Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande

Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise

Band: 88 (2001)

Artikel: Recherches archéologiques sur le district sidérurgique du Jura central suisse

Autor: Eschenlohr, Ludwig

Kapitel: 5: L'apport interdisciplinaire

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-836114

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: 16.07.2025

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

5 L'APPORT INTERDISCIPLINAIRE

Dans la recherche archéologique, il est actuellement illusoire d'œuvrer sans avoir recours aux disciplines complémentaires, comme par exemple la datation par radiocarbone (C14), l'anthracologie, la palynologie ou la toponymie. À une étude dite «technologique», comme la nôtre, s'ajoutent encore des analyses chimiques et métallographiques, indispensables à la compréhension des vestiges de l'ancienne industrie du fer. L'objectif de ce chapitre est de présenter l'apport de toutes ces disciplines – que l'on peut rattacher à l'archéométrie – à notre étude et, par là, de souligner l'importance des résultats obtenus par leur biais[1].

archéologie, il s'agit de mesurer sur le terrain, au moyen d'un magnétomètre, certaines anomalies du champ magnétique terrestre dues à l'action de l'homme, par exemple par une structure de combustion liée à la production ou à la transformation d'un métal.

Métallographie
Etude de la structure et des propriétés des métaux: dans notre cas, les analyses concernent uniquement le fer.

Palynologie
Etude des pollens, et, spécialement, des pollens contenus à l'état de résidus dans les sédiments (paléobotanique).

Disciplines	Anthracologie	Chimie	Datation C14 *	Magnétisme	Métallographie	Palynologie	Repérage	Topographie	Toponymie	Volumétrie
Echantillons	109	80	124	13	5	2	318	234	439	149
Sites	100	28	109	13	3	2	318	234	439	149
%	31.4	8.8	34.3	4.1	0.9	–	100	73.6	–	46.9

Matières présentées dans d'autres chapitres :	
Anthracologie	: chap. 2.2.2
Chimie (minerai)	: chap. 2.1.2
Palynologie	: chap. 2.3
Repérage	: chap. 4
Topographie	: chap. 4, catalogue et carte

Fig. 62.
Nombre d'échantillons prélevés sur les sites en vue d'analyses. Les pourcentages sont calculés par rapport au nombre de sites repérés; les deux tourbières, pour la palynologie, et tous les sites sidérurgiques faisant partie de l'étude toponymique ne sont pas retenus dans ce calcul.

Remarque: *114 échantillons provenant de 106 sites ont été datés dans le cadre du projet FNS. En outre ont été prises en compte: 3 dates provenant de *Boécourt, Les Boulies*; à titre de comparaison, 3 datations effectuées sur des prélèvements de U. Löw, ainsi que 4 dates provenant de 2 sites fouillés par le Service archéologique du Canton de Berne[2]. En ce qui concerne les datations doubles ou triples en provenance d'un même site, elles sont au nombre de 15[3]. Quatre d'entre elles datent des ensembles différents au sein d'un site (*Corcelles, La Creuse, Lajoux, Derrière les Embreux* et *Dos le Cras*, ainsi que *Boécourt, Les Boulies*). Six des 8 datations effectuées en vue de l'étude palynologique et portant sur des échantillons provenant de deux tourbières de Lajoux sont présentées au sein de leur région[4].

Un rapide survol permet de situer la spécificité de chaque domaine dans son application en archéologie[5]:

Anthracologie
Science qui détermine les essences de charbon de bois (vient du mot grec anthrax qui signifie charbon).

Magnétisme
Partie de la physique ayant pour objet l'étude des propriétés des aimants naturels ou artificiels, des champs et des phénomènes magnétiques. En ce qui concerne son application en

Repérage
Opération de prospection systématique au cours de laquelle les sites sidérurgiques ont été repérés.

Topographie
Représentation graphique (dessin) d'un terrain, d'une portion de territoire, avec l'indication de son relief.

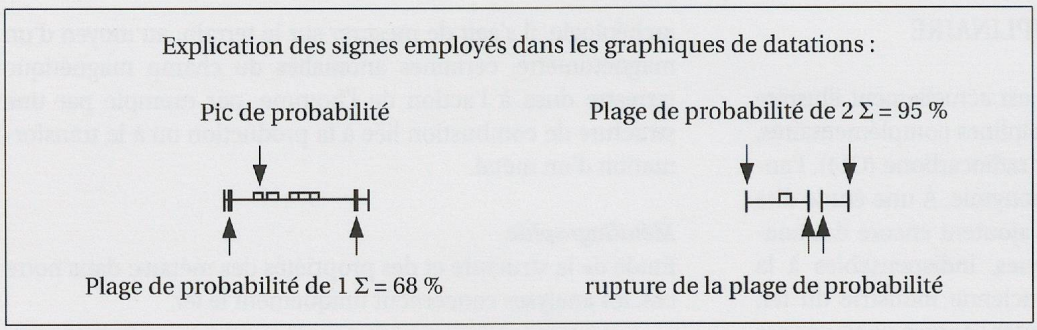
Toponymie
Partie de la linguistique qui étudie les noms de lieux.

Volumétrie
Mesure des volumes. Dans le cas des amas de scories, maintes études ont démontré qu'il ne peut s'agir que d'une valeur relative et approximative qui demanderait chaque fois un calcul détaillé des différents composants du volume obtenu.

5.1 Datations C14

Du fait que tous les sites sidérurgiques datés par le carbone 14 appartiennent à la période médiévale, il sera fait usage d'une subdivision définie comme suit. Le Moyen Age est traditionnellement limité par la chute de l'Empire romain d'Occident (476) et la prise de Constantinople (1453). Cette période se subdivise en trois phases successives, à savoir le Haut Moyen

[1] Concernant les limites de l'approche interdisciplinaire et les considérations préliminaires, voir chap. 1.1.2 et 1.1.3, en particulier 1.1.3.4.
[2] Les datations des sites échantillonnés par U. Löw ont été vérifiées dans le cadre du projet.
[3] En cas de datations divergentes, seule une des deux ou trois dates a été retenue pour la classification chronologique du site concerné (voir les présentations par région, chap. 5.1).
[4] L'impact de l'industrie du fer sur le paysage est discuté au chap. 2.2.3.
[5] Les définitions de ces termes proviennent en majeure partie du *Grand Robert*.



Age, le Plein Moyen Age et le Bas Moyen Age. En terme d'évolution technologique et économique, le Haut Moyen Age débute à nos yeux au milieu du 5e siècle et dure jusqu'à l'an 1000 (550 ans); le Plein Moyen Age comprend les 11e, 12e et 13e siècles (300 ans); tandis que le Bas Moyen Age englobe le 14e siècle et au moins la première moitié du 15e siècle (entre 150 et 200 ans). La transition qui a lieu au cours du 15e siècle s'est déroulée sans rupture, en particulier dans le Jura, où l'on observe l'apparition d'une technologie moderne en rapport avec le haut fourneau. Lorsque, sur la base d'une datation absolue, la distinction entre le Plein et le Bas Moyen Age ne s'est pas avérée possible, c'est le terme général de Moyen Age qui a été employé, lequel ne désigne donc jamais la période du Haut Moyen Age (il en va de même pour l'adjectif médiéval).

5.1.1 Remarques méthodologiques

Dans le concept de cette recherche, basée principalement sur la prospection – c'est-à-dire sur l'observation, l'enregistrement et l'interprétation des sites sidérurgiques sans avoir recours à une fouille même partielle –, l'apport des datations absolues s'est avéré primordial[6]. Afin de procéder à une sélection judicieuse des sites à dater, l'envoi des premiers échantillons a été retardé jusqu'au milieu de l'année 1994. Il était en effet important d'acquérir une vision globale des sites du district avant de procéder à un tel choix. Cette façon de faire a exigé un effort particulier et de longue haleine de la part des laboratoires sollicités: les derniers échantillons ont été analysés au début de l'année 1997. L'importance du corpus des sites et les limites de capacité des laboratoires concernés expliquent le fait que l'aide de trois d'entre eux a été requise. Il s'agit des laboratoires universitaires de Berne, Lyon et Zurich[7]. En fin de série, j'ai eu ponctuellement recours, pour des échantillons de petite taille, au laboratoire de l'Université de Groningen[8]. Les huit datations portant sur des échantillons palynologiques ont été effectuées à l'Université d'Arizona. Enfin, quatre dates proviennent du laboratoire Archéolabs de Moudon (trois dates de *Boécourt, Les Boulies* et une date d'*Undervelier, Montépoirgeat*). La bonne cohérence des datations provenant des trois laboratoires principaux (Berne, Lyon et Zurich) est à souligner.

5.1.2 Analyses des données

Les datations obtenues sont présentées ici par région, comme c'était le cas pour l'ensemble des données concernant les sites sidérurgiques: la seule différence notable est qu'aucune date absolue n'est encore disponible pour le vallon de Saint-Imier, la vallée de Tavannes et l'Ajoie. De ce fait, le Chaluet a été associé au Grand-Val.

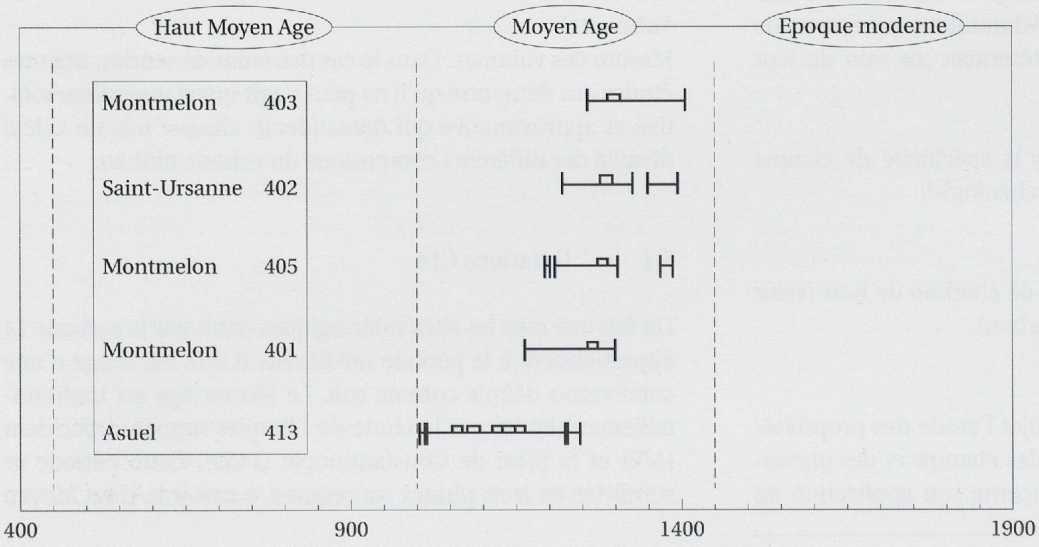


Fig. 63.
Datations (cal AD) des ferriers du Clos-du-Doubs (plages de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité)[9]. 5 sur 16 ferriers repérés (soit 31%) ont été datés.

[6] A l'image des recherches menées par Magnusson dans certaines régions de Suède, où 100 datations pour environ 700 sites sont disponibles (Magnusson 1986).

[7] 39 datations ont été effectuées à Berne, 36 à Lyon et 31 à Zurich.

[8] Les deux dates obtenues posent de sérieux problèmes: il en sera question lors de la présentation et de l'interprétation des résultats (chap. 5.1.2 et 5.1.3).

[9] Pour les références détaillées concernant les sites et les datations obtenues, ainsi que le programme de calibration employé, voir dans le catalogue.

Clos-du-Doubs

Dans le Clos-du-Doubs, le nombre de ferriers connus est encore relativement faible. Il en est donc de même pour les sites datés. On constate que les premiers indices d'activité sidérurgique se rencontrent après l'an mil, c'est-à-dire après la période du Haut Moyen Age. Il ne s'agit certainement pas seulement d'un état de la recherche. Il faut également relever l'absence de tout ferrier à partir du début du 15e siècle[10].

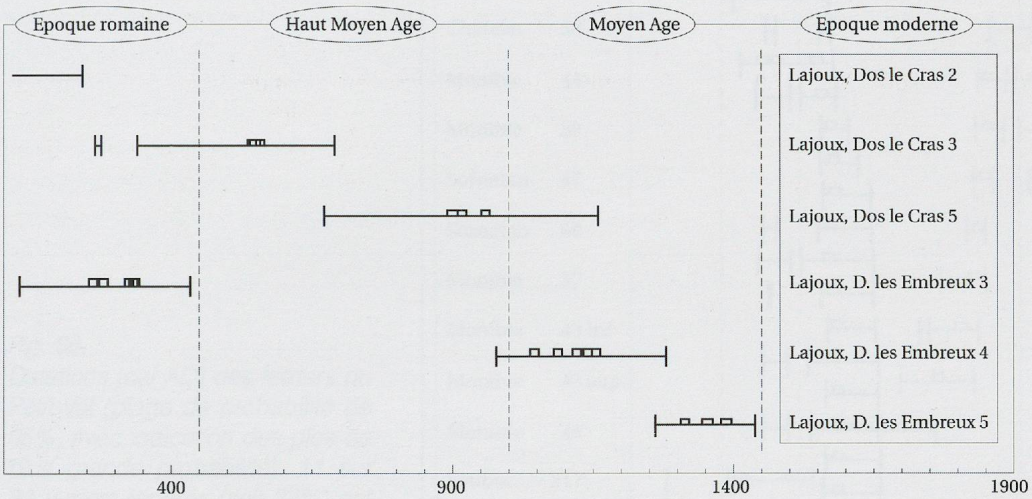


Fig. 64.
Datations (cal AD) d'échantillons provenant des deux colonnes palynologiques analysées (plage de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité).

Franches-Montagnes

La vision fournie par les nombreux ferriers datés de cette région est sans équivoque: après des prémices d'activité dans la *Combe Tabeillon* et l'apparition de quelques sites en montant vers *Saulcy, Lajoux* et *Saint-Brais,* le nombre d'ateliers explose subitement durant la deuxième moitié du 13e siècle. L'activité sidérurgique utilisant la méthode directe pour la production du fer reste très marquée au cours du 14e siècle et se poursuit, dans certains cas, jusqu'au début du 17e siècle, ce qui correspond, dans le Jura, à la pleine période des hauts fourneaux. Il est à souligner que la date la plus récente de tout le district, obtenue sur le ferrier n° 72 (fig. 65, n° 72.1) a été vérifiée par un second prélèvement (fig. 65, n° 72.2): la seconde datation ainsi obtenue s'est avérée identique à la première[11].

Avant l'importante phase médiévale de la fin du 13e siècle, dont l'impact quantitatif a tendance à reléguer au second plan les autres phases, on remarque l'existence, au tournant des 12e et 13e siècles, des premières exploitations de *Saint-Brais* sur les hautes côtes du Doubs, ainsi qu'une première intrusion à *Lajoux* et *Rebévelier.*

L'échantillon de *Lajoux, Gros Fief,* provient de la base d'une meule à charbon localisée en bordure du ferrier. La date obtenue ne correspond, dans ce cas précis, qu'à une phase d'exploitation parmi plusieurs, d'autant plus qu'il s'agit ici – et c'est un cas rare – d'un site multiple, c'est-à-dire comportant plusieurs bas fourneaux.

Les datations des prélèvements opérés par U. Löw (UL) – vraisemblablement trop près de la surface –, montrent dans les deux cas des différences évidentes avec celles réalisées dans le cadre de notre projet. Seul le nombre élevé de datations disponibles permet d'évaluer la cohérence de toutes ces dates entre elles, et d'établir une comparaison entre les différentes régions. En conclusion, il n'aurait pas été possible de mettre en évidence l'événement majeur qui marque la fin du 13e siècle sur ce territoire de superficie réduite (42 km²), sans avoir recours à des datations en nombre suffisant (± 38% des ferriers repérés).

Les datations provenant des colonnes palynologiques[12]

Sans revenir sur le détail des événements qu'ils datent, on peut relever des traces d'activités humaines – dans les périodes qui nous intéressent ici – à l'Epoque romaine, puis au Haut Moyen Age, ainsi que dans les phases plus récentes du Moyen Age. Malgré des plages de probabilité plus larges, dues au fait qu'il s'agit de tourbe et non pas de charbon, ces dates sont d'un précieux concours pour l'interprétation de l'impact de la sidérurgie sur l'environnement jurassien[13].

Petit-Val

En regard du nombre de dates, le développement de l'activité sidérurgique dans le Petit-Val – au sens strict du nom – est plus clairement perceptible à cet endroit que dans le vallon qui

[10] Voir les premières explications à ce sujet au chap. 3.3.
[11] La question de savoir s'il s'agit bien d'un ferrier a été discutée au chap. 4.1.
[12] Pour l'ensemble des résultats, voir Richard et Eschenlohr 1998.
[13] Voir aussi chap. 2.2.3, ainsi que chap. 7 et 8.

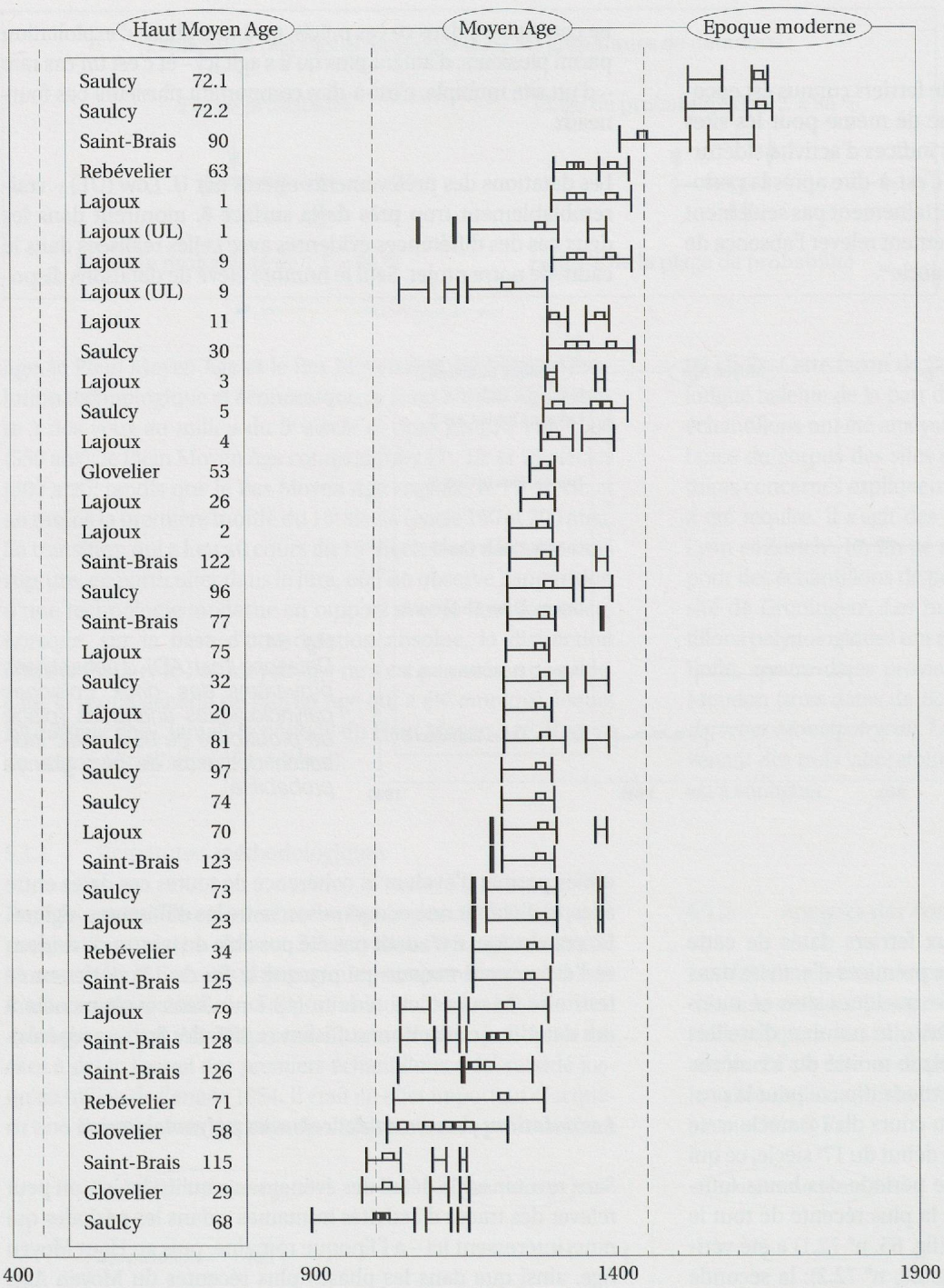


Fig. 65.
Datations (cal AD) des ferriers de la partie orientale des Franches-Montagnes (plage de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité). 36 sur 95 ferriers repérés (soit 38%) ont été datés.

s'étend jusqu'à Moutier[14]. La date la plus précoce provient toutefois de cette dernière région, laquelle s'ouvre à la sidérurgie au plus tard au 10e siècle[15]. Malgré le nombre réduit de sites datés, on constate que les ferriers s'enchaînent de façon suivie d'un point de vue chronologique. L'activité sidérurgique semble s'interrompre au cours du 15e siècle, à l'exception d'un site localisé dans les *Gorges du Pichoux* qui pourrait être une installation de type ferrière[16].

Les datations obtenues sur le triple site de *Monible, Sous ce Mont* correspondent partiellement aux observations de terrain. C'est ainsi que le site le moins marqué en surface du sol est effectivement le plus ancien; par contre, les dates relatives au ferrier le plus important ne sont pas les plus récentes. Ceci peut s'expliquer par le fait que les deux prélèvements proviennent non pas de l'amas lui-même, mais d'une meule à charbon conservée sur plus d'un mètre et demi de hauteur[17].

[14] Voir la définition des régions dans l'introduction, chap. 1.1.1.2.
[15] A cet égard, le vallon entre Perrefitte et Souboz mériterait une étude plus approfondie.
[16] Voir chap. 3.2.2.
[17] Voir fig. 53 et la situation similaire du prélèvement effectué sur le site de *Lajoux, Gros Fief*

Grand-Val et Chaluet

Les activités sidérurgiques débutent au plus tard au 6e siècle dans le Grand-Val et peu de temps après (début du 7e) au Chaluet. À partir du 7e siècle, elles s'étendent peu à peu à toute la partie supérieure du Grand-Val, et les indices récoltés permettent de supposer qu'elles se développent dans tout le vallon. Contrairement à ce qui se produit dans d'autres régions, elles ne semblent pas avoir connu d'interruption, ni même de baisse du 8e au 10e siècle. Il est fort probable qu'elles se concentrent durant cette période à l'emplacement du vaste site de *Corcelles, La Creuse – Les Envers* (300 et 301), ce qui n'empêche pas que la production se soit poursuivie également ailleurs (par exemple: à *Grandval, Plain Journal*). Cette région continue à se différencier durant le plein Moyen Age (11e-12e siècle), avec une diversification géographique des activités au-delà du Grand-Val: le site de Roches et un second dans le Chaluet en sont la preuve. Enfin, au Bas Moyen Age, ce qui contraste nettement avec le développement des autres régions, les activités du Grand-Val perdent leur effervescence d'antan. Les trois datations les plus récentes proviennent en effet, pour l'une, d'un autre contexte régional (site de *Moutier, La Combe,* presqu'à l'amorce de la région du Petit-Val); pour la deuxième, d'une ferme médiévale fouillée récemment (dont le mobilier demande encore à être étudié, afin de préciser la classification du site); et pour la troisième, de l'un des trois sites alignés dont

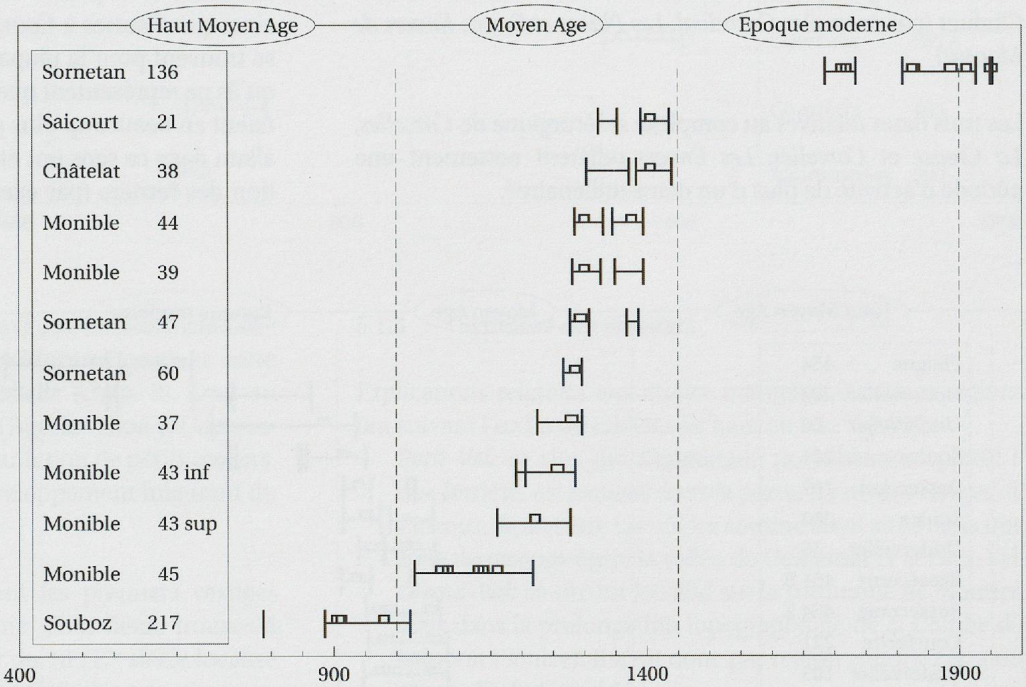


Fig. 66.
Datations (cal AD) des ferriers du Petit-Val (plage de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité). 11 sur 33 ferriers repérés (soit 33%) ont été datés.

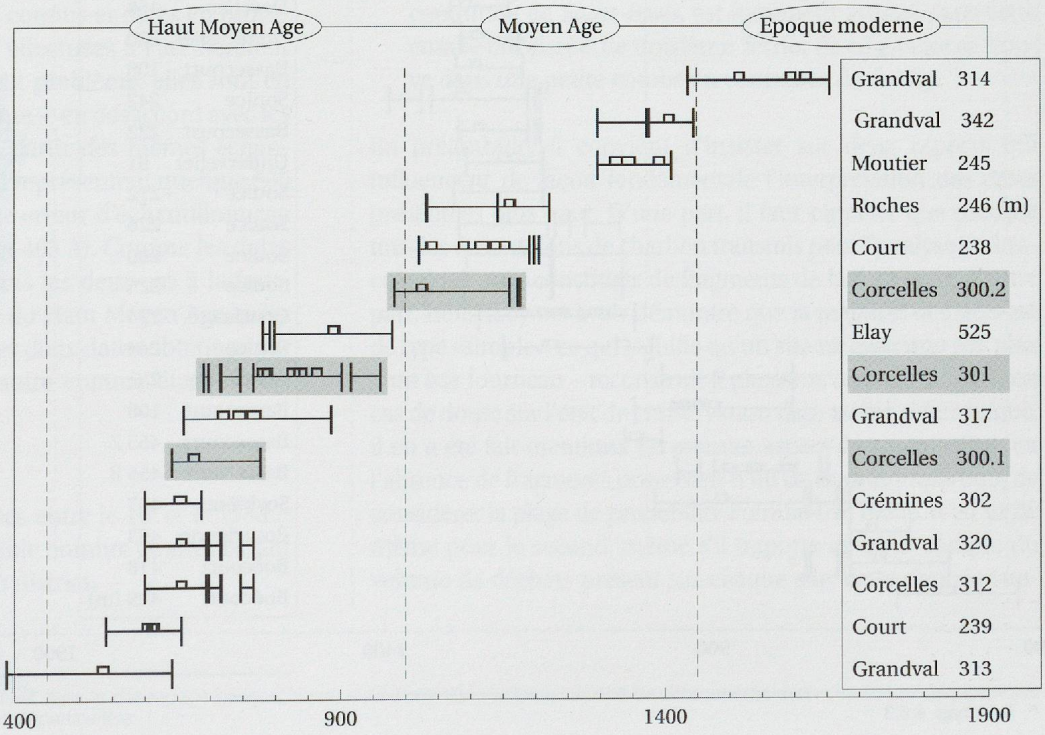


Fig. 67.
Datations (cal AD) des ferriers du Grand-Val et du Chaluet (plage de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité). Encadrées en gris: les dates successives de Corcelles, La Creuse et Corcelles, Les Envers; m: moyenne ajustée de 3 datations. 14 sur 51 sites sidérurgiques repérés (soit 27,5%) ont été datés.

deux (*Grandval, Les Grands Bambois,* 313 et 320) datent clairement du Haut Moyen Age. Dans ce dernier cas, l'attribution typologique des scories provenant du site supposé récent plaide d'ailleurs plutôt en faveur d'une date plus ancienne. L'exactitude de la datation obtenue dans ce contexte est donc sérieusement remise en question, même si la présence de ferriers médiévaux – quoique rare – est attestée dans le Grand-Val et le Chaluet (par exemple: *Grandval, Les Places et Court, Envers de Montoz*).

Les trois dates relatives au complexe sidérurgique de *Corcelles, La Creuse* et *Corcelles, Les Envers* reflètent nettement une période d'activité de plus d'un demi-millénaire[18].

Vallée de Delémont

Dans la vallée de Delémont, un premier noyau de sites datant du Haut Moyen Age se cristallise autour de *Boécourt, Les Boulies:* un ferrier localisé en amont et un autre plus bas, dans le vallon de la Rouge Eau. Un autre site précoce, bien enfoui sous la surface et de petites dimensions, a été repéré à *Bourrignon,* ainsi que d'autres à *Courfaivre* et à *Soyhières:* comme ces sites se trouvent pour la plupart à basse altitude, il y a fort à parier qu'ils ne représentent que «la pointe de l'iceberg» et qu'ils existaient en beaucoup plus grand nombre. De nombreux indices allant dans ce sens ont été mis en évidence lors de la description des ferriers (par exemple *Courfaivre, La Bruèye,* n° 462).

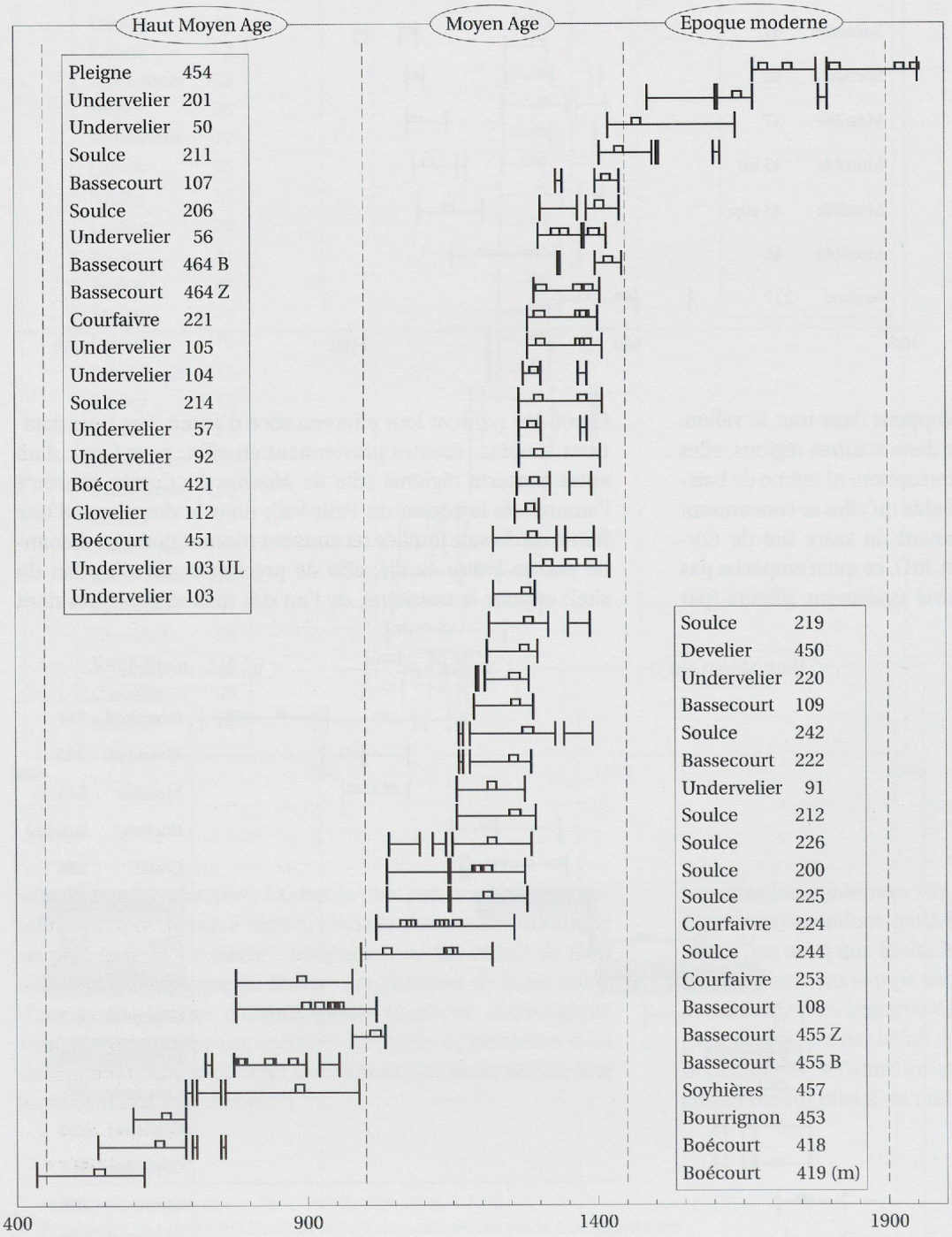


Fig. 68.
Datations (cal AD) des ferriers de la vallée de Delémont (plage de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité). Z: datation effectuée à Zurich, B: datation effectuée à Berne; m: moyenne ajustée de 3 datations; UL: datation d'un prélèvement effectué par U. Löw. 38 sur 131 sites sidérurgiques repérés (soit 29%) ont été datés.

[18] Voir chap. 4.6.3

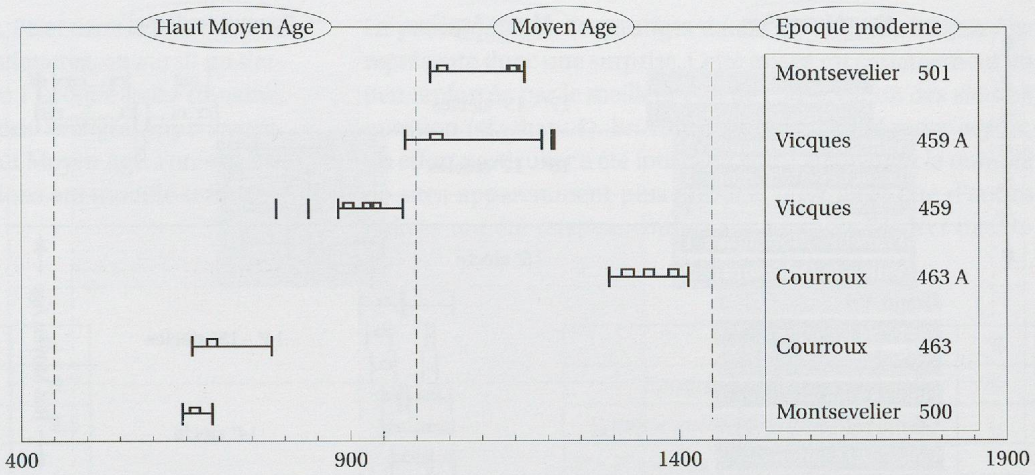


Fig. 69.
Datations (cal AD) des ferriers du Val Terbi (plage de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité); A: datation obtenue par accélérateur au laboratoire de Groningen. 4 sur 15 ferriers repérés (soit 26,5%) ont été datés.

Un autre argument de poids en faveur d'une forte activité sidérurgique productive durant le Haut Moyen Age dans cette région est le site de *Develier-Courtételle* (chap. 8). Tout au début de la phase suivante du Moyen Age, le vallon d'*Undervelier* et de *Soulce* est investi par l'implantation de petits ateliers. Au 13e siècle, la région connaît le développement fulgurant du nombre de ferriers.

Enfin, quelques sites tardifs côtoient les premiers vestiges annonciateurs de l'industrie moderne, dont deux, trouvés à Undervelier, s'apparentent au ferrier du 16e/17e siècle localisé dans la *Combe Tabeillon*. Un haut fourneau, dont on n'a aucune trace dans les archives, daterait du 17e ou 18e siècle, mais l'absence de toute mention, même chez Quiquerez, implique que cette date soit vérifiée (*Pleigne, La Favoirgeatte,* n° 454, chap. 5.2.2).

Val Terbi

Outre le très faible nombre de sites connus et datés en provenance du Val Terbi, deux datations effectuées à l'accélérateur par l'Université de Groningen posent problème: elles sont en effet – l'une des deux de façon extrême –, en désaccord avec les dates conventionnelles obtenues à partir des mêmes échantillons: les plages de probabilité, qui représentent quelque 500 ans d'écart, reflètent sans doute une erreur d'échantillonnage ou de laboratoire (fig. 69, n° 459 A et 463 A). Comme les dates conventionnelles correspondent dans les deux cas à la fourchette attendue, à savoir la période du Haut Moyen Age, nous avons décidé de considérer l'une des deux dates obtenues par accélérateur comme erronée, et l'autre comme étant moins probable.

La présence de deux dates comprises entre le 10e et le 11e-12e siècle est à relever, étant donné le faible nombre de sites datant de cette période dans l'ensemble du district.

5.1.3 Synthèse des résultats

Explications relatives aux étoiles marquant certaines régions (en suivant l'ordre du tableau de haut en bas, fig. 70):

- ***Petit-Val:*** ce site, qui s'apparente probablement plutôt à une ferrière, est localisé dans la partie haute des *Gorges du Pichoux*. Il peut être considéré comme étant situé dans une zone de passage entre la vallée de Delémont et le Petit-Val.
- ***Grand-Val:*** ce site est localisé sur la commune de Moutier, mais dans la prolongation topographique de la Combe du Folpotat (Soulce). Il n'est donc pas retenu comme étant un site tardif du Grand-Val.
- ***Grand-Val:*** il s'agit du ferrier fouillé à *Roches*. Localisé dans une cluse de la Birse, il pose également un problème d'appartenance géographique. Topographiquement parlant, il fait partie de la prolongation occidentale du versant nord du Raimeux et doit donc être associé aux sites de *Rebeuvelier*[19].
- ***Franches-Montagnes:*** deux des premiers sites classés dans cette région sont implantés en fait dans la *Combe Tabeillon*, zone de liaison entre la vallée de Delémont et une partie des Franches-Montagnes. L'un d'eux, sur la commune de *Saint-Brais*, est fortement avancé dans cette combe encaissée. Le troisième ferrier de ce groupe se trouve dans une petite combe en contrebas de *Saulcy*.

En préambule, il convient d'insister sur deux aspects qui influencent de façon fondamentale l'interprétation des dates présentées plus haut. D'une part, il faut rappeler que presque tous les échantillons de charbon transmis pour l'analyse anthracologique sont constitués de fragments de branches; et d'autre part, nous croyons avoir démontré que la majorité des sites est de type «simple», ce qui signifie qu'un site ne renferme pas plus d'un bas fourneau – reconstruit à plusieurs reprises ou non (en cas de doute sur l'état de conservation d'un atelier sidérurgique, il en a été fait mention). Le premier aspect évoqué permet, en l'absence de fragments provenant d'un tronc plus important, de considérer la plage de probabilité comme très fiable. Il en va de même pour le second, même s'il importe de tenir compte du volume de déchets présent sur chaque site: cette donnée sup-

[19] La difficulté d'attribution réside non seulement dans le découpage géographique, mais aussi dans la faible densité de sites repérés dans ces zones. Ceci explique que nous ne leur accordons pas une attention particulière.

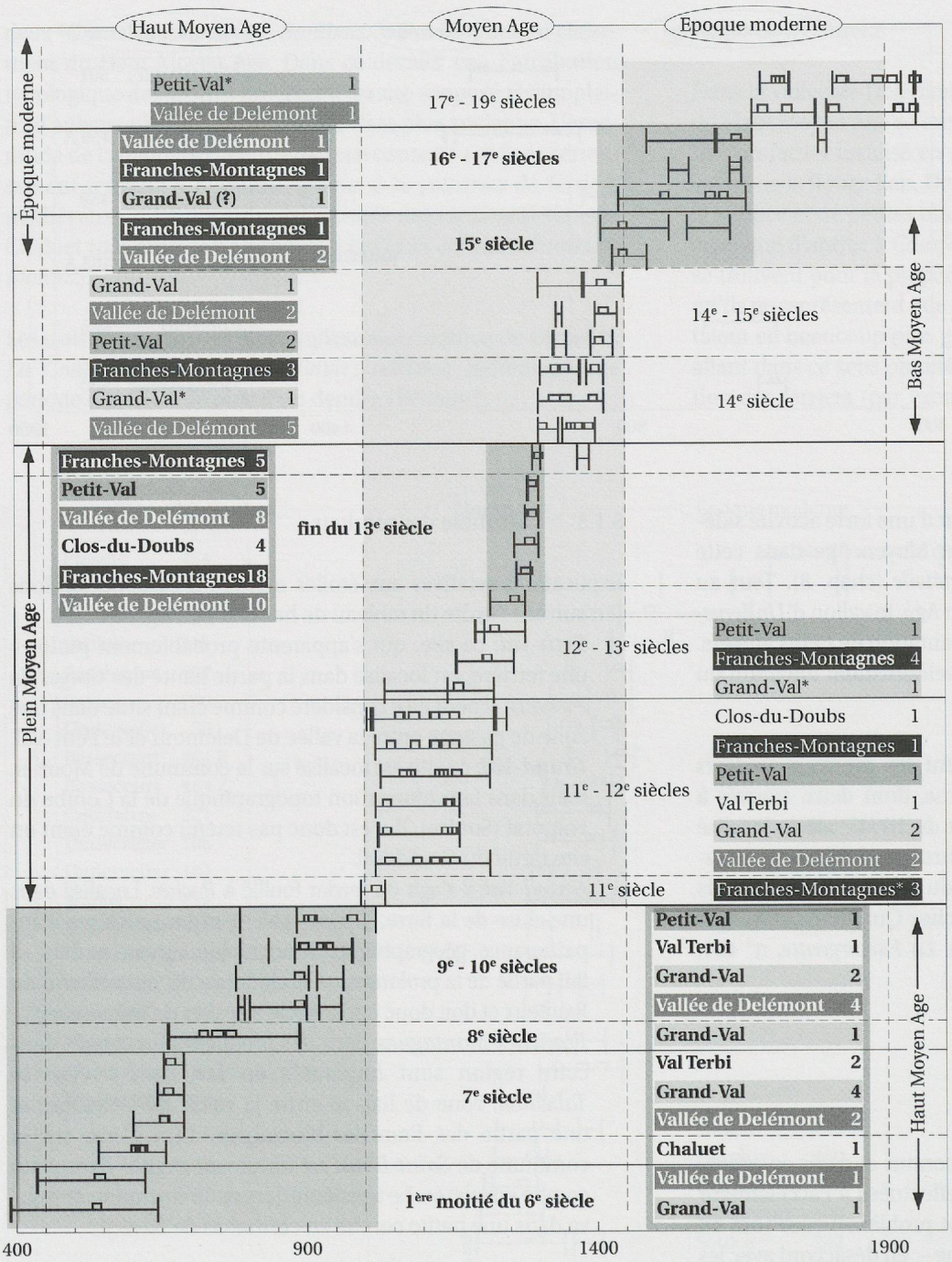


Fig. 70.
Synthèse des datations (cal AD) des ferriers du Jura central suisse (plage de probabilité de 95%, avec indication des pics de plus grande probabilité)[20]. En rouge: concentration des sites à la fin du 13e siècle (45,5%). En bleu: sites appartenant au Haut Moyen Age (18,2%). En vert: ferriers datant de l'Epoque moderne (4,5%). Trait plein: transition nette; pointillé: limite floue. Etoiles: voir texte page précédente.

plémentaire permet en effet d'évaluer la durée d'exploitation moyenne d'ateliers de taille et de type similaires.

La synthèse des datations est présentée sous forme de tableau (fig. 70). Trois caractéristiques définissent l'activité sidérurgique du district jurassien à travers les siècles: premièrement, la présence bien marquée de ferriers pendant tout le Haut Moyen Age dans la vallée de Delémont et dans le Grand-Val, ainsi que probablement dans le Val Terbi et le Chaluet; deuxièmement, la quantité impressionnante de ferriers en fonction vers la fin du 13e siècle; troisièmement, la coexistence – pas seulement anecdotique – de ferriers avec des hauts fourneaux durant l'époque moderne. Plusieurs autres aspects, qui méritent d'être relevés en complément, sont exposés dans la synthèse finale (chap. 7 et 8).

Les datations C14 ont mis en évidence le fait que l'activité productive dans le domaine de la sidérurgie ancienne n'est attestée sur l'ensemble du district qu'à partir du Haut Moyen Age. Elle connaît son apogée durant la deuxième moitié du 13e siècle, avant de céder la place, durant la seconde moitié du 15e siècle, à l'industrie moderne du haut fourneau.

Quant aux ferrières potentielles du *Jura central suisse* qui font la transition entre la méthode directe et indirecte, elles s'échelonnent étonnamment tout au long des siècles du Moyen Age, voire de l'époque moderne: *Corcelles* (11e/12e siècle), *Lucelle* (12e/13e siècle), *Boécourt* (13e/14e siècle), *Bassecourt* (14e/15e siècle), *Erschwil* et peut-être *Delémont* (15e siècle), *Elay* (16e siècle), ainsi que *Sornetan* (17e siècle ?). Aucun indice chronologique n'existe pour l'instant à *Soyhières*.

[20] Lorsqu'il y a plus d'une date par région, c'est la moyenne ajustée qui est calculée (voir Aitken 1990).

Au vu des découvertes faites par P.-L. Pelet dans le Jura vaudois et des descriptions fournies par A. Quiquerez, on aurait pu s'attendre à trouver des sites datant de l'Epoque gallo-romaine, voire de l'Age du Fer – en plus des vestiges appartenant, comme *Boécourt, Les Boulies*, au Haut Moyen Age. Force est de constater que les résultats des datations ont modifié cette première vision des choses[21].

La prédominance des vestiges datant de la fin du Moyen Age représente donc une surprise. Cette image est certainement un peu renforcée par le meilleur état de conservation des sites en question (cf. chap. 4). En considération de ce dernier aspect, un effort particulier a été fourni en vue d'augmenter le nombre de sites apparemment plus anciens. C'est ainsi que d'autres indices ont été retenus, comme par exemple l'aspect macro-

Période	Σ	%
Epoque La Tène	**3**	0.7
Epoque gallo-romaine (?)	**11**	2.5
5e - 7e siècles	1	
6e siècle	1	
6e / 7e siècle	2	
7e siècle	5	
7e / 8e siècle	3	
7e - 9e siècles	1	
8e / 9e siècle	2	
8e - 10e siècles	3	
9e / 10e siècle	3	
Haut Moyen Age ?	48	
Haut Moyen Age	**69**	15.7
10e - 12e siècles	3	
11e / 12e siècle	6	
11e - 13e siècles	7	
12e / 13e siècle	6	
12e - 14e siècles	4	
13e siècle	17	
13e / 14e siècle	23	
13e - 15e siècles	2	
14e siècle	5	
14e / 15e siècle	7	
Epoque médiévale ?	113	
Moyen Age	**193**	44.0
15e / 16e siècle	1	
15e - 17e siècles	3	
16e / 17e siècle	1	
16e - 18e siècles	1	
17e - 19e siècles	2	
Epoque moderne ?	21	
Epoque moderne	**29**	6.6
Période inconnue	**134**	30.5
Total sidérurgie	**439**	100

Fig. 71.
Datations absolues et attributions chronologiques de tous les sites sidérurgiques. Indication avec ?: attribution chronologique par association avec un site daté de façon absolue.

Période	Σ	%
Epoque La Tène	**0**	–
Epoque gallo-romaine (?)	**0**	–
5e - 7e siècles	1	
6e siècle	1	
6e / 7e siècle	1	
7e siècle	5	
7e / 8e siècle	3	
7e - 9e siècles	1	
8e / 9e siècle	2	
8e - 10e siècles	3	
9e / 10e siècle	3	
Haut Moyen Age ?	45	
Haut Moyen Age	**65**	16.3
10e - 12e siècles	3	
11e / 12e siècle	6	
11e - 13e siècles	7	
12e / 13e siècle	6	
12e - 14e siècles	4	
13e siècle	17	
13e / 14e siècle	23	
13e - 15e siècles	2	
14e siècle	5	
14e / 15e siècle	7	
Epoque médiévale ?	106	
Moyen Age	**186**	46.7
15e / 16e siècle	1	
15e - 17e siècles	3	
16e / 17e siècle	1	
16e - 18e siècles	1	
17e - 19e siècles	2	
Epoque moderne	12	
Epoque moderne ?	1	
Epoque moderne	**21**	5.3
Période inconnue	**126**	31.7
Total production	**398**	100

Fig. 72.
Datations absolues et attributions chronologiques des ferriers, ferrières et hauts fourneaux. Indication avec ?: attribution chronologique par association avec un site daté de façon absolue.

[21] Nous avons déjà évoqué ce qu'il fallait penser des attributions chronologiques effectuées par A. Quiquerez, en particulier concernant la période celtique. A ce stade, il faut également émettre des réserves concernant l'attribution à l'Epoque gallo-romaine de mobilier issu de ferriers, telle que ce chercheur la propose (chap. 1.2.1.2, note 27).

scopique des scories provenant d'un ferrier (cf. chap. 5.3). Cette façon de faire a permis de repérer un nombre croissant de ferriers appartenant au Haut Moyen Age. L'absence, pour le moment totale, de vestiges datant de l'Epoque gallo-romaine ou de l'Age du Fer reflète donc bien une réalité, à savoir que, durant ces périodes, la production de fer a dû être très faible, voire presque inexistante, dans le district jurassien.

5.2 Prospection magnétique

Initialement, il n'avait pas été prévu de relever des sites sidérurgiques au moyen d'un magnétomètre. C'est à la suite d'une présentation de N. Florsch, professeur en géophysique à l'Université de La Rochelle, que cet aspect a été intégré dans la démarche de notre recherche[22].

Il faut insister sur la différence considérable de performance entre un magnétomètre à protons et un magnétomètre à césium: avec le premier appareil, 2500 m² de terrain labouré ont été couverts par deux personnes en une journée de travail en employant une maille d'un mètre; avec le second instrument, le même temps a suffi à trois personnes pour mesurer 8000 m² (maille identique) d'un terrain couvert d'un demi-mètre de neige[23].

Tous les relevés ont été effectués en gradiomètre (différence entre deux capteurs distants de 70 cm l'un de l'autre), avec une maille d'un mètre, sauf sur les deux sites de Corcelles (maille de 2 mètres). L'échelle de valeur utilise le nanoTesla (nT)[24]. Dans notre région, le champ magnétique est de l'ordre de 46'000 à 47'000 nT.

5.2.1 Objectif de l'étude

La présentation des ferriers par cette méthode a notamment démontré l'existence de deux grandes catégories de vestiges, d'une part les ferriers aisément repérables grâce à la topographie, et d'autre part ceux qui ont été complètement arasés, étalés ou recouverts. Dans le premier cas, il n'est pas difficile de repérer l'emplacement du bas fourneau, qui se trouve, dans la majorité des cas, au centre du site. Dans le second cas, sauf quelques exceptions (par exemple: *Boécourt, Les Boulies*), il est difficile de préciser l'emplacement exact du fourneau.

L'objectif de l'étude magnétique est donc double: premièrement, localiser l'emplacement du fourneau sur un site étalé dépourvu de tout autre indice; deuxièmement, vérifier sur l'étendue de tout le site le nombre de fourneaux, afin de déterminer s'il s'agit ou non d'un site «simple»– comme c'est le cas la plupart du temps dans le district jurassien – c'est-à-dire ne comportant qu'un seul bas fourneau[25].

Le second aspect n'a toutefois été abordé que très partiellement: en effet, le nombre de sites simples ayant fait l'objet d'un relevé magnétique est très faible[26].

5.2.2 Analyse des données

Les sites ci-après sont exposés de façon détaillée; si bien que, pour plusieurs d'entre eux, cette présentation remplace celle qui aurait dû figurer dans le catalogue des ferriers (chapitre 4). L'importance que j'ai accordée à la prospection magnétique – méthode privilégiée dans l'approche prospective d'un site sidérurgique – justifie ce choix.

Le choix des sites

Le choix du premier ferrier à relever a été motivé par l'importance du site lui-même: le complexe sidérurgique de *Corcelles, La Creuse* et *Les Envers* (n° 300 et 301).

Localité	Site n°	m²	Année	Région
Corcelles	300	20'000	1994	G-V
Lajoux	14 à 16	8'000	1998	F-M
Courfaivre	253	6'000	1998	DEL
Corcelles	301	4'500	1996	G-V
Courtételle	254	4'000	1998	DEL
Lajoux	24	3'900	1996	F-M
Lajoux	79	3'600	1998	F-M
Lajoux	23	2'500	1994	F-M
Bassecourt	455	2'100	1998	DEL
Bassecourt	464	1'350	1998	DEL
Pleigne	454	1'250	1996	DEL
Undervelier	55	1'050	1996	DEL
Monible	40	960	1996	P-V
Total	–	59'210	–	–

Fig. 73.
Sites sidérurgiques prospectés avec le magnétomètre. Les indications de surface sont approximatives.

[22] N. Florsch m'a proposé de suivre un cours d'initiation au magnétomètre à protons et aidé lors des premiers relevés sur le terrain. En 1996, il a été possible d'effectuer un important complément lors d'un stage de P. Fruchard, sur proposition de N. Florsch. Cette série de relevés a été réalisée avec l'aimable collaboration de M. Kammenthaler et de C. Robert-Charrue Linder. En 1998, un nouveau magnétomètre à césium a été mis à notre disposition, une nouvelle fois grâce à l'amical soutien de N. Florsch. Plusieurs membres bénévoles du GAFJ ont alors collaboré aux relevés à Lajoux et dans la vallée de Delémont. Tous ces relevés ont aussi été réalisés grâce au concours compétent de F. Rais et de D. Lambert.
Pour les bases théoriques du relevé magnétique, voir S. Breiner, Applications manual for portable magnetometers. Geometrics, Sunnyvale, California 1973, 58 p.

[23] Un problème informatique, inexpliqué à ce jour, a malheureusement entraîné la perte des fichiers comportant les données chiffrées de 1998, à l'exception du site de Lajoux, La Creuse. Pour les cinq autres ferriers, nous disposons au moins d'une représentation graphique des relevés.

[24] Le *«nano»* est un milliard de fois plus petit que le Tesla qui est l'unité d'induction magnétique (anciennement gauss). L'aimant le plus puissant produit par l'homme atteint à peine quelques Tesla.

[25] Nous avons déjà exposé à plusieurs reprises la notion de ferrier simple, ainsi que les limites de cette définition, vu l'absence de fouille extensive, et selon le principe qu'un bas fourneau peut en cacher un autre !

[26] Il convient également de rappeler l'apport considérable que représente un relevé magnétique dans la phase préparatoire d'une fouille (par exemple: Dunikowski et Cabboi 1995, p. 34). Nous avons eu l'occasion d'effectuer avec succès une telle démarche sur un site de haut fourneau à Langenbruck, Dürstel (Bâle-Campagne): voir Ewald und Tauber 1998, p. 47.

Le deuxième site le plus important en regard de son étendue (*Lajoux* n° 14-16) a été mesuré par nécessité, car il était menacé de destruction partielle et de recouvrement par des déblais. Ce site a été indiqué comme étant constitué de trois amas de scories.

Le site de *Courfaivre* (n° 253) est également un ferrier étalé sur une grande surface, à moins qu'il ne s'agisse de plusieurs ferriers regroupés.

A *Courtételle*, l'objectif a été d'examiner un ferrier étalé de plus petites dimensions (n° 254).

Le site de *Lajoux, La Forge* (n° 23) a attiré notre attention parce qu'il se trouve sur deux parcelles qui sont alternativement labourées: ce fait a permis de découvrir qu'une ou plusieurs installations de combustion étaient enfouies à proximité, sous la surface labourée.

Les deux autres ferriers prospectés à Lajoux font partie des rares exemples du haut plateau qui peuvent être classés d'emblée dans la catégorie des sites multiples (Lajoux n° 24 et 79).

Les deux sites localisés dans la petite vallée de la Rouge Eau, en dessous des Lavoirs, ont été étudiés en vue d'étoffer le corpus de données relatives à l'aire géographique de *Boécourt, Les Boulies (Bassecourt* n° 455 et 464). Le premier des deux ferriers n'a toutefois pas fourni de résultats très concluants.

Sur le site de *Pleigne, La Favoirgeatte* (n° 454), l'espoir de confirmer l'emplacement du haut fourneau à proximité du cours d'eau n'a pas été déçu et une autre structure a même été décelée.

L'esplanade de scories d'au moins 20 mètres sur 20 à *Undervelier, Pré de Joux* (n° 55) avait déjà attiré l'attention d'A. Quiquerez. Il a donc semblé intéressant d'essayer de déterminer combien de bas fourneaux se cachaient sur un site de cette taille.

Enfin, le ferrier étalé de *Monible, La Drai* (n° 40) représentait un site de dimensions raisonnables (pour le magnétomètre à protons !), où l'on soupçonnait l'existence de plus d'un fourneau.

Après cette énumération, il est utile de rappeler que seule une petite partie des sites les plus intéressants ont été sélectionnés, et que le nombre de sites à prospecter avec des moyens géomagnétiques reste très élevé dans l'ensemble du district jurassien. Le magnétomètre est l'outil de prospection le plus adéquat pour l'étude à la fois rapide et détaillée d'un ferrier étalé[27].

Bassecourt, Pré Borbet-dessous

Cet amas de scories s'étend le long du ruisseau de la Rouge Eau. Les scories examinées ne correspondent pas à celles habituellement rencontrées sur un ferrier (chap. 5.3).

Les structures décelées par la prospection magnétique sont localisées sur la berge du ruisseau. Il est probable qu'une partie des installations a été emportée par le cours d'eau, dont l'action érosive lors des périodes de crues est encore bien marquée.

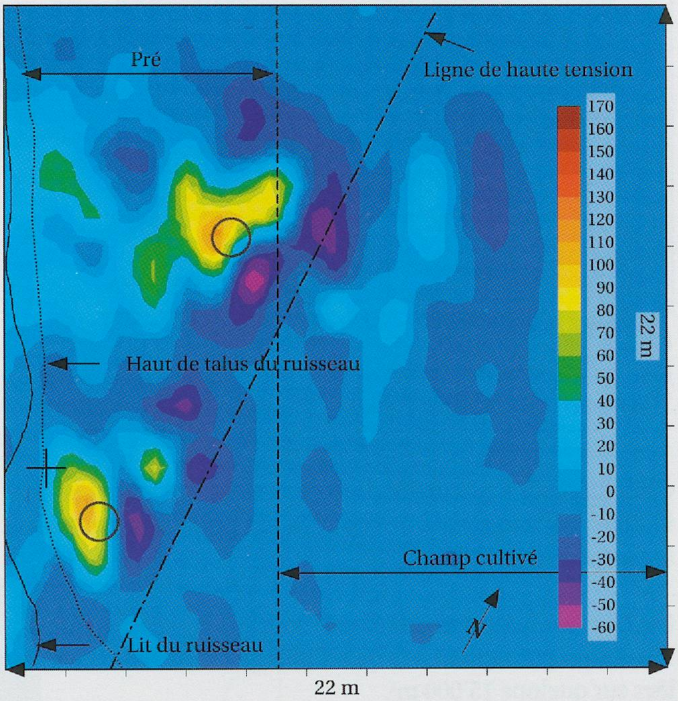


Fig. 74.
Relevé magnétique du site de Bassecourt, Pré Borbet-dessous, (nº 464). Extrait de la zone comportant des anomalies. La croix indique une légère bosse en haut du talus du ruisseau; les 2 cercles signalent chacun le centre probable d'une structure en lien avec l'industrie du fer.

Au moins deux structures majeures sont marquées par une anomalie du champ magnétique terrestre.

Une intervention sous la forme d'un sondage élargi permettrait d'enregistrer les restes de ce qui est probablement un des rares témoins précoces de l'industrie sidérurgique moderne dans le Jura (chap. 3.2.3.).

Bassecourt, Pré Borbet-dessus

Les données n'étant pas concluantes, le relevé de ce petit ferrier étalé – qui ressemble, par son état et ses dimensions au site des Boulies, n'est pas représenté ici.

Courfaivre, La Tuilerie (fig. 75 à 77)

La structure marquante relevée par le magnétomètre est une conduite moderne en fonte dont l'existence nous a été confirmée après coup par l'agriculteur !

L'amas de scories s'étend sur une assez grande superficie. Les emplacements potentiels d'autres bas fourneaux sont aujour-

[27] Deux essais réalisés sur des sites de forge, à savoir une petite partie du site de *Develier-Courtételle* (n° 490) et à *Bure, La Buratte* (n° 700) ne se sont par contre pas avérés concluants

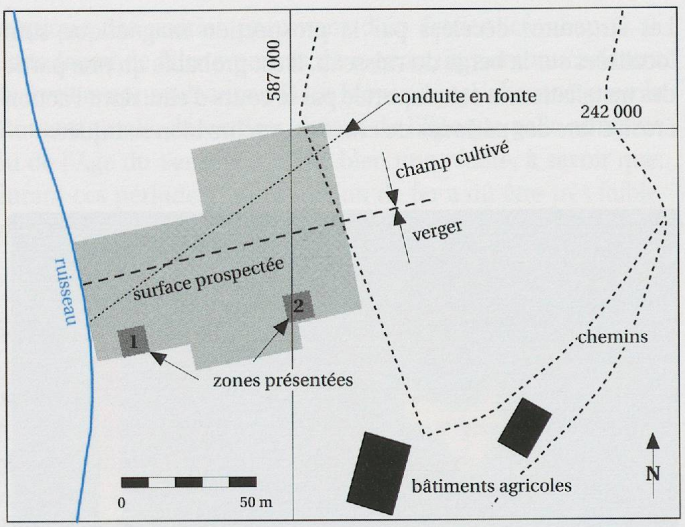


Fig. 75.
Plan de situation de la prospection magnétique à Courfaivre, La Tuilerie (en bas: bâtiments agricoles; en pointillé: chemins).

d'hui localisés à proximité du complexe agricole (hangar non indiqué, décharge, etc.) ce qui a n'a pas permis de poursuivre la prospection vers le sud.

Les bas fourneaux jumelés nous semblent en effet en nombre insuffisant par rapport à la quantité importante de scories étalées sur quelque 15'000 m².

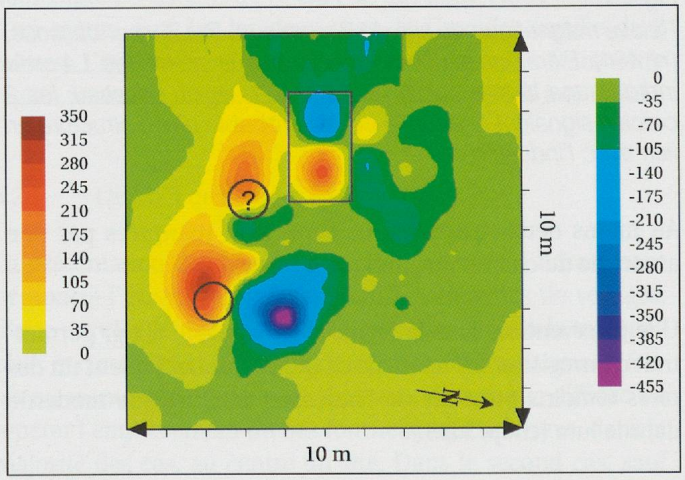


Fig. 76.
Courfaivre, la Tuilerie, (nº 253) relevé magnétique de la zone 1. Bas fourneaux jumelés (?). Encadré: perturbation moderne par un captage d'eau.

Quelques remarques s'imposent à ce stade de l'observation des résultats. Sans entrer dans les détails du magnétisme, le phénomène s'explique par la présence d'un pôle qui attire et d'un autre qui repousse. Dans le domaine archéologique, c'est surtout le ferromagnétisme qui intéresse. Lorsque l'aimantation d'une structure sidérurgique a été figée, ceci s'est fait dans la même direction que celle du champ magnétique terrestre.

Dans cet exemple, le pôle négatif se trouve du côté du pôle nord (magnétique). Pour les cas qui diffèrent, il peut y avoir de multiples origines.

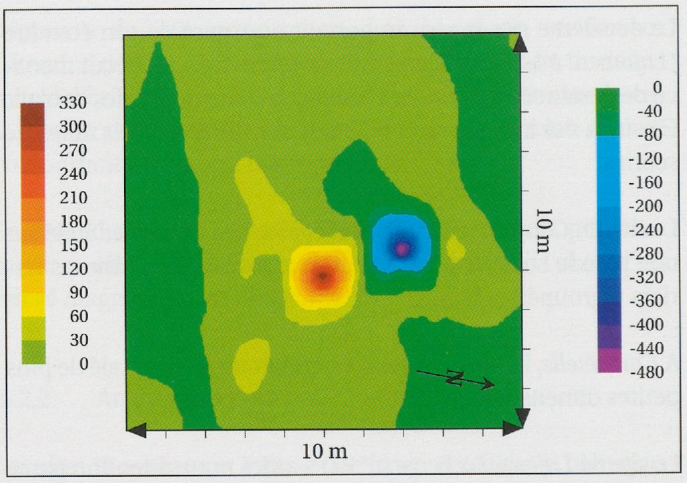


Fig. 77.
Courfaivre, la Tuilerie, (nº 253) relevé magnétique de la zone 2. Structure énigmatique.

Deux ou trois exemples de ce type d'anomalie se rencontrent à Courfaivre. Une conduite en fonte qui n'est pas reprise ici, en est un. Le captage, également en fonte, en est un deuxième (fig. 78). Enfin, la structure ci-dessus (fig. 79) pourrait aussi être le résultat d'une anomalie moderne. En l'absence d'un système de référence et par manque d'expérience, il est difficile d'être plus affirmatif.

Courtételle, L'Essert (fig. 78 et 79)

Aux environs de la zone présentée, une tranchée a été creusée pour un tuyau d'évacuation des eaux. Son emplacement exact

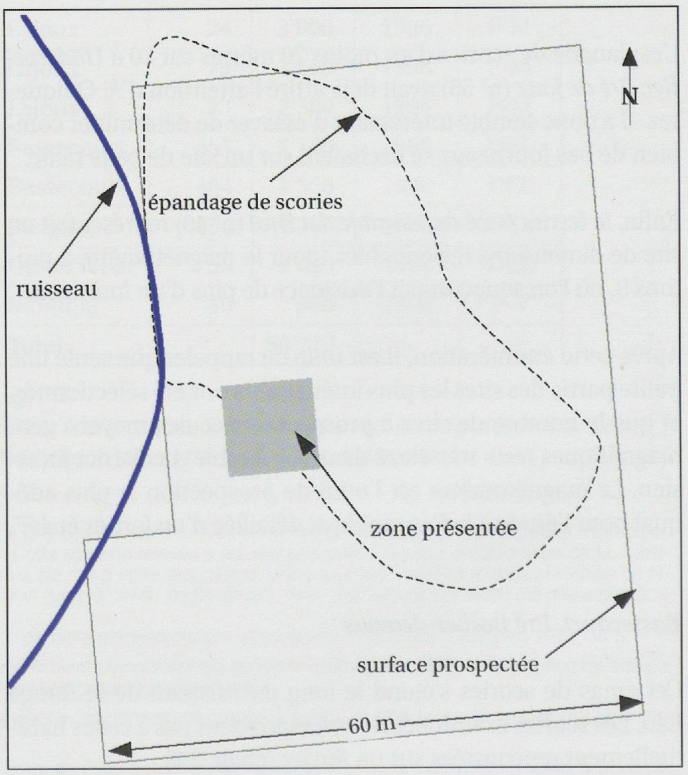


Fig. 78.
Plan de situation de la prospection magnétique à Courtételle, L'Essert (nº 254).

n'est pas connu. Il semble toutefois interférer avec de potentielles structures liées à la sidérurgie (fig. 79). L'inversion entre le pôle positif et le pôle négatif, déjà observée à *Courfaivre, La Tuilerie,* plaide en effet en faveur d'une anomalie moderne. Mais il n'est pas exclu qu'une telle anomalie perturbe en même temps une structure archéologique antérieure. Comme dans beaucoup de cas, seul un sondage permettrait de résoudre cette énigme.

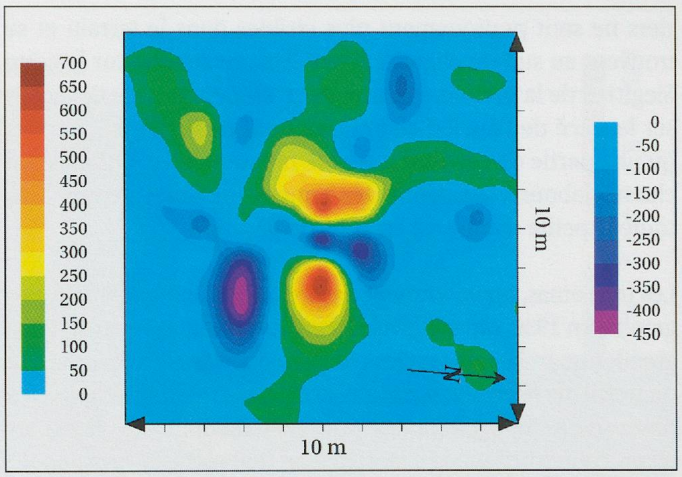


Fig. 79.
Courtételle, L'Essert, relevé magnétique de la zone à anomalie.

Lajoux, Plain de la Cernie 2 (fig. 80)

Les résultats obtenus par prospection magnétique sur ce ferrier sont d'un grand intérêt pour deux raisons. Ils confirment tout d'abord la complexité pressentie du site, en mettant en évidence la présence d'au moins trois structures majeures, lesquelles sont vraisemblablement des bas fourneaux. Une telle concentration semble être un fait plutôt rare dans la région (chap. 4.1). Ensuite, ils permettent de relativiser des observations qui semblaient évidentes: la butte que l'on supposait être un bas fourneau lors de l'enregistrement topographique s'avère, avec une forte probabilité, ne pas en être un[28]!

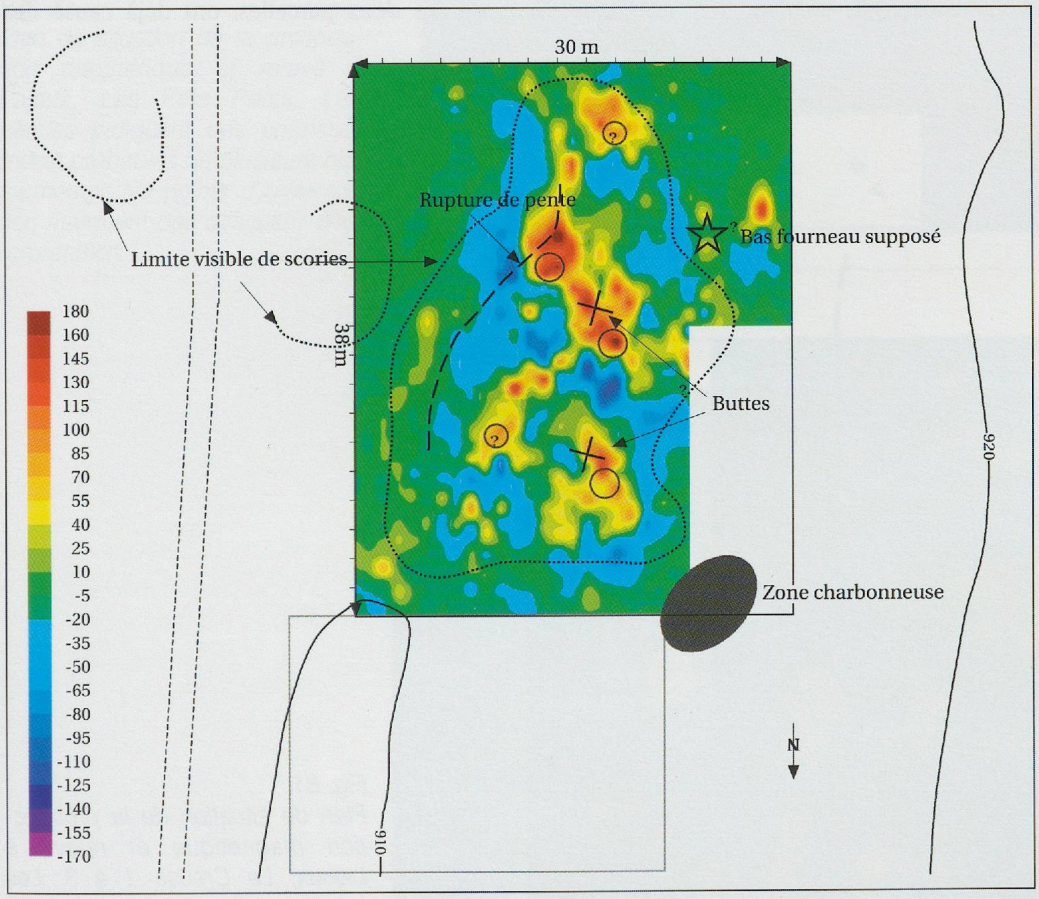


Fig. 80.
Plan de situation de la prospection magnétique et relevé à Lajoux, Plain de Cernie 2. Les cercles indiquent des emplacements probables de plusieurs bas fourneaux; les points d'interrogation marquent des zones difficiles à interpréter. La zone blanche n'a pas été prospectée, parce qu'il s'agit de marécages; le rectangle encadré en gris constitue une partie de la deuxième zone prospectée sans résultat (surface de 34 m sur 50 m).

Lajoux, La Creuse (fig. 81)

W. Rothpletz signalait à cet endroit, dans les années trente, trois amas de scories au nord du chemin. Aujourd'hui, ces fer-

[28] Comme nous pensons avoir pu le démontrer (chap. 4) ce fait reste plutôt exceptionnel, mais il incite tout de même à une certaine prudence lors de l'interprétation d'observations apparemment assurées.

riers ne sont pratiquement plus visibles dans le terrain et se trouvent au sud du chemin actuel. Une recherche sur la carte Siegfried de la première moitié de ce siècle a permis de localiser le tracé de l'ancien chemin au fond de la combe. Notons qu'une partie de ces sites avait été remarquée en surface d'un champ labouré, au début des années nonante; depuis lors, toute la petite combe est en zone de pâture.

Les trois amas, apparemment encore bien visibles dans la topographie en 1930, ont été nivelés dans les années cinquante, et de grandes quantités de scories ont été déplacées. L'emplacement du troisième ferrier n'est pas attesté sur la carte magnétique. Nos observations topographiques ayant été très sommaires et en partie en contradiction avec la notice de Rothpletz, la question du troisième ferrier ne peut être tranchée à ce stade.

Si l'on compare l'information de Rothpletz avec le résultat du relevé magnétique, il est évident qu'une bonne partie au moins de l'un des trois amas est recouverte par des matériaux entreposés là depuis la fin de l'année 1998. Le décapage de la terre arable au fond de la combe à mis à nu d'importants dépôts de scories et de charbon, dont une étude détaillée n'a pas été possible dans les délais impartis.

Lajoux, Les Prés Petits (fig. 82)

Ce site est localisé dans un pâturage légèrement en cuvette, adossé à un bosquet qui recouvre une doline. Les résultats de la prospection ne sont pas très évidents, les amplitudes relativement peu marquées (voir l'échelle). Il semble que les diverses activités agricoles (labours, nivellement, etc.) aient passablement perturbé ce ferrier. Seuls des sondages permettront de vérifier le réel état de conservation de ce site.

Lajoux, La Forge (fig. 83)

Cet atelier sidérurgique renferme probablement des vestiges témoignant de plusieurs phases opérationnelles différentes. Les scories ramassées autour de la structure centrale ne peuvent en effet pas être attribuées au procédé direct de réduction (observation macroscopique). Ce fait n'est qu'un des aspects qui font que ce site mériterait une étude plus approfondie. On peut encore relever le lieu-dit très explicite et le fait que, sur une petite surface, au moins trois structures majeures ont été repérées. Les travaux agricoles, menés année après année alternativement sur les deux parcelles, ont déjà causé des dégâts importants.

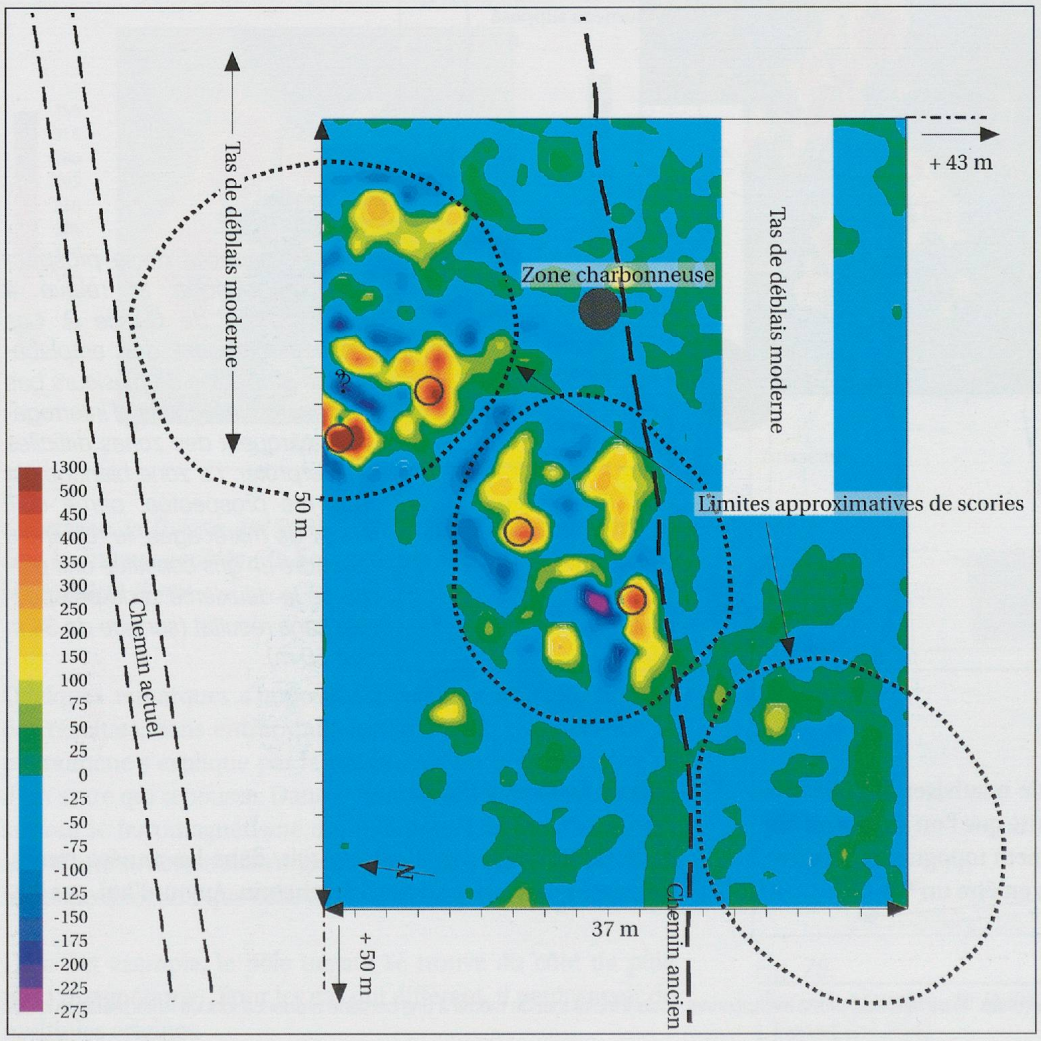


Fig. 81.
Plan de situation de la prospection magnétique et relevé à Lajoux, La Creuse 1 à 3. Les cercles indiquent des emplacements probables de plusieurs bas fourneaux; le point d'interrogation marque l'absence de données dans la zone impossible à prospecter. La zone blanche n'a pas été prospectée, car elle est trop accidentée. Les flèches accompagnées d'une distance indiquent l'extension supplémentaire de la zone prospectée (surface totale: 8000 m²)

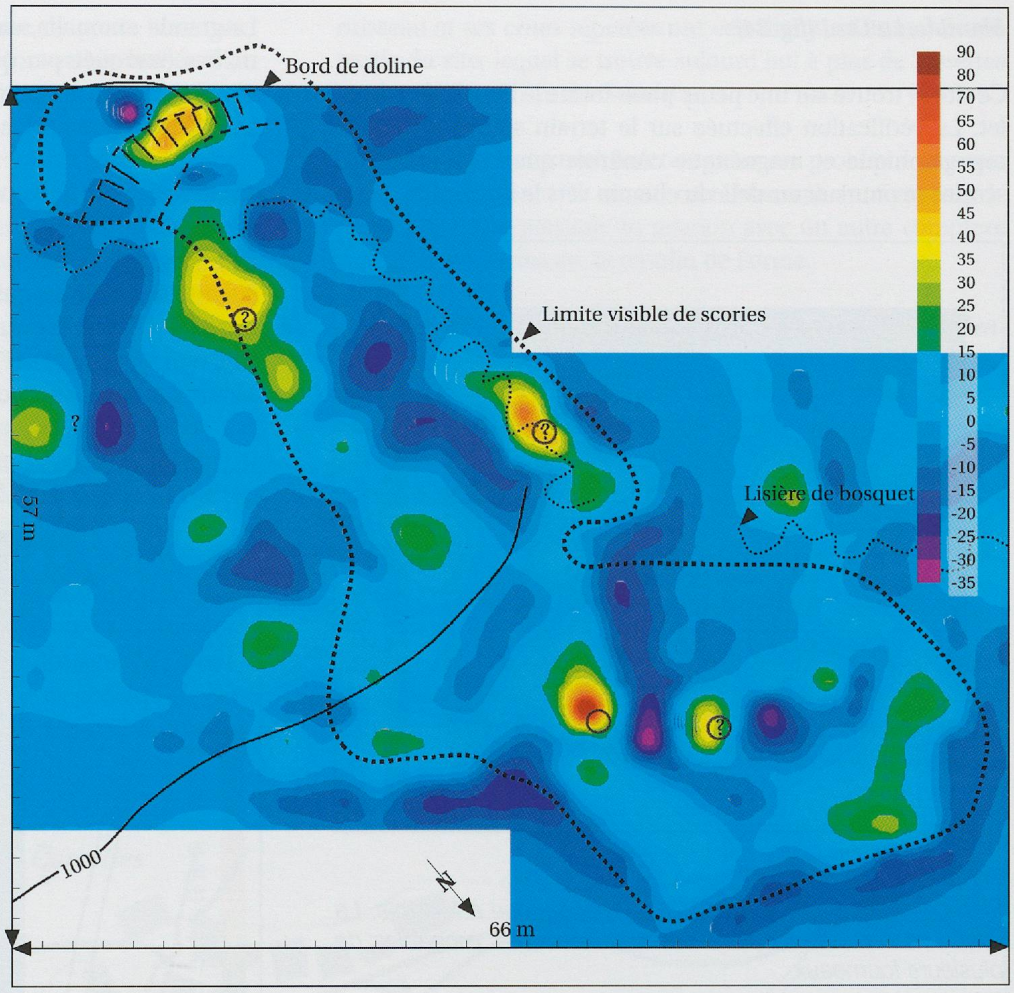


Fig. 82.
Plan de situation de la prospection magnétique et relevé à Lajoux, Les Prés Petits. Les cercles indiquent des emplacements probables de plusieurs bas fourneaux; les points d'interrogation marquent des difficultés d'interprétation.

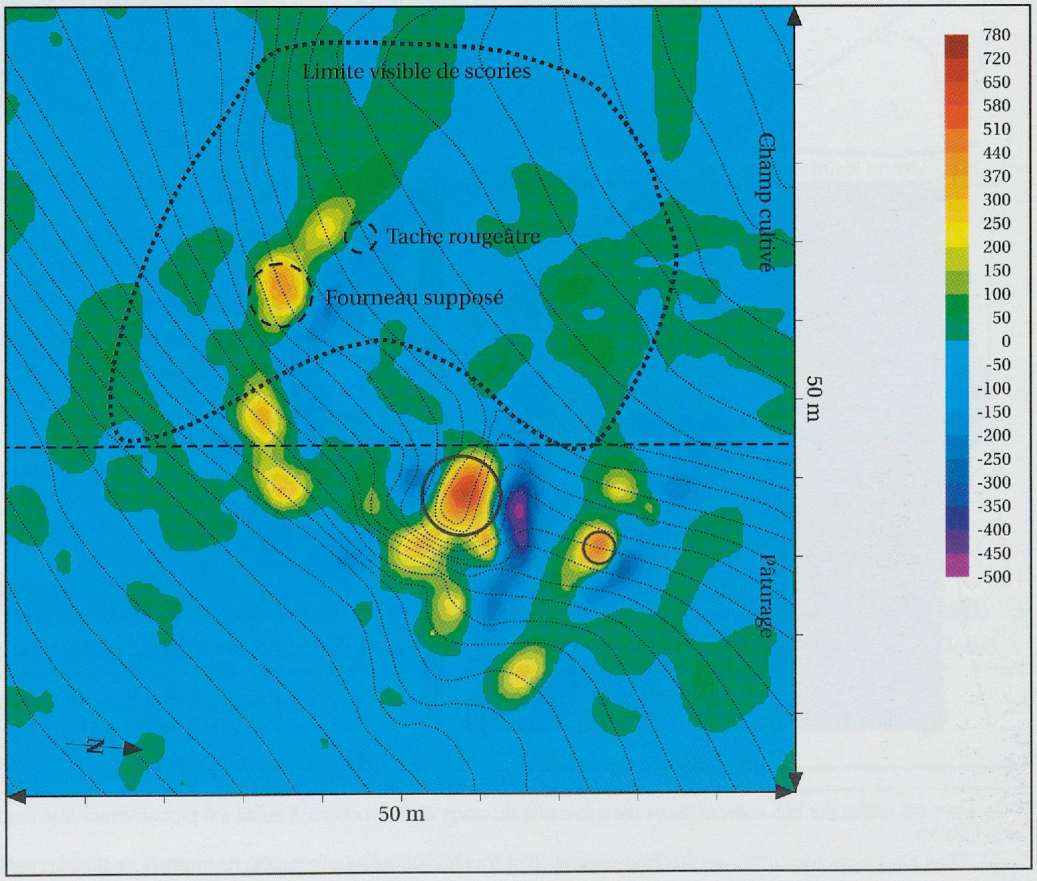


Fig. 83.
Plan de situation de la prospection magnétique et relevé à Lajoux, La Forge. Les cercles indiquent des emplacements probables de plusieurs structures. Les courbes du relevé microtopographique ont une équidistance de 20 cm.

Monible, La Drai (fig. 84)

Ce site se trouve sur une petite plate-forme le long d'un ruisselet. La vérification effectuée sur le terrain suite aux relevés topographique et magnétique confirme que l'extension des scories se poursuit au-delà du chemin vers le nord-est[29].

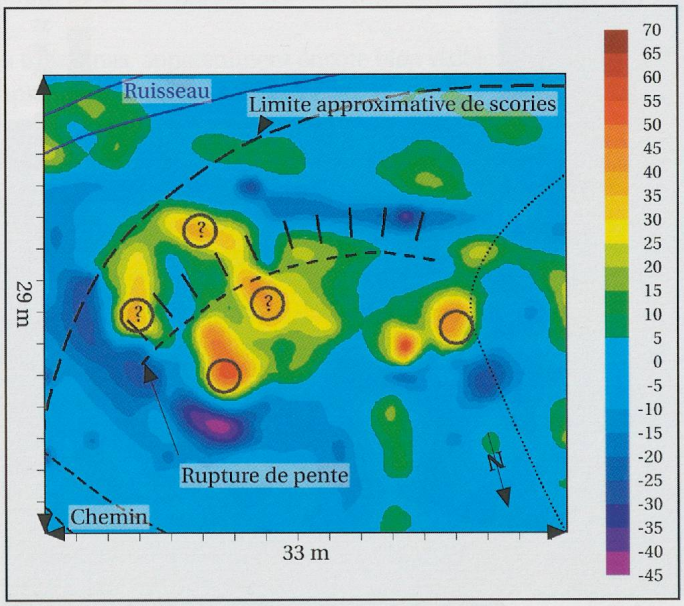
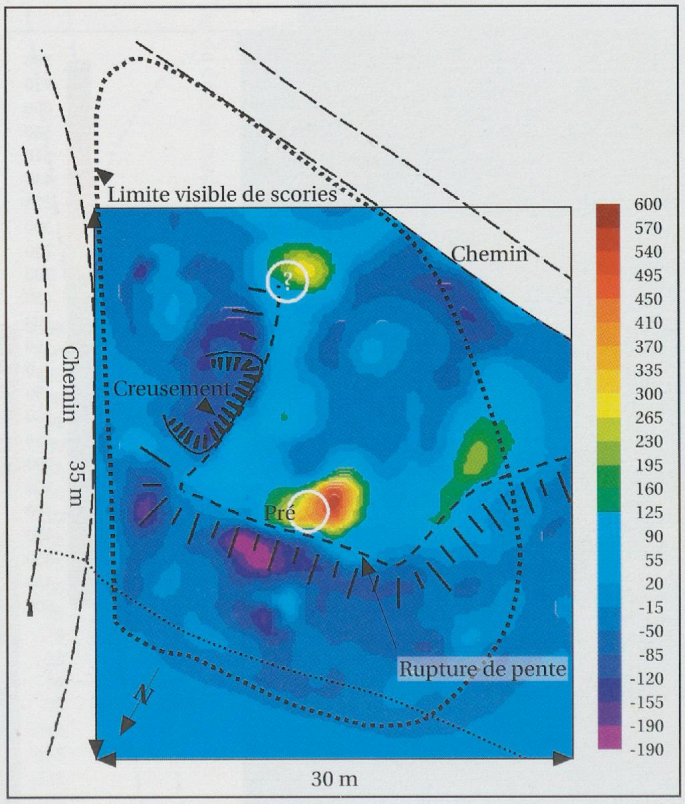


Fig. 84.
Plan de situation de la prospection magnétique à Monible, La Drai. Les cercles indiquent des emplacements probables de plusieurs fourneaux.



La grande anomalie, dont la surface est d'environ 10 fois 10 mètres (marquée par quatre cercles dont trois avec un point d'interrogation), attire l'attention: s'agit-il d'un fourneau jumelé remplacé par un autre fourneau jumelé ?

Undervelier, Pré de Joux (fig. 85)

Une petite plate-forme de 15 sur 15 mètres constitue la particularité de ce ferrier qui se profile au croisement de trois chemins dont l'un mène aux sites de la Blanche Maison (direction sud, non représenté sur le plan); un autre rejoint la Combe aux Monin par une petite combe (à gauche sur le plan).

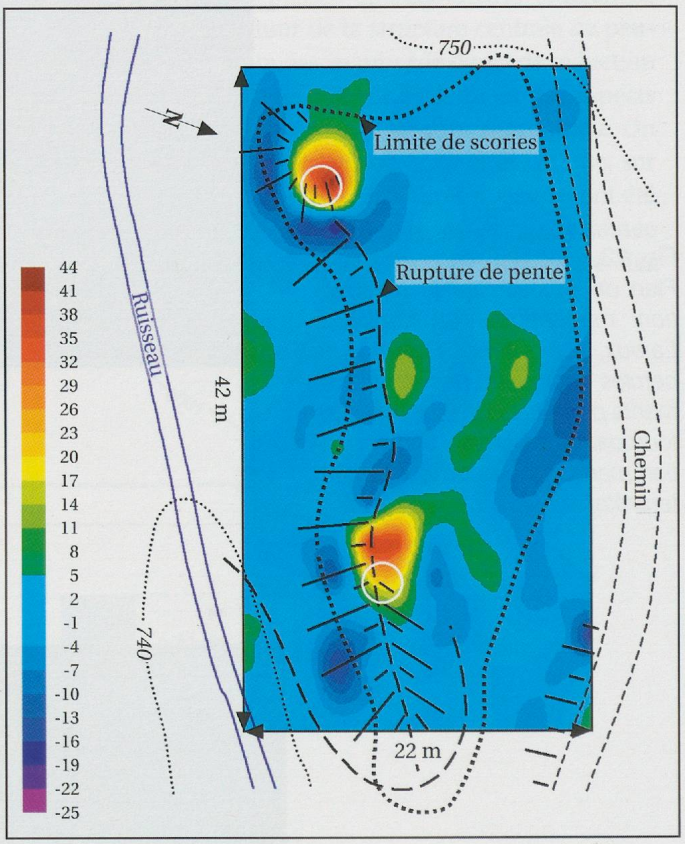


Fig. 86.
Plan de situation de la prospection magnétique et relevé à Pleigne, La Favoirgeatte. Le cercle supérieur indique l'emplacement probable d'un haut fourneau, le cercle inférieur une autre structure sidérurgique[30].

Fig. 85.
Plan de situation de la prospection magnétique à Undervelier, Pré de Joux. Le cercle indique l'emplacement probable d'un bas fourneau.

[29] Ce site a été relevé par nos collaborateurs dans le cadre du stage de P. Fruchard. Il aurait été probablement intéressant de prolonger le relevé magnétique au-delà du chemin.

[30] P.-L. Pelet s'interroge à juste titre sur l'emplacement du bief d'amenée d'eau. En l'absence de fouille, il n'est pas possible d'apporter une réponse.

Le front du site, constitué par la rupture de pente bien marquée dans le terrain, s'étend sous la couverture boisée d'un petit bosquet. Compte tenu de sa situation topographique (zone de passage), ce ferrier a dû déjà subir une perturbation, voire une destruction partielle.

Cet amas est mentionné par A. Quiquerez qui ne l'a apparemment pas fouillé, parce que le(s) fourneau(x) ne sont pas visibles de prime abord.

Pleigne, La Favoirgeatte (fig. 86)

Ce site représente l'une des plus grandes surprises de ces recherches: la découverte d'un haut fourneau dont, apparemment, aucune mention ne se trouve dans les sources écrites, s'est avérée totalement inattendue.

Mis à part le laitier, ce site a aussi fourni des briques réfractaires vitrifiées. L'emplacement supposé du haut fourneau est confirmé par le relevé magnétique; une autre structure, dont la nature exacte n'est pas connue, se dessine au centre de la zone prospectée, à l'aplomb du ruisseau. Les variations du lit du ruisseau et ses crues répétées ont certainement emporté une partie du site, lequel se trouve aujourd'hui à plus de 7 mètres au-dessus du niveau du cours d'eau.

Cet ensemble industriel précoce pose un problème concernant sa datation[31]. Il serait certainement intéressant de reprendre cette question en relation avec un autre complexe installé juste en amont, le moulin de Forme.

Corcelles, La Creuse et Les Envers: «Les Bellaires» du Jura central suisse (fig. 87)

Avec une superficie de plus 20'000 m², le complexe sidérurgique de Corcelles constitue le site le plus vaste de Suisse connu à ce jour. Il est dix fois plus étendu que les trois sites éponymes des Bellaires, dans le Jura vaudois et leurs voisins[32]. Cet ensemble se divise en deux grandes parties, localisées à 100 mètres l'une de l'autre.

La zone de transition entre les deux ensembles de *La Creuse* et *des Envers* n'a pas été prospectée avec le magnétomètre. On constate toutefois la présence de scories dans cette zone, au-

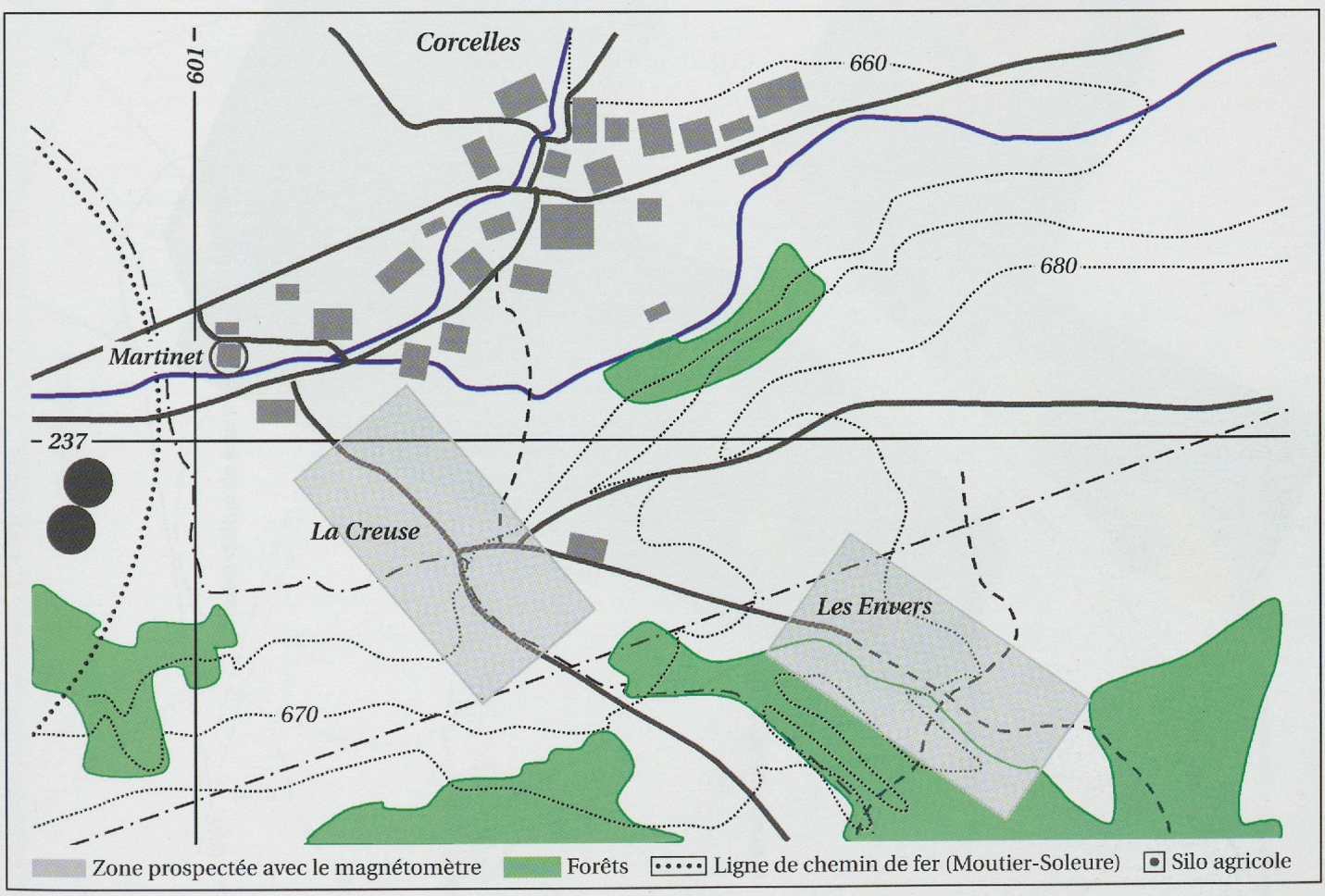


Fig. 87.
Plan de situation des deux grands complexes sidérurgiques à Corcelles, échelle 1: 5000.

[31] Voir chap. 5.1.

[32] Voir P.-L. Pelet 1993. Bellaires I: 800 m²; Bellaires II: 200 m²; Bellaires III: 500 m²; au total: 1500 m² (+ Echilly: environ 1000 m²).

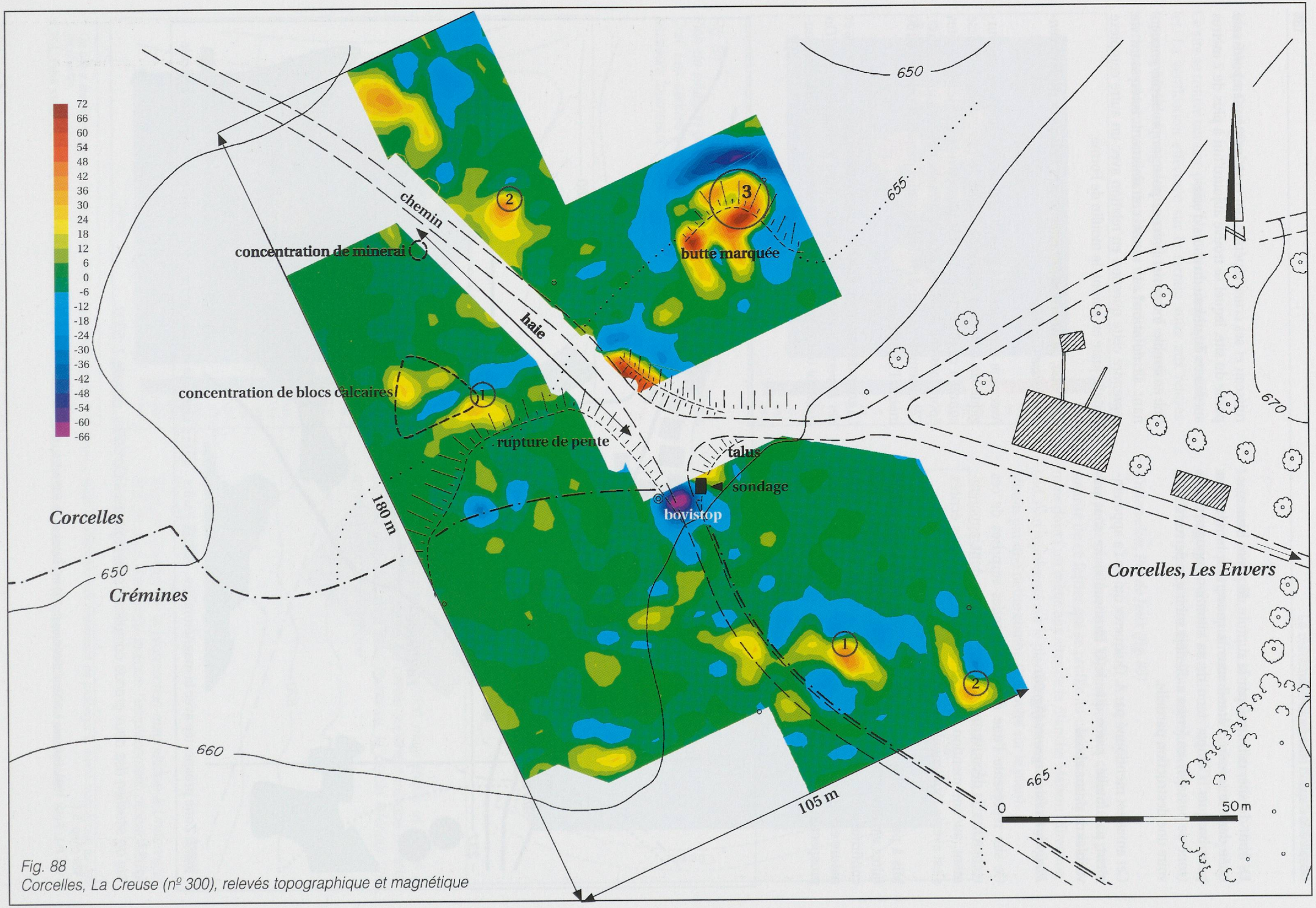


Fig. 88
Corcelles, La Creuse (nº 300), relevés topographique et magnétique

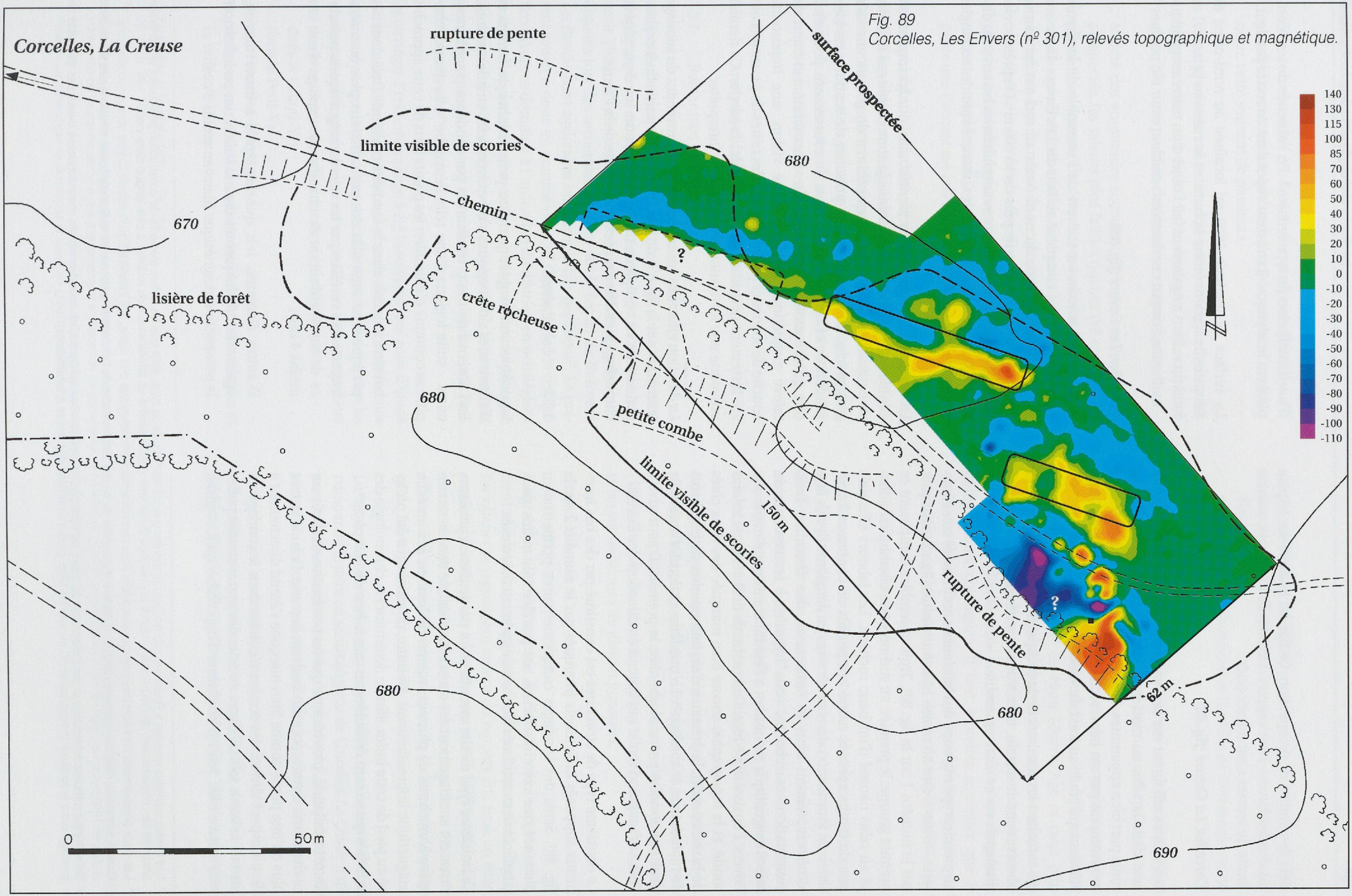


Fig. 89
Corcelles, Les Envers (nº 301), relevés topographique et magnétique.

delà des limites de prospection. Ce fait est indiqué sur le plan du site des Envers. Pour ce qui est du site de La Creuse, aucune limite de scories n'est mentionnée.

Corcelles, La Creuse (fig. 88)

Les scories affleurent sur une superficie de plus de 15'000 m²; sauf dans le talus au croisement des chemins, elles ne sont nulle part bien apparentes. Le site s'étend sur une pente douce interrompue par un banc rocheux en saillie, en direction du ruisseau qui coule au fond du vallon.

En associant les résultats de la prospection magnétique et les observations de terrain, trois types de structures peuvent êtres distingués sur ce vaste ensemble.

Le premier type regroupe des bas fourneaux jumelés ou en batterie – c'est-à-dire au moins trois fourneaux alignés (marqués par le numéro 1 sur la fig. 88). Trois ensembles composent ce premier groupe: le premier, au sud-ouest du chemin, est adossé au talus naturel d'un banc rocheux. Les labours effectués peu de temps après le relevé ont permis de confirmer l'existence de fourneau(x) dans ce secteur. Le deuxième devait être situé exactement sous le croisement des chemins. Trois constatations corroborent cette hypothèse: les résultats du relevé magnétique au nord et à l'est du chemin qui mène aux Envers; l'épaisseur de plus d'un mètre de déchets dans le talus sondé, et la topographie encore bien marquée des deux côtés de la route; enfin, la présence d'un bon nombre de fragments de tuyères dans le sondage[33]. Le troisième et dernier ensemble peut être localisé par analogie avec le premier; il se trouve à l'est, sur un grand replat qui s'étend en direction des Envers.

Le deuxième type de structures est constitué par des bas fourneaux supposés individuels (marqués par le numéro 2 sur la fig. 88). Seuls des sondages complémentaires permettraient d'assurer que cette distinction est justifiée. Au moins deux emplacements attribués à cette catégorie ont été relevés.

Le troisième type mérite une attention particulière à plusieurs titres: cet aménagement est encore bien visible dans le terrain grâce à une butte de plusieurs mètres de hauteur et à un écho magnétique impressionnant. En outre, du charbon a été prélevé au pied de cette butte, afin de déterminer la chronologie des activités qui se sont déroulées au sein même du complexe[34].

Cette installation, plus récente que les bas fourneaux datés sur ce site et aux Envers, pourrait avoir un lien avec l'eau, d'autant plus qu'une petite combe bien marquée s'étend directement à l'est. L'aspect vitreux des scories récoltées dans le sondage au pied de la butte, très différent de celui des autres scories prélevées sur ce site, tend à confirmer l'hypothèse qu'il s'agirait d'une installation de type ferrière[35]. En l'absence de tout complément analytique, il convient cependant de rester prudent.

La surface de quelque 1600 m² localisée au nord-ouest de l'éventuelle ferrière (entre la butte et le ruisseau principal au fond du vallon) a également fait l'objet d'un relevé magnétique – malheureusement ces données semblent avoir été perdues[36].

Corcelles, Les Envers (fig. 88)

À peine 100 mètres au sud-est de l'ensemble de la Creuse s'étend un second complexe au lieu-dit Les Envers. Dans une petite combe, orientée du nord-ouest au sud-est, les scories s'étalent sur une surface de près de 10'000 m². D'après le relevé magnétique, les fourneaux se succèdent en batterie: on distingue deux, voire trois ensembles (marqués par des rectangles allongés sur la fig. 89).

La topographie fortement accidentée, ainsi que les importants éboulements qui sont visibles dans la zone boisée qui délimite ce petit vallon au sud-ouest, empêchent de se faire une idée plus précise de cette partie. La présence de scories y est bien prononcée et elle révèle que nous ne connaissons pour ainsi dire qu'une moitié de ce vaste site. L'extrémité sud-ouest du relevé magnétique confirme cette vision: une importante couche de scories et probablement des restes de fourneaux ont été fortement perturbés par un remblai moderne. Ce dernier provoque une forte anomalie difficile à interpréter.

La datation effectuée sur un échantillon provenant du sondage (carré noir sur la fig. 89) situe au moins une partie du fonctionnement de ce complexe sidérurgique entre les deux phases chronologiques déterminées pour le site de la Creuse.

5.2.3 Conclusions

La prospection magnétique d'un petit nombre de ferriers et d'autres sites sidérurgiques s'est avérée riche en informations. En l'absence de toute vérification par sondages complémentaires – suite logique d'une telle démarche –, ce dernier chapitre se contente d'énumérer les points forts de cette approche.

- Les sites localisés dans le fond de la vallée de Delémont ont pratiquement tous subi des perturbations plus ou moins importantes révélées par les relevés magnétiques: présence de tuyau enfoui ou de chambre de captage d'eau (au moins 4 cas).

- D'autres éléments, tels que les lignes à haute tension, également très fréquentes dans la Vallée, ont pu influencer la prospection magnétique (dans au moins 2 cas).

[33] Les études spatiales menées à *Boécourt, Les Boulies* ont montré que les déchets de ce type, ainsi que les autres éléments de construction se trouvent en général à proximité de l'emplacement des fourneaux – sauf si la présence d'une forte pente entraîne un déplacement du mobilier à plus longue distance.

[34] Les deux prélèvements C14 sont marqués par une étoile. Pour l'enchaînement chronologique des dates, voir chapitre 5.1.

[35] Cette hypothèse a déjà été proposée par P.-L. Pelet lors d'une visite de ce site dans le cadre de l'assemblée générale de la Société Suisse d'Histoire des Mines dans le Jura en 1993.

[36] De multiples déboires informatiques sont intervenus au cours de l'élaboration des données, en particulier celle des relevés magnétiques, à cause des difficultés de passage entre le système d'exploitation PC et celui de Mac, ce qui a entraîné des pertes d'informations.

- Pour tous les sites étudiés, à une exception près, il a été possible de mettre en évidence l'emplacement d'un fourneau, voire souvent de plusieurs.

- Dans plusieurs cas, des observations topographiques, apparemment anodines, sont devenues très explicites grâce à la superposition des données magnétiques.

- Malgré des amplitudes souvent très fortes sur les ferriers prospectés, les valeurs plus faibles qui ont été enregistrées permettent souvent de déterminer la limite de l'amas de scories, généralement étalé. Autrement dit, il est possible de repérer, lors du relevé de terrain, après quelques lignes, où se situe la limite des scories. Sur les représentations graphiques, cette information ne ressort pas toujours très clairement, probablement à cause de l'échelle trop petite, et parce que l'accent est mis sur les anomalies importantes.

Dans une région aussi riche en vestiges sidérurgiques que la nôtre, l'emploi d'un magnétomètre en vue de dresser des cartes archéologiques est la façon la plus adéquate d'agir, tant du point de vue de la précision que du temps. Ceci permettra à l'avenir de documenter de manière plus complète et efficace un nombre grandissant de sites voués à la destruction.

5.3 Analyses chimiques

5.3.1 Remarques préliminaires

L'importance des analyses chimiques dans l'étude de sites sidérurgiques n'est plus à démontrer (voir par exemple Serneels 1993). Pour le district jurassien, les résultats analytiques obtenus lors des recherches menées sur le ferrier de *Boécourt, Les Boulies* sont également un exemple très pertinent[37]. Le présent projet a donc eu comme objectif d'étendre les investigations dans ce domaine à l'ensemble du district, en privilégiant les zones les plus riches en vestiges. Il est toutefois évident que les données récoltées au moyen de prospections ne permettent pas une approche quantitative aussi approfondie qu'à *Boécourt, Les Boulies*[38].

La stratégie d'échantillonnage a été la suivante: par zone d'étude définie[39], une dizaine de scories provenant d'un site de référence a été analysée; en outre, deux échantillons provenant des sites les plus proches (en général au nombre de 5) sont venus compléter ces données. Sept ensembles ont ainsi été sélectionnés:
- dans le Grand-Val
- dans le Petit-Val
- aux Franches-Montagnes
- dans la zone de transition entre les Franches-Montagnes et la vallée de Delémont
- dans la Combe Tabeillon
- dans la vallée de Delémont à proximité de B*oécourt, Les Boulies*
- autour d'un haut fourneau de la vallée de Delémont et d'un ferrier du Val Terbi[40].

Ces données ont été complétées par une ou plusieurs analyses de minerai – à l'exception du haut fourneau (chap. 2.1.2).

Outre la sélection par région, le choix des ensembles a aussi eu comme objectif de mieux saisir une éventuelle différence entre des ferriers appartenant au Haut Moyen Age et ceux plus récents du Moyen Age. L'observation macroscopique des déchets révèle en effet une différence d'aspect des scories de ces deux périodes, laquelle pourrait apparaître aussi dans leurs compositions chimiques. Il faut toutefois souligner que le choix des échantillons a été effectué avant d'avoir eu connaissance de toutes les datations C14 des ferriers concernés[41].

5.3.2 Analyses des données

La présentation des résultats obtenus dans le cadre de ce travail s'inspire en grande partie de celle qui concerne le ferrier de *Boécourt, Les Boulies*. Sans entrer dans des détails qui mériteraient sûrement davantage d'attention mais aussi de connaissance en la matière, ce chapitre a pour but d'attirer l'attention sur les résultats d'analyse les plus significatifs.

Les descriptions macroscopiques ont été effectuées à l'aide des classifications proposées par V. Serneels dans le cadre de son étude sur plusieurs ensembles de scories de Suisse romande (1993). Aucune étude minéralogique n'a par contre été entreprise sur les scories du district jurassien.

Grand-Val

Vingt échantillons provenant de 6 ferriers de la région montrent une bonne homogénéité dans leur rapport Si:Al. Toutes les valeurs se regroupent autour du rapport 2:1, avec un écart assez faible (minimum 1,5:1, maximum 3:1). La diversité relative est observée à l'intérieur même des échantillons du site de référence: il ne semble donc pas que l'on puisse tirer davantage de renseignements à ce stade.

Le net enrichissement des scories en silice, que l'on constate en comparant le minerai archéologique de *Corcelles, La Creuse* (rapport Si:Al du minerai avec celui des scories 1:1.9), représente une constante dans presque tout le district jurassien (voir ci-après).

L'observation macroscopique permet d'attribuer 19 sur 20 échantillons au type des ***scories coulées grises denses*** (ci-après: ***SGD***) tel que l'a défini V. Serneels (1993, p. 75 à 78). Il s'agit essen-

[37] Eschenlohr et Serneels 1991, p. 69 – 84.

[38] op. cit. p. 99 – 106.

[39] Voir le découpage du district étudié, chap. 1.1.1.

[40] Cette stratégie d'échantillonnage a été mise en place en collaboration avec V. Serneels, qui a assuré le suivi de toutes les analyses au Centre d'Analyse Minérale à l'Université de Lausanne, et qui a mis gracieusement à disposition sa documentation concernant d'autres analyses provenant du *Jura central suisse*.

[41] Il ne s'agit pas de dater des ferriers par le seul biais de la typologie des scories (voir ci-après Grand-Val). Voir également à ce sujet les mises en garde de P.-L. Pelet : « *La technologie ne donne pas la datation*» (1982b, p. 330)

Commune	*Lieu-dit*	*Type de déchet*	*Nombre*	*Type de site*	*N° du site*	*Chronologie*
Corcelles	**La Creuse**	**scorie coulée**	**10**	**ferrier**	**300**	**Haut Moyen Age**
Corcelles	Forêt de l'Envers	scorie coulée	2	ferrier	526	inconnue
Crémines	Les Montegnattes	scorie coulée	2	ferrier	302	Haut Moyen Age
Elay	Bächlen	scorie coulée	2	ferrier	525	Haut Moyen Age
Grandval	Grands Bambois 1	scorie coulée	2	ferrier	313	Haut Moyen Age
Grandval	Plain Journal 3	scorie coulée	2	ferrier	317	Haut Moyen Age
Develier	**Fer à Cheval**	**scorie coulée**	**10**	**ferrier**	**450**	**Plein Moyen Age**
Boécourt	Les Deutes	scorie coulée	2	ferrier	418	Haut Moyen Age
Boécourt	Froideval	scorie coulée	2	ferrier	421	Moyen Age
Boécourt	La Favoirgeatte 1	scorie coulée	2	ferrier	451	Moyen Age
Boécourt	La Favoirgeatte 2	scorie coulée	2	ferrier	452	Moyen Age
Undervelier	**Montépoirgeat**	**scorie coulée**	**10**	**ferrier**	**105**	**Moyen Age**
Bassecourt	Les Melnats 1	scorie coulée	2	ferrier	106	Moyen Age ?
Bassecourt	Les Melnats 2	scorie coulée	3	ferrier	107	Bas Moyen Age
Undervelier	La Louvière 1	scorie coulée	2	ferrier	103	Plein Moyen Age
Undervelier	La Louvière 2	scorie coulée	2	ferrier	104	Moyen Age
Undervelier	Blanche-Maison	plaque/bloc	3	ferrier	56/57	Moyen Age
Undervelier	Bambois	boudin	1	ferrier	220	Plein Moyen Age
Saint-Brais	**Combe Tabeillon 3**	**scorie coulée**	**5**	**ferrier**	**115**	**Plein Moyen Age**
Saint-Brais	Combe Tabeillon 3	paroi	1	ferrier	115	idem
Glovelier	Côte des Arches	scorie coulée	2	ferrier	53	Plein Moyen Age
Glovelier	Halte Tabeillon	scorie coulée	2	ferrier	58	Plein Moyen Age
Glovelier	Combe Tabeillon 1	scorie coulée	2	ferrier	28	Plein Moyen Age ?
Glovelier	Combe Tabeillon 2	scorie coulée	2	ferrier	29	Plein Moyen Age
Glovelier	Combe de Sceut	scorie coulée	2	ferrier	72	Epoque moderne
Lajoux	Sur les Roches 1	bloc	1	ferrier	1	Bas Moyen Age
Lajoux	Sur les Roches 1	éponge	0	ferrier	1	idem
Lajoux	Envers des Combes	bloc	2	ferrier	4	Moyen Age
Lajoux	Creux au Loup	scorie coulée	3	ferrier	17	Moyen Age
Lajoux	La Forge	bloc	2	ferrier	23	Moyen Age
Saulcy	Combe Montjean	cuvette	2	ferrier	68	Haut/Plein MA
Monible	**Sous ce Mont 1**	**scorie coulée**	**5**	**ferrier**	**43**	**Plein Moyen Age**
Monible	**Sous ce Mont 2**	**scorie coulée**	**5**	**ferrier**	**44**	**Moyen Age**
Monible	**Sous ce Mont 3**	**scorie coulée**	**5**	**ferrier**	**45**	**Plein Moyen Age**
Pleigne	Favoirgeatte	laitier	7	h. fourneau	454	Epoque moderne
Montsevelier	Le Greierlet	scorie coulée	4	ferrier	501	Plein Moyen Age
Total	***34 sites***	***113 échantillons***				

Fig. 90.
Répartition du nombre d'échantillons par site, prélevés en vue des analyses chimiques; regroupés par zone, avec l'indication chronologique (HMA: 6 ; PMA, BMA et MA: 23 ; EM: 2 ; inconnu : 2 ; entre HMA et PMA: 1 site)[42]. Les sites de référence pour chaque zone sont indiqués en gras.

tiellement d'amas de coulures en cordons superposées, plus rarement de coulures isolées ou en plaque. La pièce qui se distingue de ce groupe est d'aspect brun-rougeâtre, avec une surface froissée et, en coupe, une porosité plus forte; elle semble avoir été formée dans un écoulement en forme de canal.

Compte tenu de la méthode systématique d'échantillonnage, pratiquée en particulier lors du sondage du site de *Corcelles, La Creuse,* on peut aller jusqu'à dire que la majorité des scories des ferriers du Haut Moyen Age dans le Grand-Val peut être attribuée au type *SGD*. L'inverse, à savoir que toutes les scories de type *SGD* datent du Haut Moyen Age n'est en revanche pas valable !

Même si l'exception n'est représentée que par une pièce, il est utile de préciser que, lors du relevé des sites, d'autres types de scories ont été observés, notamment sur le grand ferrier de *Grand-Val, Les Places* (probablement médiéval). Ces observa-

[42] Pour la définition des phases chronologiques voir chap. 5.1.

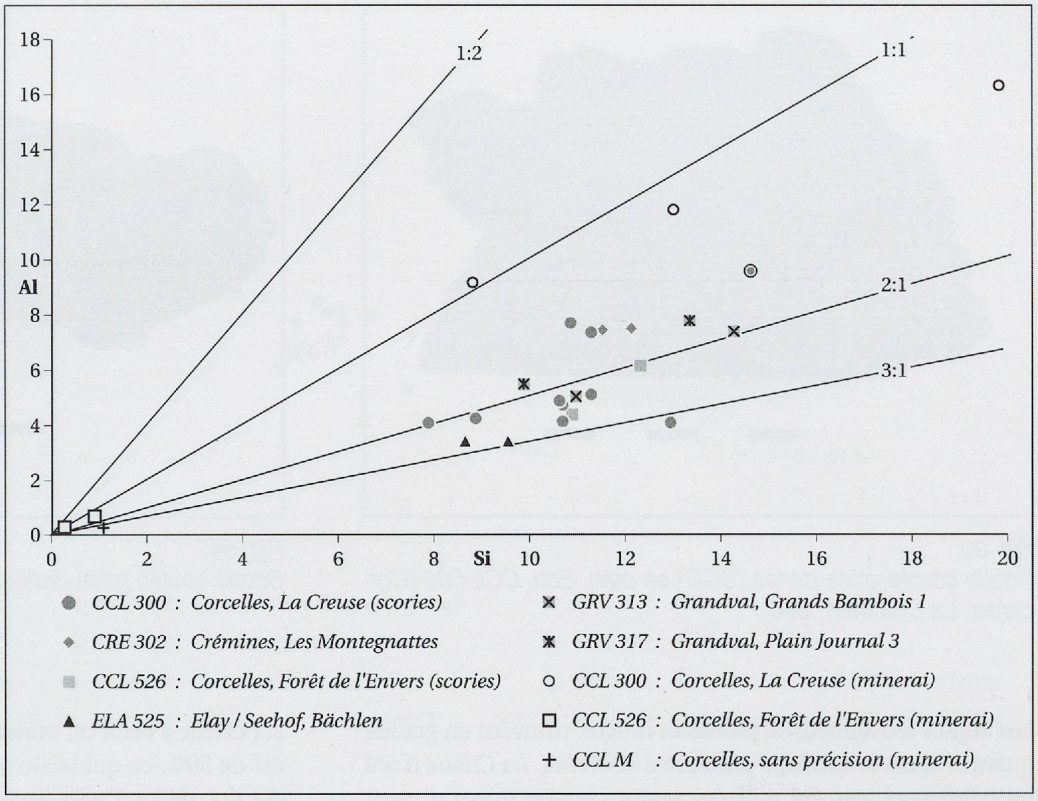


Fig. 91.
Rapport Si : Al des échantillons du Grand-Val. Les ferriers ayant fourni un échantillon de scories (s) et de minerai (m) sont indiqués. Entouré : l'échantillon hors du type SGD.

tions préliminaires exigeraient toutefois une vérification rigoureuse par des séries d'analyses de scories des ferriers en question.

Les valeurs de vanadium (V) et de chrome (Cr) ne sont globalement pas très élevées, tant pour les scories que pour le minerai, en comparaison avec le Sidérolithique analysé de la vallée de Delémont. Les échantillons d'*Elay, Bächlen* et de *Corcelles, Forêt de l'Envers* se différencient avec des valeurs nettement plus élevées.

%	SiO_2	Al_2O_3	FeO_{tot}	Si : Al	Si : Fe
moyenne sur 19 échantillons **SGD**	23.51	10.29	53.25	2.12	0.26
1 échantillon CCL 300.4	31.34	18.01	28.28	1.54	0.67

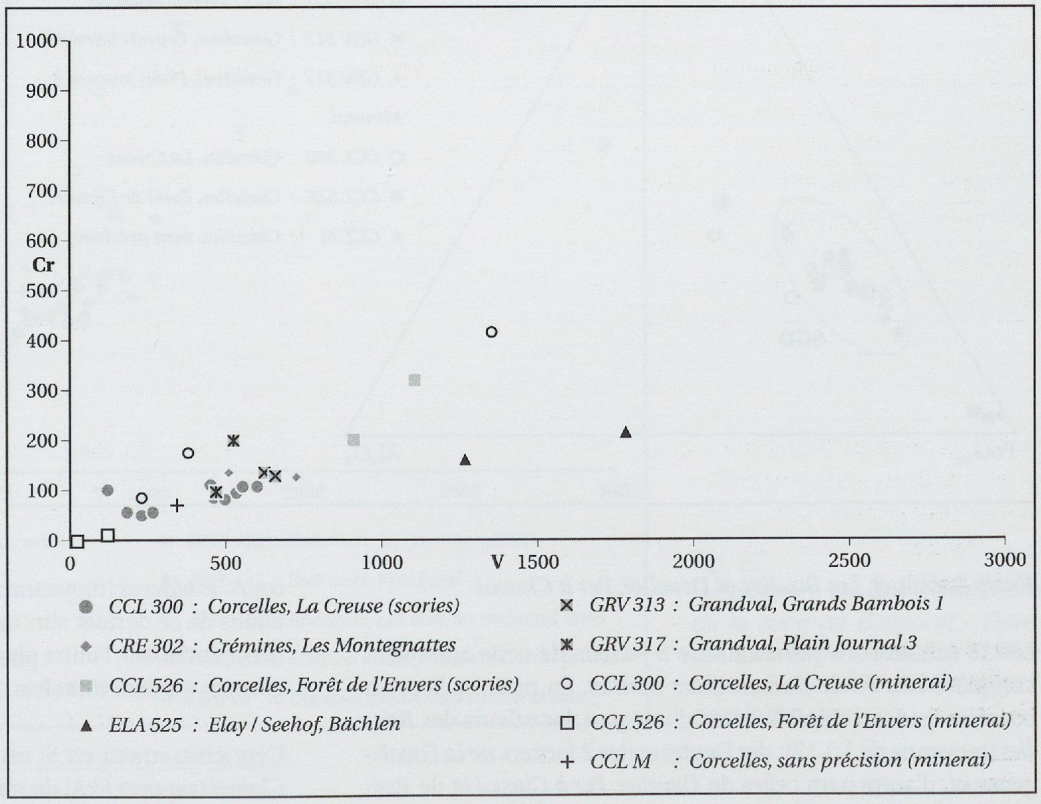


Fig. 92.
Rapport V : Cr des échantillons du Grand-Val. Les ferriers ayant fourni un échantillon de scories et de minerai sont indiqués.

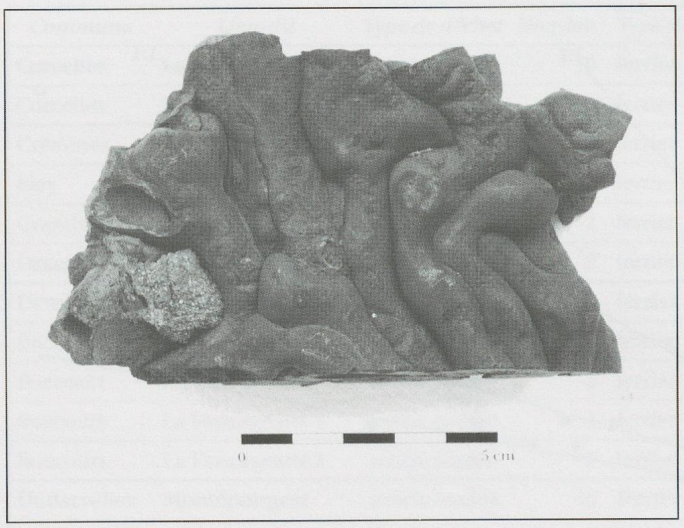


Fig. 93.
Scorie coulée grise dense (SGD) en plan. Ech. CCL 006 (Corcelles, La Creuse n° 300).

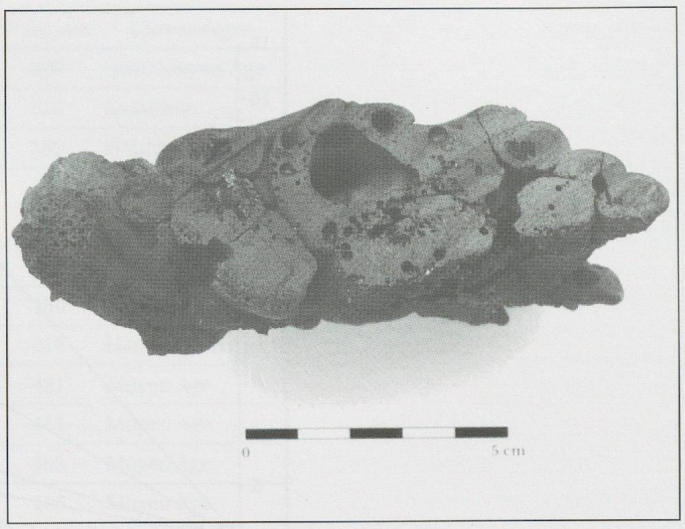


Fig. 94.
Scorie coulée grise dense (SGD) en coupe (voir fig. 92).

Les argiles ferrugineuses, jaunes et rouges, trouvées en grande quantité dans le sondage pratiqué à *Corcelles, La Creuse* n'ont probablement pas été utilisées seules comme minerai, mais plutôt en combinaison avec d'autres concrétions, telles que celles prélevées à l'emplacement d'une ancienne galerie de mine proche du site de la *Forêt de l'Envers*. C'est la seule région qui n'a pas livré des scories coulées dont le taux en FeO_{tot} est supérieur à celui du minerai archéologique. L'écart de ce taux est de 30%, ce qui laisse une marge satisfaisante pour la production de fer. Enfin, les teneurs en CaO varient fortement (de 2,23 à 19,29% poids); il en va de même pour les minerais (de 0,15 à 45,99%); aucune autre conclusion ne peut être tirée actuellement à ce sujet.

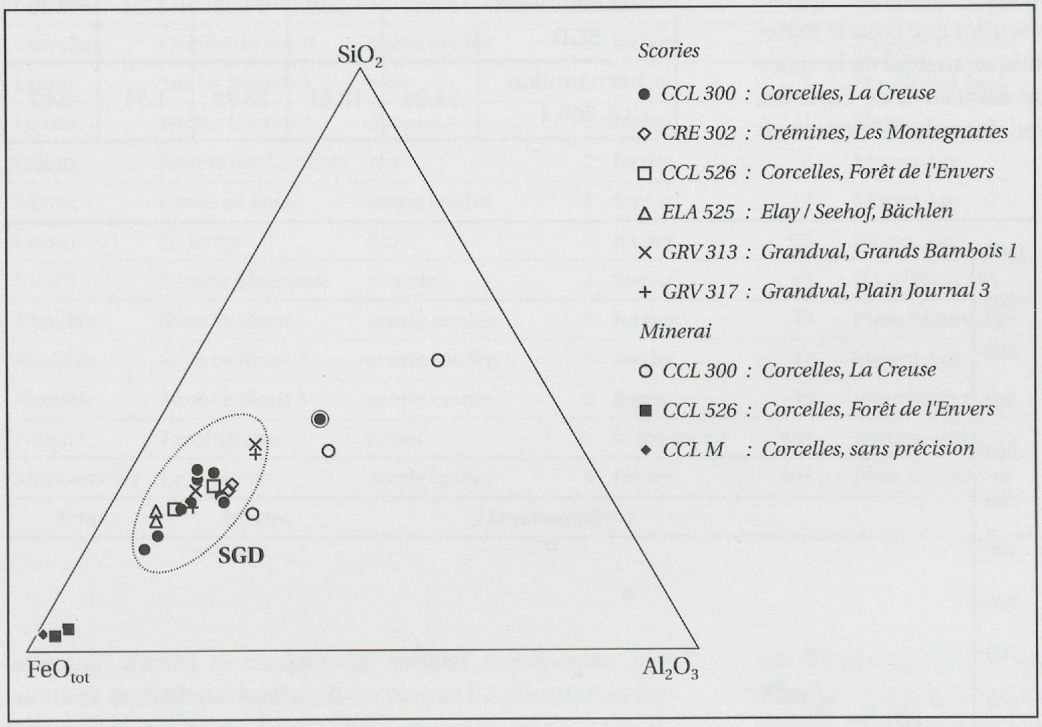


Fig. 95.
Composition chimique des scories analysées du Grand-val. (Entouré: voir fig. 91). ***SGD:*** *scories grises denses.*

Entre Boécourt, Les Boulies et Develier, Fer à Cheval

Les 18 échantillons provenant de 5 ferriers de cette zone sont comparés aux 31 de *Boécourt, Les Boulies*. En premier lieu, on constate un écart sensible entre, d'une part, les valeurs des *Boulies* (moyenne de 1:1,13), *des Deutes* et des 2 ferriers *de la Favoirgeatte* et, d'autre part, celles de *Develier, Fer à Cheval* et de *Boécourt, Froideval* (moyenne de 1:1,52). Au sein même des échantillons de ce dernier site, on distingue 2 groupes, l'un plus riche (6 échantillons), l'autre plus pauvre en silice et alumine; les deux groupes gardent toutefois un rapport Si:Al similaire.

L'enrichissement en Si est plus prononcé pour *Develier, Fer à Cheval* (rapport Si:Al du minerai et des scories 1:1.92) que pour

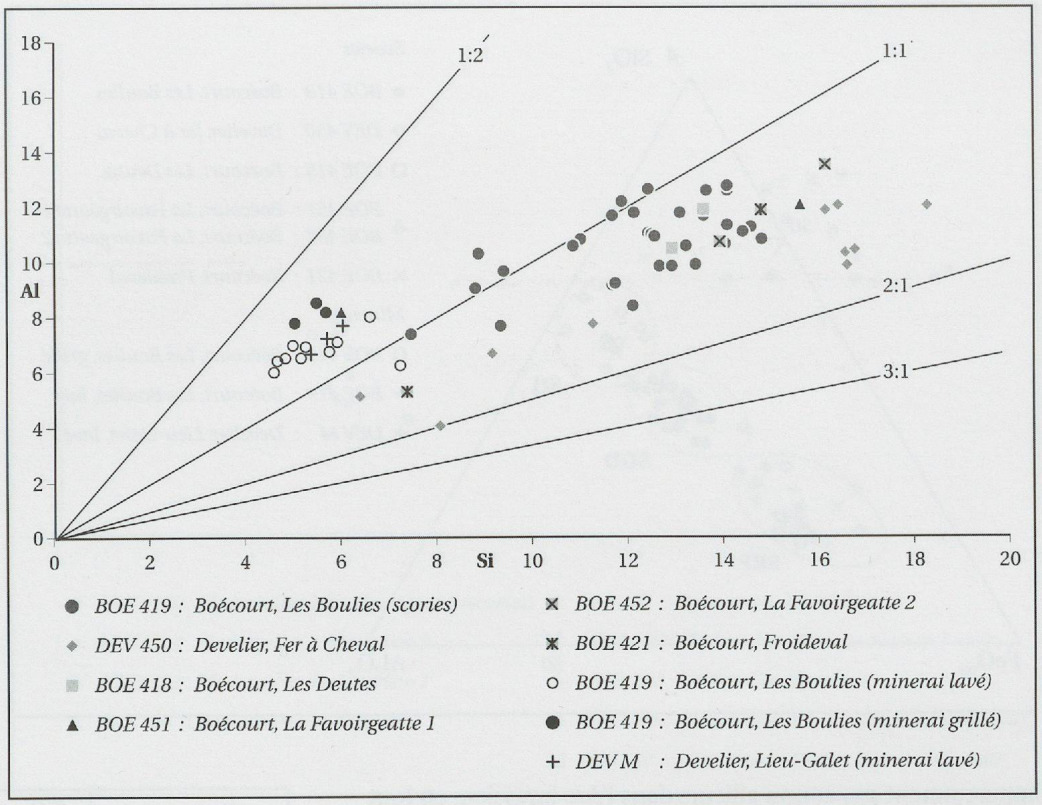


Fig. 96.
Rapport Si : Al des échantillons provenant de Boécourt, Les Boulies et alentours. Les ferriers ayant fourni un échantillon de scories et de minerai sont indiqués.

Boécourt, Les Boulies (rapport Si:Al du minerai lavé avec celui des scories 1:1.7; rapport Si:Al du minerai grillé avec celui des scories 1:1.4) du fait que les deux types de minerais sont pratiquement identiques.

Il y a toutefois des similitudes entre les deux sites: 3 échantillons à *Develier* (ainsi qu'un à la *Favoirgeatte* et un à *Froideval*) qui se rangent dans la catégorie des ***scories riches en fer*** (ci-après **SRF**) définie à Boécourt[43]. Ce type de scories n'est

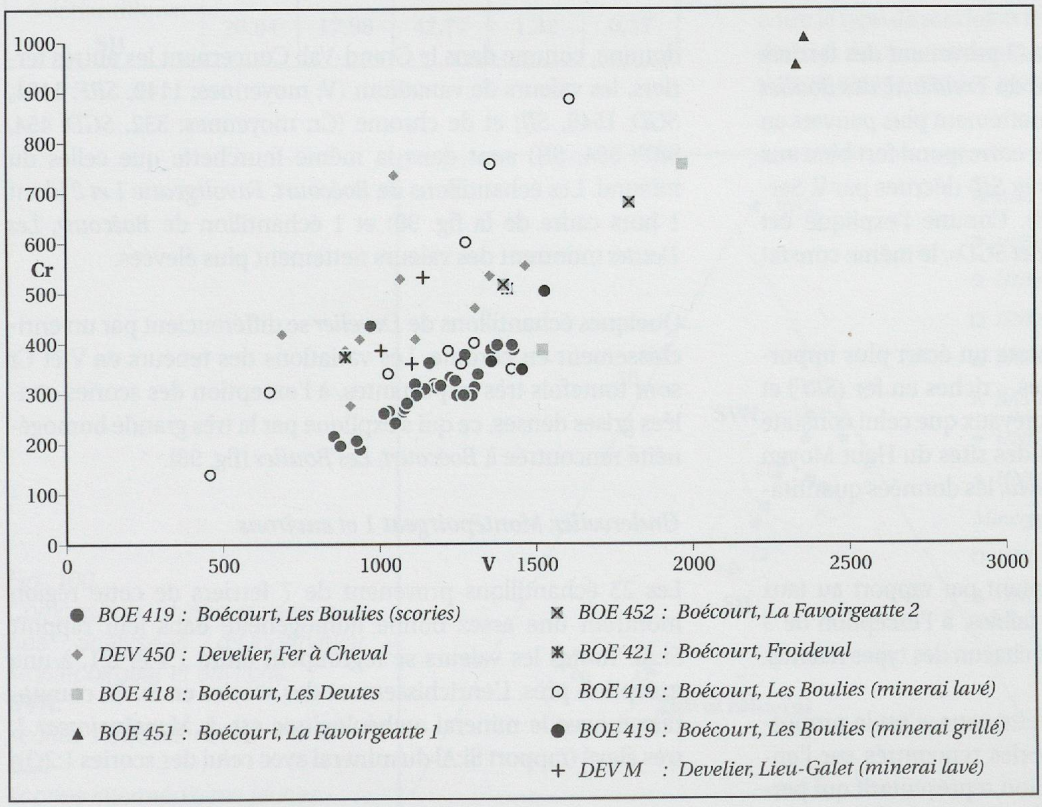


Fig. 97
Rapport V : Cr des échantillons de la zone de Boécourt - Develier. Les ferriers avec un échantillon de scories et de minerai sont indiqués.

[43] Eschenlohr et Serneels 1991, p. 81, fig. 55.

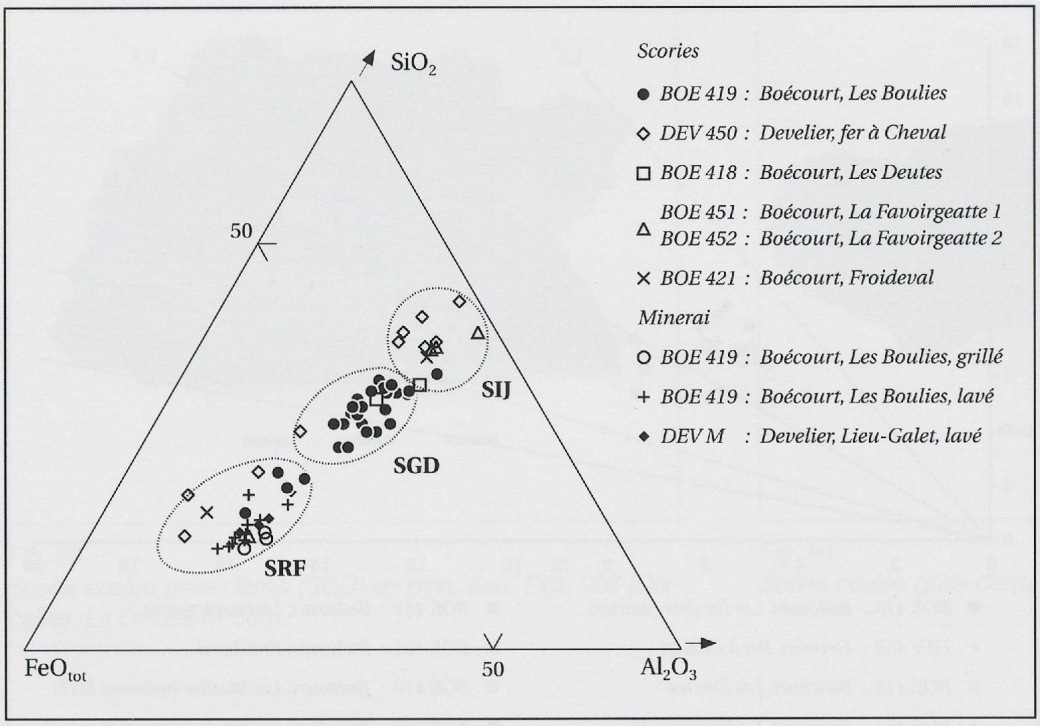


Fig. 98.
Composition chimique des scories analysées de la zone entre Boécourt, Les Boulies et Develier, Fer à Cheval.
SIJ :
scories intermédiaires jaunes
SGD :
scories grises denses
SRF :
scories riches en fer

apparemment pas connu ailleurs dans l'Arc jurassien: en tout cas, aucune mention n'en est faite dans l'étude de V. Serneels (1993). Il n'existe donc pas d'approche détaillée sur les plans minéralogique et descriptif, le seul signe distinctif étant pour l'instant les teneurs très élevées en oxydes de fer.

Une seule scorie coulée médiévale de *Develier* peut être définie comme grise et dense *(SGD):* elle s'assimile à l'essentiel des échantillons de *Boécourt, Les Boulies,* ainsi qu'à un échantillon *des Deutes.*

% moyen	SiO_2	Al_2O_3	FeO_{tot}	Si : Al	Si : Fe
28 échantillons **SGD**	27.68	20.86	44.62	1.18	0.37
9 échantillons **SRF**	17.16	13.31	62.78	1.21	0.17
12 échantillons **SIJ**	33.79	21.98	33.78	1.37	0.58

Les 6 autres échantillons de *Develier* (3 provenant des ferriers de la *Favoirgeatte,* un respectivement du *Froideval, des Boulies* et *des Deutes*) sont au contraire tous nettement plus pauvres en FeO_{tot}. Ce type pauvre en oxydes de fer correspond fort bien aux ***scories intermédiaires jaunes*** (ci-après ***SIJ***) décrites par V. Serneels à Montcherand (1993, p. 138). Comme l'explique cet auteur, *«il y a une continuité entre SIJ et SGD»;* le même constat peut être fait sur les scories du Jura.

Dans la région de *Boécourt,* on constate un écart plus important entre les deux groupes de scories – riches en fer *(SRF)* et pauvres en fer *(SIJ)* – des ferriers médiévaux que celui constaté entre les deux groupes (*SRF* et *SGD*) des sites du Haut Moyen Age. en particulier celui du *Fer à Cheval,* les données quantitatives suffisamment fiables font défaut.

Les teneurs en CaO, tout en augmentant par rapport au taux contenu dans le minerai, sont assez faibles, à l'exception de 3 scories, appartenant respectivement à chacun des types retenus.

Dans le contexte plus complexe de cette zone, c'est la proportion entre les différents types de scories rencontrés sur l'ensemble d'un site ou dans un échantillon représentatif qui permet de tirer des informations sur le mode de fonctionnement de ces ferriers. *Aux Boulies,* c'est clairement le type *SGD* qui domine, comme dans le Grand-Val. Concernant les autres ferriers, les valeurs de vanadium (V; moyennes: 1140, *SRF;* 1181, *SGD;* 1545, *SIJ*) et de chrome (Cr; moyennes: 332, *SGD;* 454, SRF; 594, SIJ) sont dans la même fourchette que celles du minerai. Les échantillons de *Boécourt, Favoirgeatte 1 et 2* (dont 1 hors cadre de la fig. 98) et 1 échantillon de *Boécourt, Les Deutes* montrent des valeurs nettement plus élevées.

Quelques échantillons de *Develier* se différencient par un enrichissement en chrome. Les variations des teneurs en V et Cr sont toutefois très importantes, à l'exception des scories coulées grises denses, ce qui s'explique par la très grande homogénéité rencontrée à *Boécourt, Les Boulies* (fig. 98).

Undervelier, Montépoirgeat 1 et environs

Les 23 échantillons provenant de 7 ferriers de cette région montrent une assez bonne homogénéité dans leur rapport Si:Al. Toutes les valeurs se regroupent entre 1:1 et 2:1, à une exception près. L'enrichissement des scories en Si, en comparaison avec le minerai archéologique est, à *Montépoirgeat 1,* très élevé (rapport Si:Al du minerai avec celui des scories 1:2,3).

Lors d'un sondage élargi sur le ferrier d'*Undervelier, Montépoirgeat 1,* il a été possible de prélever un échantillon suffisant

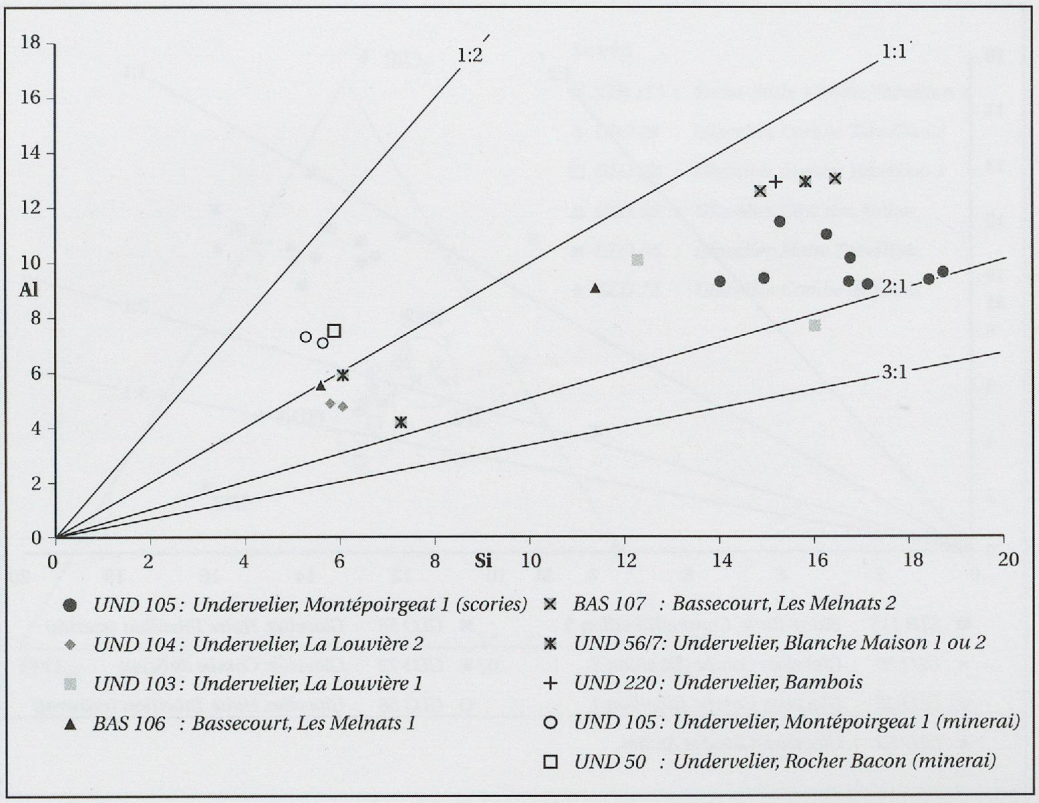


Fig. 99.
Rapport Si : Al des échantillons du ferrier d'Undervelier, Montépoirgeat et de sites proches. Les ferriers ayant fourni un échantillon de scories et de minerai sont indiqués.

% moyen	SiO_2	Al_2O_3	FeO_{tot}	Si : Al	Si : Fe
12 échantillons **SVN**	35.56	19.66	34.58	1.65	0.62
5 échantillons **SRF**	13.18	9.50	67.21	1.26	0.11
3 échantillons **SIJ**	26.84	17.98	42.77	1.32	0.37

pour déterminer le type dominant de scories: il s'agit des ***scories coulées vitreuses noires*** (ci-après *SVN*); par contre, aucune scorie coulée riche en fer n'a été mise en évidence. Les autres types sont plus faiblement représentés: 2 scories riches en fer à *la Blanche Maison*, 2 *SRF* à la *Louvière 2*, et 1 *SRF* aux *Melnats 1*. Au sujet des 3 échantillons de SIJ, on relèvera la teneur moyenne assez importante en CaO (5.83; par rapport à 5.36 pour les *SVN* et 1.96 pour les *SRF*), laquelle semble indiquer une corrélation entre le type de scories et le taux. Les valeurs moyennes de vanadium et de chrome donnent une image à peu près similaire: SIJ: V 2271, Cr 983; SVN: V 1979, Cr 827; SRF: V 1189, Cr 833.

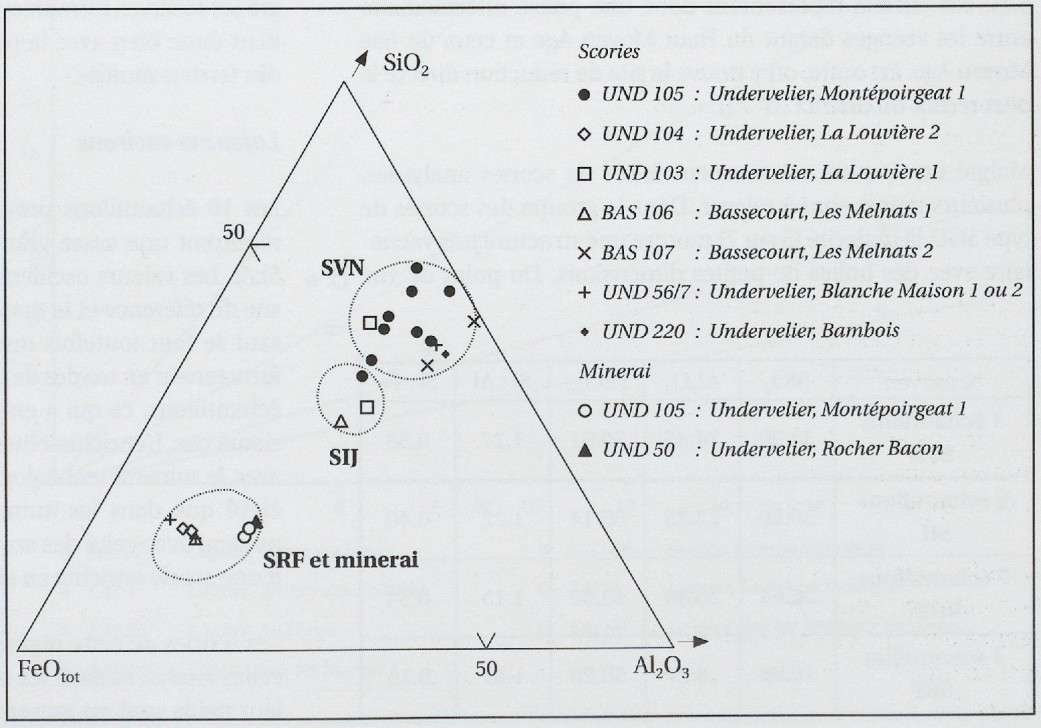


Fig. 100.
Composition chimique des scories analysées d'Undervelier, Montépoirgeat et environs.
SVN:
scories vitreuses noires
SIJ:
scories intermédiaires jaunes
SRF:
scories riches en fer.

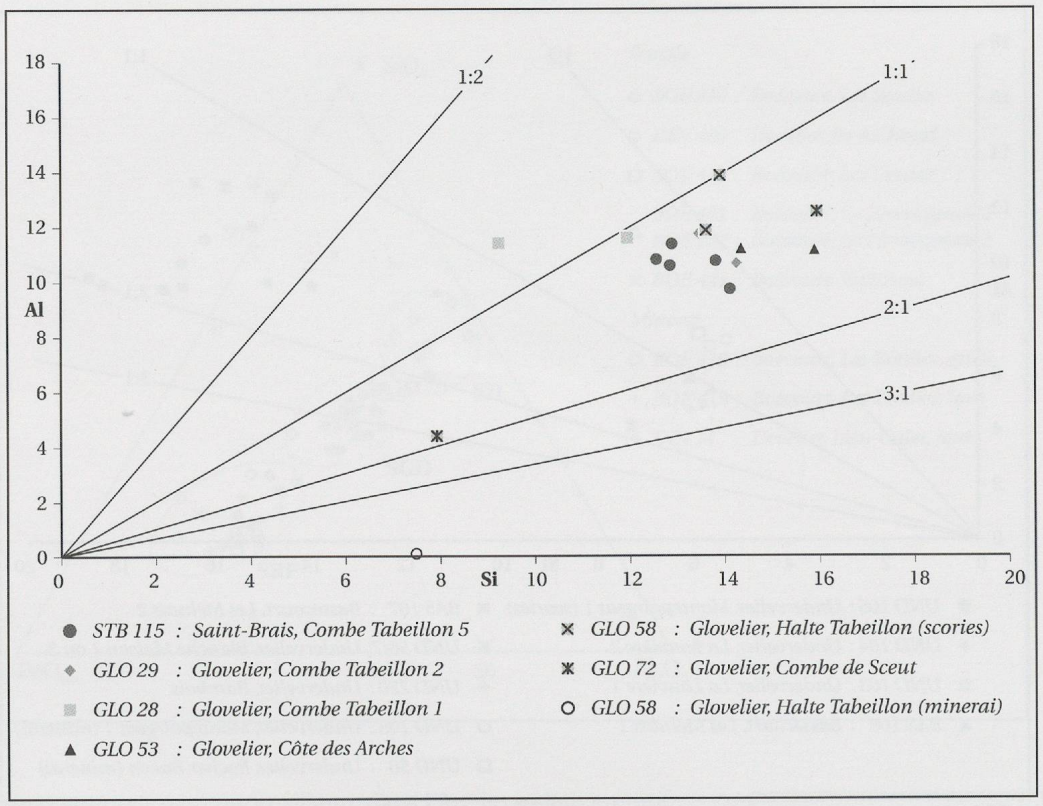


Fig. 101.
Rapport Si : Al des échantillons provenant du ferrier de Saint-Brais, Combe Tabeillon 5 et de sites proches. Les ferriers ayant fourni un échantillon de scories et de minerai sont indiqués.

La Combe Tabeillon

Les 15 échantillons provenant de 6 ferriers de cette région montre une assez bonne homogénéité dans leur rapport Si:Al. Toutes les valeurs se regroupent entre 1:1 et 1,5:1, à deux exceptions près. L'unique échantillon de minerai archéologique n'est pas probant (valeur Al presque 0); une comparaison du rapport SI:Al entre minerai et scories n'est donc pas possible.

L'intérêt de cette zone réside dans le fait que la majorité des ferriers est précoce au sein de la période médiévale (voir chap. 5.1); ces ferriers représentent donc une phase intermédiaire entre les vestiges datant du Haut Moyen Age et ceux du Bas Moyen Age. En outre, on y trouve le site de réduction directe le plus récent du district (n° 72).

Malgré un nombre relativement faible de scories analysées, plusieurs points sont à relever. Dans le groupe des scories de type *SGD*, la majorité (5 sur 7) montre une structure très vacuolaire avec des bulles de petites dimensions. Du point de vue analytique, elle ne se distingue guère des 2 autres scories *SGD* «classiques», c'est-à-dire dense, en forme de boudin avec peu de bulles.

% moyen	SiO_2	Al_2O_3	FeO_{tot}	Si : Al	Si : Fe
1 échantillon **SVN**	34.20	24.85	30.91	1.27	0.58
6 échantillons **SIJ**	30.50	22.25	35.14	1.22	0.48
7 échantillons **SGD**	26.64	20.69	43.00	1.15	0.34
1 échantillon **SRF**	16.98	8.27	58.20	1.81	0.16

Le groupe transitoire de type *SIJ* est également bien présent et comporte plusieurs scories à structure vacuolaire, similaire à celle décrite pour le type *SGD*. Il se distingue toutefois de ce dernier par une teneur supérieure en CaO (4,26%).

Les seules scories qui sortent nettement du lot proviennent du ferrier tardif: l'une est de type *SVN* et l'autre de type *SRF*. Malgré les réserves formulées plus haut, ces observations concordent donc bien avec la position chronologique intermédiaire des ferriers étudiés.

Lajoux et environs

Les 10 échantillons provenant de 5 ferriers de cette région montrent une assez grande hétérogénéité dans leur rapport Si:Al. Les valeurs oscillent entre 1:1,4 et 1,8:1. L'absence d'un site de référence et le manque d'échantillons en nombre suffisant se font toutefois ressentir. Ce manque est aussi lié à la forte teneur en oxydes de fer fréquemment rencontrée dans les échantillons, ce qui a empêché l'analyse chimique dans plusieurs cas. L'enrichissement des scories en Si en comparaison avec le minerai archéologique de *Lajoux, Le Paigre* est moins élevé que dans les autres zones étudiées (rapport Si:Al du minerai avec celui des scories 1:1,6); il y a même le cas unique d'une scorie enrichie en alumine !

Les scories de cette région se distinguent à plusieurs titres de celles analysées dans les autres zones du district. Leur taille et leur poids sont en moyenne nettement supérieurs à ceux des

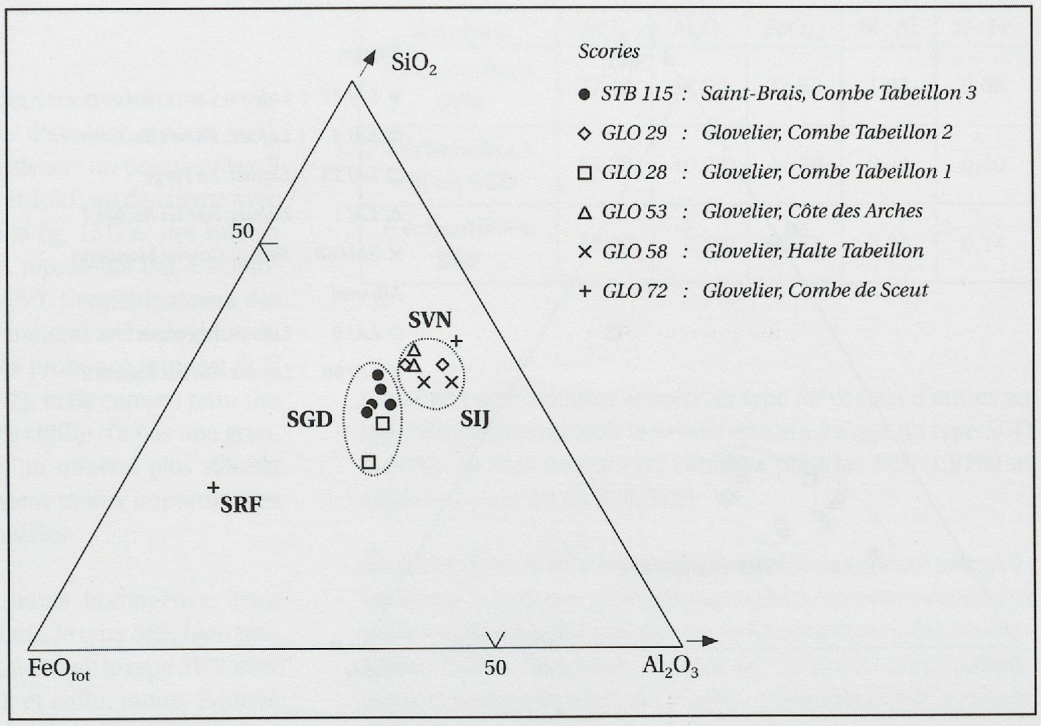


Fig. 102.
Composition chimique des scories analysées de la Combe Tabeillon.
SVN:
scories vitreuses noires
SIJ:
scories intermédiaires jaunes
SGD
scories frises deuses
SRF:
scories riches en fer.

autres zones. Pour ce qui est de la morphologie, il s'agit soit de blocs (4 cas), de plaques (2 cas), de formes intermédiaires entre les deux (2 cas), ou de «fonds de cuvette» (2 cas).

Bien que le nombre de pièces analysées soit assez faible, le groupe de *Lajoux* se différencie donc clairement de ceux des autres zones, et ceci aussi du point vue chimique. L'ensemble des scories analysées, à une exception, appartient au type *SRF*; dans plusieurs cas, les teneurs en oxydes de fer sont supérieures à celles mesurées dans les minerais archéologiques !

% moyen	SiO_2	Al_2O_3	FeO_{tot}	Si : Al	Si : Fe
9 échantillons **SRF**	14.26	10.95	**70.25**	1.21	0.12
3 échantillons **Minerai**	12.98	14.64	**59.30**	0.78	0.13

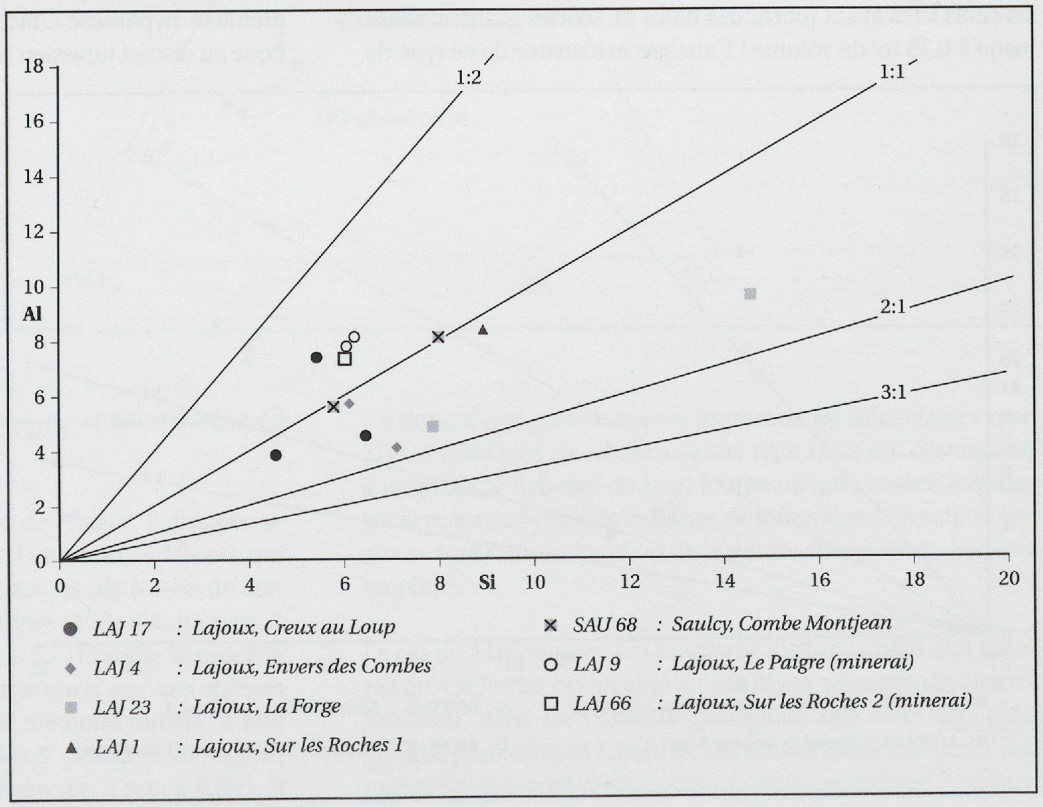


Fig. 103.
Rapport Si : Al des échantillons provenant de plusieurs ferriers de Lajoux et d'un de Saulcy.

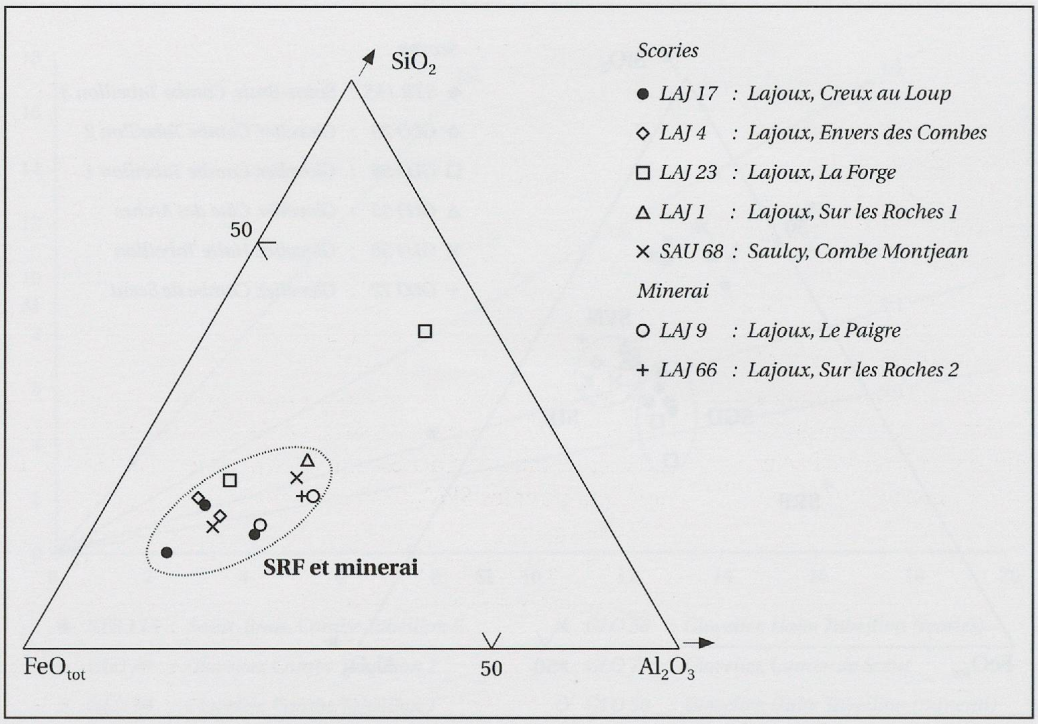


Fig. 104.
Composition chimique des scories analysées de Lajoux et Saulcy.
SRF:
scories riches en fer.

L'enrichissement des scories riches en fer en CaO est de toute évidence inférieur à celui des scories de type *SIJ* et *SVN:* ce fait se confirme à travers les scories de cette région, dont la teneur moyenne en CaO est de 1,36% poids.

La seule scorie qui n'est pas de type *SRF* indique qu'il ne faut pas considérer la région de façon trop uniforme: seule l'analyse d'échantillons provenant de plusieurs ensembles de plus grande importance permettrait de donner un fondement plus solide aux résultats obtenus.

Cette région et le *Petit-Val* limitrophe renferment également les seuls sites ayant fourni des blocs de scories géantes, allant jusqu'à 0,25 m³ de volume ! L'analyse exhaustive de ce type de vestiges très énigmatiques viendrait certainement compléter de façon judicieuse la présente étude.

Sur la base des résultats de ces quelques analyses, il est prématuré de vouloir tirer de grandes conclusions. A la double question ***«comment peut-on produire des scories comportant davantage de fer que le minerai ?»*** et ***«comment fait-on pour obtenir des scories dont les dimensions sont apparemment supérieures à celles des cuves de bas fourneaux jurassiens connus à ce jour ?»***, il est encore prématuré d'apporter une réponse définitive. Les données analytiques de Lajoux, mises en commun avec celles des autres régions, ont toutefois permis d'échafauder une première hypothèse concernant un modèle technique spécifique au district jurassien (voir chap. 5.3.3).

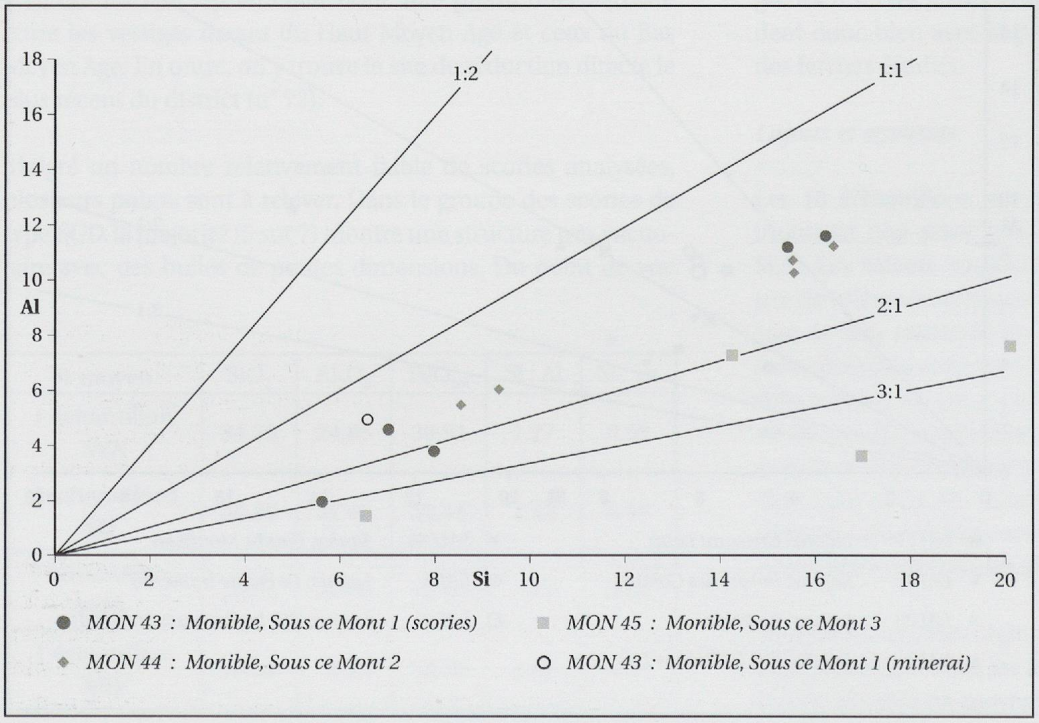


Fig. 105.
Rapport Si : Al des échantillons provenant du triple site de Monible, Sous ce Mont. Les ferriers ayant fourni un échantillon de scories et de minerai sont indiqués.

Monible, Sous ce Mont 1 à 3

Les 15 échantillons provenant des 3 ferriers constituant ce site présentent d'assez grandes variations dans leur rapport Si:Al. Trois nuages de points sont mis en évidence: un premier avec 9 échantillons et des valeurs entre 1,3:1 et 1.6:1; un deuxième avec 5 échantillons (dont 1 hors cadre de la fig. 151) et des valeurs entre ± 2:1 et 3:1; un troisième enfin, représenté par 2 échantillons et un rapport approximatif de 4,5:1. L'enrichissement des scories en Si en comparaison avec le minerai archéologique du même site n'est, en moyenne, pas très prononcé (rapport Si:Al du minerai avec celui des scories 1:1.7), mais compte tenu des regroupements présentés ci-dessus, ce chiffre n'a pas une grande signification, mis à part le fait qu'un minerai plus siliceux entraîne logiquement un enrichissement moins important, en comparaison avec les autres zones étudiées.

Les scories forment des groupes moins homogènes. Trois ensembles toutefois peuvent être définis: le type *SRF*, bien présent sur les 3 sites avec 6 échantillons au total; le type *SVN*, avec une représentation similaire (7 éch.); et enfin, moins évident, un type intermédiaire présent avec 2 échantillons: ce dernier ressemble sous certains aspects au type *SIJ* et sous d'autres au type *SGD*; si l'on en croit la teneur en CaO, il s'agit du type *SGD* (1.94%). Le taux en CaO est similaire pour les *SRF* (1,97%) et supérieur pour les *SVN* (3,33%).

% moyen	SiO_2	Al_2O_3	FeO_{tot}	Si : Al	Si : Fe
7 échantillons **SVN**	37.44	18.99	32.62	1.83	0.66
2 échantillons **SIJ** ou **SGD**	33.33	10.23	44.39	3.34	0.40
6 échantillons **SRF**	15.98	7.30	61.61	2.35	0.14

En conclusion, si tous les résultats ne sont pas encore interprétables sur la base des analyses disponibles, on peut néanmoins relever comme point fort que les variations dues à des phénomènes locaux (la teneur en silice par exemple) n'empêchent pas que la classification des scories ressemble à celle obtenue dans les autres régions.

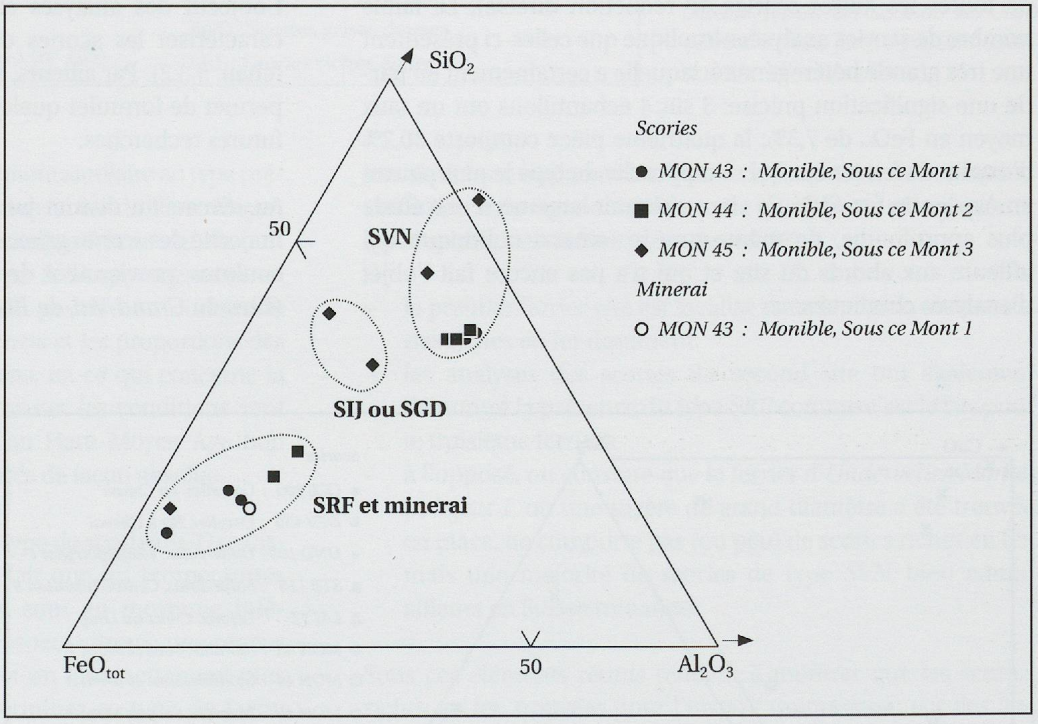


Fig. 106.
Composition chimique des scories analysées de Monible, Sous ce Mont 1 à 3.
SVN
scories noir
SIJ :
scories intermédiaires jaunes
SGD :
scories grises denses
SRF :
scories riches en fer

Deux cas à part: Pleigne, La Favoirgeatte et Montsevelier, Le Greierlet

En ce qui concerne le haut fourneau de *Pleigne*, 2 groupes se distinguent sur le plan analytique: d'une part, 5 laitiers qui montrent un rapport Si:Al tout à fait semblable à celui de certaines scories de réduction directe (type *SVN*); d'autre part, 2 pièces qui ont un rapport supérieur à 5:1. Comme le procédé de réduction dans le haut fourneau n'obéit pas aux mêmes règles que celui de la réduction par méthode directe, il faut intégrer l'influence du CaO: pour les 5 premiers, le rapport Si:Ca est de 0.86:1; pour le deuxième groupe, il est de 6,88:1. Il y a donc d'une part un apport important en silice (laitier type 2) et d'autre part en calcium (laitier type 1), ce qui correspond à un procédé habituel du haut fourneau, qui consiste à abaisser le point de fusion du mélange de minerai et de fondant; ces ajouts sont faits en fonction de la nature chimique du minerai employé.

Le cas de *Montsevelier, Le Greierlet* se distingue pour une autre raison. Ce ferrier est localisé à l'extrémité orientale du district jurassien, dans un contexte géologique qui n'est déjà plus typique pour celui-ci (chap. 2). Les scories analysées de ce site montrent sans ambiguïté aucune l'emploi simultané de mine-

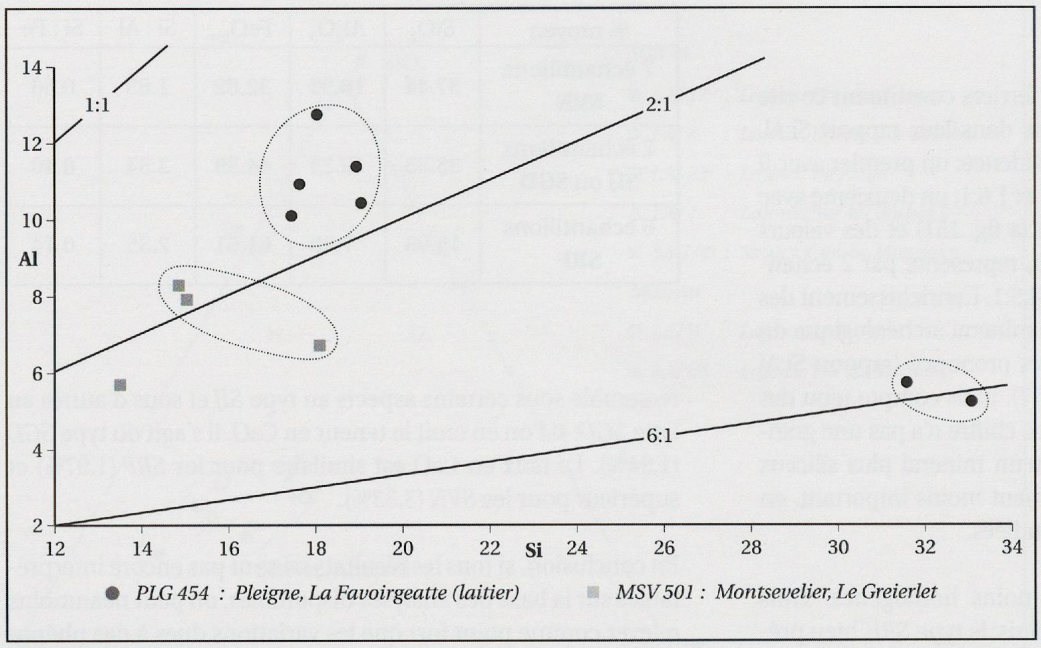


Fig. 107.
Rapport Si : Al des échantillons provenant du haut fourneau précoce (?) de Pleigne, La Favoirgeatte et du ferrier médiéval de Montsevelier, Le Greierlet.

rai sidérolithique (teneurs élevées en V et Cr) et de minerai oolithique (taux élevé de CaO et rapport Si:Al supérieur à celui de toutes les autres scories de réduction directe). Le faible nombre de scories analysées implique que celles-ci présentent une très grande hétérogénéité, laquelle a certainement en partie une signification précise: 3 sur 4 échantillons ont un taux moyen en FeO_{tot} de 7,3%; la quatrième pièce comporte 30,2% d'oxydes de fer, teneur qui se rapproche du type le plus pauvre en oxydes de fer, *SVN*. Ce site mériterait largement une étude plus approfondie, de même que le minerai oolithique qui affleure aux abords du site et qui n'a pas encore fait l'objet d'analyses chimiques.

5.3.3 Synthèse des résultats

L'objectif des analyses chimiques était en premier lieu de caractériser les scories dans les différentes zones retenues (chap. 5.3.2). Par ailleurs, la synthèse des résultats analytiques permet de formuler quelques hypothèses de travail, pistes de futures recherches.

Au niveau du district jurassien, on constate que l'écrasante majorité des *scories grises denses (SGD)*, sous forme de diverses coulures, proviennent de ferriers datant du Haut Moyen Age (sites du *Grand-Val*, de *Boécourt*, *Les Boulies* et *Les Deutes*). Un

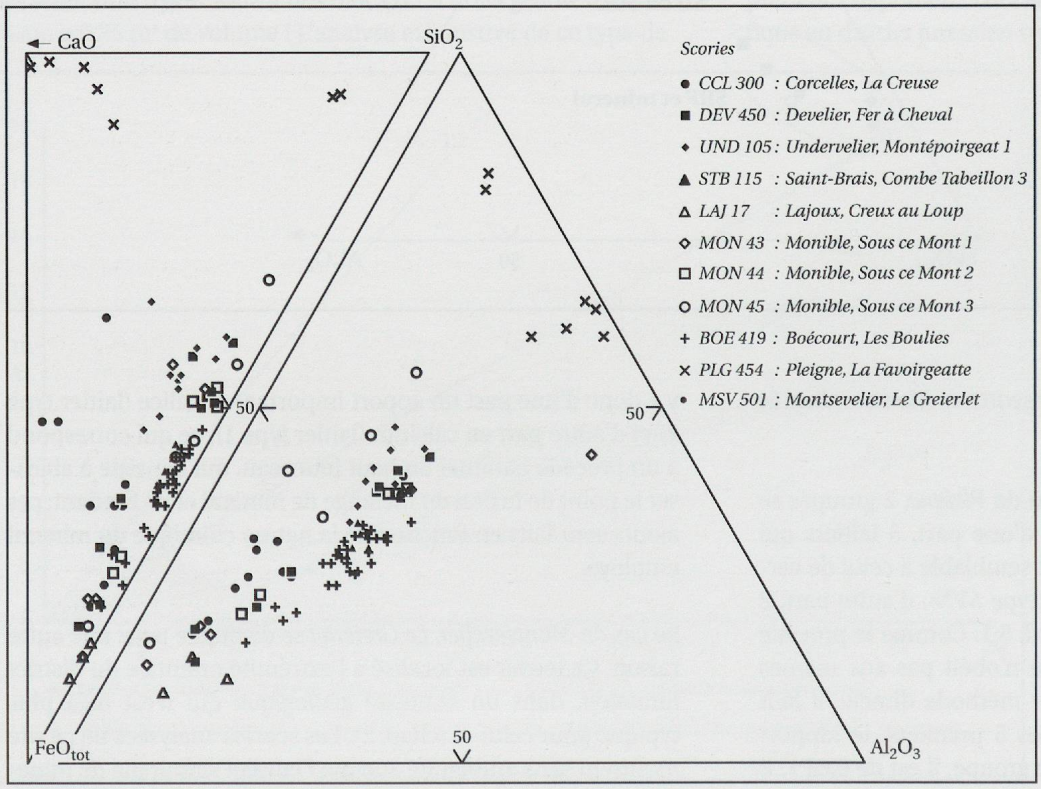


Fig. 108.
Composition chimique des scories analysées du Jura central suisse.

% SiO_2	Grand-Val	BOE – DEV	UND-MP	Tabeillon	Lajoux	Monible
SVN	–	–	35.6	34.2	–	37.4
SIJ	–	33.8	26.8	30.5	–	33.3
SGD	23.5	27.7	–	26.6	–	
SRF	–	17.2	13.2	17.0	14.3	16.0
% FeO_{tot}	**Grand-Val**	**BOE – DEV**	**UND-MP**	**Tabeillon**	**Lajoux**	**Monible**
SVN	–	–	34.6	30.9	–	32.6
SIJ	–	33.8	42.8	35.1	–	
SGD	53.3	44.6	–	43.0	–	44.4
SRF	–	62.8	67.2	58.2	70.3	61.6
Moyenne	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**FeO_{tot}**	**CaO**	**Si : Al**	**Si : Fe**
Laitier 2 (2)	69.1	10.3	4.7	6.6	5.93	8.93
Laitier 1 (5)	38.9	21.0	3.0	30.4	1.65	14.17
MSV (3)	34.2	14.4	7.3	29.8	2.13	2.29
SVN (17)	36.2	19.6	33.7	4.6	1.69	0.63
SIJ (21)	31.9	21.5	35.5	4.0	1.32	0.52
SGD (53)	25.9	16.9	47.9	3.2	1.52	0.32
SRF (26)	15.5	12.0	65.5	2.0	1.22	0.14

BOE : Boécourt
DEV : Develier
MSV : Montsevelier
UND-MP : Undervelier, Montépoirgeat 1 (n° 105)
SVN : Scories vitreuses noires
SIJ : Scories intermédiaires jaunes
SGD : Scories grises denses
SRF : Scories riches en fer

Fig. 109.
Synthèse des analyses des principaux types de scories du Jura central suisse (entre parenthèses: nombre d'échantillons).

faciès plus vacuolaire, mais chimiquement similaire au type précité, se rencontre durant la période transitoire du Plein Moyen Age. Il convient donc d'insister sur le fait que cela ne signifie nullement que toutes les scories de type *SGD* appartiennent au Haut Moyen Age: il s'agit encore de prendre en compte le contexte régional, le volume des déchets et les proportions des différents types de scories. Néanmoins, en ce qui concerne la majorité des ferriers du Grand-Val, toutes les conditions sont réunies pour permettre d'attribuer au Haut Moyen Age bon nombre des sites qui n'ont pas été datés de façon absolue.

D'un point de vue technologique, le type de scories *SGD* se distingue des types *SVN* et *SIJ* par le fait que les températures atteintes au cours d'une opération sont en moyenne inférieures. Plusieurs indices, tels que l'aspect vitreux, une teneur plus importante en CaO et en SiO_2 et un taux nettement plus faible en FeO_{tot}, permettent de déterminer ce type de façon sommaire. De telles caractéristiques, décrites dans la littérature, ne peuvent suffire malgré tout et demandent des compléments d'analyse afin d'éviter de tirer des conclusions trop hâtives. Dans le cas précis, d'autres observations, propres au district jurassien, doivent être retenues.

En effet, l'existence de bas fourneaux à tirage naturel – ceux que l'on connaît sont tous médiévaux – est aujourd'hui un fait attesté (chap. 1.2 et 4.2.1). Sont mentionnés tout particulièrement les fourneaux de *Lajoux, Le Grand Pré* (fouille M. Joos), de *Monible, Sous ce Mont,* d'*Undervelier, Blanche Maison*[44]. Il s'agit de trois cas très similaires, où l'on relève l'absence de système de ventilation artificielle et de toute ouverture autre que la porte et le gueulard. Qu'observe-t-on sur les scories de ces sites ?

- le premier ferrier cité est localisé dans la région où les scories riches en fer dominent.
- les analyses des scories du second site ont également démontré la présence du type *SRF*, comme c'est le cas pour le troisième ferrier.
- à l'opposé, on constate que le ferrier d'*Undervelier, Montépoirgeat 1*, où une tuyère de grand diamètre a été trouvée en place, ne comporte pas (ou peu) de scories riches en fer, mais une majorité de scories de type *SVN*, bien connu ailleurs en Suisse romande.

Tous ces éléments réunis tendent à montrer que les scories riches en fer, trouvées pour l'instant uniquement sur des ferriers médiévaux, proviennent d'une réduction par la méthode directe dans un bas fourneau à ventilation naturelle; rappelons que ce type de fourneau avait été décrit pour la première fois par A. Quiquerez en 1866 pour le district jurassien, ce qui, à l'époque, avait suscité beaucoup d'incrédulité. Bien que cette théorie ne repose encore que sur un faisceau d'indices, elle a le mérite de proposer pour la première fois une piste susceptible d'aider à la compréhension du fonctionnement d'un fourneau «de type primitif» à l'époque médiévale, dans plusieurs secteurs du district jurassien – et apparemment seulement dans cette région du Jura suisse.

[44] Le dernier est illustré par A. Quiquerez dans *De l'âge du fer* 1866, planche I. On pourrait y ajouter encore celui de Soulce, Domont-Cerneutat, sur la même planche, ainsi que celui indiqué sous Rebévelier, localisé probablement à Lajoux, La Saigne, dans le même ouvrage, planche II (voir aussi chap. 3).

Ajoutons encore que ces scories riches en fer ne peuvent pas être, de toute évidence, l'unique produit de ces fourneaux: en effet, la productivité serait alors déficiente, c'est-à-dire qu'il faudrait ajouter du fer pur pour obtenir une éponge ! A Monible, on voit bien qu'il existe à l'opposé des scories très pauvres en oxydes de fer, qui s'apparentent au type *SVN*, bien que celles-ci ne soient pas majoritaires, selon nos observations sur ces sites.

Pour revenir au fait que les scories de type *SGD* apparaissent essentiellement au Haut Moyen Age, il serait intéressant d'examiner de plus près l'idée d'une double «filière»: l'une utilisant une méthode de réduction à «basse température» laquelle entraînerait une perte nettement plus importante en oxydes de fer; l'autre utilisant une méthode à «haute température» , avec, par exemple, un apport supplémentaire de CaO, laquelle produirait des scories plus pauvres en oxydes de fer et emprunterait résolument la voie conduisant à la réduction indirecte...

Enfin, quant à l'utilisation simultanée de deux minerais (minerai pisolithique et oolithique) à *Montsevelier, Le Greierlet,* une étude approfondie permettrait probablement de rapprocher ce ferrier du Plein Moyen Age des vestiges du site à peu près contemporain de Liestal, Röserntal (Serneels 1995).

5.4 Etude métallographique[45]

L'étude métallographique de six pièces – essentiellement en métal, fer et/ou acier – est résumée ici sous la forme d'un bref excursus. Conscient de la complexité que représente une telle approche, nous avons suivi une formation de base permettant de comprendre l'analyse d'une pièce sous l'aspect métallographique. En revanche, l'étude minéralogique qu'englobe en général aussi une telle démarche n'a pas été abordée, car elle aurait nécessité de notre part des connaissances plus approfondies dans ce domaine[46].

La documentation des pièces étudiées comporte des lacunes, à savoir que leur état initial (avant la coupe en vue de l'analyse) n'a pas toujours été enregistré de façon appropriée. C'est la raison pour laquelle certaines indications concernant les dimensions et le poids de certaines pièces ne figurent pas dans nos descriptions.

Il importe d'ajouter au nombre considérable de scories riches en fer mises au jour, des pièces qui se composent essentiellement de fer. Lors de l'étude du site de *Boécourt, Les Boulies,* un fragment d'éponge n'avait pas été analysé: c'est pourquoi, l'obtention d'une éponge expérimentale d'assez bonne qualité s'est avérée une bonne raison pour examiner et comparer en détail l'une et l'autre pièces. En outre, la prospection effectuée par U. Löw sur le site de *Lajoux, Sur les Roches 1,* a livré deux fragments très riches en fer, dont l'étude apporte un complément intéressant aux résultats chimiques des scories riches en fer de cette région (chap. 5.3). Enfin, un morceau de fer provenant du coffrage de la route romaine entre Porrentruy et Alle, ainsi qu'un autre issu d'un ferrier observé par B. Gigandet et M.Saucy en 1991 (détruit par la suite lors de la construction de l'autoroute), ont été pris en compte, afin de compléter cette approche.

5.4.1 Notions de base et méthodologie

S'il n'y a pas lieu d'exposer ici des notions de base en matière de métallurgie du fer, il est indispensable de définir sommairement quelques termes nécessaires à la compréhension des descriptions des pièces étudiées, et à l'interprétation qui en découle.

Dans le cadre de la réduction du minerai de fer, ainsi que du travail de ce métal, plusieurs éléments chimiques se trouvent en association: le métal solide se trouve au-dessus de la scorie

Identification	*Dimensions*	*Poids*	*Contexte*
Boécourt, Les Boulies Fragment d'éponge	10 x 9 x 4 cm	780 gr	Zone de rejet en périphérie des fourneaux
Boécourt, Les Lavoirs Fragment d'éponge expérimentale	12.5 x 8 x 5 cm	± 1100 gr	Essai n° 9 en 1996 ; un des trois fragments d'éponge (total : ± 8 kg)
Lajoux, Sur les Roches 1 Fragment d'éponge martelé	6.9 x 6.4 x 4 cm	830 gr	Ramassage sur le ferrier, aucun autre détail n'est connu
Lajoux, Sur les Roches 1 Fragment d'éponge	13.5 x 7.5 cm	?	Ramassage sur le ferrier, aucun autre détail n'est connu
Alle, Noir Bois Fragment d'éponge	13.5 x 8 x 7 cm	?	Localisé dans le coffrage de la route romaine
Bassecourt, Champ Denain Objet semi-fini moderne	3 x 3 x 1.7 cm	?	Zone de rejet en périphérie des fourneaux

Fig. 110.
Liste des pièces métalliques ayant fait l'objet d'une étude métallographique. En gras: les pièces qui ont fait l'objet d'une analyse plus détaillée.

[45] Nous avons eu l'occasion de suivre un cours d'introduction à la métallographie dispensé par P. Fluzin, chercheur en métallurgie à l'Université technologique de Belfort Montbéliard, lequel nous a également prodigué ses conseils lors de l'étude des pièces analysées.

[46] Les données relatives au minerai et aux pièces en fer ayant été mises à disposition par M. Senn, archéomètre à l'Institut fédéral de test des matériaux (EMPA) à Dübendorf, dans le cadre d'une analyse des éléments traces de ces deux catégories d'échantillons par la méthode d'ablation par laser (LA-ICP-MS), nous avons bénéficié des commentaires de M. Senn, notamment concernant l'analyse minéralogique.

liquide, ce qui entraîne que les deux se mélangent. Ces conditions sont valables pour un bas fourneau ou un bas foyer, mais non pas pour un haut fourneau (où les deux liquides, fonte et laitier, sont séparés à cause de leur différence de densité). Par conséquent, on observe des hétérogénéités, essentiellement entre fer et carbone, en fonction de la température atteinte, des conditions ambiantes, ainsi que de la vitesse de refroidissement. On utilise des diagrammes d'équilibre des alliages fer-carbone pour décrire les limites entre les différents solides et liquides en fonction du taux de carbone constaté, ainsi que de la température.

Dans le contexte du refroidissement – lent après un chauffage à température élevée – d'un acier ou d'une fonte, les diagrammes d'équilibre permettent de trouver les constituants d'équilibre des aciers et fontes non alliés. Les constituants d'un acier hypoeutectoïde sont la ferrite et la perlite (un agrégat de ferrite et de cémentite); ceux de l'acier hypereutectoïde sont la perlite et la cémentite (carbure de fer: Fe3C). Il s'agit dans les deux cas des phases ferrite et cémentite.

Trois grands groupes d'alliages fer-carbone se distinguent:

- le fer pur: c'est un métal majoritairement composé de ferrite à 0.02% de carbone au maximum;
- l'acier: pour une teneur de 0.02 à 0.8% de carbone, on parle d'un acier hypoeutectoïde; un acier comportant une teneur entre 0.8 et 2% de carbone est appelé hypereutectoïde. La limite entre les deux, avec une teneur de 0.8%, est appelée eutectoïde;

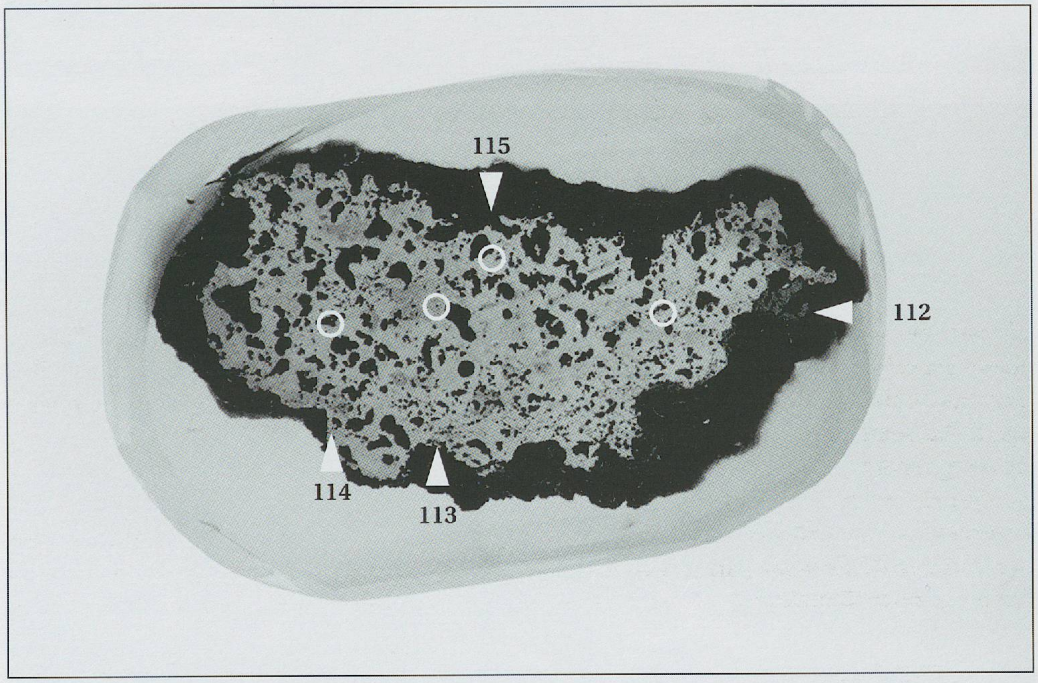


Fig. 111.
Eponge archéologique de Boécourt, Les Boulies.

Vue d'ensemble de la section polie; le métal apparaît en blanc; les parties périphériques corrodées en plus foncé. (1 à 4: localisation des agrandissements) échelle 1:1.

Il existe de nombreuses porosités aux contours arrondis. La propreté inclusionnaire est bonne.

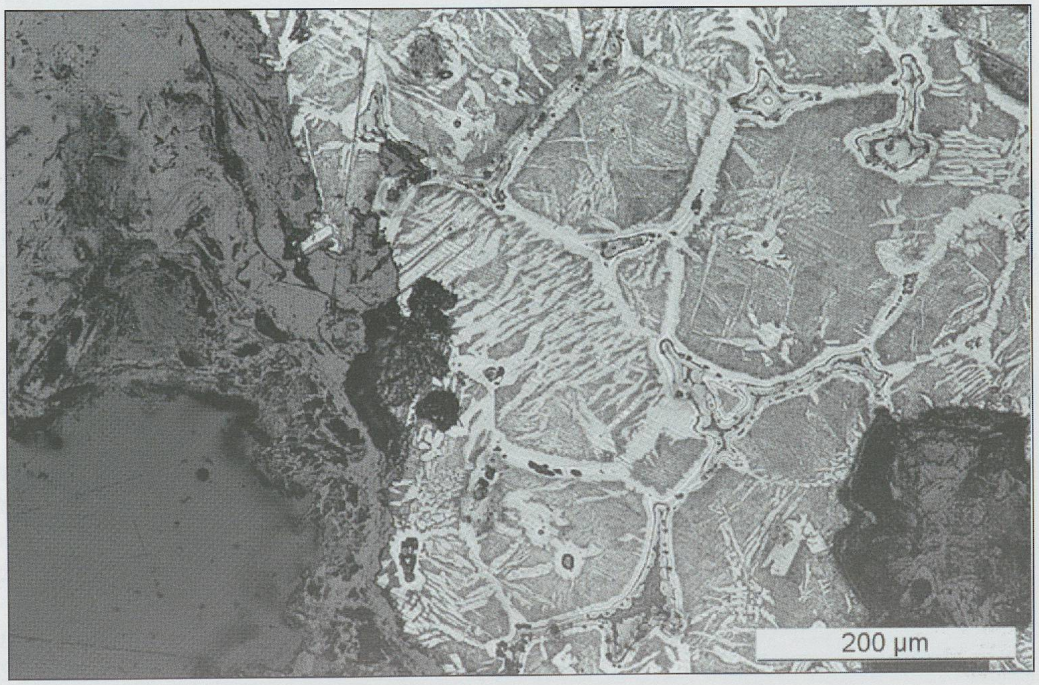


Fig. 112.
Eponge archéologique de Boécourt, Les Boulies.

Grains de ferrite aciculaire (aiguilles en blanc) à matrice perlitique.

Microdureté de 182 et 200 Vickers pour la chevelure de ferrite aciculaire (0.2 à 0.3% de carbone); 233 Vickers pour la zone ferritique, avec effet de joints de grains; 214 Vickers pour la matrice perlitique (Perlite globulaire); 211 Vickers pour la ferrite en limite de joints de grains; 212 Vickers pour la matrice perlitique.

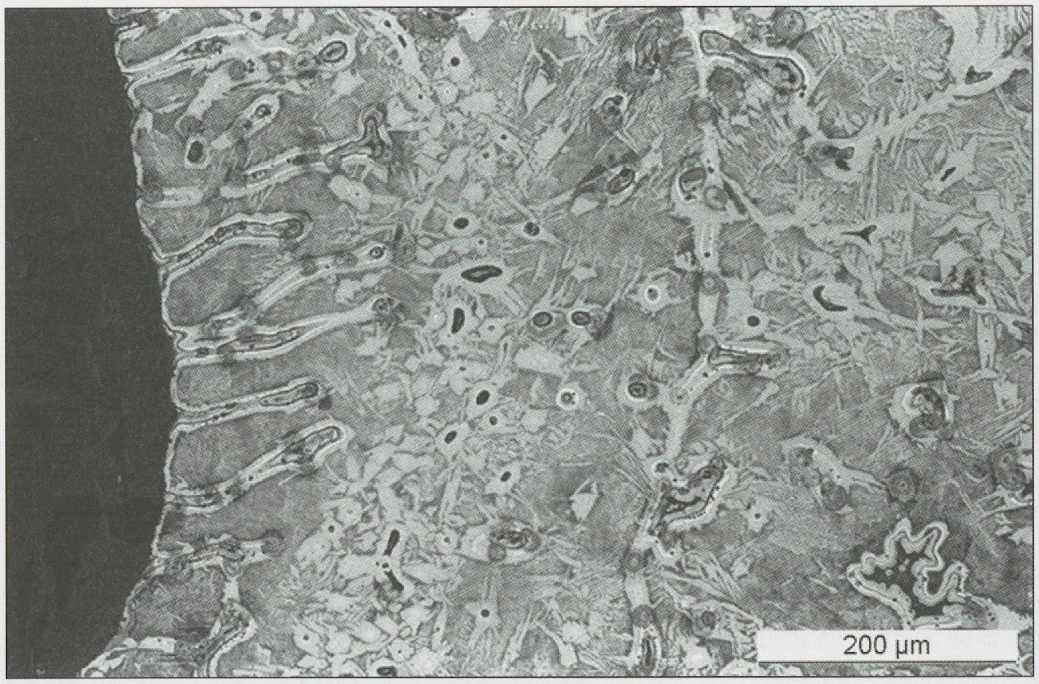


Fig. 113.
Eponge archéologique de Boécourt, Les Boulies.

Formation de ferrite (en blanc) autour de microimpuretés (phosphides) dans la matrice et aux joints de grain; grains arrondis autour d'une bulle de gaz

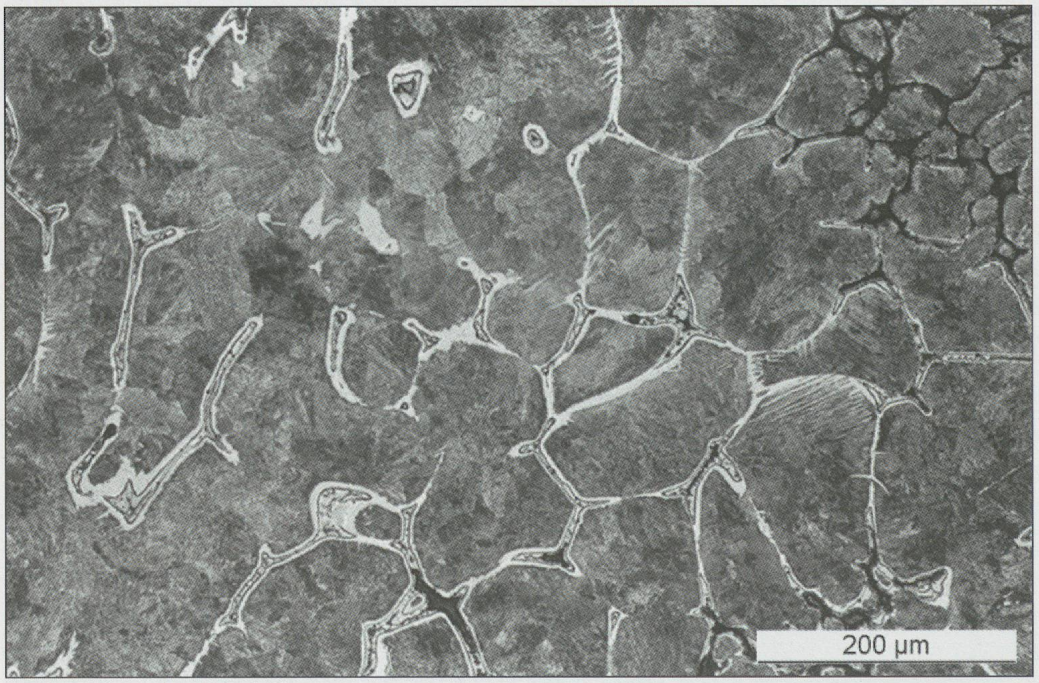


Fig. 114.
Eponge archéologique de Boécourt, Les Boulies.

Matrice perlitique (Perlite globulaire et lamellaire) avec ferrite comportant des inclusions de phosphures en limite de joints de grains.

Microdureté de 250 Vickers, matrice perlitique (globulaire et lamellaire).

– la fonte: elle contient nécessairement plus de 2% de carbone: jusqu'à 4.3%, on parle de fonte hypoeutectique; de 4.3% jusqu'à 6.67%, de fonte hypereutectique.

Dans la réalité, la teneur en carbone des aciers est généralement inférieure à 1%, celle des fontes en moyenne de 3.5%.

En ce qui concerne le terme fréquemment employé de *«acier doux»*, on peut dire qu'il s'agit d'un acier comportant jusqu'à environ 0.4 – 0.5% de carbone. En présence d'un taux plus élevé, on parlera d'acier dur.

Sur un plan pratique, toutes les pièces ont été coupées, enrobées de résine et polies jusqu'à 1 µm; l'attaque a été faite au nital 2% (acide nitrique et alcool). La microdureté a été mesurée avec une charge de 100g (ΔHv100, cette dureté est évaluée en degrés Vickers).

5.4.2 Exemples étudiés

Par le biais de l'analyse métallographique, nous avons tenté de caractériser les composants métalliques de certaines pièces archéologiques ou expérimentales, afin de mieux appréhender le processus de formation de ces produits de la sidérurgie ancienne du Jura.

5.4.2.1 L'éponge de *Boécourt, Les Boulies*

Cette pièce comporte de nombreuses bulles de gaz, ainsi que des inclusions de scories et de charbon. Elle peut être qualifiée d'éponge en raison de sa composition essentiellement métallique, et vu son lieu de découverte (sur un ferrier).

Il s'agit d'un acier hypoeutectoïde avec des structures relativement homogènes (fig. 112). La taille et la forme des grains de

Boécourt, Les Boulies	V	Cr	Mn	P	Co	Ni	Cu	As
Médiane (mg / kg)	30	<	10	3000	300	800	300	400
Limite de détection (mg / kg)	5	56	2	49	0.4	5	3	8
Déviation standard (%)	77		63	84	14	16	153	45

Les déviations standard très élevées sont la conséquence d'un métal très hétérogène, contenant beaucoup de phosphures. Ces dernières sont très riches en phosphore, mais connaissent également une augmentation des autres éléments traces. Les teneurs élevées en nickel et arsenic sont à relever.

Fig. 116.
Teneurs en éléments traces sélectionnés, obtenues par analyse LA-ICP-MS (EMPA, Dübendorf; en ce qui concerne la méthode, voir Devos et al. 2000).

ferrite peuvent varier, ainsi que la densité des aiguilles (ferrite aciculaire) (fig. 113 et 114). On observe des zones à refroidissement plus rapide, par la présence de structures de Widmannstätten (fig. 115).

Il s'agit bien d'une éponge de fer provenant selon toute vraisemblance de la production d'un des bas fourneaux de *Boécourt, Les Boulies* (Eschenlohr et Serneels 1991). Les structures montrant un refroidissement rapide indiquent que la pièce a probablement été extraite à chaud du bas fourneau.

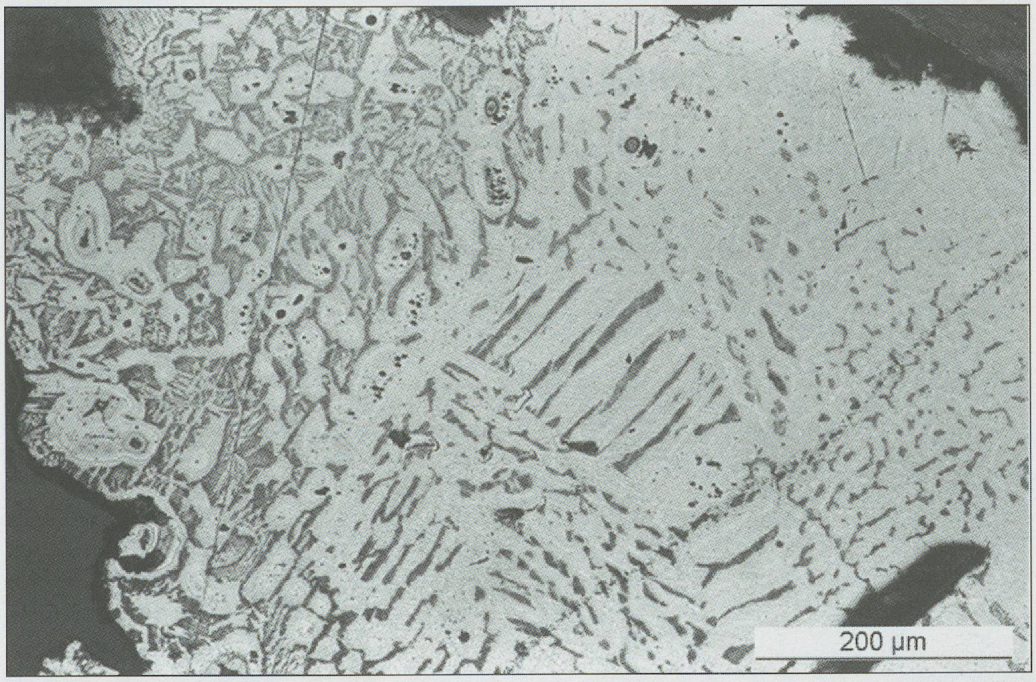


Fig. 115.
Eponge archéologique de Boécourt, Les Boulies.

Détail de la structure aciculaire (aiguilles très longues et épaisses).

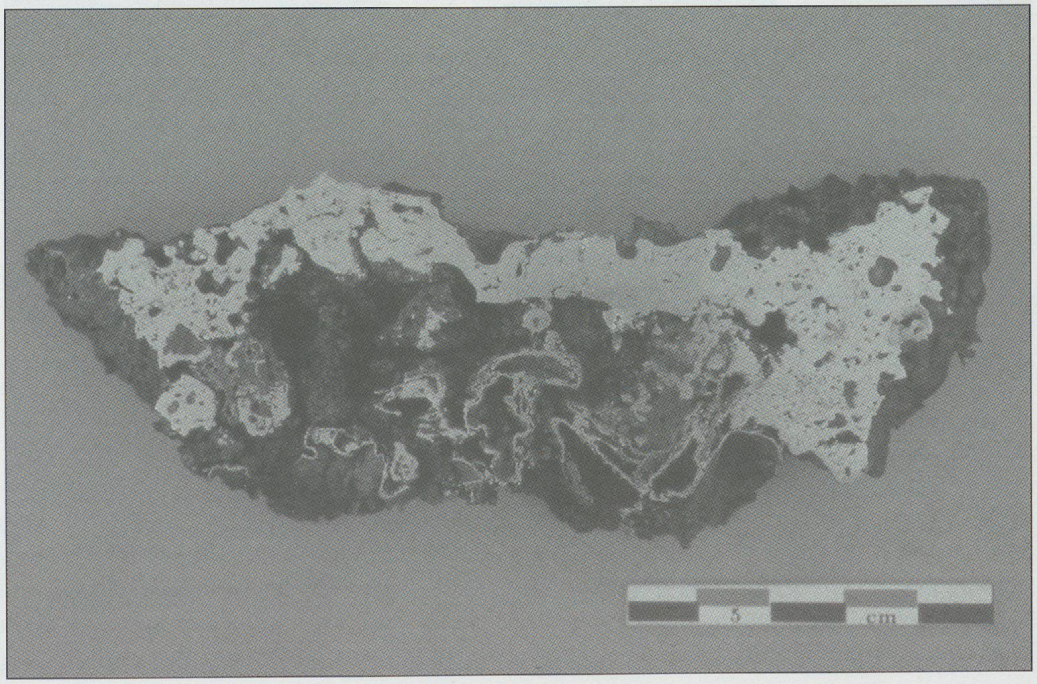


Fig. 117.
Eponge expérimentale de Boécourt, Les Lavoirs.

Vue d'ensemble de la surface polie; le métal apparaît en clair.

La raison de l'abandon de la pièce réside probablement dans le fait qu'elle contient une proportion très importante de phosphore, qui provoque de très nombreuses inclusions de phosphures (fig. 114). L'analyse par LA-ICP-MS confirme cette observation (fig. 116)[47].

5.4.2.2 L'éponge expérimentale de *Boécourt, Les Lavoirs*

Ce fragment d'éponge a été produit lors d'un essai de réduction en 1996 sur le site expérimental du Groupe de travail pour l'archéologie du fer, aux Lavoirs de Boécourt (fig. 117).

La pièce comporte de très nombreux replis non déformés de grande taille (signe typique d'un métal issu de la réduction sans avoir subi par la suite un important traitement d'épuration ou de raffinage, fig. 118) (Mangin et al. 2000a, p. 194-265). On trouve également de nombreuses inclusions de scories (fig. 119).

Elle a été très légèrement martelée avec un maillet en bois. Elle possède une hétérogénéité de carburation pouvant aller localement jusqu'à la fonte (fig. 120). Il y a décarburation systématique en périphérie (fig. 121). Dans l'ensemble, il s'agit cependant d'un acier hypoeutectoïde avec un taux moyen, faible en carbone, 0.02 à 0.4% C, quelquefois jusqu'à 0.6 – 0.7% C, voire au-delà.

L'éponge de fer produite de façon expérimentale, même si elle comporte des endroits où la séparation entre scorie et métal en formation n'est pas achevée, présente de bonnes ressemblances avec la pièce archéologique décrite auparavant: structure de Widmannstätten, chevelure de ferrite aciculaire, etc.

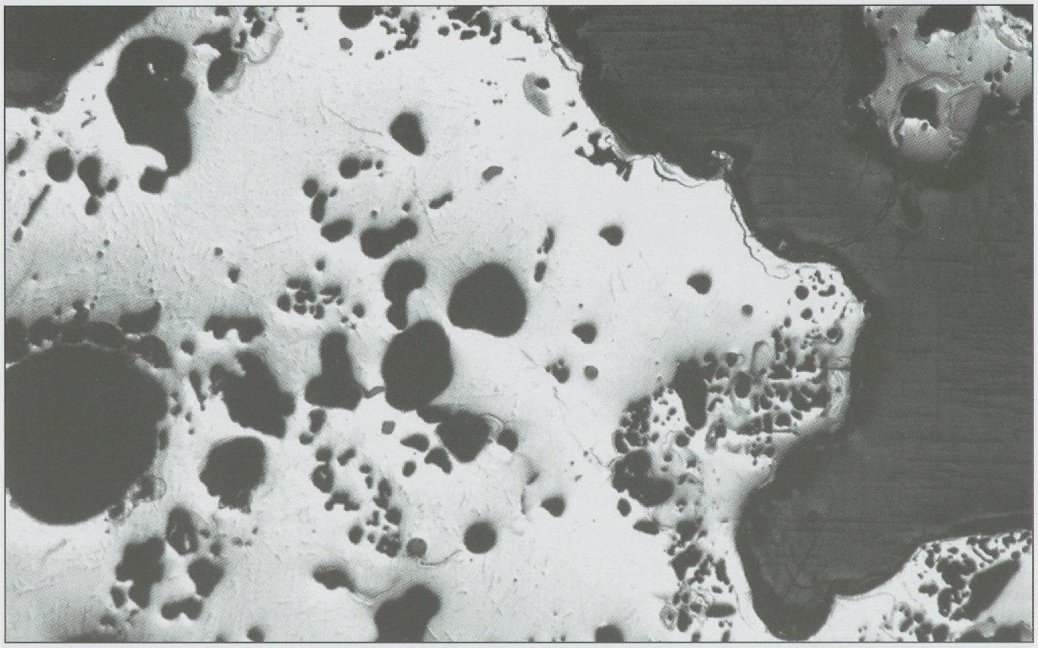


Fig. 118.
Eponge expérimentale de Boécourt, Les Lavoirs.

Métal (en clair) avec de nombreuses bulles de gaz.

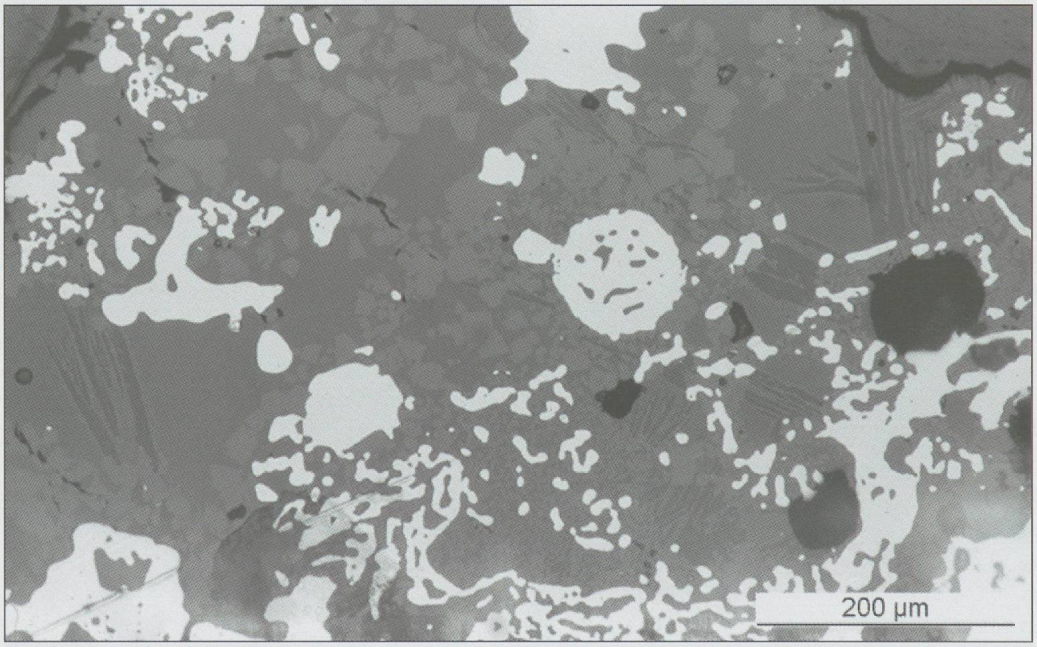


Fig. 119.
Eponge expérimentale de Boécourt, Les Lavoirs.

Scorie avec des inclusions de métal en formation.

[47] Les teneurs en phosphore ont été déterminées par la méthode LA-ICP-MS (M. Senn et W. Devos, EMPA Dübendorf).

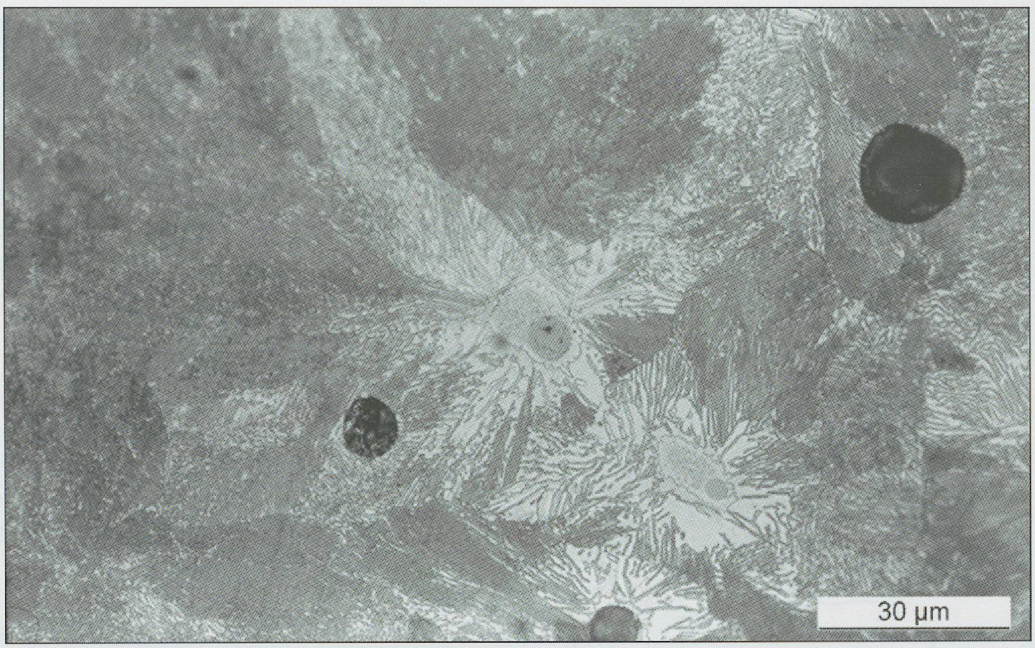


Fig. 120.
Eponge expérimentale de Boécourt, Les Lavoirs.

Ilôts de steadite avec inclusions de soufre.

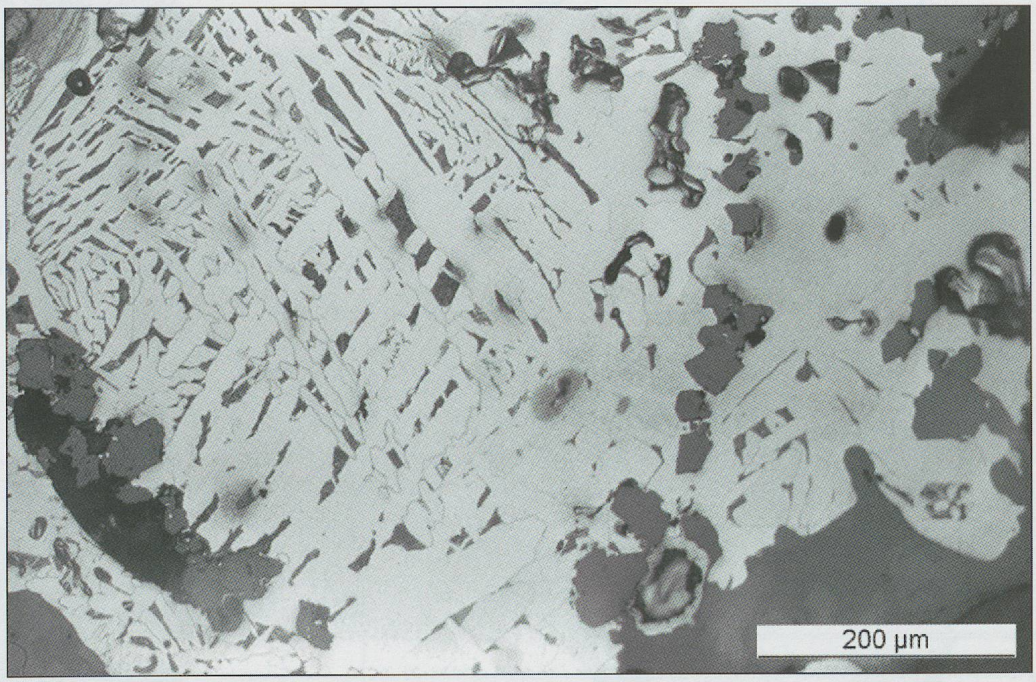


Fig. 121.
Eponge expérimentale de Boécourt, Les Lavoirs.

Structure aciculaire de Widmannstätten, similaire à celle de la pièce archéologique (voir fig. 115).

Fig. 122.
Teneurs en éléments traces sélectionnés, obtenues par analyse LA-ICP-MS (EMPA, Dübendorf ; en ce qui concerne la méthode, voir Devos et al. 2000).

Boécourt, Les Lavoirs	V	Cr	Mn	P	Co	Ni	Cu	As
Médiane (mg / kg)	8	<	10	1100	1000	3600	1000	3000
Limite de détection (mg / kg)	6	88	2	186	1	8	2	11
Déviation standard (%)	28	0	41	15	20	19	21	21

5.4.2.3 Fragment de loupe avec traces de martelage, de *Lajoux, Sur les Roches 1*

Ce fragment est caractérisé par deux faces comportant des traces macroscopiques de martelage (fig. 123 et 124). En complément de ces deux surfaces aplaties, les nombreuses fissures macroscopiques, accompagnées d'un liseré de corrosion et de décarburation sur le plan microscopique, ainsi que de fissures inter- et intragranulaires, indiquent une fragilité au niveau des joints de grain pouvant être due à un phénomène de ségrégation du phosphore dans les zones intergranulaires (teneur en phosphore élevé, cf. fig. 125). Bien qu'il existe un nombre important de porosités aux contours déchiquetés, la propreté inclusionnaire est bonne.

D'un point de vue métallographique, cette pièce comporte à la fois, avec une matrice perlitique, des aiguilles de cémentite intragranulaire et de la ferrite aciculaire localisée le plus sou-

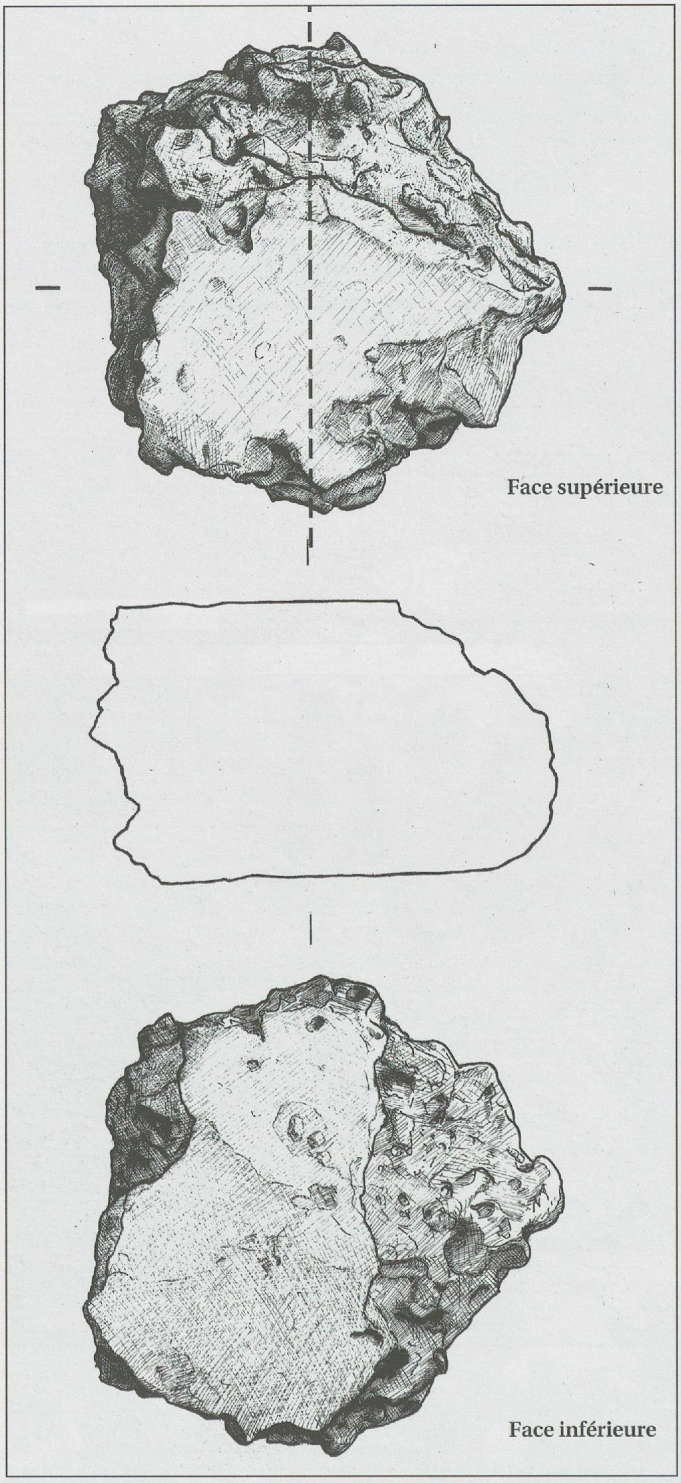


Fig. 123.
Lajoux, Sur les Roches 1, loupe avec traces de martelage. Dessin des deux faces et d'un pourtour en coupe, échelle 1:1; en pointillé: coupe de l'étude métallographique (fig. 124).

vent à partir des joints de grain (indiquant une surchauffe locale). Par ailleurs, notamment en périphérie de la pièce, on observe une très nette décarburation que révèle la structure ferritique (0.02% C).

Les analyses de microdureté (charge de 100 mg) que nous avons effectuées à Sévenans confirment qu'il s'agit d'un acier légèrement hypereutectoïde (± 0.9% de carbone) (fig. 126 et 127). Il s'avère donc que cette pièce a fait l'objet d'un travail de martelage important, bien qu'elle présente des difficultés de forgeage (ségrégation du phosphore en joints de grain, teneur en carbone assez élevée).

Cette pièce de métal doit s'inscrire dans un contexte de travail de loupe à teneur en carbone élevée et indique la volonté de travailler cette matière avec une maîtrise imparfaite de la décarburation. Son abandon est peut-être en relation avec cette difficulté de travail, même si la pièce reste forgeable.

5.4.2.4 Fragment d'éponge probablement non travaillée, de *Lajoux, Sur les Roches 1*

Cette pièce n'a pas fait l'objet d'une étude aussi détaillée que les trois précédentes. On a toutefois pu repérer les indices d'une carburation assez forte (acier en majorité légèrement hypereutectoide). En outre, la décohésion (inclusions et microporosité) au niveau du joint de grains peut être due à une hétérogénéité chimique ou à la corrosion de la pièce. A ce stade, une, voire deux zones de lédéburite ont été identifiées. Il faudrait les confirmer par la mesure de la microdureté. Enfin, la présence de replis encore bien ouverts permet d'affirmer que la pièce n'a pas fait l'objet de martelage.

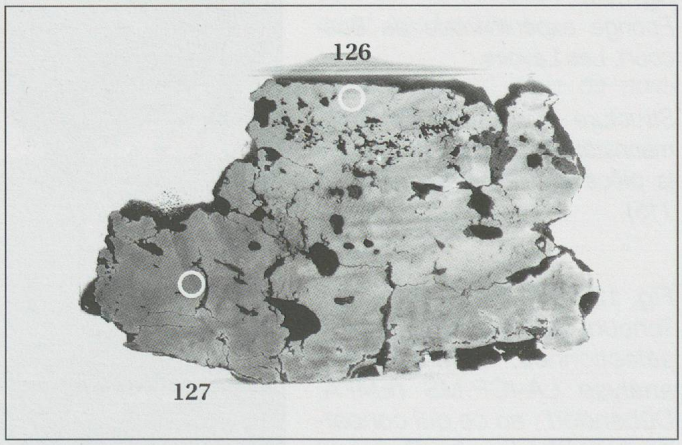


Fig. 124.
Lajoux, Sur les Roches 1, loupe avec traces de martelage. Vue d'ensemble de la surface polie, échelle 1:1. Les cercles indiquent les emplacements des vues en détail (fig. 126 et 127).

Fig. 125.
Teneurs en éléments traces sélectionnés, obtenues par analyse LA-ICP-MS (EMPA, Dübendorf ; en ce qui concerne la méthode, voir Devos et al. 2000).

Lajoux, Sur les Roches 1	V	Cr	Mn	P	Co	Ni	Cu	As
Médiane (mg / kg)	4	20	160	1000	240	350	600	40
Limite de détection (mg / kg)	0.7	4.6	0.5	4.6	0.5	2.7	1.1	2.0
Déviation standard (%)	27	61	23	21	9	18	39	12

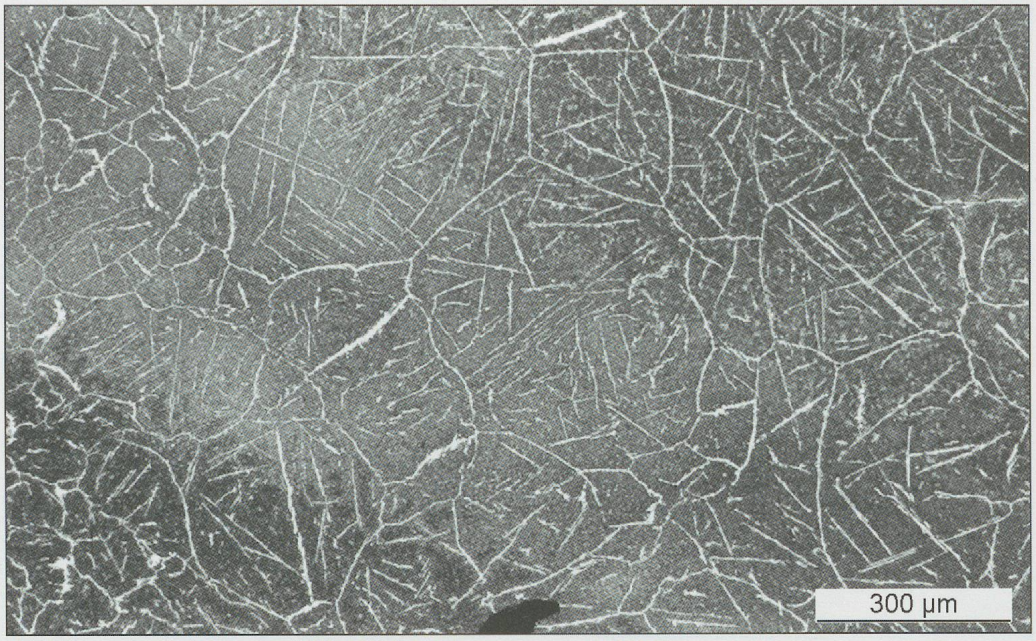


Fig. 126.
Fragment de loupe archéologique de Lajoux, Sur les Roches 1.

Acier hypereutectoide (± 0.9% C); matrice perlitique avec cémentite et ferrite aciculaire.

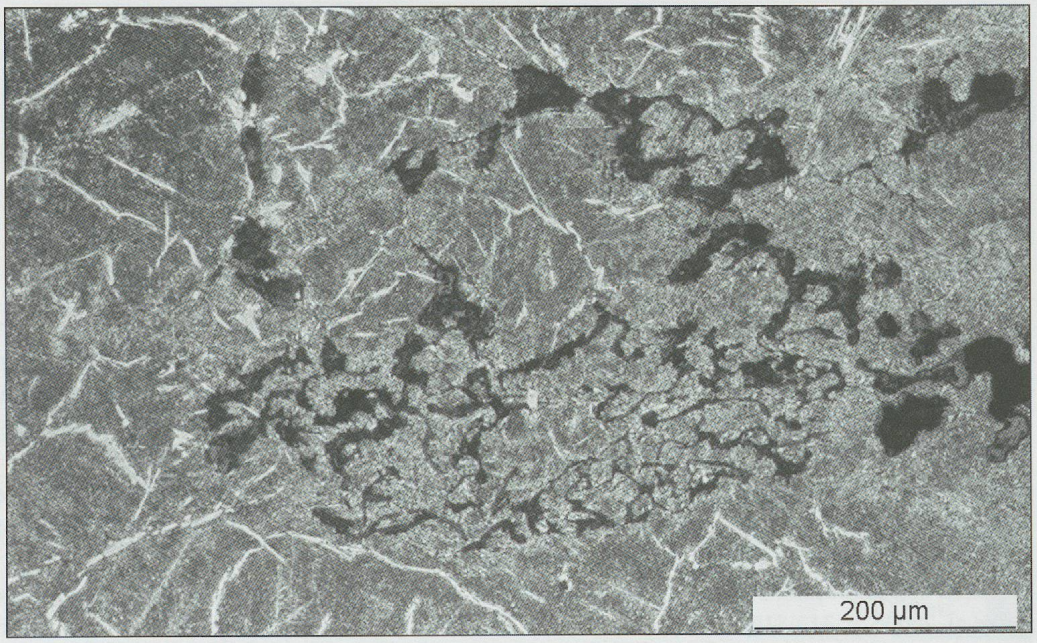


Fig. 127.
Fragment de loupe archéologique de Lajoux, Sur les Roches 1.

Acier hypereutectoide avec oxydation essentiellement intergranulaire.

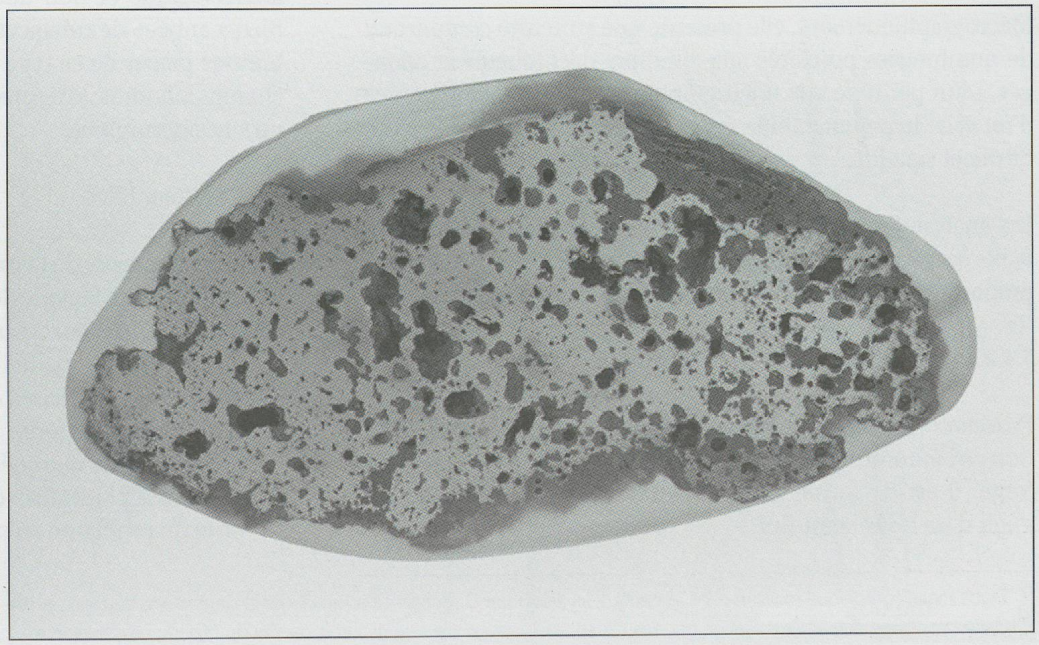


Fig. 128 .
Fragment d'éponge probablement non travaillée de Lajoux, Sur les Roches 1, échelle environ 3:4.

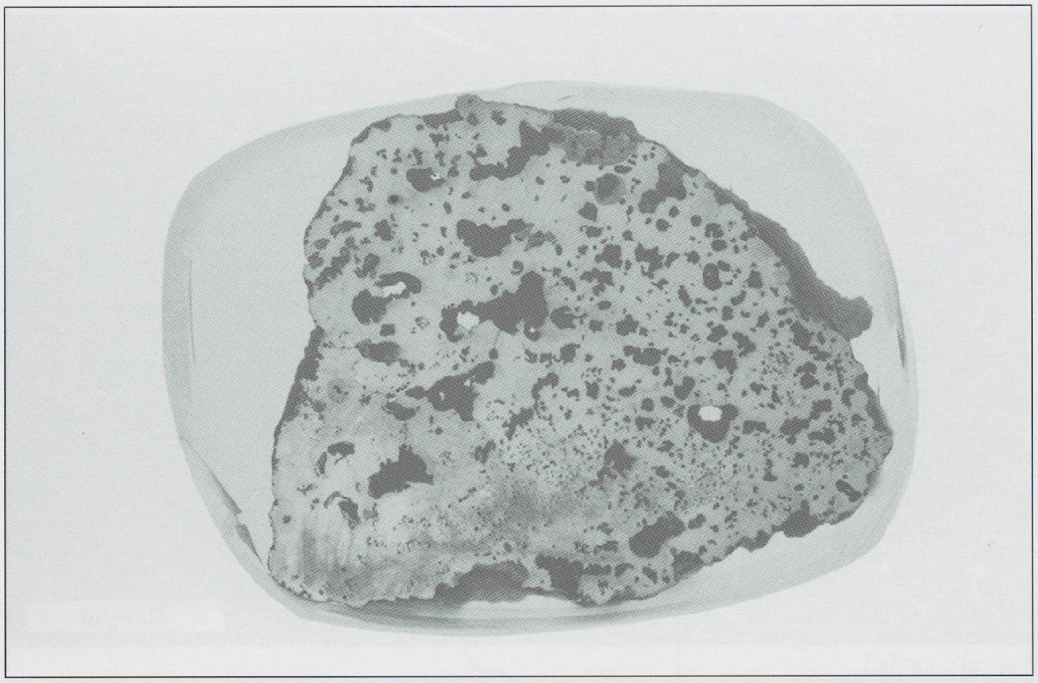


Fig. 129.
Fragment de loupe provenant de la route romaine entre Alle et Porrentruy, échelle environ 1:1.

Alle, Noir Bois	V	Cr	Mn	P	Co	Ni	Cu	As	C	S
Médiane (mg / kg)	2	6	60	500	640	540	80	160	18300	40
Limite de détection (mg / kg)	0.7	4.6	0.5	4.6	0.5	2.7	1.1	2.0		
Déviation standard (%)	27	61	23	21	9	18	39	12		

Fig. 130.
Teneurs en éléments traces sélectionnés, obtenues par analyse LA-ICP-MS (EMPA, Dübendorf). Dosage du carbone et du soufre par combustion.

5.4.2.5 Fragment de loupe provenant de la route romaine entre Alle et Porrentruy

Cette pièce indique par son aspect macroscopique qu'elle a vraisemblablement été martelée. Sa particularité réside dans le fait qu'elle a été trouvée sur une voie de circulation (coffrage d'une route romaine), ce qui atteste la commercialisation de ce genre de semi-produit. Comme semblent l'indiquer les études récentes, ce cas est plus fréquent qu'on ne l'imagine (cf. Mangin et al. 2000b, p. 313-318).

Macrographiquement, elle présente une structure comportant de nombreuses porosités aux contours déchiquetés et allongés. D'un point de vue micrographique, elle révèle l'existence d'un acier hypereutectoide avec, localement, des îlots de lédéburite et stéadite.

Les analyses indiquent une teneur en phosphore relativement faible par rapport aux échantillons précédents. On remarque une proportion de cobalte importante pouvant servir de traceur (?).

5.4.2.6 Un morceau de fer de *Bassecourt, Champ Denain*[48]

Provenant apparemment d'un ferrier détruit par la construction de l'autoroute en 1991, ce morceau de fer a été visiblement forgé. Il est de forme carrée, à section rectangulaire. Il doit s'agir d'un objet semi-fini.

Plusieurs indices montrent qu'il pourrait s'agir d'un objet de forge moderne, probablement transformé par laminage:
- le grain est très régulier;
- les couches de ferrite sont bien parallèles, résultat d'un écrouissage;
- les inclusions de scories sont très finement allongées;
- les zones de perlite sont parfaitement parallèles à la surface.

Ce morceau de fer, ramassé à la surface du sol, met en évidence le problème des trouvailles de surface, situées hors contexte archéologique et non documentées. Au cours des huit dernières années de prospection, il s'avère en effet que de nombreuses pièces de ce type ont souvent été ramassées dans les champs labourés, sans que l'on puisse établir une relation avec un site sidérurgique.

5.4.3 Premier bilan

Un premier aspect de l'étude réside dans la comparaison entre le produit archéologique de *Boécourt, Les Boulies* et celui, expérimental, de *Boécourt, Les Lavoirs*: la ressemblance entre les deux pièces est frappante:
- obtention d'un acier (*«acier doux»*), de bonne qualité qui, en soi, peut être forgé;
- présence bien marquée de phosphore – d'origine indéterminée pour l'instant – dans le métal, ce qui a apparemment posé un problème au moment du travail de la pièce[49].

[48] Etude métallographique réalisée dans le cadre d'un stage par C. Robert-Charrue Linder. Il s'agit d'une trouvaille isolée, donnée à titre d'illustration pédagogique.
[49] Cette hypothèse devrait être vérifiée par des essais de forgeage sur une des trois parties de l'éponge expérimentale.

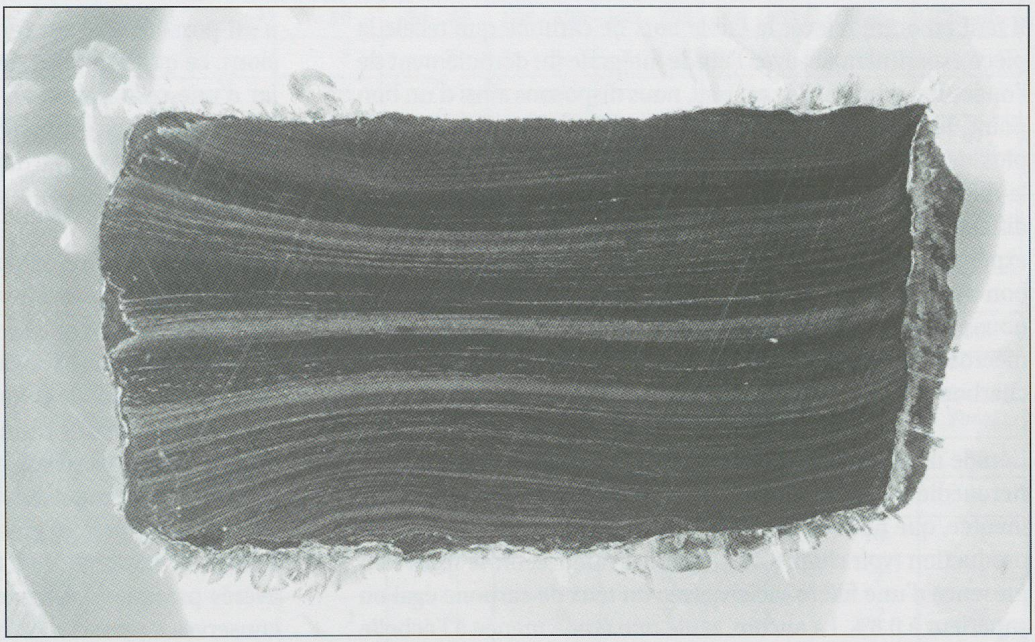


Fig. 131.
Morceau de fer de Bassecourt, Champs Denain.

Section polie de la pièce, échelle environ 3:1.

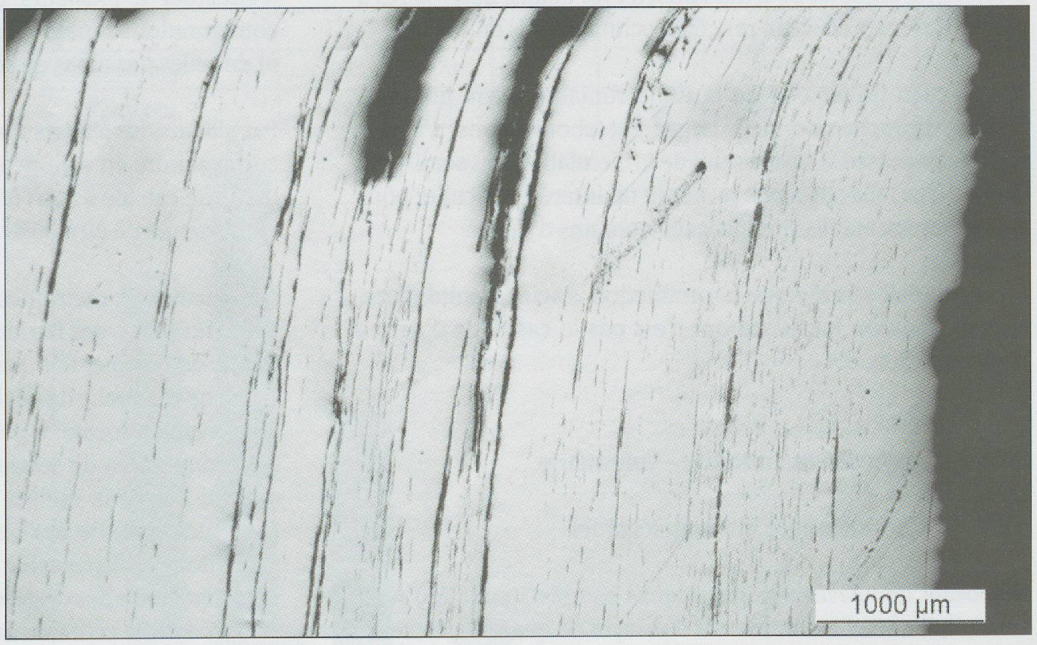


Fig. 132.
Morceau de fer de Bassecourt, Champs Denain.

Vue générale indiquant la régularité du corroyage que l'on peut attribuer à une mise en forme régulière du type laminage.

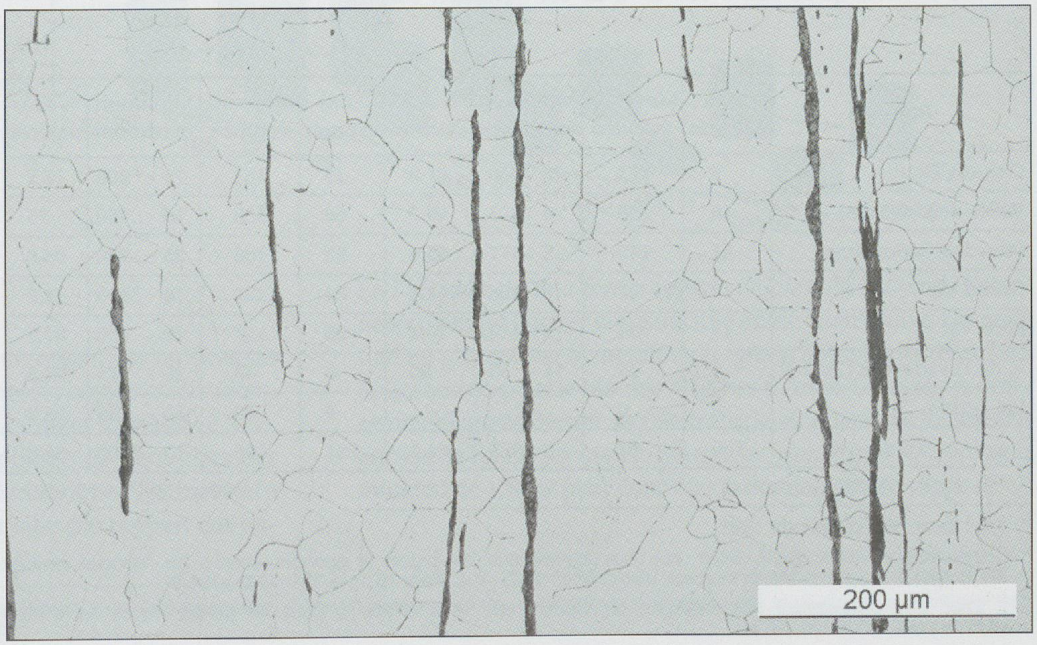


Fig. 133.
Morceau de fer de Bassecourt, Champs Denain.

Agrandissement de la scorie intercalaire (wüstite) des couches de métal (en blanc).

Il faut en outre relever le faible taux de carbone que recèle la pièce expérimentale; avec l'étude intégrale du déroulement de l'opération dont ce bloc est issu, nous disposons ainsi d'un bon point de départ pour la suite des essais à effectuer. L'aspect plus «ferritique» de cette éponge expérimentale est donc ce qui la différencie le plus de l'objet archéologique. Une deuxième différence réside dans le taux (plus élevé) de soufre de la pièce expérimentale; à notre avis, cet apport doit provenir du charbon de bois. Lors de la fabrication artisanale de ce charbon, nous avons en effet remarqué des concentrations (odorantes et macroscopiquement visibles) de soufre sur des fragments de charbon.

L'étude métallographique des deux pièces provenant d'un ferrier médiéval de Lajoux contribue à l'appréciation, bien documentée, que nous avons obtenue de cette zone particulière de production (voir chap. 8.1). De toute évidence, on se trouve en présence d'une filière «acier», avec un taux de carbone égal ou supérieur à 0.8%. Là encore, seule une étude menée à l'échelle d'un ferrier complet pourrait apporter les détails nécessaires à la description précise du procédé technique mis en œuvre.

Le morceau de fer issu de la route romaine ouvre un autre champ de recherche, déjà largement abordé dans d'autres régions de Suisse, à savoir celui de la circulation des semi-produits[50]. Une telle approche revêtirait un intérêt particulier pour les nombreux établissements gallo-romains d'Ajoie.

En résumé, il semble que la production d'acier résulte d'une longue tradition locale, ce qui n'est pas le cas dans d'autres régions de Suisse[51].

5.5 Approche quantitative – Volumétrie

5.5.1 Considérations méthodologiques

Disposant de relevés topographiques complets pour 230 sites environ, il a semblé intéressant d'essayer de quantifier le volume des déchets qu'ils ont livrés. Il va de soi qu'un tel calcul n'est possible que sur un site conservé dans ses trois dimensions, ce qui explique que seuls 150 sites environ ont fait l'objet d'une telle approche. Pour les ferriers étalés de grandes dimensions, une estimation du volume a néanmoins été effectuée en tenant compte de l'épaisseur moyenne de la couche de scories, multipliée par la superficie des scories affleurantes.

Dans le cas des ferriers dont l'amas en forme d'anneau entoure le fourneau central, le volume a été calculé en multipliant la valeur moyenne d'une série de profils à travers l'anneau par la longueur totale de l'anneau. Afin d'éviter une surestimation du volume, un profil de valeur 0 a été ajouté à cette série: de fait, l'un des deux points d'amorce de l'anneau est pris en compte. Dans plusieurs cas, cette méthode de calcul a été vérifiée à l'aide d'un programme informatique permettant d'obtenir une extrapolation précise entre un plan de base du pourtour et les points en élévation de l'amas: les résultats respectifs se sont avérés presque identiques. Le nombre élevé de ferriers bien conservés a permis d'établir ces calculs sur une base solide et d'effectuer à plusieurs reprises des vérifications dans des configurations topographiques différentes du substrat naturel et de celles des amas de scories[52].

Par ailleurs, les ferriers dont le volume calculé ne semblait pas correspondre au volume réel ont fait l'objet d'une estimation: le chiffre calculé a ainsi été majoré jusqu'à 500%, selon les cas, en moyenne de 20 à 30%.

Les calculs volumétriques, tout en donnant un ordre de grandeur très fiable des ferriers examinés, ne permettent toutefois pas de déterminer tels quels le tonnage des scories. La composition de la couche de déchets dans les différents ferriers est en effet très hétéroclite: il peut s'agir d'une couche pure composée uniquement de scories, mais aussi de plusieurs strates de couche humique mêlées aux scories. La part d'éléments de construction varie également fortement selon les ferriers. Il serait donc indispensable de procéder à une étude plus fine de la composition des déchets par échantillonnage, ce qui n'a pas été fait dans le cadre de notre étude.

Région	Sites calculés	Moyenne calculée	Minimum maximum	% sites calculés	Sites estimés	Moyenne estimée	Minimum maximum	% sites repérés
Clos-du-Doubs	9	123	23 - 250	81.8	13	163	75 - 400	72.2
Vallée de Delémont	46	130	4 - 673	69.7	66	159	10 - 750	75
Franches-Montagnes	61	145	5 - 577	65.6	92	166	25 - 700	96.8
Grand-Val*	12	42	3 - 288	41.4	24	224	10 - 3000	52.2
Petit-Val	19	44	16 - 414	70.4	29	147	10 - 450	87.9
V. de Tavannes et Chaluet	3	35	14 - 59	60	3	48	20 - 75	33.3
Val Terbi	0	0	–	–	4	43	10 - 100	26.7
Total	150	87	3 - 673	64.1	231	136	10 - 3000	66.8

Fig. 134.
Synthèse des calculs et estimations volumétriques par région. L'écart considérable dans le Grand-Val entre la moyenne calculée et la moyenne estimée est dû à l'intégration du volume estimé des complexes sidérurgiques de Corcelles, La Creuse (3000 m³) et Les Envers (2000 m³).

[50] Voir : Senn 1995 et Serneels 1993.

[51] Communication écrite de M. Senn, qui nous signale que les lingots et éponges connus de l'époque romaine sont plutôt en fer. Aux Bellaires I, le four XIV, burgond, a aussi donné un morceau d'acier (0.42 % C) : P.-L. Pelet 1973, p. 181; 1993 p. 96-97.

[52] Il s'agit plus précisément des variations de vallonnement, des différents types de pentes, fortes ou douces, ou encore des ruptures de pente localisées au cœur même d'un amas.

Région	*< 50*	*50 - 99*	*100 - 199*	*200 - 299*	*300 - 399*	*400 et +*	*Total*
Clos-du-Doubs	2	2	3	2	0	0	9
Vallée de Delémont	18	9	9	5	4	1	46
Franches-Montagnes	21	14	11	5	4	6	61
Grand-Val*	11	0	0	1	0	0	12
Petit-Val	8	3	5	1	1	1	19
V. de Tavannes et Chaluet	2	1	0	0	0	0	2
Total (nombre)	62	29	28	14	9	8	150
Total (%)	41.3	19.3	41.3	9.3	6.0	5.3	100

Fig. 135.
Répartition des volumes calculés (en m³) selon les régions.

Région	*< 50*	*50 - 99*	*100 - 199*	*200 - 299*	*300 - 399*	*400 et +*	*Total*
Clos-du-Doubs	0	3	6	2	1	1	13
Vallée de Delémont	12	14	19	11	2	8	66
Franches-Montagnes	2	38	29	7	6	10	92
Grand-Val*	15	6	0	0	1	2	24
Petit-Val	3	9	9	5	1	2	29
V. de Tavannes et Chaluet	1	2	0	0	0	0	3
Val Terbi	2	1	1	0	0	0	4
Total (nombre)	35	73	64	25	11	23	231
Total (%)	15.2	31.6	27.7	10.8	4.8	10.0	100

Fig. 136.
Répartition des volumes estimés (en m³) selon les régions. Les estimations de volume, nécessitées dans de nombreux cas par l'absence de volumes calculés, sont, par prudence, plutôt minimalistes.

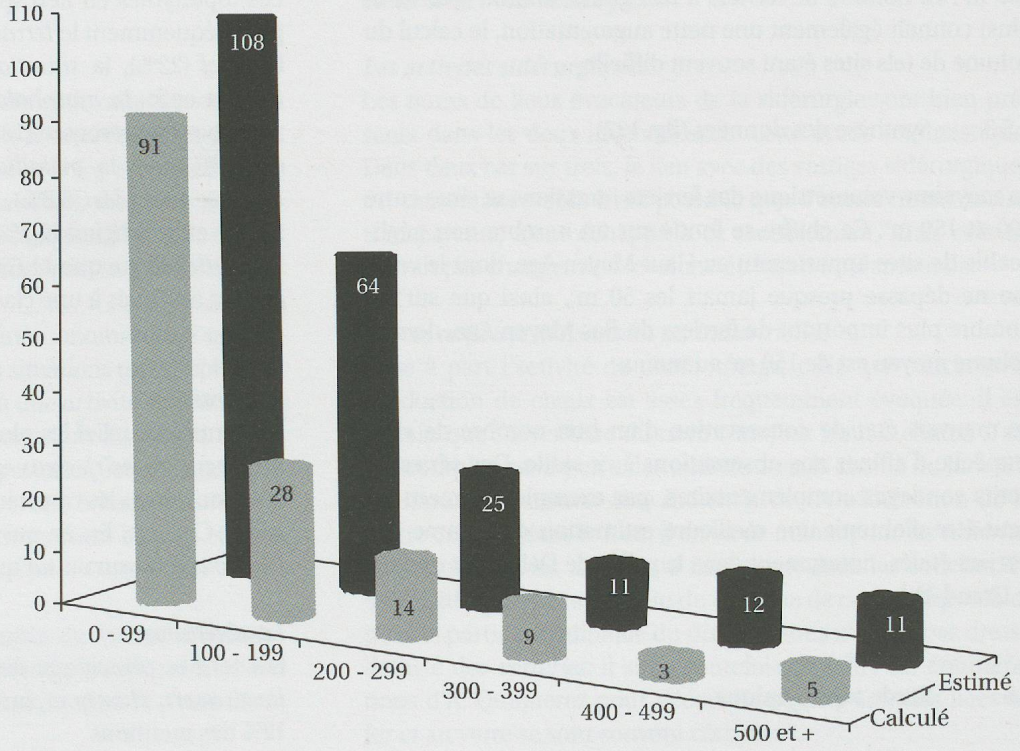


Fig. 137.
Synthèse des volumes calculés (150 sites) et estimés (231 sites) selon les classes de volume (en m³).

5.5.2 Analyse par région

L'état des connaissances dans chaque région est en premier lieu dépendant du nombre de sites repérés et plus particulièrement du nombre de ferriers ayant fait l'objet d'un relevé. Globalement, la configuration topographique de deux tiers des ferriers relevés a permis un calcul volumétrique. L'estimation a porté sur un pourcentage similaire de sites par rapport aux ferriers vus dans le terrain (fig. 134).

En l'absence de tout ferrier repéré, *l'Ajoie* et le *vallon de Saint-Imier* n'ont pu donner lieu à aucune étude quantitative. On peut tout au plus relever la mention de *«grand amas de scories»* chez A. Quiquerez pour le (double ?) ferrier d'*Asuel, Grangiéron,* vraisemblablement détruit lors de tests de récupération de scories anciennes dans les hauts fourneaux modernes. Un volume minimal de 150 m³ peut donc être raisonnablement supposé[53].

[53] Il est en effet exceptionnel qu'A. Quiquerez ait recours à une telle expression: *Corcelles, La Creuse* et un ferrier entre Fornet-dessus et Lajoux, dont l'identification n'est pas assurée, sont les seuls autres exemples.

Même si les chiffres ne reflètent que l'état actuel des connaissances dans chaque région, il est possible de distinguer des regroupements de ferriers selon la période de leur activité. Dans le *Clos-du-Doubs,* aux *Franches-Montagnes* et dans le Petit-Val, presque tous les ferriers pris en compte appartiennent à l'époque médiévale, entre 1000 et 1500 AD, tandis que, dans le *Grand-Val* et le *Chaluet,* les sites datent, sauf de rares exceptions, du Haut Moyen Age. Le volume moyen des ferriers médiévaux atteint environ 150 m³, tandis que celui des sites du début du Moyen Age ne dépasse jamais les 50 m³. Cette affirmation est uniquement valable pour les ferriers simples: de toute évidence, les sites multiples modifient les données, tant en ce qui concerne les ferriers du Bas Moyen Age que ceux du Haut Moyen Age. Les exemples les plus marquants de ferriers médiévaux sont *Lajoux, Gros Fief* (550 m³), *Saulcy, Combe des Beusses 3* (580 m³) et *Soulce, Forêt des Combe* (670 m³). Les deux complexes sidérurgiques de Corcelles qui appartiennent au Haut Moyen Age sont quant à eux les cas les plus marquants de cette dernière période.

L'état de conservation des ferriers est également un élément qui influence les calculs et les estimations de volume. C'est la raison pour laquelle un nombre important de sites à volume calculé appartenant au groupe < 50 m³ a été transféré dans le groupe des sites à volume estimé de 50 à 99 m³, voire de 100 à 199 m³. Le nombre de ferriers à très grand volume (400 m³ et plus) connaît également une nette augmentation, le calcul du volume de tels sites étant souvent difficile.

5.5.3 Synthèse des données (fig. 137)

La moyenne volumétrique des ferriers jurassiens se situe entre 100 et 150 m³. Ce chiffre se fonde sur un nombre non négligeable de sites appartenant au Haut Moyen Age, dont le volume ne dépasse presque jamais les 50 m³, ainsi que sur un nombre plus important de ferriers du Bas Moyen Age, dont le volume moyen est de 150 m³ au moins.

Le mauvais état de conservation d'un bon nombre de sites empêche d'affiner nos observations à ce stade. Des séries de petits sondages complémentaires, par exemple, permettront peut-être d'obtenir une meilleure estimation du volume des ferriers étalés, notamment dans la vallée de Delémont et dans le Grand-Val.

5.6 Etude toponymique

La toponymie du Jura a déjà fait l'objet d'études sous de multiples aspects[54]. L'analyse succincte qui suit a pour but essentiel d'examiner les caractéristiques des lieux-dits où l'on trouve des sites sidérurgiques[55]. En outre, un inventaire des lieux-dits évocateurs d'activités artisanales ou industrielles complète cette étude onomastique. Les aspects portant sur l'ensemble du district et permettant certaines interprétations relatives à l'occupation du sol à travers les époques seront abordés dans les chapitres 7 et 8[56].

Les études toponymiques antérieures qui concernent la Suisse romande montrent qu'au 18e siècle les termes rencontrés comme lieu-dit ne préjugent en rien des cultures: une vigne peut abriter un verger, un bois peut être demain une prairie etc. (communication écrite de P.-L. Pelet).

5.6.1 La classification des toponymes en lien spatial avec des sites sidérurgiques

L'étude microtoponymique effectuée sur l'ensemble du district jurassien a consisté à classer les lieux-dits où des vestiges sidérurgiques avaient été mis au jour in situ ou qui semblaient receler des vestiges d'après des mentions écrites. Pour les quelque 440 sites concernés, les lieux-dits représentaient 730 éléments onomastiques à classer. Sur le plan statistique, les particules, au nombre de 91, n'ont toutefois pas été retenues (annexe 8).

Il est évident qu'une étude exhaustive de tous les lieux-dits du district aurait permis d'affiner leur interprétation. Néanmoins, les observations qui suivent mettent en évidence des tendances bien marquées.

Les toponymes en lien spatial avec la sidérurgie évoquent le plus fréquemment le *terrain* (± 45% des mentions), c'est-à-dire le *relief* (22%), la *situation* (12,4%), d'*autres caractéristiques* (7%) et enfin la *morphologie* (3,6%). La *végétation* est également bien représentée (18%), ainsi que les *constructions* (15%, dont 3% pour la *métallurgie*). Viennent ensuite l'*eau* et les *milieux humides* (5,8%), et l'*homme* (3,8%). Les *animaux* (0,6%) et la *religion* (0,2%) ne sont presque pas mentionnés. Relevons encore que 11,6% des toponymes recensés n'ont pas pu être attribués à une classe précise.

Le terrain

Les termes de relief les plus fréquents sont *côte, haut, mont* ou *montagne, roche(r), creux* et surtout *combe,* totalisant 17,3% des mentions. Dans les caractéristiques, on peut relever les *Clos, Cernie* et *Cerniers.* En ce qui concerne la *situation, droit, envers, (des)sous* et *dessus* ou *sur* qualifient 10,5% des noms de lieu.

La végétation

Les termes principaux de cette catégorie sont *bois, forêt* ou *joux, essert, champ* et surtout *pâturage* et *pré:* ils réunissent 12% des mentions.

Certains termes sont liés aux activités de défrichement: *Cerneux* (défrichement par cernage ou surcenage); *Plain* et *Les Ordons* (voir chap. 5.6.2).

L'eau

En lien avec *l'eau,* les mots *fontaine* et *saigne, saignatte* ou encore *sagneule* sont les plus fréquents (2,5%).

[54] Voir Schulé 1979, Henry 1998, Müller 1995 et 1999, Schifferdecker 1984.

[55] Le système de classification a été élaboré par M.-J. Fontaine dans le cadre de sa thèse (Fontaine 1995).

[56] Ces aspects ont été traités essentiellement dans les articles mentionnés sous note 54 (voir chap. 7).

Les constructions

La forte présence de sites – surtout de ferriers – à l'intérieur de localités actuelles a déjà été relevée (chap. 4). Procéder à une classification s'est avéré délicat: fallait-il retenir le nom de la localité en tant que lieu-dit, du moment qu'un site se trouve au cœur de l'agglomération actuelle ?[57] C'est cette option qui a été retenue: les *localités* forment ainsi 6,1% des mentions onomastiques. A souligner la présence explicite de la sidérurgie dans les noms de localités telles que *Courfaivre* et *Montfavergier*[58]. Le terme *Faivre* doit toutefois être pris en compte avec circonspection: il peut aussi s'agir d'un patronyme sans aucun lien avec le forgeron (en ancien français: fèvre).

En lien direct avec l'activité sidérurgique, on relève également les noms de *forge, fornet*[59], *favoirgeatte* et leurs dérivés (1,9%). Un seul lieu-dit – *crassier* – a disparu des cartes actuelles: encore un indice qui témoigne du fait que la mémoire collective a relégué peu à peu dans l'oubli certains épisodes importants de l'histoire de la sidérurgie jurassienne.

Afin d'être complet, il convient encore de mentionner la présence relativement fréquente des mots *château, chételat* ou *citadelle* (1,4%).

5.6.1.1 Premier bilan

Un rapide survol des cartes actuelles permet de constater que bon nombre de lieux-dits ne figure pas dans la liste retenue ci-dessus. Par exemple, les *chaufours* (four à chaux) – il y a au moins une mention sur presque chaque territoire communal – ne recèlent apparemment jamais de vestiges sidérurgiques. Il en va de même, la plupart du temps, pour les *Joux, Haute Joux, Bois, Bambois,* etc.

Il résulte en outre de ce rapide examen onomastique que les lieux-dits relevés rendent compte des situations topographiques préférentielles des installations liées à une activité sidérurgique. Si l'on compare maintenant ces informations avec les données topographiques relatives aux sites répertoriés, on constate une concentration des ferriers dans les pentes, à leur rupture – en haut ou en bas – dans des zones anciennement boisées et, souvent, actuellement reboisées.

Il faut toutefois insister sur l'importance du facteur chronologique: la situation topographique des vestiges n'est pas la même durant la période du Haut Moyen Age et pendant la phase finale du Moyen Age (chap. 4.2).

5.6.2 Classification des lieux-dits évocateurs localisés sur les cartes topographiques du district (annexe 9)

Quatre grands ensembles ont retenu notre attention:
- Les lieux-dits qui ont trait au charbonnage
- Ceux qui indiquent des travaux miniers ou la présence de minerai
- Ceux qui évoquent clairement une activité sidérurgique
- Les indications d'autres activités artisanales et industrielles

Le charbonnage

Les termes qui se rapportent sans équivoque au charbonnage sont relativement fréquents: *charbonnière, charbon, noires terres* (tourbières ou terres où l'on a fait du charbon[60]) et le terme allemand *Kohle* dans, par exemple, *Kohlholz* et *Kohlberg*[61]. Toutes ces expressions peuvent aussi désigner de simples défrichements par le feu (indication de M.-J. Fontaine).

Le minerai et son traitement

Dans ce groupe, ce sont de loin les termes en lien avec la coloration rougeâtre du sol qui dominent. Outre les *rouge(s) terre(s) et rouge(s) champ(s)* – qui indiquent le plus souvent des sols ferrugineux naturels ou résultant d'une exploitation minière –, il convient de mentionner *la rouge eau, les lavoirs, le minerai,* les creux de la *mine*[62] et les *fosses*[63].

Les activités sidérurgiques

Les noms de lieux évocateurs de la sidérurgie sont bien présents dans les deux inventaires de cette étude onomastique. Dans deux cas sur trois, le lien avec des vestiges sidérurgiques est clairement établi. Il est possible que d'autres noms, moins transparents, aient échappé à ce recensement, mais cela ne devrait pas changer nos résultats de façon fondamentale.

Autres activités artisanales ou industrielles

Mise à part l'activité de charbonnage, celle qui concerne la production de chaux est assez fréquemment évoquée: il est certain que l'inventaire du nom *chaufour* (four à chaux) n'est pas complet, car il y en a des milliers dans la chaîne du Jura. S'il est naturel de trouver une industrie de transformation de la pierre calcaire dans le Jura, il en va de même pour les *tuileries:* ce ne sont pas les argiles qui manquent dans les couches du Sidérolithique ! Compte tenu du manque de cartes disponibles pour la partie méridionale du district, nous n'avons pas dressé de liste des *verreries:* il suffit toutefois de relire les énumérations d'A. Quiquerez pour découvrir que les activités liées au fer et au verre se sont souvent côtoyées[64].

---

[57] Ce qui est logiquement contraire à la définition du terme lieu-dit donnée par le *Grand Robert : «Lieu de la campagne qui porte un nom traditionnel désignant une particularité d'ordre topographique ou historique.»*

[58] Il sera question de l'évolution des noms de localités en relation avec l'occupation du sol, voir chap. 7 et 8.

[59] P.-L. Pelet nous signale que, dans les Jura vaudois et neuchâtelois, le terme *fornet* n'évoque pas un fourneau à fer, mais un *four à pain* et parfois un *four à chaux.*

[60] Dans ce dernier cas, on parle souvent d'*Ordons.*

[61] Les *noir bois* et *noire combe* évoquent probablement plutôt des *forêts d'épicéa* qui recouvrent de préférence les flancs orientés vers le nord (communication écrite de P.-L. Pelet).

[62] Il y a souvent confusion après déformation, entre *Creux de Mine* et *Condemine* qui désigne la réserve seigneuriale exploitée par corvées (communication écrite M.-J. Fontaine).

[63] L'expression fosses pourrait aussi avoir un lien tout autre. Dans le cas présent, il s'agit cependant d'un vaste terrain, en forêt et en pâturage, truffé de minières (dépressions peu profondes résultant de l'extraction minière).

[64] La présence presque exclusive de l'industrie du verre dans la partie méridionale est liée à la variation du Sidérolithique, beaucoup plus riche en sables vitrifiables dans cette partie (chap. 2.1).

5.6.3 Conclusions

Si l'on compare les données recensées dans les deux inventaires, on constate – assez logiquement - la présence simultanée dans l'un et dans l'autre d'une majorité de noms de lieux évoquant la sidérurgie ancienne (annexes 8 et 9). Les incertitudes qui persistent pour la classification des *champs du four*[65], à *Sorvilier*, du *crât des fourneaux*, à *Develier*, et de la *joux fourneau*, à *Epauvillers*, demandent une vérification par prospection; il en va de même pour les *fornés* à *Mervelier* (fours à chaux ou à charbon).

Même sans étude préalable sur la formation linguistique des toponymes, la comparaison entre les lieux-dits des cartes anciennes et ceux de cartes plus récentes livre des indices intéressants sur l'enchaînement chronologique des activités diverses auxquelles ils se rapportent[66]. En effet, 13 sur 21 mentions relatives au charbonnage figurent encore sur les cartes actuelles, tandis que, pour les forges, hauts fourneaux, favoirgeattes et faverges, la tendance est inversée: seuls 4 sur 16 lieux sont encore mentionnés aujourd'hui. Ce contraste est peut-être le signe que l'ancienne industrie du fer a été peu à peu supplantée, dans la mémoire collective, par d'autres activités plus récentes (production de chaux et de verre) ou davantage présentes dans la vie quotidienne: par exemple, le souvenir du charbonnage s'est probablement perpétué grâce aux activités forestières qui s'exercent encore aujourd'hui. Il y a certainement aussi une part de subjectivité, difficilement perceptible, dans le fait qu'un élément appartenant au passé se maintienne, plutôt qu'un autre, dans la mémoire collective[67].

5.7 L'apport expérimental

Depuis le milieu de l'année 1996, le Groupe de travail pour l'archéologie du fer dans le Jura (GAFJ) a mené à bien une dizaine d'opérations de réduction expérimentales sur son site des Lavoirs à Boécourt, et tout autant sur le site construit dans ce but à l'Ecomusée d'Alsace. Il a actuellement comme objectif de dresser le bilan de ces quatre années d'essais dans une brochure qui paraîtra probablement en 2001.

Dans l'attente de cette publication, nous nous contenterons de définir ici les principaux acquis de ces quatre années en matière de savoir-faire. Nous avons déjà eu l'occasion d'expliquer notre point de vue au sujet de l'expérimentation archéologique (Eschenlohr, 2001 et à paraître). Toutefois, il nous semble essentiel de rappeler qu'une expérimentation crédible doit s'appuyer sur un modèle archéologique bien documenté. Le point de départ est donc impérativement la fouille archéologique, qui elle-même mène à l'expérimentation. Bien sûr, il est évident que l'approche expérimentale se fonde aussi sur un modèle théorique, mais ce n'est que la pratique qui permettra de vérifier ces données théoriques. Dans le contexte de la sidérurgie ancienne, outre les données techniques générales – inhérentes à toute expérimentation archéologique –, les paramètres régionaux prennent une importance non négligeable. Ce qui signifie que chaque région disposant d'un passé sidérurgique présentera des particularités relatives au choix des matières premières (bois et charbon) et des matériaux de construction, à la typologie des vestiges, etc (voir chap. 3.1.1).

Posséder le savoir fait-il acquérir le savoir-faire ? Cette question, provocatrice certes, relève cependant un élément essentiel à toute expérimentation archéologique, à savoir que, sans tâtonnement empirique, l'on ne peut pas parler de l'acquisition d'un savoir-faire. En effet, on aura beau savoir comment il faut faire sur un plan théorique: si l'on ne maîtrise pas le déroulement pratique des opérations, le résultat ne sera pas celui qu'on escomptait. La façon de faire et le savoir-faire de Philippe Andrieux illustrent bien cette affirmation[68]. Avant de nous lancer nous-même dans l'aventure expérimentale, nous avons appris mille fois plus en observant les techniques employées par ce chercheur français hors du commun qu'en suivant une quelconque théorie – même si sa façon de faire est parfois assez éloignée du modèle archéologique (construction d'un fourneau hybride, emploi de minerai moderne (à cause de sa richesse en oxydes incomparable avec les minerais archéologiques, etc).

Enfin, faut-il le rappeler, le premier objectif d'une expérimentation archéologique ne peut pas être la production de fer à n'importe quel prix. L'archéologue vise en effet en premier lieu une meilleure compréhension de cet ancien processus technique, voire – dans le meilleur des cas – la maîtrise de ce processus.

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

Si la démarche expérimentale n'est visiblement pas encore arrivée à son terme, les premiers résultats sont néanmoins très réjouissants:

- la scorie a déjà coulé à plusieurs reprises en dehors du fourneau, produisant des coulures qui se rapprochent beau-

[65] Selon P.-L. Pelet, *champ **du** four* correspond à *champ du foyard* (hêtre); *champ **de** four*, à *champ en dehors* d'un territoire (du latin *de foris*).

[66] Il est évident qu'une étude onomastique menée de façon scientifique nécessite une approche linguistique, ainsi qu'une analyse des sources, afin d'établir une chronologie relative des noms de lieux. Il faudrait en outre comparer d'abord les cartes d'échelles identiques entre elles: on constate une grande différence dans la disposition des noms de lieux sur une carte 1:25'000 et sur une 1:10'000.

[67] Cette affirmation se fonde sur notre expérience personnelle: au cours de discussions avec des personnes âgées, derniers témoins vivants de ce passé révolu, nous nous sommes plus d'une fois rendu compte à quel point une donnée historique récente efface ou dissipe le souvenir d'un autre épisode, un peu plus ancien. C'est l'un des obstacles majeurs rencontrés lors des enquêtes orales sur le terrain (cf. aussi chap. 1.1.1.2, Franches-Montagnes et vallée de Delémont).

[68] Philippe Andrieux est certainement l'archéologue ayant la plus grande expérience notamment en matière de réduction expérimentale du minerai de fer.

coup, d'un point de vue morphologique, de celles en provenance du ferrier fouillé;
- la composition chimique de la scorie est pratiquement identique à celle des vestiges archéologiques (chap. 5.3);
- l'analyse métallographique d'un fragment d'éponge de fer montre que la qualité du métal obtenu est tout à fait satisfaisante et que l'éponge expérimentale ressemble fortement à une pièce métallique retrouvée sur le site (chap. 5.4).

En guise de conclusions préliminaires, il convient de souligner que seule la fouille programmée d'un ferrier sélectionné dans le *Jura central suisse* permettrait de progresser sur le plan expérimental. En attendant ce jour, il s'agira de toujours mieux maîtriser les nombreux paramètres qui interviennent dans une opération de réduction du minerai de fer. Néanmoins, avant de pouvoir compter sur de sérieux progrès, il est nécessaire de confronter régulièrement les acquis expérimentaux à des exemples archéologiques existants, tout en continuant à s'interroger sur les résultats issus de chaque nouvel essai[69].

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

5.8 Synthèse de l'approche interdisciplinaire: évaluation et confrontation des données

Comme nous l'avions dit en introduction, la masse d'informations recueillies dans les différents domaines complémentaires à l'archéologie est de toute évidence difficilement maîtrisable, mais elle permet de tirer des conclusions inespérées. C'est la raison pour laquelle nous résumons ici les apports de chaque discipline, avant de les mettre en commun dans les conclusions (chap. 8.1).

La datation C14
La datation absolue d'un certain nombre de ferriers a constitué le cadre indispensable aux apports des autres disciplines:

- elle a défini l'importance de la sidérurgie aux différentes époques de façon globale (chap. 8.1.1), ainsi que dans les différentes régions (chap. 5.3);
- elle a permis d'attribuer une appartenance chronologique à des sites montrant des volumes très variables les uns par rapport aux autres (voir volumétrie et chap. 4);
- elle a également autorisé, sous certaines réserves, la connotation chronologique de certains types de scories (analyses chimiques et chap. 8.1.2);
- elle a révélé, par le biais des analyses palynologiques et anthracologiques, l'impact des activités sidérurgiques sur le paysage végétal aux différentes périodes (chap. 2.3.2 et 8.1.4).

La datation absolue par C14 d'une centaine de sites sidérurgiques a mis en évidence le Moyen Age comme la période d'activité la plus importante des sites de réduction par la méthode directe. Ce résultat n'est pas celui qu'on attendait: les indications chronologiques fournies par A. Quiquerez au 19e siècle laissaient en effet supposer que l'ancienne industrie du fer avait eu davantage d'importance aux périodes précédentes, à savoir au second Age du Fer et à l'Epoque gallo-romaine. L'existence d'une industrie de transition (vers le haut fourneau) durant tout le Moyen Age a également été mise en lumière.

La prospection magnétique
La mise en œuvre de cette méthode de prospection a apporté des informations significatives sur des sites sans relief topographique, localisés généralement en zone cultivée ou dans des prés et pâturages. Il s'agit là certainement du moyen le plus efficace pour circonscrire rapidement et avec précision un site sidérurgique étalé. Mais une telle approche nécessite des investigations complémentaires par sondages. Cette étape n'a pas pu être prise en compte dans la présente étude.

Les relevés magnétiques réalisés ont fourni une image plus nuancée à propos de certains ferriers considérés auparavant comme «simples», c'est-à-dire ne comportant qu'un seul fourneau.

Les analyses chimiques
Les analyses chimiques effectuées sur des groupes de scories provenant de différentes régions du district ont fait apparaître une catégorie de scories inconnues ailleurs en Suisse romande: les scories riches en fer. Ces dernières comptabilisent souvent plus d'oxydes de fer que le minerai archéologique associé; cet état de fait soulève bon nombre de questions auxquelles seule la fouille exhaustive d'un atelier comportant ce type de scories pourrait répondre.

Par cette méthode, certaines caractéristiques régionales spécifiques aux groupes de scories définis ont aussi été mises en évidence. Enfin, la classification typotechnologique des scories permet d'associer celles-ci à différentes filières de procédés technologiques.

La métallographie
Outre le fait que les pièces étudiées indiquent que les bas fourneaux ont fonctionné essentiellement dans une filière «acier» – basée vraisemblablement sur une réduction de longue durée à des températures constantes et assez élevées –, l'analyse métallographique a démontré que l'éponge a subi un premier traitement (première épuration) immédiatement après sa sortie (à chaud) du bas fourneau. Les données archéologiques de *Boécourt, Les Boulies* (présence de nombreuses calottes dans la construction du deuxième bas fourneau) nous avaient déjà fait émettre une telle hypothèse, qui semble être confirmée par ces nouvelles observations (voir Eschenlohr et Serneels 1991, p. 115).

[69] Avec sa communication donnée en 1991, P.-L. Pelet a montré la voie à suivre (Pelet 1992).

La volumétrie

La réalisation du calcul volumétrique sur environ cent cinquante ferriers a permis de différencier nettement les sites du Haut Moyen Age – dont le volume est généralement inférieur à 50 m³ – de ceux du Moyen Age dont le volume moyen est de 150 m³. Cette approche est valable pour des sites comportant un fourneau, ou une succession de fourneaux sur le même emplacement. En revanche, il ne peut en être question pour des complexes sidérurgiques tel que celui de Corcelles.

La toponymie

Le principal intérêt de cette étude réside dans le fait qu'elle permet d'orienter les recherches sur le terrain. Toutefois, le rapport entre la signification de certains lieux-dits et l'activité sidérurgique demeure souvent assez vague, comparativement à d'autres activités industrielles (verrerie, four à chaux) et notre recensement a montré qu'il est difficile de trouver des exemples très parlants. L'essai de classification toponymique a enfin montré qu'il s'agit d'un domaine bien spécialisé qui exige de solides connaissances linguistiques.

L'expérimentation

L'apport expérimental se résume pour l'instant à quelques analyses de scories et notamment à l'étude métallographique d'une éponge. La principale contribution de l'expérimentation se traduit par l'acquisition d'un savoir-faire disparu qu'il est difficile de transmettre par écrit.