



HAL
open science

Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VIIe-Ier s. a.C.): de la réduction du métal à l'élaboration de demi-produits

Marion Berranger, Nolwenn Zaour, Marc Leroy, Sylvain Bauvais, Luisella Cabboï,
Christophe Dunikowski, Philippe Fluzin

► To cite this version:

Marion Berranger, Nolwenn Zaour, Marc Leroy, Sylvain Bauvais, Luisella Cabboï, et al.. Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VIIe-Ier s. a.C.): de la réduction du métal à l'élaboration de demi-produits. Stéphane Marion; Sylvie Deffressigne; Jenny Kaurin; Gérard Bataille. Production et proto-industrialisation aux âges du Fer : perspectives sociales et environnementales. Actes du 39e colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer (Nancy, 14-17 mai 2015), 47, Ausonius Éditions, pp.301-333, 2017, 978-2-35613-189-8. <halshs-02466338v2>

HAL Id: halshs-02466338

<https://shs.hal.science/halshs-02466338v2>

Submitted on 6 Feb 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VII^e-I^{er} s. a.C.) : de la réduction du métal à l'élaboration des demi-produits

*Marion Berranger, Nolwenn Zaour, Marc Leroy, Sylvain Bauvais,
Luisella Cabboi, Christophe Dunikowski et Philippe Fluzin*

Les derniers articles de synthèse concernant l'étude des productions sidérurgiques en Gaule durant les âges du Fer remontent à 2004 avec la publication des actes du colloque AFEAF de Toulouse qui portait sur l'économie du fer protohistorique¹. Un article proposait alors un bilan de l'évolution des systèmes de production, en se centrant plus particulièrement sur les ensembles sidérurgiques mis au jour lors des fouilles de l'A5 et de l'A28². Dix ans plus tard nous avons souhaité réaliser un bilan réactualisé recensant les indices de sites de production primaire, à l'échelle métropolitaine. En effet, l'achèvement de plusieurs programmes de recherches collectifs, de thèses ou encore de fouilles d'ampleur portant sur des sites sidérurgiques majeurs, a étoffé nos connaissances sur l'organisation de la production du fer durant cette période. Dressons un rapide bilan des principaux travaux récents qui témoignent de la vitalité des recherches dans cette discipline nécessairement interdisciplinaire.

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

De 2004 à 2015 : un grand dynamisme des recherches en métallurgie protohistorique

Un PCR portant sur "*Les formes d'organisation de la production en métallurgie ancienne dans les ateliers de l'est du Bassin parisien*", sous la responsabilité de Marc Leroy et de Sandra Cabboi, a ainsi eu pour objectif d'étudier les ateliers sidérurgiques de Lorraine centrale, du sud de l'Île-de-France et du nord de l'Yonne³. Ce programme constitue un modèle de caractérisation des activités sidérurgiques, non plus à l'échelle du site, mais couvrant la surface de régions cohérentes. En effet, les secteurs métallurgiques étudiés dans leur ensemble restent encore actuellement peu nombreux.

Dès 2000 un vaste programme interdisciplinaire d'études archéométallurgiques⁴ concernant les demi-produits et leur circulation a été entrepris par le laboratoire Métallurgies et Cultures (UMR5060-CNRS-IRAMAT). Dans sa continuité, entre 2011 et 2014 le programme ANR/DFG "*Circulation of Iron Products in the Iron Age of Eastern France and Southern Germany : multidisciplinary and methodological approaches towards the provenance of ancient iron*" (CIPIA) a quant à lui porté sur la circulation des objets en fer, à partir des demi-produits bipyramidés et des bandages de roues, au premier âge du Fer dans l'est de la France et le sud de l'Allemagne (coordination : P. Dillmann, S. Bauvais – LAPA/LMC-IRAMAT-CNRS/CEA. R. Schwab, M. Brauns – Curt-Engelhorn-Zentrum-Archaëometrie, Mannheim). Il apporte une vision affinée à la fois de la qualité des produits métalliques et de leurs modalités de circulation, à partir de l'analyse de la structure interne des produits métalliques et de leurs caractéristiques chimiques, pistées depuis les sites de réduction jusqu'aux inclusions de scories dans le métal⁵.

1. AFEAF 2004.
2. Cabboi *et al.* 2007.
3. Leroy & Cabboi, éd. 2013.
4. Fluzin *et al.* 2012.
5. Bauvais *et al.* 2011 et 2015.

Dans la Sarthe, les fouilles menées entre 2012 et 2013 par l'Inrap sur le futur tracé de la Ligne à Grande Vitesse Bretagne-Pays de La Loire⁶, ont touché un district sidérurgique majeur pour la période du premier âge du Fer, et son évolution a pu être observée de façon diachronique sur tout l'âge du Fer. Extraction, réduction et forge ont été ici documentées et précisément caractérisées.

Enfin, plusieurs thèses portant spécifiquement ou incluant en partie les âges du Fer ont été achevées ces dernières années et qualifient l'organisation des productions à partir de régions aux situations contrastées ou d'angles d'études spécifiques⁷.

Ces différents travaux se poursuivent actuellement au travers d'autres programmes de recherches interdisciplinaires. Citons le PCR débuté en 2013 portant sur "*La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions*" (coordination M. Berranger) ou l'initiation de nouvelles thèses telle celle entreprise par N. Zaour sur le nord-ouest de la France. Gageons donc que le présent bilan nécessitera une rapide réactualisation motivée par le grand dynamisme de la recherche en métallurgie du fer.

Rappel de quelques notions essentielles en sidérurgie et présentation des problématiques retenues

Nous ne reviendrons pas en détail sur les notions de chaînes opératoires abondamment documentées par d'autres publications de synthèse⁸. Rappelons simplement que pour les périodes protohistoriques le fer est réduit dans un bas fourneau à l'état solide. Le produit issu de l'opération, formé à l'état pâteux, contient encore de nombreuses impuretés et doit donc être épuré pour pouvoir être transformé en objet fini. Le produit métallique peut éventuellement subir une série de traitements thermo-chimiques (soudure, cémentation, décarburation, trempe, etc.) afin de lui faire acquérir des propriétés spécifiques. Ces différentes opérations se déroulent au sein d'installations distinctes et génèrent des déchets spécifiques, qui permettent de déterminer les types d'activités pratiquées.

L'abondance du minerai de fer et sa relative accessibilité rendent possible sa production sur de vastes zones géographiques. Néanmoins, la répartition des sites de réduction connaît de grandes disparités régionales (fig. 1, 7 et 11) laissant présager l'existence de contraintes particulières sur les conditions de production et sur la circulation des matières premières. En réduction comme en forge, nous observons des modes d'organisation contrastés, dont la coexistence chronologique et spatiale reste à comprendre.

La présente synthèse est centrée sur les premières étapes de production du fer brut (réduction) et de transformation de ce dernier (épuration et circulation de la matière première métallique). Nous avons cherché à reconnaître ce qu'il est possible de percevoir sur l'organisation et l'évolution des productions primaires en retenant différentes échelles d'analyses (du site à la macro-région), et enfin quelle dynamique des échanges il est possible de caractériser. Ces résultats sont présentés selon un découpage en trois tranches chronologiques : une première séquence du Hallstatt D à La Tène A, une deuxième regroupant La Tène B et La Tène C et enfin une troisième pour La Tène D.

LE PREMIER ÂGE DU FER : HALLSTATT D – LA TÈNE A

Les espaces de production primaire

En Europe occidentale, l'utilisation du fer est connue, de façon très ponctuelle, à la fin de l'âge du Bronze, et peut-être même dès le Bronze moyen⁹ mais il faut attendre les débuts de l'âge du Fer, entre les VIII^e et IV^e siècles a.C., pour que la production de fer soit véritablement identifiée par la découverte de déchets de production et de vestiges d'atelier. En l'état actuel des données archéologiques, les ateliers de réduction du minerai ont surtout été découverts en Gaule septentrionale (fig. 1).

6. Coordination J.-Y. Langlois, V. Gallien, N. Zaour – Langlois, éd. 2015, III.

7. Bauvais 2007 ; *id.* 2008 ; Pagès 2010 ; Berranger 2014 ; Disser 2014.

8. Fluzin *et al.* 2001 ; Mangin, éd. 2004 ; Cabboi *et al.* 2007 ; Leroy *et al.* 2015 etc.

9. Gomez de Soto & Kerouanton 2009.

C'est pour l'instant dans la région du Mans (fig. 3) qu'on en a découvert le plus grand nombre (même s'il s'agit peut-être d'une amplification due aux opérations de fouilles sur de grands tracés linéaires), et qu'on y identifie les sites les plus anciens (même si se pose le problème d'un calage chronologique imprécis en raison d'une courbe de calibration trop "plate" des datations ^{14}C entre le VIII^e et le IV^e siècle a.C.). Vingt-quatre sites d'ateliers sont recensés dans la région du Mans qui ont livré près de 350 emplacements de fourneaux (pour seulement une dizaine dans le reste de la Gaule : voir annexe 1).

La majorité des fourneaux de cette période correspond au type dit à scorie piégée et utilisation unique défini lors des découvertes de l'A28 (fig. 2)¹⁰. Dans ces structures, la gangue fondue du minerai séparée du fer métallique s'agglomère dans le fond du four formant un bloc de scorie plus ou moins volumineux qui reste en place après l'extraction du fer. Ces fours ne semblent donc servir qu'une seule fois. Ce type de bas fourneau est assez fragile : les parois construites en élévation sont plus minces pour pouvoir être démontées après l'opération afin de récupérer le produit métallique. De plus, ne faisant l'objet que d'une chauffe unique, leur rubéfaction est moins importante. Elles sont donc rarement retrouvées. En revanche, la scorie de fond de four est encore souvent en place. Du fait de la reconstruction de ces fours après chaque opération, les ateliers couvrent des surfaces assez importantes et sont de ce fait assez facilement identifiables. Toutefois, un autre type de fourneau à scorie piégée, mais à utilisation multiple, est aussi documenté sur au moins deux sites de la région d'Évreux (Chavigny-Bailleul *La Mutrelle* et Guichainville *Saint-Laurent*, Eure¹¹) et sur plusieurs ateliers découverts à Meunet-Planches *Les Isles* dans l'Indre¹², posant la question de sa date d'apparition.

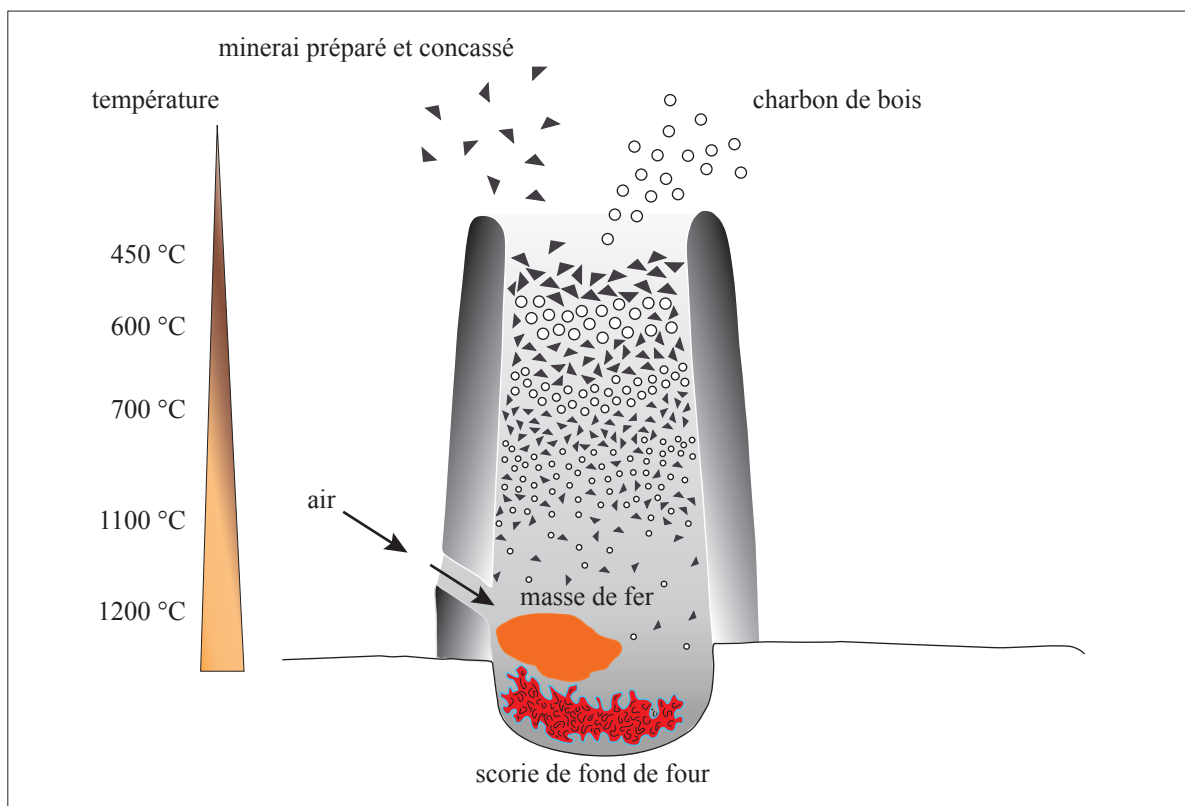


Fig. 2. Schéma de fonctionnement d'un bas fourneau à scorie piégée et utilisation unique (N. Zaour, Inrap).

10. Mangin, éd. 2004, 56-57 ; Cabboi *et al.* 2007.

11. Honoré *et al.* 2007.

12. Dieudonné-Glad dans ce volume.

La région du Mans semble correspondre à un important district sidérurgique, mêlant extraction et traitement du minerai de fer, s'étendant sur plusieurs dizaines de km² (fig. 3). Certains sites révèlent une production intensive : par exemple, le site de *Touzeau* sur la commune d'Aigné a livré un atelier composé d'une centaine de fours de réduction (fig. 4). Neuf d'entre eux ont été datés par ¹⁴C dans une fourchette allant de la fin du IX^e au début du IV^e siècle a.C., dont l'un entre 894 et 788 a.C.¹³. Cet atelier occupe une surface d'environ 700 m² constituée par un ensemble d'au moins 77 bas fourneaux assurés et potentiellement 93. Seule la limite septentrionale dépasse l'emprise du chantier. L'installation des bas fourneaux se développe en colonne, selon un axe nord est/sud-ouest, sur une largeur de terrain de 15 m de large. Toutefois, certains fours échappent à ce groupement et forment deux petits ensembles séparés. Si les bas fourneaux ont pu être classés en quatre types distincts, aucune organisation spatiale par types ne semble transparaître. Au vu du faible nombre de recoupements observés, il paraît évident que l'atelier

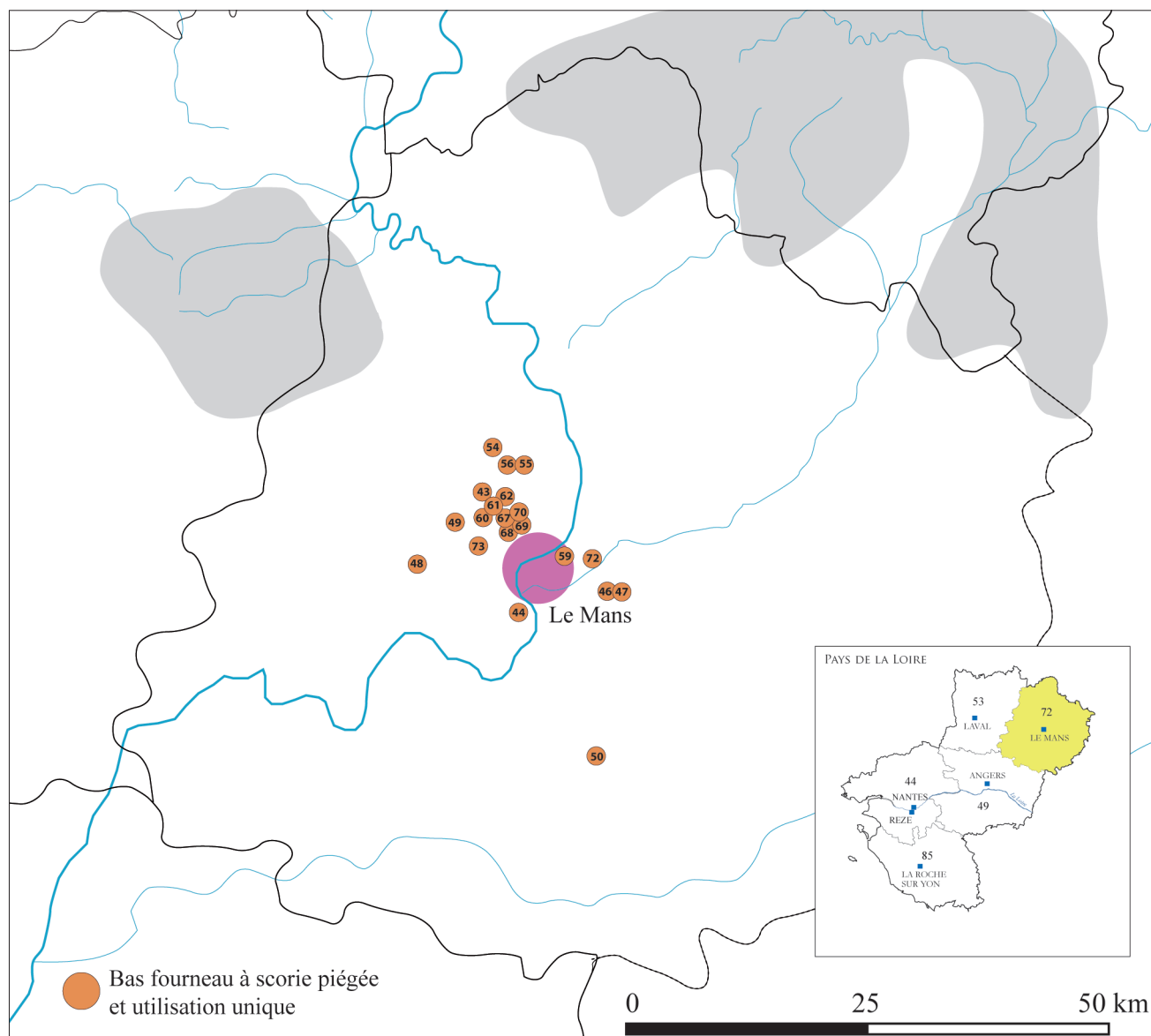


Fig. 3. Répartition des sites de réduction du minerai de fer dans la région du Mans pour la période du Hallstatt D-La Tène A (N. Zaour, Inrap – les numéros renvoient aux sites en annexe 1).

13. Zaour dans Langlois, éd. 2015.

disposait d'une certaine organisation et que la construction des fours s'est faite de manière ordonnée autour des anciens fours sans doute laissés à ciel ouvert après leur utilisation. Les structures annexes sont peu nombreuses et leur analyse ne permet pas, pour l'instant, de déterminer si des activités de préparation du minerai de fer ou de post-réduction avaient lieu au sein de cet atelier.

D'autres bas fourneaux à utilisation unique ont été découverts sur la commune de La Milesse, au *Bois de Beslan* et sur la commune de Degré à *La Groirie*¹⁴. Le site de *Beauvais* à Changé, fouillé en deux temps, a livré lors de la première opération, 76 bas fourneaux à fosse et lors de la seconde, 5 autres dont deux datations ¹⁴C proposent un intervalle chronologique entre 749 et 370 a.C. et entre 437 et 206 a.C. Sur la commune de La Bazoge, au lieu-dit *La Maison Neuve*¹⁵, plusieurs ateliers de fours en fosse, de même type, ont été découverts. Le premier atelier, ayant livré trente-neuf bas fourneaux, est daté entre le VIII^e siècle et le premier quart du V^e siècle a.C., alors qu'un autre atelier, constitué d'une dizaine de bas fourneaux, est daté entre la fin du II^e siècle a.C. et le début du IV^e siècle p.C.

Dans un rayon de 20 km autour du Mans, d'autres découvertes viennent compléter ces données. Quatorze bas fourneaux ont été découverts aux *Nouies*¹⁶ à Coulans-sur-Gée et sont datés entre le VIII^e et le IV^e a.C. Sur le site de la *ZAC du Monné* à Allonnes, un ensemble de six bas fourneaux¹⁷ de même type, a été mis au jour à proximité d'un enclos gaulois de La Tène finale, mais les fourneaux sont datés entre les VIII^e et IV^e siècle a.C.¹⁸

Dans cette région, les sites de réduction, au demeurant nombreux, regroupent un nombre important de structures et illustrent vraisemblablement une production intensive qui dépasse largement les seuls besoins locaux. Dans les autres secteurs géographiques le nombre de fours par site apparaît beaucoup plus faible et traduirait une production plus modérée. Destinées probablement à alimenter des communautés plus réduites, ces productions qui interviennent dans un contexte de faible diffusion du fer au sein de la société¹⁹ devaient néanmoins assurer richesse et importance à ceux qui les contrôlaient.

En Normandie, autour d'Évreux (fig. 1), de plus en plus de découvertes montrent une présence ponctuelle de bas fourneaux ou de déchets de réduction qui pour l'instant apparaissent isolés et dont l'organisation nous échappe encore. Les découvertes des sites de *La Mutrelle* à Chavigny-Bailleul et de *Saint-Laurent* à Guichainville ont déjà été décrites lors du colloque de l'AFEAF de Toulouse²⁰. Des découvertes ponctuelles de scories de réduction sur les sites du *Long Buisson 3* à Guichainville²¹, au *Bois de Parville* sur la commune de Parville²² et sur le site de l'avenue François Mitterrand, *rue de la Garenne* à Saint-Sébastien-de-Morsent²³, évoquent encore cette activité dans cette région. Si la datation au Hallstatt D – La Tène A des scories du Long Buisson repose une fois encore sur une approche radiocarbone, pour les sites de Parville et de Saint-Sébastien-de-Morsent, c'est par l'association avec du mobilier céramique découvert au sein des fosses qui recelaient les scories qu'il est possible d'attribuer les activités de réduction à cette séquence chronologique. Plusieurs ateliers de cette période ont aussi été reconnus en Bretagne, dans la forêt de Paimpont, dans les Côtes d'Armor, et dans le Finistère principalement à partir de découvertes de scories et non de fourneaux (annexe 1).

Dans le sud-est de l'Ile-de-France (Sénonais/Pays d'Othe/Gâtinais), les plus anciennes traces de production de fer datent de la période du Hallstatt final. Considérées de cette période, les structures de réduction de l'ensemble A des Clérimois dans l'Yonne, ne peuvent être datées avec précision dans les âges du Fer, dans l'état actuel des datations ¹⁴C (les calibrations actuelles d'oxcal v.4.2.4. donnent des dates qui couvrent toute la période protohistorique. De nouvelles datations ont été entreprises afin d'affiner la chronologie). C'est néanmoins une scorie piégée mise au jour sur un site d'habitat d'Écuellles *Charmoy* (Seine-et-Marne) qui atteste des plus anciennes activités de production primaire du fer dans le secteur au Hallstatt D3 (fin VI^e-seconde

14. *Ibid.*

15. Gallien *et al.* 1997a ; *id.* 1997b ; Cabboi & Bonniol-Jarrier 1998a ; *id.* 1998b.

16. Mare, éd. 2014.

17. Carpentier & Sehier 2012.

18. Carpentier & Lefort 2012.

19. Dubreucq 2013.

20. Honoré *et al.* 2007.

21. Marcigny, éd. 2006.

22. Lukas, éd. 2010.

23. Michel 2008.



Fig. 4. Vue aérienne des bas fourneaux du site d'Aigné Touzeau (cl. H. Paitier, Inrap).

moitié v^e siècle a.C.²⁴). Un fond de four de réduction de presque 18 kg a été découvert en position de rejet, associé à près de 3 kg de déchets de forge.

Dans l'espace géographique lorrain, les traces les plus anciennes d'activités de production ou de travail du fer ne sont réellement perceptibles qu'à l'extrême fin du premier âge du Fer (Hallstatt D3). Deux habitats, situés sur le plateau des Côtes de Moselle (Meurthe-et-Moselle), en amont de la confluence entre la Moselle et la Meurthe, abritent un atelier de production primaire. Si à Velaine-en-Haye ZAC *Herbue-Chalin*, tous les résidus retrouvés sont éparpillés dans le comblement des structures d'occupation, en revanche sur le site de Gondreville *Au Loup*, les traces d'un atelier, situé à l'écart des zones d'habitation et d'activité agricole (à environ une centaine de mètres au nord-est), ont été identifiées. Dans les deux cas, les études paléométallurgiques ont montré que les scories provenaient de la réduction d'un minerai, dont plusieurs kilogrammes ont été retrouvés sur chacun des sites. La source du minerai a également pu être identifiée : les affleurements ne sont distants que de quelques centaines de mètres des deux sites. Si la nature des activités de post-réduction mises en évidence à Gondreville ne peut être précisée, en revanche le site de Velaine-en-Haye a livré deux morceaux de fer qui peuvent être identifiés, par leurs caractéristiques morphologiques, métallographiques et chimiques, comme des fragments de fer brut de réduction en cours de compactage, ce qui caractérise une activité d'épuration pour la préparation de demi-produits²⁵.

24. Buret 1997 ; Leroy & Cabboi, éd. 2013.

25. Deffressigne & Leroy 2013.

Comme les deux sites n'ont pas livré de mobilier métallique en fer associé clairement à cette phase d'occupation, on est tenté de les interpréter comme des ateliers spécialisés dans la production du fer brut et de sa première mise en forme (compactage/épuration). Par ailleurs, le site de Gondreville paraît fortement structuré spatialement : plusieurs activités (séchage des céréales, stockage agricole, métallurgie) occupent des espaces individualisés bien dissociés, organisation qui renvoie l'image d'activités gérées chacune par des travailleurs et artisans spécialisés²⁶. Sur ces deux sites, l'activité métallurgique est concomitante à une fonction de centralisation de la production agricole en quantités très largement supérieures aux besoins propres supposés, ce qui pose la question de sa relation avec la production du fer.

La réponse est peut-être à rechercher dans le lien qui pourrait exister entre ces sites et l'habitat fortifié de la *Cité d'Afrique* de Messein, situé à une dizaine de kilomètres au sud-est. Son occupation dense est marquée par la présence de déchets se rapportant à la fabrication de parures vestimentaires, de bijoux et d'*instrumentum* de toilette, dans la composition desquels entrent de nombreuses matières importées de la Baltique ou de la Méditerranée. Ce site présente toutes les caractéristiques d'un habitat privilégié de rang supérieur semblant correspondre à un centre de pouvoir dominant cette région. Le métal utilisé par les artisans forgerons arrive probablement sous la forme de demi-produits épurés, comme semblent le montrer plusieurs chutes de travail²⁷. Rien n'interdit donc de penser que les ateliers métallurgiques de la *Cité d'Afrique* sont alimentés par du fer produit et mis en forme dans des ateliers similaires à ceux de Gondreville et Velaine-en Haye. On peut donc imaginer un degré de dépendance entre l'habitat de rang privilégié et les habitats ruraux au sein desquels sont installés ces ateliers de production primaire. La fonction de centralisation du stockage de la production agricole de ces habitats ruraux, sorte de fermes-greniers, s'inscrit probablement aussi dans un système de contrôle au profit de l'approvisionnement du pôle princier. Le contrôle de la production du fer pourrait procéder de la même logique, afin d'alimenter les ateliers de manufacture destinés au service des puissants.

Les matières premières métalliques

L'étude des matières premières métalliques, incluant les masses de métal brut et les demi-produits, est complémentaire de celle des zones de réduction. En effet, elle documente les formes et les qualités du métal, tel qu'il est produit à l'issue de la réduction ; puis après les phases d'épuration, tel qu'il est diffusé vers les ateliers de forgeage. En tant qu'objets destinés à circuler, il s'agit également de documents privilégiés pour appréhender l'organisation des productions²⁸. Néanmoins ces objets sont rarement retrouvés en contexte d'ateliers, ils proviennent le plus souvent de dépôts (sanctuaires, milieux humides et terrestres²⁹), et ont, de ce fait été soustraits aux réseaux économiques ordinaires. Un faible nombre est associé à du mobilier daté, l'attribution des demi-produits au premier âge du Fer repose donc sur peu de contextes archéologiques.

Durant le Hallstatt D/La Tène A, la matière première ferreuse semble néanmoins circuler essentiellement sous la forme de produits volumineux et massifs, qu'il s'agisse de "*Hooked Billet*", pesant entre 1 et 3 kg, ou surtout de bipyramidés, d'une masse généralement comprise entre 2 et 7 kg. Au stade de la réduction, l'étude des matières premières métalliques confirme la parfaite maîtrise des procédés de production du métal et la capacité à produire, au moins ponctuellement, des volumes importants de métal. Les produits bruts de réduction de Bourges *St Martin des Champs*³⁰ dont la plus lourde pèse 12 kg en témoignent le plus clairement.

La datation des bipyramidés s'avère primordiale afin de mieux comprendre l'organisation des productions. Leur chronologie s'est précisée très récemment grâce aux méthodes radiocarbone, soit par prélèvement de charbon dans leurs porosités³¹, soit par prélèvement du carbone dans le métal³². Pour le moment, tous les exemplaires datés par la méthode radiocarbone, à savoir quatorze bipyramidés, sont attribués au premier âge du Fer et datés entre le début du VIII^e et la fin du V^e siècle a.C.³³.

26. Deffressigne *et al.* 2002.

27. Deffressigne & Leroy 2013.

28. Berranger & Fluzin 2013.

29. Berranger 2014, 150-169

30. Leroy & Merluzzo 2007

31. Berranger 2014, 116 et 147.

32. Leroy *et al.* 2013.

33. Bauvais *et al.* 2015.

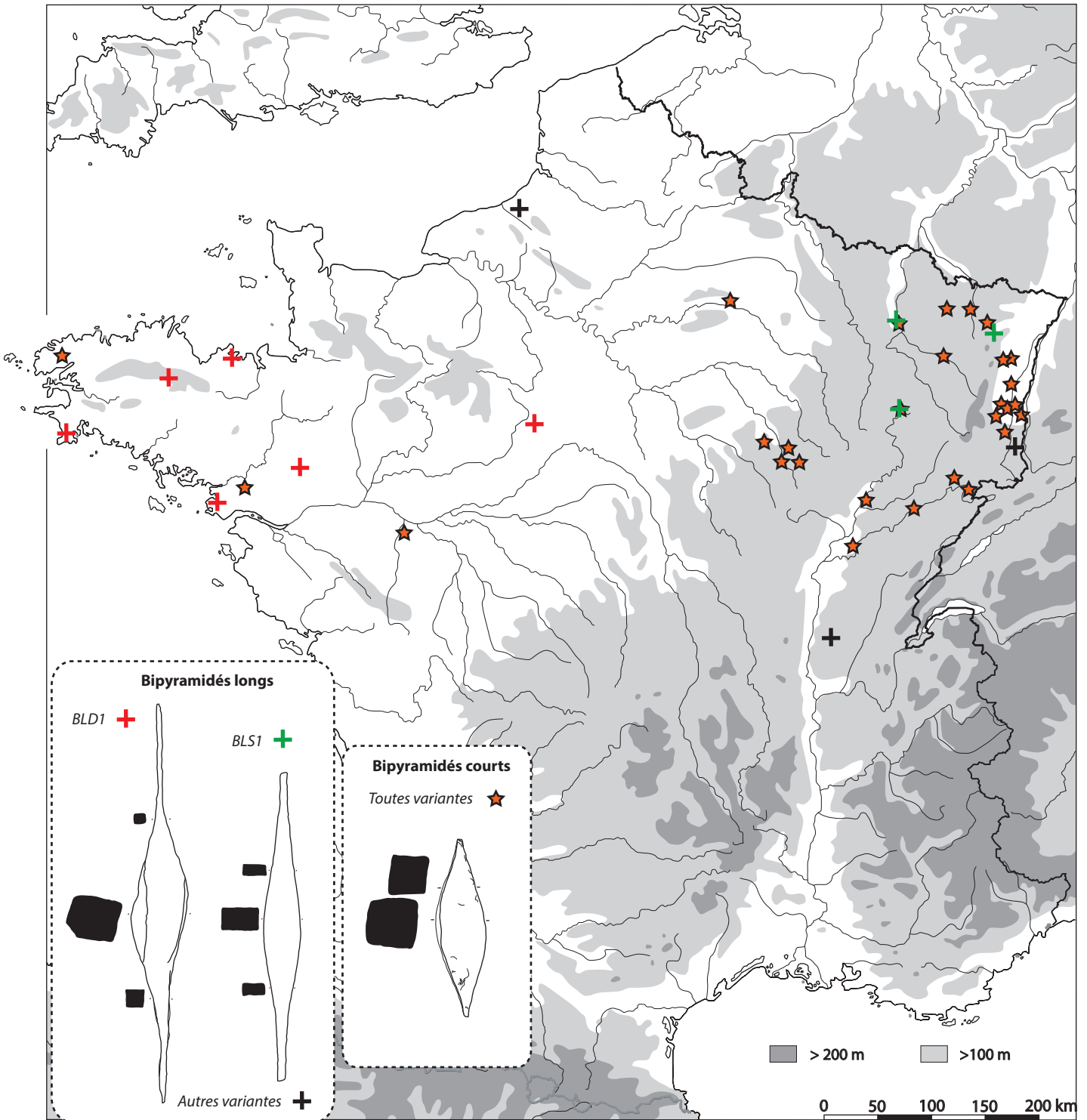


Fig. 5. Répartition des demi-produits bipyramidés à l'échelle de la France métropolitaine (M. Berranger, CNRS).

L'étude de la répartition de ces demi-produits par types et variantes³⁴ permet d'observer des regroupements en fonction de macro-régions (fig. 5). Les bipyramidés se discriminent entre une zone ouest livrant principalement des exemplaires longs et une zone est principalement concernée par des exemplaires courts. La prise en compte des variantes des bipyramidés longs, dispersés sur une plus large zone géographique, met en évidence des semi-produits se distinguant morphologiquement entre d'une part ceux présents en région Bretagne, avec des sections carrées très irrégulières et d'autre part, ceux attestés en Alsace et en Lorraine, avec des sections rectangulaires régulières. En retenant l'hypothèse que les formes de demi-produits correspondent à des traditions d'ateliers de fabrication, l'aire de diffusion de ces objets indiquerait des circuits d'échanges en fer transformés distincts entre les espaces Ouest et Est de la zone géographique étudiée. Cela ne préjuge pas de l'origine du métal brut, qui peut circuler sous une forme peu ou pas transformée avant d'alimenter les ateliers de fabrication de demi-produits.

L'étude interdisciplinaire (analyses métallographiques et chimiques) de bipyramidés appartenant aux deux types connus (long et court), datés par radiocarbone du premier âge du Fer, fournit quelques informations précises quant à l'organisation des productions à l'échelle de micro-régions.

Les bipyramidés longs ont été étudiés à partir d'un unique dépôt de 24 barres identiques enfouies à Nottonville *La pièce de la cave* (Eure et Loir³⁵ – fig. 6). Ces demi-produits sont de forme dissymétrique, avec une partie centrale en forme de carré irrégulier (variantes BLD₁). Les sections et l'état de surface bosselés (présence de porosités, fissures) dénotent une mise en forme et un compactage inachevés, ce que l'analyse métallographique des trois exemplaires confirme avec la subsistance d'une forte proportion de porosités dont une très grosse porosité centrale multicentimétrique³⁶. Les procédés techniques mis en œuvre apparaissent d'ailleurs simples : ces produits ont été obtenus par déformation d'une masse de métal brut sur elle-même.

Davantage de demi-produits de type court dont les extrémités ne sont que peu ou pas étirées (fig. 6) ont été analysés. Ainsi, quinze demi-produits provenant de dix sites de l'est de la France (Lorraine, Alsace, Bourgogne et Franche-Comté) ont été étudiés dans le cadre du programme CIPIA³⁷ et du PCR "*La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté avant le haut-fourneau*".

La moitié de ces objets, c'est-à-dire huit sur quinze, ont été obtenus par la soudure de deux masses de métal. Des analyses chimiques en éléments majeurs et traces menées sur les inclusions de scories contenues dans le métal révèlent que sur les huit demi-produits composés de deux masses soudées entre elles, quatre se composent de deux masses d'origines différentes. Bien que fortement compactées, les masses de métal restent incomplètement épurées. Parmi les demi-produits composés de deux masses, aucune large porosité ne subsiste contrairement à ceux qui sont constitués d'une masse unique. En ce qui concerne la composition de l'alliage fer/carbone, ce type de demi-produit ne présente pas une grande homogénéité, même si les zones inférieures à 0,5 %C sont très fortement majoritaires. Au sein d'un même dépôt, les cas de figure peuvent être variables, les quatre individus analysés de Durrenentzen³⁸ (Haut-Rhin) sont très différents les uns des autres d'un point de vue métallographique, alors que les deux de Marsal (Moselle) sont très proches, tant dans leur composition fer/carbone que dans leurs techniques de mise en forme.

Les deux ensembles, Est et Ouest, illustrent des chaînes opératoires de fabrication distinctes. Les trois bipyramidés longs et issus d'un même contexte à Nottonville, traduisent des réductions effectuées dans des conditions identiques. Leurs caractéristiques internes étudiées métallographiquement conduisent à restituer des produits bruts principalement ferritiques, comprenant une grosse porosité centrale et des zones métalliques incomplètement agglomérées sur toute leur périphérie. Ces propriétés semblent suffisamment spécifiques pour envisager une même conduite de la réduction et l'obtention des masses brutes dans le même atelier de réduction. Les demi-produits, de morphologie identique, ont ensuite été obtenus après un premier compactage très sommaire permettant d'envisager leur traitement primaire au sein d'un même atelier d'épuration, éventuellement sur le lieu même de la réduction. Cette hypothèse n'est pas contredite par les résultats des analyses chimiques portant sur les constituants majeurs des inclusions de scories dans le métal³⁹. Elle reste encore à tester après analyse des éléments traces.

34. Typologie et inventaire complets dans Berranger 2014, 62-80.

35. Lelong 1991 ; Berranger 2014.

36. Berranger 2014, III, pl. 4 et 5.

37. Bauvais *et al.* 2015.

38. Berranger *et al.* 2017.

39. Méthodologie dans Dillmann & L'Héritier 2007.

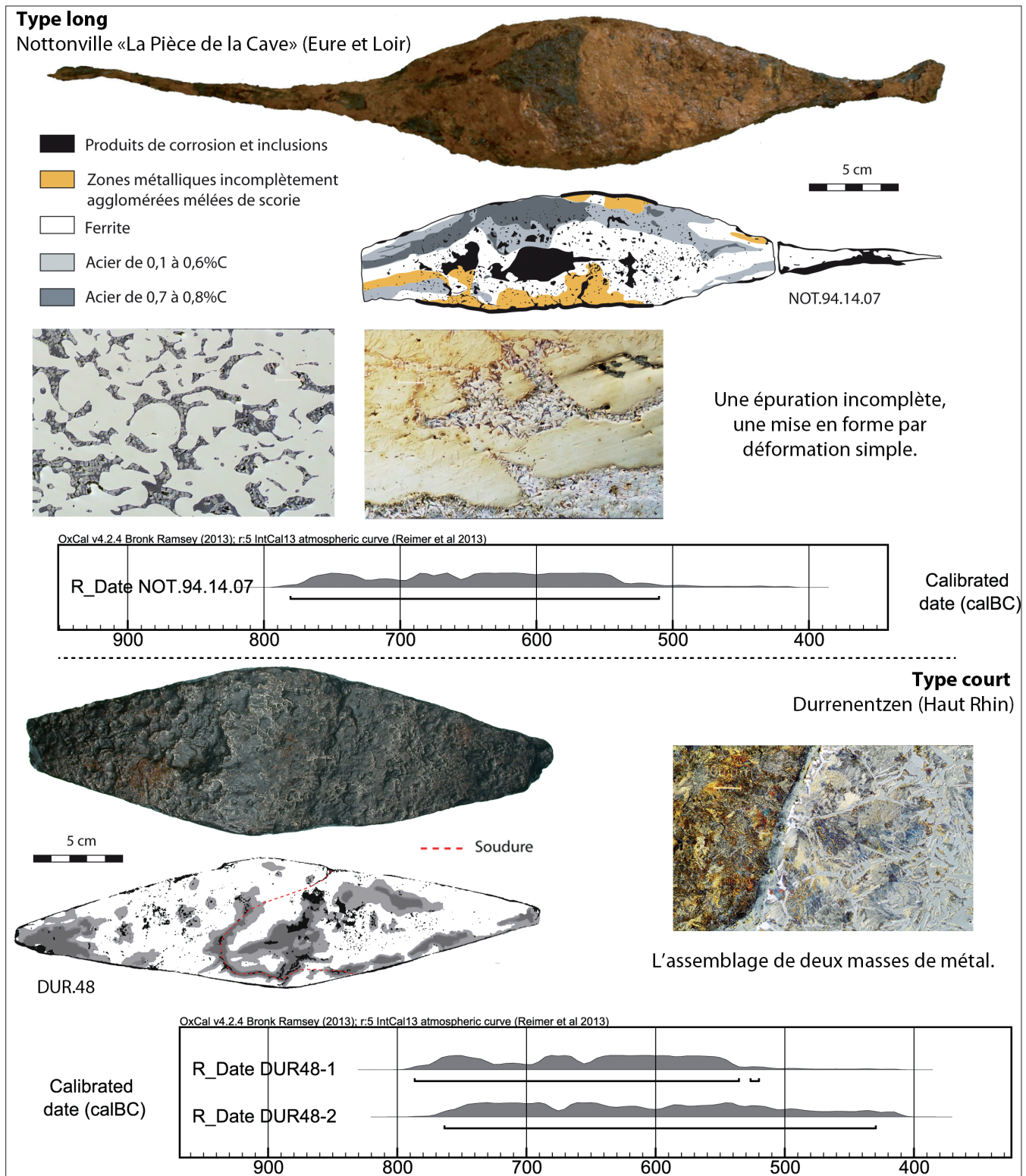


Fig. 6. Caractéristiques métrologiques, internes et datations radiocarbone des bipyramidés longs et courts (M. Berranger, CNRS).

L'étude des bipyramidés courts issus de différents contextes de l'Est de la France semble au contraire se rattacher à une autre organisation de la chaîne opératoire. Tout d'abord, à propos des techniques de mise en forme, deux cas semblent se dégager. Le premier est proche de ce que nous venons de décrire pour les demi-produits longs de Nottonville, même si pour les exemplaires courts l'étape d'épuration a été plus poussée, et concerne sept des quinze demi-produits analysés. Le deuxième cas de figure concerne les huit autres demi-produits, et met en œuvre un schéma technique différent, où deux masses de métal semblent avoir été soudées entre elles. Ici encore deux cas de figure se dégagent. Pour l'un, il s'agit de deux masses pour lesquelles la composition chimique des inclusions indique qu'elles possèdent la même signature (quatre cas), pour l'autre, les inclusions de scorie des deux masses de métal sont chimiquement suffisamment différentes pour que l'on puisse affirmer qu'elles proviennent d'espaces de production distincts. Ces trois schémas opératoires (masse unique, deux masses identiques et deux masses différentes) peuvent se retrouver au sein d'un même dépôt comme celui de Durrenentzen.

Il est ainsi possible de proposer plusieurs interprétations concernant les demi-produits bipyramidés de l'Est et leurs dépôts. Premièrement, l'existence de demi-produits composites caractérisés par deux masses de métal d'origines différentes soudées l'une à l'autre indique que parmi les ateliers qui ont mis en forme ces demi-produits, au moins certains d'entre eux s'approvisionnent auprès de plusieurs sources de métal. Il faut alors concevoir un système d'échange complexe avec la présence possible d'intermédiaires entre les ateliers de réduction et de mise en forme de demi-produits, et surtout la circulation du métal sous la forme de masses brutes. Deuxièmement, au sein d'un dépôt comme celui de Durrenentzen, les demi-produits possèdent des caractéristiques métrologiques très proches mais des détails morphologiques suffisamment différents pour envisager que plusieurs artisans les aient produits. Les différences de techniques de fabrication constatées au sein d'un même dépôt (assemblage ou non de plusieurs masses de métal) semblent indiquer que la technique de mise en forme n'est pas forcément liée à une "tradition technique" mais plutôt à une adaptation du forgeron à sa matière première. Il faudrait ainsi envisager qu'un système de référence commun était partagé par plusieurs ateliers afin de se conformer à un standard pour ne pas dire à un "étalon".

Ces deux groupes de demi-produits, mis au jour dans des zones géographiques opposées se rattacheraient ainsi à des modalités d'organisation des productions distinctes. Les quinze demi-produits étudiés sont attribués à une période chronologique large, entre le VIII^e et le IV^e siècle a.C., il n'est donc pas possible d'exclure totalement l'hypothèse que la variable chronologique participe à expliquer ces différences. Rappelons que quelques bipyramidés, non datés par la méthode radiocarbone, ont été retrouvés dans des contextes attribués à La Tène C et La Tène D⁴⁰.

LE DÉBUT DU SECOND ÂGE DU FER : LA TÈNE B - C

Les espaces de production primaire

La plupart des sites de réduction connus pour cette période se situent dans le nord-ouest de la France et en Île de France (fig. 7). Comme durant le Hallstatt D – La Tène A, la région du Mans est celle qui livre le plus grand nombre de sites et de bas fourneaux.

Le début du second âge du Fer correspond à la généralisation de l'évolution technique dans l'architecture des fourneaux de réduction, apparue à la fin de la période précédente, et les rend réutilisables (fig. 8). Ces évolutions se traduisent notamment par le renforcement des cuves et la construction de soles en fond de four. Le volume de la production paraît aussi se standardiser avec des fours au gabarit similaire. Une fosse d'accès est ajoutée à l'avant du four et la cuve s'ouvre dans celle-ci. Une porte qui sépare la cuve de la fosse d'accès devait participer au système de ventilation. Les fouilles de ce type de bas fourneaux, réalisées lors des travaux de l'autoroute A28⁴¹, ont montré que ces appareils étaient munis d'un dispositif de ventilation complexe constitué d'une part de quatre arrivées d'air pratiquées dans la paroi du four au niveau du sol de circulation environnant et d'autre part d'une porte perforée de plusieurs ouvertures circulaires assurant une ventilation au niveau de la base de la cuve.

40. Berranger 2014, fig. 35.

41. Cabboi *et al.* 2007.

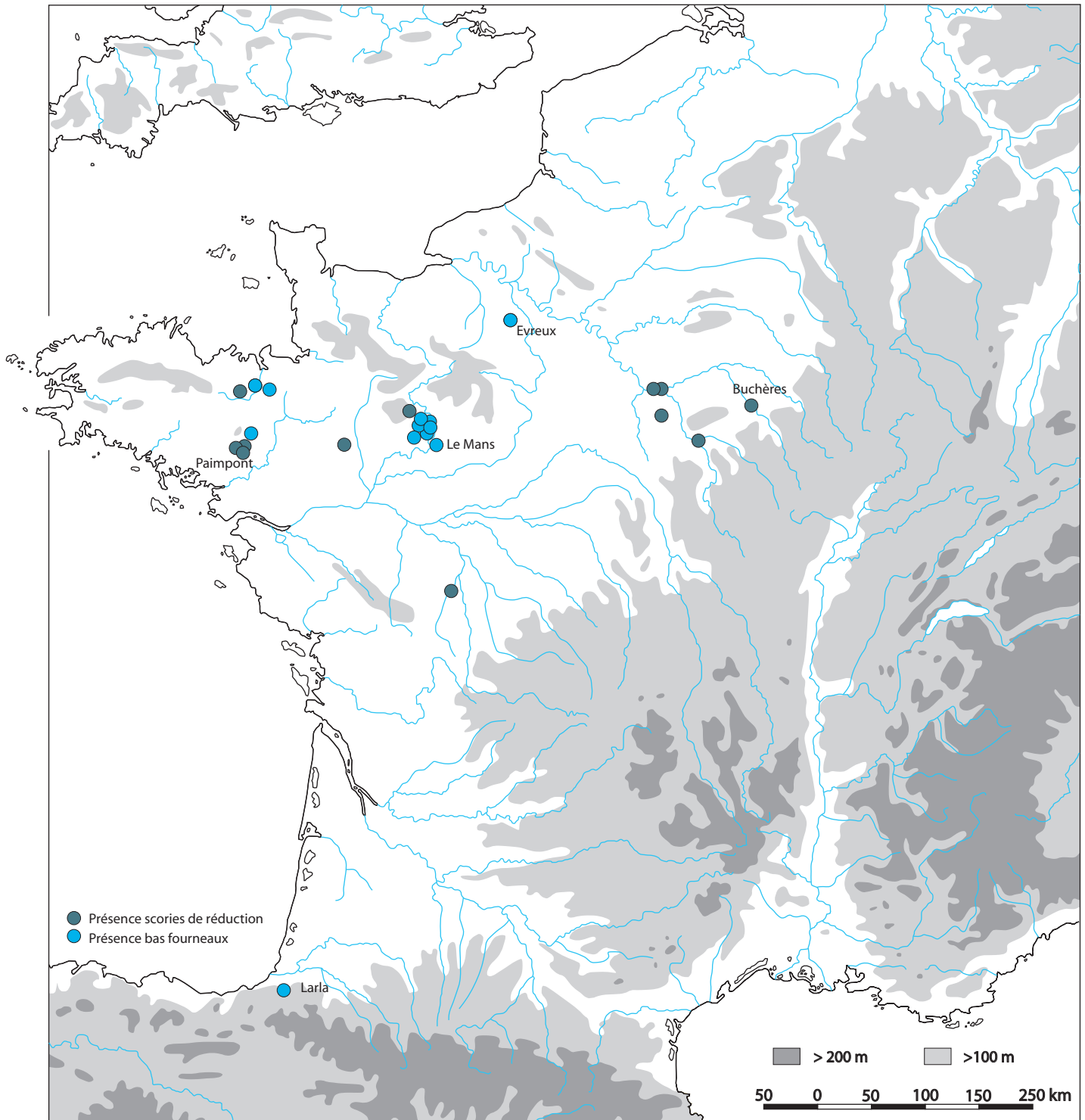


Fig. 7. Répartition des sites de réduction du minerai de fer à l'échelle de la France métropolitaine pour la période La Tène B – La Tène C.

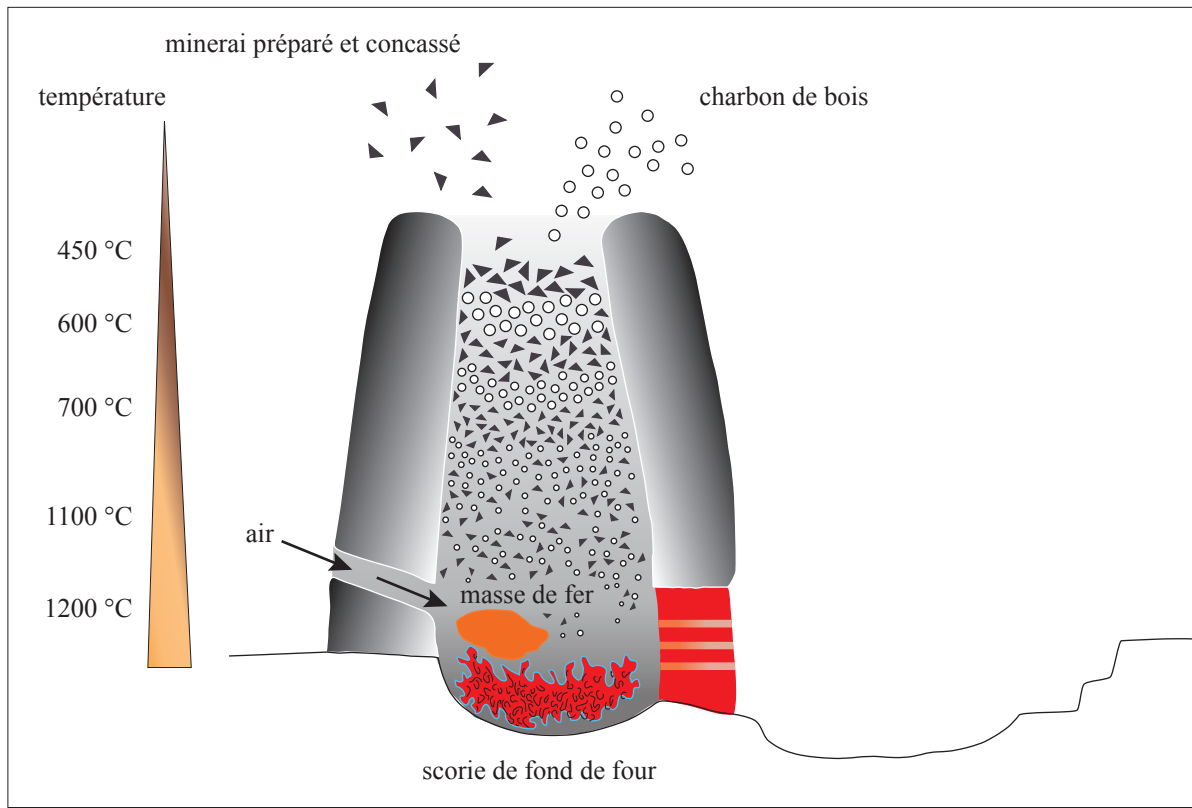


Fig. 8. Schéma de fonctionnement d'un bas fourneau à scorie piégée et utilisations multiples (N. Zaour, Inrap).

Douze sites répertoriés dans le cadre de cet article ont livré plus d'une trentaine de bas fourneaux à scorie piégée et utilisations multiples (fig. 7, annexe 1). Hors de la région du Mans, ces fours restent assez rares. Ainsi un est connu dans l'Eure sur le site de *Saint-Laurent* à Guichainville⁴² ou encore un autre dans la Vienne à *Saint Cyr La Basse Flotte*⁴³.

Les autres fours ont été découverts sur les sites révélés lors des fouilles des tracés de la LGV et de l'A28 (fig. 9). Les fouilles de l'autoroute A28, en ont livré seize répartis sur six sites alors que celles récentes de la LGV, ont enrichi le corpus de trois autres découverts sur deux sites. Les sites de *Beauvais* à Changé et du *Bois de Beslan* et de *La Mare* à La Milesse sont les seuls à ne pas avoir été découverts sur la commune de La Bazoge. Ils ont tous pu être datés de La Tène B / C (entre le IV^e et le milieu du II^e siècle a.C.). Pour les six autres fours découverts dans la région du Mans (*Beslan Bois*, La Milesse ; *Les Landes*, Neuville-sur-Sarthe ; *Les Hauts du Lac*, La Bazoge), aucune datation n'a pu être proposée.

Sur tous ces sites, la production du fer semble se faire en petites unités de travail. Les découvertes de l'A28 ont ainsi montré une véritable organisation de ces ateliers autour de quelques fours et une standardisation des structures de réduction, qui pourrait indiquer la production de volumes de métal similaires. En périphérie des fours, on retrouve des structures annexes liées en particulier à la préparation du minerai et du combustible. Des indices du travail de forge ont également été perçus et indiqueraient que la première épuration du métal brut de réduction, voire certaines étapes de mises en forme, était effectuée sur place⁴⁴. Sur le site de *La Mare*, commune de La Milesse, en plus des deux bas fourneaux, une vingtaine de structures a été découverte au sein de l'atelier. Parmi celles-ci, un ensemble de trous de poteau a sans doute servi à assurer la couverture de l'un

42. Honoré *et al.* 2007.

43. Saint Didier 2013.

44. Cabboi *et al.* 2007.

des deux bas fourneaux entre deux réductions, à moins qu'il n'ait servi d'ancrage à une petite palissade destinée à le protéger des vents lors de son fonctionnement. Par ailleurs, on relève la présence de deux grandes fosses d'extraction de l'argile utile à la construction des fours et d'une nappe de rejets de déchets sidérurgiques⁴⁵.

Des bas fourneaux à scorie piégée et utilisation unique sont également retrouvés durant cette période. Tout d'abord au moins sept de ces fours ont été découverts dans la région du Mans : cinq sur le site de *Changé 2* à Beauvais⁴⁶, un sur le site des *Trois Couleurs* à La Bazoge⁴⁷, et un dernier sur le site du *Bois de Beslan* à La Milesse⁴⁸.

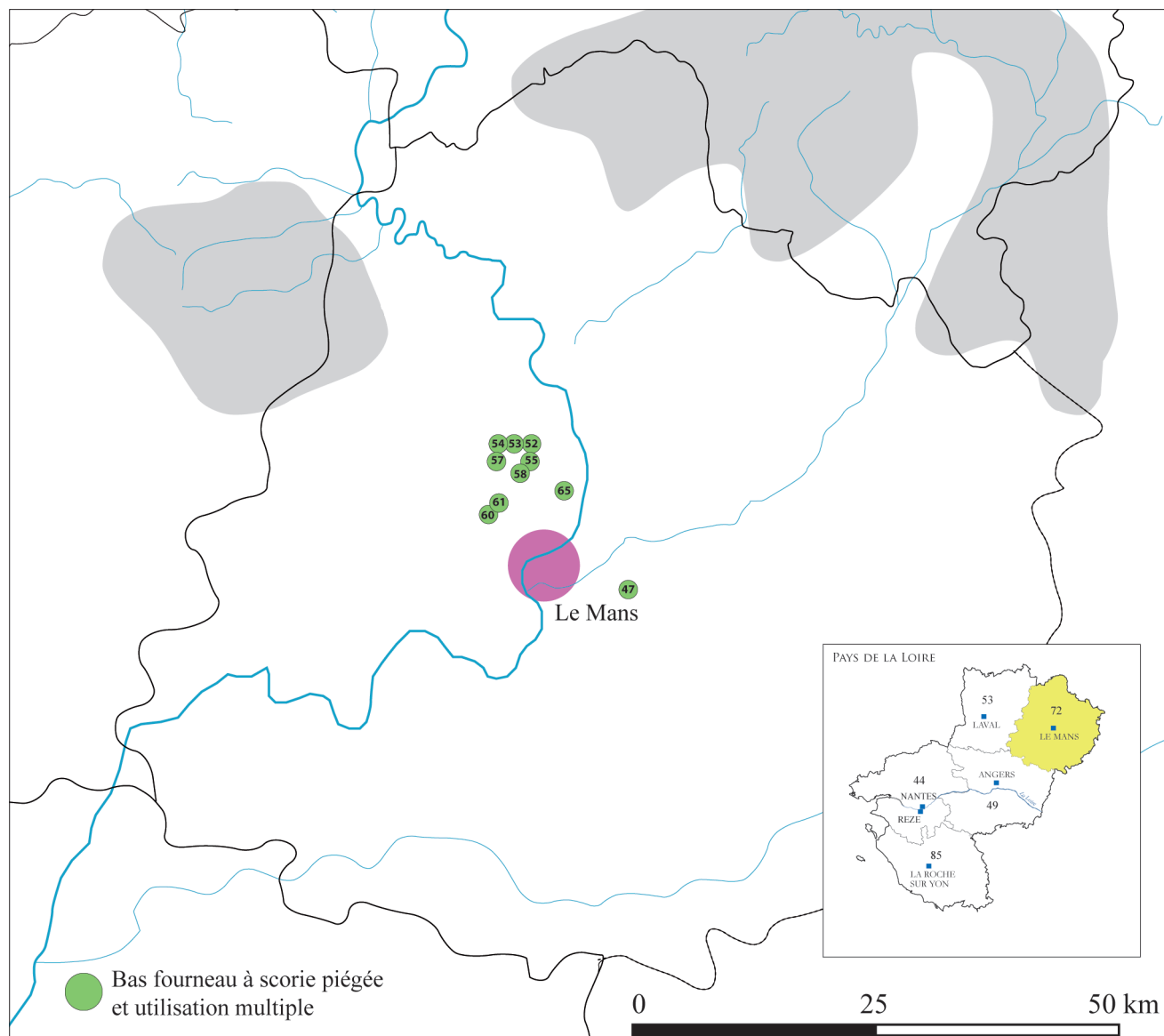


Fig. 9. Répartition des sites de réduction du minerai de fer dans la région du Mans pour la période de La Tène B – La Tène C (N. Zaour, Inrap – les numéros renvoient aux sites en annexe 1).

45. Zaour dans Langlois, éd. 2015.

46. Gallien *et al.* 1997a et Dunikowski *et al.* 1998a.

47. Dunikowski *et al.* 1998b.

48. Zaour dans Langlois 2015.

Toujours dans l'ouest, six de ces fours ont été découverts sur le site de la ZAC de Loiron à La Gravelle en Mayenne⁴⁹, deux autres à La Villa-Pierre II à Quévert dans les Côtes d'Armor ainsi que sur le site du Rocher Abraham à Saint-Pierre-de-Plesguen en Ille-et-Vilaine⁵⁰. Ces sites témoignent du maintien de productions de faible ampleur aux côtés d'autres plus intenses situées parfois à faible distance, comme dans la région du Mans.

Dans le sud-est de l'Île-de-France, les activités de réduction semblent également se poursuivre sans qu'aucune structure de réduction ne soit attestée⁵¹. En revanche, plusieurs sites ont livré des scories de réduction caractéristiques de fourneaux à scorie piégée en contexte d'habitat (annexe 1). Citons les exemples en Seine-et-Marne de Varennes-sur-Seine *Le Marais du Colombier* (IV^e-III^e siècle a.C.) qui a livré, dans le comblement d'un puits, 6,6 kg de déchets de réduction et de l'établissement voisin de Varennes-sur-Seine *Beauchamp* (IV^e-III^e siècle a.C.) qui présente deux fosses ayant livré des blocs de minerai grillés (0,7 kg), des scories denses (2,55 kg⁵²) et des fragments de parois scorifiées (0,2 kg). Dans la vallée de l'Yonne, sur le site de Saint-Julien-du-Sault *Boulins*, des structures fossoyées attribuables à LT B ont livré 4 kg de déchets liés à la réduction, dont un fragment de fond de four à scorie piégée⁵³. Ou encore dans l'Aube, à Buchères *Parc logistique de l'Aube*, où environ 5 kg de scories piégées ont été retrouvées de façon dispersée⁵⁴ dans des niveaux datés entre La Tène A et La Tène C1.

Les matières premières métalliques

Les rares masses brutes de réduction connues pour ces périodes, traduisent comme pour les périodes précédentes, des capacités de production importantes de métal. La masse brute d'Auneau *Le Prieuré* (Eure et Loir, fig. 10⁵⁵), une des rares retrouvées dans un contexte La Tène B, représente ainsi une masse de 15,7 kg d'un mélange d'acier forgeable.

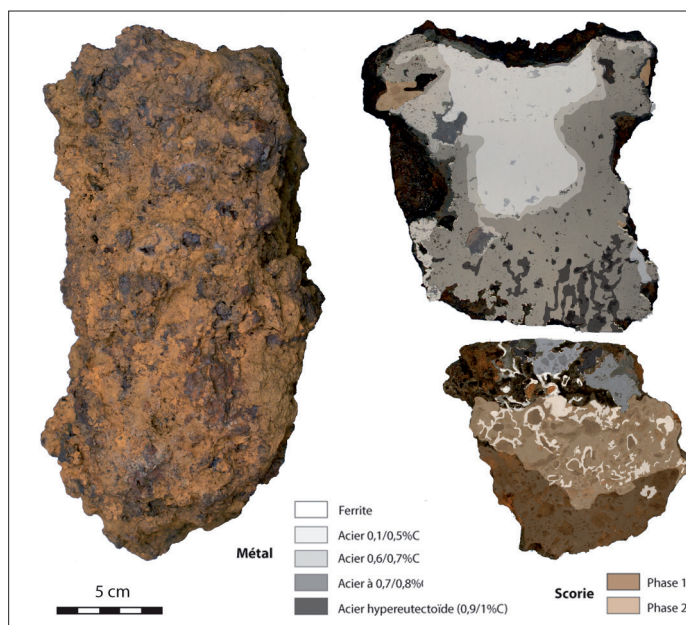


Fig. 10. La masse brute de réduction d'Auneau "Le Prieuré". Caractéristiques morphologiques et internes (M. Berranger, CNRS).

L'étude des matières premières métalliques permet de percevoir un changement dans les modes d'organisation des productions dans le courant du III^e siècle a.C. avec l'apparition d'un nouveau type de demi-produit, le fer plat à extrémité roulée traduisant une plus grande spécialisation entre artisans⁵⁶. Pour le moment, les fers plats à extrémité roulée n'ont pas été retrouvés dans des contextes datés avant La Tène B2. Ce type de demi-produit correspond à une matière première très travaillée, pour laquelle il est possible d'évoquer la notion d'ébauche. Obtenu à l'issue d'une étape d'épuration aboutie et pour certains exemplaires, par l'application de techniques de mises en forme complexes (replis successifs), ce type de demi-produit indique une préparation du métal en amont de l'étape de forge jamais atteinte jusqu'à présent.

Parallèlement, la circulation de produits volumineux et peu épurés, sous forme de bipyramidés et de "Hooked Billet" semble perdurer. La datation radiocarbone des

49. Bonnaventure 2015.

50. Vivet 2007.

51. Dunikowski *et al.* 2007.

52. Leroy & Cabboi, éd. 2013.

53. Poyeton 1999.

54. Berranger dans Riquier, éd. 2014.

55. Berranger in Dupagne, éd. 2010, 160-186.

56. Berranger & Fluzin 2013.

quelques exemplaires retrouvés dans des contextes postérieurs à la Tène A reste néanmoins à entreprendre pour le confirmer, au vu de l'attribution au premier âge du Fer de tous les bipyramidés jusqu'à présent datés par chronologie absolue (voir supra).

S'ajoutant à la gamme des bipyramidés et "*Hooked Billet*", utilisés dans un cadre généraliste, les demi-produits à extrémité roulée sont destinés, quant à eux, à la fabrication d'objets de qualité tels des tôles, épées ou lames diverses. Cette diversification des volumes et des qualités de métal en circulation est très probablement à corrélérer avec une différenciation croissante dans les pratiques en forge et avec une plus grande spécialisation entre ateliers. Cela traduit l'émergence de "marchés" très spécifiques, se développant dans le cadre d'une chaîne de production spécialisée, depuis la préparation du produit brut, jusqu'à la finition de l'objet. Se dessine ainsi un "marché" du fer en forte structuration.

LA FIN DU SECOND ÂGE DU FER : LA TÈNE D

Les espaces de production primaire

Durant La Tène D, les sites de réduction se rencontrent pour la première fois en Gaule méridionale, notamment en Narbonnaise et en Aquitaine (fig. 11). En Gaule du sud, entre la fin du II^e siècle a.C. et le milieu du I^{er} siècle a.C., les moyens de productions sont dispersés auprès des gisements de minerais, et sont constitués d'une juxtaposition de bas fourneaux, éventuellement associée à un foyer d'épuration de la masse brute de réduction⁵⁷. Vers le milieu du I^{er} siècle a.C. ces exploitations se rassemblent au sein de centres de productions tel celui du domaine des Forges aux Martyrs⁵⁸. Les sites de production restent toutefois plus nombreux en Gaule septentrionale et l'on constate au cours de La Tène D cette même tendance au rassemblement de la production au sein de grands centres avec l'utilisation de bas fourneaux aux capacités de production encore plus importantes. Cette orientation d'une production massive de fer dans de grands centres continue par la suite à se développer durant l'Antiquité.

À La Tène D apparaissent ainsi des bas fourneaux au sein desquels la scorie peut s'évacuer hors de la cuve du four au fur et à mesure de l'opération. Comme les bas fourneaux à utilisations multiples développés à la phase précédente, ils sont constitués d'une cuve, d'une sole construite et d'une fosse placée à l'avant (fig. 12). Cette dernière s'élargit et devient une fosse dans laquelle on peut travailler. Surtout, l'agrandissement des fourneaux et un meilleur rendement de la production permettent un accroissement considérable de la production.

En plus des sites ayant livré seulement des déchets de réduction de type scories écoulées, quatorze ont livrés plus de cinquante bas fourneaux à scorie écoulee et utilisations multiples. Plusieurs milliers de tonnes de scories ont été retrouvées sur les sites les plus importants. Les datations de ces ateliers varient entre La Tène C et le Haut-Empire avec une prédominance pour La Tène D.

Un nombre conséquent de ces fours a été découvert dans la région du Mans (fig. 13). Ainsi huit de ces sites ont livré vingt-quatre bas fourneaux à scorie écoulee et utilisations multiples parmi lesquels seuls trois d'entre eux identifiés sur les sites de la ZAC de l'Étoile, Les Venelles à Trangé⁵⁹, et des Guigniers à Saint-Saturnin⁶⁰ n'ont pu être datés. Treize fours ont été découverts sur les communes de Saint-Saturnin, La Bazoge et Fyé⁶¹ et sont datés entre La Tène B/C et le Haut-Empire, soit entre le IV^e siècle a.C. et le I^{er} siècle p.C. Il en est de même pour les huit fours restants qui ont été découverts sur les communes d'Aigné, Neuville-sur-Sarthe et Auvers-le-Hamon⁶².

57. Pagès 2014.

58. Domergue *et al.* 1993.

59. Doyen *et al.* 2005.

60. Pétorin *et al.* 2003.

61. Cabboi *et al.* 2007.

62. Zaour dans Langlois, éd. 2015.

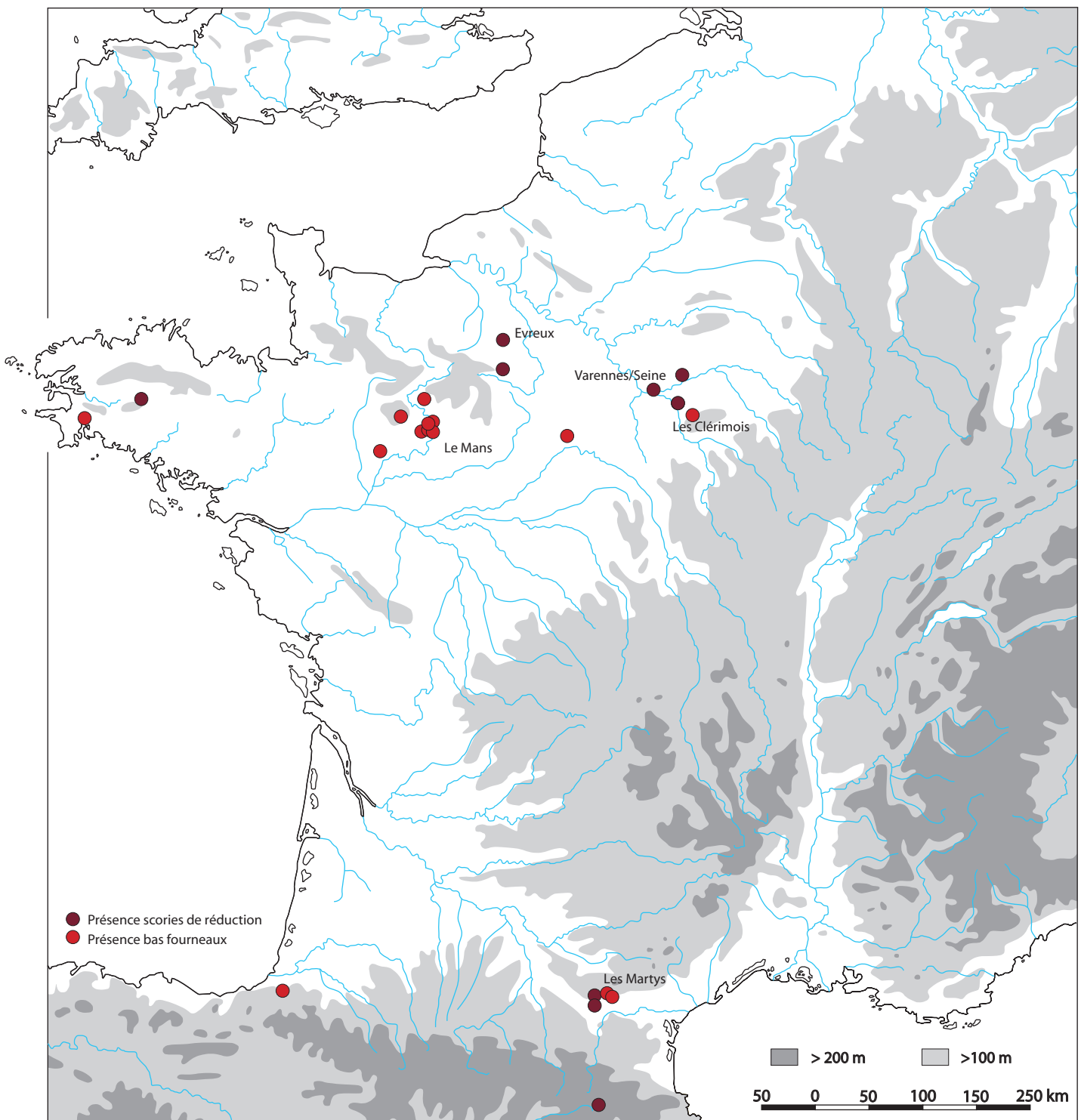


Fig. 11. Répartition des sites de réduction du minerai de fer à l'échelle de la France métropolitaine pour la période de La Tène D.

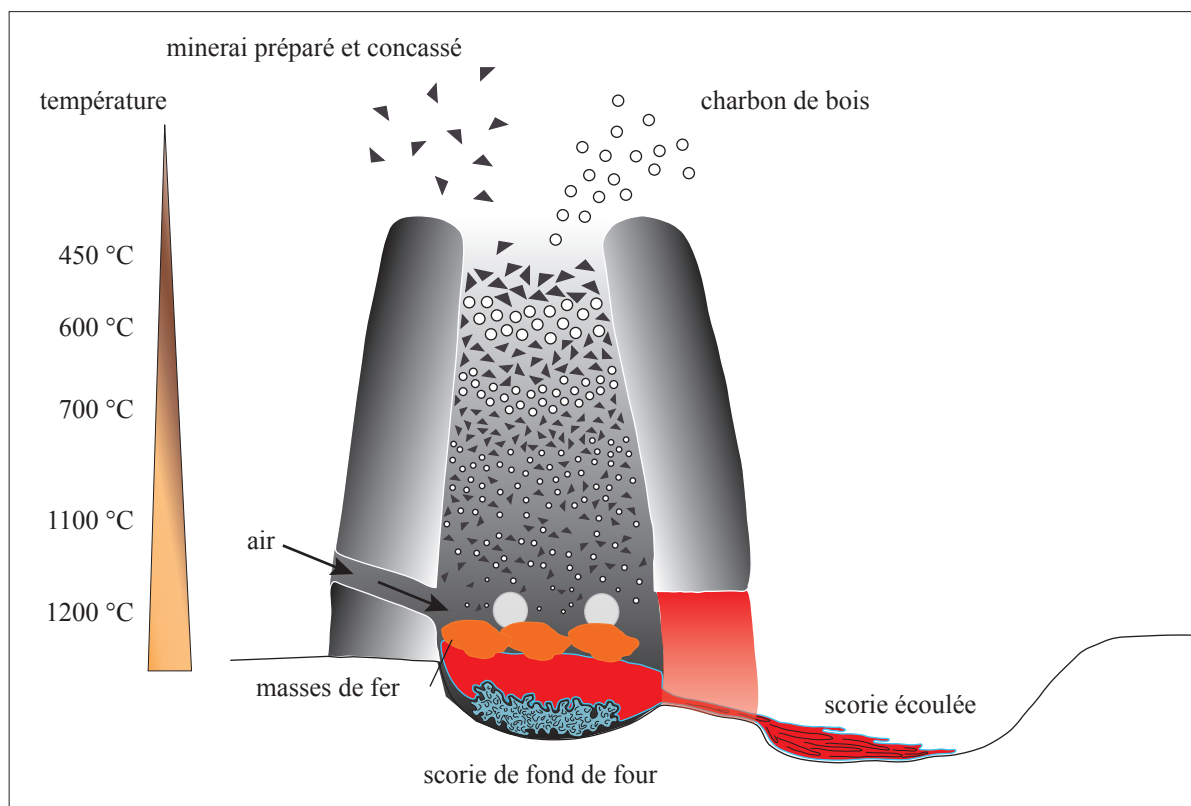


Fig. 12. Schéma de fonctionnement d'un bas fourneau à scorie é coulée et utilisations multiples (N. Zaour, Inrap).

Toujours en Gaule septentrionale, le sud-est de l'Île-de-France est une zone productrice même si cette région ne présente pas de sites de réduction connus hormis celui des Clérimois *Les Fouetteries* dans l'Yonne⁶³. Neuf bas fourneaux à scorie é coulée et utilisations multiples y sont datés entre le I^{er} siècle a.C. et le II^e s. p.C. Des datations C¹⁴ sont actuellement en cours afin de préciser la période de fonctionnement des fourneaux (dans l'état actuel des datations ¹⁴C, les calibrations d'oxcal v.4.2.4. datent les plus anciens des bas-fourneaux de type II entre le IV^e et le I^{er} siècle p.C.). Cette activité est également bien représentée par des indices indirects. En effet, quatre sites d'habitat ont fourni des scories de réduction sans toutefois avoir livré sans toutefois avoir livré de structures de combustion ou une quantité de déchets suffisante pour attester sans conteste d'une activité de réduction sur le site. Il s'agit des sites de Cuy *Noslon*, de Varennes-sur-Seine *Le Marais-du-Pont*, Varennes-sur-Seine *La Justice* et Villiers-sur-Seine *Le Défendable*⁶⁴. Sur l'ensemble de ces sites, une activité d'épuration de masse brute est attestée par des culots très riches en chutes métalliques non agglomérées, mais aussi par la présence systématique de nombreux fragments de métal brut fortement carburés pouvant aller de l'acier hypereutectoïde à de la fonte blanche ou grise. Ces fragments de métal fortement carburés sont similaires à ceux retrouvés sur le site de réduction des Clérimois. Il s'agit des résidus de réduction triés et rejetés comme inaptes au travail sur les sites de réduction et sur les sites d'épuration lors du compactage (première et seconde épuration).

63. Dunikowski *et al.* 1995 ; Cabboi *et al.* 2007.

64. Dunikowski *et al.* 2007.

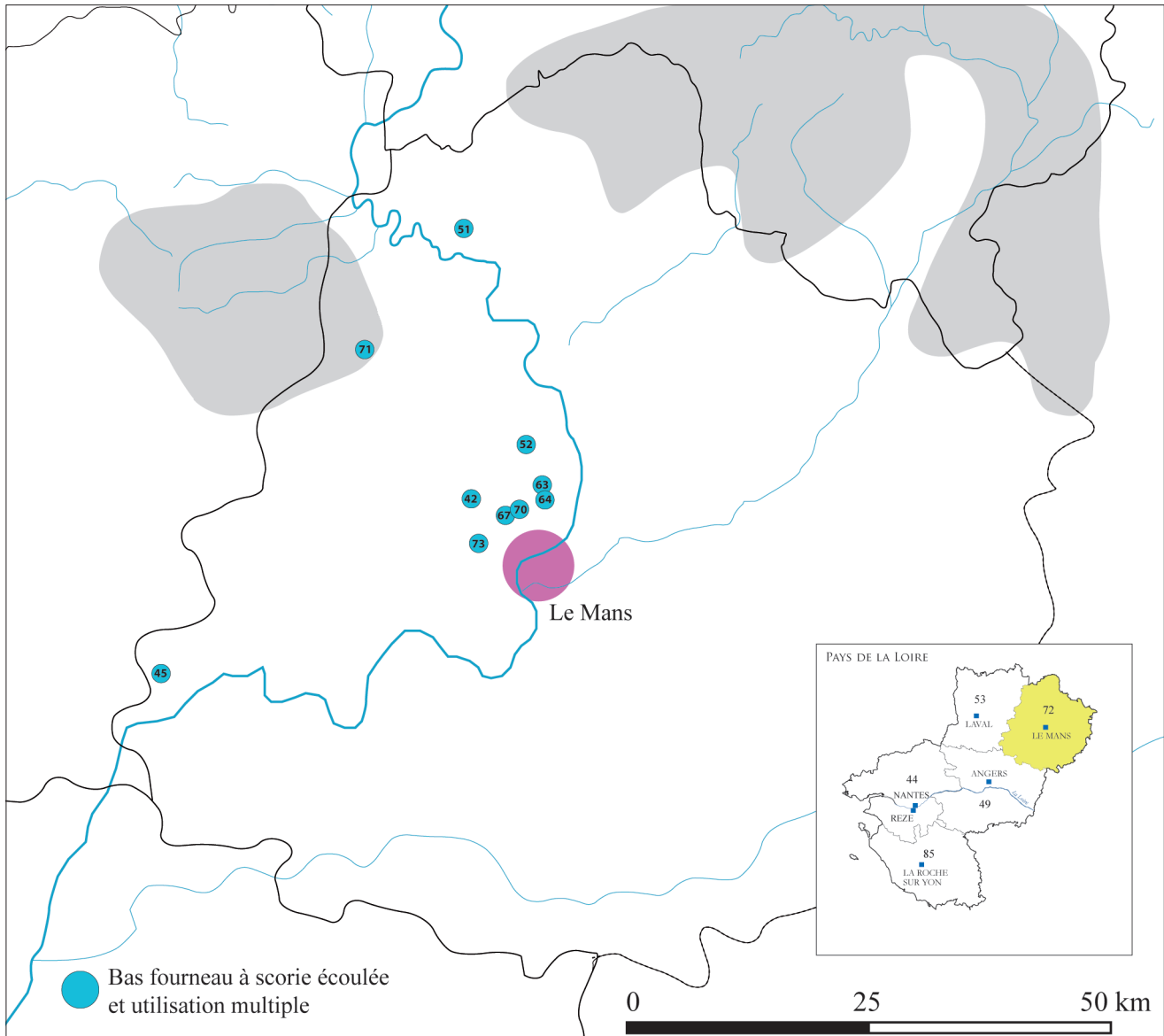


Fig. 13. Répartition des sites de réduction du minerai de fer dans la région du Mans pour la période de La Tène D (N. Zaour, Inrap – les numéros renvoient aux sites en annexe 1).

Pour la Gaule méridionale, les sites de *Montrouch* et du *Domaine des Forges aux Martyrs*⁶⁵ dans l'Aude, ont livré respectivement six et dix bas fourneaux à scorie é coulée. Quant au site de *Larla* à Saint Martin d'Arossa dans les Pyrénées Atlantiques, ce sont plusieurs dizaines de ces fours qui y ont été relevés⁶⁶.

Autour des fours, on constate régulièrement la présence de structures sur poteaux. Ce type d'infrastructure est souvent perçu comme un bâtiment permettant de couvrir le four et son environnement afin de l'abriter des intempéries entre deux réductions. Il est aussi possible d'imaginer la présence de structures de type palissade pour canaliser les vents, ces deux hypothèses

65. Domergue *et al.* 1993.

66. Beyrie 2008.

Fig. 14. Vue d'un bas fourneau à scorie écoulée, entouré de trous de poteaux, à Aigné Houdouard.



n'étant d'ailleurs pas antagonistes, ni exclusives. De nombreux exemples d'aménagements à base de poteaux, associés à des bas fourneaux, ont ainsi été documentés ces dernières années. Sur le site d'*Houdouard* à Aigné en Sarthe quatre bas fourneaux de même type ont été mis au jour (fig. 14). Les deux bas fourneaux les mieux conservés présentaient cet aménagement. Six poteaux étaient associés à l'un d'eux et quatre à l'autre où ils enserraient uniquement la cuve du four. Sur le site de *La Forêt* à Auvers-le-Hamon⁶⁷, dans la Sarthe, un bas fourneau daté du I^{er} siècle a.C. était entouré de huit trous de poteau, placés également à l'arrière et permettant de couvrir un espace rectangulaire de plus de 15 m². Leur dimension importante et la présence de poteaux centraux évoquent une construction avec un toit. Dans ces ateliers des aires de traitement des matériaux sont prévues et les déchets semblent faire l'objet d'une gestion raisonnée. Les indices d'une activité de forgeage sont généralement très rares au sein de ces centres de production. La mise en forme des produits bruts de réduction ne semble donc plus s'effectuer sur les lieux de réduction mais dans des ateliers séparés.

En parallèle, de petites unités de productions fonctionnent encore et des bas fourneaux à scorie piégée et utilisation unique sont toujours utilisés et coexistent avec ces nouveaux fours. Ainsi on en retrouve quinze sur le site du *Champtier de la Bouaze* à Donnemain, en Eure-et-Loir⁶⁸ et un sur le site des *Fouetteries* aux Clérimois dans l'Yonne⁶⁹.

Les matières premières métalliques

Pour cette période, des fragments de masse brute de réduction sont connus plus régulièrement dans les ateliers de forgeage, plus spécifiquement ceux situés en agglomérations, et semblent indiquer le rassemblement des activités d'épuration du métal au sein de grandes agglomérations (comme par exemple Levroux *Les Arènes*, Condé-sur-Suippe *La Sucrierie*, Villeneuve-Saint-Germain *Les Grèves*⁷⁰).

Dans la continuité de la période précédente, la multiplication des formes données au métal en circulation se poursuit. Cela traduit un élargissement dans les qualités de métaux en circulation et un renforcement de l'adéquation entre le type de matière première disponible et le type d'objet à produire.

La prise en compte des principales variantes de *currency-bars* et de barres à douilles permet d'observer trois grandes zones de concentration (fig. 15). Elles se répartissent au sein de macro-régions, de façon relativement exclusive. Le type le plus fréquent à la fois en nombre d'objets et en nombre de lieux de découverte correspond à des barres constituées d'un fer plat sur

67. Mare 2014.

68. Fournier & Milcent 2007.

69. Dunikowski & Cabboi 1995.

70. Bauvais & Fluzin 2014 ; Berranger & Fluzin 2014.

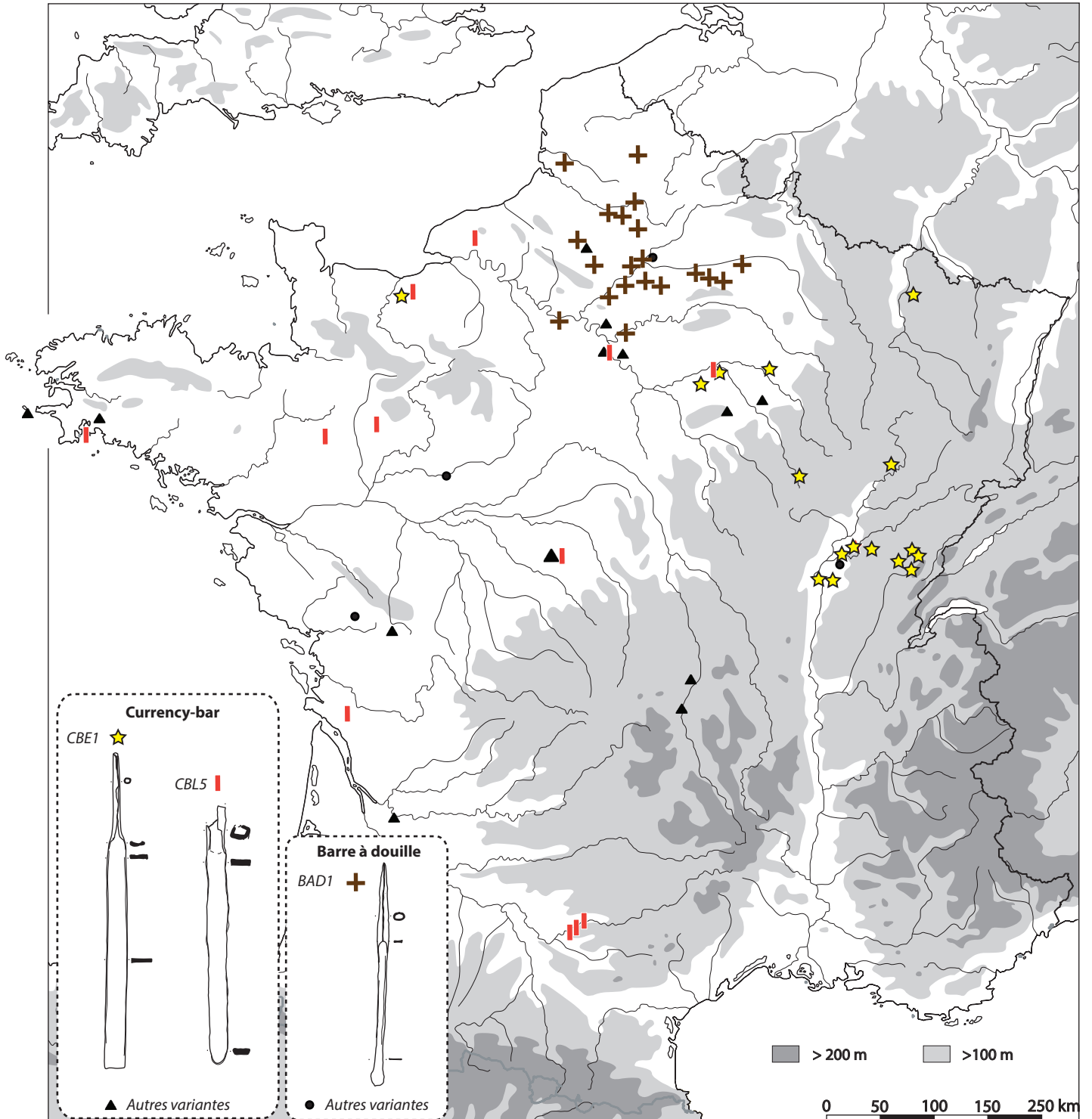


Fig. 15. Répartition des demi-produits à extrémité roulée à l'échelle de la France métropolitaine (M. Berranger, CNRS).

les trois quarts de la longueur, s'achevant sur une extrémité roulée étroite (type CBE₁). L'épaisseur et la largeur du fer plat sont constantes, et les côtés présentent un léger bourrelet latéral indiquant un matage final. Il s'agit de produits pesant généralement entre 400 et 900 g. Ces barres se répartissent sur le quart nord-est de la France et forment la limite sud-occidentale d'une zone de concentration incluant la Suisse et l'Allemagne⁷¹. L'analyse interne d'une vingtaine d'exemplaires révèle des procédés de mise en forme variables : par déformation simple d'une unique masse de métal, par assemblage de plusieurs masses ou encore par replis successifs. La qualité d'épuration est généralement bonne à excellente avec un taux d'inclusion inférieur à 10 %.

Un groupe est principalement attesté dans le nord-ouest de la France jusqu'à la Seine, bien que quelques exemplaires soient connus vers l'estuaire de la Gironde et dans le Tarn. Il s'agit de barres présentant une extrémité large et courte, constitué d'un fer plat épais (supérieur à 10 mm) s'achevant en arrondi (type CBL₅). Elles se caractérisent généralement par une masse importante, pouvant atteindre 2 kg. Les quelques exemplaires analysés métallographiquement ont une qualité d'épuration moindre par rapport aux barres CBE₁ et ne sont jamais formés par replis successifs.

Le Bassin parisien livre une forte concentration de fers plats à extrémité roulée, très légers (d'une masse inférieure à 200 g), dont la partie roulée est conique (type BAD₁). Ils sont également présents en plus faible nombre en Belgique et dans l'est de l'Allemagne, la Seine semblant constituer la limite sud de leur répartition. Les caractéristiques internes de ces barres sont connues par l'analyse de plusieurs dizaines d'exemplaires et révèlent des conditions de fabrication très standardisées⁷². Il s'agit d'objets à la qualité d'épuration excellente, mis en forme par replis successifs, auxquels une opération de cémentation (apport de carbone par les surfaces) a été appliquée dans un dernier stade de fabrication. Ces produits fortement normalisés sont destinés à la fabrication d'objets de taille limitée (masse inférieure à 200 g) aux très bonnes qualités mécaniques.

Ces exemples montrent que morphologie, métrologie et caractéristiques internes (fig. 16) diffèrent d'une variante à une autre, mais sont partagées au sein d'un même groupe typologique. Ces variantes résultent donc de chaînes opératoires différenciées, qui pourraient caractériser des traditions d'ateliers distinctes. Elles reflètent une rationalisation et une diversification des modes d'acquisition des matières premières métalliques qui peuvent être corrélées avec les multiples variations documentées dans la pratique des activités de post-réduction au sein des ateliers. Réparties en fonction d'une sectorisation géographique forte, les variantes de demi-produits à extrémité roulée connaissent rarement une circulation parallèle au sein d'une même région. Il est donc possible d'envisager que la production et la circulation de ces matières premières s'avéraient relativement cloisonnées et éventuellement soumises à des contraintes fortes, dont les mécanismes restent encore à préciser.

SYNTHÈSE

Le présent bilan permet de relever l'existence, de façon contemporaine, de micro-productions comme de productions intensives. D'importants volumes de production sont documentés dès le premier âge du Fer dans la région du Mans où des réductions en séries ont été pratiquées notamment sur le site d'Aigné *Touzeau*. Des ensembles de demi-produits datés de cette période témoignent également de ces productions intensives : ainsi les 51 bipyramidés de Durrenentzen datés du premier âge du Fer représentent à eux seuls plus de 308 kg de métal épuré. Dès le premier âge du Fer, semblent se côtoyer des espaces de production importante dans la Sarthe et des sites de réduction plus ponctuels comme en région ébroïcienne ou en Lorraine centrale. Cette même tendance se poursuit durant La Tène B/C et La Tène D. Des volumes de productions considérables sont constatés dans des ateliers où se développent de nouvelles technologies de bas fourneaux standardisés (à scorie piégée et utilisation multiples, puis à scorie écoulee). Parallèlement, des productions ponctuelles perdurent à partir de bas fourneau à utilisation unique, qui sont parfois situés à proximité des ateliers exportateurs.

Toutes périodes confondues et quelle que soit leur taille, ces centres se localisent principalement dans le sud du Bassin parisien et dans le nord-ouest de la France. Même si l'état de la recherche peut en partie expliquer ce phénomène, les espaces de production primaires semblent perdurer sur la longue durée dans certaines zones géographiques (région du Mans, région d'Évreux, sud de l'Île de France/nord de l'Yonne etc.) entre le Hallstatt D et La Tène D, et parfois au-delà. Cela pourrait refléter

71. Berranger 2014, fig. 33.

72. Bauvais 2007 ; Berranger 2014 ; Berranger *et al.* 2007.

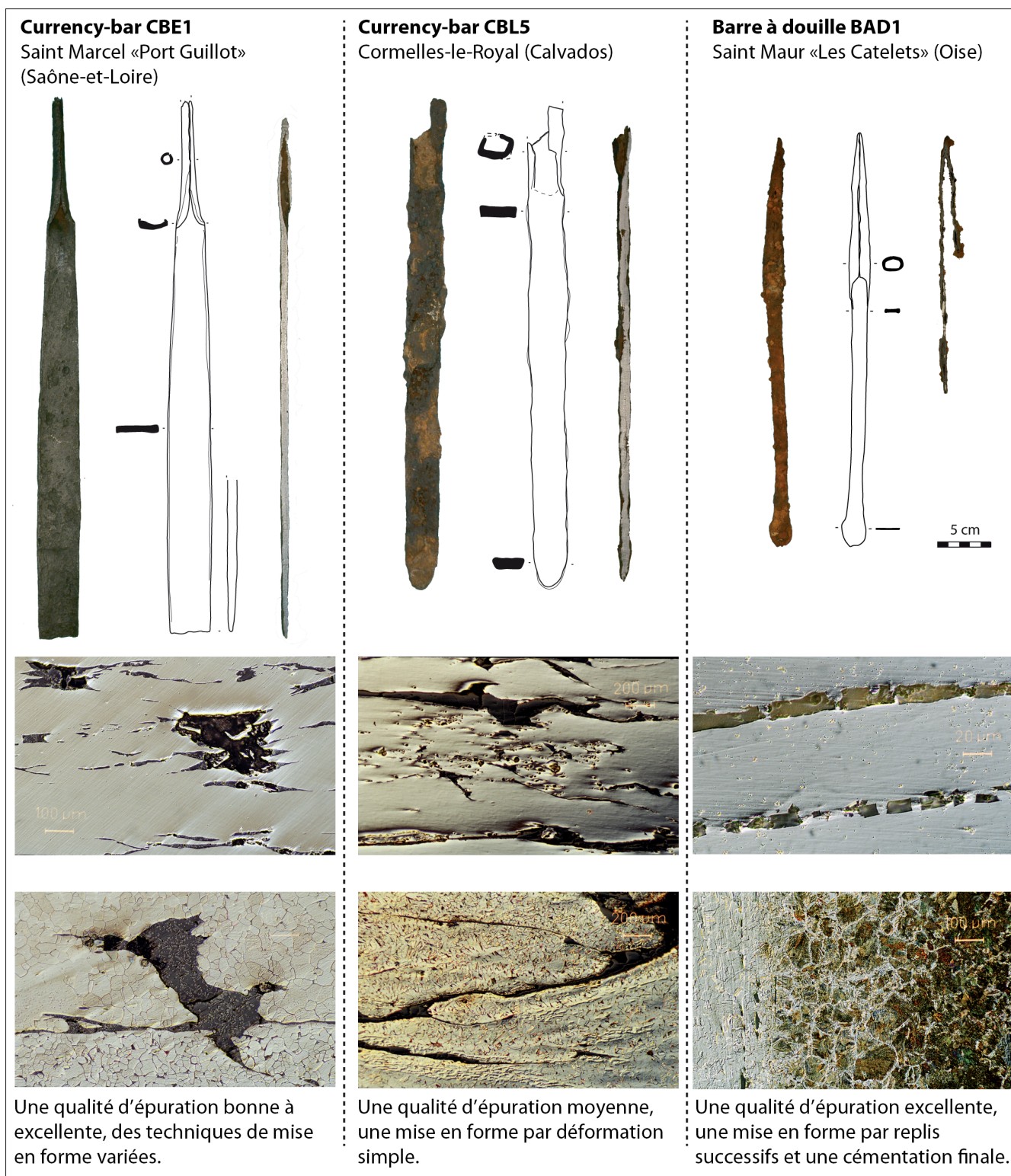


Fig. 16. Caractéristiques métrologiques et internes des demi-produits de type CBE1, CBL5 et BAD1 (M. Berranger, CNRS).

le maintien de traditions techniques permis par des ressources locales adaptées, mais aussi la continuité d'une volonté politique qui en retire richesse et pouvoir. Dans le sud-ouest de la France, quelques grands centres de production apparaissent à la fin de la période, après que ces régions aient été conquises par Rome. Pour ces centres productifs, l'archéologie comme l'épigraphie documentent un contrôle par une autorité proche de Rome⁷³.

Les cartes de répartition des demi-produits révèlent un notable déséquilibre nord-sud. À l'échelle métropolitaine, la plupart des découvertes de demi-produits se répartissent dans la moitié nord, au-delà d'une limite matérialisée par la Loire. Un deuxième déséquilibre est-ouest est flagrant, du fait d'une plus grande concentration des demi-produits dans les régions actuelles d'Alsace, de Lorraine, de Picardie et d'Île de France. Ces répartitions différentielles permettent d'observer une certaine exclusion entre les zones productrices de métal et celles livrant des demi-produits. Ce phénomène pourrait être expliqué par l'exportation des demi-produits, éventuellement à longue distance, vers des régions de consommation d'un métal "prêt à l'emploi" (zones non productrices). Néanmoins, rappelons que ces objets sont retrouvés dans leur très grande majorité en dépôts, hors des ateliers de transformation⁷⁴. Les cartes de répartition reflètent donc autant des limites d'espaces aux pratiques culturelles distinctes, que des zones de consommation du métal.

Des changements technologiques et organisationnels sont perceptibles sur toute la période étudiée. Les mêmes technologies de bas fourneaux sont documentées sur toute l'aire géographique concernée. Ils se divisent en trois types principaux en fonction des modalités d'évacuation de la scorie et de leur réutilisation. Le premier type à utilisation unique et à scorie piégée perdure durant toute la période étudiée. Le deuxième type, à scorie piégée et à utilisations multiples semble apparaître à la fin du premier âge du Fer ou au début du second âge du Fer. Il se retrouve pour l'instant quasi exclusivement dans la région du Mans. Et enfin un dernier type, avec scorie évacuée hors de la cuve serait plutôt caractéristique de La Tène D et perdure durant l'époque gallo-romaine.

Durant les périodes les plus anciennes, soit entre Le Hallstatt D et La Tène C, opérations de réduction et post-réduction sont fréquemment associées dans les ateliers étudiés. Parallèlement, l'assemblage de plusieurs masses de métal issues d'ateliers de réduction différents au sein d'un même demi-produit indique l'existence, dès le Hallstatt D, d'ateliers d'épuration spécialisés, s'approvisionnant auprès de sources variées. Ces ateliers d'épuration semblent partager un système de référence commun, démontrant l'existence d'un système d'échange complexe et organisé. Durant La Tène D, réduction et post-réduction sont plus systématiquement déconnectées géographiquement, ce qui conduit potentiellement à une multiplication des intermédiaires lors des échanges des matières premières métalliques. La réduction paraît alors se rassembler dans des centres spécialisés autour de bas fourneaux aux capacités de production plus importantes. Le constat est similaire pour les matières premières métalliques dont la transformation semble être regroupée dans des centres de production.

Bien que complexe à appréhender, une emprise sur les moyens de production sidérurgique semble visible dès les débuts de la production sidérurgique dans nos régions. Cela se traduit notamment par une tendance au regroupement des opérations de réduction au sein de grands centres organisés, tel à Aigné *Touzeau* (Sarthe) pour le Hallstatt D, ou au Clérimois *Les Fouetteries* (Yonne) à La Tène D. De façon récurrente, des liens sont supposés entre sites de production et siège du politique, notamment au stade de l'épuration des masses brutes de réduction. Au premier âge du Fer, les sites Lorrains de Gondreville et de Velaine-en-Haye semblent être des ateliers spécialisés dans la production de fer brut et sa première mise en forme (compactage/épuration), conjointement à une fonction de stockage de la production agricole, au profit de l'approvisionnement du pôle princier de la *Cité d'Afrique*. Les mêmes cas de figure sont documentés pour La Tène D, avec le regroupement apparent de l'activité d'épuration au sein de certaines grandes agglomérations et le plus grand cloisonnement constaté dans la circulation du métal, qui indiquerait l'existence de contraintes dans leurs conditions de production et de diffusion.

73. Sablayrolles 1989.

74. Berranger 2014.

CONCLUSION

Le présent bilan fait apparaître une forte disparité de la documentation en fonction des périodes retenues. Étonnamment les périodes les plus anciennes, celles du Hallstatt D3-La Tène A sont celles qui livrent le plus grand nombre de sites et la documentation la plus fournie. La Tène B/C reste encore peu documentée, mais cette phase est de manière générale encore mal appréhendée d'un point de vue archéologique. Enfin, le regroupement de la production au sein de grands centres pourrait expliquer la relative sous-représentation des sites de réduction constatée pour La Tène D.

Les perspectives d'études dégagées à l'issue de ce travail collectif sont nombreuses : identifier plus précisément les spécificités régionales, apparemment fortement contrastées à la fois dans l'organisation des productions et la circulation des matières premières ; poursuivre systématiquement les caractérisations archéométriques des lieux de réduction et des produits ferreux en circulation ; définir l'aire de diffusion des produits issus des grands centres de production connus aussi bien durant le Hallstatt D3/La Tène A, que durant La Tène D. La multiplication des travaux engagés en métallurgie ces dernières années, la systématisation d'une archéométrie basée sur les méthodes de l'archéologie et de l'archéométrie, et la mise en place de programmes d'études ambitieux sont les meilleurs atouts actuels qui permettront d'avancer sur ces questions.

Références bibliographiques

- Bauvais, S. (2007) : *Évolution de l'organisation des activités de forge dans le nord du Bassin parisien au second âge du fer. Études pluridisciplinaires de la chaîne opératoire en métallurgie du fer*, I-III, thèse de doctorat, Université de Belfort-Montbéliard.
- (2008) : "Du prestige à la proto-industrie : évolution des pratiques sidérurgiques au second âge du Fer dans le nord du Bassin parisien", *The Arkeotek Journal* [en ligne], 2 (4), consulté le 27 décembre 2016. URL : <http://www.thearkeotekjournal.org/tdm/Arkeotek/fr/archives/2008/4Bauvais.xml>.
- Bauvais, S., R. Schwab, M. Brauns et P. Dillmann (2011) : "Circulation of Iron Products in the Iron Age of Eastern France and Southern Germany: multidisciplinary and methodological approaches towards the provenance of ancient iron, a DFG-ANR project", in : Hauptmann *et al.*, éd. 2011, 95-96.
- Bauvais, S. et P. Fluzin (2014) : "Organization of forging activities in northern Paris Basin agglomerations (France) during the final La Tène", in : Cech & Rehren, éd. 2014, 133-146.
- Bauvais, S., P. Dillmann, A. Disser, S. Leroy, M. Berranger, G. Pagès et E. Vega (2015) : *Circulation of Iron Products in the Iron-Age of Eastern France and Southern Germany: Multidisciplinary and Methodological Approaches Towards the Provenance of Ancient Iron*, rapport final du programme ANR-DFG CIPIA.
- Beck, P., P. Braunstein et A. Ploquin (2008) : "Mines et ferriers du Moyen Âge en forêt d'Othe (Aube, Yonne), approches historiques et archéologiques", *RAECE*, 57, 333-365.
- Berranger, M. (2014) : *Le Fer, entre matière première et moyen d'échange, en France du VII^e au I^{er} s. a.C. Approches interdisciplinaires*, Dijon.
- Berranger, M., S. Bauvais et P. Fluzin (2007) : " 'Socket bars': multi-disciplinary results (archaeology and archaeometry) on a specific iron semi-product in the northern Parisian basin (France)", in : *Archaeometallurgy in Europe 2007, Proceedings of the international conference of Grado-Aquileia, 17-21 June 2007*, Milan.
- Berranger, M. et P. Fluzin (2013) : "Structuration et contexte des échanges en métallurgie du fer durant la protohistoire. Une approche interdisciplinaire à partir des matières premières métalliques", in : *AFEAF 2011*, 609-629.
- (2014) : "Organisation of bloomsmithing activities in agglomeration at the end of the Iron Age (France – IInd-Ist century B.C.)", in : Pernicka & Schwab, éd. 2014, 59-71.
- Berranger M., S. Bauvais, M. Boukezzoula, S. Leroy, A. Disser, E. Vega, M. Aubert, P. Dillmann et P. Fluzin (2017) : "Analyse technologique, étude de provenance et datation par le radiocarbone du dépôt de demi-produits ferreux de Durrenentzen (Haut Rhin, France) : une vision renouvelée de l'économie du fer au premier âge du fer", *Archéoscience* 2017.

- Beyrie, A. (2008) : "Extraction et exploitation du fer sur le site antique de Larla (Saint Martin d'Arossa, Pyrénées Atlantiques)", *Archéopages*, 22, 32-33.
- Bonnaventure, B. (2015) : "Un site de réduction du minerai de fer de l'âge du Fer à la Gravelle (Mayenne)", *Bulletin de l'AFEAF*, 33, 41-43.
- Buret, G. (1997) : *Écuellenes (77). "Charmoy" carrière Piketty*, DFS, Inrap Centre Île-de-France, SRA Île-de-France.
- Cabboi, S. et C. Bonniol-Jarrier (1998a) : *A 28, section Alençon – Le Mans – Tours, commune de Fié (72), "Courtemiche"*, rapport d'évaluation, AFAN, Ministère de la Culture, SCAO, SOCASO, COFIROUTE.
- Cabboi, S. et C. Bonniol-Jarrier (1998b) : *Commune de La Bazoge (72) "Les Barres II". A28 section Alençon-Le Mans-Tours*, rapport de fouille, Ministère de la Culture, SCAO, SOCASO, COFIROUTE.
- Cabboi, S., C. Dunikowski, M. Leroy et P. Merluzzo (2007) : "Les systèmes de production sidérurgique chez les Celtes du Nord de la France", in : *AFEAF 2004-2*, 35-62.
- Carpentier, V. et E. Sehier (2012) : *Allonnes (Sarthe), Zac du Monné Tranche 1 "site antique" : Établissements et parcellaires de l'âge du Bronze à l'an mil au sud du Mans*, rapport de fouille, Inrap Grand Ouest, SRA Bretagne.
- Carpentier, V. et A. Lefort (2012) : *Allonnes (Sarthe), ZAC du Monné "Le Pâtis" : Un enclos de la fin de l'âge du Fer au sud du Mans*, rapport de fouille, Inrap Grand Ouest, SRA Bretagne.
- Casasoprana, C. (2009) : *Pontault-Combault (Seine-et-Marne), "RD 21" : (Cimetière Paysager)*, rapport de diagnostic, Inrap Centre Île-de-France, SRA Île-de-France.
- Cech, B. et T. Rehren, éd. (2014) : *Early iron in Europe*, Monographie Instrumentum 50, Montagnac.
- Decombeix, P.-M., C. Domergue, J.-M. Fabre, A. Gorgue, C. Rico, F. Tollon et B. Tournier (2000) : "Réflexions sur l'organisation du fer à l'époque romaine dans le bassin supérieur de la Dure, au voisinage des Martyrs (Aude)", *Gallia*, 57, 23-36.
- Defressigne, S. et M. Leroy (2013) : "L'organisation de la production du fer au cours de l'âge du fer dans le bassin médian de la Moselle", in : Leroy & Cabboi, éd. 2013, 1, 41-78.
- Defressigne, S., N. Tikonoff, K. Boulanger-Bouchet, C. Chausse et C. Tesnier-Hermety (2002) : "Les gisements d'habitat de la fin du premier âge du fer à Gondreville – Fontenoy-sur-Moselle (54). Le stockage intensif et ses conséquences économiques et sociales", *Archeologia Mosellana*, 4, 81-184.
- Dieudonné-Glad, N. (2015) : *Une zone de production de fer du Hallstatt final et de la Tène ancienne : Meunet-Planches (Indre)* [en ligne], consulté le 27 décembre 2016. URL : <http://herma.labo.univ-poitiers.fr/non-classe/une-zone-de-production-de-fer-du-hallstatt-final-et-de-la-tene-ancienne-meunet-planches-indre/>
- Dillmann, P. et M. L'Héritier (2007) : "Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes", *Journal of archaeological Science*, 34 (11), 1810-1823.
- Disser, A. (2014) : *Espaces de production du fer en Lorraine et diffusion des produits sidérurgiques lorrains : apports des analyses par dosage d'éléments traces et statistiques*, thèse de doctorat, Université de Belfort-Montbéliard.
- Domergue, C., éd. (1989) : *Minería y metalurgia en las Antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas, Coloquio internacional asociado, Madrid, 24-28 octubre 1985*, Madrid.
- Domergue, C., B. Cauuet, E. Lavieille, J.-M. Pailler, R. Sablayrolles et P. Sillieres (1993) : *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martyrs, Aude)*, RAN Suppl. 27, Paris.
- Doyen, D., V. Deloze, F. Mélec, C. Pont-Tricoire et N. Zaour (2005) : *Commune de Trangé (Sarthe), Espace d'activités de l'Étoile*, rapport de diagnostic archéologique, Inrap Grand Ouest, SRA Pays de la Loire.
- Dubreucq, É. (2013) : *Métal des premiers celtes, productions métalliques sur les habitats des provinces du Hallstatt centre-occidental*, Dijon.
- Durand, S., F. Blaser, O. Cotte et C. David (2010) : *Saint-Mard (Seine-et-Marne), ZAC de la Fontaine du Berger*, rapport de diagnostic, Inrap Centre Île-de-France, SRA Île-de-France.
- Dunikowski C., J.-M. Segulier et S. Cabboi (2007) : "La production du fer protohistorique au sud-est du bassin Parisien", in : *AFEAF 2004-2*, 279-289.
- Dunikowski, C., C. Bonniol-Jarrier, V. Deloze, A. Gauthier, M. Gutierrez-Berga, V. Pommier et N. Soupart (1998b) : *Commune de La Bazoges (72) "Les Trois Couleurs". A 28 section Alençon-Le Mans-Tours*, rapport de fouille, AFAN, Ministère de la Culture, SCAO, SOCASO, COFIROUTE.
- Dunikowski, C. et S. Cabboi (1995) : *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, DAF 51, Paris.

- Dunikowski, C., S. Soupart et C. Bonniol-Jarrier (1998a) : *Commune de Beauvais (72) "Changé". A 28 section Alençon-Le Mans-Tours*, rapport de fouille, AFAN, Ministère de la Culture, SCAO, SOCASO, COFIROUTE.
- Dupagne, J., éd. (2010) : *Auneau (Centre, Eure-et-Loir) "Le Prieuré". Une occupation rurale de la Tène ancienne. Projet d'aménagement de déviation routière*, rapport de fouille archéologique, Conseil général d'Eure et Loir, SRA Centre-Val-de-Loire.
- Fabre, J.-M. et D. Rigal (2007) : "Les vestiges d'ateliers sidérurgiques de l'âge du Fer sur les sites de l'autoroute A20 : Courcan (Cours, Lot)", in : *AFEAF 2004-2*, 125-131.
- Fencke, E., éd. (2010) : *Fontaine-la-Guyon (Centre-Eure-et-Loir). Lieu-dit "Les Déserts". Fouille d'une occupation rurale de la fin de La Tène finale, centre informatique Diderot, I-II*, rapport de fouille archéologique, Conseil général d'Eure et Loir, SRA Centre-Val-de-Loire.
- Fluzin, P., M. Berranger, S. Bauvais, G. Pagès et P. Dillmann (2012) : "An archaeological and archaeometrical approach of ferrous semi-product: typology, quality, and circulation", *Notizie Archeologiche Bergomensi*, 20, 195-204
- Fluzin, P., A. Ploquin et V. Serneels (2001) : "Moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe. Dossier mines et métallurgies en Gaule : recherches récentes", *Gallia*, 57, 101-122.
- Fournier, L. et P.-Y. Milcent (2007) : "Actualité des recherches sur l'économie du fer protohistorique dans la Région Centre", in : *AFEAF 2004-2*, 85-105.
- Foy, D. et M.-D. Nenna, éd. (2003) : *Échanges et commerce du verre dans le monde antique, Actes du colloque de l'Association française pour l'archéologie du verre, Aix-en-Provence, 7-9 juin 2001*, Monographie instrumentum 24, Montagnac.
- Gallien, V., X. Dubillot et A. Boivin (1997a) : *Commune de Beauvais (72) "Changé". A28 section Alençon-Le Mans-Tours*, rapport d'évaluation, AFAN, Ministère de la Culture, SCAO, SOCASO, COFIROUTE.
- Gallien, V., B. Aubry, C. Bonniol-Jarrier, V. Deloze, D. Guiomard, V. Pommier et E. Rubington (1997b) : *Commune de La Bazoges (72) "Les Maisons Neuves". A28 section Alençon-Le Mans-Tours*, rapport de fouille, AFAN, Ministère de la Culture, SCAO, SOCASO, COFIROUTE.
- Gomez de Soto J. et I. Kerouanton (2009) : "Les premiers objets en fer en France, à l'âge du Bronze", in : *AFEAF 2006*, 501-506.
- Hauptmann, A., D. Modarressi-Tehrani et M. Prange, éd. (2011) : *Archaeometallurgy in Europe III, Proceedings of the IIIrd International Conference, Bochum, 29 June-1 July 2011*, Bochum.
- Honoré, D., G. Leon et N. Roudié (2007) : "Deux sites de réduction et de forge de l'âge du Fer en Normandie", in : *AFEAF 2004-2*, 117-124.
- Langlois, J.-Y., éd. (2015) : *Le bassin sidérurgique du nord du Mans de l'âge du Fer au Moyen Âge. Pays de la Loire, Sarthe (72), LGV Bretagne/Pays de la Loire – section 17, La Milesse "Bois de Beslan", I-III*, rapport d'opération de fouille archéologique, Inrap Grand Ouest, SRA Pays-de-la-Loire.
- Le Bihan, J.-P. et P. Galliou (1974) : "Les forges antiques de Quimper-Kermoisant", *Archéologie en Bretagne*, 4, 7-12.
- Lelong, A. (1991) : "Une cachette de métallurgiste à Nottonville (Eure et Loir)", *RACF*, 30, 159-161.
- Leroy, M. et S. Cabboi, éd. (2013) : *Les formes d'organisation de la production du fer en métallurgie ancienne. Systèmes de production et chaînes opératoires dans les ateliers de l'est du Bassin parisien de l'âge du Fer au haut Moyen Âge. Projet collectif de recherche*, 1-3, RFS, LMC, Inrap, MCC, LAM-Grand-Nancy.
- Leroy, M. et P. Merluzzo (2007) : "Déchets d'activités sidérurgiques de Saint Martin des Champs", in : Milcent, éd. 2007, I, 175-188, pl. 150-156.
- Leroy, M., P. Merluzzo et C. Le Carlier (2015) : *Archéologie du fer en Lorraine, minette et production du fer en bas-fourneaux dans l'Antiquité et au Moyen Âge*, Knutange.
- Leroy, S., E. Delque-Kolic, J.-P. Dumoulin, C. Moreau et P. Dillmann (2013) : "Datation radiocarbone des alliages ferreux anciens", in : *Actes du colloque Sciences des matériaux du patrimoine culturel 2, Paris, 20-21 novembre*, Paris, 57-63.
- Lukas, D., éd. (2010) : *De la ferme gauloise à la villa gallo-romaine, Parville (Eure)*, I-IV, rapport de fouille, Inrap Grand Ouest, SRA Normandie.
- Mangin, M., éd. (2004) : *Le fer*, Paris.
- Mare, E., éd. (2014) : *Coulans-sur-Gée (Sarthe), Les Nouis, LGV Bretagne – Pays de la Loire : Exploitation agricole gauloise en pays cénomane et occupation médiévale*, rapport de fouille, Inrap Grand Ouest, SRA Pays de la Loire.
- Marcigny, C., éd. (2006) : *Guichainville et le Vieil Évreux, le long Buisson*, I-X, rapport de fouille, Inrap Grand Ouest, SRA Normandie.
- Marty, M.-T. et M.-L. Maraval (2003) : "Les verres de la villa de Co d'Espérou (Saint Deni, Aude)", in : Foy & Nenna, éd. 2003, 481-504.
- Meuret, J.-C. (1997-1998) : *Peuplement ancien de la haute vallée de l'Oudon (Mayenne)*, fouille programmée annuelle, SRA Pays de la Loire.
- Michel, M. (2008) : *Saint-Sébastien de Morsent, Avenue François Mitterrand – Rue de la Garenne (Eure)*, RFO, SRA Normandie.
- Milcent, P.-Y., éd. (2007) : *Bourges Avaricum un centre proto-urbain celtique du v^e s. a.C. : les fouilles du quartier Saint-Martin-des-Champs et les découvertes des établissements militaires*, I-II, Bourges.

- Mut, G. (2001) : "Les forges de Baillestavy", in : Sablayrolles, éd. 2001, 141-153.
- Pagès, G. (2010) : *Artisanat et économie du fer en France méditerranéenne de l'Antiquité au début du Moyen Âge : une approche interdisciplinaire*, Montagnac.
- (2014) : "Productions, commerces et consommation du fer dans le Sud de la Gaule de la Protohistoire à la domination romaine", *Gallia*, 71 (2), 47-67.
- Pernicka, E. et R. Schwab, éd. (2014) : *Under the volcano, Proceedings of the international Symposium on the metallurgy of the European Iron Age (SMEIA), Mannheim, 20-22 avril 2010*, Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft 5, Rahden.
- Petorin, N., V. Deloze et B. Oliveau (2003) : RN 138. *Déviations de Saint-Saturnin*, diagnostic archéologique, Inrap Grand-Ouest, SRA Pays de la Loire.
- Pioger, A. (1971-1972) : "Bas Foyers à Lavardin (Sarthe)", *Bulletin de la Société d'agriculture, sciences et arts de la Sarthe*, 73, 1971-1972.
- Poyeton, A. (1999) : Établissements du deuxième âge du Fer à Saint-Julien-du-Sault "Les Boulins" (Yonne), DFS, Inrap Grand Est Sud, SRA Bourgogne.
- Quenez, J.-P. (2011) : Villiers-sur-Seine "Le Défendable", DFS, Inrap Centre-Île-de-France, SRA Île-de-France.
- Riquier, V., éd. (2014) : *Buchères, Mousse, Saint-Léger-près-Troyes (Aube), Parc logistique de l'Aube ; l'évolution d'un terroir dans la plaine de Troyes (I et II : campagnes de fouille 2005 et 2006)*, I-VIII, rapport de fouille archéologique, Inrap Grand Est Nord, SRA Champagne-Ardenne.
- Sablayrolles, R. (1989) : "L'administration des mines de fer en Gaule romaine", in : Domergue, éd. 1989, 157-159.
- Sablayrolles, R., éd. (2001) : *Les ressources naturelles des Pyrénées : leur exploitation durant l'Antiquité, Actes de la table ronde de Toulouse, octobre 1999*, Entretiens d'archéologie et d'histoire de Saint Bertrand de Comminges, Saint Bertrand de Comminges.
- Saint Didier, G. (2013) : *La métallurgie du fer dans le Poitou de la Tène finale au Moyen Âge central*, I-II, thèse de doctorat, Université du Maine.
- Sarreste, F. (2011) : *La sidérurgie antique dans le Bas Maine*, Tours.
- Vivet, J.-B. (2001) : "Le Rocher Abraham, St Pierre-de-Plesguen (35) un témoin essentiel de l'activité sidérurgique gauloise du nord de la Haute Bretagne", *Les dossiers du CeRAA.*, 29, 79-94.
- (2006) : *Le Bois Jacob en Paimpont (35) : activité minière et réduction directe à partir du I^{er} âge du Fer / Les Glyorels I et II en Paimpont (35) : ateliers et bas-fourneaux du second âge du Fer*, rapport de prospection thématique, SRA Bretagne.
- (2007) : "La production du fer protohistorique en haute Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques", in : *AFEAF 2004-2*, 63-84.
- Vivet, J.-B., J.-J. Chauvel et F. Nicollon (2003) : "Productions de fer à la Tène ancienne en vallée de Rance : La Ville Pierre II, en Quévert (22)", *Les dossiers du CeRAA*, 31, 77-99.

Annexe 1. Inventaire des sites de réduction datés des âges du Fer, par une fouille ou par méthodes radiocarbonées.

Commune	Lieu-dit	Département	C14	Chronologie conventionnelle	Nombre de bas-fourneau	Type de scories	Bibliographie
1 Buchères	Parc logistique de l'Aube - décapage 31	Aube	non	LTA/IB		Scories de réduction	Berranger in Riquier <i>et al.</i> 2014
2 Buchères	Parc logistique de l'Aube - décapage 8	Aube	non	LTB/C1		Scories de réduction piégées et coulées	Berranger in Riquier <i>et al.</i> 2014
3 Les Martyrs	Montrouch	Aude	oui	I ^{er} a.C.	6	Scories écoulées	Domergue <i>et al.</i> 1993, Decombeix <i>et al.</i> 2000
4 Palis	Bois de Chenigny	Aube	non	Hallstatt D		Scories de réduction	Beck <i>et al.</i> 2008
5 Laprade-Basse		Aude	oui	I ^{er} s. a.C.		Scories écoulées ; ferrier de 4 ha	Decombeix <i>et al.</i> 2000
6 Les Martyrs	Le domaine des Forges	Aude	oui	I ^{er} a.C.	10	Scories écoulées	Domergue <i>et al.</i> 1993
7 Saint Denis	Co d'Espérou	Aude	oui	I ^{er} a.C.		Scories de réduction ; ferrier de 5 ha	Marty & Maraval 2003
8 Travecy	La Louvière	Aisne	non	LTA (céramique)		Scories de fond de four et scories coulées internes	Bauvais 2007
9 Paule	Saint-Symphorien	Côtes d'Armor	oui	2 ^e moitié I ^{er} /I ^{er} a.C.		Scories écoulées	Berranger 2009
10 Paule	Saint-Symphorien	Côtes d'Armor	oui	Fin VI ^e /fin IV ^e a.C.		Scories écoulées	Berranger 2009
11 Quévert	La Ville-Pierre II	Côtes d'Armor	oui	IV ^e /VI ^e a.C.	2	Scories piégées et scories de post-réduction	Vivet <i>et al.</i> 2003, Vivet 2007
12 Yignac	Le Bas Lannoué	Côtes d'Armor	oui	IV ^e /III ^e a.C.		Scories piégées	Vivet 2007
13 Chevigny-Bailleul	La Mutrelle	Eure	oui	VIII ^e /IV ^e a.C.	1	Scories piégées utilisation multiple et de post-réduction	Honoré <i>et al.</i> 2007
14 Guichainville	Saint-Laurent	Eure	oui	VIII ^e /IV ^e a.C.	1	Scories piégées, utilisations multiples	Honoré <i>et al.</i> 2007
15 Guichainville	Saint-Laurent	Eure	oui	V ^e /II ^e a.C.	1	Scories piégées, utilisations multiples	Honoré <i>et al.</i> 2007
16 Guichainville	Le long Buisson 3	Eure	oui	Hallstatt D		Scories piégées	Marcigny 2006
17 Parville	Le Bois de Parville	Eure	non	Ha D/LTA		Scorie de réduction, fond de four piégée	Lukas 2010
18 Saint Sébastien de Morsent	Avenue François Mitterrand, rue de la Garenne	Eure	non	Ha D/LTA		Scories de réduction	Michel 2008
19 Donnemain	Le Champrier de la Bouaze	Eure-et-Loir	non	LTD	15	Scories piégées	Foumier & Milcent 2007
20 Fontaine-la-Guyon	Les Déserts	Eure-et-Loir	non	LTD1/D2		Scories écoulées	Berranger in Fencké 2010
21 Secteur du Porzay		Finistère	oui	IX ^e /IV ^e a.C. / V ^e a.C. / II ^e p.C.		150 scories de fond de four	Le Quellec 2004, Lequellec 2005, Lequellec 2007
			oui	non daté / HMA		25 concentrations de scories écoulées	
22 Quimper	Kernoisan	Finistère	oui	III ^e /I ^{er} a.C.	3	Scories de réduction	Le Bihan & Galliou 1974

Commune	Lieu-dit	Département	C14	Chronologie conventionnelle	Nombre de bas-fourneau	Type de scories	Bibliographie
23 Paimpont	Lotissement du roi Arthur	Ille-et-Vilaine	oui	VIII ^e /IV ^e a.C.		Scories de réduction : une quinzaine de scorie de fond de four	Vivet 2007
24 Paimpont	Casse-Cou	Ille-et-Vilaine	oui	IV ^e /I ^{er} a.C.		Scorie de fond de four	Vivet 2007
25 Paimpont	Glyorels I	Ille-et-Vilaine	oui	IV ^e /III ^e a.C.		Scories piégées, utilisations multiples	Vivet 2006
26 Paimpont	Glyorels II	Ille-et-Vilaine	oui	IV ^e /III ^e a.C.		Scories piégées, utilisations multiples	Vivet 2006
27 Paimpont ?	Les plaintes	Ille-et-Vilaine	non	Ha D/LTC		Scorie de réduction, 1 fond de four piégée	Vivet 2007
28 <i>Plélan-le-Grand</i>	<i>Etang du Perray</i>	Ille-et-Vilaine	oui	IV ^e /I ^{er} a.C.	1	Scories de réduction	Vivet 2007
29 Saint-Pierre-de-Plesguen	Les Remardières	Ille-et-Vilaine	oui	VIII ^e /V ^e a.C.		Scories de réduction	Vivet 2001
30 <i>Saint-Pierre-de-Plesguen</i>	<i>Le Rocher d'Abraham</i>	Ille-et-Vilaine	oui	IV ^e /I ^{er} a.C.	2	Scories piégées et scories de post-réduction	Vivet 2001, Vivet 2007
31 Metuet-Planches	Les Iles	Indre	oui	mil. V ^e /mil V ^e a.C.	Plusieurs dizaines	Scories piégées utilisation multiple	Dieudonné 2015
32 <i>Neuilley-les-Bois</i>		Indre	oui	Début de l'âge du Fer		Scories de réduction et de post-réduction	Fournier & Milcent 2007
33 La Bussière	les Ferrys	Loiret	oui	V ^e a.C.	1	Scories piégées	Fournier & Milcent 2007
34 <i>Cours</i>	<i>Courcan, Azo</i>	Lot	oui	VIII ^e /V ^e a.C.	1	Scories piégées	Fabre & Rigal 2007
35 La Gravelle	ZAC de Loiron	Mayenne	oui	VIII ^e /V ^e à III ^e s. a.C.	10	Extraction, charbonnage, scories piégées utilisation unique	Bonnaventure 2015
36 <i>Athée</i>	<i>La Glanerie</i>	Mayenne	oui	III ^e a.C.		Scories de réduction	Sarreste 2011, Meuret 1997-1998
37 Saint-Loup-du-Dorat	Charbonnière	Mayenne	oui	VIII ^e /V ^e a.C.		Scorie de réduction	Sarreste 2011
38 <i>Gondreville</i>	<i>Au Loup</i>	Meurthe-et-Moselle	non	Ha D3/LTA	1	Scories de réduction	Leroy & Cabboi 2013
39 Velaine-en-Haye	Herbue-Chalin	Meurthe-et-Moselle	non	Ha D3/LTA		Scories de réduction	Leroy & Cabboi 2013
40 <i>Saint Martin d'Arrossa</i>	<i>Lar'la</i>	Pyrénées-Atlantiques	oui	III ^e /I ^{er} a.C.	Plusieurs dizaines	Scories écoulées	Beyrie 2008
41 Baillastavy	Saint André	Pyrénées-Orientales	oui	I ^{er} a.C.		Scories de réduction	Mut 2001
42 <i>Aigné</i>	<i>Houdouard (Tracé LGV)</i>	Sarthe	oui	I ^{er} a.C./I ^{er} p.C.	4	Scories écoulées	Langlois et al. 2015, Zaour dans Langlois 2015
43 Aigné	Touzeau (Tracé LGV)	Sarthe	oui	IX ^e /III ^e a.C.	93	Scories piégées, utilisation unique	Langlois et al. 2015, Zaour dans Langlois 2015
44 <i>Allonnes</i>	<i>Zac du Monné</i>	Sarthe	oui	VIII ^e /IV ^e a.C.	6	Scories piégées, utilisation unique	Carpentier & Schier 2012 ; Carpentier, Lefort 2012.
45 Auvers le Hamon	La Forêt (Tracé LGV)	Sarthe	oui	II ^e a.C./I ^{er} p.C.	1	Scories écoulées	Mare et al. 2015
46 <i>Beauvais</i>	<i>Changé 1 (Tracé A28)</i>	Sarthe	oui	Ha D/LTA	76	Scories piégées, utilisation unique	Cabboi et al. 2007

Commune	Lieu-dit	Département	C14	Chronologie conventionnelle	Nombre de bas-fourneau	Type de scores	Bibliographie
47 Beauvais	Changé 2 (Tracé A28)	Sarthe	oui	LTB/C	5	Scores piégés, utilisation unique	Cabboi <i>et al.</i> 2007
48 Coulans sur-Gée	Les Nouïes (Tracé LGV)	Sarthe	oui	LTB/C	3	Scores piégés, utilisation multiple	
49 Degré	La Groirie (Tracé LGV)	Sarthe	oui	viii ^e /iv ^e a.C.	14	Scores piégés, utilisation unique	Mare <i>et al.</i> 2014
50 Ecommoy	L'Étang du Cruchet (Tracé A28)	Sarthe	oui	viii ^e /iv ^e a.C.	22	Scores piégés, utilisation unique	Langlois <i>et al.</i> 2015, Zaour dans Langlois 2015
51 Fyé	Courtemêche (Tracé A28)	Sarthe	oui	Ha D/LTA	13	Scores piégés, utilisation unique	Cabboi <i>et al.</i> 2007
52 La Bazoge	L'Aunoy Truchet (Tracé A28)	Sarthe	oui	LTD/Haut Empire	1	Scores écoulées	Cabboi <i>et al.</i> 2007
53 La Bazoge	La Jousserie (Tracé A28)	Sarthe	oui	LTB/C	2	Scores piégés, utilisation multiple	Cabboi <i>et al.</i> 2007
54 La Bazoge	Les Barres (Tracé A28)	Sarthe	oui	LTD	11	Scores écoulées	Cabboi <i>et al.</i> 2007
55 La Bazoge	Les Maisons Neuves (Tracé A28)	Sarthe	oui	LTB/C	3	Scores piégés, utilisation multiple	Cabboi <i>et al.</i> 2007
56 La Bazoge	Les Petites Rouilles (Tracé A28)	Sarthe	oui	Ha D/LTA	56	Scores piégés, utilisation unique	Cabboi <i>et al.</i> 2007
57 La Bazoge	Les Trois Couleurs (Tracé A28)	Sarthe	oui	LTB/C	1	Scores piégés, utilisation multiple	Cabboi <i>et al.</i> 2007
58 La Bazoge	Les Hauts du Lac	Sarthe	non	Ha D/LTA	5	Scores piégés, utilisation unique	Cabboi <i>et al.</i> 2007
59 Le Mans	Charbonnière	Sarthe	non	LTB/C	1	Scores piégés, utilisation unique	Cabboi <i>et al.</i> 2007
60 La Mîlesse	Bois de Beslan (Tracé LGV)	Sarthe	oui	LTB/C	3	Scores piégés, utilisation multiple	Valais <i>et al.</i> 2003
61 La Mîlesse	La Mare (Tracé LGV)	Sarthe	non	non daté	4	Scores piégés, utilisation multiple	Cabboi <i>et al.</i> 2000
62 La Mîlesse	Les Côteaux du Chêne	Sarthe	non	non daté	8	Scores piégés, utilisation unique	Langlois <i>et al.</i> 2015, Zaour dans Langlois 2015
63 Neuville sur Sarthe	La Balochère (Tracé A28)	Sarthe	oui	viii ^e /v ^e a.C. / iv ^e /i ^{er} a.C.	10	Scores piégés, utilisation unique	
64 Neuville sur Sarthe	La Châtaigneraie (Tracé LGV)	Sarthe	oui	non daté / iv ^e /i ^{er} a.C.	3	Scores piégés, utilisation multiple	Langlois <i>et al.</i> 2015, Zaour dans Langlois 2015
65 Neuville sur Sarthe	Les Landes (Tracé LGV)	Sarthe	non	non daté	1	Scores piégés, utilisation unique	
66 Montreuil-le-Chétif	La Coulée du Gué	Sarthe	non	fin iv ^e /dbt i ^{er} a.C.	2	Scores piégés, utilisation multiple	Guillier 2010
67 Saint-Saturnin	Le Grand Hameau (Tracé A28)	Sarthe	oui	non daté	5	Scores piégés, utilisation unique	Cabboi <i>et al.</i> 2007
68 Saint-Saturnin	La Maule	Sarthe	non	non daté	1	Scores écoulées	Langlois <i>et al.</i> 2015, Zaour dans Langlois 2015
			oui	LTB/D	3	Scores piégés utilisations multiples	Langlois <i>et al.</i> 2015, Zaour dans Langlois 2015
			oui	iv ^e /iii ^e a.C.	1	Score de réduction	Sarreste 2011
			oui	Haut Empire	10	Scores piégés, utilisation unique	Renaud 1996, Langlois <i>et al.</i> 1998
			oui	LTD/D	1	Scores écoulées	
			non	non daté	3	Scores piégés, utilisation unique	Gallien <i>et al.</i> 2010

Commune	Lieu-dit	Département	C14	Chronologie conventionnelle	Nombre de bas-fourneau	Type de scories	Bibliographie
69 Saint-Saturnin	Le Clos des Sargetières	Sarthe	non	non daté	10	Scories piégées, utilisation unique	Pétorin & Péan 2005
70 Saint-Saturnin	Les Guigniers	Sarthe	non	non daté	2	Scories piégées, utilisation unique	Pétorin <i>et al.</i> 2003
					1	Scories écoulées	
71 Forêt de Sillé le Guillaume	Pezé le Robert, La Roche Brune	Sarthe	non	Haut Empire	2	Scories écoulées	Sarreste 2011
72 Yvré l'Évêque	Zone logistique d'Auvours	Sarthe	non	non daté	8	Scories piégées, utilisation unique	Mare <i>et al.</i> 2007
73 Trangé	Zac de l'Étoile	Sarthe	non	non daté	21	Scories piégées, utilisation unique	Doyen <i>et al.</i> 2002, Doyen <i>et al.</i> 2005, Doyen <i>et al.</i> 2007
					1	Scories écoulées	
74 Pontault-Combault	RD 21 : (Cimetière Popsager)	Seine-et-Marne	non	Hallstatt D		Scories de réduction	Casasoprana 2009
75 Saint-Mard	ZAC de la Fontaine du Berger	Seine-et-Marne	non	Fin LTA		Scories de réduction	Durand 2010
76 Écuelles	le Charmoy	Seine-et-Marne	non	Ha Dz/D3		Scories de réduction et de post-réduction	Leroy & Cabboi 2013
77 Varennes-sur-Seine	Le Marais du Colombier	Seine-et-Marne	non	LTB2		Scories de réduction et de post-réduction	Leroy & Cabboi 2013
78 Varennes-sur-Seine	Beauchamp	Seine-et-Marne	non	LT B1/B2		Scories de réduction	Leroy & Cabboi 2013
79 Varennes-sur-Seine	La Justice	Seine-et-Marne	non	LTD2		Scories de réduction	Leroy & Cabboi 2013
80 Villiers-sur-Seine	Le défendable	Seine-et-Marne	non	LTD		Scories de réduction	Quenez, 2009
81 Cuy	Nolson	Yonne	non	LT Cz/D1		Scories de réduction et de post-réduction	Leroy & Cabboi 2013
82 Les Clérinois	les Fouettertes	Yonne		I ^{er} a.C./I ^{er} p.C.	9	Scories écoulées	Dunikowski & Cabboi 1995
83 Les Clérinois	les Fouettertes	Yonne		mil. I ^{er} /mil. I ^{er} a.C.	1	Scories piégées	Dunikowski & Cabboi 1995
84 Saint-Julien-du-Sault	Les Boullins	Yonne	non	LTB		Scories de réduction et de post-réduction	Leroy & Cabboi 2013
85 Villeroy	Le Bois Bruneau	Yonne	non	LT B2/C1		Traitement du minerai, réduction probable	Leroy & Cabboi 2013
86 Saint-Cyr	La Basse-flotte	Vienne		VIII ^e /I ^{er} a.C.	1	Scories piégées, utilisations multiples	Saint-Didier 2013