

L'économie du fer protohistorique :
de la production
à la consommation du métal

L'économie du fer protohistorique :
de la production à la consommation du métal

XXVIII^e colloque de l'AFEAF
Toulouse, 20-23 mai 2004

sous la direction de
Pierre-Yves Milcent

Aquitania
Supplément 14/2
— Bordeaux —

Sommaire

AUTEURS7

AVANT-PROPOS13

LA MÉTALLURGIE D'EXTRACTION : DU MINERAI À LA BARRE DE FER

CL. DOMERGUE,

La sidérurgie extractive en Transalpine et dans la Gaule indépendante à la fin de l'âge du Fer.

Essai de mise en parallèle17

S. CABBOI, Chr. DUNIKOWSKI, M. LEROY, P. MERLUZZO,

Les systèmes de production sidérurgique chez les Celtes du Nord de la France35

J.-B. VIVET,

La production du fer protohistorique en haute Bretagne d'après les résultats des prospections,

des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques63

L. FOURNIER, P.-Y. MILCENT,

Actualité des recherches sur l'économie du fer protohistorique dans la Région Centre85

Cl. POLO CUTANDO, C. VILLAGORDO ROS,

L'exploitation du fer en Sierra Menera (Teruel-Guadalajara, Espagne) aux III^e - I^{er} s. a.C.107

POSTERS

D. HONORÉ, G. LÉON, N. ROUDIÉ,

Deux sites de réduction et de forge de l'âge du Fer en Normandie117

J.-M. FABRE, D. RIGAL,

Les vestiges d'ateliers sidérurgiques de l'âge du Fer sur les sites de l'autoroute A20 : Courcan (Cours, Lot)125

M. BERRANGER,	
Les demi-produits de fer au I ^{er} millénaire a.C. en Europe continentale : potentialités d'études	133
M.-P. COUSTURES, G. RENOUX, C. SCAON, D. BÉZIAT, Chr. RICO, Fr. DABOSI, L. LONG, Cl. DOMERGUE, Fr. TOLLON,	
Le point sur une méthode de détermination de provenance des objets en fer de la sidérurgie ancienne	145
P. HALKON,	
"Valley of the first Iron Masters". Recent research on Iron Age iron production and its significance in the Foulness Valley, East Yorkshire, England.....	151

LA MÉTALLURGIE D'ÉLABORATION : DE LA BARRE DE FER À L'OBJET FINI

C. ROVIRA HORTALÀ,	
Producción e intercambio de los primeros objetos de hierro del nordeste de la Península Ibérica (s. VII - VI a.C.).....	167
Ph. GRUAT, Ph. ABRAHAM, C. MAHÉ-LE CARLIER, A. PLOQUIN, avec la collab. de C. GRIMA, G. MARCHAND, G. MARTY,	
L'artisanat du fer en milieu caussenard : l'exemple de l'enceinte du Puech de Mus à Sainte-Eulalie-de-Cernon (Aveyron), aux V ^e et IV ^e s. a.C.	177
Y. MENEZ, J.-B. VIVET, K. CHANSON, M. DUPRÉ,	
La forge de Paule (Côtes-d'Armor)	213
S. BAUVAIS, St. GAUDEFRY, Fr. GRANSAR, Fr. MALRAIN, Ph. FLUZIN,	
Premières réflexions sur l'organisation des activités de forge en contexte rural à La Tène finale en Picardie	239
POSTERS	
J.-L. FLOUEST,	
Approches quantitatives de la production de fer sur le site hallstattien de Bragny-sur-Saône (Saône-et-Loire).....	265
M. MAUVILLY, V. SERNEELS, M. RUFFIEUX, E. GARCIA CRISTOBAL,	
Le travail du fer dans une forge du milieu du V ^e s. a.C. à Sévaz/Tudings (canton de Fribourg, Suisse)	271
Chr. DUNIKOWSKI, J.-M. SÉGUIER, S. CABBOI,	
La production du fer protohistorique au sud-est du Bassin Parisien	279
L. DHENNEQUIN,	
Les ateliers de travail du fer au Mont Beuvray : présentation des fouilles récentes effectuées dans la zone artisanale du Champlain sur l' <i>oppidum</i> de Bibracte	291

A. SCHÄFFER,	
Eisenverarbeitung im <i>Oppidum</i> von Manching (Bayern). Untersuchungen zu Schlacken und Herdfragmenten der Grabung "Altenfeld" 1996-1999	299
K. KASTOWSKY, M. MEHOFER, P. C. RAMSL,	
Analyses métallographiques d'objets de fer laténiens autour du massif de la Leitha	305
LA CONSOMMATION DU FER : ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES ; IMPLICATIONS ÉCONOMIQUES ET SOCIALES	
J.-P. GUILLAUMET,	
Introduction. La paléomanufacture métallique, une nouvelle méthode d'étude	321
É. DUBREUCQ,	
Le petit mobilier en fer des habitats du Hallstatt D-La Tène A : un mobilier sous-exploité	329
O. NILESSE,	
Note à propos des armes de trois établissements ruraux de l'Ouest de la France	355
G. BATAILLE,	
Un nouveau protocole d'analyse des grands ensembles de mobiliers métalliques sur la base du NMI. L'exemple du sanctuaire laténien de La Villeneuve-au-Châtelot (Aube)	365
L. ORENGO,	
Hallstatt-La Tène : un "sous-âge du Fer" ? Et qu'en est-il de l'époque romaine ?	381
POSTERS	
A. FILIPPINI,	
Les couteaux en fer du Sud-Ouest de la Gaule (VIII ^e -V ^e s. a.C.)	395
M. GENERA I MONELLS,	
Le village protohistorique du Puig Roig del Roget (el Priorat) : spécialisation artisanale et signification socio-économique	407
P. FOSTER, P. SANKOT,	
La tombe n° 2254 de Tišice (Bohême centrale) et son contexte du V ^e s. a.C.	417
Remarque conclusive. L'économie du fer protohistorique (VIII ^e -I ^{er} s. a.C.). De la production à la consommation du métal	
V. SERNEELS	425

La métallurgie d'extraction : du minerai à la barre de fer

La production du fer protohistorique en haute Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques

Jean-Bernard Vivet

RÉSUMÉ

Les opérations menées ces six dernières années sur la paléoméallurgie du fer en Bretagne sont venues enrichir les premiers acquis, rendant possible un premier essai de synthèse. Le corpus des sites sidérurgiques montre de fortes concentrations dans le massif de Paimpont et le bassin de la Rance. Les analyses ^{14}C renvoient, en réalité, à une diachronie des sites à scorie piégée couvrant tout l'âge du Fer. L'étude minéralogique révèle l'exploitation d'un minerai d'altération très localisé et riche. La fouille des ateliers permet de comparer les modes de fonctionnement des différents bas fourneaux (diamètre interne, ventilation, écoulement).

MOTS-CLÉS

paléoméallurgie, fer, sidérurgie, massif Armorican, Bretagne, fourneaux, minerai, gaulois, scories, procédés

ABSTRACT

Over the last six years, archaeological research on iron palaeometallurgy in Brittany has enhanced the first results obtained, so that a preliminary synthesis is now possible. The corpus of sites shows major concentrations in the upland area of Paimpont and in the Rance basin. Radiocarbon analyses reveal two principal phases of single-operation furnaces, covering all of the Iron Age. Mineralogical study reveals the exploitation of a very localised but rich ore. Excavation of workshops allows the comparison of the process linked to different furnaces (internal diameter, draft, slag flow).

KEYWORDS

early metallurgy, iron, Armorican massif, Brittany, furnaces, ore, Antic Gaul, slags, process

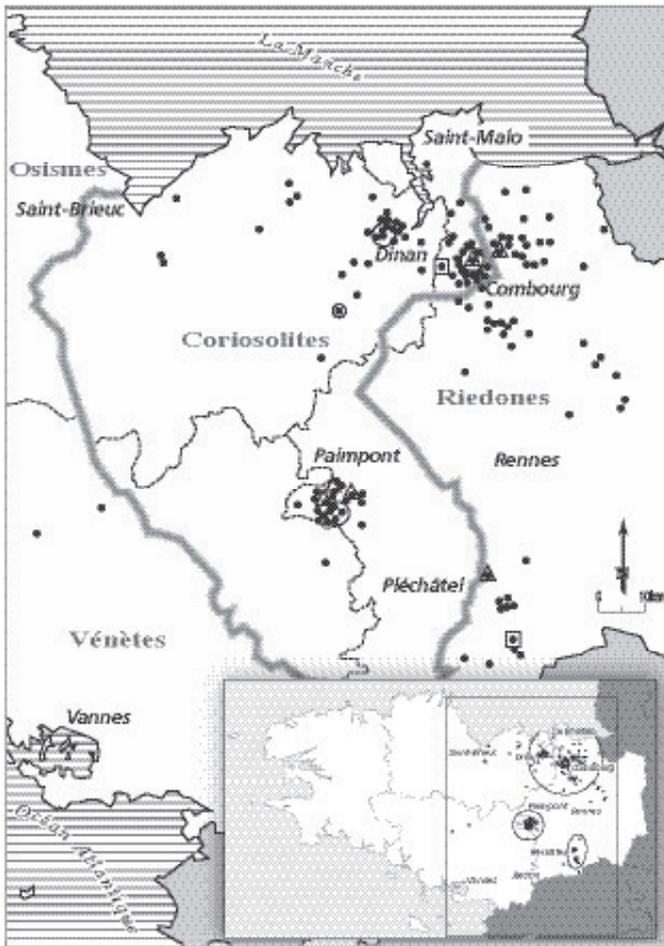


Fig. 1. Sites sidérurgiques de haute Bretagne. 1. Les Remardières ; 2. Lotissement Roi Arthur ; 3. La Ville-Pierre II ; 4. Le Bas-Lannouée ; 5. L'Étang du Perray ; 6. Le Rocher Abraham ; 7. L'Hirondelle ; 8. La Ville-d'Ahaut ; 9. Couédouan ; 10. Pilleverte II ; 11. La Fossardais. O. site de l'âge du Fer fouillé ; Δ. sites supposées à bouchons d'argile ; □. site gallo-romain. Tirets. limites territoriales des Coriosolites.

PRÉAMBULE

Dans l'étude de la paléosidérurgie armoricaine, il est une part tout à fait majeure, qui revient incontestablement à Jean-Jacques Chauvel. Ses apports, autant dans le domaine de la géologie des gîtes ferrifères que dans celui des minéralisations résultant de l'activité métallurgique des hommes, sont incontestables. Jean-Jacques Chauvel devait participer à nos travaux en tant que co-signataire du présent article. Au-delà du devoir de mémoire, on pense spontanément au rayonnement qui anime ses dernières années de recherche, consacrées plus spécifiquement à nos préoccupations archéologiques, aussi bien au sein de l'Institut de Géologie de Rennes I, que dans le cadre de la présidence de la Société Géologique et Minière de Bretagne. Puisse sa présence, irremplaçable, tout à la fois par le fait de ses compétences transdisciplinaires, de l'ardeur fondamentalement stimulante du chercheur, mais par-dessus tout, de la chaleur humaine dispensée à chacun, trouver écho et reconnaissance dans les lignes qui suivent.

1. INTRODUCTION

L'identification des procédés techniques et l'attribution chronologique des nombreux gisements paléosidérurgiques reconnus en haute Bretagne sont au cœur des actions menées depuis plus de six ans dans ce secteur. Elles permettent aujourd'hui d'enrichir, de façon substantielle, les premiers acquis des prospections¹, ainsi que les premières données issues des fouilles de Kermoisan à Quimper² et du massif de Paimpont³, rendant possible cet essai de synthèse. Faisant suite à une étude typologique du mobilier métallurgique⁴, ces travaux de recherche, poursuivis dans le cadre des actions de l'UMR 6566 sur la paléométallurgie de l'Ouest, ont fait l'objet d'opérations annuelles de prospection thématique, activement soutenues par le Service Régional de l'Archéologie et financées par le Conseil Général d'Ille-et-Vilaine, le ministère de la Culture et le SIVU

1- Lanos 1984.

2- Le Bihan 1974.

3- Brûlé-Garçon *et al.* 1993 ; Larcher 1994.

4- Vivet 1997.

“Forges et métallurgie en Brocéliande” (communes de Paimpont et Plélan-le-Grand). Elles se sont notamment concrétisées par l’exploration de plusieurs bas fourneaux de l’âge du Fer⁵, et mettent en œuvre des analyses anthracologiques, radiocarbone et minéralogiques⁶.

2. RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES SITES

À ce jour, le corpus des sites paléosidéurgiques attribuables à l’âge du Fer dans le massif Armoricain est très fourni (320 sites environ), mais hétérogène (fig. 1). On observe de fortes concentrations en haute Bretagne. Elles reflètent en partie les zones d’activité des prospecteurs. Le potentiel régional s’avère, de fait, très élevé. Il faut bien noter que ce travail n’aurait pu avoir lieu sans les actions constantes de prospection réalisées depuis plus de 25 ans par le CeRAA (Centre Régional d’Archéologie d’Alet, Saint-Malo), qui s’est très tôt intéressé aux “sites à scories” et à leur signification. De même, on citera les recherches opérées depuis une quinzaine d’années par l’équipe constituée autour de G. Larcher qui a porté tout particulièrement ses efforts sur le massif de Paimpont, situé à 35 km au sud-ouest de Rennes. De ce fait, c’est plus spécifiquement une bande verticale centrée sur la haute Bretagne, intéressant les arrondissements de Saint-Malo, Dol, Dinan, Montfort et Bain-de-Bretagne qui commence à être mieux connue.

Dans la partie nord de ce domaine, on recense au minimum 130 sites. Les concentrations principales intéressent le secteur du Combournais et du bassin de la Rance. L’étude typologique mentionnée montre, en première analyse, l’existence de deux grandes familles de gisements. Elles se distinguent sur le plan technologique (scorie visqueuse en cordons d’une part, scorie coulée en plaquettes d’autre part, avec constitution de ferriers volumineux) et chronologique (le second groupe livre du mobilier gallo-romain). Ce modèle initial demandant à être vérifié et affiné, des opérations ont été menées sur les meilleurs représentants des deux catégories. Les fouilles conduites sur le site du

Rocher Abraham en Saint-Pierre-de-Plesguen, au sud de Saint-Malo, et sur le site de La Ville-Pierre II en Quévert, au nord de Dinan, de même que les datations ¹⁴C réalisées sur scories piégées, ont permis de montrer que la grande majorité des sites métallurgiques se rapporte à l’âge du Fer, là où, en l’absence d’argument précis, on évoquait la période du Moyen Âge. L’opération menée sur le site de Pilleverte II, en Plesder, à mi-chemin entre les deux précédents, a confirmé l’attribution gallo-romaine du second type de gisement.

Le massif de Paimpont, lui aussi riche de plus de 130 sites, possède des ressources minières importantes, de même que le secteur de Pléchâtel, 30 km plus à l’est. Plus étonnant, le bassin de la Rance et du Combournais ne coïncide avec aucun gîte ferrifère notoire.

3. DATATIONS RADIOCARBONES SUR CHARBONS DE BOIS PRISONNIERS DE SCORIES

L’association certaine entre gisement de scories, signalant une production de fer, et enclos, pouvant indiquer l’existence d’une occupation pérenne, n’est jusqu’à présent que rarement constatée dans le secteur. Cela rend peu probable la découverte en prospection au sol de mobilier datant sur les sites sidéurgiques. De ce fait, le recours à la datation radiocarbone s’avère d’un intérêt certain pour la chronologie de ces sites. La méthode est appliquée ici sur des scories de fond de four renfermant des charbons de bois prisonniers de la matrice, constituée d’un silicate de fer, la fayalite, espèce minérale de très bonne tenue dans le temps, générant de ce fait une sorte de vase clos à l’abri des intempéries.

Comme toute datation radiocarbone, on évalue bien entendu la mort organique de l’organisme qui l’a produit. On suppose donc que les arbres qui fournissent la matière combustible ont été coupés peu de temps avant l’opération sidéurgique et que l’utilisation de bois mort, si elle existe, n’est que marginale. Les échantillons examinés jusqu’ici en anthracologie ne présentent pas de galerie d’insecte xylophage, pouvant signaler l’utilisation de bois secs, voire morts⁷.

5- Vivet 2001 ; Vivet *et al.* 2003.

6- Chauvel *et al.* 1999 ; Chauvel & Vivet 2001.

7- Marguerie 2001.



Fig. 2. Les Remardières en Saint-Pierre-de-Plesguen. Scorie de fond de four contenant du bois épigénisé dans sa matrice. Datation ^{14}C : - 786 à - 403.

Le cas des “Remardières” en Saint-Pierre-de-Plesguen (35) fait apparaître des vestiges de bois au sein de la scorie (fig. 2). La carbonisation n’est que très localisée. Le bois, épigénisé, est en partie remplacé par des oxydes de fer. Après calibration, la fourchette chronologique s’étend entre 786 et 403 a.C. et couvre donc essentiellement le premier âge du Fer et le début de La Tène ancienne (*maxima* de probabilité : 713, 704, 528 a.C.). Ces valeurs, particulièrement hautes, font du site des Remardières, le témoin le plus ancien de travail sidérurgique en Bretagne. Elles révèlent l’existence d’une activité métallurgique précoce, insoupçonnée jusque là, dans un secteur ne comptant pas de mine de fer.

4. DESCRIPTION DES SITES PAR PÉRIODE CHRONOLOGIQUE

Les divisions en grandes périodes ont été adoptées ici, dans le souci d’alléger la présentation. Il est bien certain que les intervalles de datation fournis par le ^{14}C souvent assez larges, ne coïncident pas obligatoirement avec les divisions temporelles de référence de l’âge du Fer (fig. 3).

4.1. Premier âge du Fer

On doit l’invention du site des Remardières, comme celle d’un grand nombre d’autres sites à scories du nord de la Haute-Bretagne, aux prospections réalisées par M^{me} Ginette Faguet⁸. La coïncidence entre l’utilisation du bois évoquée ci-dessus et la précocité des dates obtenues ne doit pas faire illusion. On sait que le charbon de bois possède un pouvoir calorifique nettement supérieur à celui du bois, ce qui en fait le combustible privilégié et presque obligé pour atteindre les températures élevées désirées (autour de 1 200°C). Il faut cependant se garder d’une conclusion trop hâtive. Avant de faire entrer les charges de minerai dans le bas fourneau, un séchage des moellons d’argile est nécessaire, de même qu’une mise en chauffe de l’appareil. Pour économiser le charbon de bois, très gourmand en temps et main d’œuvre, les métallurgistes ont très bien pu faire appel, pour ces phases opératoires, à du bois qui n’a pas pu achever sa combustion du fait de sa situation, dans la partie basse et froide du fourneau. Cette démarche est souvent spontanément adoptée, lors de sessions expérimentales.

La commune de Paimpont a récemment livré d’autres témoins du travail de réduction également très anciens. Un ensemble fort d’une quinzaine de scories de fonds de four pseudo-circulaires de dimensions modestes, accompagné seulement de quelques fragments de paroi de four, a été mis au jour lors de la construction du lotissement du Roi Arthur. La forme de certains exemplaires indique l’existence d’une fosse réceptacle permettant à la scorie de s’écouler sous la zone la plus chaude, évitant ainsi l’obstruction des orifices de ventilation (fig. 4). Le secteur où sont installés ces appareils est situé à 150 m des excavations encore bien visibles de la minière dite de “La Gelée”. Le toponyme local est “Le Mineray”. Des minéralisations ferrugineuses de surface, en croûte ou pisolitiques, bien visibles sur place, rappellent précisément les formations de minerai à partir de faciès latéritiques du tertiaire. La datation ^{14}C de ces scories, de même que celle d’un fond de four de morphologie semblable, découvert 3 km plus au sud, au lieu-dit “Les Plaintes”, est sensiblement contemporaine de celle des Remardières.

8- Langouët et al. 1990.

Site	Commune	Dép.	Responsable d'opération	Diamètre interne du fourneau	Datation (dates calibrées)
Le Bas-Chesnais II	Taden	22	Jean-Bernard Vivet	71 cm (68 à 73 cm), scorie de fond de four	
La Ville-Pierre II	Quevert	22	Jean-Bernard Vivet	80 cm (bas fourneau n°1)	503 à 391 a.C.
				80 cm (bas fourneau n°2)	
Étang du Perray	Plélan-le-Grand	35	Guy Larchet	125 cm	358 à 114 a.C.
Le Rocher Abraham	Saint-Pierre-le-Plesguen	35	Jean-Bernard Vivet	91cm (bas fourneau n°1) 97cm (bas fourneau n°2)	349 à 65 a.C.
Kermoisan	Quimper	29	Jean-Claude Lebihan	95 cm (structure a) 80 cm (structure d) 110 cm ? (structure g)	210 à 30 a.C.
La Ville-d'Ahaut	Meillac	35	Jean-Bernard Vivet	73 cm (scorie de fond de four)	35 a.C. à 323 p.C.
Couesdan	Plélan-le-Grand	35	Guy Larchet	75 x 80 cm (structure S1, ovale) 47 x 53 cm (structure S3, ovale) 45 cm (structure S4)	127 à 370 p.C.
Pilleverte II	Plesder	35	Jean-Bernard Vivet	1,30 m, puis 0,70 m (en fer à cheval)	II - III ^e siècle p.C.
La Fossardais	Le Dominelais	35	Jean-Pierre Bardel	95 cm à 1 m	Attribué à la période gallo-romaine

Fig. 3. Chronologie et diamètre interne des bas fourneaux armoricains.



Fig. 4. Lotissement Roi Arthur (premier âge du Fer). Scorie de fond de four piégée montrant le suintement de la fayalite en longues gouttes visqueuses au sein d'une fosse réceptacle.

4.2. La Tène ancienne

4.2.1. La Ville-Pierre II en Quévert (Côtes-d'Armor)

La fouille du site de La Ville-Pierre II nous renseigne plus précisément sur les techniques métallurgiques utilisées au début de La Tène ancienne⁹. Sur une surface carrée de 12 m de côté, on observe une dizaine de structures qui s'organisent autour de deux bas fourneaux F1 et F2, distants de moins de 2 m l'un de l'autre (fig. 5). Il ne reste du premier appareil F1 que la partie inférieure du creuset, sous la forme d'une cuvette de 80 cm de diamètre, peu profonde (10 cm), entourée d'une zone de forte rubéfaction du sol. Une chauffe extrêmement poussée a rigidifié le fond de la structure en une sole d'argile indurée de 4 à 5 cm d'épaisseur, gris foncé, rubéfiante de même le substrat sous-jacent. Une grande scorie de fond de four, de près de 50 kg, circulaire, incomplète, surmontait le remplissage du creuset de F2. Le diamètre est identique à celui du premier four, mais sa profondeur atteint 40 cm, ce qui en fait une véritable fosse réceptacle. Une série de longues gouttes ancrées verticalement dans le sédiment de remplissage du creuset, répond de façon évidente à celles qui



Fig. 5. La Ville-Pierre II en Quévert (Côtes-d'Armor). Atelier de réduction du début de La Tène ancienne : bas fourneaux F1 et F2 et fosses.

sourdent sous la grande scorie. Le tiers inférieur de comblement du creuset n'est pratiquement constitué que de charbons de bois. Deux fosses, proches de F1, recueillent les éléments résultant de l'ouverture et du démantèlement de l'appareil, sous la forme de scories de fond de four oxydées et friables, de scories piégées à cordons, de parois de four, percées pour certaines d'orifices de ventilation. Un amas circulaire de scories, parois, et petits blocs de minerai grillé jouxte le fourneau F2, vraisemblablement à l'emplacement où se tenaient les métallurgistes, pour le chargement du four et l'extraction de la loupe métallique. À 5 m des fours, un fossé linéaire, de 40 cm de profondeur, en moyenne draine l'aire de travail principale. Son comblement montre un déversement du mobilier métallurgique côté fours. Il livre, 10 m plus au sud, une demi-douzaine de culots d'épuration. Il semble, de ce fait, que les tâches visant à rassembler et purger la loupe de fer métallique aient été réalisées dans ce secteur. Qui plus est, les mesures géophysiques (effectuées au magnétomètre à protons) révèlent l'existence d'une petite structure bien nette dans cette direction.

4.2.2. Le Bas-Lannouée en Yvignac (Côtes-d'Armor)

Situé à l'ouest de la Rance, à 12 km au sud de Dinan, le site comporte un enclos quadrangulaire bien marqué, de près d'un hectare, au sein duquel a été découverte, en 1978, une remarquable sculpture anthropo-morphe de l'âge du Fer¹⁰. Le mobilier ramassé en prospection laisse supposer une occupation ultime datable de la fin de La Tène. Quatre gisements livrant des scories de type piégé et des parois de fourneau en grand nombre ont été reconnus à l'intérieur de l'enceinte, ainsi qu'un cinquième, 270 m plus à l'est. Les fonds de four ayant fait l'objet d'une datation ¹⁴C renvoient pour leur part essentiellement à la fin de La Tène ancienne.

9- Vivet 2003.

10- Daire & Langouët 1992.

4.3. La Tène moyenne

4.3.1. L'Étang du Perray en Plélan-le-Grand

Fouillé dès 1989, au cœur du massif forestier de Paimpont, le site de l'Étang du Perray a livré un atelier sidérurgique possédant un bas fourneau bien conservé¹¹. Sa situation, dans la zone ennoyée de l'étang artificiel actuel, explique cet état privilégié. Les dimensions du four sont parmi les plus grandes connues dans la région (diamètre interne : 1,25 m, diamètre externe : 1,50 m). Cinq assises de moellons d'argile, disposés de façon radiale, étaient encore en place, restituant une élévation d'une trentaine de centimètres, rentrant vers l'intérieur de l'appareil (fig. 6). La partie sous-jacente, constituant la cuve du four, présente un décrochement par rapport au parement et se termine en une cuvette de 20 cm de profondeur. Le fond de celle-ci forme une sole grise et ferrugineuse, très indurée, reposant sur un substrat fortement rougi par la chauffe. Une ceinture rubéfiée s'observe également sur plus de 15 cm à l'extérieur du parement.

Deux amas de scories situés de part et d'autre du four résultent d'opérations liées au défournement. Le bas fourneau est également encadré par deux fossés latéraux de 40 cm de large et de profondeur, qui s'incurvent selon la ligne de pente. Leur interprétation n'est pas résolue. L'absence de trou de poteau semble exclure l'existence d'un appentis. Il pourrait s'agir d'un dispositif de drainage, ayant pu servir aussi à l'extraction de l'argile pour la construction du four, utilisé ensuite comme zone dépotoir, à deux reprises, ce qui rend probable l'existence d'au moins deux utilisations séparées du four. L'analyse radiocarbone des charbons de bois prélevés dans l'un de deux fossés situe l'activité entre 358 et 114 a.C. Un troisième fossé, plus modeste, prend naissance à la base du fourneau et se dirige, tout en s'atténuant, vers l'un des fossés précédents. Une réfection bien nette du four dans l'axe de ce fossé et la forme en goulot de l'appareil à niveau suggèrent l'aménagement d'un accès pour le défournement de la loupe, l'évacuation des matières scoriacées ou la ventilation de l'appareil.



Fig. 6. L'Étang du Perray en Plélan-le-Grand. Bas fourneau de La Tène moyenne. Son diamètre interne est de 1,25 m (cliché G. Larcher).

Du point de vue du mobilier, il convient d'insister sur la présence d'une dizaine de bouchons de tuyère en argile, qui ont été extraits du bas fourneau lui-même (2 éléments) et des trois fossés déjà mentionnés. Ils sont associés à une paroi de four comportant deux orifices de ventilation.

4.3.2. Le Rocher Abraham en Saint-Pierre-de-Plesguen (Ille-et-Vilaine)

L'atelier, localisé entre Saint-Malo et Combourg, constitue également un témoin important de l'activité métallurgique gauloise¹². Une dizaine de structures, toutes liées à la réduction du minerai de fer, sont apparues à la fouille : deux bas fourneaux circulaires (F1 et F2), distants de 4,75 m, quatre aires liées au charbonnage et deux fosses de rejets (fig. 7). La datation radiocarbone (sur des charbons du fourneau F1) et le mobilier céramique (pot à deux anses à œillet, céramique graphitée) s'accordent pour situer le fonctionnement du four au cours de La Tène moyenne (au I^{er} s. a.C. vraisemblablement), ou éventuellement au début de La Tène finale. Le bâti résiduel du premier bas fourneau, se présente

11- Larcher 1994 ; Andrieux *et al.* 1993.

12- Vivet 2001.

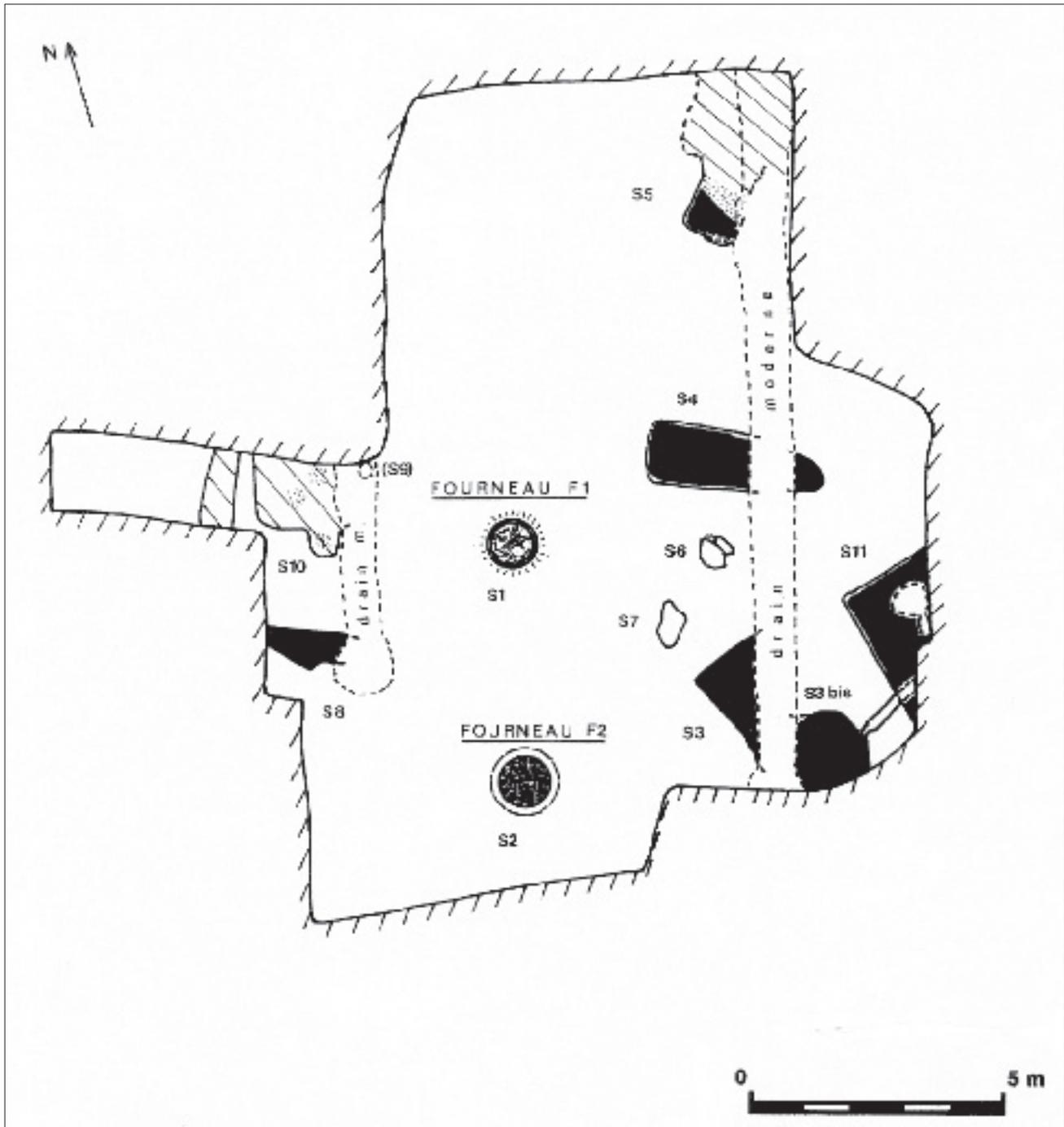


Fig. 7. Le Rocher Abraham en Saint-Pierre-de-Plesguen. Atelier de réduction de La Tène moyenne. Plan général du site. S3, S4, S5, S11 : structures de charbonnage quadrangulaires en fosse.

sous la forme d'une couronne d'argile cuite parfaitement dessinée, de 90 cm, diamètre intérieur et 4 à 5 cm d'épaisseur (fig. 8). La base du creuset ainsi délimité est installée directement dans le sol. Le four fonctionne sans fosse d'accès connectée à l'appareil. La rubéfaction du sol due à l'élévation de température est visible à la fois en plan et en section verticale, selon une distribution rayonnante autour du creuset. Il subsiste cependant un intervalle entre la paroi et le sol rubéfié, occupé par un sédiment blanc. Les reconstitutions expérimentales réalisées à la fête du fer de Paimpont, lors des sessions de 2002 et 2003, montrent que la première mise en chauffe du four, pour son séchage, pourrait expliquer cet aspect. Le contenu du creuset comporte une couche hétérogène, épaisse de 17 cm, faite de fragments de parois, de scories piégées et de quelques charbons de bois. Le fond du fourneau est constitué d'une couche indurée et ferrugineuse. Le fourneau F2, également circulaire, possède un diamètre proche de 97 cm et une profondeur de 20 cm. La fosse destinée à la construction du creuset est nettement plus grande que ce dernier (1,40 m). Les parois du four ne sont quasiment pas conservées. Des scories de fond de four massives viennent bloquer un niveau charbonneux, qui fait place ensuite à un niveau gris cendré non induré figurant le fond du creuset.

Des éléments mobiliers remarquables, directement liés à la conduite du procédé, ont été découverts sur place : 2 blocs-tuyères quadrangulaires, 9 orifices de ventilation et 8 bouchons d'argile coniques. Ils sont évoqués de façon plus détaillée dans les synthèses qui suivent. Un culot d'épuration plano-convexe de 350 g et 9 cm de diamètre, collecté sur le site en prospection, renvoie à l'existence sur place d'un travail de post-réduction.

Le site du Rocher Abraham livre enfin des données essentielles intéressant le mode de fabrication du charbon de bois destiné aux fourneaux, développé dans la deuxième partie.

4.4. La Tène finale

4.4.1. Kermoisan en Quimper (Finistère)

Le site de Kermoisan est le premier site sidérurgique à avoir bénéficié d'une opération de



Fig. 8. Le Rocher Abraham en Saint-Pierre-de-Plesguen. Vue de détail du bas fourneau F1.

fouille en Bretagne¹³. Une série de structures charbonneuses réparties en deux groupes distants de quelques dizaines de mètres a été mise au jour, parmi lesquelles on reconnaît au moins trois bas fourneaux de dimensions importantes (diamètre interne proche du mètre). Le mobilier céramique associé, de même qu'une datation radiocarbone (210 à 30 a.C.), indiquent une période de fonctionnement couvrant la fin de l'indépendance et le 1^{er} siècle de notre ère.

4.4.2. L'Hirondelle en Meillac (Ille-et-Vilaine)

Découvert en 1999, suite au creusement de fossés de drainage en épis, le site livre une série de données intéressantes, par le biais de ces coupes opportunes. Ainsi est apparue une fosse de plus de 4 m de long recelant un niveau très serré de petits blocs carmin et gris-bleu de minerai de fer grillé. Des tessons de céramique attribuables à La Tène finale s'y trouvaient intimement mêlés. L'ensemble des fossés laisse apparaître de nombreuses fosses contenant des fragments d'amphore (Dressel 1A) et des *tegulae* de facture précoce, situant comme précédemment l'activité dans une phase de transition entre l'âge du

13- Le Bihan & Galliou 1974.

Fer et l'époque gallo-romaine. Plusieurs d'entre elles sont comblées par des scories assez informes, plutôt oblongues ou aplaties, d'aspect rouillé, montrant des empreintes de petits charbons de bois, certainement liées aux phases de travail du massiau.

4.5. Pérennité et évolution durant la période gallo-romaine

4.5.1. La Ville-d'Ahaut en Meillac (Ille-et-Vilaine)

Ce site illustre le risque d'erreur que peuvent présenter des associations chronologiques trop hâtives. En effet, le débroussaillage de la lande, au pied d'une enceinte perchée de 40 m de diamètre et 2,50 m de haut, s'apparentant à une motte féodale, a fait apparaître un gisement concentré de scories et parois de four, de 20 m de diamètre. S'y ajoutent quelques blocs de minerai grillé, et surtout une grande scorie de fond de four, qui a permis une datation ¹⁴C (fig. 9). Cette dernière situe l'activité métallurgique au cours de la période gallo-romaine (35 a.C. à 323 p.C.). Les éléments collectés correspondent aux vestiges d'un bas fourneau à scorie piégée, ne se distinguant en rien de ceux rencontrés tout au long de l'âge du Fer. Les plus petits d'entre eux (scories en gouttelettes, fragments de paroi de four) ont été incorporés à la terre de la motte elle-même. Ces faits fournissent l'occasion d'insister fortement sur la prudence à adopter dans les attributions chronologiques des sites non fouillés. Qui plus est, le microtoponyme de la parcelle considérée, "La Petite Ferrière", sans doute plus tardif encore, trouve une justification dans la

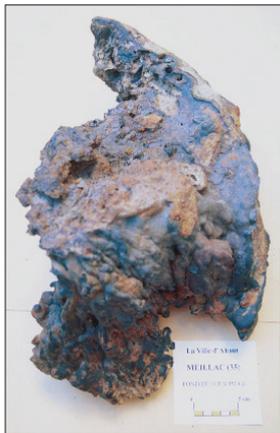


Fig. 9. La Ville-d'Ahaut en Meillac. Scorie piégée de fond de four du Haut-Empire.

présence de minerai en rognons, très riche, peut-être réexploité par les Cisterciens, sur les terres du Plessis données par Guigon de Combourg.

4.5.2. Couédouan en Plélan-le-Grand (Ille-et-Vilaine)

Le site de la Ville-d'Ahaut trouve son répondant, plus au sud, dans celui de Couédouan, dans le massif de Paimpont, fouillé en 1991 et 1992, dont l'activité remonte à une période postérieure au premier quart du II^e s. p.C. et antérieure au dernier quart du IV^e s.¹⁴. Ici les scories ne sont pratiquement présentes qu'à l'emplacement des structures de chauffe (une demi-douzaine), parmi lesquelles on dénombre au moins trois bas fourneaux, de petites dimensions, reposant directement sur l'argile du sous-sol. L'une des scories de fond de four, circulaire, de 45 cm de diamètre, présente l'aspect typique de celles résultant du fonctionnement des fours à scorie piégée. Malgré leur multiplicité, ces fours donnent l'impression d'une production modeste. Les deux campagnes de fouilles semblent bien indiquer que l'activité n'a suscité aucune implantation d'atelier pérenne.

4.5.3. Pilleverte II en Plesder (Ille-et-Vilaine)

Bien que gallo-romain (II^e-III^e s. p.C.), cet atelier, qui a fait l'objet d'une opération en 1999, mérite d'être mentionné en tant que jalon révélateur de l'évolution technique observée après la conquête romaine¹⁵. Le ferrier n'ayant subi que de rares labours modernes, est constitué de scories jointives, en forme de plaquettes à cassure en "V". Il montre en son sein une concentration très forte de parois scoriacées. Le sondage ouvert à cet emplacement (10 m x 10 m) a permis de mettre au jour un bas fourneau (fig. 10) s'ouvrant sur une fosse de travail matérialisée par une ligne de gros blocs de pierre disposés verticalement. Le mobilier datant, assez érodé, est présent aussi bien autour du four que dans les niveaux supérieurs de l'appareil (*tegulae*, sigillée, écuelles, mortiers, verre ...). Une tuyère-bloc bifide parfaitement conservée a été découverte en contrebas de la fosse de travail.

14- Larcher 1994.

15- Vivet 1999.



Fig. 10. Pilleverte II en Plesder (Ille-et-Vilaine). Atelier de réduction gallo-romain : bas fourneau à écoulement avec fosse de travail fouillée par moitié et ferrier (au fond).

Le fourneau montre au moins deux phases d'évolution. Du premier état subsiste une série de parois d'argile rouge-orange dessinant un arc de cercle d'1,60 m de diamètre externe (diamètre interne d'environ 1,35 m). Les dernières opérations de réduction ont en revanche été effectuées dans un four beaucoup plus réduit (empattement d'environ 60 cm), en fer à cheval, installé dans le précédent et s'appuyant sur un arc de roches verticales prolongeant la ligne précédemment décrite. L'existence d'un appentis couvrant la fosse de travail et en partie le fourneau s'avère très probable. Une canalisation faite d'*imbrices* jointives, retournées en demi-lune, implantée sous les derniers niveaux de travail draine cette zone. Une remarquable organisation de l'espace associe une zone de stockage de blocs de minerai grillé, une zone de concassage de ces derniers et une aire de rejet des parois et scories en zones concentriques, qui témoigne de la multiplicité des opérations réalisées dans le fourneau. Le site comporte, en outre, un bâtiment à quelques dizaines de mètres seulement du ferrier.

4.5.4. La Fossardais en La Dominelais (Ille-et-Vilaine)

Fouillé dès 1980, le site retient l'attention du fait de la taille du massif constitutif du bas fourneau (2,35 m de diamètre extérieur, 70 cm d'épaisseur), et de la nature des matériaux de construction qui intègrent moellons de grès, *tegulæ* et argile cuite¹⁶. La présence de *tegulæ* implique par ailleurs que le four n'a pu fonctionner qu'à partir de la période gallo-romaine.

5. APPROCHE SYNTHÉTIQUE DES PROCÉDÉS ET TECHNIQUES MIS EN ŒUVRE

5.1. Identification des ressources minières et mode d'exploitation

Les travaux d'analyse réalisés par J.J. Chauvel sur les matériaux liés à la paléosidérurgie portent sur

16- Bardel 1980 ; Belhoste & Maheux 1984.

une centaine d'échantillons prélevés sur des sites métallurgiques de haute Bretagne ou à leur voisinage : roches ferrugineuses, minerai cru et grillé et scories. Les méthodes analytiques employées mettent en jeu à la fois la détermination des compositions chimiques (CRPG, Nancy), et celle des minéraux qui fait conjointement appel à la micrographie en lumière transmise et réfléchie, à la diffraction X (Géosciences, Rennes) et à l'analyse par microsonde électronique (Microsonde-Ouest, Brest), pour les minéraux les plus difficiles à identifier.

Une première étude minéralogique a permis de poser quelques jalons importants dans la caractérisation du mobilier du Nord de la haute Bretagne¹⁷. Il a ainsi été possible de montrer l'origine locale du minerai utilisé dans la partie nord de la zone, qui ne possède aucun gîte ferrifère de grande ampleur. La prospection au sol a révélé avec de grandes difficultés l'existence, à moins de cinq kilomètres des sites fouillés, de quelques gisements de minerai de faible étendue (quelques ares), permettant une collecte des blocs au sol (et probablement à ciel ouvert). Du point de vue minéralogique, il s'agit d'hydroxydes de fer, comprenant notamment de la goethite (FeO-OH). Sur le plan géologique, l'importance réduite des éléments alcalins et la permanence d'une composante silico-alumineuse héritée du socle local tendent à confirmer que les minerais sont issus de profils d'altération de sols latéritiques du Tertiaire. Ces cuirasses ferrugineuses couvrant une bonne partie de la Bretagne à cette période, on peut s'attendre à une distribution assez aléatoire de ces gîtes très localisés, accessibles en surface, qui n'ont fait l'objet d'aucun recensement systématique. La genèse de ces formations ferrugineuses explique sans doute en partie qu'aucune mine de l'âge du Fer n'ait été identifiée en Bretagne.

Les minéralisations en boulet (ou rognon) sont les plus riches¹⁸. Leur teneur se situe en moyenne entre 50 et 55 % de fer métal (Rocher Abraham, Ville-d'Ahaut, Lauvais en Meillac). On ne rencontre pratiquement que la silice et l'alumine comme autres constituants majeurs. Les croûtes ferrugineuses, également présentes sur place, ont des compositions

plus variables, imposant un tri des matières. Des grès ferrugineux pouvant prendre l'allure de plaquettes, mais plus souvent de boulets, ne contiennent bien souvent que peu de fer. La distinction avec les vrais minerais en rognon est difficile à faire, en l'absence de moyens d'analyse (!). L'expérience seule permet d'apprécier des différences de densité, de coloration dans la cassure, d'identifier la présence et la proportion des grains de quartz. Enfin, l'analyse chimique montre que les indurations siliceuses, du type alios, trop pauvres en fer, doivent être écartées des ressources en matière première utilisable dans les fourneaux. On ne peut qu'être admiratif devant le savoir-faire acquis par les métallurgistes gaulois pour identifier ces gîtes ferrifères et sélectionner les roches ferrugineuses propres à la réduction.

On s'est d'abord attaché à distinguer l'origine des minerais de surface précédemment décrits (granitoïdes, roches cornéennes ou terrains sédimentaires) à partir d'éléments traces tels que zirconium, zinc et titane. Dans un second temps, on a établi des critères de discrimination entre les minerais précédents et le minerai ordovicien du grand bassin ferrifère de Bretagne-Anjou, une des plus grandes ressources nationales. La comparaison est également permise avec le minerai de surface de la région de Segré¹⁹.

Le minerai subit incontestablement une phase de grillage au cours du procédé de transformation. Les blocs grillés sont régulièrement présents sur les sites sidérurgiques découverts en prospection ou fouillés. Le terme "grillé" est pris ici au sens de minerai ayant subi une chauffe préalable. L'opération présente un triple intérêt pour ce type de roche, en tant qu'hydroxyde :

- fragilisation des blocs, permettant de les ramener à un petit module ou à une poudre ;
- création d'une porosité, augmentant le rendement chimique par accroissement des surfaces de contact avec les gaz ;
- évacuation de l'eau faisant partie de la composition du minéral, ce qui réduit l'énergie calorifique nécessaire dans le four (chaleur latente de vaporisation).

17- Chauvel *et al.* 1999.

18- Chauvel & Vivet 1999.

19- Chauvel & Vivet 2001.



Fig. 11. Typologie des scories. À **gauche**, scories coulées en plaquette ; au **milieu**, scories piégées à coulures internes (au fond) et scories coulées en cordons (devant) ; à **droite**, scories coulées spongieuses (fin du Moyen Âge).

On constate de fait une perte au feu très nette de ce type d'échantillon qui fait croître en outre la teneur massique en fer de presque 10 %. L'opération peut être conduite dans un simple foyer ouvert porté à une température supérieure à 500 °C. La transformation d'une partie des hydroxydes en magnétite rend la plupart du temps les blocs attirables à l'aimant. Malgré l'observation de zones de rubéfaction intense (à Paimpont par exemple), les aires de grillage n'ont pas été, jusqu'ici, formellement identifiées. Il est possible que cette opération soit plutôt réalisée sur les sites d'extraction que sur ceux de réduction. La question reste à élucider.

5.2. Typologie des scories

La majorité des scories se présente sous l'aspect de coulures internes gris-bleu provenant de la transpiration de la matière au voisinage des tuyères, à partir de la zone chaude où se forme la loupe de fer métallique (état solide ou semi-pâteux). Il s'agit donc principalement de scories piégées dans le four (fig. 11) pouvant prendre différentes formes :

- coulures en cordons plus ou moins soudés entre eux portant l'empreinte, dans près de 75 % des cas, de charbons de bois. La fouille du bas fourneau F2 de La Ville-Pierre II montre bien cette percolation au travers du lit de charbons sous-jacent, qui finit par stopper sa progression du fait de la basse température de la fosse réceptacle ;

- scories de fond de four, très massives et denses prenant la forme de la cuve de l'appareil, auxquelles adhèrent encore souvent des fragments de paroi du four. Compte tenu de leur encombrement ces derniers sont couramment rejetés lors des travaux agricoles sur les talus des parcelles ;

- scories friables "rouillées", liées à l'extraction de la loupe, montrant une réoxydation des particules de métal dans la zone d'arrachement.

Les scories coulées témoignent, elles, du fonctionnement de fourneaux qui évacuent la matière scoriacée fusible. L'observation d'un lot suffisamment important de scories peut s'avérer nécessaire pour distinguer ces scories de celles qui ont longé les parois internes du four. Les écoulements à cordons observés jusqu'ici ne sont pas datés. Ils sont assez peu abondants, très fragmentés, et ne constituent pas de véritables ferriers.

On a pu montrer, en revanche, que les sites métallurgiques gallo-romains se caractérisent²⁰ par un type spécifique d'écoulements denses, non parcourus de fines bulles, qui présentent dans notre secteur les différents faciès suivants :

- scories en plaquettes à surface lisse, ou à profil de cassure en “V”, très fragmentées, dont l'aspect est dû à la présence d'une grande bulle oblongue dans la masse en refroidissement ;

- scories en canal, ayant pris la forme de la rigole, qui recueille l'écoulement ;

- scories en tige cylindrique, que l'on peut interpréter comme un débordement accidentel de la matière fluide par des trous de ventilation, par exemple ménagés dans la porte (ainsi qu'on a pu l'observer sur les fourneaux de l'A28, près du Mans²¹).

Les culots plano-convexes, typiquement en demi-sphère plus ou moins ovalisée, sont généralement attribués aux étapes d'épuration de la loupe, visant à débarrasser celle-ci des impuretés et à élaborer un massiau de fer compact et forgeable. Ces scories sont en général denses et réagissent localement à l'aimant. Leur surface inférieure montre très souvent l'empreinte de très petits charbons de bois.

Ces témoins ont été mis en évidence aux Remardières, à La Ville Pierre II et au Rocher Abraham. Les dimensions de pseudo-diamètre relevées dans le Combournais s'inscrivent dans une fourchette de 9 à 12 cm (6 éléments), de 6,5 à 16,5 cm sur le site de La Ville-Pierre II (5 exemplaires entiers, de masse comprise entre 225 et 925 g), de 8,5 à 14 cm pour le massif de Paimpont (11 exemplaires). Pilleverte II fournit, en revanche, à une époque plus tardive, un culot de grandes dimensions (28 cm de diamètre pour 10 cm d'épaisseur).

5.3. Composition et héritage chimique des scories

L'analyse chimique montre que le pourcentage en fer des scories de réduction est élevé, souvent du même ordre de grandeur que celle de la fayalite pure qui en est le constituant principal (54,8 %). Ces valeurs expliquent la forte densité des scories de

l'âge du Fer, qui sont massives et non bulleuses. Les teneurs parfois significatives du minerai en titane, probablement liées aux dolérites ou cornéennes au contact desquelles a pu se former le minerai d'altération, donnent naissance au sein des cristaux d'hercynite (FeAl_2O_4), autre constituant de la scorie, à des formes minérales spécifiques telles que l'ulvöspinelle (Fe_2TiO_4), intermédiaire entre le rutile (TiO_2) et la magnétite (Fe_3O_4). L'assemblage fayalite, hercynite et wüstite (FeO) est caractéristique de tous les échantillons étudiés. Il s'est mis en place lors du refroidissement de la scorie, à une température voisine de 1150 °C.

Le pourcentage en CaO de la fayalite reste toujours inférieur à 0,4 %. Sa teneur est également faible dans la phase vitreuse et l'on n'observe aucun silicate de calcium. La présence plus significative de l'élément calcium dans les scories, par comparaison avec le minerai où il est pratiquement absent, est donc imputable aux minéraux présents dans le combustible. Il en est apparemment de même, pour les éléments potassium (K), sodium (Na), dont la teneur tend, de même, à augmenter encore dans les culots d'épuration (fig. 12). En tout état de cause, l'hypothèse d'un apport volontaire de roche calcaire dans les fourneaux doit être rejetée.

La filiation entre scorie et minerai ne pose pas de problème, mais la simple comparaison des teneurs reste insuffisante pour interpréter correctement les transformations qui ont eu lieu dans les bas fourneaux. Du point de vue méthodologique, les compositions en éléments chimiques tels que les “terres rares” doivent être rapportées aux valeurs moyennes des croûtes continentales pour permettre une interprétation de l'origine des minerais utilisés, notamment pour la distinction entre minerai de couche et minerai de surface (cuirasse). Cela est d'autant plus précieux pour des secteurs comme le massif de Paimpont où ils peuvent co-exister, en même temps d'ailleurs que d'autres formations ferrugineuses issues de leur altération. De même, l'utilisation des bilans de matière, établis notamment lors de réductions expérimentales effectuées en bas fourneau, permet de travailler sur les taux d'enrichissement de la scorie et du métal en éléments chimiques donnés. Elle constitue une voie de recherche essentielle qui est en cours de développement.

20- Vivet 1997.

21- Cf. Cabboi *et al.* dans ce même volume, *infra* p. 35-62.



Fig. 12. Combournais. Scories de post-réduction et orifice de ventilation (Les Remardières en Saint-Pierre-de-Plesguen).

5.4. Diamètre interne des fourneaux

Les fourneaux observés jusqu'ici sont tous circulaires ou pseudo-circulaires. Dans l'évolution des procédés, le diamètre interne des fours, variable technique conditionnant très fortement la conduite des appareils (l'expérimentation archéologique le montre), constitue un élément de caractérisation important des sites paléosidéurgiques (fig. 3). Les fours les plus anciens (Remardières, Les Plaintes, lotissement Arthur/Brocéliande) sont manifestement de plus petite taille et leur forme n'est qu'approximativement circulaire. Ainsi, sur quinze exemplaires pouvant être attribués au premier âge du Fer (voire au tout début de La Tène ancienne), treize présentent un diamètre compris entre 26 et 42 cm, un élément est voisin de 53 cm, le dernier exemplaire n'est pas déterminé, mais ne peut être inférieur à 35 cm. Ces dimensions rappellent, également pour les périodes les plus précoces, celles des fours en fosse et à utilisation unique, mis au jour dans les fouilles préventives de l'A28 près du Mans,

sur le site des Barresn, commune de Bazoge²². Avec les sites du Bas-Chesnais et de la Ville Pierre II, on observe une brusque croissance de ces dimensions qui s'élèvent respectivement à 71 et 80 cm de diamètre, dès les premières phases de La Tène ancienne. Le site du Bas-Lannouée livre une valeur proche et même un peu plus élevée (84 cm), à la même époque ou à la fin de cette période. Les bas fourneaux du Rocher Abraham et de l'étang du Perray, intéressant essentiellement La Tène moyenne, voient croître encore la taille des appareils qui atteignent respectivement 97 et 125 cm, ce qui est considérable. On peut supposer que l'obtention et le maintien d'une température élevée, répartie de façon homogène dans ce type de structure, ne sont pas choses aisées. Avec le site de Kermoisan, à la fin de l'indépendance et au 1^{er} siècle p.C., ces dimensions conservent des valeurs élevées (80 cm à environ 1,10 m). Elles fléchissent ensuite très nettement

22- Dunikowski & Cabboi 2001. Cf. Cabboi *et al.* dans ce même volume, infra p. 35-62.

pour les fours à scorie piégée d'époque gallo-romaine reconnus sur les sites de La Ville-d'Ahaut (73 cm) et de Couédouan (deux occurrences de l'ordre de 45-50 cm et un élément à 75-80 cm). Le site de Pilleverte II en Plesder illustre enfin une évolution technique majeure du four gallo-romain à écoulement de scories qui voit son diamètre interne, proche de 1,40 m à l'origine, être volontairement réduit à 70 cm au cours d'un second stade d'utilisation (II-III^e s. p.C.).

5.5. Construction des fours

Mis à part le cas tardif de la Fossardais, les bas fourneaux fouillés et les parois de four collectées indiquent tous une construction en moellons d'argile. À titre d'exemple, il subsistait entre les deux fourneaux du Rocher Abraham un pain plastique et compact de 30 cm de long fait d'argiles mêlées, témoin résiduel du montage des fours. L'observation des parois montre très souvent l'existence de nombreux grains de quartz, dégraissant naturellement présent dans le sédiment disponible sur place. Ce dernier présente d'ailleurs fréquemment des phases kaoliniques importantes qui expliquent en partie la bonne tenue des parois. Les moellons sont disposés soit à plat et tangents au cercle (Quévert, Rocher Abraham), soit à plat, mais dirigés vers le centre du cercle (L'Étang du Perray). Les moellons ne sont pas toujours jointifs sur la face externe du four, mais ils se trouvent soudés, à l'intérieur, par leur surface scoriacée. On peut observer l'effet de lissage interne sur les parois moins crevassées par la chaleur, situées plus haut dans la cheminée, vers le gueulard. À La Ville Pierre II, les parois les mieux conservées, trouvées en position secondaire dans une fosse près du four, ont pu être à nouveau orientées par rapport au bâti. Elles fournissent un diamètre inférieur à celui du creuset et montrent un rétrécissement très prononcé, qui pourrait faire penser à un four non pas cylindrique ou conique, mais peut être en bouteille ou bien très refermé sur lui-même. Les prismes d'argile à base triangulaire recueillis dans les fossés de latéraux de l'Étang du Perray posent une question du même ordre, car ils font penser à des coins de compensation pour un montage du four avec départ en voûte.

5.6. Charbonnage

La fouille du site du Rocher Abraham livre des données tout à fait essentielles sur ce sujet. Cinq aires et fosses de charbonnage sont apparues à moins de 10 m des fours (fig. 7). La spécificité de ces aires de charbonnage tient à leur forme, qui est rectangulaire, contrairement à celle des meules modernes, circulaires. Elles occupent une superficie de l'ordre de 3 à 4 m², qui atteint 8 m² pour la plus importante. Un liséré de rubéfaction souligne leur contour et des traces de cette nature apparaissent dans le fond dans la moitié de ces structures. La profondeur encore en place est variable (10 à 40 cm). Elles contiennent un sédiment imprégné de poudre charbonneuse. Les charbons de bois de taille centimétrique sont en revanche rares, sans doute en raison d'une sélection des plus gros éléments pour les besoins du four. Un petit fossé de 25 cm de large et 10 cm de profondeur vient drainer une fosse, destinée au stockage du charbon de bois.

De telles structures ont, de même, été mises au jour à La Jousserie, près du Mans, sur la fouille préventive de l'A28²³. Ces données suggèrent, que la forme rectangulaire des aires de charbonnage, avec dispositif de drainage, constitue un critère typochronologique important, permettant de distinguer les structures de charbonnage anciennes, existant au moins à partir de La Tène moyenne, des "fouées" de charbonnier plus récentes.

L'étude anthracologique des échantillons du Rocher Abraham montre que les métallurgistes ont utilisé majoritairement du chêne, mais également des espèces assez diverses présentes sur place (charme, noisetier, bouleau, aulne, saule) renvoyant à trois écosystèmes : chênaie, landes ou friches et zone humide²⁴. Ainsi qu'en témoigne la faible largeur moyenne des cernes (1,30 mm), les chênes dont sont issus les charbons paraissent avoir poussé au sein d'un milieu forestier très dense, comme il semble en demeurer assez peu à l'âge du Fer dans l'Ouest de la France. Fait également important, les prélèvements en chêne sont réalisés sur du bois de fort calibre (tronc ou grosse branche), et non sur du taillis, comme c'est couramment l'usage notamment à

23- Dunikowski & Cabboï 2001.

24- Marguerie & Gaudin 2001.

partir des édits de Colbert. Les empreintes de charbon de bois observées sur les scories piégées atteignent de fortes dimensions : plus de 15 cm de large au Rocher Abraham, plus de 30 cm de long à La Ville Pierre II. Enfin, à Couédouan, les analyses anthracologiques indiquent un prélèvement en milieu assez ouvert. Le hêtre est, de même qu'au Rocher Abraham, étonnamment absent.

5.7. Ventilation des fourneaux

Les parois de four trouvées en prospection portent souvent la trace d'un façonnage permettant le passage des "vents", sous la forme d'un simple orifice traversant, cylindrique ou conique, ménagé au travers de celles-ci, désigné également sous le terme de "tuyère". Jusqu'ici, aucun conduit d'argile cuite tubulaire n'a été recensé. Plus d'une soixantaine de ces orifices de ventilation ont pu être observés sur l'ensemble de la haute Bretagne. Les diamètres internes de passage s'inscrivent tous dans une fourchette comprise entre 26 et 50 mm : 26 à 47 mm pour 20 d'exemplaires provenant du Combournais, 30 à 50 mm pour une autre série de 20 éléments sur le massif de Paimpont, 31 à 43 mm pour 13 tuyères du site de La Ville Pierre II près de Dinan. Mais l'exemple du Rocher Abraham montre une forte variabilité pour un même site : 26 à 47 mm. Celle-ci est attribuable en partie à la forme conique des passages, mais peut-être aussi au simple facteur humain. L'essentiel des valeurs se situe globalement entre 30 et 45 mm. L'expérimentation montre que cet ordre de grandeur est très fonctionnel, en ventilation forcée aussi bien que naturelle. Ces diamètres ne constituent donc pas un critère de discrimination des sites métallurgiques. On notera simplement que l'élément très précoce des Remardières, de forme cylindrique, se classe avec un diamètre de 27 mm en bas de la fourchette de valeurs (fig. 12). Deux exemples de remontage de parois de four, au Rocher Abraham et à l'Étang du Perray, permettent de reconnaître la position relative de deux orifices voisins. Ils sont globalement perpendiculaires au pan de four et respectivement distants de 13 et 15 cm (diamètres respectifs : 31 mm et 38,5 mm). À La Ville Pierre II, c'est un minimum de 12 orifices de ventilation qui a été prévu, probablement pour un seul four.



Fig. 13. Le Rocher Abraham en Saint-Pierre-de-Plesguen : bloc-tuyère n°1, scoriacé et crevassé par la chauffe.

Les deux blocs-tuyères du Rocher Abraham constituent un cas à part, qui mérite quelques commentaires²⁵. Le premier élément (fig. 13) présente l'aspect d'une brique trapézoïdale, soigneusement façonnée, à travers laquelle a été percée un trou conique régulier (47 x 31 mm). Cette forme lui confère une stabilité indéniable, qui permet de restituer l'orientation de l'axe des vents, incliné de 12° par rapport à l'horizontale. Les creusements et crevasses très marquées autour de l'orifice de soufflage, plaident, sous toutes réserves, en faveur d'une ventilation forcée. Le second bloc, beaucoup plus quadrangulaire, possède également un passage des vents conique (46 x 35 mm) et montre un ou deux percements en pointe dans l'épaisseur de la paroi pouvant jouer le rôle d'ancrage du bloc

25- Langouët *et al.* 1990 ; Vivet 1997.

ou de l'extrémité d'un soufflet. Les valeurs des diamètres les rattachent a priori plus au travail de réduction qu'à celui de forge²⁶.

La question du fonctionnement en ventilation naturelle, forcée ou encore mixte, reste donc posée. Les dispositifs qui viennent d'être décrits (orifices et blocs-tuyères) semblent orienter le choix vers ce dernier cas de figure, mettant en jeu de façon complémentaire la convection naturelle et l'action d'un soufflet, selon les besoins. La question reste difficile à résoudre et fait partie des problématiques auxquelles s'attachent le PCR "Vents et fours : recherches archéologiques sur la ventilation naturelle en métallurgie" qui vient de se constituer en Bretagne.

5.8. Bouchons d'argile coniques : des marqueurs chronologiques originaux

Les premières découvertes proviennent de la fouille du bas fourneau de l'Étang du Perray²⁷. Depuis, c'est une dizaine de sites qui a livré ces blocs d'argile, modelés en forme de cône et cuits par la chaleur des fours (fig. 14). La fonction d'obturation est fortement confortée par le fait que l'extrémité pointue est plus atteinte par la chaleur que la section opposée, et montre dans plusieurs cas une surface scoriacée ou même vitrifiée. Leur dimension leur permet de s'adapter sans difficulté aux diamètres des orifices et tuyères évoquées précédemment, hypothèse la plus probable (l'obturation de regards est aussi envisageable). Ils permettraient un meilleur contrôle de l'ambiance dans le bas fourneau. Ils sont rapidement façonnés et conservent souvent les empreintes de doigts laissées par le modelage.

La figure 1 montre la distribution de ces découvertes, toutes situées en Ille-et-Vilaine. Au total, vingt-sept bouchons de ce type ont été recensés. Dix-sept d'entre eux sont issus de six sites répartis sur le massif de Paimpont. Un exemplaire a été mentionné, plus à l'est, sur la commune de Bourges-Comptes (secteur de Pléchâtel). Le Nord du Combournais en a livré neuf (8 sur le site du Rocher Abraham, 1 sur le site de Couvelou en Combourg).

26- Orengo *et al.* 2000.

27- Larcher 1994.

Les résultats de trois analyses radiocarbone sur des charbons directement liés à l'activité métallurgique fournissent des âges ¹⁴C (avant calibration) remarquablement centrés autour des mêmes valeurs relatives (2145, 2215 et 2160 BP). Après calibration et dans l'état actuel de la question, ces bouchons d'argile sont susceptibles de constituer des marqueurs chronologiques originaux des sites sidérurgiques ayant fonctionné en Bretagne entre le IV^e et le II^e s. a.C. Cet élément technologique paraît constituer un trait caractéristique du savoir-faire des métallurgistes gaulois des territoires attribuables aux Coriosolites et aux Riedones. On note à ce sujet que de nombreux sites sont curieusement localisés sur les zones de contact de ces deux peuples.

5.9. Modes de fonctionnement des fours

5.9.1. Fourneaux à utilisation unique ou multiple

L'indice le plus évident d'une réutilisation des appareils à scorie piégée reste l'alternance de couches de cuisson dans des parois de four. Les bas fourneaux de l'âge du Fer fouillés jusqu'ici dans notre secteur n'attestent pas une telle pratique. Par ailleurs, un pesage systématique des scories et parois de four a été opéré lors de la fouille de La Ville Pierre II (masses respectives : 565 kg et 150 kg). L'ordre de grandeur n'est pas tel qu'il obligerait à conclure à une réutilisation multiple. Le grand fourneau de l'étang du Perray pourrait faire exception. Des traces de réfection apparaissent au niveau d'une porte d'accès possible de l'appareil. L'exemple gallo-romain de Pilleverte II fournit, quant à lui, un exemple typique de réutilisation multiple. La fosse de travail est stratifiée en couches de parois successives sur près de 70 cm, et les abords du four sont constitués d'une accumulation de ces mêmes blocs sur 35 à 40 cm d'épaisseur et 300 m² de surface.

Sans étendre trop les comparaisons avec les ateliers d'autres régions, on notera seulement que les fourneaux de l'époque de La Tène mis au jour jusqu'ici en Armorique présentent de notables différences par rapport à ceux qui ont été dégagés sur le tracé de l'A28, près du Mans. Ces derniers comportent par exemple une fosse d'accès aboutissant à une porte ménagée dans la paroi du four et des marques de rechape indiquant une réutilisation

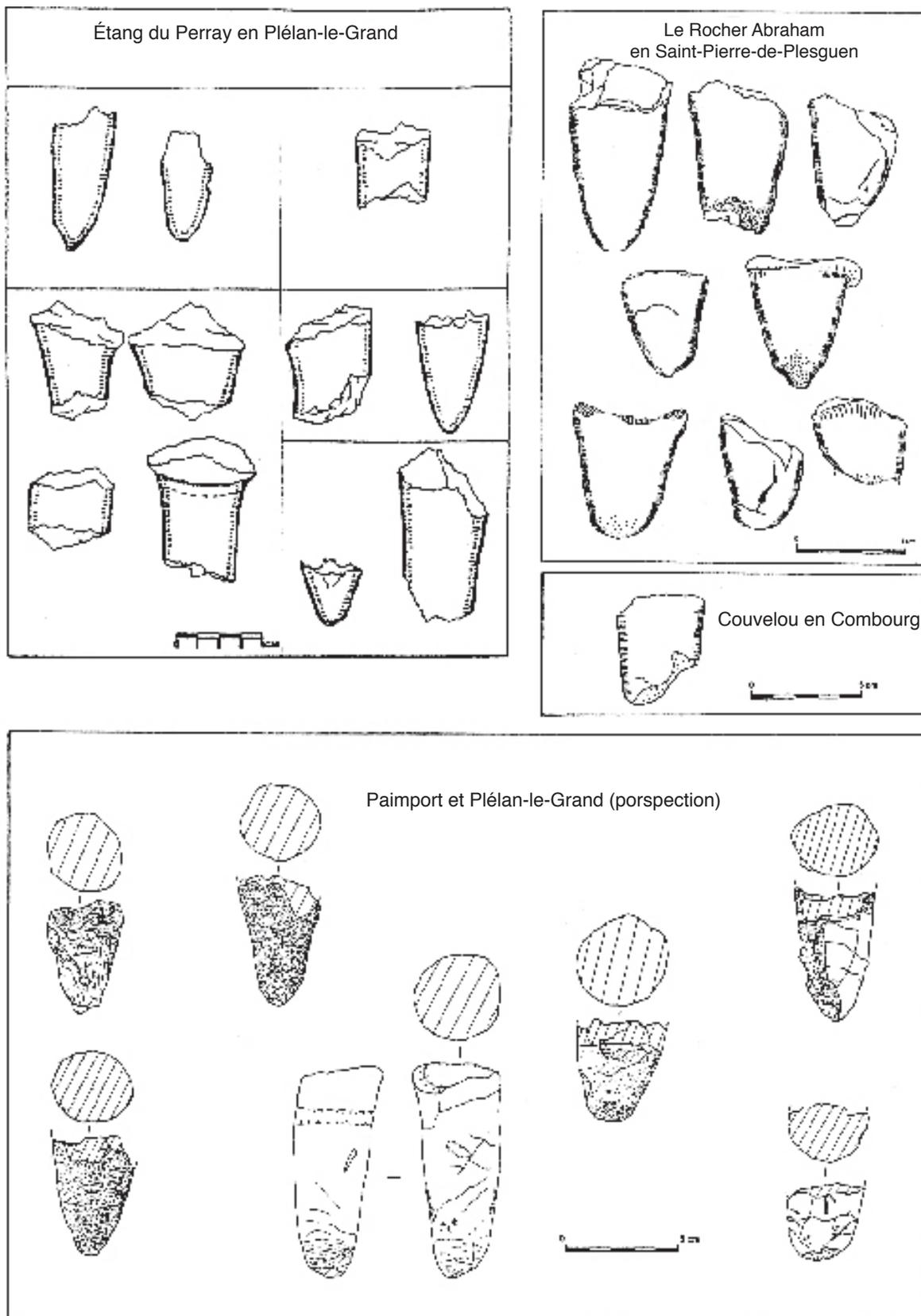


Fig. 14. Bouchons d'argile coniques, marqueurs chronologiques très probables des sites sidérurgiques de La Tène moyenne en haute Bretagne.

Site	Commune	Âge ¹⁴ C BP	Âge calibré limite inf.	Âge calibré limite sup.	Dates de maximum de probabilité
Le Rocher Abraham	Saint-Pierre-de-Plesguen	2145	-349	-65	- 190 à - 120
Casse-Cou	Paimpont	2215	-384	-175	sans
Étang du Perray	Plélan-le-Grand	2160	-358	-114	-195, -329, -229, -129

Fig. 15. Datation des sites à bouchons d'argile coniques.

multiple. Les fourneaux de haute Bretagne reconnus en fouille sont de dimension interne sensiblement plus importante que ceux du Mans et sont beaucoup moins excavés.

5.9.2. Ateliers à fourneaux multiples

Ainsi que paraît le confirmer la prospection magnétique réalisée sur des sites peu éloignés de ceux de La Ville Pierre II (50 à 100 m), ainsi que la fouille du Rocher Abraham, les fourneaux semblent souvent fonctionner par paires. La raison de cette disposition n'est sans doute pas simplement quantitative, mais certainement technique, quand on observe la différence d'aspect des deux appareils voisins du site de La Ville Pierre II, dont l'un possède une fosse réceptacle et l'autre non. Des questions de succession des phases opératoires, ou de qualité de métal, pour une production différenciée de fer et de nuance-d'acier, par exemple, sont envisageables.

5.9.3. Fourneaux à scorie piégée ou écoulée

Les sondages réalisés en 1999 au Rocher Abraham et à Pilleverte II témoignent de l'écart technologique et chronologique relatif aux deux types de procédés. Les datations ¹⁴C montrent que le mode de fonctionnement à scorie piégée a perduré dans la région pendant plus d'un millénaire, couvrant tout l'âge du Fer et sans doute une bonne partie de

l'époque gallo-romaine. Ce type de technique s'avère jusqu'à présent plutôt majoritaire dans le secteur de la haute Bretagne. En contraste avec d'autres régions, les témoins d'écoulement externe à cordons sont relativement moins nombreux et très fragmentés. Ils n'ont pu recevoir, jusqu'ici, d'attribution chronologique. On manque sans doute encore de recul et il faudrait multiplier les datations radiocarbones. Il y aurait lieu de préciser à partir de quelle proportion de scories écoulées le soutirage est volontaire et constitue un facteur décisif pour la quantité de fer produite. Le fourneau du Perray pose ce type de question. Plus à l'ouest, trois scories du site fortifié de Saint-Symphorien à Paule²⁸ constituent les trop rares témoins de l'existence de la technique au II^e s. a.C. En tout état de cause, il faut sans doute envisager une coexistence des deux procédés, utilisés de manière inégale selon les zones géographiques et les périodes. La question de l'apparition du procédé d'écoulement externe reste posée, et celle de son développement qui semble s'imposer de façon plus nette avec la conquête romaine est à préciser. L'image qui s'impose pour le Haut-Empire est celle d'une production du fer selon deux filières techniques distinctes. On voit ainsi des ateliers pérennes accumuler les scories en véritables ferriers, reflète eux-mêmes des besoins en métal de l'Empire, tandis que de modestes fourneaux continuent à fournir du fer selon les techniques de tradition indigène, pour les besoins de la population locale.

28- Cf. Menez *et al.* dans ce même volume, *infra* p. 213-238.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les analyses radiocarbone opérées récemment changent radicalement, ici comme dans d'autres régions, la vision que l'on pouvait avoir des gisements métallurgiques détectés. Les nombreuses inventions de sites en prospection montrent une distribution largement répartie, éventuellement plus importante que ce qui est actuellement perçu. Leur implantation ne s'arrête pas aux zones minières mais paraît, au contraire, couvrir l'ensemble du massif Armoricaïn. L'extrême étirement de l'intervalle de temps des sites à scorie piégée, souvent même très proches les uns des autres, montre que les fortes densités observées dans le Nord de la haute Bretagne et le massif de Paimpont résultent pour bonne part du maintien de l'activité depuis le premier âge du Fer jusqu'à la période gallo-romaine. Les campagnes de datation des gisements se poursuivent afin de mieux cerner l'existence de pôles de production métallurgique et conforter le rôle de marqueur chronologique des bouchons d'argiles coniques.

Les opérations de fouille, de même que les analyses minéralogiques et anthracologiques qui ont été réalisées ces dernières années, permettent maintenant de mieux caractériser les sites de production du fer protohistorique de haute Bretagne, aussi bien sur le plan chronologique que sous l'angle des procédés sidérurgiques. Ces éléments de synthèse invitent naturellement à des comparaisons interrégionales. La fouille de nouveaux ateliers n'en reste pas moins indispensable, de même que l'élargissement des prospections à d'autres secteurs de la Bretagne. Il s'agit, au travers des répartitions spatiales, synchroniques et diachroniques, de percevoir la spécificité et l'évolution des techniques métallurgiques relatives aux différents groupes et les transferts de savoir-faire. Ces questions s'imposent de plus en plus au fil des diverses opérations de fouille réalisées dans la région et elles suscitent un intérêt croissant. La flamme qui vivait au cœur des fours sidérurgiques de l'âge du métal forgé anime aujourd'hui à n'en point douter la recherche armoricaine d'aujourd'hui.

Bibliographie

- Bardel, J.-P. (1980) : *Fouille d'un bas fourneau sur le site de la Fossardais à la Dominelais (35)*, Rapport de fouille, Direction des Antiquités préhistoriques et historiques de Bretagne, Rennes.
- Belhoste, J.-F., H. Maheux et al. (1984) : *Les forges du pays de Châteaubriant*, Cahiers de l'Inventaire, 3, Inventaire général des monuments et richesses artistiques de la France, Pays de Loire, Département de Loire-Atlantique, Nantes.
- Brule-Garçon, A.-Fr., J.-Y. Andrieux, J. Coignard, M. Fontugne, C. Herbaut, G. Larcher, S. Loyer, M. Moïnerais et J. Plaine (1993) : "Fouilles d'un bas fourneau et de ses structures annexes à l'étang du Perray en Plélan-le-Grand (Ille-et-Vilaine)", *Revue Archéologique de l'Ouest*, 10, 101-114.
- Chauvel, J.- J. (1971) : *Contribution à l'étude des minerais de fer de l'Ordovicien inférieur de Bretagne* (thèse), Mémoires de la Société Géologique et minéralogique de Bretagne, 16, Rennes.
- Chauvel, J.-J., J.-B. Vivet et C. Bonniol-Jarrier (1999) : "Étude minéralogique préliminaire du mobilier paléosidérurgique dans le nord de la Haute-Bretagne", *Les dossiers du Ce.R.A.A.*, 27, 87-100.
- Chauvel, J.-J. et J.-B. Vivet (2001) : "Le bassin paléosidérurgique de l'est de la Rance – Caractérisation et étude comparative des ressources minières et des minerais de fer grillés à l'âge du Fer et à l'époque gallo-romaine", *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 29, 59-72.
- Daire, M.-Y. et L. Langouet (1992) : "Une sculpture anthropomorphe gauloise dans un enclos à Yvignac (22)", *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 20, 5-16.
- Dunikowski, C. et S. Cabboi (2001) : "L'extraction du minerai de fer, la production du charbon de bois et la réduction du minerai de l'Age du Fer, de la période romaine et du haut Moyen Age dans le nord de la France", *Actes del 6^e Curs d'Archeologia d'Andorra, L'obtencion del ferro pel procedimient directe entre els segles IV^e i XIX^e*, 18-210.
- Langouet, L. (1987) : *Les Coriosolites, un peuple armoricain. De la période gauloise à l'époque gallo-romaine*, Dossiers du Ce.R.A.A. Suppl. 1988, St-Malo.
- Langouet, L., G. Faguet et L. Andlauer (1990) : "Chronique de prospection archéologique 1990 en Haute-Bretagne", *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 18, 40-60.
- Lanos, P. (1984) : "La métallurgie ancienne du fer dans le nord de la Haute-Bretagne", in : *La prospection archéologique en Haute-Bretagne. Ses apports à l'histoire du milieu rural dans l'antiquité*, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, G, St-Malo, 147-170.
- Larcher, G. (1994) : "La zone sidérurgique de la forêt de Paimpont (Ille-et-Vilaine)-bilan diachronique", in : *La Sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte Européen, Colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993*, Annales littéraires de l'Université de Besançon, 536, Série "Archéologie", 40, 113-120.
- Le Bihan, J.-P. et P. Galliou (1974) : "Un groupe de bas fourneaux antiques découverts près de Quimper", *Bulletin de la Société Archéologique du Finistère*, 52, 17-30.

- Marguerie, D. et L. Gaudin (2001) : "Rapport d'étude anthracologique – Le Rocher Abraham (St-Pierre-de-Plesguen, Ille et Vilaine)", in : Vivet et al. 2001, Rennes.
- Vivet, J.-B. (1997) : "Paléométaballurgie du fer à l'est de la Rance et dans le Combournais - bilan interprétatif des données de prospection", *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 25, 57-90.
- (1999) : *Pilleverte II en Plesder (35), rapport de prospection thématique 1999 n° 2, paléométaballurgie du fer en Bassin de Rance*, SRA Bretagne, Rennes.
- (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 Ce.R.A.A.*, 29, 79-94.
- Vivet, J.-B. et al. (2001) : *Paléosidérurgie dans l'inter-bassin de la Rance*, rapport de prospection thématique (35), SRA Bretagne, Rennes.
- Vivet, J.-B., J.-J. Chauvel et F. Nicollin (2003) : "Productions de fer à La Tène ancienne en vallée de Rance : La Ville-Pierre II en Quévert (22)", *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 31, 77-99.