 5,5 cm, l'épaisseur moyenne présumée des troncs à leur base, 11 cm (voir fig. 161).

Pour Henri Duhamel du Monceau (1761, 9), la carbonisation entraîne une réduction du diamètre de l'ordre du tiers. Les forestiers actuels l'estiment d'un cinquième seulement, tandis que le volume diminue de 40%. Même si l'on admet la plus forte réduction, le diamètre moyen des bois choisis atteint 6 à 8 cm, celui d'aucune bûche ne dépasse 25 cm. En fait, plus de 80% d'entre elles restent en dessous de 6-8 cm lors de la coupe. La prépondérance des fragments de troncs et leur étroitesse prouvent que les maîtres de forges ne charbonnaient pas les arbres de haute futaie. Les cernes annuels de 270 échantillons confirment-ils cette déduction?

Ce qui frappe dans la figure 162, c'est l'écrasante proportion des bois apparemment jeunes ou très jeunes (75%) opposée au large éventail des âges (4 à 150 ans). Mais les prélèvements ne donnent pas l'âge des arbres eux-mêmes, soit parce qu'ils sont pris à une certaine hauteur du tronc, soit parce qu'ils sont brisés. Trente-quatre échantillons seulement sont conservés de la moelle à l'écorce; ils ont en moyenne 54 ans, et non 32.

Si l'on imagine un tronc modèle de 150 ans, de croissance régulière et divisé en tranches égales conservées intégralement, l'âge moyen des tranches serait de 75 ans. Si on admet au contraire une division en morceaux de volume égal mais s'étirant toujours de la moelle à l'aubier, la proportion du bois le plus ancien augmente énormément et l'âge moyen obtenu approche de 120 ans. Ces deux modèles théoriques ne sont pas sans intérêt. Ils montrent que, malgré la présence d'un chêne de 150 ans au moins, les 34 troncs d'âge connu (nous n'avons pas retenu les branches) ne suggèrent pas une forêt aussi vieille, exploitée en coupe rase (la moyenne des échantillons serait à coup sûr beaucoup plus élevée). Il s'agit,

2. Nicolai Borbonii Vandoperani Ferraria, (1533). Dans la région de Bar-sur-Aube, les charbonniers choisissent le chêne, le frêne, le hêtre, le pin et l'yeuse. Ils rejettent le houx, le mélèze et le buis.

Site	Bellaires I		Bellaires II		Bellaires III		Bossena I		Totaux	
Age (ans)	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
2 - 20	79	41	19	56	14	37	1	113	42	
21 - 40	64	34	11	32	15	39,5		90	33	
41 - 60	29	15	3	9	7	18,5	3	42	16	
61 - 80	13	7	1	3	2	5	3	19	7	
81 - 100	4	2						4	1,5	
> 100	2	1						2	0,5	
Totaux	191	100	34	100	38	100	7	270	100	
Age moyen (ans)	33		22		32		56		32	

Fig. 162. Age des échantillons.

plutôt de l'abattage de plantes d'âges divers: taillis «furetés» ou taillis sous futaie (Badoux, 1906; Hess, 1927, 158-164; Cointat, 1956, 658-675). Parallèlement, les troncs les plus vieux (60 ans et plus) ne se distinguent guère par leurs dimensions. Le diamètre de 25 d'entre eux n'atteint pas 7 cm de moyenne (9-10 cm pour le bois frais). Le vétérant, avec ses 150 ans (niveau supérieur de Bellaires I) avait lors de la coupe un diamètre de 20 à 24 cm. Ces vieux arbres sont malingres. De plus, à Bellaires I, les chênes carbonisés (âge moyen des échantillons 43 ans) ont un diamètre de 45 mm, les bûches de hêtre (âge moyen 28 ans), 48 mm. La similitude des diamètres l'emporte sur la différence des croissances. Ces constatations font penser que les bûcherons ont sélectionné les plantes en fonction de leurs faibles dimensions, qui conviennent au charbonnage, et non en raison de leur plus grande maturité.

La répartition des échantillons selon leur âge et leur niveau est anormale. Du fait de la subdivision des morceaux

de charbon et du volume des troncs, ce sont les morceaux les plus âgés qui devraient dominer et non les plus jeunes. Cette anomalie prouve l'intervention d'autres facteurs: bois découpés et délités à l'excès par les hommes ou par le temps. Mais ce phénomène se reproduit à tous les niveaux. Les séries restent parallèles.

En l'absence de coupes rases, ni l'âge moyen de troncs intégralement conservés ni les morceaux les plus âgés ne révèlent l'intervalle entre les coupes. En cas d'abattages sélectifs, un âge moyen moins élevé indiquerait tout au plus une accélération de l'exploitation. Du fait des interventions humaines ou climatiques, il n'est pas certain que la multiplication des morceaux jeunes dans les niveaux supérieurs de Bellaires I et la diminution relative des morceaux âgés (malgré le chêne de 150 ans) indiquent un moindre intervalle entre les ateliers à la fin de l'Empire romain.

Même relevée d'un cinquième pour compenser la contraction due à la carbonisation, la croissance annuelle de

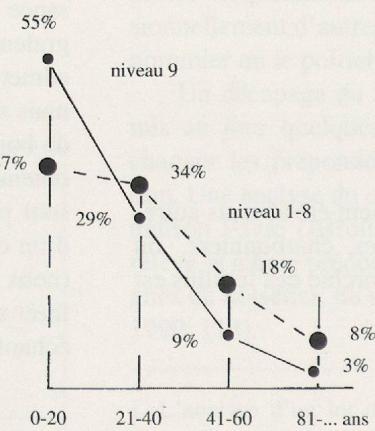
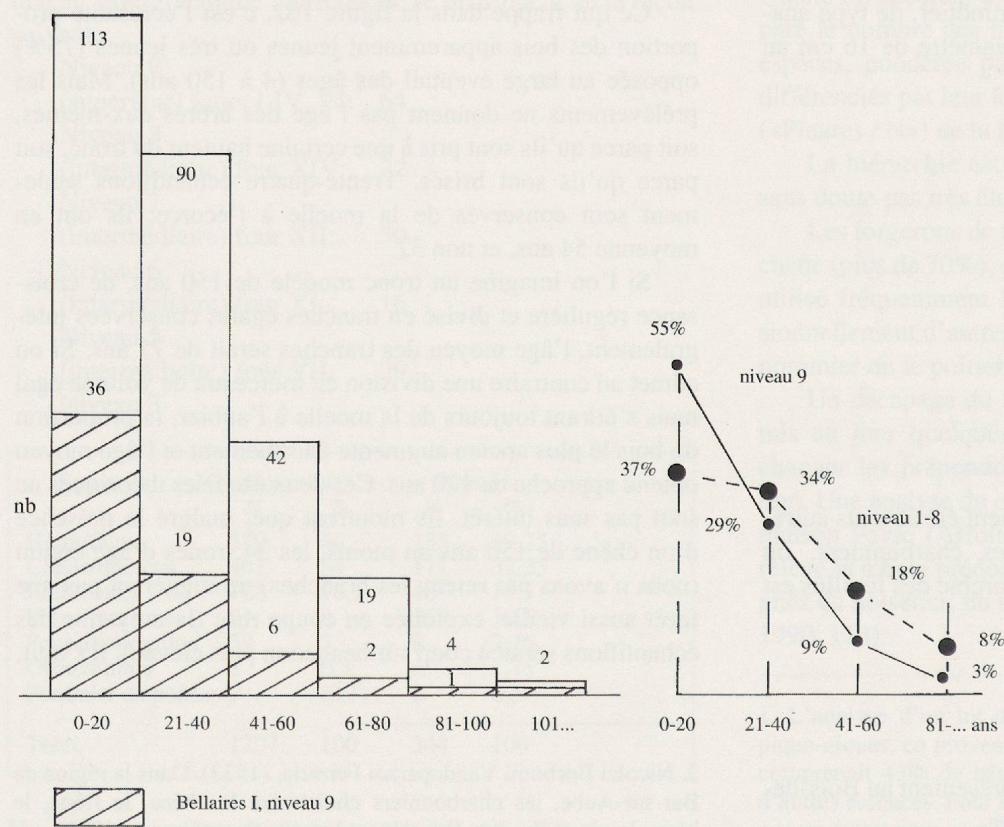


Fig. 163. Age des charbons. Bellaires I, II, III, Bossena: âge des échantillons de charbon.

la forêt est très inférieure à la moyenne. De nos jours, les arbres poussent mieux dans les combes relativement riches en humus des Bellaires. Le charbon provient probablement de zones où le rocher affleure (Gannevat, 1950, 223-226). Forêt pauvre, mais saine malgré tout: le charbon ne porte aucune trace de mycélium. Les forgerons n'y ont pas récolté du bois mort. Quelque 25 échantillons portent encore la trace de leurs outils. Six morceaux ont conservé leur écorce,

ce qui permet de déterminer la période de la coupe: cinq ont été abattus en hiver, un au début de la période de végétation. Les fentes repérables dans les tissus ligneux suggèrent un séchage à l'air libre. Les feuillus à la croissance trop lente, aux tissus trop légers sont sans valeur en menuiserie; ils semblent convenir particulièrement à une carbonisation régulière. Sur 1207 morceaux, deux seulement sont mal cuits.

9

LES OBJETS

LES tranchées faites dans un site de forges ne livrent qu'un nombre exceptionnellement restreint d'objets. Ce n'est pas parmi les déchets industriels qu'on récoltera de la céramique de luxe, des parures ou de nombreux ustensiles ménagers. Les exploitations sidérurgiques forestières fouillées ne voisinent pas avec un habitat durable. Aussi, à l'exception du site des Alleveys (voir page 119 et figures 173-176), n'avons-nous retrouvé qu'un nombre très faible de témoins de la vie journalière des forgerons, qu'il s'agisse de déchets de nourriture, de tesson, de fragments d'outils ou de monnaies.

Os et cornes

Autour des fours et dans les scories, nous avons relevé en tout 74 os et cornes, déterminés par M. Daniel Charpié (Musée zoologique cantonal, Lausanne). Ils se répartissent de la façon suivante:

Bossena I, 41

Bellaires I, 29, dont trois cornes

Bellaires III, 3, Bellaires II, 1

A *Bossena I*, les os étaient mêlés au charbon et aux scories qui ont remblayé la mine. Protégés par un banc de 150 cm d'épaisseur, ils sont dans un excellent état de conservation. A part un os de petit carnassier (mustélidé?), tous les autres appartenaient à deux lièvres. Les forgerons les ont-ils piégés ou s'agit-il d'animaux qui, longtemps après l'abandon du fourneau, ont trouvé un gîte dans les interstices laissés par un remplissage sommaire de la mine? C'est ce que ferait penser leur état de conservation, et les vestiges de carnassier.

Aux *Bellaires*, les fragments de côtes, de bassins, de cubitus et d'humérus, de mandibules, d'arcades zygomatiques ou de vertèbres sont au contraire en très mauvais état, brisés, broyés si ce n'est calcinés. Souvent il n'est plus possible de préciser de quel animal ils proviennent. Quelques-uns semblent rongés – peut-être par l'acidité du sol (b681, niveau du four XIII par exemple).

Les deux fragments de côte et le cubitus (probablement de petit bétail) de Bellaires III se rattachent à la couche la plus profonde, celle des fours XVIII et XXI.

A Bellaires I, les ossements, à deux exceptions près, se répartissent au milieu des scories, dans des couches reconnaissables:

– une corne de bœuf, très délitée, gisait dans les démolitions du four X (environ 350 av. J.-C.);

– un fragment de bassin, apparemment rongé, est contemporain de XIII (environ 30 ap. J.-C.);

– un humérus (a10) se rattache au four VII (environ 330 ap. J.-C.), une branche de mandibule et un second os indéterminable, à la place de feu dégagée à l'ouest de ce four (voir fig. 142).

Quatre os broyés, dont une extrémité de tibia, sont mêlés aux démolitions de XI, dans la couche sur laquelle s'appuie le four XII.

Quatre os, dont une vertèbre, l'extrémité d'une côte, et deux cornes entourent le four XIV. Si deux des ossements peuvent se rattacher à l'atelier suivant, les deux cornes au contraire sont dans son contexte. L'une est encore accompagnée d'un fragment de boîte crânienne, tandis que l'autre a été sciée à la base.

Une douzaine d'ossements ont été relevés au niveau supérieur; parmi eux, une côte de porc ou de sanglier, un humérus de carnassier autre qu'un loup (de chien peut-être), un fémur de mouton, deux cubitus, un bout de tibia, une apophyse vertébrale. Quelques fragments qu'on ne peut déterminer en toute sécurité semblent appartenir au mouton ou au porc.

Avec 16 os et deux cornes, les vestiges des deux niveaux supérieurs sont deux fois plus abondants que ceux des niveaux intermédiaires et inférieurs (niveau intermédiaire: 7 os; niveau inférieur, fourneaux de type celtique: 1 os, 1 corne). Malgré tout, le nombre des vestiges animaux reste extrêmement faible. A Bellaires I, nous n'avons dégagé

- 1 tranchant de la pioche – son profil asymétrique et son épaisseur prouvent qu'il ne s'agit pas d'une hache
- 2 photographie au 1/40
- 3 photographie au 1/7
- 4 prélèvement pour analyses spectrographiques et chimiques

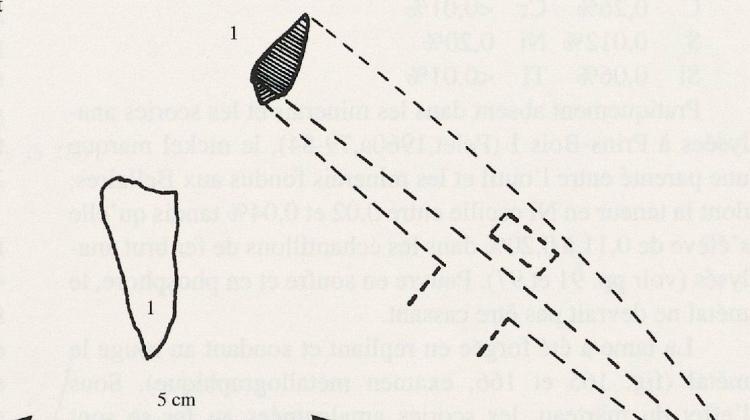
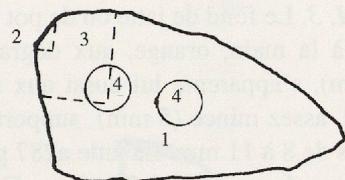


Fig. 164. Bellaires I.
Tranchant d'une pioche.

qu'un tiers des scories: il devait y avoir une centaine d'os dans l'ensemble du site. Si l'on pense aux milliers de journées de travail que représentent la construction et l'utilisation des fourneaux, on peut admettre que, même si les petits carnassiers de la forêt ont parfois nettoyé leurs déchets de cuisine, les forgerons ne mangeaient de la viande qu'à titre exceptionnel.

Serait-ce à l'occasion de sacrifices rituels? Un os (b1038) brisé et rongé (côte ou tibia) était placé sous la dalle de fondation de la paroi nord du four XII; il aurait suggéré un rite analogue à celui que l'on a observé chez certains forgerons du Tanganyika – qui enterrent deux têtes de poulets sacrifiés sous leur fourneau (Eliade, 1956,64) – s'il avait été plus complet, et si trois autres os aussi pitoyables ne s'étaient trouvés dans la même couche, mais en dehors des fondations. Comme tous les autres os étaient éparpillés dans les scories, nous ne retenons pas l'hypothèse de rites magiques ou religieux.

Alors que l'ethnographie retrace les cérémonies qui

accompagnent la réduction du minerai (entre autres Gardi, 1954), l'archéologie ne nous en fournit aucun indice aux Bellaires.

L'outillage

A part un clou extrêmement corrodé, le seul vestige de l'outillage des forgerons est un éclat de pioche, long de 50 mm, large de 28, épais de 12 au maximum (fig. 164). Il a été retrouvé sur le sol naturel, au plus profond du secteur B. Les forgerons l'ont brisé lors du déblaiement du four XIII. Il doit avoir appartenu aux constructeurs des fours XI et XV.

Une analyse spectrographique (Jarrell-Ash, Le Locle) révèle la présence dans le fer d'aluminium (Al), de magnésium (Mg), de carbone (C), et, fait plus étonnant, d'une quantité relativement abondante de nickel (Ni).

L'analyse chimique quantitative (Sulzer SA, Winterthour) relève:

P 0,17% Mn <0,01%

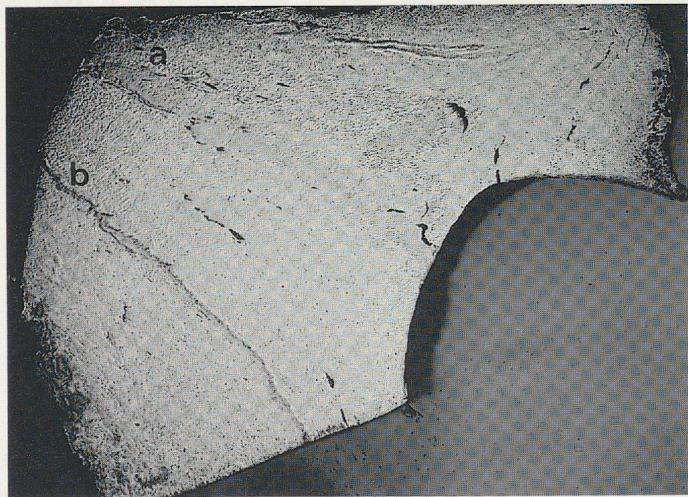


Fig. 165-166. Bellaires I. Examen métallographique d'un tranchant de pioche.

Fig. 165. Agrandissement 7:1 (Photo Gebrüder Sulzer AG, 22105 AG) a) voir agrandissement 50:1. b) marque de soudure au rouge. Le forgeron a fabriqué sa lame en repliant le métal.

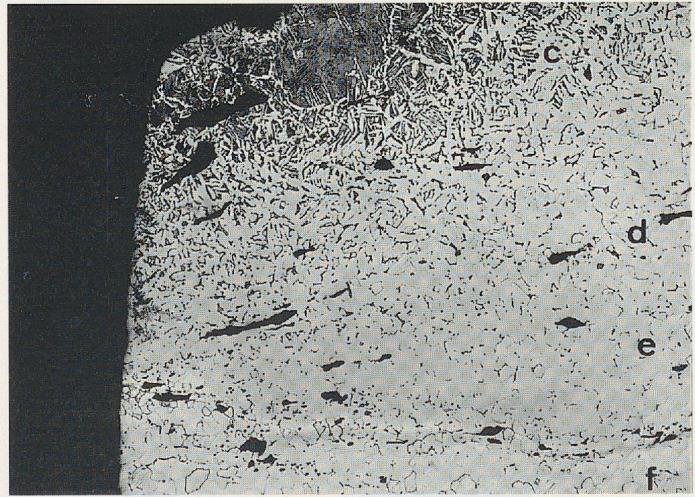


Fig. 166. Agrandissement 50:1 (Photo Gebrüder Sulzer AG, 22105 AG) c) Zone riche en carbone, texture ferritique et perlitique. d) Scorie. e) Zone entièrement décarburée. f) texture ferritique.

L'outil est fait d'un fer analogue au fer puddlé, très hétérogène et impur. C'est sous l'effet du martelage que les scories se sont orientées linéairement.

C	0,26%	Cr	<0,01%
S	0,012%	Ni	0,20%
Si	0,06%	Ti	<0,01%

Pratiquement absent dans les minerais et les scories analysées à Prins-Bois I (Pelet, 1960a, 79-84), le nickel marque une parenté entre l'outil et les minerais fondu aux Bellaires, dont la teneur en Ni oscille entre 0,02 et 0,04% tandis qu'elle s'élève de 0,11 à 0,20% dans les échantillons de fer brut analysés (voir pp. 91 et 97). Pauvre en soufre et en phosphore, le métal ne devrait pas être cassant.

La lame a été forgée en repliant et soudant au rouge le métal (fig. 165 et 166, examen métallographique). Sous l'effet du marteau, les scories amalgamées au fer se sont orientées linéairement. Le fer obtenu n'en est pas moins hétérogène et impur. Le carbone est réparti très irrégulièrement dans la masse. Des zones de texture ferritique et perlitique succèdent brusquement à des zones entièrement décarburées.

Les démolisseurs de XIII possédaient un outillage de qualité moyenne, tiré d'un minerai analogue à celui qu'ils allaient fondre. Il n'est pas sûr qu'il ait été forgé dans une des forges antérieures des Bellaires. D'autres ferrières ont exploité un minerai légèrement nickélfère, par exemple Combattions sur Ferreyres, comme le montrent les analyses spectrographiques faites par le professeur Georges Brunisholz (Faculté des Sciences, Lausanne).

La céramique

Comme dans la plupart des forges fouillées en Europe, nous n'avons exhumé que très peu de céramique: dix-huit tessons et deux fragments de vases de pierre à Bellaires I, six tessons à Bellaires III. Seul l'habitat du Trésis-des-Alleveys est plus riche en céramique (voir p. 119).

Bellaires I

Neuf des tessons de Bellaires I, soit la moitié d'entre eux, proviennent d'un seul récipient; les neuf autres (dont un fond et une encolure), de quatre ou cinq vases.

Groupe I, 1. Trois débris de panse (b239, 251, 252) dispersés sur 4 m² mais d'une texture analogue, viennent de pots modelés à la main (dimension des tessons: 4,5/5 cm, 7/5 cm, 3/4,5 cm, épaisseur 8-10 mm). Des grains abondants de sable siliceux blanc, de 1 à 4 mm, se détachent de la pâte rouge orange, entièrement oxydée, sans engobe, rugueuse et striée en tous sens sur sa face extérieure. Ces trois fragments, sans décor et sans forme caractéristique évoquent par leur matière la céramique de La Tène. Retrouvés dans la couche superficielle d'humus et de scories qui a recouvert le fourneau XII, ils ont été déversés avec les déblais rejetés du haut du terrain lors du nettoyage qui a précédé l'établissement des fourneaux ellipsoïdes I-IV et VI (voir p. 84).

I, 2. Modelé lui aussi à la main, b477 (7,5/5,5 cm) de 10 à 12 mm d'épaisseur n'est oxydé qu'à l'extérieur, sur une profondeur de 5 à 8 mm. La paroi intérieure, très charbonnée a été réduite. Des dégraissants (grains siliceux) abondants et

grossiers (1-3 mm) apparaissent dans toute l'épaisseur de la pâte qui rappelle celle des trois tessons précédents; b477 est mêlé aux déchets du four XIV que nous supposons burgonde; il se peut cependant qu'il ait été balayé lors du nettoyage du terrain et de la destruction des superstructures de XIV par les constructeurs des fours ellipsoïdes.

I, 3. Le fond de jatte ou de pot a287 (7/6 cm, fig. 167/3), fait à la main, orange, aux dégraissants très grossiers (1-4 mm), s'apparente lui aussi aux morceaux précédents. Le fond, assez mince (5 mm) supporte un flanc incliné à 45°, épais de 8 à 11 mm. La jatte a287 gisait au bas de la halde, à environ 6 m en aval des fours IX et X, dans une couche superficielle de déchets qui ne provient pas du haut du terrain, mais des remaniements du secteur inférieur ouest, où quatre fourneaux se sont succédé. Le plus ancien, le four X est daté de 350±80 av. J.-C. par le carbone 14.

Le four XIII, au début de l'occupation romaine, est encore de type celte. La présence de céramique de La Tène n'est pas invraisemblable, et l'hypothèse d'une fabrication domestique archaïsante n'est pas nécessaire, bien que Quiquerez ait mis au jour dans des haldes qu'il affirmait romaines ou médiévales (avait-il remarqué les superpositions d'ateliers?), des vases si grossiers qu'ils lui paraissaient fabriqués sur place par les forgerons, avec la glaise de leurs fourneaux (Quiquerez, 1855, 82).

Groupe II, 1. Le tesson tourné b273 (4,5/3 cm, fig. 167/1) a une surface extérieure régulière mais non lissée et sans engobe, ocre rose clair; sa pâte râche aux dégraissants fins (<1 mm) est épaisse de 8 à 12 mm. Diamètre externe: 20 cm. L'intérieur a ondulé sous la pression des doigts du potier. Le fragment est trop petit pour que l'on puisse préciser de quel type de vase il provient.

Découvert à 90 cm de profondeur dans une couche de scories et de charbon, sous le mur d'appui ouest des fours XI-XII, il est antérieur, peut-être de peu, à la construction de ces fours. Il remonte à l'époque romaine, sans qu'il soit possible d'en préciser la date.

II, 2. Plus orangé, le bas de panse z38 (4/6 cm, fig. 167/2) a été fait lui aussi au tour. Sa pâte moins homogène contient des dégraissants un peu plus gros (jusqu'à 1 mm), mais en très petite quantité. Son épaisseur varie de 8 à 11 mm. Sa face externe est assez lisse. Diamètre extérieur: 15 cm. Relevé dans la terre noire à l'ouest du champ de fouilles, il se rattache probablement au four VII romain; pas plus que le tesson précédent, il ne permet de préciser la chronologie.

Groupe III, 1. Les neuf tessons z1-8' permettent de reconstituer le profil d'un vase caréné sans engobe, d'un diamètre de 14 cm au niveau du bord, et d'une hauteur de 8 cm. Légèrement évasé, le bord supérieur est doté d'une rainure. Mais le couvercle que suggère cette rainure a disparu. Bien que le vase soit fait au tour, le fond est grossièrement soudé au flanc (fig. 168/1). La pâte, dure et râche, contient quelques rares dégraissants, assez gros (1-2 mm). La médiocrité du pied semble indiquer une fabrication tardive. Recueilli à 15 cm de profondeur immédiatement en aval des fourneaux I et II, postérieurs au four XIV supposé burgonde, ce vase ne ressemble en rien aux modèles barbares. Il reprend une

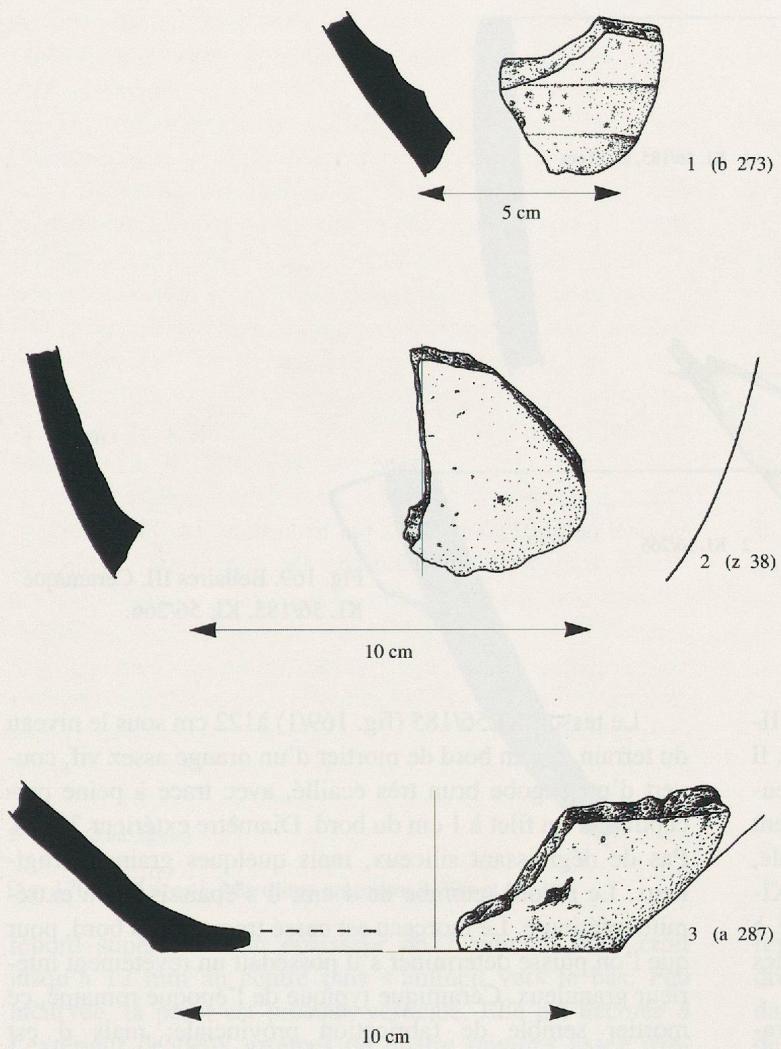


Fig. 167. Bellaires I. Céramique B273, z38, a287.

forme typique de la céramique de La Tène. Tout comme les fours jumelés, il semble marquer une survie du gallo-romain, mais sa technique rappelle celle de l'époque mérovingienne (Lobbedey, 1968, 15).

III. 2. d12, encolure de 11 cm de diamètre d'un pot à cuire (4,5/5, 4cm, fig. 168/2). Col en entonnoir, lèvre de section triangulaire, pâte ocre orange, sans engobe, dégraissants rares, mais grossiers (jusqu'à 3,5 mm). Une rainure asymétrique décore la partie supérieure de la panse, à 1 cm du col. Une couche de suie recouvrait le rebord extérieur et intérieur de la lèvre. La cassure a subi une forte chaleur. Le pot s'est sans doute brisé à la cuisson, à moins qu'il n'ait été en contact avec des scories encore incandescentes. Sa pâte et son rebord vertical l'apparentent à des modèles tardifs, par exemple la céramique ottonienne et gothique recueillie par Ludwig Berger (1963, 115) au Petersberg à Bâle et au tesson des forges d'Adamov près de Prague, qui remonte au XII^e siècle (Pleiner, 1958, 257, fig. 7). Au contraire, il n'a rien de commun avec les formes médiévales cataloguées entre 800 et 1200 dans le sud de l'Allemagne par Uwe Lobbedey (1968, 15). Un pot à rebord du III^e siècle, du Musée romain de Vidy (Sitterding, 1969, 316-317, N° E62-1655; 102-022)

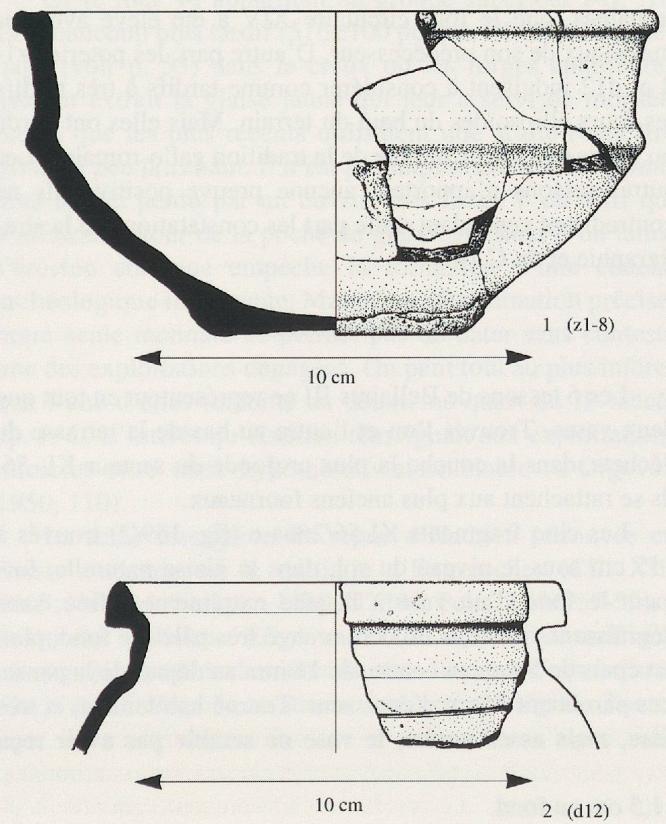


Fig. 168. Bellaires I. Céramique z 1-8, d 12.

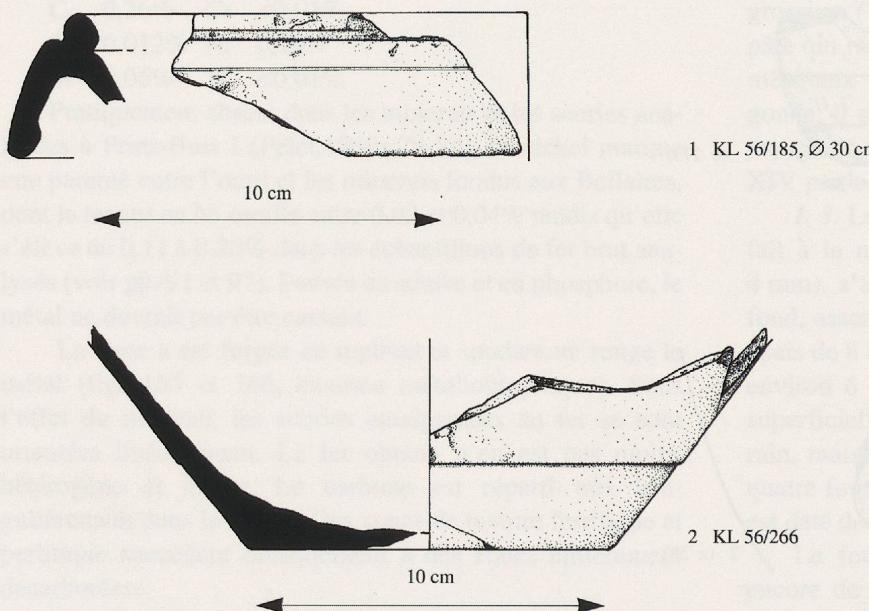


Fig. 169. Bellaires III. Céramique KL 56/185, KL 56/266.

semble plus proche de lui. d12 gisait en aval des fours VII-VIII, mais dans la couche superficielle qui les a recouverts. Il provient d'exploitations postérieures ou déblayées postérieurement (four V par exemple). La présence du fragment b1575, d'épaisseur et de pâte analogues, mais minuscule, trouvé à quelque 9m de distance, en dessus des fours XI-XIV dans la couche des forges les plus récentes, incite à l'estimer non pas contemporain de V (niveau 3), mais des fours I-IV (niveau 9).

Trop peu nombreuse et médiocrement placée, la céramique de Bellaires I ne conduit qu'à deux confirmations: c'est bien après l'abandon du four XII, trapézoïdal, en tuiles romaines, que le four circulaire XIV a été élevé avec les matériaux de son prédecesseur. D'autre part, les poteries z1-8 et d12 induisent à considérer comme tardifs à très tardifs les fours ellipsoïdes du haut du terrain. Mais elles ont gardé ou repris une forme héritée de la tradition gallo-romaine. Les autres tessons n'apportent aucune preuve positive; ils ne contredisent cependant nulle part les constatations de la stratigraphie et du C 14.

Bellaires III

Les 6 tessons de Bellaires III ne représentent en tout que deux vases. Trouvés l'un et l'autre au bas de la terrasse de déchets, dans la couche la plus profonde du secteur KL 56, ils se rattachent aux plus anciens fourneaux.

Les cinq fragments KL56/266a-e (fig. 169/2) trouvés à 115 cm sous le niveau du sol, dans la glaise naturelle, forment le fond d'un vase à la pâte extrêmement fine, sans dégraissant visible, d'un ocre orangé très pâle. Le fond, plat, est épais de 5 mm au centre, de 11 mm au départ de la panse. Les parois ont 5 mm d'épaisseur. Tourné habilement, et très lisse, mais assez tendre, le vase ne semble pas avoir reçu d'engobe. Son diamètre atteint 19,5 cm au niveau de rupture, 11,5 cm au fond.

Le tesson KL56/185 (fig. 169/1) à 122 cm sous le niveau du terrain, est un bord de mortier d'un orange assez vif, couvert d'un engobe brun très écaillé, avec trace à peine perceptible d'un filet à 1 cm du bord. Diamètre extérieur 30 cm. Pas de dégraissant siliceux, mais quelques grains ferrugineux. Le rebord retombe de 4 cm; il s'épaissit à son extrémité inférieure. Le morceau est cassé trop près du bord, pour que l'on puisse déterminer s'il possédait un revêtement intérieur granuleux. Céramique typique de l'époque romaine, ce mortier semble de fabrication provinciale; mais il est impossible de lui attribuer une date (II^e ou III^e siècle?) (Ettlinger, 1949, pl. 21).

Les deux poteries de Bellaires III, clairement situées au point de vue stratigraphique ne sont pas assez caractéristiques pour nous apprendre autre chose que leur appartenance à la romanité. C'est cependant un élément fondamental, puisqu'il permet d'écartier l'hypothèse d'une exploitation celte dans ce secteur.

Vases de pierre

1. b338, fragment d'un vase en grès rugueux (11/10 cm, fig. 170/2). Diamètre 22 cm. Le flanc, épais de 12 mm au bord supérieur, s'amincit jusqu'à 8 mm. Un renflement en oreille, de 14 mm de large au minimum, et haut de 15 mm permet de le saisir.

La pierre gréseuse ne semble pas réfractaire; elle ne porte d'ailleurs aucune trace de cuisson. Comme tous les vases de pierre, dont la forme n'a guère changé depuis Hallstatt jusqu'au XIX^e siècle, il n'est guère datable. Cependant son large diamètre fait penser à une fabrication postérieure à l'Antiquité. Retrouvé au sud des fours XI, XII et XIV, à la limite de la couche de scories et du recouvrement superficiel, il semble contemporain de XIV.

2. b390, vase en pierre ollaire magnétique (9/13,5 cm, fig. 170/1), de 18 cm de diamètre intérieur au niveau du

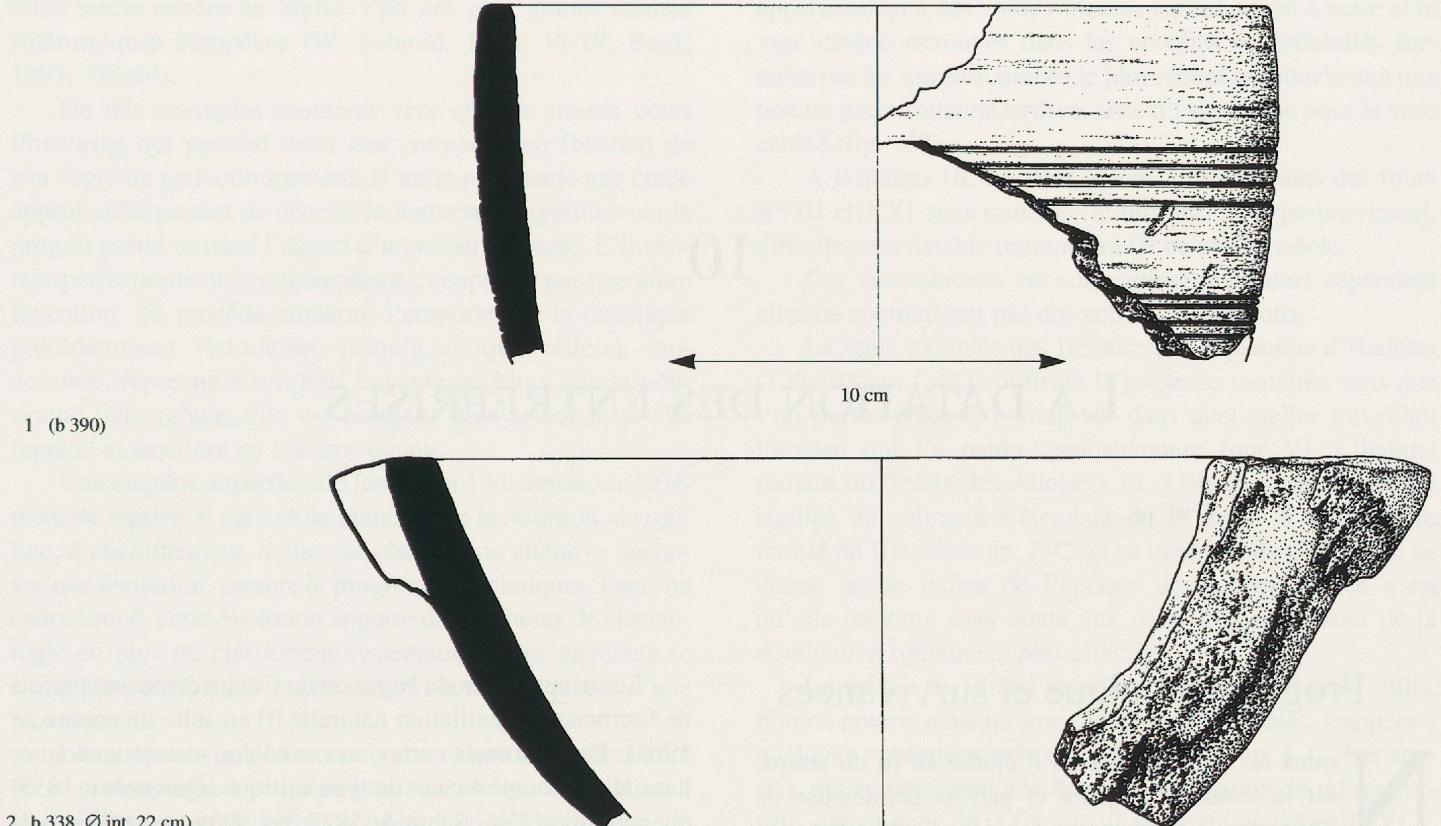


Fig. 170. Bellaires I. Marmites en pierre b 390 et b 338.

rebord supérieur. Son épaisseur de 7 mm au bord croît jusqu'à 12 mm au centre puis s'amincit vers le bas. Peu incurvée, la paroi est presque verticale. Elle est décorée à l'extérieur de deux groupes de quatre rainures assez irrégulièrement gravées, distantes de 3 à 4 mm et profondes de 1 à 2 mm. Les traces du meulage sont visibles, surtout à l'intérieur. Le tesson porte des marques de cuisson. Abandonné en amont de XIV, au fond de la couche d'humus et de scories, à 35 cm du niveau du sol, il est contemporain de XIV ou des fours du haut du talus. Bien qu'il ne soit pas plus datable que b338, son large diamètre pourrait être l'indice d'une fabrication tardive. La décoration rappelle celle d'un vase burgonde trouvé à Sévery (Bouffard, 1947, 141 & suiv., pl. 47/4). Elle est cependant trop banale pour qu'on puisse en tirer une preuve, bien que les Burgondes aient été chez nous les plus fréquents utilisateurs de ce genre de vase, et les seuls à les employer couramment au début du Moyen Age. Mais il en existe de beaucoup plus anciens ou de plus récents; on ne saurait les leur attribuer aveuglément.

Monnaie

Nous n'avons recueilli qu'une seule monnaie à Bellaires I, au bord supérieur du talus, à 60 cm au nord du four VI. Elle gisait entre les racines d'un noisetier, à 5 cm à peine sous la surface du sol, dans un humus brun rouge dépourvu de tout autre déchet archéologique. Déposée au Cabinet des médailles à Lausanne elle a été déterminée par M^e Colin Martin. La pièce porte à l'avers HADRIANUS AUGUSTUS et le buste de l'empereur lauré à droite. Au

verso, on lit C O S/I I I/S C; la Bonne Foi, *Fides*, debout, à droite, tient des épis dans une main, une corbeille de fruits dans l'autre (Pelet, 1971a). C'est un *dupondius* (double as) de bronze, frappé entre 125 et 128 ap. J.-C. (Cohen, 1955, t. II, N° 388; RIC, t. II, 1926, 426, N° 656).

Or le four VI appartient au groupe supérieur I-II, III-IV, beaucoup plus tardif (510 ± 100 pour le III). Il a été aménagé (voir p. 53) dans le creux où les forges antérieures avaient extrait la glaise jaune qui leur a servi de mortier, tandis que les plus récents utilisaient une argile rougeâtre prise un peu plus haut. Il n'est pas impossible que le *dupondius* ait été perdu par un ouvrier des fours V ou VIII qui s'affairait autour de la poche de glaise. Au haut d'un talus, l'érosion continue empêche la formation d'une couche archéologique importante. Malgré sa détermination précise, notre seule monnaie ne permet pas de dater sans conteste une des exploitations dégagées. On peut tout au plus inférer que l'une d'elles remonte au deuxième quart du II^e siècle ap. J.-C. L'intérêt qu'Hadrien témoignait aux exploitations minières rend cette hypothèse vraisemblable (d'Orgeval, 1950, 110).

La seule inscription du règne d'Hadrien retrouvée en Suisse romande est le milliaire d'Entreroches (CIL XIII 9065; Howald et Meyer, 1940, N° 388; Pelet, 1944, 57-59), à 6 km des Bellaires. Erigé entre 128 et 138, ce milliaire montre que dans les dernières années du règne l'administration s'était intéressée au réseau routier de la région. Toutefois, la Vy-d'Etraz qui traverse Ferreyres n'est pas directement reliée à la route Avenches-Lausanne, ni la Vy-Ferroche, qui conduit à Romainmôtier.

10

LA DATATION DES ENTREPRISES

Progrès technique et survivances

NOUEZ les phénomènes qu'il étudie au fil du temps, est la tentation majeure et parfois pernicieuse de l'historien. La chronologie n'est pas dans tous les cas le meilleur instrument de mesure et de classement (Pellet, 1970b, 19-23). En particulier, une distribution temporelle conduit à une annale des techniques et non à la compréhension synthétique de leur histoire. Aussi ne l'abordons-nous qu'une fois tous les autres éléments mis en place.

Les inventions d'autrefois se succèdent, à des dates en général difficiles à déterminer avec précision. Elles se propagent en lentes ondes circulaires depuis leur point de découverte, sans faire disparaître les techniques antérieures. Les «vagues du progrès» se superposent partiellement, se croisent, laissent des angles morts. Certaines régions ne sont pas atteintes; le processus ancien s'y maintient; ou bien il reste préférable. A quoi sert en effet une production accrue si les débouchés n'augmentent pas, l'installation de machines perfectionnées, mais d'un emploi occasionnel? Ainsi, tant que les voies ferrées ne sillonnent pas l'Europe, dans les régions éloignées des centres charbonniers le moteur à vapeur est moins économique, moins rationnel que la roue à eau – ou sa forme améliorée, la turbine. Conserver une technique dépassée est souvent une nécessité, une sagesse économique.

Ce phénomène des survivances est très frappant dans l'histoire de la sidérurgie: au milieu du XIX^e siècle encore, tous les types de fourneaux inventés depuis le premier âge du fer subsistent.

Les Tatares Kouzneski réduisent le métal nécessaire aux fers de leurs chevaux dans de minuscules foyers creusés dans la terre (diamètre 15 cm), munis de soufflets en forme d'outre (Beck, 1891, 285-6). Les artisans corses continuent à fondre les hématites oligistes de l'île d'Elbe selon l'antique procédé auquel leur île a donné son nom (Reynaud, 1869, 199).

Les tribus noires du Niger ou du Congo disposent parfois de fourneaux à ventilation naturelle (il en subsiste encore en 1968). Perfectionnés certes, ces modèles restent analogues dans leur principe à ceux de type celtique (Quiquerez, 1855) ou carinthien (W. Schmid, 1932, 39). D'autres tribus préfèrent assurer la fusion par des soufflets archaïques en forme d'outre, de coquille ou de tambour¹.

Grâce à une ventilation à pistons très efficace, les artisans de la Chine et de l'Asie du Sud-Est produisent de la fonte dans des cuves qui rappellent par leurs faibles dimensions (2 à 4 m) celles des premiers hauts fourneaux européens (Johannsen, 1953, 22, 35; Needham, 1961, 236 et suiv.).

Sur les bords de la Méditerranée, les foyers catalans ne s'éteignent qu'après 1850. Leur trompe à eau n'a pas entièrement disparu. Elle anime encore vers 1950 des feux de forges dans quelques vallées du Valais (Saas Fee, Evolène), en 1971 à Canischio dans le Canavese (Piémont).

Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, les hauts fourneaux à charbon de bois sont préférés partout où la forêt est abondante et la houille lointaine, en Suède par exemple.

Le progrès technique est accepté s'il comble un déficit ou s'il transforme les conditions économiques. Mais il n'a pas la même valeur pour toutes les classes de la société. Lucien Febvre signale qu'en 1580 les paysans de Jougne, en Franche-Comté, continuent à fondre du fer dans des foyers primitifs alors que les eaux de la Jougnena actionnent les souffleries de hauts fourneaux et d'affineries d'un type déjà industriel (Febvre, 1911, 33). Même si les installations archaïques consomment plus de charbon et produisent moins de fer, elles sont rentables pour des exploitants qui y consacrent les saisons mortes de l'agriculture. Ce sera le cas au

1. Forbes, 123; Gardi, 1954; Schweinfurth, 1875, I, 202 et suiv.; Nicole Echard, Emission de télévision France II 1^{er} février 1970: «Forgerons du Niger, l'âge du Fer».

XIX^e siècle encore en Styrie, l'un des plus grands centres sidérurgiques européens (W. Schmid, 1932, 18-19; Beck, 1891, 779-84).

De tels exemples montrent vers quelles erreurs court l'historien qui prétend dater une entreprise en fonction de son degré de perfectionnement. D'autre part, seule une étude approfondie permet de déceler la nouveauté significative; le progrès prend souvent l'aspect d'un retour au passé. L'inventeur perfectionne un système désuet, supplanté par une autre invention. Le procédé amélioré l'emporte sur la technique précédemment victorieuse, jusqu'à ce que celle-ci, modernisée, reprenne à son tour l'avantage. Alors que la nouveauté pure rebute, elle est acceptée plus aisément si elle reprend et améliore un système connu.

Une enquête superficielle fera buter l'historien sur l'élément de reprise, il parlera de maintien de la tradition, de routine, d'encroûtement. Seule une observation attentive découvre une évolution, mesure le progrès des techniques. Dans un cadre limité, cette évolution apporte des éléments de chronologie en plus du classement systématique; ces éléments se complètent parfois les uns les autres comme les pièces d'une mosaïque.

Les chapitres précédents ont montré que les tuyères vont en se perfectionnant jusqu'au huitième atelier de Bellaires I (four XII) pour atteindre ce qu'on peut considérer comme le calibre optimal (\varnothing 2,5 cm). Mais les forgerons postérieurs préfèrent des diamètres plus forts pour des fourneaux aux cuves plus élaborées encore que celle du four XII. Ils adaptent les tuyères pour obtenir la pression la plus adéquate dans les cuves fortement asymétriques.

Cependant, l'ordre de succession qu'on établit doit être corroboré par d'autres méthodes; lors de fouilles, par la stratigraphie d'abord.

La chronologie interne et ses repères

Nous avons vu tout au long des chapitres précédents la complexité stratigraphique des sites industriels. C'est le relevé et l'analyse des couches et de leurs rejets qui fixe l'ordre de succession des ateliers. Cette chronologie interne correcte, primordiale pour contrôler l'évolution ou les régressions des techniques, doit cependant faire appel à des repères extérieurs. En archéologie ce sont les objets, la céramique et les monnaies d'une part, les moyens physiques et chimiques de datation d'autre part qui joueront ce rôle et permettront d'attribuer les ateliers à des sociétés ou à des générations distinctes.

La datation par les objets

Le chapitre X a relevé la pauvreté des échantillons de céramique (p. 106), qui donnent cependant quelques indications utiles: cinq tessons de Bellaires I, mis au jour dans des couches que l'on peut attribuer aux fourneaux X et XIII à ventilation naturelle, les plus profondément enfouis, se rattachent à la céramique de La Tène.

Au niveau intermédiaire, deux petits tessons faits au tour

appartiennent à des vases romains. Le col de pot à cuire et le vase caréné retrouvés dans les couches superficielles formées par les fours du niveau le plus récent se rattachent à une poterie gallo-romaine tardive, si ce n'est romane pour le vase caréné (fig. 168).

A Bellaires III, les deux vases contemporains des fours XVIII et XXI sont romains; le mortier, de type provincial, difficilement datable remonte au II^e ou au III^e siècle.

Ces constatations ne sont guère probantes; cependant elles ne contredisent pas nos autres observations.

La seule monnaie des Bellaires, le *dupondius* d'Hadrien (125-128 ap. J.-C.) confirme la présence romaine, sans que l'on puisse préciser à coup sûr dans quel atelier travaillait l'artisan qui l'a perdu (probablement four V). L'habitat romain du Trésis-des-Alleveys (p. 119) avec sa céramique sigillée ou courante s'étendant du I^e siècle à la première moitié du III^e siècle ap. J.-C. et sa monnaie de Commode ne donne aucun indice de l'époque de la forge, si ce n'est qu'elle remonte sans doute aux deux siècles et demi de la domination romaine la plus effective.

Le refuge de Châtel fournit d'abondants objets: outils, bijoux, poterie ainsi qu'une centaine de monnaies, frappées à quelques exceptions près entre 330 et 413 ap. J.-C. Les scories, qui se rattachent à la dernière occupation du refuge fortifié, datent donc de la fin du IV^e siècle ou du début du Ve.

Les moyens physico-chimiques de datation

La rémanence magnétique des argiles, la thermoluminescence des quartz ne s'adaptent pas encore aux conditions matérielles des sites sidérurgiques ou à des époques si récentes. Les os recueillis parmi les déchets dans des milieux très différents n'ont pas vieilli dans des conditions identiques. Les analyses de leur teneur en phosphates ne donnent guère d'indications utiles. La palynologie n'est pas sûre dans les lits de scories constamment perméables. Elle peut fournir un indice de la végétation finale du site abandonné. Le charbon, qui abonde, nous fait mieux connaître les essences choisies par les forgerons. Mais il est souvent mêlé à des couches dont l'appartenance n'est pas claire, ou que perturbent de trop nombreuses racines d'arbres vivants. Malgré ces difficultés, l'analyse du carbone 14 est précieuse pour les forges antiques.

Cinq échantillons prélevés à Bellaires I se rattachent sans conteste à cinq exploitations reconnues. Un sixième échantillon a été recueilli à Bellaires II.

Le laboratoire du C 14 de l'Institut de physique de l'Université de Berne (professeur Hans Oeschger) s'est chargé de leur analyse, qui a donné (lettre du 6 février 1969) les résultats que l'on peut voir à la fig. 171.

Les échantillons recueillis au niveau le plus profond: 1a dans le secteur ouest, 1b dans le secteur est de Bellaires I donnent les dates les plus reculées. Les deux fourneaux concernés sont les seuls auxquels nous ne pouvons pas attribuer de tuyère, de soufflerie artificielle, et dont la hauteur dépasse en tout cas 180 cm. La distribution des autres échantillons s'étage tout aussi correctement. Lorsque les niveaux

Echan.	Niv. strat.	Four	Bellaires I
B830	1a	X	2300±80 = env. 350 av. J.-C.
B831	1b	XIII	1920±80 = env. 30 ap. J.-C.
B829	5	VII	1620±80 = env. 330 ap. J.-C.
B827	6	XI	1570±50 = env. 380 ap. J.-C.
B828	9	III	1440±100 = env. 510 ap. J.-C.
			Bellaires II
B832	unique	XVII	1650±100 = env. 300 ap. J.-C.

Fig. 171. Datation des échantillons de charbon.

se suivent, l'espace proposé est de 50 ans. Dans l'intervalle, la forêt a repoussé.

Les trois siècles qui séparent les échantillons B831 et B829 sont occupés par trois ateliers intermédiaires de Bellaires I, par le four XVII de Bellaires II et par le niveau inférieur de Bellaires III. Les 130 ans entre B827 (four XI) et B828 (four III) sont coupés par deux ateliers (fours XII et XIV). Du I^{er} au VI^e siècle apr. J.-C., les forgerons semblent s'être réinstallés aux Bellaires chaque fois qu'ils pouvaient en recharbonner la forêt.

L'intervalle de près de quatre siècles entre les deux premiers fourneaux est plus étonnant. Mais le four XIII qui date des environs de l'ère chrétienne se rattache encore au type celtique, qui se maintient en Europe centrale jusqu'au début de l'occupation romaine, aussi bien dans le canton du Jura (Quiquerez, 1855) qu'en Carinthie (W. Schmid, 1932). L'absence d'entreprise aux Bellaires pendant plusieurs siècles peut s'expliquer par un peuplement moins dense, par

une exploitation moins intensive. Le calcul des probabilités montre que, parmi les quelque 60 haldes repérées dans les environs, nous aurions des chances de retrouver une vingtaine de fourneaux de type celtique. C'est dans les haldes non fouillées que s'en est perpétuée la tradition.

Vers une chronologie cohérente

Si l'on tient compte simultanément de la stratigraphie, de la céramique, des monnaies, du carbone 14, de deux analyses dendrochronologiques et de l'évolution technologique, on arrive à la distribution de la figure 172.

Ainsi, l'industrie du fer s'étire sur plus de dix siècles. Elle corrobore les constatations de Quiquerez sur la présence d'artisans du fer celtes dans la zone jurassique.

L'existence de forgerons indigènes donne un élément de vraisemblance à la légende d'Hélicon. Selon Pline l'Ancien en effet, c'est un forgeron helvète, Hélicon, qui aurait donné aux Gaulois l'idée d'envahir l'Italie. Après avoir séjourné quelque temps à Rome comme artisan du fer, il était retourné chez les siens avec des figues sèches, du raisin, de l'huile et du vin, ce qui aurait incité ses compatriotes à se joindre aux migrations des Cimbres et des Teutons (Pline l'Ancien, 1947, L. XII, 20-21, § 5).

Deux datations précises dues à la dendrochronologie, améliorent la chronologie, qui s'appuie principalement sur la céramique, les monnaies ou le C14, et reste très approximatives. En fait, c'est encore la stratigraphie qui apporte les éléments les plus sûrs, et l'analyse technologique du four XIV de type germanique qui confirme la vraisemblance des don-

Site	Niveau	Four	date	procédé de datation
Ferreyres (maison Affolter)				
Montcherand	sup.	Mo III, V	VII ^e -VIII ^e s.	C14 (ARC 395: 1320±50 BP)
Bossena I	unique	XXII	610 ap. J.-C.	dendrochronologie
Bellaires III	2	XIX, XX	610 ap. J.-C.	dendrochronologie
Bellaires I	9	I-IV, VI	VI ^e s. ap. J.-C.	technologie
Prins-Bois II	unique	XXIII	début VI ^e s.	C14 (B828: 1440±100 BP); céramique tardive
Bellaires I	8	XIV	Ve-VI ^e s.	technologie
Bellaires I	7	XII	2 ^e moitié Ve s.	strat.; technologie
Châtel s/M	2		début Ve s.	stratigraphie
Bellaires I	6	XI	fin IV ^e -début Ve s.	objets; monnaies
Bellaires I	5	VII	fin IV ^e s.	C14 (B827: 1570±50 BP)
Prins-Bois I	interm.	PB XVIII	1 ^{re} moitié IV ^e s.	C14 (B829: 1620±80 BP)
Bellaires II	unique	XVII	début IV ^e s.	C14 (B271: 1640±100 BP)
Bellaires I	4	VIII	fin III ^e début IV ^e s.	C14 (B832: 1650±100 BP)
Bellaires III	1	XVIII, XXI	fin III ^e s.	stratigraphie
Bellaires I	3	V	II ^e -III ^e s.	céramique
Bellaires I	2	IX	II ^e s.	stratigraphie; monn. d'Hadrien*
Bellaires I	1b	XIII	I ^{er} -II ^e s.	stratigraphie; tuileau romain
Bellaires I	1a	X	1 ^{re} moitié I ^{er} s.	C14 (B831: 1920±80 BP); technologie
			IV ^e s. av. J.-C.	C14 (B830: 2300±80 BP); technologie

N.B. * Liaison de la monnaie avec le four V probable.

Fig. 172. Succession chronologique des fourneaux.

nées du C14. La physique du carbone nous apporte cependant une indication de première importance: l'intervalle entre les ateliers successifs.

De nouvelles fouilles mettront au jour d'autres modèles encore, découvriront d'autres chaînons intermédiaires, préciseront ou nuanceront l'évolution technique. La dendrochronologie affinera la datation des nouveaux sites. La poursuite des travaux ne changera pas les constatations essentielles: l'endémisme de l'industrie du fer au pied du Jura et son évolution autonome de l'époque de La Tène à l'orée du Moyen Age.

Nos investigations n'ont pas mis au jour d'exploitation

postérieure au VII^e siècle. Trouverait-on dans d'autres sites des forges médiévales, les chaînons qui nous conduiraient jusqu'au XIII^e siècle? Cela n'est pas certain. Au moment de l'écroulement du monde romain, l'industrie minière est en déclin. Ce n'est pas que les filons soient tous épuisés – nous sommes d'accord sur ce point avec Rostovtzeff (1957, II, 691, n, 102). Mais est-ce dû uniquement, comme il le suggère, aux périodes de troubles et au manque de main-d'œuvre? L'épuisement des forêts, accru par une dernière période d'exploitation intense au moment des grandes invasions s'est peut-être répercute sur les siècles suivants, tout autant que les pertes démographiques.

Calibration des dates C 14 (note de l'éditeur)

Les datations C 14 publiées dans le texte et dans les figures 171-172 sont des datations conventionnelles (datations BP = Before Present), données à partir de la date référence 1950 après J.-C.

Pour tenir compte de l'évolution dans ce domaine depuis l'édition de 1973, nous présentons ci-dessous le tableau donnant les dates calibrées selon la courbe actuellement disponible. L'interprétation chronologique peut être ainsi revue en fonction du degré de confiance choisi.

Echantillon	Four	Datation C 14 âge conventionnel BP	Calibration - âge réel BC/AD 1σ (68,26%)	Calibration - âge réel BC/AD 2σ (95,44%)
<i>Bellaires I</i>				
B-830	X	2300±80	479 BC, 245 BC	740 BC, 156 BC
B-831	XIII	1920±80	4 BC, 188 AD	105 BC, 299 AD
B-829	VII	1620±80	335 AD, 521 AD	235 AD, 595 AD
B-827	XI	1570±50	428 AD, 546 AD	384 AD, 595 AD
B-828	III	1440±100	487 AD, 685 AD	403 AD, 814 AD
<i>Bellaires II</i>				
B-832	XVII	1650±100	268 AD, 509 AD	148 AD, 596 AD
<i>Prins-Bois I</i>				
B-271	PB XVIII	1640±100	278 AD, 517 AD	158 AD, 602 AD
<i>Ferreyres</i>				
ARC-395	Maison Affolter	1320±50	658 AD, 756 AD	625 AD, 838 AD

Programme de calibration:

CalibETH 1.5b (1991)

Program for Calibration of Radiocarbon Dates

AMS Facility, ETH Hönggerberg

Institute for Intermediate Energy Physics

ETH Zurich, Switzerland

Courbe de calibration utilisée:

Kromer and Becker; Linick, Long, Damon and Ferguson, Stuiver and Pearson

Composed High-Precision Bidecadal Calibration of Radiocarbon Time-Scale, AD 1950-9440 BC

Radiocarbon 35, 1993, p: tree rings

11

LA ZONE SIDÉRURGIQUE

UNE fois la première enquête menée auprès des autorités communales et des services forestiers (voir p. 9), une prospection prolongée et méthodique a été entreprise. La toponymie ne lui a été que d'un faible secours. La Carte nationale de la Suisse (1:25 000) et la carte Siegfried qui l'a précédée ne donnent qu'un nombre limité de lieux-dits, parfois déportés de plusieurs centaines de mètres pour des raisons cartographiques. Dans les zones prospectées – où ont sévi les Bourla-Papey (voir p. 6), – les plans cadastraux conservés sont rarement antérieurs à 1808. Ceux du XIX^e siècle ne connaissent que peu de termes significatifs pour nous.

Lorsque il subsiste des toponymes tels que *Faverges*, *Ferreyre(s)*, *Ferrire*, *Maillefer*, *Mâchefer* (cf. fig. 1 et 3), ils ne sont pas toujours localisés avec beaucoup plus de précision que sur les cartes imprimées. Les géomètres, étrangers à la commune les déplacent parfois au gré des nécessités calligraphiques. Du plan cadastral à l'identification sur le terrain, que de déconvenues!

D'autre part, les remaniements parcellaires ont transformé totalement le paysage agricole de certaines communes, de Berolle par exemple, où les voies carrossables du XVIII^e siècle et les anciens chemins vicinaux ont été effacés du terrain et remplacés par un réseau de routes modernes et de chemins de desserte nouveaux.

Le recours à la photographie aérienne, même en vision stéréophotogrammétrique, reste décevant. En sous-bois, les haldes échappent évidemment à l'investigation; dans les champs labourés, elles se confondent avec les taches sombres que font les phosphates, plus abondants dans les angles où viennent tourner les épandevuses d'engrais. Dans les prairies, où les anciennes fondations de murs et les drainages sont souvent repérables, les scories ne se remarquent pas. Des photographies en couleurs prises par temps très sec en août 1971 montrent les prés de Ferreyres parsemés de taches grisâtres. Ces taches, dont l'une correspond approximativement au site de Morandin I semblent dues prin-

cipalement aux bancs rocheux que l'herbe recouvre à peine.

Les détecteurs de mines du Service des forêts ou de l'armée nous ont rendu de meilleurs services. Ils réagissent en effet à l'abondante grenaille ferrugineuse qui accompagne les scories. Mais ils le font aussi sur chaque boîte de conserve abandonnée! Et, fait plus grave, sur les roches d'origine glaciaire, qui contiennent fréquemment des traces de magnétite. Lorsque les détecteurs réagissent sur une assez vaste superficie sans que l'on trouve de scories, seules des fouilles peuvent déterminer s'il s'agit de masses de blocs erratiques enterrés ou d'une exploitation recouverte par des alluvions ou des remblais importants.

Au pied du Jura, les scories d'exploitations sidérurgiques fort anciennes, romaines par exemple, apparaissent encore en partie à la surface du sol, aussi bien en forêt que dans les champs cultivés. Leur masse s'étale peu à peu dans les terres labourées.

Les scories occupent une aire qui est rarement inférieure à 100 m², rarement supérieure à 1200 m². Du fait de leur modestie même, ces aires ne se repèrent pas aisément, dans les taillis épineux surtout. Mais si les scories n'abondent que dans la proximité immédiate des fourneaux, la grenaille de fer qui résulte de toute opération primitive de réduction se répand beaucoup plus largement. Dans les champs labourés, il ne faut pas la confondre avec la fine limaille provenant des socs de charrue et des autres instruments aratoires. Les grains dus à une exploitation sidérurgique sont plus gros (de 1 à 10 mm de diamètre). Plus on se rapproche du site, plus ils abondent. C'est par cette observation, plus sensible que le détecteur de mines, que nous avons pu cerner l'emplacement exact de beaucoup de ferrières.

L'examen du terrain, la réflexion aussi ont enrichi notre carte: en effet, les forgerons choisissent de préférence un talus. Les amoncellements de scories y forment parfois des terrasses qui rompent visiblement avec la pente naturelle. D'autre part, dans la mesure du possible, les artisans du fer s'installent à courte distance d'un point d'eau et, s'ils le peu-

vent, du minerai. Déterminer les secteurs susceptibles de receler des failles sidérolithiques, suivre sur toute sa longueur le banc rocheux auprès duquel un site est repéré conduisent à d'autres découvertes. C'est ainsi que, peu à peu, nous avons pu prendre conscience de la densité de cette ancienne industrie.

Dans la zone que nous avons prospectée systématiquement, entre le Cosson (commune de Juriens) et L'Isle, nous n'avons certainement pas décelé tous les emplacements de fourneaux. Il suffit de quelques massifs de broussailles impénétrables: buis mêlés d'églantiers par exemple, pour qu'une halde demeure inconnue.

Notre champ de recherche donne l'impression que l'industrie sidérurgique se concentre autour du village au nom caractéristique de Ferreyres, la *villa que vocatur Ferrierias* de l'an 981 (ACV, CVIIa, 981, 15 mai). En fait, d'autres ferrières ont existé au pied du Jura: au nord, de la Grand-Ferrire d'Arnex à Montcherand et jusqu'aux Rochat-sur-Provence à la frontière du canton de Neuchâtel; au sud, à Montricher, à Berolle et Longirod peut-être.

Inventaire des sites

Commune d'ARNEX-sur-Orbe

1. La *Grand-Ferrire*, fig. 1, dans les vignes. Coordonnées 530,230-250/171,450; alt. 470-480 m. Ce site, au nom significatif, a été découvert par M^{me} Catherine Morel, d'Arnex. Selon l'*Atlas géologique de la Suisse* (feuille 42, 1963), il est à la limite du Stampien tertiaire (molasse rouge, marnes bariolées) et des alluvions quaternaires, en dehors de la zone où affleurent l'Urgonien et l'Hauterivien. En réalité, le dépôt glaciaire est très faible et le sol du vignoble est fortement calcaire (25-75% selon les vignes). L'étendue du site, et son emplacement exact sont difficiles à déterminer dans un terrain constamment travaillé, défoncé, remanié.

Commune de BAULMES, hors fig. 1

2. *Forel/Saint-André*, fig. 1. Voir page 64. Poids moyen des scories recueillies: 242g. 62% des scories font penser à une ventilation artificielle. 20% des autres sont des scories en calotte. – Atelier de forge.

Commune de BEROLLE, hors fig. 1

3. *Sur la Maison-Rouge, En Mion*. Scories remarquées autrefois par M. Paul Burnet dans les champs de son père. La topographie communale a été complètement transformée par un remaniement parcellaire. Le plan cadastral de 1807-1808 (ACV, GBl9a) situe au nord de Sur-la-Maison-Rouge un *Praz-de-Fer*. Coord. 515,700-800 / 156,400-500; altitude 720-730 m. Les travaux du remaniement parcellaire ont bouleversé ce secteur.

Commune de CONCISE, hors fig. 1

4. *La Raisse*, coord. 545,5 / 190,5, scories très vitrifiées dans le ruisseau du moulin. La Carte nationale inscrit un lieu dit les Favarges, un peu plus au sud.

5. *Frontière Vaud/Neuchâtel*, coord. 547,8 / 191,2, scories éparses.

Commune de CUARNENS

6. *Pré-Penard I*, fig. 1, le long de la route de Cuarnens à Chavannes-le-Veyron, côté ouest, dans un champ relativement plat. Coord. 523,625 / 163,775. La couche de dépôt glaciaire portée dans l'*Atlas géologique de la Suisse*, feuille 5 (1928) semble assez mince: des cailloux calcaires affleurent dans les labours. Site découvert en 1968 par M^{me} Anne-Marie Chapuis, de Cuarnens. Scories peu nombreuses en surface, compactes. Probablement atelier de forge.

7. *Pré-Penard II*, fig. 1, sur le côté est de la route de Cuarnens à Chavannes-le-Veyron, à quelque 250 à 300 m du premier site, à mi-pente, sur le flanc aval d'un ancien chemin. Coord. 523,775 / 163,925; altitude 620-630 m. Champ très caillouteux, remanié par un drainage. Déchets de tuiles (peut-être romaines), clou forgé à la main, ferraille. Scories sur environ 1200 m². Scories ramassées en surface compactes, grumeleuses (densité environ 4,6), poids moyen: 17 g. 35% des scories de l'échantillon sont magnétiques (30% en poids). 72% des scories semblent résulter d'un tirage naturel. – Il s'agit en fait d'une forge.

8. *En Prèle*, fig. 1, à l'ouest de la route de Moiry à Cuarnens entre la jonction de l'ancienne et de la nouvelle route et le ruisseau du Grand-Fossé. Coord. 523,575 / 164,875; altitude 626-630 m. Scories assez abondantes répandues sur quelque 300 m².

Il est possible de recueillir encore des scories éparses sur le territoire de Cuarnens, entre le village et le pied du Jura. Nous en avons relevé au nord de la gravière (coord. 522,200 / 165,250, (coord. 522,500 / 164,675); En Lucheran (coord. 522,800 / 165,035). Aucun site caractéristique n'a été repéré dans cette zone jusqu'à présent. Il s'agit sans doute d'un éparpillement de matériaux analogue à celui des tuileaux et des tessons, dans ce qu'on pourrait appeler le périmètre agricole de la zone sidérurgique.

Une forge d'affinerie a existé aux Mousses, (commune de L'Isle), à proximité du territoire de Cuarnens. Signalée dès 1567 (ACV, Bb36, vol. 6, p. 703), elle est transformée en aciéries au début du XVIII^e siècle (Ducommun et Quadroni, 1991, 165-66).

Commune d'ÉCLÉPENS

9. *Les Trois-Noyers*, fig. 1, en face de la ferme, à l'est du chemin vicinal et du ruisselet. Coord. 530,087 / 166,500; altitude 470 m. Sur la carte aérienne, traces blanches qui semblent provenir de murs, d'un habitat. Les scories ramassées en surface dans le champ sont en général petites et assez

légères. Poids moyen: 9,5 g. Une seule est magnétique. 53% des scories semblent provenir d'une exploitation à faible ventilation. – Atelier de forge.

10. Sur les flancs du *Mormont*, fig. 1, les ouvriers chargés de préparer le calcaire pour la fabrique de ciment d'*Eclépens* auraient remarqué vers 1963 quelques vestiges de fours en déblayant le terrain avec leur trax. Aucun indice ne permet de préciser s'il s'agissait de fours à chaux ou de fourneaux à fer. Le sidérolithique qui coupe les couches de l'*Urgonien* affleure dans ce secteur (*Atlas géologique de la Suisse*, feuille 5, Coord. 531-532,000 / 167-167,700; alt. 480-520 m).

11. *Tilérie* (fig. 1), signalé par M. Pascal Kissling dans la forêt mêlée de chênes qui borde la clairière de *Tilérie*. Coord. 532,740-800 / 168,150; altitude 495-505 m. Les scories s'éparpillent sur 1100 m² environ, dans une zone d'affleurement calcaire et de lapiés. Restes de four à chaux à l'angle sud-ouest. Site peut-être partiellement remanié par l'exploitation de la chaux. Creux à bourrelets ou entonnoirs. Les scories ramassées en surface sont assez petites. Quelques-unes sont très compactes, quelques autres noires et vitrifiées. La plupart attestent une ventilation artificielle. – Ancien lit de ruisseau, de l'autre côté de la route.

Commune de FERREYRES

12. *Bossena I*, fig. 3/17, coord. 525,625 / 168,675; alt. 655-659 m. Voir fig. 104-114.

13. *Bossena II*, fig. 3/25, au pied du décrochement calcaire parallèle à la route de Moiry à Envy, à 50 m en aval. A environ 380 m de *Bossena I*, dans des broussailles difficilement franchissables. Coord. 525,450/168,275; altitude 640-650 m. Les scories sont répandues sur une superficie d'environ 300 m². Poids moyen des échantillons relevés en surface: 9,2 g. 63% des scories semblent provenir d'une installation à faible ventilation, malgré la présence d'un petit fragment attribuable à un bec de tuyère.

14. *En Combattions*, fig. 3/29, sur un léger talus à 30 m d'une source temporaire. Coord. 527,750 / 168,150; altitude 555 m environ. Site dans les alluvions glaciaires; mais l'*Urgonien* affleure à moins de 100 m. Des tombes à dalles sont signalées à peu de distance, au nord. Scories dans les labours, sur environ 250 m².

15. *En Donchires I*, fig. 3/40, dans un champ irrigué à proximité du village. Coord. 527,370 / 167,900; altitude environ 555 m. Une anse d'amphore à proximité. Scories grosses et lourdes. Poids moyen: 160 g. 69% font penser cependant à une ventilation artificielle. Une scorie de fond, magnétique. – Atelier de forge.

16. *En Donchires II*, fig. 3/41, à environ 140 m de *Donchires I*. Les scories sont nettement séparées de la zone

précédente; elles aussi sont peu nombreuses, et lourdes, à bulles marquées. Coord. 527,465 / 167,810; altitude environ 545 m. – Atelier de forge.

17. *Les Fourmilières*, fig. 3/21, dans un talus abrupt couvert de buis presque impénétrables, à la limite de *La Sarraz* et de *Ferreyres*. Le calcaire urgonien affleure immédiatement en amont du site. Coord. 527,580 / 168,430; altitude 570-578 m. Scories abondantes dans un secteur d'environ 100 m². Comme le talus est absolument impropre à l'agriculture, elles n'ont pas été dispersées. Fragments de gneiss et de pierres glaciaires vitrifiées et scoriacées, scorie glaissée. Le fourneau semble avoir été construit en pierres d'origine glaciaire. Poids moyen des scories ramassées en surface: 25 g. 55% d'entre elles font penser à une ventilation artificielle.

18. *Haut-des-Champs I*, fig. 3/31, en dessus du village de *Ferreyres*, entre les maisons et le réservoir. Coord. 526,800/ 168,150; altitude 585 m. Scories dans les labours, sur environ 600 m²; mineraï pisolithique en rognons.

Analyse quantitative du mineraï (Pelet, 1960a) et dans ce vol., p. 91.

19. *Haut-des-Champs II*, fig. 3/32. Coord. 526,625 / 168,150; altitude environ 580 m. (Pelet, 1960a).

20. *Haut-des-Champs III*, fig. 3/35, à l'ouest de la ferme. Coord. 526,650 / 168,100; altitude environ 585 m.

21. *En Mâchefer*, fig. 3; Au Croset, sur le chemin conduisant à la maison en amont du pont, M. E. Pingoud ramasse un fragment de fer brut. Immédiatement en amont, lieu dit *En Mâchefer*. Coord. 527,450 / 167,625; altitude 520 m. Le terrain a été complètement remanié par les inondations et les travaux d'endiguement de la *Venoge*, sans parler des dérivations pour les moulins et autres usines. La forge rurale des XVIII^e et XIX^e siècles est installée en aval, à l'emplacement de l'actuelle scierie. La destruction des archives de la baronnie de *La Sarraz* empêche de déterminer si une entreprise médiévale plus importante qu'un martinet de village a existé à cet endroit.

22. *En Melley*, fig. 3/37 le long du chemin conduisant de *Ferreyres* à *Saint-Loup*, coord. 527,420/168,00; altitude 560 m, scorie en calotte trouvée en 1973. Elle semble provenir d'une forge. Des vestiges d'habitat sont signalés dans cette zone.

23. *Au Montet*, fig. 3/33, en dessus du village, coord. 527,150 / 168,125; altitude environ 570-575 m. Scories signalées par M. Magnenat, dans des champs non labourés lors de la prospection. Echantillons peu nombreux immédiatement en amont de la maison la plus septentrionale de *Ferreyres* (maison Baron).

24. *Morandin I (Les Carres)*, fig. 3/23, dans les alluvions quaternaires. Le calcaire urgonien affleure cependant dans les bosquets qui subsistent à 60 m au sud-est, à 150 m au

nord-ouest. Coord. 527,350 / 168,320; altitude 570-575 m. Scories très abondantes sur une superficie d'environ 1200 m². Une bosse du terrain semble marquer le centre de l'exploitation. Les scories forment une tache noire très visible dans les labours. Elles paraissent plus vitrifiées que dans la plupart des autres sites, sans ressembler pour autant à du laitier de haut fourneau. Poids moyen des scories ramassées en surface: 26 g. 83% des échantillons font admettre une ventilation artificielle. Aucun n'est magnétique.

25. *Morandin II*, fig. 3/26, à 120 m au nord de Morandin I. Coordonnées 527,280 / 168,410; altitude 575-580 m. Site très limité au milieu des cultures, dans une petite dépression circulaire au bord de laquelle affleure le calcaire. Scories sur environ 80 m². Un fragment de céramique vernissée romaine (tardive?) a été relevé un peu au sud des sites de Morandin.

26. *En Orjus*, fig. 3/38. Coord. 526,400 / 167,925; altitude 580-590 m. Site distinct par son emplacement, mais mal délimité. Scories petites dans les champs en dessous du bosquet.

27. *Petits-Lacs I*, fig. 3/15, le long d'un talus broussailleux orienté au NNE-SSW et aboutissant à la clairière marécageuse des «Petits-Lacs». Coordonnées 525,875 / 168,800; altitude 645-650 m. Les scories, très abondantes s'étendent sur une trentaine de mètres en longueur, sur 24 m d'amont en aval. Surface environ 720 m². Poids moyen des scories ramassées en surface: 22 g. 76% des scories font penser à une ventilation artificielle.

28. *Petits-Lacs II*, fig. 3/16, au milieu de la clairière, en aval du chemin de desserte qui la traverse. Coordonnées 526,000 / 168,700; altitude 628-630 m. Deux fragments de céramique à pâte grise, d'aspect archaïque sont trouvés dans la zone des scories, qui ne semble pas très étendue. Poids moyen des échantillons ramassés en surface: 9 g. 68% des scories font penser à une ventilation artificielle. S'il n'y avait pas une interruption très nette entre Petits-Lacs I et II, la légèreté des scories recueillies les ferait attribuer à un effet du ruissellement.

29. *Petits-Lacs III*, fig. 3/19, à 50 m à l'ouest-sud-ouest de la clairière, dans la forêt. Coordonnées 525,800 / 168,580; altitude 635-640 m. La halde s'étend sur environ 35 m au haut du talus. Les scories ont roulé en aval sur quelque 29 m. Surface d'éparpillement plus de 1000 m². Poids moyen des scories ramassées en surface: 14 g. 60% des scories font penser à une ventilation artificielle.

30. *Petits-Lacs IV*, fig. 3/14, dans la forêt au nord-ouest de la clairière, 20 m en amont d'un ruisseau temporaire, affluent des Petits-Lacs. Coord. 525,700 / 168,825; altitude 650-660 m. La halde ne s'étend que sur une quinzaine de mètres. Les scories ont roulé d'amont en aval sur 20 m. Superficie de dispersion, environ 300 m². Le site est éloigné de 175 m de Bossena I, dans une forêt mêlée de chênes, de

hêtres et de taillis épineux. Poids moyen des scories relevées en surface: 11 g. 80% des scories font penser à une ventilation artificielle.

31. *Les Piauliauses*, fig. 3/11, dans la clairière, au bord d'un ruisseau. Coord. 526,050 / 169,020; altitude 630-640 m. Scories abondantes, légères, sur une superficie d'environ 450 m². Poids moyen des scories ramassées en surface: 8,2 g. 71% des scories font penser à une ventilation artificielle, mais moins efficace qu'à Morandin I.

32. *En Rogenex*, fig. 3/42. Scories peu nombreuses, en surface dans un secteur limité (100 m²). Coordonnées 526,100 / 167,780; altitude 575-580 m.

33. *Le Tignon*, fig. 3/28. Scories éparpillées dans les sillons, avec des déchets de gneiss et de molasse cuite; grenade de fer abondante dans tout le champ; une scorie avec traces de glaçage. Les scories se concentrent sur un léger mamelon, au point culminant. Coord. 527,000 / 168,205; altitude environ 580-590 m. L'Urgonien affleure à quelque 100 m au nord, alors que les fourneaux sont établis sur le terrain glaciaire. Poids moyen des scories ramassées en surface: 24 g. 72% des scories font penser à une ventilation artificielle.

34. Village de FERREYRES

a) Maison Favre (Affolter). fig. 3/36. Coord. 527,100 / 168,025; altitude 568-570 m. (Pelet, 1960a, 53). A la fin de l'été 1989, le talus derrière la ferme a été abattu pour agrandir une porcherie. Un four aurait été observé par le fils de M. Charles Affolter. Mais, à l'arrivée des archéologues, il ne subsistait plus qu'un niveau de scories mêlées de charbon dans le bord du talus. Datation calibrée au C14 par le laboratoire Archéolabs, 690±50 ap. J.-C. – Charbon de hêtre, chêne, noisetier, saule, *buis* et orme.

b) Cimetière. Une scorie en calotte, recueillie par Monsieur Affolter a été remise en 1989 à l'archéologue cantonal.

c) Des scories sont encore signalées:

– dans le jardin de la poste, En Etraz et dans la cour de la ferme Magnenat, fig. 3/39;

– au sud de la route Ferreyres -Moiry, à la sortie du village en direction de Moiry, fig. 3/43

Ces emplacements semblent distincts. Cependant il n'est pas impossible que les scories aient été déplacées pour former des sols bien drainés.

d) D'autres scories ont été relevées encore aux alentours du village,

– sous Corbarex, coordonnées 528, 000/ 168,075;

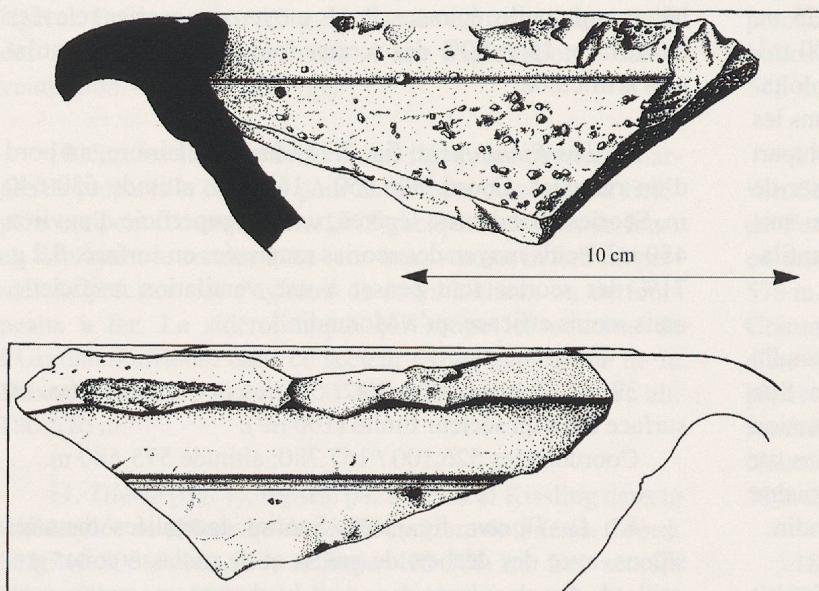
– aux Eterpis, coordonnées 526,925/ 167,825;

– En Esserton, fig. 3/48, coord. 526, 625/ 167,400, avec 2 tuileaux romains;

– En Isérable, fig. 3/27, coord. 526, 750/ 168,275 avec une zone riche en grenade;

– en aval de la Tine de Conflens, coord. 527,825 / 167,625.

Ces scories ne permettent pas de localiser les ferrières.



Commune de JURIENS

35. *Prins-Bois I*, fig. 3/12. (Pelet, 1960a et ci-dessus, p. 79). Les scories qui apparaissent en aval du chemin forestier et se sont répandues jusqu'à la frontière des communes de Juriens et de Romainmôtier ne forment pas des couches régulières. Il s'agit de dépôts alluvionnaires résultant d'inondations anciennes. Actuellement, le chemin forestier fait digue.

36. *Prins-Bois II*, fig. 3/10, fig. 8, et pp. 60-62.

37. *Rosset I*, fig. 3/1., Coord. 524,700 / 170,375 (Pelet, 1960a, 54; 82, analyse chimique et ci-dessus, p. 92). Le site est coupé par le réseau routier. Il s'étend au nord et à l'est de la route de Moiry à Juriens. Poids moyen des scories ramassées en surface: 15 g. 63% des scories font penser à une ventilation artificielle. Deux petits fragments de céramique sigillée romaine ont été relevés avec les scories, en dessous de la route.

38. *Rosset II*, fig. 3/2, à environ 200 m de Rosset I. Coord. 524,625 / 170,187; altitude environ 750 m. Les scories s'étendent sur une vaste superficie dans la pente labouée. Poids moyen des scories ramassées en surface: 28 g. 70% des scories semblent prouver une ventilation artificielle.

La prospection au détecteur de mines a fait ressortir en 1970 toute une zone aux *Champs-Neufs*, où les appareils réagissent sans qu'une scorie soit visible.

Quelques scories ont été découvertes en dessous de la ferme de Rauvin, fig. 1, coord. 524,025 / 170,565; altitude 820-830 m;

– dans le triangle formé par les chemins, coord. 524,125/170,450; altitude 815 m environ;

– En Rouge-Bou, coord. 524,425 / 170,825; altitude environ 810 m.

Un rebord de mortier romain, de médiocre cuisson, retrouvé en dessous du hameau du Cosson, comme les débris

Fig. 173. Trésis-des-Alleveys sur La Sarraz. Mortier S 14.

de terre sigillée de Rosset montrent que la clairière de Juriens était déjà en partie défrichée à l'époque romaine.

Commune de LA SARRAZ

39. *Maillefer I*, fig. 3/20.

40. *Maillefer II*, fig. 3/22.

41. *Maillefer III*, fig. 3/24, (Pelet, 1960a, 52; 83, analyses chimiques).

42. *Mormonnet*, fig. 1, dans un talus boisé sous un abreuvoir, et tout autour du bassin. Coord. 529,388 / 168,100; altitude 510 m. Scories de petites dimensions en général très

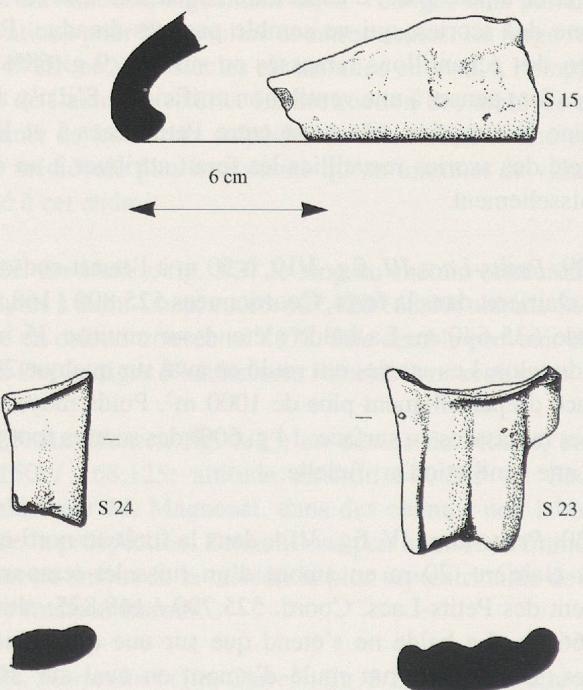


Fig. 174. Trésis-des-Alleveys. Céramique S 15, 23, 24.

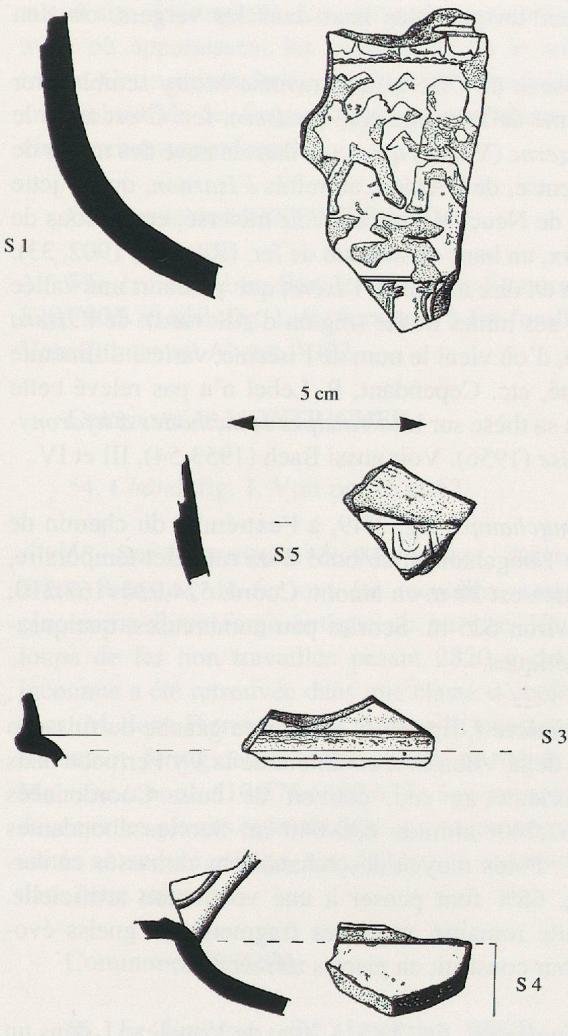


Fig. 175. Trésis-des-Alleveys. Terre sigillée S 1, 5, 3, 4.

compactes et grenaille magnétique, signalées par Bertrand Jaccard. Bien que les scories soient caractéristiques, elles semblent transportées pour améliorer l'accès à l'abreuvoir, et non issues d'une forge *in situ*.

43. *Trésis-des-Alleveys*, fig. 3/18; fig. 173-176, dans une échancrure de la forêt. Coord. 527,575 / 168,625; altitude 580-590 m. Scories et minerai parmi les vestiges d'un habitat romain découvert par M. Charles Affolter. Alors que la zone cultivée (où affleurent les vestiges) est recouverte d'alluvions quaternaires, la forêt qui la borde a crû sur l'Urgonien. Des fragments de *tegulae* et d'*imbrices*, des tessons appartenant à une soixantaine de plats, bols, vases, assiettes, un grand bronze de l'empereur Commode (vers 180 ap. J.-C.) ont été recueillis. Il s'agit de poterie commune grise, faite au tour, de mortiers (fig. 173-174), d'anses d'amphores (fig. 174) et de tessons de terre sigillée. Le tesson S3 (fig. 175) appartient au Service II, Haltern 3a, sigillée italique, début du I^{er} siècle ap. J.-C. S1 (fig. 175) provient de la Graufesenque (Oswald 1016-1017) et remonte à la seconde moitié du I^{er} siècle (règnes de Claude à Domitien). S4 (fig. 175) correspond à Dragendorff 36 (troisième quart du I^{er} siècle). D'autres modèles sont plus tardifs, en particulier les fonds de plats S10 et S11 (fig. 176) probablement du II^e siècle. Le

décor hachuré des céramiques de l'Argonne (première moitié du III^e siècle) apparaît sur le tesson S2 (fig. 176). L'occupation gallo-romaine s'étend manifestement du début du I^{er} siècle à la première moitié du III^e siècle ap. J.-C.

Poids moyen des scories de la forge domaniale: 36 g.

Des scories éparses ont encore été relevées sur le territoire de La Sarraz:

- au Mormont, coordonnées 530,350 / 167,825;
- près des Buis fig. 3/30, coordonnées 528,575 / 168,138;
- près de La Bruyère, coordonnées 528,325 / 167,650.

Commune du LIEU

44. *Le Charoux*, n'apparaît pas sur la fig. 1. Voir page 65.

Commune de LONGIROD

45. *Les Faverges*, près d'Outard (n'apparaît pas sur la fig. 1). Coord. 510,450 / 150,500; altitude environ 840 m.

Dans un champ labouré, dont l'angle est charbonneux, nous avons ramassé deux scories, dont une magnétique. A

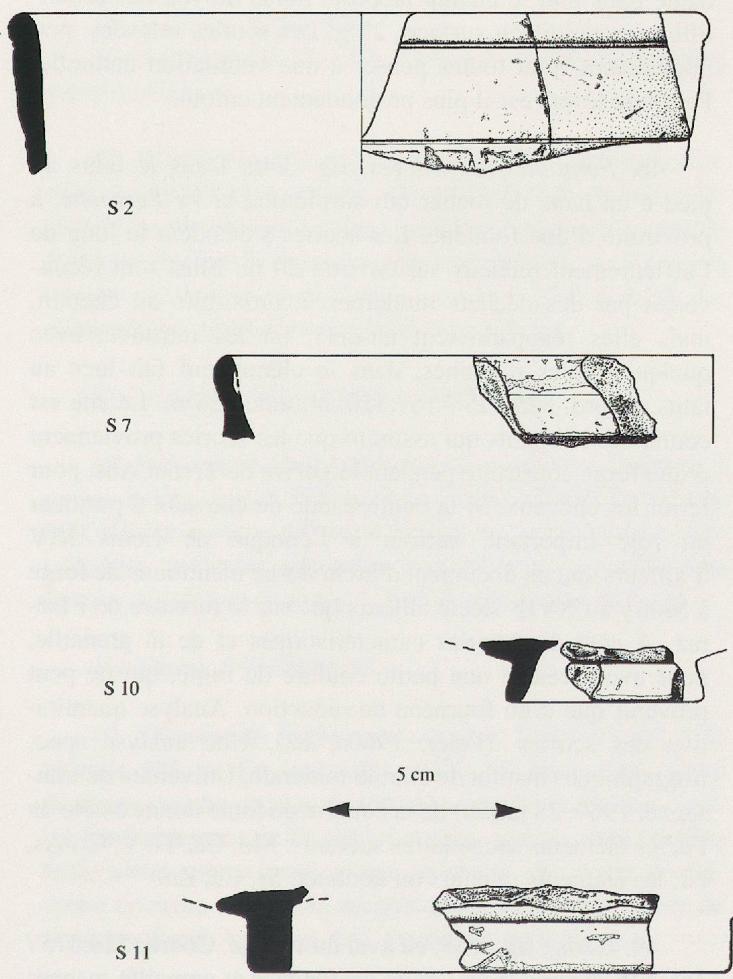


Fig. 176. Trésis-des-Alleveys. Terre sigillée S 2, 7, 10, 11.

courte distance, une haie a crû sur une succession de dépressions qui font penser à une galerie effondrée. Si les Faverges, du latin *fabricas*, les forges, sont dans les alluvions glaciaires, le calcaire urgonien apparaît à moins de 300 m au nord-ouest.

Commune de MOIRY

46. *Carolines*, fig. 3/34, à la limite des territoires de Ferreyres et de Moiry, au sud du carrefour de chemins forestiers et de l'ancienne route de Moiry à Juriens, 50 m en dessous de la route actuelle. Coord. 525,325 / 168,050; altitude 640-650 m. Une source sourd 80 m en aval.

La halde forme un monticule complexe repérable dans les taillis. Elle semble résulter de plusieurs dépôts successifs de scories, qui recouvrent une superficie de 400 m². Scories assez volumineuses; poids moyen des échantillons ramassés en surface: 41 g. 72% des échantillons font supposer une ventilation artificielle.

47. *La Cressonnière*, fig. 3/50. En amont de la bifurcation des routes de Moiry à Envy et à La Praz en dessus du chemin vicinal qui part de la route de La Praz, à la sortie nord du village. Coord. 524,425 / 167,037; altitude 630-640 m. Quelques scories compactes, à petites bulles; grenaille abondante dans tout le champ labouré. Poids moyen des échantillons recueillis en surface: 29 g. Les scories relevées, peu nombreuses, font toutes penser à une ventilation naturelle. Peut-être le site est-il plus profondément enfoui.

48. *Fontaines-des-Forges*, fig. 3/46. Dans le talus au pied d'un banc de rocher qui surplombe la *Vy Ferroche*, à proximité d'une fontaine. Les scories s'étendent le long de l'affleurement rocheux sur environ 20 m. Elles sont recouvertes par des déchets modernes, à proximité du chemin, mais elles réapparaissent au-delà; on les retrouve, avec quelques tuiles romaines, dans le champ qui fait face au talus. Coord. 525,025 / 167,450; altitude 630 m. Le site est connu des habitants qui assurent que les scories proviennent d'une forge construite pendant la guerre de Trente Ans, pour ferrer les chevaux. Si la contrebande de chevaux a pu jouer un rôle important, surtout à l'époque de Louis XIV d'ailleurs, aucun document d'archives ne mentionne de forge à Moiry au XVII^e siècle ailleurs que sur le ruisseau de l'*Iséraz*. A côté des scories caractéristiques et de la grenaille, nous avons relevé une petite coulure de fonte, qui ne peut provenir que d'un fourneau de réduction. Analyse quantitative des scories (Pelet, 1960a, 83). Une analyse spectrographique (Institut de chimie minérale, Université de Lausanne, 1960, 28 juillet) de la coulure de fonte donne à côté du Fe, les éléments secondaires suivants: Mn, Ca, Ti, V, Cr, As, Ni; les éléments mineurs ou douteux: Sr, Cu, Zn.

49. *Iséraz*, fig. 3/55, en aval du village. Coord. 524,575 / 166,575. Scories à 40 cm de profondeur et grenaille magnétique au bord d'une source qui se déverse dans l'*Iséraz*. Les échantillons recueillis sont petits et légers. Le centre du site

doit se situer un peu plus haut dans les vergers, où rien n'apparaît.

Le ruisseau de l'*Iséraz* qui traverse Moiry semble tirer son toponyme de la racine celtique *isern*, fer. C'est aussi le cas de la *Lizerne* (Valais) qui coule dans la zone des mines de la Chamosentse, de l'*Arnon*, autrefois *l'Isarnon*, qui se jette dans le lac de Neuchâtel après avoir traversé, en dessous de Sainte-Croix, un banc de minerai de fer. (Rittener, 1902, 33). On pourrait en dire autant de l'*Isère*, qui parcourt une vallée célèbre par ses mines de fer (région d'Allevard), de l'*Jizera* en Bohème, d'où vient le nom de l'isérine, variété d'ilménite ou fer titané, etc. Cependant, P. Lebel n'a pas relevé cette racine dans sa thèse sur les *Principes et méthodes d'hydromanie française* (1956). Voir aussi Bach (1953-54), III et IV.

50. *Longchamps*, fig. 3/49, à l'extrémité du chemin de desserte de Longchamps, au bord d'un ruisselet temporaire, dont la source est 20 m en amont. Coord. 524,930 / 167,210; altitude environ 625 m. Scories peu nombreuses, quelques-unes magnétiques.

51. *Voualève I*, fig. 3/44, sur la rive gauche du ruisseau permanent de la *Voualève*, en amont de la *Vy Ferroche* dans un talus orienté au sud, couvert de buis. Coordonnées 525,175/167,740; altitude 630-640 m. Scories abondantes sur 120 m². Poids moyen des échantillons ramassés en surface: 29 g. 66% font penser à une ventilation artificielle. Aucune tuile romaine, mais des fragments de gneiss évoquent un four construit en pierres réfractaires.

52. *Voualève II*, fig. 3/45, à 70 m de *Voualève I*, dans un talus tout aussi broussailleux, mais orienté à l'est. Coordonnées 525,225/167,750; altitude 630-635 m. Scories abondantes sur 18 m en suivant le mouvement du terrain et 12 m d'amont en aval, soit sur environ 220 m². Les scories s'étendent jusqu'à 6 m de la lisière du sous-bois. Poids moyen des scories ramassées en surface: 43 g. 55% des scories seulement suggèrent une ventilation artificielle. La largeur de la halde peut faire penser à deux fourneaux.

Sur le territoire de Moiry, des scories ont été encore relevées, en petit nombre:

- a) En Pertuis fig. 3/56, coordonnées 525,150 / 166,350;
- b) à la Lécherette fig. 3/51, coordonnées 525,650 / 167,000; fig. 3/52, coordonnées 525,750 / 166,900; fig. 3/53, coordonnées 525,505 / 166,775, avec fragment de tuile romaine;
- c) au sud du village fig. 3/54, coord. 524,350 / 166,600;
- d) aux Terres-Rouges fig. 3/47, coord. 526,060 / 167,425.

Ces scories peuvent provenir soit d'un site recouvert par des apports de terre soit de transports dus aux travaux des champs. La grande étendue de forêts des Bois de Moiry et Bois Collard entre les routes de Moiry à La Praz et de Moiry à Juriens a été entièrement prospectée au détecteur de mines, avec l'aide d'un groupe de soldats. Cette forêt très mouvementée, parsemée de lapiés et sans eau, n'a révélé

aucun site sidérurgique. Les entreprises se sont installées en aval, où apparaissent les sources, et où le sol est moins traître. Cette grande forêt semble avoir servi à l'alimentation en combustible des forges d'aval, – peut-être aussi à l'approvisionnement en minerai.

Commune de MONTCHERAND

53. *La Léchère*. Sur le tracé de l'autoroute, coord. 528,790/176,850, fig. 1. 9 fourneaux à fer fouillés en 1983. Voir Emmanuel Abetel, 1992.

Commune de MONTRICHER

54. *Châtel*, fig. 1. Voir pp. 16 et 62.

55. Sur le territoire de Montricher, d'autres vestiges d'une industrie du fer ont été recueillis, sans que l'emplacement d'une forge antique ait pu être déterminé. Une loupe de fer non travaillée pesant 2820 g de provenance inconnue a été retrouvée dans une classe d'école de Montricher; M. Jean-Pierre Gadina a recueilli une scorie de fond, fortement ferrugineuse, dans un tas de dépôt près de la Malagne (coord. 519,575 / 160,675). Les paysans viennent y déverser les pierres et les déchets qui encombrent les champs situés au sud du village. Une halde non repérée doit exister dans cette zone.

Commune d'ORNY

56. *Es Faveyres*, fig. 1. (Pelet, 1960a, 52). Coord. 530,100 / 168,200, site mal attesté.

57. *Montolivet*, fig. 1. (Pelet, 1960a, 51). Coord. 530,625 / 169,775.

58. *Sur-le-Mont*, fig. 1. Coordonnées 530,625 / 169,050; altitude 460-470 m. Vestiges d'un habitat romain, dans les labours; tuileaux, débris d'hypocauste, céramique, déchets de bronze, quelques scorries éparses dans les sillons, en général légères; l'une d'elles est magnétique. Leur forte teneur en cuivre les rend suspectes. Forge domaniale?

59. *Les Vignes-d'Orny*, fig. 1. (Pelet, 1960a, 51). Coord. 530,750 / 168,700; altitude 490-500 m. Scories peu nombreuses, quelques-unes magnétiques, dispersées sur 140 m. Sur la petite calotte de fer découverte par M. J.-P. Gadina en 1969, voir p. 65.

Commune de POMPAPLES

60. *Saint-Loup*, fig. 3/13. (Pelet, 1960a, 52). Coord. 528,125 / 168,850; altitude 530-535 m.

Commune de PROVENCE

61. *Les Rochat*, coord. 541,650 / 193,400; altitude 1160

m. Site signalé en 1869 par Auguste Jaccard et retrouvé par M. Daniel Aubert en 1971 (voir p. 6). Près de la ferme des Rochat, habitée précédemment toute l'année, et entourée de cultures. Les scories recueillies par M. Daniel Aubert sont très compactes et semblent provenir d'une exploitation archaïque à ventilation faible, utilisant le sidérolithique. Hors de la fig. 1.

Commune de ROMAINMÔTIER

62. *En Barnel I*, fig. 3/3, à proximité d'une source captée. Coord. 524,875 / 169,900; altitude 740 m. A la bifurcation de la route de Moiry à Juriens et du chemin forestier conduisant aux Prins-Bois. Les scories s'étendent sur environ 22 m dans la partie supérieure de la halde; elles s'éparpillent sur plus de 700 m². Poids moyen des scories ramassées en surface: 37 g. 42% seulement des échantillons font penser à une ventilation artificielle.

63. *En Barnel II*, fig. 3/4, dans une clairière non labouée, le long du chemin conduisant aux Prins-Bois. Coord. 524,625 / 169,675; altitude 745 m. Le détecteur de mines réagit sur plusieurs centaines de mètres carrés en amont du chemin; il ne le fait ni dans la forêt ni en aval.

64. *Bellaires I*, fig. 3/5.

65. *Bellaires II*, fig. 3/6.

66. *Bellaires III*, fig. 3/7. Commune de Romainmôtier, autrefois Envy.

67. *Echilly*, fig. 3/8, 9, dans les taillis vis-à-vis de la clairière des Piauliauses. Coord. 526,150/169,100; altitude 630-640 m. Scories denses sur environ 740 m² au nord du chemin forestier, et éparses encore sur environ 300 m² au sud. Poids moyen des scories ramassées en surface: 17,5 g. 81% des échantillons suggèrent une ventilation efficace.

Commune de VILLARS-LE-TERROIR

68. *Buron*, à proximité de la ferme, scorie très compacte, à petites bulles, pesant 525 g. Coord. 536,700-800 / 150,500-600; altitude environ 630 m. A 2,5 km de l'affleurement sidérolithique de Goumoens-le-Jux. Recueillie par les enfants du fermier. En dehors de la fig. 1. Indice d'un atelier de forge.

Commune d'YVERDON

69. *Chantier du Technicum*, coordon. 540,450 / 181,270; altitude 435 m. En septembre 1972, M. Krattinger relève dans une couche au plus tôt romaine, un tesson de terre sigillée (probablement du II^e siècle) et deux scories, dont une très belle sorde approximativement circulaire, de 15 cm de diamètre environ, compacte, magnétique, qui rappelle celles de Baulmes-Saint-André (p. 64). En dehors de la fig. 1.

Une structure s'esquisse

Malgré ses lacunes, l'inventaire des sites donne quelques aperçus intéressants. Il est clair que les forgerons choisissent pour s'installer de préférence un talus à pente vive (18 cas), à décrochement rocheux (7 cas), en pente assez douce (17 cas).

Au Tignon, les scories apparaissent sur un léger dos d'âne. Deux autres haldes seulement sont relevées dans des zones d'alluvions et pourraient être liées à un mineraï de marais: Petits-Lacs II et Piauliauses. A trois reprises, les scories sont mêlées à des vestiges d'habitat romain. Les recherches de Vincent Serneels permettent de les attribuer à des forges, en particulier aux Vignes-d'Orny, et à Pré-Penard, en pleine zone d'alluvions glaciaires. On les retrouve en dehors du bassin sidérurgique, par exemple à la Româneche sur Etoy dans la région lémanique.

Certaines exploitations sont très limitées: leurs scories ne recouvrent pas plus de 120 m². A l'exception de Morandin II, enserré dans le rocher, il s'agit de sites dans des talus forestiers abrupts qui n'ont jamais été cultivés. Dans les sites éventuellement cultivables, comme à Bossena I ou En Echilly «En eschelliez unam posam nemoris olim terre...» (En Echilly, une pose de bois, autrefois terre..., ACV, Fg18, f.167v°), les scories se dispersent sous l'effet de la charrue et de la herse. Elles sont beaucoup moins denses en surface.

Le poids moyen des scories ramassées varie passablement: cette variation peut provenir de multiples facteurs, parmi lesquels il ne faut pas oublier le hasard de l'échantillonnage. Cependant il est, en temps normal, inférieur à 50 g. Ne font exception que les cas où nous récoltons des scories de forges comme à Baulmes-Saint-André ou à Donchires sur Ferreyres. Les scories des sites constamment forestiers ne sont pas plus lourdes que celles des labours ou des pâturages. Les meilleures ventilations ne sont pas davantage responsables des scories plus légères, qui semblent plus fréquentes dans les sols humides, par exemple autour des clairières des Petits-Lacs, aux Piauliauses, à l'Iséraz. Mais la règle n'est pas absolue.

Les échantillonnages recueillis, malgré leur précarité font ressortir des différences qui ne sont pas dues uniquement au hasard.

Dans les sites où plus de 70% des scories ont été fortement soufflées ou vitrifiées, l'emploi de soufflets efficaces est évident. Lorsque la moitié d'entre elles (40 à 60%) est compacte, on peut se demander si les deux types de ventilation n'ont pas existé, soit dans des fourneaux à ventilation mixte, soit dans des entreprises successives. Lorsque les scories compactes en calottes dominent, elles signalent une simple forge.

Les analyses chimiques apportent un élément plus satisfaisant: elles montrent l'utilisation d'un même type de mineraï tout autour de Ferreyres. D'un site à l'autre, les déchets sont étroitement apparentés. Mais tous ces fourneaux ne se sont pas ravitaillés à la même minière. Ils ont exploité divers affleurements du même gisement.

Une simple prospection ne permet pas de cuber les déchets de chaque site. En tenant compte de l'étendue de la

halde et de l'abondance des scories, on peut estimer cependant l'importance des exploitations. Dix-huit haldes n'ont probablement abrité qu'un seul fourneau (surface de dispersion: 80-120 m² de scories denses, 250-400 m² de scories éparses).

Six exploitations sont un peu plus importantes (250-300 m² de scories denses, jusqu'à 500 m² de scories éparses). Apparemment, plusieurs fourneaux y ont été exploités.

Quinze sites résultent d'une exploitation sur une plus vaste échelle ou d'une plus longue durée (scories denses sur 400 m² et plus, scories éparses sur 1000 m² et davantage).

Si nous laissons de côté les sites mal déterminés, nous obtenons le classement suivant:

A) 15 ferrières importantes:

ÉCLÉPENS: 11. Tilérie

FERREYRES: 24. Morandin I; 27. Petits-Lacs I;

29. Petits-Lacs III; 34. Maison Favre et village

JURIENS: 35. Prins-Bois I; 37. Rosset I; 38. Rosset II

MOIRY: 46. Carolines; 48. Fontaine-des-Forges

MONTCHERAND: 53. La Léchère

ROMAINMÔTIER: 62. Barnel I; 64. Bellaires I; 66.

Bellaires III; 67. Echilly.

B) 6 ferrières moyennes:

CUARNENS: 6. Prêle

FERREYRES: 14. Combattions; 18. Haut-des-Champs I;

30. Petits-Lacs IV; 31. Piauliauses

ROMAINMÔTIER: 63. Barnel II.

C) 17 petites ferrières:

FERREYRES: 12. Bossena I, un seul fourneau; 13. Bossena II; 17. Fourmilières; 19. Haut-des-Champs II; 20.

Haut-des-Champs III; 25. Morandin II; 28. Petits-Lacs II; 35. Tignon.

JURIENS: 36. Prins-Bois II (un seul fourneau)

MOIRY: 47. Cressonière; 50. Longchamp;

51. Voualève I; 52. Voualève II

MONTRICHER: 54. Châtel

POMPAPLES: 60. St-Loup

PROVENCE: 61. Les Rochat

ROMAINMÔTIER: 65. Bellaires II (un seul fourneau).

D) 12 forges ou chaufferies:

BAULMES: 2. Forel/St-André

CUARNENS: 6. Pré Penard I; 7. Pré Penard II

ÉCLÉPENS: 9. Trois-Noyers

FERREYRES: 15. Donchires I; 16. Donchires II;

22. Melley

LA SARRAZ: 43. Trésis-des-Alleveys

LE LIEU: 44. Le Charoux

ORNY: 59. Vignes-d'Orny

VILLARS-LE-TERROIR: 68. Buron

YVERDON: 69. Chantier du Technicum.

Il est tentant de chercher dans la multitude des sites repérés un ou plusieurs ensembles logiques. Nous avions suggéré (Pelet, 1960a) un lotissement. Depuis 1960, le nombre des sites connus a quadruplé, les distances entre eux se sont raccourcies, l'hypothèse formulée n'a plus de valeur; l'idée d'une organisation d'ensemble subsiste. On constate ainsi que cinq haldes importantes: 48, 46, 27, 67, 66 sont distantes de 700 m environ. D'autre part, sept exploitations: 49, 50, 48, 51, 52, 46, 13, 12 s'inscrivent le long d'une droite parallèle à la route de Moiry à Envy. Une ligne différente s'esquisse en amont de Ferreyres, groupant 32, 26, 20, 33, 24, 17... Est-ce l'effet d'un ou de plusieurs lotissements?

Les indices d'une centuriation romaine ont été relevés en Suisse romande à Nyon (Pelichet, 1947), à Mollens au pied du Jura vaudois (Dovring, 1950), à Avenches (Grosjean, 1963). Ils sont confirmés par les recherches de Nathalie Pichard Sardet (1989). Pour le moment, ni les photographies aériennes, ni l'étude du cadastre, ni la recherche de réseaux de forges ne permettent de reconstituer un système de répartition des ferrières. Il n'est pas possible de dénouer, sans fouilles répétées, l'imbroglio des haldes de toutes époques.

Plusieurs sites sont extrêmement rapprochés. Ceux des Belaires se succèdent dans le temps. Nous ignorons s'il en est de même dans les autres sites, autour de Ferreyres par exemple. Les fouilles ont cependant démontré que cette production du fer s'est perpétuée au cours des siècles; les prospections, qu'elle était largement répandue.

L'inventaire des sites permet de plus de distinguer deux types de forges: les unes à l'écart des villages, souvent modestes, parfois importantes: ce sont les ferrières. Les autres, liées à un habitat romain, sont des ateliers de forge: chaufferies (foyers à recuire), ou forges de maréchalerie, celles que recommande Palladius (*Livre I, § 6*).

Le mode de production relevé dans ce volume diffère profondément de celui des siècles postérieurs. Dès le XIII^e siècle, le renouveau démographique accroît la demande de fer; parallèlement, l'adoption de souffleries hydrauliques améliore la productivité des fourneaux, qui tendent progressivement à se transformer en hauts fourneaux producteurs de fonte. Cette révolution technique et ses conséquences économiques et sociales sont présentées dans les volumes 2 et 3 de *Fer charbon acier dans le Pays de Vaud* (1978; 1983).

À LA RECHERCHE DE COURANTS PROFONDS

L'INVESTIGATION archéologique présentée dans ce volume a évité de multiplier les fouilles et d'élargir un secteur de recherches qui pouvait s'étendre indéfiniment. Une archéologie intensive, si l'on peut dire, a paru préférable aux enquêtes extensives faites le plus souvent dans ce domaine.

Le choix d'un secteur limité et la petitesse même des crassiers fouillés présentaient des avantages évidents. Jusqu'aux fouilles de Claude Domergue (1973) aux Martys, les archéologues français ont reculé devant les centaines de milliers de mètres cubes que représentent certains *ferriers* de l'Yonne ou de l'Aude, devant les ateliers protégés par d'authentiques remparts de scories (Léger, 1875; Tryon-Montalembert, 1955-56). Ce sont les industriels qui les ont exploités, pour récupérer le fer resté dans les crasses. Des sites entiers ont été ainsi anéantis, dans l'Yonne en particulier, au profit de la sidérurgie lorraine de l'entre-deux-guerres (Goudard, 1936; Monot, 1963, 1964).

En Pologne, une prospection généralisée, aérienne et magnétique, l'envoi sur le terrain de multiples classes d'écoliers et un travail d'équipe soutenu ont seuls permis de prendre la mesure des vastes exploitations de la Lysa Gora (Bielenin, 1966; 1974). Ailleurs, les terrils des grandes entreprises industrielles ont submergé les vestiges protohistoriques ou médiévaux. Au pied du Jura vaudois, plus aucune mine n'est exploitée depuis plusieurs siècles; les sites antiques qui affleurent dans les labours ou dans les forêts sont à la taille de l'archéologue et de son équipe de collaborateurs.

Des recherches d'archives sur l'industrie du fer et la découverte fortuite de dépôts de scories dans la forêt des Prins-Bois sont à l'origine des fouilles présentées dans ce volume. Ces investigations d'un type encore peu fréquent dans les années 60 s'inscrivent dans une ligne helvétique et jurassienne, que domine la silhouette d'Auguste Quiquerez, le fondateur de l'archéologie sidérurgique. Elles correspondent aussi à une préoccupation qui devient toujours plus évi-

dente à mesure que le XX^e siècle approche de sa fin. Partout des spécialistes s'interrogent sur le rôle de l'artisanat et de l'industrie d'autrefois et tentent de percevoir quel a été leur apport à l'évolution des sociétés humaines et à la civilisation actuelle. Le Comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques publie chaque année, depuis 1967, dans les *Archeologické Rozhledy*, à Prague, la bibliographie qui la concerne.

Il y a cent quarante ans, lorsque l'inspecteur des mines Quiquerez se penchait sur les plus anciennes usines à fer de l'actuel canton du Jura, il paraissait un «antiquaire» égaré; il fut un précurseur incompris et parfois calomnié. Pendant des siècles, l'Europe s'est montrée ingrate envers les artisans de sa puissance et de sa prospérité. Elle a méprisé les progrès techniques fondamentaux qu'accumulaient les artisans médiévaux. Jusqu'au début de ce siècle, ses intellectuels, imbus d'humanisme classique et de tradition ont dénié toute intelligence supérieure aux inventions techniques, ont sous-estimé leur rôle dans le développement de l'humanité et de sa pensée. Avant Bergson, qui aurait osé donner une place primordiale à *l'homo faber* plutôt qu'à *l'homo sapiens*?

Aux yeux des Européens, la civilisation même de l'Europe était celle du théologien, du penseur et de l'artiste. Or, cette civilisation s'est imposée par la supériorité de ses techniques industrielles – et militaires.

Il n'y a pas beaucoup d'années que le développement des sciences exactes et la place prépondérante que l'ingénieur prend dans la société ont mis en évidence le rôle fondamental de la réflexion scientifique et de ses applications techniques, pour assurer la puissance politique, certes, mais plus encore pour amener une meilleure perception de l'univers.

Dans la seconde moitié du XX^e siècle, l'archéologie industrielle vient à la rescoufle de l'histoire des entreprises. Collectionner des outils en voie de disparition, restaurer un moulin, rechercher les vestiges de voies ferrées abandonnées ou d'écluses ensablées attirent les amateurs; la reconstitution des usines de la Renaissance ou des procédés de fabrication

des sociétés primitives préoccupent les archéologues de métier. C'est par cette voie que l'on retrouvera peut-être les courants les plus profonds, et à la longue les plus décisifs de l'histoire.

Des revues, des publications savantes font peu à peu de l'archéologie industrielle une discipline à part.

Mais cette mode n'est pas sans danger: que de destructions irréparables, que de restaurations abusives commises par des amateurs maladroits! Les dégâts, même irrémédiables, de détail sont cependant moins graves que les idées fausses que répandent des généralisateurs trop pressés. Ainsi André Haudricourt (1968), qui ignorait les expériences de J.W. Gilles, de R. Pleiner, de K. Bielenin, d'A. Mazur – et j'en passe – affirmait dans une étude qui devait servir de point de départ à la recherche, que la température d'un fourneau ne peut dépasser 1100° sans soufflerie. Dans le même ouvrage, Jean Michéa (1968) ne connaissait pas davantage les fours à ventilation naturelle soudanais ou celtiques et ne distinguait pas la méthode corse de la catalane; sans sourciller, il classait sous ce terme les techniques très différentes de l'Afrique noire. Partant de prémisses fausses, il n'en bâtissait pas moins une méthodologie...

Notre ambition était plus modeste, et plus haute: établir des faits et les comprendre. Une industrie du fer, tombée dans un oubli presque total avant 1960, s'est perpétuée pendant plus de deux mille ans au pied du Jura et dans le Jura vaudois. Les fouilles de talus boisés, abrupts et rocheux éclairent dix siècles de son existence. Aux 24 fourneaux dégagés à Prins-Bois I, se sont ajoutés deux fourneaux à ventilation naturelle et vingt et un autres, munis de souffleries, puis les 9 fourneaux de Montcherand décrits par Emmanuel Abetel (1992).

L'étude des tuyères a fait ressortir la transmission de tours de main en même temps qu'une amélioration progressive de la ventilation, jusqu'à la fin de l'Empire romain. Les fourneaux, dont la hauteur tend à se stabiliser entre 4 et 5 pieds romains (118-148 cm) se transforment de génération en génération et se rattachent à sept modèles (Pelet, 1977d, 173-180; 1982a, 205-214). Chaque groupe, clan ou famille de fourneaux (fig. 133) marque une étape de la technique de réduction du fer. Un seul four rompt la série: entre ses prédécesseurs gallo-romains et ses successeurs romans, il est de facture germanique.

Une stratigraphie attentive prouve que douze des quinze ateliers n'ont été composés que d'un fourneau unique. Les installations accessoires, indices d'une organisation plus industrielle: tas de charbon, places de dépôts de minerai, fours à recuire, n'apparaissent que dans des exploitations déjà tardives. Un seul atelier, celui des fours XIX et XX de Bellaires III fournit la preuve d'une bâtie légère autour des fourneaux.

A deux reprises seulement, le lieu d'extraction du minerai est repéré.

Les forges étudiées, forestières et non villageoises se limitent à la réduction du métal. Le maréchal, le taillandier, l'armurier travaillent ailleurs: dans les agglomérations urbaines comme Avenches ou Lousonna, ou dans les villas du pied du Jura.

D'une efficacité limitée, les fourneaux n'extraient qu'un quart, au mieux qu'un tiers du fer contenu dans le minerai, mais ils produisent un métal de qualité satisfaisante. La production reste faible; elle va, grosso modo, de 0,5 t (Prins-Bois I) à 10 t (Bellaires III, XIX-XX) par fourneau. La forêt charbonnée pour chaque entreprise varie probablement entre deux et trente hectares.

La très faible récolte d'objets suggère une exploitation saisonnière, dans des installations précaires en tout cas. Elle ne suffit pas à révéler le niveau social ou le degré de prospérité des forgerons. Il ne s'agit pas moins d'artisans attentifs, amenés de génération en génération à perfectionner leur technique et à accroître leur productivité.

L'imprécision de la chronologie, toujours fâcheuse en histoire politique est un moindre mal lorsqu'il s'agit de classer des techniques qui ne se répandent et ne s'abandonnent que très lentement. D'autres fouilles mettraient au jour d'autres modèles de fourneaux, d'autres chaînons intermédiaires.

L'essentiel était de relever, contrairement à l'opinion couramment admise, une évolution régulière et de constater de plus que cette évolution est, en un sens, autonome. Les forgerons du pied du Jura ont leurs tours de main, leurs habitudes particulières, leur intelligence propre de la fonte du sidérolithique.

Ils se rattachent cependant à la tradition de l'Europe celtique. Avec ou sans soufflets, leurs fourneaux se classent dans les modèles «construits» issus de La Tène (Gilles, 1936; 1956; 1957). Ils se distinguent des foyers «creusés» de l'époque de Hallstatt, ou formés de matériaux amoncelés, comme ceux de la zone tyrrhénienne (Pelet, 1970c; 1972). Les premières tentatives de synthèse, comme la carte que R. Pleiner (1965, 11-85) esquisse dans son étude sur la Germanie antique et les recherches entreprises depuis lors de l'Irlande à l'Oural montrent que de La Tène finale aux destructions provoquées par les grandes invasions, l'industrie du fer a pénétré dans chaque circonscription administrative. En exagérant à peine, on pourrait dire que les fourneaux à fer sont à peine moins courants que les fours de tuiliers et de briquetiers.

Dans notre inventaire, des haldes limitées mais nombreuses, replacent cette industrie du fer antique dans un contexte économique caractérisé par la difficulté des transports pondéreux. Les gisements les plus modestes méritent d'être exploités s'ils sont proches des utilisateurs. La prospérité naît de la multiplicité des petites entreprises. Cette prolifération ne se limite pas, d'ailleurs, à la zone prospectée. L'exploitation des minerais de fer crée tout le long du Jura, du Pays de Gex (pour ne pas dire du Salève) jusqu'à Schaffhouse un chapelet de petits centres sidérurgiques, – qui n'ont pas tous attiré l'attention comme la région de Ferreyres ou le bassin de Delémont. Les historiens et les archéologues reconnaissent maintenant leur importance, que soulignent les fouilles et les enquêtes en cours à Porrentruy, en Argovie, à Soleure, à Bâle-Campagne et à Schaffhouse. Nous en avons présenté dans ce volume un sous-ensemble, pour mieux appréhender le tout.

LES SOURCES

Fonds d'archives

Archives cantonales vaudoises, (ACV)

Bb 36, vol. 6, Onglets bailliaux, Romainmôtier
C VII a Parchemins du Couvent de Romainmôtier
Fg 18 Reconnaissances sur le territoire d'Envu
Fj 14 Reconnaissances en faveur de LL.EE de Berne, Cuarnens,
1549-50
GB 19A Plan cadastral de Berolle, 1807-1808
GB 66 Plan cadastral de Moiry, 1677

Bibliographie

Abetel, Emmanuel et Serneels, Vincent, (1987), La métallurgie antique en Suisse, Recherches récentes, *Mines et Métallurgie*, pp. 211-225.

Abetel, Emmanuel et Serneels, Vincent, (à paraître), Recherches sur la métallurgie du fer dans le Canton de Vaud. Analyse multivariée des scories, *Archäometallurgie*.

Abetel, Emmanuel, avec la collaboration de Max Klausener et de Vincent Serneels, (1992), *Le site industriel de Montherand*, Cahiers d'archéologie romande N° 54, Lausanne.

Abetel, Emmanuel, (1992), Proposte sulla natura del mercato del Ferro in Svizzera all'epoca romana, *Archeometallurgia Ricerche e Prospettive* (Actes du colloque international d'archéométallurgie, Bologne, 1988), Bologne. pp. 113-122.

Andrieux, Philippe, (1990), *Prolégomènes à une étude tracéologique sur les structures d'élaboration thermique et les parois argilesables*, (1990) Thèse de doctorat de 3^e cycle, Besançon, 1990, 3 vol. dactyl.

Andrieux, Philippe, (à paraître), Expérimentation des fourneaux métallurgiques: problèmes, dynamique des structures et production métallurgique, *Archäometallurgie*.

Annuaire de la Société suisse de Préhistoire, vol. 31, (1939); 51, (1964).

Industrial Archaeology 1968, (1969) ed. by Kenneth Hudson and Neil Cossons, Newton Abbot.

Industrial Archaeology. The Journal of the History of Industry and Technology, (1969 et suiv.) ed. by John Butt and Ian Donnachie, Newton Abbot.

Archäologische Eisenforschung in Europa, (1977), Eisenstadt, (Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland).

Archäometrie, Rekonstruktion und Experimente als Methode der technikgeschichtlichen Forschung – Das Beispiel der frühen Eisenherzeugung, 8 Technik geschichtliche Arbeitstagung der Eisen-Bibliothek vom 6-7 September 1985, *Ferrum* 57, (1986, mai).

Archéologie minière – Forez et Massif central, (1975) Actes du 98^e Congrès National des Sociétés Savantes, St-Etienne, 1973, Section d'archéologie et d'histoire de l'art. Paris.

Atlas de la Suisse, (1965 et suiv.) publ. à la demande du Conseil fédéral suisse, Berne.

Atlas géologique de la Suisse au 1:25 000, feuilles diverses.

Bach Adolf, (1953-54), *Deutsche Namenkunde III-IV*, Heidelberg.

Badoux, Henri, (1906), Rendement des taillis furets de l'arrondissement de Vevey, *Journal forestier suisse*, fasc. 7.8.9.

Barbey, Frédéric, (1911), «Orbe sous les sires de Montbéliard et de Chalon, d'après les comptes inédits de la ville», *RHV*, 1911, pp. 136, 161, 193, 289, 321, 369; 1912, pp. 1, 33.

Bartuska, M., Pleiner Radomir, (1965), Untersuchungen von Baustoffen und Schlacken aus den frühgeschichtlichen Rennöfen Böhmens und Mähren, tiré à part de *Technische Beiträge zur Archäologie II*, Mayence.

Beck, Ludwig, (1891-1903), *Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgegeschichtlicher Beziehung*, Braunschweig, 1981 (1^{er} vol. 2^e éd.) – 1903, 5 vol.

Berger, Ludwig, (1963), *Die Ausgrabungen am Petersberg in Basel. Ein Beitrag zur Frühgeschichte Basels*, Bâle.

Bersier, A[rnold] et Badoux, H[éli], (1937), Une formation éolienne subdésertique dans le sidérolithique du Mormont (Vd), *Elogiae geologicae Helvetiae*, vol. 30, pp. 231-234.

Bielenin, Kazimierz, (1966), Badania Doswiadczańskie nad wytopem zelaza w Kotlinie Świętokrzyskiej – Experiments of iron smelting in Kotlinka Świętokrzyska, *Wiadomości archeologiczne – Bulletin archéologique polonais*, t. XXXI, 4^e livraison, pp. 417 et suiv.

Bielenin, Kazimierz, (1966), Dzieśięciolecie zespółowych badań terenowych nad starożytnym hutnictwem Świętokrzyskim, *Materiały archeologiczne*, VII, Muzeum archeologiczne w Krakowie, pp. 39-57.

- Bielenin, Kazimierz, (1967/1969), Sprawosdanie z Badan nad starożytnym hutnictwem Swietokrzyskim Przeprowadzonych w 1967 R., *Materiały archeologiczne*, VIII, pp. 241 et suiv.; X, pp. 237 et suiv.
- Bielenin, Kazimierz, (1974), *Starożytne Gornictwo i hutnictwo Zelaza w gorach swietokrzyskich*, Varsovie et Cracovie.
- Biringuccio, Vanoccio, (1540), *Della Pirotechnia Libri X...*, Venise, 3^e éd., 1558; Bologne, 1678.
- Blanchet, Adrien, (1920), Recherche sur les tuiles et les briques des constructions de la Gaule romaine, *Revue archéologique*, II, pp. 189-210.
- Blümner, Hugo, *Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern*, vol. 1, 2^e éd. 1912, vol. 2-4, 1879-1887. Reprint, Hildesheim 1969.
- Bosch, R. und Schmid, E., (1952), Ein römischer Köhlerplatz bei Küttigen (Aargau), *La Suisse primitive*, 16^e année, N° 3, pp. 53-57.
- Bouffard, Pierre, (1947), La céramique burgonde du Musée de Lausanne, *Revue suisse d'art et d'archéologie*, vol. 9, pp. 141 et suiv.
- Bourbon, Nicolas, (1533), *Nicolai Borbonii Vandoperani Ferraria*, Paris.
- Bridel, [le Doyen] Philippe-Sirice, (1813), Lettre tirée d'un voyage dans la Suisse souterraine (1785), *Le Conservateur suisse ou Recueil complet des Etrennes helvétiques*, Lausanne, t. I, pp. 255 et suiv.
- Bridel, [le Doyen] Philippe-Sirice, (1855-58), rééd. posthume du *Conservateur suisse*, Lausanne, 5 volumes.
- Bulletin of the Historical Metallurgy Group*, (1967 et suiv.)
- Brun, Patrice et Mordant, Claude, réd., (1988) *Le groupe Rhin-Suisse-France orientale et la notion de civilisation des Champs d'Urnes*. Actes du colloque international de Nemours, 1986, Nemours.
- Burian, Jan, (1957), Leges metallorum et leges saltuum, *Zeitschrift für Geschichtswissenschaft* (Berlin-Est), pp. 535-560.
- Campiche, F.-Raoul, (1919), *Les mines de fer de L'Auberson*, Ste-Croix.
- Cartulaire de Romainmôtier*, voir de Gingins-La Sarraz, (1844).
- Cérésole, Alfred, (1885); (2^e éd. 1921), *Légendes des Alpes vaudoises*, Lausanne.
- Charrière, Frédéric de, (1841), Recherches sur le couvent de Romainmôtier, *Mémoires et Doc.*, 1^{re} série, t. III, pp. 1-384.
- Charrière, Frédéric de, (1844), Pièces justificatives faisant suite au Cartulaire de Romainmôtier, *Mémoires et Doc.*, 1^{re} série, t. III, pp. 577-892.
- Chauffin, Jean, (1956), Les tuiles gallo-romaines du Bas-Dauphiné, *Gallia*, XIV, 1, pp. 81-88.
- Chavannes, S[ylvius], (1856a), Nouvelles trouvailles dans le sidérolithe des Alleveys près de La Sarraz, *Bulletin (des séances) de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, t. 4, Lausanne, pp. 255.
- Chavannes, S[ylvius], (1856b), Note sur le terrain sidérolithique de la colline néocomienne de Chamblon près Yverdon, pp. 310-311. *Ibid.*, p. 255.
- Chavannes, S[ylvius], 1861, Sur le terrain sidérolithique du Mauremont, *Archives des Sciences physiques et naturelles*, nouvelle période, t. 12, Genève, p. 34.
- Cohen Henri, (1880-92), *Description historique des monnaies frappées sous l'Empire romain*. (réimpr. Gratz, 1955).
- Cointat, Michel, (1956), Etude statistique sur les taillis sous futaie communaux du Département de la Haute-Marne, *Revue forestière française*, pp. 658-675.
- Comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques – Communications. Tirés à part de *Archeologicé Rozhledy*, dès XIX, (1967).
- Corot, H., (1921), A propos de l'exploitation du minerai de fer à l'époque gallo-romaine, *Revue archéologique*, 1921 I, pp. 127-131.
- Cossons, Neil and Hudson, Kenneth, (1969), *Industrial Archaeologist's Guide*, 1969-70, Newton Abbot.
- Courtivron, [Gaspard Le Compasseur de Créqui-Montfort, marquis de] et Bouchu, [Etienne-Jean], (1761-62), *Art des forges et fourneaux à fer*, Paris.
- Cucini Tizzoni, Costanza, Tizzoni, Marco, (1992), *Le antiche scorie del golfo di Follonica (Toscana) Una proposta di tipologia*, Rassegna di studi del civico Museo archeologico et der civico et del Gabinetto numismatico di Milano, Notizie dal chiostro del monastero maggiore, Supplemento IX.
- Custer, Willy, (1928), *Etude géologique du Pied du Jura vaudois*. Matériaux pour la carte géologique de la Suisse, nouvelle série, Berne.
- Daremberg, Ch. et Saglio, E., (1877 et suiv.) *Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines*, 9 vol. Paris.
- Davy, L. *Etude des scories de forges anciennes éparses sur le sol de l'Anjou, de la Bretagne et de la Mayenne*, cité dans *Revue d'histoire de la Sidérurgie*, II, (1961/1), p. 64.
- DHV, *Dictionnaire historique, géographique et statistique du Canton de Vaud*, (1914-1921). Publ. sous la direction d'Eugène Mottaz, 2 vol. Lausanne.
- Domergue, Claude, Martin, Th. et Sillières, P., (1975) L'activité de la fonderie gallo-romaine des Martys, *Congrès national des Sociétés savantes*, St Etienne, 1973, Archéologie, pp. 115-142, Paris.
- Domergue, Claude, (1983), *La mine antique d'Aljustrel (Portugal) et les tables de bronze de Vipasca*, Paris. – (Extrait de *Conimbriga*, 1983, pp. 1-203).
- Domergue, Claude, et alii (1993), *Un centre sidérurgique romain à la Montagne Noire*, Toulouse/Paris, 1993.
- Dovring, Folke, (1950), Etudes sur le cadastre médiéval de la Suisse romande, *Revue suisse d'histoire*, pp. 198-243.
- Dubois, Claude, à paraître, De la forêt au métal: premières données diachroniques et archéologiques en Ariège, *Proto-industrie et histoire des forêts*, Colloque international tenu à Loubières, près de Foix en Ariège les 11, 12, et 13 octobre 1990.
- Ducommun, Marie-Jeanne, Quadroni, Dominique, (1991), *Le refuge protestant dans le Pays de Vaud (fin XVIIe – début du XVIIIe s)*. Lausanne, (Bibliothèque historique vaudoise, vol. 102).
- Duhamel du Monceau, Henri, (1761), *Art du charbonnier ou manière de faire le charbon de bois*, coll. Descriptions des Arts et métiers, Paris.
- Dulex-Ansermoz, Jean-David, (1872), *Traditions et légendes de la Suisse romande*, Lausanne.
- Die Eisen und Manganerze der Schweiz*, (1923-1952), vol. 1-6 et 8, Berne.
- Eliade, Mircea, (1956), *Forgerons et alchimistes*, Paris.
- Epprecht, Willfried, (1957), Unbekannte schweizerische Eisenerzgruben sowie Inventar und Karte aller Eisenerz- und Manganerz-Vorkommen der Schweiz, *Beiträge sur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie – Kleinere Mitteilungen*, 19. Berne.
- Epprecht, Willfried, (1960), Geologie und Bergbau der schweizerischen Eisenerze, *Beiträge sur Geschichte der schweizerischen Eisengiessereien*, Schaffhouse, pp. 9-21.
- Epprecht, Willfried, (1980), «Eisenverarbeitung», dans Kilcher, Martin, *Die Funde aus dem römischen Gutshof von Laufen-Müschiag*, Berne, pp. 76-79.

- Eschenlohr, Ludwig, Serneels, Vincent, avec la collaboration de Bernard Hiltbold, (1991), Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, *Cahiers d'archéologie jurassienne*, 3, Porrentruy.
- Ettlinger, Elisabeth, (1949), *Die Keramik der Augster Thermen*, Bâle.
- Evenstad, Ole, (1801), *Praktische Abhandlung von den Eisensteinen, welche sich in Norwegen in Sümpfen und Moränen finden, und über die Methode solche in Eisen und Stahl zu verwandeln*. Aus dem Dänischen übersetzt und mit Anmerkungen begleitet von Joh[ann] Georg Lud[olph] Blumhof, Göttingen, (1^{re} éd., Copenhague, 1790). Réédité et commenté par Arne Espelund, Trondheim, 1991.
- Febvre, Lucien, (1911), *Philippe II et la Franche-Comté, La crise de 1567, ses origines et ses conséquences*, Paris.
- Le fer à travers les âges. Hommes et techniques*, (1956), Nancy.
- Forbes, R[obert] J[ames], (1950), *Metallurgy in Antiquity. A Notebook for Archaeologists and Technologists*, Leyde.
- Forbes, R[obert] J[ames], (1964), *Studies in ancient Technology*, vol. VIII et IX, Leyde.
- Forrières, Claude, Jean-Paul Petit, Jean Schaub, (1987), *Etude de la métallurgie du fer du vicus gallo-romain de Bliesbruck (Moselle)*, CNRS, Paris. (Notes et monographies techniques, N° 22).
- France-Lanord, A., (1963), Les lingots de fer protohistoriques, *Revue d'histoire de la Sidérurgie*, IV, 1963/3, pp. 167-178.
- Frei, Hans, (1966), *Der frühe Eisenerzbergbau und seine Geländespuren im nördlichen Alpenvorland*, Münchner geographische Hefte 29, Kallmünz/Regensburg.
- Gannevat, F., (1950), Courbes et tables de croissance, *Revue forestière française*, pp. 223-226.
- Gardi, René, (1954), *Der schwarze Hephaistos*, Berne.
- Gilles, Joseph Wilhelm, (1936), Die Grabungen auf vorgeschichtlichen Eisenhüttenplätzen des Siegerlandes, ihre Bedeutung und die hüttentechnischen Erfahrungen im Vergleich mit anderen Funden, *Stahl und Eisen* 56, Heft 9, pp. 252 et suiv.
- Gilles, Joseph Wilhelm, (1956), Les fouilles aux emplacements des anciennes forges dans la région de la Sieg, de la Lahn et de la Dill, *Le fer à travers les âges*, Nancy.
- Gilles, Joseph Wilhelm, (1957), 25 Jahre Vorgeschichtsforschung durch Grabungen auf alten Eisenhüttenplätzen, Bericht Nr. 16 des Geschichtsausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, Heft 4, pp. 179 et suiv.
- Gingins-La Sarraz, Frédéric de, (1842), Annales de l'Abbaye du lac de Joux, suivies de La Vallée de Joux sous le Régime bernois, *Mémoires et Doc.*, 1^{re} série, t. 1, 2^e-3^e, livraison Lausanne.
- Gingins-La Sarraz, Frédéric de, (1844), Cartulaire de Romainmôtier, *Mémoires et doc.*, 1^{re} série, t. III, Lausanne. Voir *Liber cartularis...*
- Golliez, H[enri], (1888), dans *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, t. 25, p. VII.
- Goudard, A., (1933). Note sur l'exploitation des gisements de scories de fer dans le département de l'Yonne, *Bulletin de la Société archéologique de Sens*, t. XXXVIII, 1931-1933, (Sens 1936), pp.151-182.
- Grosjean, Georges, (1963), Die römische Limitation um Aventicum und das Problem der römischen Limitation der Schweiz, *Annuaire de la Société suisse de préhistoire*, vol. 50, Bâle, pp. 7-25.
- Gross, Victor, (1883), *Les Protohelvètes ou les premiers colons sur les bords des lacs de Bienne et de Neuchâtel*, Paris.
- Guichard, René, (1965), *Essai sur l'histoire du peuple burgonde, de Bornholm (Burgunderholm) vers la Bourgogne et les Bourguignons*, Paris.
- Guyan, Walter Ulrich, (1946), *Bild und Wesen einer Mittelalterlichen Eisenindustrielandchaft im Kanton Schaffhausen*, Bâle.
- Guyan, Walter Ulrich, (1957), Die Eisenöfen im Hoftal bei Bargen (Kanton Schaffhausen). Neuere Untersuchungen zur Geschichte der Eisenverhüttung in der Schweiz, *Revue suisse d'histoire de l'Art et d'Archéologie*, vol. 17, fasc. 3/4, pp. 159-174.
- Handbuch der Schweizergeschichte*, vol. I, 1972. Zurich.
- Hassenfratz, J[ean]-H[enri], (1812), *La Sidérotechnie ou l'art de traiter les minerais de fer pour en obtenir de la fonte, du fer ou de l'acier*, Paris, 4 vol.
- Haudricourt, André, (1968), L'Etnominéralogie, *Etnologie générale*, Encyclopédie de la Pléiade, Paris.
- Hess, E., (1927), Les taillis furets des cantons de Vaud et du Valais, *Journal forestier suisse*, pp. 158-164.
- A History of Technology, (1954-58), Ed by Charles Singer, E.J. Holmyard, A.R. Hall and Trevor I. Williams, Oxford.
- Holewinski, St., Radwan, M., Rozanski, W. (1960), Z badan nad dymarką Swietokrzyską – Investigations upon the Bloomery in the regions of Gory Swietokrzyskie, *Archiwum Hutnicza*, V, pp. 273-280.
- Honeycombe, R[obert] W[illiam] K[err], (1981), *Steels, Microstructure and Properties*, Londres.
- Howald, Ernst und Meyer, Ernst, (1940), *Die Römische Schweiz*, Zurich.
- Jaccard, Auguste, (1869), *Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse*, 6^e livraison, Berne.
- Jaccard, Robert, (1932), *Sainte-Croix et ses industries, Notice historique*, Lausanne.
- Jaccard, Robert, (1950), *Sainte-Croix dans le Passé*, Lausanne.
- Jaccard, Robert, (1956), *L'industrie et le commerce du Pays de Vaud à la fin de l'Ancien Régime*, Essai. Lausanne.
- Jeanneret, R[oland], (1979), Rapport dactylographié sur les premiers sondages effectués sur le site de Montcherand (Vaud), en automne 1978. Service archéologique cantonal, Lausanne.
- Johannsen, Otto, (1953), *Geschichte des Eisens*, 3^e éd. refondue, Düsseldorf.
- Jones, A[rnold] H[ugh] M[artin], (1964), *The Later Roman Empire, 284-602. A Social Economic and Administrative Survey*, Oxford. 3 vol.
- Karstens, C[arl] J[ohann] B[ernhard], (1841), *Eisenhüttenkunde*, 3^e éd. Berlin.
- Kerleroux, André-J., (1956), Ancienne exploitation de fer dans le Berry, *Techniques et Civilisations*, vol. 5, pp. 68-76.
- Kilcher, Martin, voir Epprecht, Willfried.
- Lebel, P., (1956), *Principes et méthodes d'hydronymie française*, Paris.
- Léger, Alfred, (1875), *Les Travaux publics, les Mines et la Métallurgie du temps des Romains*, Paris.
- Liber Cartularis S. Petri principis apostolorum Monasterii Romanensis* (Umbras Codicum occidentalium VI). Einleitung von Albert Bruckner, (1962), Amsterdam.
- Lobbedey, Uwe, (1968), *Untersuchungen mittelalterlicher Keramik*, Berlin.
- Lousonna, (1969), Préface de Colin Martin, Bibliothèque historique vaudoise, XLII, Lausanne.
- Magnusson, Gert, (1986). *Lågteknik järnhantverk i Jämtlands län*, Stockholm.
- Mangin, Michel, Ateliers et unités de production: l'exemple des ateliers sidérurgiques antiques en Côte-d'Or, *Actes du Colloque ARIA*, Dijon, 1990.
- Mangin, Michel, et alii, (1992), *Mines et métallurgie chez les*

- Eduens, Le district sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois*, Annales littéraires de l'Université de Besançon, N° 456, série «Archéologie», N° 38. Besançon.
- Maréchal, Jean R., (1982), Thermodynamique des scories gallo-romaines, *Mines et fonderies antiques de la Gaule*, CNRS, Paris.
- Martignier, David et Crouzaz, Aymon de, (1867), *Dictionnaire historique, géographique et statistique du Canton de Vaud*, Lausanne.
- Martin, Th., voir Domergue, Claude.
- Mattingly, Harold and Sydenham, E. A., (1926), *Roman Imperial Coinage*, t. II, Londres.
- Mazur, Adam, Nosek, Elzbieta, (1966), Od Rudy do noza, (Du minerai au couteau), *Materialy archeologiczne VII*, Cracovie, pp. 19-37.
- Mercanton, Paul-Louis et Wanner, Ernest, (1945), *L'anomalie magnétique du Jorat*, Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles, t. 63, pp. 35-48.
- Michéa, Jean, (1968), La technologie culturelle, essai de méthodologie, *Ethnologie générale*, Encyclopédie de la Pléiade, Paris.
- Mines et fonderies antiques de la Gaule*, (1982), Table ronde du CNRS, Univ. de Toulouse-Le Mirail, 21-22 novembre 1980, Paris, éd. du CNRS, 1982.
- Mösch, C[asimir], (1867), *Geologische Beschreibung der Umgebung von Brugg*, Zurich.
- Moesta, Hasso, (1986), *Erze und Metalle – Ihre Kulturgeschichte im Experiment*, 2^e éd. revue, Berlin.
- Monot, J., (1963), Quelques gisements de scories antiques des environs d'Avallon (Yonne). Etudes géologiques et physico-chimiques, *Revue archéologique de l'Est*, octobre.
- Monot, J., (1964), Les ferriers du département de l'Yonne, *Revue d'histoire de la sidérurgie*, V, 1964/4, pp. 273-297.
- Monumenta Germaniae Historica*, (1888), Legum sectio I, Tomi II, pars I, Liber Constitutionum sive lex Gundobada, Hannover/Leipzig.
- Needham, Joseph, (1961), Evolution de la technologie du fer et de l'acier en Chine, *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, II/4, pp. 236 et suiv.
- Nielsen, Niels, (1925), La production de fer en Jutland septentrional dans les temps préhistoriques et au Moyen Age (trad. E. Philipot), *Mémoires de la Société royale des Antiquaires du Nord*, Nouvelle série, 1920-1924. Copenhague.
- Nosek, Elzbieta Maria, (1969), Badania metalograficzne zuzla i przedmiotow zelaznych z wykopu III na Skarpie w Krakowie – Etudes métallographiques et chimiques de scories et d'objets en fer provenant de la tranchée III sur la Skarpa à Cracovie, *Materialy archeologiczne*, X, Cracovie, pp. 183-190.
- Olivier, Juste, (1837), *Le Canton de Vaud, sa vie et son histoire*, t. I, Lausanne.
- Orgeval, Bernard d', (1950), *L'Empereur Hadrien, Œuvre législative et administrative*, Paris.
- Osann, Bernhard, (1971), *Rennverfahren und Anfänge der Roheisenherstellung – Zur Metallurgie und Wärmetechnik der alten Eisengewinnung*, Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Dusseldorf, 2 vol.
- Oswald, F., (1937), Index of Figures Types on Terra Sigillata, I-IV, *The Annals of Archaeology and Anthropology*, XXIII, Liverpool.
- Paillet, J. M., Rebiscoul, A., Sablayrolles, R., et Tollon, F., (1977), Recherches récentes sur l'activité du site métallurgique gallo-romain des Martys (Aude), *Mines et mineurs en Languedoc-Roussillon et régions voisines de l'Antiquité à nos jours*. Montpellier, pp. 55-68.
- Palladius, Rutilius Taurus Aemilianus, *De re rustica* (Libri XIV) – *Les Agronomes latins*, Caton, Varro, Columelle, Palladius, Paris, 1861.
- Pelet, Paul-Louis, (1944), A propos du milliaire d'Entreroches, *Mélanges Charles Gilliard*, Lausanne, pp. 57-59.
- Pelet, Paul-Louis, (1960a), (Avec la collaboration d'Oskar Sticheli et de Pierre Decollogny) Une industrie du fer primitive au pied du Jura vaudois: la ferrière de Prins-Bois et ses voisines, *RHV*, pp. 49-110, et tiré à part.
- Pelet, Paul-Louis, (1960b), Une industrie romaine du fer au pied du Jura, *Annuaire de la Société suisse de préhistoire*, vol. 48, pp. 104-106.
- Pelet, Paul-Louis, (1970a), Sidérurgie antique au pied du Jura vaudois, *Helvetia archaeologica*, 1/1970,-4, pp. 86-95.
- Pelet, Paul-Louis, (1970b), Dix paradoxes sur le temps et l'histoire, *Mélanges Jean-Charles Biaudet*, – *Cahiers Vilfredo Pareto, Revue européenne des Sciences sociales*, 22-23, Genève., pp. 19-23.
- Pelet, Paul-Louis, (1970c), Techniques sidérurgiques et poésie, note sur quelques vers de Rutilius Namatianus, *Revue des Etudes latines*, t. XLVIII, 48^e année 1970, Paris, pp. 398-410.
- Pelet, Paul-Louis et Hubler, Lucienne, (1971a), *Ressource minières et politique vaudoise, 1798-1848*, Publications de l'Ecole des Sciences sociales et politiques de l'Université de Lausanne, 3, Textes d'histoire économique et sociale I, Genève.
- Pelet, Paul-Louis, (1972), L'archéologie du fer et son intérêt pour le Piémont, *Bollettino della Società piemontese di Archeologia et di Belle Arti*, vol. 25-26, 1971-72, pp. 13-25.
- Pelet, Paul-Louis, (1974), Une industrie bimillénaire, la sidérurgie du Jura vaudois, *Annales, Economies, Sociétés, Civilisations*, 1974/4, pp. 789-812.
- Pelet, Paul-Louis, (1976), Versuch einer Klassifizierung frühgeschichtlicher Eisenschmelzofen, *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 47, Nr. 12, pp. 709-712.
- Pelet, Paul-Louis, (1977a), Une classification des fourneaux à fer primitifs, *Archäologische Eisenforschung*, pp. 173-180.
- Pelet, Paul-Louis, (1977b), Une histoire du fer dans un pays qui se voulait agricole, *Alliance culturelle romande*, 1977, novembre, pp. 75-79.
- Pelet, Paul-Louis, (1978), *Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud*, vol. 2, *La lente victoire du haut fourneau*, Lausanne, (Bibliothèque historique vaudoise, vol. 59).
- Pelet, Paul-Louis, (1982a), Recherches sur la métallurgie du fer dans le Jura vaudois, *Mines et fonderies*, pp. 324-337.
- Pelet, Paul-Louis, (1982b), L'histoire des techniques avant la Révolution industrielle, *Revue suisse d'histoire*, vol. 32, pp. 324-337.
- Pelet, Paul-Louis, (1983), *Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud*, vol. 3, *Du mineur à l'horloger*, Lausanne, Bibliothèque historique vaudoise, vol. 74).
- Pelet, Paul-Louis, (1987), Un musée dans la forêt, le pavillon des Bellaires, *Erhaltung industrieller Kulturgüter in der Schweiz*, Umliken, pp. 92-93.
- Pelet, Paul-Louis, (1989) Suffisantes et nécessaires, les survivances techniques, *Per Giuseppe Sebesta Scritti e Nota bibliografica per il settantesimo compleanno*, Trento, pp. 353-361.
- Pelet, Paul-Louis, (1992a), L'emploi des fourneaux à fer asymétriques du Jura vaudois, deux hypothèses à vérifier, *L'âge du Fer dans le Jura*, Actes du 15^e colloque de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Pontarlier (France) et Yverdon-les-Bains (Suisse), 9-12 mai 1991. Cahiers d'archéologie romande N° 57, Lausanne, pp. 341-349.
- Pelet, Paul-Louis, (1992d), Rationalité des survivances techniques, l'exemple du Valais, *Transformations Techniques et Sociétés*, Berne, pp. 125-134.
- Pelichet, Edgar, (1947), Contribution à l'étude de l'occupation du sol de la Colonia Julia Equestris, *Mélanges Reinhold Bosch*, Aarau, pp. 117-136.
- Perrenot, Th., (1942), *La Toponymie burgonde*, Paris.

- Pertlwieser, Manfred, (1970-71), Die Hallstattzeitliche Höhensiedlung auf dem Waschenberg bei Bad Wimsbach /Neydharting, Politischer Bezirk Wels, Oberösterreich, *Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereins*, vol. 115/I pp. 37-70; vol. 116/I p. 51-80.
- Petit, Jean-Paul, voir Forrières, Claude.
- Pichard, Nathalie et Marina Andrès-Colombo, (1987), Recherches préliminaires sur la cadastration romaine dans la région lémanique, *Annuaire de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie*, 70, pp. 133-143.
- Pichard Sardet, Nathalie, (1989), Voies anciennes et Etraz: recherches sur le réseau routier de Nyon, *Paysages découverts*, I, Lausanne, pp. 39-54.
- Piguet, Auguste, (1946), *Le territoire de la Commune du Lieu jusqu'en 1536*, Le Sentier.
- Piguet, Auguste, (1947), *Le territoire du Chenit et la naissance de cette commune*, Le Sentier.
- Piguet, Auguste, (1952), *La Commune du Chenit de 1646 à 1701*, Le Sentier.
- Pleiner, Radomir, (1958), *Zaklady slovanského zelezarského hutnictví v českých zemích – Die Grundlagen der slavischen Eisenindustrie in den böhmischen Ländern*, Prague.
- Pleiner, Radomir, (1965), Die Eisenverhüttung in der «Germania Magna» zur römischen Kaiserzeit, Sonderdruck aus 45. Bericht der Römisch-Germanischen Kommission, Berlin, pp. 11-85.
- Pleiner, Radomir, (1969), Experimental smelting of steel in early medieval furnaces, *Památky archeologicke*, LX, pp. 458-487.
- Pline, l'Ancien, *Histoire naturelle*, livre XII, éd. A. Ernout, Paris, 1947; Livre XVI, éd. J. André, Paris, 1962.
- Pousaz, Nicole, (1984), *Le refuge fortifié protohistorique et romain de Montricher (Châtel-Aruffens, VD): le mobilier de l'âge du Bronze*. Diplôme d'archéologie préhistorique, Fac. des Sciences, Genève, polycopié.
- Puzenat, L., (1939), *La Sidérurgie armoricaine*, Rennes.
- Quiquerez, Auguste, (1855), *Notice historique et statistique sur les mines, les puits et les forges de l'Ancien Evêché de Bâle*, Porrentruy.
- Quiquerez, Auguste, (1866a), Industrie du fer antéhistorique dans le Jura bernois, *Actes de la Société helvétique des sciences naturelles*, Neuchâtel, pp. 159-167.
- Quiquerez, Auguste, (1866b), *Monuments de l'Ancien Evêché de Bâle. De l'âge du fer. Recherches sur les anciennes forges du Jura bernois*, Porrentruy. (2^e éd., Porrentruy 1993).
- Quiquerez, Auguste, (1871), Notice sur les forges primitives du Jura, *Mitteilungen der antiquarischen Gesellschaft in Zürich*, vol. XVII, pp. 71-88.
- Radwan, M., (1966), L'ancienne technique sidérurgique polonaise, *Revue d'histoire de la Sidérurgie*, VII/2, pp. 63-88.
- Raistrick, Arthur, (1972), *Industrial Archaeology. An Historical Survey*, Londres.
- Rebiscoul, A., voir Pailler, J.M.
- Renevier, E[Jugène], (1884), Nouvelle crevasse sidérolitique ossifiée à la gare d'Eclépens, *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, vol. 20, Lausanne, p. XXV et discussion.
- Revue d'histoire de la sidérurgie*, (1960-68), t. I-IX, Nancy.
- Revue historique vaudoise (RHV)*, Lausanne, dès 1893.
- Reynaud, Jean, (1869), *Histoire élémentaire des minéraux usuels*, 4^e éd. Paris.
- RIC, *Roman Imperial Coinage*, voir Mattingly, Harold.
- Rittener, Th., (1902), *Etude géologique de la Côte-aux-Fées et des environs de Ste-Croix et Baulmes*, Berne.
- Rostovtzeff, M., (1957), *The Social and Economic History of the Roman Empire*, second edition revised by P.M. Fraser, 2 vol. Oxford.
- Ruoff, Ulrich, (1974), *Zur Frage der Kontinuität zwischen Bronze- und Eisenzeit in der Schweiz*, Bâle.
- Sablayrolles, R., voir Pailler, J.M.
- Schardt, Hans, (1923), Terrain sidérolithique de Goumoens-le-Jux, *Die Eisen- und Manganerze der Schweiz*, vol. I, Berne, pp. 129-136.
- Schaub, Jean, voir Forrières, Claude.
- Schläpfer, Daniel, (1960), *Der Bergbau am Ofenpass (Pass del Fuorn). Eine Wirtschaftsgeographische Untersuchung im Unterengadin und seinen Nachbartälern* (Recherches scientifiques entreprises au Parc national suisse, Nouvelle série, vol. VII), Liestal.
- Schläpfer, P. und Brown, R., (1948), juin, *Über die Struktur der Holzkohlen*, Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Bericht Nr. 153, Zurich.
- Schlüter, Christoph Andreas, (1738), *Gründlicher Unterricht von Hütte-Werken...*, Braunschweig.
- Schmid, Emil, (1943-1950), *Carte de la végétation de la Suisse*, 1: 200 000, Berne.
- Schmid, Emil, (1961), *Erläuterungen zur Vegetationskarte der Schweiz*, Berne.
- Schmid, Walter, (1932), Norisches Eisen, *Beiträge zur Geschichte des Österreichischen Eisenwesens*, Abt.I, Heft 2.
- Schönbauer, E., (1929), Beiträge zur Geschichte des Bergbaurechts, *Münchener Beiträge für Papyrusforschung*, XII.
- Schweinfurth, Georges, (1875), *Au Cœur de l'Afrique*, 1868-1871, trad. H. Loreau, Paris. 2 vol.
- Schweingruber, Fritz, (1976), *Prähistorisches Holz – Die Bedeutung von Holzfunden aus Mitteleuropa für die Lösung archäologischer und vegetationskundlicher Probleme*, Bern/Stuttgart.
- Schweingruber, Fritz, (1978), *Mikroskopische Holzanatomie – Anatomie microscopique du bois – Microscopic Wood Anatomy*, Institut fédéral de recherches forestières, Birmensdorf/Zug.
- Sébillot, Paul, (s.d., après 1890), *Légendes et curiosités des métiers*, Paris, Flammarion.
- Sellières, P., voir Domergue, Claude.
- Serneels, Vincent, voir Abetel, Emmanuel, (1987).
- Serneels, Vincent, voir Eschenlohr, Ludwig, (1992).
- Serneels, Vincent, (1993), *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*, Lausanne, CAR, N° 61.
- Sitterding, Madeleine, (1969), La terre sigillée gauloise et la poterie indigène, *Lousonna*, Bibl. historique vaudoise, vol. XLII, Lausanne, pp. 227-346.
- Sperl, Gerhard, (1980), *Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und Mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken*, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, (Studien zur Industriearchäologie VII).
- Stähelin, F., und Christ, H. (1913), Über die Verbreitung des Buchsbaumes, *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, Nr. 24, Bâle.
- Straker, Ernest, (1969) (Reprint), *Wealden Iron. A Monography on the former Ironworks in the Counties of Sussex, Surrey and Kent*, David and Charles, Newton Abbot.
- Tollon, F., voir Pailler, J.M.
- Tizzoni, Marco, voir Cucini Tizzoni, Costanza.
- Transition Bronze final, Hallstatt ancien: colloque*, (1985). Actes du 109^e congrès national des sociétés savantes, Dijon, 1984. Paris (Archéologie et Histoire de l'Art, t. II).

- Troyon, Frédéric,(1841), *Description des tombeaux de Bel-Air*, Zurich.
- Troyon, Frédéric, (1860), Habitations lacustres des temps anciens et modernes, *Mémoires et Doc.*, 1^{re} série, t. XVII, Lausanne.
- Tryon-Montalembert, René, marquis de, (1955-56), La Sidérurgie en Gaule aux époques primitives, gauloise et gallo-romaine jusqu'à la fin de l'Empire romain, *Techniques et Civilisations*, vol. 4, 5, Paris.
- Tschumi, O[utto], (1926), *Urgeschichte der Schweiz*, Frauenfeld.
- Tylecote, R[onald] F[rank], (1962), *Metallurgy in Archaeology. A Prehistory of Metallurgy in the British Isles*, Londres.
- Tylecote, R[onald] F[rank], (1987), *The early history of metallurgy in Europe*, Londres.
- Tylecote, R[onald] F[rank], (1992), *A History of Metallurgy*, Second Edition, Londres.
- Vallotton-Aubert, P[ierre]-F[rançois], (1875), *Vallorbes, Esquisse géographique, statistique et historique*, Lausanne.
- Die Versuchsschmelzen und ihre Bedeutung für die Metallurgie des Eisens und dessen Geschichte*, (1973). Schaffhausen 9-12 novembre 1970, Museum zu Allerheiligen Schaffhausen und Arkäologisches Institut der Akademie der Wissenschaften, Prag.
- Viollier, David, (1927), *Carte archéologique du Canton de Vaud, des origines à Charlemagne*, Lausanne.
- Vogt, Emil, (1972), Urgeschichte – Kulturen und Völker der älteren Eisenzeit (8.-5. Jahrhundert), *Handbuch der Schweizer Geschichte*, I, Zurich, pp. 47-52.
- Vulliemin, Louis, (1848), L'industrie dans le Canton de Vaud, *Album de la Suisse romane*, Genève.
- Vulliemin, Louis, (1849), *Tableau du Canton de Vaud*, Lausanne.
- Vulliemin, Louis, (1862), *Le canton de Vaud, Tableau de ses aspects, de son histoire, de son administration et de ses mœurs*, nouvelle éd. revue et augmentée, Lausanne; 3^e éd. revue et augmentée par Charles Vulliemin, Lausanne, 1885.
- Wedlake, W. J., (1958), *Excavations at Camerton, Somerset*, Camerton Excavation Club.
- Weidmann, Denis, (1990), Chronique des fouilles archéologiques, *RHV*, pp. 223-251.
- Wilsdorf, Max Helmut, (1952), *Bergleute und Hüttenmänner im Altertum bis zum Ausgang der Römischen Republik*, Berlin.
- Witter, Wilhelm, (1950), Über Metallgewinnung bei den Etruskern, 32. Bericht der Römisch-Germanischen Kommission 1942, Berlin, 1944, pp. 1-19.

LEXIQUE

DE QUELQUES MOTS TECHNIQUES

affinerie: usine transformant la fonte en fer forgeable.

argile dégraissée: argile rendue réfractaire par l'adjonction de grains de quartz.

bas foyer: nom donné parfois aux fourneaux de réduction de petite taille.

batz: monnaie réelle des cantons de la Suisse occidentale sous l'Ancien Régime; le batz de Berne vaut 2 sols tournois, 3 sols du Pays de Vaud, soit 1/4 florin.

bec de tuyère: partie de la tuyère qui pénètre dans la cuve.

bohnerz: hydroxyde de fer, en grains (pisolithes, autrefois: mine de pois).

bolus: limon ferrugineux enrobant les pisolithes.

brasque: mélange de terre et de charbon utilisé pour luter les parois d'un creuset ou pour remplir des fissures.

buse: conduit traversant la paroi d'un fourneau, à l'extrémité duquel s'adapte la tuyère proprement dite.

centuriation: lotissement des terres à l'époque romaine. Le sol est divisé en centurie de 710 m environ sur 710 (soit environ 50 ha) ou de 710 m sur environ 865 m (61h environ). Les centurie sont séparées les unes des autres par des fossés ou des chemins. Une voie carrossable est établie toutes les quatre centurie.

chaînerie: fabrique de chaînes.

chalcopyrite: minerai de cuivre (CuFeS_2).

chape: revêtement.

chauffe: période de mise à feu d'un fourneau, pendant laquelle s'accomplit la réduction du minerai.

chaufour: four à chaux.

costière: pierre, ici muret soutenant la tuyère.

coulure: goutte ou morceau de fonte perdu dans les scories.

crasse: scorie.

crassier: dépôt de scories.

creuset: a) petit vase réfractaire où l'on réduit le minerai; b) fond du fourneau où s'accumule la loupe.

cuve: intérieur du fourneau, entre le creuset et le gueulard.

dame: rebord empêchant l'écoulement des laitiers ou de la fonte dans les hauts fourneaux; dans les bas foyers, la dame

retient les scories et la loupe.

délité: décomposé, désagrégré.

doline: effondrement naturel en forme d'entonnoir, des terrains calcaires.

dupondius: monnaie romaine, double as.

engobe: enduit d'argile fine recouvrant certaines céramiques.

eutectique: se dit d'un mélange dont le point de solidification est inférieur à celui de chacun des constituants.

ferrier: dans les provinces françaises, dépôt de scories révélant une ancienne exploitation sidérurgique. – En Suisse romande, maître de forges, exploitant une **ferrière**.

ferrière: exploitation sidérurgique. – Resté dans de nombreux toponymes, ce sens s'est totalement perdu dans la langue littéraire, où ferrière désigne soit un tonneau, soit une garniture métallique.

ferrite: cristaux polyédriques qui se forment dans la masse métallique.

fourneau à fer: tout foyer où l'on réduit le minerai de fer.

gneiss: roche métamorphique qui se clive aisément en dalles.

gueulard: ouverture supérieure du fourneau.

gueuse: prisme triangulaire de fonte, coulé au haut fourneau.

halde: crassier, ferrier.

haut fourneau: fourneau produisant de la fonte.

hématite brune: hydroxyde de fer $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2[\text{H}_2\text{O}]$.

hématite oligiste: oxyde ferrique (Fe_2O_3) cristallisé.

hématite rouge: oxyde ferrique amorphe.

imbrex, imbrices: tuiles arquées semblables à nos tuiles faïtières, protégeant la jonction des tuiles plates (*tegulae*) des toitures romaines.

in situ: en place.

laitier: scorie fluide de haut fourneau.

limonite: minerai de fer (hydroxyde), hématite brune.

mâchefer: ici, en fait, scories de fourneaux à fer utilisant le charbon de bois.

magnétite: oxyde magnétique de fer (Fe_3O_4).

manchon: pièce cylindrique.

manteau: revêtement intérieur d'une cheminée, d'un foyer.

maserie: fourneau à soufflerie hydraulique, produisant du fer doux (voir *Stückofen*).

minière: exploitation à ciel ouvert d'un gisement métallifère.

murger: tas de pierres accumulées au bord des champs.

ollaire (pierre): pierre à grain fin dont on tourne des pots.

oolithe: calcaire formé de grains ovoïdes ou grains ovoïdes de mineraï de fer (hématite brune).

palynologie: étude des pollens.

pédologie: étude chimique et physique des sols.

phosphite: sel formé par la combinaison de l'acide phosphoreux (H_3PO_3) avec une base.

pisolith: voir bohnerz.

ringard: tringle de fer servant à remuer les scories et activer la combustion.

rustine: paroi de la cuve qui fait face à la porte d'un fourneau.

saumon: a) prisme de fonte quadrangulaire de 3 à 4,5 pieds de long, coulé dans les fourneaux qui ne possèdent pas d'écoulement spécial pour les scories (Hassenfratz, II, 106); b) ici, masse de fer semi-ouvrée pour la vente, en forme de

double pyramide quadrangulaire, pesant de 5 à 7 kg.

scorie: déchet silicaté provenant de la réduction des minerais de fer.

sidérolithique: formation riche en concrétions ferrugineuses.

sigillée: céramique décorée au moyen de sceaux et de poinçons.

sorne: scorie se formant au fond du creuset.

stéréophotogrammétrie: photographie aérienne en relief donnant les courbes de niveau.

stratigraphie: relevé et étude de la succession des couches archéologiques.

Stückofen: fourneau à soufflerie hydraulique, sans avant-foyer, produisant du fer doux.

taille: galerie, parfois extrêmement étroite, où l'on extrait le mineraï.

tegula, tegulae: tuile plate à rebords des toitures romaines.

tuyère: conduit qui amène le vent d'un soufflet dans un four.

urgonien: faciès du Barrémien (Crétacé).

voussure: courbure d'une porte, d'un arc.

TABLE DES FIGURES

NB. L'échelle des hauteurs n'est indiquée que lorsqu'elle diffère de l'échelle des longueurs

Figure	page	page de garde
1. Industrie du fer, haldes primitives et forges hydrauliques		
2. L'effondrement de la vallée d'Engens (photo PLP)	3	
3. La région de Ferreyres-Moiry	13	
4. La zone des fouilles d'après la carte au 1:5000	14	
5. Les Bellaires, plan de situation	15	
6. Le talus de Bellaires I, mai 1963 (photo PLP)	15	
7. Bellaires III, début des travaux, avril 1967 (photo PLP)	15	
8. Prins-Bois II sur Juriens. Le site avant les fouilles. (Photo PLP)	16	
9. Bellaires II. Empreinte digitale sur un fragment de glaise cuite (photo PLP)	16	
10. Bellaires I. Conduits de ventilation	18	
11. Bellaires I. Tuyères coniques	19	
12. Bellaires I. Tuyères à implantation oblique	19	
13. Bellaires I. Tuyères cylindriques	20	
14. Bellaires I. Tuyère conique B 367-490 (photo BZ)	20	
15. Bellaires I. Tuyère cylindrique B 365, intacte (photo BZ)	20	
16. Bellaires I. Répartition des tuyères	21	
17. Bellaires I. Diamètre minimum des tuyères	21	
18. Bellaires II. Diamètre minimum des tuyères	21	
19. Bellaires II. Distribution des fragments de tuyères sur le terrain	22	
20. res II. Tuyère I	22	
21. Bellaires II. Tuyère II	22	
22. Bellaires II. Tuyère III	23	
23. Bellaires II. Tuyère IV	23	
24. Bellaires II. Tuyère V	23	
25. Bellaires II. Tuyère VI	23	
26. Bellaires II. Tuyère VII	23	
27. Bellaires II. Tuyère VIII	23	
28. Bellaires II. Tuyère IX	24	
29. Bellaires II. Tuyère X	24	
30. Bellaires II. Plaque scoriée	24	
31. Bellaires III. Tuyère A (four XIX)	24	
32. Bellaires III. Tuyère A (photo PLP)	25	
33. Bellaires III. Four XIX, le bec de la tuyère A (photo PLP)	25	
34. Bellaires III. Tuyère B (four XX)	25	
35. Bellaires III. Tuyères C, D, E	25	
36. Bellaires III. Diamètre des tuyères	26	
37. Bellaires III. Profondeur des tuyères dans le terrain	26	
38. Bellaires III. Diamètre et niveau des tuyères dans le terrain	27	
39. Facture des tuyères et conduits	27	
40. Conduits et tuyères, fragments identifiables	28	
41. Bellaires I. Plan d'ensemble	30	
42. Bellaires I. Profil du site selon les lignes 2,3,4,5	31	
43. Bellaires I. Plan et profil du four X	31	
44. Bellaires I. Plan du four XIII	32	
45. Bellaires I. Plan du four XIV	32	
46. Bellaires I. Profil des fours XIII et XIV	32	
47. Bellaires I. Plan du four IX	32	
48. Bellaires I. Profil du four IX	33	
49. Bellaires I. Paroi nord du four IX, coupe de la couche de scorie	33	
50. Bellaires I. Plan du four V	33	
51. Bellaires I. Four IX, vue d'ensemble (photo BZ)	34	
52. Bellaires I. Four VIII, plan et profil	34	
53. Bellaires I. Plan du four VII	35	
54. Bellaires I. Profil du four VII	35	
55. Bellaires I. Coupe du four VII	36	
56. Bellaires I. Essai de reconstitution du four VII	36	
57. Bellaires I. Profil de la tranchée 6	36	
58. Bellaires I. Plan du four XI	36	

Figure

page

59.	Bellaires I. Plan du four XII	37
60.	Bellaires I. Tranchée 11 en amont des fours XI et XII	37
61.	Bellaires I. Fours XI et XII selon le profil AB	38
62.	Bellaires I. Parois nord des fours XI et XII	38
63.	Bellaires I. Fours XI et XII, profil selon CD	39
64.	Bellaires I. Superposition des fours XI et XII	39
65.	Bellaires I. Essai de reconstitution du four XII	39
66.	Bellaires I. Four XII et substructure du four XI (photo PLP)	40
67.	Bellaires I. Dépôt de minerai en amont du four XII (tranchée 11 (photo PLP)	40
68.	Bellaires I. Four XII (photo PLP)	40
69.	Bellaires I. Plan et profil des fours XV et XVI	41
70.	Bellaires I. Le four XIV avant son dégagement (photo PLP)	42
71.	Bellaires I. Rebord du gueulard du four XV	42
72.	Bellaires II. Plan d'ensemble	43
73.	Bellaires II. Distribution des objets-témoins et des scories	43
74.	Bellaires II. Densité des objets-témoins dans le secteur 7-8, selon la plus forte pente	43
75.	Bellaires II. Profils des tranchées a et g	44
76.	Bellaires II. Gueulard du four XVII	44
77.	Bellaires II. Four XVII. Tuile scorée	44
78.	Bellaires III. Plan d'ensemble	45
79.	Bellaires III. Four XX. Plan	46
80.	Bellaires III. Profil de la tranchée 6	46
81.	Bellaires III. Répartition des tuiles	47
82.	Bellaires III. Epaisseur des tuiles plates	47
83.	Bellaires III. Traces du four XVIII selon la ligne GJ de la fig. 98	48
84.	Bellaires I. Plan des fours I et II	49
85.	Bellaires I. Profil des fours I et II	49
86.	Bellaires I. Profil des fours I et II selon la ligne JK	50
87.	Bellaires I. Glaisage de la paroi ouest du four I (point a)	50
88.	Bellaires I. Fours I-II: un amoncellement de pierres signale des vestiges (photo PLP)	50
89.	Bellaires I. Les fours jumelés I et II dégagés (photo PLP)	50
90.	Bellaires I. Plan des fours III et IV	51
91.	Bellaires I. Fours III et IV. Profil des portes	51
92.	Bellaires I. Profils du four III selon AB et CD de la fig. 90	52
93.	Bellaires I. Profils des fours III et IV selon EF et GH de la fig. 90	52
94.	Bellaires I. Four IV, coupe selon JK et LM de la fig. 90	52
95.	Bellaires I. Pilier central des fours III et IV	53
96.	Bellaires I. Plan du four VI	53
97.	Bellaires I. Four VI, profil selon AB	53
98.	Bellaires III. Fours XIX et XX, plan	54
99.	Bellaires III. Profils des fours XIX et XX selon AB , CD et EF de la fig. 98	54
100.	Bellaires III. Four XX, porte en encorbellement	55
101.	Bellaires III. Glaisage en rouleau	55
102.	Bellaires III. Les fours jumelés XIX et XX (photo PLP)	55
103.	Bossena I sur Ferreyres. Plan de situation d'après le levé de Fernand Spertini, 25 juin 1968	56
104.	Bossena I. Plan et coupe du four XXII	57
105.	Bossena I. Coupe du four XXII	58
106.	Bossena I. Le fourneau (photo PLP)	58
107.	Bossena I. Embrasure d'une tuyère latérale (photo PLP)	58
108.	Bossena I. L'angle méridional du four et la mine (photo PLP)	58
109.	Bossena I. Embrasure de la tuyère sud (J)	59
110.	Bossena I. Fond du creuset et forme de la cuve	59
111.	Bossena I. Epaisseur des tuiles plates	59
112.	Bossena I. Coupe c d, 40 cm au sud du foyer	60
113.	Bossena I. Coupe e f, place de travail au nord du four	60
114.	Bossena I. Tranchée a b, 4 m au sud du four	60
115.	Prins-Bois II sur Juriens. Plan du four XXIII	61
116.	Prins-Bois II. Coupes du four XXIII selon a b, c d, e f, g h	61

Figure

page

117.	Prins-Bois II. La porte du four et le creux de coulée entaillé dans les couches calcaires (photo PLP)	62
118.	Ordre de succession des fourneaux	62
119.	Châtel sur Montricher. Plan de situation	63
120.	Châtel sur Montricher. Plan des fouilles	64
121.	Forel-Saint-André sur Baulmes, Profil et plan d'après les relevés de M. Gustave Ravussin	65
122.	Ventilation	68
123.	Hauteur des fourneaux (en pieds)	69
124.	Dimension du fond	69
125.	Les types de cuves	70
126.	Fond du creuset	70
127.	Absence ou présence de porte	71
128.	Bellaires I. Classement des fourneaux	71
129.	Bellaires II, Bellaires III, Bossena I, Prins-Bois II. Classement des fourneaux	72
130.	Evolution technique des fourneaux	73
131.	Distribution des tuyères	75
132.	Les fonds, largeur/longueur	75
133.	Classement et filiation des fourneaux	78
134.	Epaisseur des tuiles plates	82
135.	Bellaires I. Tuileau à 533	83
136.	Les apports du site	83
137.	Les ateliers	84
138.	Bellaires I. Tranchées 21, 22, 26	84
139.	Bellaires I. Profil de la tranchée 11	85
140.	Bellaires III. Profils des tranchées 4, 5, 7	86
141.	Bellaires I. Profil de la tranchée 8. Les couches et leur provenance	86
142.	Bellaires I. Profil partiel de la tranchée 3	87
143.	Bossena I. Profil de la taille de mine	87
144.	Bellaires I. Les ateliers superposés XI et XII	88
145.	Minéraux de fer: analyses quantitatives	91
146.	Composants acides et basiques	91
147.	Analyses quantitatives des scories, en %	92
148.	Teneur en fer (Fe) des scories en Europe, en %	94
149.	Teneur en fer (Fe) des scories en Suisse, en %	94
150.	Acides et bases dans les scories, en %	95
151.	Bellaires I. Petites scories (photo BZ)	95
152.	Bellaires I. Scories massives (photo PLP)	96
153.	Bellaires I. Scorie percée d'un coup de ringard (photo PLP)	96
154.	Analyses des déchets métalliques	97
155-156.	Bellaires I. Examen métallographique de déchets métalliques non travaillés (photos Gebrüder Sulzer AG)	98
157.	Production des haldes fouillées	99
158.	Fer produit par fourneau	99
159.	Les essences charbonnées, nombre et %	100
160.	Les essences charbonnées	100
161.	Diamètre des bûches	101
162.	Age des échantillons	102
163.	Age des charbons	102
164.	Bellaires I. Tranchant d'une pioche	105
165-166.	Bellaires I. Examen métallographique d'un tranchant de pioche (photos Gebrüder Sulzer AG). 166: agrandissement 50:1	105
167.	Bellaires I. Céramique B 273, z 38, a 287	107
168.	Bellaires I. Céramique z 1-8, d 12	107
169.	Bellaires III. Céramique KL 56/105, KL 56/266	108
170.	Bellaires I. Marmites en pierre b 390 et b 338	109
171.	Datation des échantillons de charbon analysés	112
172.	Succession chronologique des fourneaux	112
173.	Trésis-des-Alleveys sur La Sarraz. Mortier S 14	118
174.	Trésis-des-Alleveys. Céramique S 15, 23, 24	118
175.	Trésis-des-Alleveys. Terre sigillée S 1, 5, 3, 4	119
176.	Trésis-des-Alleveys. Terre sigillée S 2, 7, 10, 11	119

TABLE DES MATIÈRES

DU FER DANS LES LABOURS		
AVANT-PROPOS DE LA PREMIÈRE ÉDITION		
1. UNE INDUSTRIE MÉCONNUE	1	
Du fer pour chacun	3	
Des archives à dépouiller	3	
Les premières trouvailles	3	
Un intérêt furtif	3	
Une enquête systématique	3	
2. L'EXPLORATION	5	
La découverte	5	
Les moyens	5	
Les travaux	5	
Un musée dans la forêt	5	
Terminologie	5	
3. LES SITES	6	
Les Bellaires	6	
La Bossena I	6	
Prins-Bois II	6	
Châtel sur Montricher	6	
4. TUYÈRES ET VENTILATION	7	
Les indices préalables	7	
La ventilation	7	
Des tuyères diversifiées	7	
5. LES FOURNEAUX, DÉCOUVERTES ET RECONSTITUTION	8	
Les fourneaux les plus anciens	8	
Les niveaux intermédiaires	8	
Les fourneaux du niveau supérieur	8	
L'ordre de succession des fourneaux	8	
6. LES FOURNEAUX, ÉTUDE COMPARATIVE	9	
Les caractéristiques des fourneaux	9	
L'apport de Prins-Bois I	9	
7. LES ATELIERS ET LES MINES	80	
Les matériaux nécessaires	80	
L'installation des ateliers	83	
Fourneaux et mines	87	
Les unités de production	89	
8. L'EXPLOITATION	90	
Les minerais	90	
Les scories	92	
Fonte et fer	96	
Le charbon et la forêt	99	
9. LES OBJETS	104	
Os et cornes	104	
Outilage	105	
La céramique	106	
Vases de pierres	108	
Monnaie	109	
10. LA DATATION DES ENTREPRISES	110	
Progrès technique et survivances	110	
La chronologie interne et ses repères	111	
Vers une chronologie cohérente	112	
11. LA ZONE SIDÉRURGIQUE	114	
L'inventaire des sites	115	
Une structure s'esquisse	122	
A LA RECHERCHE DE COURANTS PROFONDS	125	
LES SOURCES	126	
Fonds d'archive	126	
Bibliographie	126	
LEXIQUE DE QUELQUES TERMES TECHNIQUES	132	
LISTES DES TABLEAUX, CARTES, PLANS GÉNÉRAUX, PHOTOGRAPHIES, FIGURES	135	

CAHIERS D'ARCHÉOLOGIE ROMANDE

Case postale 210

CH - 1000 LAUSANNE 17

- N° 1 Gilbert KAENEL: Céramiques gallo-romaines décorées. *Aventicum I*. 1974. ISBN 2-88028-001-X
- N° 2 Jean-Pierre JÉQUIER: Le Moustérien alpin. Révision critique. *Eburodunum II*. 1975. ISBN 2-88028-002-8
- N° 3 Dominique CHAPELLIER: Géophysique et archéologie. 1975. ISBN 2-88028-003-3
- N° 4 Marcel GRANDJEAN, Werner STÖCKLI, Pierre MARGOT, Claude JACCOTTET: Le cloître de la cathédrale Notre-Dame de Lausanne. 1975. ISBN 2-88028-004-4
- N° 5 Pierre DUCREY, Claude BÉRARD, Christiane DUNANT, François PASCHOUD (dir.): Mélanges d'histoire ancienne et d'archéologie offerts à Paul Collart. 1976. ISBN 2-88028-005-2
- Nos 6-7 O.-J. BOCKSBERGER (publié par Alain GALLAY): Le dolmen MVI. *Le site préhistorique du Petit-Chasseur (Sion, Valais) t. 1 et 2*. 1976. ISBN 2-88028-006-0 et ISBN 2-88028-007-9
- N° 8 Gilbert KAENEL: La fouille du «Garage Martin-1973». 1976. ISBN 2-88028-008-7
- N° 9 Paul BISSEGGER, Claude JACCOTTET: La chapelle de Puidoux. 1977. ISBN 2-88028-009-5
- N° 10 Jean-Louis VORUZ: L'industrie lithique de la station littorale d'Yvonand. (Exemple d'étude de typologie analytique). 1977. ISBN 2-88028-010-9
- N° 11 Alain BEECHING: Le Boiron. Une nécropole du Bronze final près de Morges (Vaud-Suisse). 1977. ISBN 2-88 028-011-7
- N° 12 Monika VERZÀR: Un temple du culte impérial. *Aventicum II*. 1977. ISBN 2-88028-012-5
- Nos 13-14 O.-J. BOCKSBERGER (publié par Alain GALLAY): Horizon supérieur, secteur occidental et tombes Bronze ancien. *Le site préhistorique du Petit-Chasseur (Sion, Valais) t. 3 et 4*. 1978. ISBN 2-88028-013-3 et ISBN 2-88 028-014-1
- Nos 15-16 Valentin RYCHNER: L'âge du Bronze final à Auvernier (Lac de Neuchâtel, Suisse). Typologie et chronologie des anciennes collections conservées en Suisse. *Auvernier 1 et 2*. 1979. ISBN 2-88028-015-X et ISBN 2-88028-016-8
- N° 17 Claude BÉRARD, Pierre DUCREY (dir.): Bronzes hellénistiques et romains. (Actes du 5e colloque international sur les bronzes antiques, Lausanne, 8-13 mai 1978). 1979. ISBN 2-88028-017-6
- N° 18 Gilbert KAENEL, Max KLAUSENER, Sylvain FEHLMANN: Nouvelles recherches sur le vicus gallo-romain de Lousonna (Vidy/Lausanne). *Lousonna 2*. 1980. ISBN 2-88028-018-4
- N° 19 Gilbert KAENEL, Sylvain FEHLMANN: Un quartier de Lousonna. La fouille de «Chavannes 7» 1974/1975 et 1977. *Lousonna 3*. 1980. ISBN 2-88028-019-2
- N° 20 André LAUFER: La Péniche. Un atelier de céramique à Lousonna (1er s. apr. J.-C.). *Lousonna 4*. 1980. ISBN 2-88028-020-6
- N° 21 Daphné WOYSCH-MÉAUTIS: La représentation des animaux et des êtres fabuleux sur les monuments funéraires grecs de l'époque archaïque à la fin du IVe siècle av. J.-C. 1982. ISBN 2-88028-021-4
- N° 22 Philippe BRIDEL: Le sanctuaire du Cigognier. *Aventicum III*. 1982. ISBN 2-88028-022-2
- N° 23 Jean-Luc BOISAUBERT: Le Néolithique moyen de la Saunerie. (Fouilles 1972-1975). Denis RAMSEYER: L'industrie en bois de cerf du site néolithique des Graviers. *Auvernier 3*. 1982. ISBN 2-88028-023-0
- N° 24 François SCHIFFERDECKER: La céramique du Néolithique moyen d'Auvernier dans son cadre régional. *Auvernier 4*. 1982. ISBN 2-88028-024-9
- N° 25 André BILLAMBOZ, Jacques-Léopold BROCHIER, Louis CHAIX *et al.*: La station littorale d'Auvernier-Port. Cadre et évolution. *Auvernier 5*. 1982. ISBN 2-88028-025-7
- N° 26 Michel EGLOFF, Kolja FARJON: Aux origines de Lausanne. Les vestiges préhistoriques et gallo-romains de la Cité. 1983. ISBN 2-88028-026-5
- N° 27 Béatrice HEILIGMANN-HUBER: Les catelles à relief du château de Valangin. 1983. ISBN 2-88028-027-3
- N° 28 Joël VITAL, Jean-Louis VORUZ: L'habitat protohistorique de Bavois-en-Raillon (Vaud). 1984. ISBN 2-88028-028-1
- N° 29 Jean-Louis VORUZ: Outilages osseux et dynamisme industriel dans le Néolithique jurassien. 1984. ISBN 2-88 028-029-X
- N° 30 Gilbert KAENEL, Philippe CURDY, Hanspeter ZWAHLEN: Saint-Triphon, Le Lessus (Ollon, Vaud) du Néolithique à l'époque romaine. 1984. ISBN 2-88028-030-3
- Nos 31-32 Alain GALLAY, Louis CHAIX: Le dolmen M XI. *Le site préhistorique du Petit-Chasseur (Sion, Valais) t. 5 et 6*. 1984. ISBN 2-88028-031-1 et ISBN 2-88028-032-X
- N° 33 Klaus GREWE, Denis WEIDMANN, Paul-Louis PELET *et al.*: Canal d'Entreroches. Créer une voie navigable de la mer du Nord à la Méditerranée au XVIIe siècle. 1987. ISBN 2-88028-033-8
- N° 34 Ivonne MANFRINI-ARAGNO: Bacchus dans les bronzes hellénistiques et romains. Les artisans et leur répertoire. 1987. ISBN 2-88028-036
- N° 35 Jean LANGENBERGER, Marie-Claude MORAND (dir.): Le général Dufour et Saint-Maurice. 1987. ISBN 2-88 028-035-4
- N° 36 Claude BÉRARD, Christiane BRON, Alessandra POMARI (dir.): Image et société en Grèce ancienne. L'iconographie comme méthode d'analyse. (Actes du Colloque international, Lausanne, 8-11 février 1984). 1987. ISBN 2-88028-036-2
- N° 37 Valentin RYCHNER: Auvernier 1968-1975. Le mobilier métallique du Bronze final. Formes et techniques. *Auvernier 6*. 1987. ISBN 2-88028-037-0
- N° 38 Daniel PAUNIER, Emmanuel ABETEL, Silvio AMSTAD *et al.*: Le vicus gallo-romain de Lousonna-Vidy. Rapport préliminaire sur la campagne de fouilles 1984. *Lousonna 5*. 1984. ISBN 2-88028-038-9
- N° 39 Daniel PAUNIER, Silvio AMSTAD: L'établissement gallo-romain de Bavois (VD). Sondages 1973. 1984. ISBN 2-88028-039-7

- N° 40 Daniel PAUNIER, Emmanuel ABETEL, Marina ANDRES-COLOMBO *et al.*: Le vicus gallo-romain de Lousonna-Vidy. Rapport préliminaire sur la campagne de fouilles 1984. *Lousonna* 6. 1987. ISBN 2-88028-040-4
- N° 41 Daniel CASTELLA: La nécropole du Port d'Avenches. *Aventicum IV*. 1987. ISBN 2-88028-041-9
- N° 42 Daniel PAUNIER, José BERNAL, Daniel CASTELLA *et al.*: Le vicus gallo-romain de Lousonna-Vidy. Le quartier occidental. Le sanctuaire indigène. Rapport préliminaire sur la campagne de fouilles 1985. *Lousonna* 7. 1989. ISBN 2-88028-042-7
- N° 43 Hans BÖGLI, Michel FUCHS (dir.): *Pictores per provincias. (Actes du 3e colloque international sur la peinture murale romaine, Avenches, 28-31 août 1986).* *Aventicum V*. 1987. ISBN 2-88028-043-5
- N° 44 Pascale BONNARD: La ville romaine de Nyon. Répertoire des fouilles et trouvailles. Bibliographie du site. *Noviodunum I*. 1988. ISBN 2-88028-044-3
- N° 45 Denis RAMSEYER: La céramique néolithique d'Auvernier-La Saunerie (fouilles 1964-1965). *Auvernier* 7. 1988. ISBN 2-88028-045-1
- N° 46 François SCHIFFERDECKER: Le site littoral néolithique d'Auvernier/Brise-Lames (NE, Suisse). Stratigraphie et environnement. 1989. *Auvernier* 8. ISBN 2-88028-046-X
- Nos 47-48 Alain GALLAY: Secteur oriental. *Le site préhistorique du Petit-Chasseur (Sion, Valais) t. 7 et 8*. 1989. ISBN 2-88 028-047-8 et ISBN 2-88028-048-6
- N° 49 Jacques MOREL, Silvio AMSTAD: Un quartier romain de Nyon. De l'époque augustéenne au IIIe siècle (Les fouilles de Bel-Air/Gare 9 - 1978-1982). *Noviodunum II*. 1990. ISBN 2-88028-049-4
- N° 50 Gilbert KAENEL: Recherches sur la période de La Tène en Suisse occidentale. Analyse des sépultures. 1990. ISBN 2-88028-050-8
- N° 51 Dominique BAUDAIS, Christiane KRAMAR: La nécropole néolithique de Corseaux «en Seyton» (VD, Suisse). Archéologie et Anthropologie. 1990. ISBN 2-88028-051-6
- N° 52 Reto MARTI: Das frühmittelalterliche Gräberfeld von Saint-Sulpice VD. Le cimetière du Haut Moyen Age de Saint-Sulpice VD. 1990. ISBN 2-88028-052-4
- N° 53 Nicole PLUMETTAZ, Dominique ROBERT BLISS: Echandens-La Tornallaz (VD, Suisse). Habitats protohistoriques et enceinte médiévale. 1992. ISBN 2-88028-053-2
- N° 54 Emmanuel ABETEL: L'établissement sidérurgique de Montcherand. 1992. ISBN 2-88028-054-0
- N° 55 Peter EGGENBERGER, Philippe JATON, Catherine SANTSCHI, Christian et Françoise SIMON: L'église de Saint-Prex. Histoire et archéologie. 1992. ISBN 2-88028-055-9
- N° 56 Peter EGGENBERGER, Laurent AUBERSON, Gabriele KECK: L'église de Saint-Saphorin en Lavaux. Le site gallo-romain et les édifices qui ont précédé l'église. Réinterprétation des fouilles de 1968-1969. 1992. ISBN 2-88 028-056-7
- N° 57 Gilbert KAENEL, Philippe CURDY (dir.): L'âge du Fer dans le Jura. (Actes du 15e Colloque de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Pontarlier (France) et Yverdon-les-Bains (Suisse), 9-12 mai 1991). 1992. ISBN 2-88028-057-5
- N° 58 François CHRISTE: La «Cour des Miracles» à la Cité. 1220-1960. Une tranche de l'histoire de Lausanne. 1992. ISBN 2-88028-058-3
- N° 59 Claus WOLF: Die Seeufersiedlung Yverdon, Avenue des Sports (Kanton Waadt). Eine kulturgechichtliche und chronologische Studie zum Endneolithikum der Westschweiz und angrenzender Gebiete. Le site littoral d'Yverdon, avenue des Sports (Canton de Vaud). Une étude du développement culturel et chronologique de la fin du Néolithique de Suisse occidentale et des régions voisines. 1993. ISBN 2-88098-059-1
- N° 60 Paul-Louis PELET: Une industrie reconnue. Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud. 1993. ISBN 2-88028-060-5
- N° 61 Vincent SERNEELS: Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale. 1993. ISBN 2-88028-061-3
- N° 62 Daniel CASTELLA: Le moulin hydraulique gallo-romain d'Avenches «En Chaplix». 1994. ISBN 2-88028-062-1