

Finistère, Châteaulin, Penn ar Roz

Penn ar Roz

Un site d'activité métallurgique protohistorique et antique –

Rapport complémentaire : le mobilier sidérurgique

par

Nadège Jouanet-Aldous



Conditions d'utilisation des documents

Les rapports d'opération archéologique (diagnostic, fouille, document final de synthèse, sondage, sauvetage...) sont des documents administratifs communicables au public, en application de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 modifiée et portant diverses mesures d'amélioration des relations entre l'administration et le public. L'accès à ces documents administratifs s'exerce auprès des administrations qui les ont élaborés ou qui les détiennent, au choix du demandeur et dans la limite de leurs conditions d'accueil. La mise en ligne des rapports **par le SRA Bretagne** a pour objectif de faciliter cette consultation.

La consultation et l'utilisation de ces rapports s'effectuent dans le respect des dispositions du code de la propriété intellectuelle relatives aux droits des auteurs. Notamment en application de l'article L.122-5 du code de la propriété intellectuelle, cela implique que :

- 1) les prises de notes et les copies ou autres formes de reproduction sont autorisées dans la mesure où elles sont strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective;
- 2) toute reproduction du texte, accompagnée ou non de photographies, cartes ou schémas, n'est possible que dans le cadre de courtes citations qui doivent être justifiées, par exemple par le caractère scientifique de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, et sous réserve de l'indication claire du nom de l'auteur et de la source (références exactes et complètes de l'auteur, de son organisme d'appartenance et du rapport);
- 3) la représentation ou la reproduction d'extraits est possible à des fins exclusives d'illustration dans le cadre de l'enseignement et de la recherche, dès lors que le public auquel elle est destinée est majoritairement composé d'élèves, d'étudiants, d'enseignants ou de chercheurs directement concernés, et que son utilisation ne donne lieu à aucune exploitation commerciale.

Le non-respect de ces règles constitue le délit de contrefaçon prévu et sanctionné par les articles L.335-2, L.335-3 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

Renseignement :

DRAC Bretagne : <http://www.culture.gouv.fr/Regions/Drac-Bretagne>

Service Régional de l'Archéologie - Centre de documentation archéologique

Campus universitaire de Beaulieu - Avenue Charles Foulon - 35700 Rennes

Rapport final d'opération
Fouille archéologique

Code INSEE
29 026

Arrêté de prescription
SRA 2010-024
SRA 2010-081

Code Inrap
DB05026702
DB05026703

Châteaulin, Finistère

Penn ar Roz

Un site d'activité

métallurgique

protohistorique et

antique – rapport complémentaire

Le mobilier sidérurgique

Nadège Jouanet-Aldous

Inrap Grand Ouest

37 rue du Bignon CS 67737 35577 Cesson Sévigné cedex
Tél. 02 23 36 00 40, www.inrap.fr

mai 2013

Le mobilier sidérurgiques de Penn ar Roz, Châteaulin

Nadège Jouanet-Aldous (doctorante, Laboratoire Archéosciences UMR 6566 CReAAH)

Le site de Penn ar Roz a livré une grande quantité de mobilier sidérurgique : des scories et des parois liées à la réduction du minerai de fer et des scories et des parois liées à la post-réduction.

1. La réduction

1.1. Problématique

La fouille de Penn ar Roz a mis au jour des vestiges sidérurgiques liés à la réduction du minerai de fer : des scories de réduction et de nombreux fragments de parois de four. La typologie des scories de réduction a été identifiée lors du diagnostic (Roy 2009). Ce sont des scories piégées à usage unique datées de La Tène ancienne (datation radiocarbone obtenue sur charbon pris dans l'une des charbonnière).

L'architecture des bas fourneaux de l'âge du Fer est très mal connue. Généralement, seule la partie inférieure de la cuve est conservée. La mauvaise conservation des parties supérieures souvent effondrées rend toute reconstitution délicate.

Dans la plupart des sites fouillés, les matériaux de construction de la cheminée sont retrouvés effondrés à l'intérieur du four. Ils peuvent être pâteux et sans forme, limitant toute étude des fragments (Les Glyorels 1 et 2 à Paimpont par exemple). Il est alors possible au mieux de travailler sur la partie inférieure de la cheminée.

L'étude des scories de Châteaulin va apporter des informations sur la partie inférieure du bas-fourneau (fosse réceptacle), tandis que les fragments de parois nous renseigneront sur la partie haute du four (la cheminée).

1.2. Notions générales

La réduction du minerai est la phase essentielle de la chaîne opératoire sidérurgique au cours de laquelle on transforme le minerai de fer, matière première ayant pu subir une transformation préliminaire plus ou moins importante, en métal (Serneels 1998).

Cette opération de réduction a lieu dans un fourneau. Il s'agit d'un espace confiné semi-ouvert, qui permet d'obtenir les conditions de températures et de pression nécessaires au développement des réactions de réduction des oxydes de fer.

L'architecture des bas-fourneaux à scorie piégée est composée de deux principaux éléments :

- La cheminée est munie d'une ouverture sommitale (le gueulard) par laquelle sont introduites en alternance les charges de minerais et de charbon de bois. La partie basse de la cheminée dispose également d'une ou plusieurs ouvertures simples ou de tuyères, qui servent à véhiculer l'air nécessaire à l'activation de la combustion du charbon de bois à l'intérieur de la structure.
- La fosse réceptacle reçoit la scorie liquide qui s'écoule par gravité de la cuve.

A l'issue de l'opération, la cheminée du bas-fourneau est détruite afin de récupérer la masse de fer (Dunikowski et Cabboi 2001). Tandis que la scorie reste figée dans le sol, où elle a refroidit et prit la forme de la fosse réceptacle.

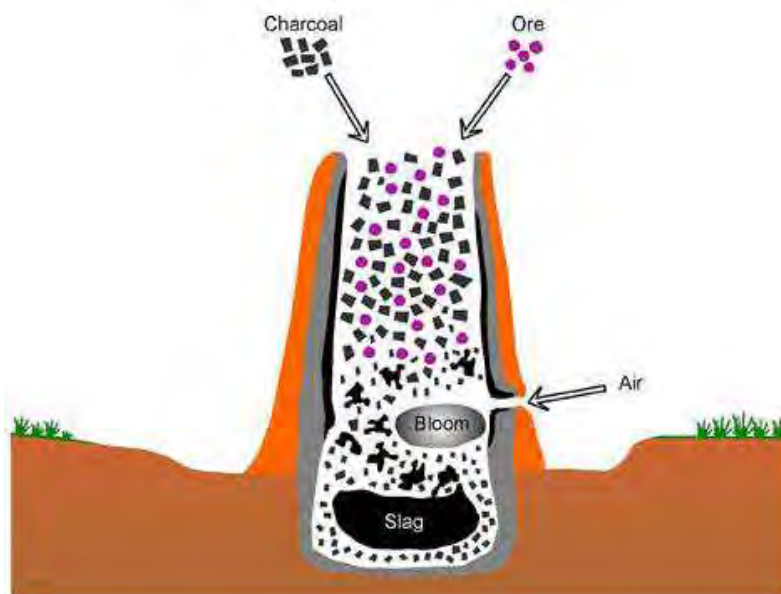


Fig. 1 : Schéma d'un bas-fourneau à scorie piégée (Illustration Paynter 2011)

1.3. Les scories piégées

1.3.1. Inventaire du mobilier étudié

Fait	Type de structure	Nombre de pièces	Poids moyen	Longueur max. du plus grand côté
F. 1046	Bas-fourneau	0	0	
F. 1047	Bas-fourneau	13	675 g.	22.5 cm
F. 1048	Bas-fourneau	0	0	
F. 1049	Bas-fourneaux (x2)	10	378.5 g.	22.5 cm
F. 4174	scorie	1	38 kg	45 cm
F. 4048		2	50 g.	5.6 cm
F. 1214	Trou de poteau	1	105 g.	9.5 cm
F. 1140	Four	147	26 g.	9 cm

Les scories de réduction proviennent majoritairement des bas-fourneaux. Plusieurs échantillons ont été prélevés dans des bas-fourneaux F. 1046, F. 1047 et F. 1049. La structure F.1048 n'a pas fait l'objet de prélèvement de scories lors de la fouille. Mais le mobilier provenant de ces structures ont été étudiés dans le cadre du rapport de diagnostic.

Par ailleurs, des scories, de taille modeste, ont été mises au jour dans des trous de poteau. Tandis que

la scorie F. 4174 a été découverte dans un fossé.

1.3.2. Description morphologique et métrologie des scories de réduction

Le taux de fragmentation des scories est variable d'une structure à une autre. Les scories provenant des structures F. 1140, F. 1214 et F. 4048 présentent une forte fragmentation (longueur max. inférieure à 10 cm). Les scories des structures F. 1046, F. 1047 et F. 1049 ont une fragmentation moyenne (longueur max. inférieure à 23 cm). Enfin, la scorie F.4174 est le plus gros fragment de ce site.

Les scories prélevées dans les structures F. 1046 à F. 1049 sont constituées de nombreux écoulements de scories noires qui se sont agencés autour de charbons de bois ou de bois. L'abondance de ce combustible a fragilisé la scorie. C'est pourquoi la scorie s'est brisée en de nombreux fragments informes très contournés présentant des arrêtes vives.

Les scories prélevées dans la structure F. 1140 sont majoritairement des écoulements stalactitiques de longueur inégales. Ces fragments de scories proviennent de la partie inférieure de culots de scories piégées.



Fig. 2 : Fragments de scories piégées

A gauche : fragments de scories massives avec de nombreux charbons (F. 1046 et 1049)

A droite : extrémités de cordons, que l'on retrouve généralement en partie inférieure du culot de scorie piégée (F. 1655)

Toutes les scories de réduction du site de Châteaulin présentent les mêmes caractéristiques. Les scories de grandes dimensions sont plus riches d'informations que les petits échantillons de scories. Ainsi, la scorie F. 4174 nous permet donc d'appréhender les caractéristiques originelles d'un culot de scorie complet de Châteaulin : la forme, les dimensions et la masse.



Fig. 3 : Fragment de culot de scorie piégée F. 4174, trouvé dans un fossé
1 : Face interne ; 2 : Face supérieure ; 3 : Face inférieure ; 4 : Face externe

La scorie F. 4174 mesure 45 cm de hauteur. Cette scorie est globalement bien conservée sur sa hauteur. Néanmoins, les écoulements stalactitiques de la partie inférieure sont absents. On peut donc estimer que la hauteur originelle des culots de scories piégées de Châteaulin avoisinait 50 cm.

Le diamètre estimé de la scorie F. 4174 est d'environ 80 cm. Cette scorie montre également que le diamètre varie d'un point à un autre sur la hauteur de la scorie. Ainsi, le diamètre de la scorie se ressert au milieu de la hauteur de la scorie. Cette estimation rejoint les données de fouilles, où le diamètre de la fosse réceptacle des bas-fourneaux varie de 60 à 90 cm.

Le poids de la scorie est une donnée importante car elle permettra de calculer le rendement en fer de cette opération, ainsi que les quantités de charbon de bois et de minerai de fer consommé. Lors de la fouille, la scorie présente dans la structure F. 1049 a été intégralement pesée. On sait donc que le poids minimum des scories de Châteaulin est de 200 kg minimum.

La morphologie générale de la scorie est la suivante :

La scorie est de couleur brun-noir. La scorie F. 4174 présente un encroûtement brun, peut-être liée au fait que cette scorie ait été à l'air libre avant d'être rejeté dans un fossé.

La face supérieure est relativement plane. La surface présente également des micro-reliefs, ainsi que quelques cavités de taille centimétrique liées à des reliquats de combustible. On peut noter la présence d'un léger « bourrelet » présent près de la bordure externe.

La face inférieure présente de nombreux écoulements stalactitiques plus ou moins contournés de couleur noire, sortant d'une surface encroutée.

La scorie présente un plan circulaire irrégulier. La face externe est donc convexe. L'encroûtement recouvrant la partie externe de la scorie F. 4174 ne permet de faire des observations plus précises. Par contre, quelques échantillons de la structure F. 1049 montrent un sillon « sinusoïdal », partiellement couvert par une matière granuleuse grise. Ce « sillon » avait déjà été observé lors de l'étude du mobilier provenant du diagnostic.

La face interne est connue par les nombreuses cassures. Ces cassures montrent une scorie noire compacte, parfois agrémentée de quelques micro-vacuoles. Les cassures révèlent surtout la présence des très nombreuses empreintes et cavités liées à la présence de résidus de combustible. La scorie, à l'état liquide traverse la masse charbonneuse qui comble l'intérieur de la cuve et de la fosse réceptacle. L'écoulement de la scorie emporte des charbons de bois et de bois qui ont laissé leurs empreintes lors du refroidissement de la scorie. Au moment de la fouille, ces résidus de combustible avaient pour la plupart disparu.

1.3.3. Les scories piégées de la Tène ancienne : essai de comparaison

L'activité de réduction du site de Châteaulin est datée de La Tène ancienne. De nombreux sites à scories piégées datées de cette période ont été découverts en Bretagne ces dernières années. La plupart des scories ont été découvertes au cours de prospection : prospections de J.-B. Vivet en Haute-Bretagne (Vivet 2007a, 2009), N. Jouanet-Aldous en centre Bretagne (Jouanet 2010, 2011), C. Le Carlier dans le Finistère (Le Carlier 2011). Plusieurs sites ont fait l'objet de fouilles : Les Glyorels 1, Les Glyorels 2 et Les Glyorels 3 (Vivet 2007b).

Ces sites sont répartis sur 4 régions : la région de Rance (Nord Ille et Vilaine), la région de Paimpont (Sud-est Ille et Vilaine), la région de Tourc'h (Sud Finistère) et la région de Morlaix (nord Finistère). Certaines de ces régions ont vu une activité sidérurgique importante se développer au cours de l'âge du Fer. On les appelle les districts de production. Cette activité a pu engendrer des échanges, avec des régions peu ou pas productrices

Le diamètre des scories piégées de Châteaulin varie de 60 à 90 cm, avec une moyenne de 80 cm. Ce diamètre est plus petit que le diamètre des scories rencontrées à Tourc'h (100 à 110 cm) et de Morlaix (120 cm), qui sont des sites datés de la fin de La Tène ancienne et de la moitié de La Tène moyenne. Néanmoins, les fourchettes de datations radiocarbone sont larges et ces sites peuvent très bien être datés de La Tène moyenne plus que de La Tène ancienne. Lors du colloque de l'AFEAF de 2003, J.-B. Vivet a mis en rapport les données chronologiques et la taille des diamètres internes (Vivet 2007). Ce travail a montré une augmentation graduelle du diamètre internes des bas-fourneaux de premier âge du Fer jusqu'au début de la Tène finale, après quoi le diamètre semble décroître. Dans ce cas de figure, le site de Châteaulin s'intègre bien à cette démonstration.

Site	Commune	Diamètre	Datation	Responsable opération
La Ville Pierre 2	Quévert	80 cm	503-391 Av JC	JB Vivet
Penn ar Roz	Châteaulin	60 à 90 cm moy de 80 cm	la Tène ancienne	Eric Nicolas pour INRAP
Le Restou	Tourc'h	100 -110 cm	385 à 316 av JC	N. Jouanet-Aldous
Dourgean 8	Tourc'h	100-110 cm	378 à 207 av JC	N. Jouanet-Aldous
Penn ar Quinquis	Pleyber-Christ	120 cm	364 à 203 av JC	N. Jouanet-Aldous
Etang du Perray	Plélan le Grand	125 cm	358 à 65 av JC	Guy Larcher
Le Rocher Abraham	St-Pierre-du-Plesguen	91 et 97 cm	349 à 65 av JC	JB Vivet

Fig. 4 : Récapitulatif des données métriques des sites dont la chronologie est proche de celle du site de Penn an Roz (Châteaulin)

Le poids estimé des scories de Châteaulin est de 200 kg minimum. Cette estimation est proche des estimations faites pour les scories de Tourc'h (200-250 kg). Les bas-fourneaux de Paimpont ont livré un peu plus de scories (Les Glyorels 3 : 320 kg).

La hauteur estimée des scories de Châteaulin est de 50 cm. C'est beaucoup plus que ce qui a été observé sur les scories de Tourc'h (20-30 cm), de Morlaix (40 cm) et de Paimpont (Les Glyorels 2 : 30 cm). De plus, cette différence métrologique affecte la forme générale de la scorie. Ainsi, les scories de Tourc'h, peu épaisses, peuvent être décrites comme des « galettes », tandis que les scories de Châteaulin ont un aspect plus massif.

La particularité de la composition structurelle des scories de Châteaulin est l'abondance de combustible emporté par l'écoulement de la scorie. Les scories découvertes à Paimpont, Tourc'h ou Morlaix présentent une structure plus compacte et beaucoup moins chargée en charbon de bois et en bois.

1.3.4. Caractéristiques de la partie inférieure des bas-fourneaux

Les scories piégées nous donnent des informations sur la fosse réceptacle.

Cette fosse devait être creusée sur 50 cm de profondeur. Transversalement, elle était de forme cylindrique irrégulière, c'est-à-dire que le plan circulaire était un peu déformé et le diamètre n'était pas constant sur toute la profondeur.

Les structures observées en fouilles ont une profondeur maximale de 30 cm. cette observation montre un fort arasement de la structure. Les fosses observées en fouilles correspondent à la moitié inférieure de la fosse réceptacle.

1.4. Les parois du bas-fourneaux

1.4.1. Inventaire du mobilier étudié

Les sidérurgistes ont réutilisé des fosses de charbonnages en fosses dépotoirs, où ils ont rejeté les parois après la destruction du four.

Trois lots de parois ont été découverts : Les lots F. 1044 et F. 1045 concernent l'atelier métallurgique où cinq bas-fourneaux ont fonctionné. Ils ont respectivement livré 126 kg et 152 kg de fragments de parois de four. Tandis que le lot F. 1655 est situé en bordure de l'espace fouillé. Il a livré 185 kg de parois.

1.4.2. Description générale des parois de four

Les fragments de parois étudiés mesurent entre 10 cm et 60cm.

Les fragments de parois ont subi une exposition à de fortes chaleurs combinées à la présence des minerais de fer en cours de réduction et du charbon de bois. On distingue deux faces principales : la face interne est en contact avec le feu et la chaleur. Les traces de combustion sont plus ou moins fortes selon la proximité avec la cuve. Les altérations liées à la chaleur sont diverses : vitrification de la paroi, couleur allant du gris au noir, en passant par le bleu et le violacée, déformation de la paroi et incrustation de charbon de bois ou de minerais en cours de réduction ; la face externe est située hors du bas-fourneau. Elle est instable, poudreuse et de couleur orange. Enfin, les cassures montrent la progression de la cuisson au sein de l'épaisseur de la paroi.

1.4.3. Limite de l'étude

L'objectif de cette étude est de déterminer la forme et la hauteur de la cheminée des bas-fourneaux. Cette donnée est importante car il de connaître la hauteur de cheminée suffisante pour une bonne réduction, 'est-à-dire trouver le bon équilibre entre le temps de maintien de la charge minérale au contact des agents réducteurs et le temps nécessaire à la réduction des oxydes de fer en fer métal.

Cette démarche est présente un certain nombre de limites.

Le premier problème concerne l'état de conservation du site. Nous avons vu, plus haut (cf. 1.3.4), que le site a subi un fort arasement d'au moins 20 à 30 cm. Les parois de four ont été rejetées dans une fosse de rejet, profonde d'environ 40 à 50 cm de profondeur. Cependant, les fragments de parois de four affleuraient à la surface de la fosse. On ne peut donc pas exclure qu'une quantité indéterminée de fragments de parois ont disparu lors de l'érosion du site.

Pour évaluer le problème, nous avons contrôlé le poids moyen de parois par bas-fourneau. Cet essai s'est porté sur les lots F. 1044 et F. 1045, qui présentent dans leur environnement immédiat cinq bas-fourneaux. Le volume des parois pour ces lots est d'environ d'un 0.5 m³. On sait que le four est cylindrique avec un diamètre d'environ 80 cm, avec des parois épaisses d'environ 10 cm, on a donc un ratio de d'environ 40 cm de hauteur par bas-fourneau. En termes de poids, nous avons une moyenne de 55 kg de parois pour un four. Par comparaison, les sites de Glyorels 2 et 3 (Paimpont) ont respectivement livré 210 kg et 125 kg de parois pour des bas-fourneaux datés de La Tène moyenne (Vivet 2007 et 2009). Ce qui semble confirmer l'absence d'une certaine quantité de paroi sur le site de Châteaulin.

L'essai de recollage des fragments de parois nous a confrontés au deuxième problème. La plupart des fragments de parois ne présentaient pas de cassures franches permettant des recollages. Le nombre de fragments recollés est donc limité et il concerne surtout des cassures fraîches réalisées lors de la fouille.

1.4.4. Démarche employée

La démarche proposée s'appuie sur l'étude de la face interne des parois du four. Les matériaux argileux, qui constituent l'architecture de la cheminée, réagissent plus ou moins fortement à l'impact de la chaleur selon sa proximité avec la cuve où la réduction a lieu.

Dans un premier temps, on s'est attaché à l'identification des différents degrés de cuisson des parois. Nous nous sommes donc concentrés sur la coloration, l'aspect de la paroi (lisse, déformé, rugueuse), l'état de cuisson des cassures...

Puis nous nous sommes intéressés à l'agencement de ces différents types de cuisson au sein du four. Cette organisation a pu être obtenue par la combinaison des enchaînements logiques des degrés de cuisson (scorification, vitrification, cuisson), de la succession de différents degrés de cuisson sur un même échantillon, et par l'étude des cassures dans les cas les plus incertains.

Enfin, on a estimé la hauteur et la forme de la structure à partir des observations et des mesures des différents types de cuisson des parois.

1.4.5. Description détaillée des parois de four

Les fragments de parois ont été séparés en faciès, suivant la couleur, l'aspect de la paroi, et le degré de cuisson observé sur les cassures latérales. Les paragraphes qui suivent décrivent chaque faciès de parois, tel que l'on peut les agencer du bas de la cheminée jusqu'au gueulard.

Faciès de parois scoriacées :

Les structures F. 1655 et F.1044 et F. 1045 ont livré des parois scoriacées. Ces fragments de parois semblent provenir d'une zone proche de la cuve.

La proportion des parois scoriacées au sein des corpus est relativement faible. La structure F. 1655 a livré 9.25 kg de parois scorifiées sur les 180 kg de parois extraites. Quant à la structure 1045, elle a livré 29 kg de parois scoriacées sur les 126 kg de parois étudiées. Il est possible que les parois scoriacées soient restées en place sur le four et que l'érosion les ait emportées.



Fig. 5 : Fragment de paroi scoriacée provenant de la structure F. 1655

Ces fragments de parois présentent une face interne convexe très scoriacée, de couleur brun-noire. Cette surface est très déformée avec de nombreuses cavités contenant des charbons de bois. La paroi présente des arêtes très vives.

Les cassures sont pas ou peu visibles. Les cassures les plus nettes montrent deux niveaux de cuissons : un niveau noir proche de la face interne comportant de très nombreuses petites vacuoles, puis un niveau gris, solide, granuleux, qui accroche aux doigts.

Les fragments ont une épaisseur de 7 à 15 cm. L'absence de face externe composée de terre orangée peu cuite peut suggérer que ces fragments de parois pouvaient être enterrés.

Les fragments de parois scoriacées ont une hauteur de 9 à 21 cm.

Faciès de parois noires très vitrifiées et déformées

Quelques fragments de parois de la structure F. 1044 montrent que le raccordement des fragments de parois très vitrifiées et déformées avec les parois scoriacées.



Fig. 6 : Fragment de paroi présentant une surface interne vitrifiée et déformée

Ces fragments ont une surface interne convexe noire très vitrifiée. La surface est très déformée, avec des traces de coulures verticales, des cavités, des zones rugueuses, ainsi que la présence d'agglomérats rouillés.

Les fragments ont une épaisseur d'environ 10 à 14 cm. Les cassures montrent plusieurs niveaux : un premier niveau de 3 à 5 cm d'épaisseur (proche de la face interne) de couleur noire avec des microvacuoles ; un second niveau d'environ 3 cm d'épaisseur de couleur brun clair ; enfin, un troisième niveau constitué de terre orangée peu cuite.

Les fragments ont une hauteur comprise entre 13 à 35 cm.

Faciès de parois noires très vitrifiées lisses

Plusieurs fragments provenant des structures F. 1655 et F. 1045 montrent que les parois noires très vitrifiées et déformées, surmontées par des parois noires très vitrifiées et lisses.



Fig. 7 : Fragments de parois présentant une surface vitrifiée et lisse

Comme le faciès précédent, la surface de ces fragments est noire et très vitrifiée. Cependant, ces fragments sont relativement lisses et régulières, avec quelques grosses vacuoles. Cette surface est parfois recouverte d'un épais encroûtement brun, comportant parfois des amas granuleux plus ou moins important. Les fragments sont orientables, car la charge a laissé des traces de coulures verticales imprimées dans la paroi.

L'épaisseur des fragments varie de 5 et 13 cm. Les cassures montrent un dégradé de cuisson sur 3 niveaux : un premier niveau d'environ 3 cm près de la face interne, constitué d'une surface durcie allant du brun rouille au noir avec de nombreuses vacuoles ; un niveau intermédiaire de 3 à 5cm d'épaisseur dont la couleur varie du jaune ocre légèrement grisé au marron ; enfin, un niveau de terre peu cuite orangée et poudreuse.

La plupart des fragments sont convexes. Certains petits échantillons qui ne présentent aucune courbure.

Les fragments ont une hauteur comprise entre 6 et 23 cm.

Faciès de parois lisses de couleur bleue



Fig. 8 : Fragment de paroi présentant une surface lisse de couleur bleue

La face interne de ces fragments de parois est vitrifiée et de couleur bleue. Des sillons verticaux donnent l'orientation des fragments. Les parois portent les traces de charbons de bois non consommés et des amas granuleux de couleur rouille, pouvant être des grains de minerais de fer incrustés dans la paroi. Certains fragments présentent une paroi déformée, selon la fréquence des charbons de bois.

L'épaisseur des fragments varie 8 à 9 cm. Sur l'ensemble des fragments étudiés, un tiers des fragments présente une cassure nette, un tiers des cassures floues et le dernier tiers montre une vitrification de la cassure.

Les cassures montrent trois niveaux de dégradé de cuisson : un premier niveau d'environ 1 à 1.5 cm constitué une terre cuite durcie par la chaleur de couleur brune avec des micro-vacuoles ; un niveau intermédiaire d'environ 3 cm de couleur brune avec quelques fissures orientées vers la face interne ; enfin, un niveau de terre orangée peu cuite sur environ 1 cm.

Les fragments de parois présentent différents rayons de courbures : pas de courbures dans la moitié des cas (ce sont souvent des petits échantillons), et concave dans l'autre moitié des cas. Quelques

fragments présentent une courbe concave, peut-être due à la déformation des parois encore chaudes lors du démontage du four afin de récupérer la masse de fer produite.

La hauteur varie de 7 à 21 cm.

Faciès parois lisses de couleur violette

Ce faciès de fragments de parois se caractérise par une face interne convexe et lisse de couleur violette. La surface présente souvent des grosses vacuoles, quelques cavités ayant contenu du charbon de bois, et quelques amas granuleux. Ces amas granuleux peuvent être des fragments de minerais de fer incrustés dans la paroi. En outre, la surface interne prend parfois un aspect ridé. La surface est parfois des sédiments orangés qui recouvrent la partiellement.

L'épaisseur varie de 3 à 7.5 cm, avec une moyenne de 6 cm. La plupart des cassures ne sont pas nettes, elles sont floues ou recouvertes d'une vitrification. On observe trois niveaux : un niveau d'environ 1 cm d'épaisseur près de la face interne, de couleur noire violacée avec de nombreuses petites vacuoles ; un niveau intermédiaire de 2 à 5 cm d'épaisseur, très solide de couleur brun-clair, parfois accompagné de fissures ou de vitrification violette ou noire ; enfin, un niveau de terre mal cuite de couleur orangée très fragile.

Le rayon de courbure observé sur les échantillons est majoritairement convexe, mais quelques échantillons sont plats.

Les dimensions des échantillons varient de 10 à 23 cm.

Faciès violet à brun lisse avec amas granuleux



Fig. 9 : Fragments de paroi présentant une surface granuleuse de couleur violette

Ce faciès se caractérise par une surface lisse de couleur violette, comportant un grand nombre d'amas granuleux violet et orangé. Plus la surface est composée d'amas granuleux, plus la surface est de couleur violette. A l'inverse, moins il y a d'amas granuleux, plus la surface est brune.

Les fragments de paroi les plus grands montrent une convexité.

L'épaisseur mesure de 5 à 7 cm en moyenne. On peut cependant mentionner que l'un des échantillons mesure jusqu'à 19 cm d'épaisseur. Les cassures sont nettes. Certaines cassures contiennent des charbons. Le premier niveau, situé près de la face interne, mesure environ 2 cm d'épaisseur. Il est solide avec des micro-vacuoles. Le niveau intermédiaire est de la même couleur mais sans vacuoles, puis on a un niveau de terre cuite grise qui accroche aux doigts. Certaines cassures montrent une cassure plus cuite et une légère vitrification violette ou bleue.

La hauteur des fragments de ce faciès varie de 8 à 37 cm.

Faciès de parois grises avec amas granuleux orangés :



Fig. 10 : Fragment de paroi présentant une surface interne rugueuse et grise avec des amas granuleux orangés

La face interne des fragments de parois de ce faciès présente une surface plane, rugueuse de couleur grise claire avec de nombreuses taches orangées ou des amas granuleux orangés. Certains fragments présentent des sillons inscrits dans la paroi, marquant le sens de la descente de la charge, ainsi que des charbons encastrés. Cette surface est éloignée de la zone la plus chaude du bas-fourneau, car la paroi est durcie sous la chaleur mais elle n'a pas été vitrifiée comme les fragments décrits précédemment.

L'épaisseur des fragments de parois est d'environ 8-9 cm. Peu de cassures sont nettes. La plupart présente une cassure trop granuleuse pour distinguer le degré de cuisson. Les cassures montrent trois degrés de cuisson : le premier niveau, situé près de la face interne, mesure environ 2-3 cm d'épaisseur. La terre, cuite est durcie par la chaleur, est de couleur brune à jaune avec de nombreuses petites vacuoles ; le niveau intermédiaire mesure 2 cm d'épaisseur. La terre cuite est de couleur jaune à grise sans vacuoles ; Enfin, le dernier niveau est constitué de 5 à 6 cm d'argile orangé instable (poudreuse et friable).

La surface interne est plane ou légèrement convexe. La hauteur varie de 7 à 19 cm

Ce faciès s'agence au faciès « bleu à la surface lisse » et au faciès « violet avec des amas granuleux » pour le raccordement inférieur et au faciès « gris et blanc craquelée » pour le raccordement supérieur.

Faciès de parois craquelées grises et blanches :



Fig. 11 : Fragments de paroi présentant une surface interne rugueuse, craquelée et grise

Le faciès de parois grises avec amas granuleux orange est directement suivi par un faciès présentant une surface interne rugueuse et fissurée de couleur grise et jaune. Quelques nodules de terre cuite sont également visibles.

Les fragments de parois ont une surface plane ou légèrement convexe.

L'épaisseur de ces fragments est de 6 à 8 cm. Les cassures latérales montrent une granulosité ou un aspect sablonneux qui ne permet pas de faire des recollages. Les cassures les plus nettes montrent un niveau près de la face interne durcie par la chaleur, de couleur brune à grise avec quelques grosses vacuoles ; un niveau intermédiaire sablonneux de couleur brun-jaune avec des fissures parfois profondes, enfin, le niveau externe montre de la terre peu cuite orangée et poudreuse

Ce faciès est présent en faible proportion : une vingtaine de kilogrammes pour la structure F. 1655 et une quinzaine de kilogrammes pour la structure F. 1044.

La hauteur varie de 7 à 19 cm.

1.4.6. Architecture des parties hautes du bas-fourneau

Les parois du fourneau semblent avoir été construites à partir de moellons de terre crue. L'étude des fragments de parois a en effet mise en évidence des faces latérales entièrement vitrifiées et des cassures en décalage entre la face latérale et la face interne.

Aucun élément de ventilation n'a pas pu être mis en évidence lors de l'étude des parois. La proportion de parois scorifiées au sein du corpus est très minime. On peut penser qu'une partie de ces parois et les éléments de ventilation qui devait être situés à proximité dont pu disparaître avec l'érosion du site.

Les parois sont plus épaisses en bas de la cheminée. En effet, les parois scorifiées et vitrifiées noires présentent une épaisseur conservée de 13 à 15 cm, tandis que les autres fragments de parois ont une épaisseur originelle proche de 9-10 cm.

La cheminée semble avoir été cuite ou vitrifiée sur toute sa hauteur. Les parois semblent scorifiées sur une hauteur minimum de 20 cm. Puis la paroi présente une vitrification, accompagnée de déformation

plus ou moins prononcée de la paroi, sur environ 60 cm. Ensuite, les parois très cuites présentant différents niveaux de couleur ont une hauteur d'environ 80 cm. Enfin, des parois cuites sur 40 cm minimum. La hauteur du four, estimée à partir des hauteurs maximales de chaque faciès de cuisson, est d'environ 2 mètres de haut.

D'après la forme et la surface des fragments de parois, on peut dire que les 100 à 110 premiers centimètres de la cheminée sont de forme cylindrique. L'étude des fragments de paroi montre que le diamètre se conserve sur la hauteur. Puis, le diamètre de la cheminée se ressert sur une hauteur de 50 à 60 cm de hauteur. Les fragments de parois les plus grands provenant de la structure F. 1655 montrent bien cette évolution morphologique. De plus, ces fragments de parois ne comportent plus de sillons inscrits dans la paroi, marquant la descente de la charge. Puis cette cloche semble surmontée d'une forme cylindrique de diamètre indéterminée et de 30 à 40 cm de hauteur.

On peut estimer à partir de ces mesures le volume interne des fourneaux à environ 1 m³.

Certaines parois présentent une face interne concave. C'est particulièrement le cas sur des parois noires très vitrifiées. Cette concavité a pu apparaître lors de la destruction du four après l'opération de réduction quand le sidérurgiste récupère la masse de fer produite.

1.4.7. Essai de comparaison

Si l'on regarde la documentation nationale, les données sur l'architecture des bas-fourneaux de La Tène ancienne, et de l'âge du Fer en général, sont rares. Généralement, il ne reste presque rien des superstructures des fourneaux : elles ont été détruites ou déplacées à la fin de l'opération de réduction afin que soit récupéré la masse de fer. Le bas-fourneau de Près-de-Montadet (le Fossé, Seine-Maritime) est le site qui semble le mieux documenté à ce jour. Il s'agit d'un bas-fourneau à scorie piégée à utilisation multiple, daté du 3^e siècle avant JC. Les sites fouillés à Paimpont nous fournissent également quelques éléments de comparaisons.

Les constructions de bas-fourneaux en moellons d'argile sont déjà connues en Bretagne. Le site des Glyorels 3 (Paimpont) présente ce type de construction. L'épaisseur de la paroi à la base de la cheminée est de 22 à 25 cm (Vivet 2009), soit environ 10 cm de plus que ce qui a été observé sur les parois de Châteaulin. Le bas-fourneau de Près-de-Montadet était également construit à partir de moellons d'argile, de forme losangiques, moulées au creux des mains (Colliou et Peyrat, 2012).

Christophe Colliou a examiné les fragments de parois du four de Près-de-Montadet. Il a constaté une petite proportion de fragments de parois présentant des traces de chaleur intense et des scorifications et une grande proportion de fragments de parois pas cuits (Colliou et Peyrat 2012, p. 24). Contrairement au site de Châteaulin, les fragments de parois du site normand ne présentent pas de vitrification. Les expérimentations de réduction de Christophe Colliou montrent que la paroi se vitrifie quand les fours sont équipés d'un système d'évent ou de tuyères d'arrivées d'air très courtes qui pénètrent peu dans le four. L'étude du mobilier sidérurgique de Châteaulin n'ayant pas été livrée aucun élément du système de ventilation. En suivant les résultats de Christophe Colliou, on peut évoquer que les bas-fourneaux de Châteaulin ont pu être équipé d'évent de tuyères très courtes (Colliou et Peyrat 2012, p. 24).

Nous ne connaissons aucune estimation de la hauteur de la cheminée pour les bas-fourneaux à scorie piégée à partir des vestiges archéologiques. Néanmoins, des expérimentations de réduction avec des bas-fourneaux à scorie piégée ont été réalisées (Colliou et Peyrat 2012). Les bas-fourneaux utilisés fonctionnaient en ventilation naturelle, avec le principe de la colonne vide. La colonne, vide dans sa

partie supérieure joue un rôle de cheminée de tirage. Les dimensions du four de réduction lors de ces expérimentations étaient de 60 cm de diamètre et de 130 cm au-dessus des tuyères, soit 140 cm en tour. Ce type de four pouvait réduire 160 kg de minerais de fer, sans présenter des signes d'engorgement mettant fin à l'opération de réduction (Colliou et Peyrat 2012, p.28).

Néanmoins, il semble que le mode de fonctionnement, en particulier le système de ventilation et le remplissage de la cheminée, soit différent sur les deux sites. En effet, la présence d'une grande quantité de grains de minerai de fer partiellement réduits incrustés dans la paroi suggère que les 2/3 de la cheminée des bas-fourneaux de Châteaulin était rempli de minerais de fer et de charbon de bois. Il est donc difficile de comparer les deux sites.

Quelques estimations sont également disponibles pour des bas-fourneaux à scories écoulées, datés de La Tène finale et de la période romaine. Hormis la différence de modes d'écoulement de la scorie, la hauteur nécessaire à la réduction est identique pour les deux types de bas-fourneau.

Les bas-fourneaux des Martys sont datés du 1^{er} siècle av. J.-C. Tous les bas fourneaux découverts sur le site sont construits sur le même modèle : un socle, construit en gros blocs de granite, haut d'environ 0.90 à 1.00 mètre et une superstructure, construite en plaquettes de schiste liées à l'argile ou au réfractaire, haute de 1.30 à 1.40 mètres. Au total, le bas-fourneau devait être haut de 2.20 à 2.30 mètres. (Domergue 1993, p. 352)

La fouille de l'atelier sidérurgique gallo-romain de Roche Brune à Sillé-le-Guillaume a livré deux bas fourneaux à scories écoulées, datés du 2^e siècle ap. J.-C. Il s'agit de fours encastrés dans la pente site, seule la cheminée dépasse du sol. Florian Sarreste a estimé que la partie hors sol devait être équivalent ou légèrement supérieure à la partie enterrée, soit environ à 1 à 1.20 m, soit une hauteur totale de 2 à 2.20 mètres. Quant au volume interne des bas-fourneaux, il est environ 1m³. (Sarreste 2008, p.387-392)

Les dimensions et le volume des bas-fourneaux de Châteaulin sont donc en accord avec les exemplaires gallo-romains.

Les bas-fourneaux des Martys présentent une forme conique, tandis que les fours de Sillé-le-Guillaume ont une forme générale cylindrique. La forme cylindrique des bas-fourneaux de Châteaulin se rapproche plus de la forme des fours de Sillé-le-Guillaume que de celle des Martys.

1.4.8. Quantification de la production

Grâce à l'estimation du poids des scories, il sera possible dans un avenir proche de calculer le rendement de l'opération et les quantités de matières premières employées.

1.4.9. Conclusion :

Le site de Châteaulin présente au moins deux ateliers de réduction datés de La Tène ancienne. Les ateliers regroupaient plusieurs bas fourneaux. L'activité de ces aires de travail est estimée à quelques jours.

L'atelier de réduction composé des structures F. 1044 à 1049 est la mieux connue : 5 bas fourneaux, 2 fosses à charbonnage réutilisées en fosse dépotoirs, près de 280 kg de parois de four.

L'atelier situé autour de la structure F. 1655 est peu connu : il est situé en bord de sondage et la fouille n'a pas livré de bas-fourneaux. Néanmoins, à partir de déchets de parois, on peut estimer qu'au moins trois bas-fourneaux ont pu fonctionner dans cet atelier.

La morphologie des parois et des scories des deux ateliers est semblable. On peut donc suggérer que les deux ateliers ont été construits dans un intervalle chronologique court.

Le bas-fourneau à scorie piégée utilisé à Châteaulin comporte : une fosse réceptacle subcirculaire, d'environ 80 cm de diamètre et d'au moins 50 cm de profondeur. Elle reçoit la scorie riche en charbons de bois ; une cheminée d'environ 2 mètres de hauteur, construites à partir de moellons d'argile.

2. Les déchets de post-réduction et de forge

2.1. Notions générales

La post-réduction est un terme générique regroupant les étapes de la chaîne opératoire après la réduction : l'épuration de la masse de fer sortie du four, l'élaboration d'objet et également les travaux de réparation.

Le métal sorti du bas fourneau est une masse de fer solide plus ou moins propre. Elle est plus ou moins compacte et elle contient plus ou moins de fragments de scories. Cette masse de fer n'est pas forgeable. Elle nécessite un travail d'épuration du métal, une étape intermédiaire avant la forge. Divers traitements de compactage à chaud et à froid permettent d'obtenir un produit forgeable.

Enfin, le forgeage consiste à transformer le fer épuré en un objet fonctionnel. La mise en forme du fer peut se faire par façonnage à froid ou à chaud, par des déformations du métal, des découpes, des assemblages.

Plusieurs types de scories peuvent être produits lors de ces opérations : des culots de forge, des scories informes, des battitures, des déchets en fer.

2.2. Inventaire du matériel archéologique associé à la forge

Tous les vestiges de post-réduction découverts sur le site de Penn ar Roz ont été collectés et comptabilisés. Le matériel de Penn ar Roz comporte essentiellement des scories (6.843 kg) et quelques fragments de parois de foyer (1.105 kg).

Etant donné l'état de conservation du site, on peut supposer que partie du matériel sidérurgique a pu être emporté par l'érosion du site. Néanmoins, il est impossible d'établir la quantité originelle de scories de forge produite.

Certaines structures ont été identifiées comme des foyers dévolus à la métallurgie du fer. Les déchets de post-réduction ne présentent apparemment aucune concentration particulière.

2.3. Description des parois de foyer

La majorité des fragments de foyer du corpus a une dimension avoisinant 3 à 5 cm de longueur maximale. Le plus grand fragment mesure jusqu'à 12 cm sur 11 cm.

Les fragments de parois de foyer proviennent de foyers métallurgiques où sont effectuées les activités de post-réduction ou de forge. Ces fragments ont subi une exposition à de fortes chaleurs.

La face présente à l'intérieur du foyer montre des stigmates provoqués par la forte chaleur, notamment une vitrification ou une scorification.

La face, irrégulière de couleur orangé, correspond à la partie externe ou enterrée. Cette surface orangée a parfois disparu sur certains échantillons. Ils présentent alors une surface stable, grise et granuleuse.

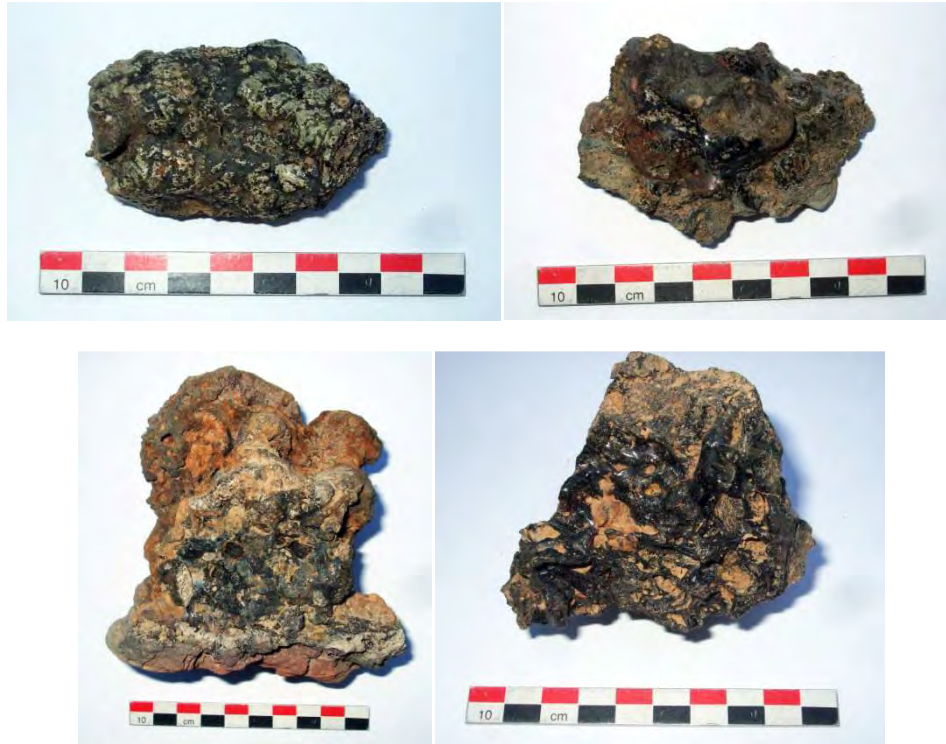


Fig. 12 : La face interne des parois de foyers.



Fig. 13 : La face externe des parois de foyers

2.4. Description des scories de post-réduction et de forge

Les culots de forge se forment par accumulation de la matière au fond du foyer, sous la zone la plus chaude du foyer, la tuyère. Ces scories sont constituées de métal, de charbons de bois, d'éléments provenant de l'altération du foyer comme les cailloux ou l'argile et parfois des ajouts de matériaux comme des fondants.

Onze scories de fer en forme de calotte ont été identifiées (soit 4.099 kg). Les scories de forge en calotte correspondent au 2/3 du corpus. Huit scories en calotte sont complètes et trois autres sont incomplètes. Une autre scorie de forge a été identifiée, mais elle ne correspond pas à la forme de la scorie en calotte.

2.4.1. Les scories de forge en calotte

Ces scories présentent une forme très caractéristique d'une calotte : la face inférieure est convexe, tandis que la face supérieure est soit plate, soit concave avec parfois une excroissance vitreuse. Cette forme est induite par la configuration du foyer, où la scorie a été produite.

Etude métrique

Le premier lot regroupe les calottes les plus légères (5 exemplaires), de 36 à 167 g. Quatre scories présentent une masse comprise entre 200 et 451g. Enfin, deux exemplaires ont une masse bien plus élevée que les autres scories du corpus : une calotte de 842 g et une de plus de 1500 g.

L'épaisseur de ces calottes est comprise entre 20 et 75 mm. La majorité des scories ont une épaisseur comprise entre 30 et 45 mm (7 exemplaires). Deux exemplaires ont une épaisseur supérieure à la moyenne des échantillons, 55 mm et 75 mm.

US	état	poids (g.)	épaisseur (mm)	long. Max. (mm)
1612	complet	36	20	50
1688	fragment	41	25	
1001	complet	70	30	4
1001	complet	266	30	8
1001	fragment	167	35	
2041	complet	229	35	6
1001	complet	386	35	9
1408	complet	161	45	6
1087	complet	842	45	16
1001	fragment	419+	55	
1001	complet	1532	75	13,5

Fig.14 : Récapitulatif des données métriques des scories en calotte du site de Penn ar Roz à Châteaulin.

La plupart des scories en calotte présentent une forme d'ovale allongée. Seule une scorie en calotte semble plus hémisphérique que les autres (F. 1001 scorie de 1532 kg). La longueur maximale est comprise entre 4 et 16 cm, avec une forte proportion entre 4 et 9 cm (6 des 8 exemplaires entiers).

Description des échantillons

Fig. 15 : Scorie en calotte provenant de la fosse F. 1001
 (1) : Face inférieure ; (2) : Face supérieure ; (3) : Face latérale

Cet échantillon provient de la fosse F.1001 (fig. 15). Cette scorie présente un plan subcirculaire, dont le diamètre est de 11 cm. L'épaisseur est de 7 cm et l'échantillon pèse 1 556 g. La face inférieure présente un aspect cervelé très régulier. La surface est de couleur brun-violacée d'un côté et orangée de l'autre. Quelques petites empreintes de charbon de bois sont visibles sur la partie brun-violacée. L'échantillon présente une bordure droite et rectiligne, qui semble correspondre à une face d'appui de la scorie contre la tuyère. La face supérieure est plane, excepté un léger bourrelet en bordure externe. La surface montre un dégradé de couleur et de texture au débouché de la tuyère. La couleur varie du noir-violacée, brun-orangée au noir grisé, tandis que la texture montre des traces de vitrification, puis elle est surface légèrement granuleuse et enfin on atteint la bordure où la scorie est grise noire lisse. La coupe de cet exemplaire a révélé une importante masse de fer. Cette masse de fer est visible dans le centre de la section et elle occupe près de la moitié de l'échantillon. Ce fer est inséré une matière grise compacte et sans vacuoles. C'est la calotte la plus lourde du corpus. Ce poids s'explique par l'importante masse de fer contenue par la scorie. Cela suggère une activité de forge qui a engendré une forte perte métallique.

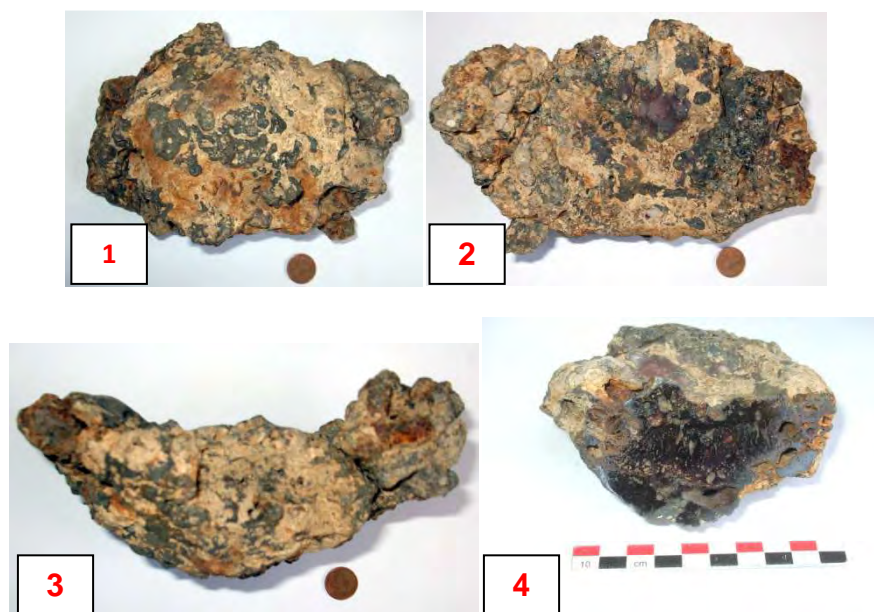


Fig. 16 : Scories de forge en calotte provenant de la structure F. 1087
 (1) : face inférieure ; (2) : face supérieure ; (3) : face latérale (4) : coupe transversale

Cette scorie a été découverte dans la structure F. 1087 (fig. 16). Il s'agit d'une scorie plano-convexe, avec une forme allongée. Ses dimensions sont les suivantes : 16.4 cm de longueur, 10.6 cm de largeur et 5.3 cm d'épaisseur. Elle pèse 833 g. La face inférieure présente un aspect cervelé, partiellement recouvert d'un encroûtement ocre. La face supérieure présente des zones vitrifiées de couleur mauves ou noires, partiellement recouverts de sédiments ocre. Les cassures montrent de nombreuses petites vacuoles (2mm). L'observation de la coupe révèle une matière de couleur grise foncée parsemée de vacuoles. Les plus grosses vacuoles (5 à 15 mm) sont concentrées sur les bordures de la scorie. Les vacuoles les plus petites (1 à 2 mm) sont localisées au centre de la scorie.



Fig. 17 : Scorie en calotte provenant de la structure F. 1001
 (1) : Face inférieure ; (2) : face supérieure ; (3) : face latérale

Cette scorie a été découverte dans la structure F. 1001 (fig. 17). Il s'agit d'une scorie plano-convexe. Ses dimensions sont 9.5 cm de longueur, 7.3 cm de largeur et 5.1 cm d'épaisseur. Elle pèse 429 g. L'échantillon est enveloppé d'une matière granuleuse orangée sur la quasi-totalité de sa surface. La face inférieure présente une surface régulière de microreliefs noirs et orangés, ainsi que quelques cavités ayant pu contenir du charbon de bois. La face supérieure expose des cailloux de taille centimétrique, des inclusions minérales blanches rattachées à la scorie. La face latérale montre que la scorie ne présente pas un profil en « bol », mais plutôt une scorie très massive de forme presque quadrangulaire. La section de la scorie montre une matière grise parsemée de très nombreuses petites vacuoles, de la présence d'un gros charbon de bois. La surface supérieure de la scorie est recouverte d'argile et de cailloux. Il semblerait donc qu'une partie de la paroi se soit effondrée à la fin de l'opération.



Fig. 18 : Scorie en calotte provenant de la structure F. 1001
(1) : Face inférieure ; (2) : face supérieure.

Cette scorie a été découverte dans la structure F. 1001 (fig. 18). Elle mesure 8.5 cm de long, 7.5 cm de large et 3.5 cm d'épaisseur. Elle pèse 267 g. La face inférieure présente un aspect cervelé de couleur noir et orangé. La face supérieure est plane. La face inférieure, comme la face supérieure, montre de nombreuses cavités ayant contenu du charbon de bois. L'observation de la section montre une matrice grise foncée, composée de nombreuses vacuoles sur toute la coupe et des charbons de bois dans la partie inférieure.



Fig. 19 : Scorie de forge provenant de la structure F. 1001
(1) : Face supérieure ; (2) : face inférieure ; (3) : Face latérale

Cette scorie provient de la structure F. 1001 (fig. 19). Elle mesure 7.6 cm de long, 5.1 cm de large et 3.4 cm d'épaisseur. Elle pèse 169 g. La forme de la scorie est typiquement en calotte. Cet échantillon semble très lourd.

La face inférieure montre deux parties bien séparées par un important sillon. L'une présente une surface lisse de couleur violacée, tandis que l'autre présente une surface rugueuse de couleur boire recouverte par voile terreux ocre. La face supérieure est une surface relativement plane, constituée de microreliefs, de vacuoles pouvant atteindre de grandes dimensions. L'échantillon présente une bordure droite et rectiligne, qui semble correspondre à une face d'appui de la scorie contre la tuyère. La face supérieure est plane, excepté un léger bourrelet en bordure externe. La surface montre un dégradé de couleur et de texture au débouché de la tuyère. L'échantillon n'a pas été coupé.

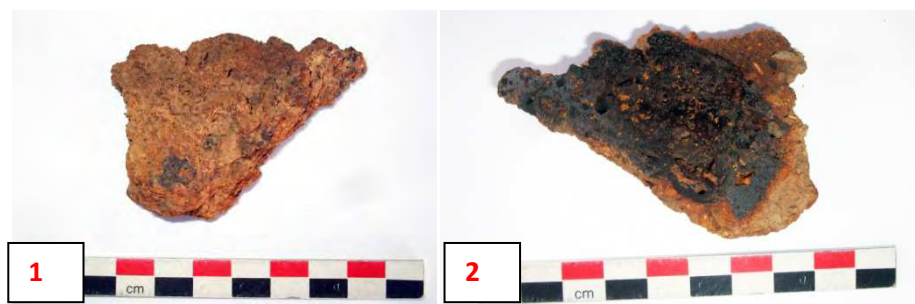


Fig. 20 : Scorie de forge provenant de la structure F. 1408
(1) : Face latérale ; (2) : Coupe transversale

Cette scorie provient de la structure F. 1408 (US 1) (fig. 20). Elle mesure 6.8 cm de long, 4 cm de largeur et 4.8 cm d'épaisseur. Elle pèse 114 g. La scorie présente un profil triangulaire. La surface supérieure est plane. La face inférieure est en forme de pointe. L'ensemble de la scorie est recouverte d'une matière granuleuse brun orangé. La section montre une matière grise foncée composée de nombreuses vacuoles et quelques petits charbons de bois. Les vacuoles sont de taille millimétrique pour la plupart, trois autres cavités sont bien plus grandes (8 à 10 mm). Des matériaux argileux et des petits cailloux sont présents sous la face inférieure. Ce sont des fragments de parois qui sont tombés dans le foyer et ont fondu.



Fig. 21 : Scorie de forge provenant de la structure F. 1001
(1) : face supérieure ; (2) coupe transversale

Cette scorie provient de la structure F. 1001 (fig. 21). Ses dimensions sont les suivantes : 4.5 cm de long, 3.6 cm de largeur et 2.8 cm d'épaisseur. Elle pèse 70 g. Il s'agit d'une petite scorie de forme de boule légèrement aplatie. La scorie est enveloppée par une matière granuleuse orangée, qui camoufle l'aspect de la scorie. La section montre une matière grise composé de vacuoles millimétriques et de cavités à charbons de bois. Ces derniers sont particulièrement présents au centre de la scorie.



Fig. 22 : petite scorie de forge en calotte provenant de la structure F. 1612
(1) : Face supérieure ; (2) : face inférieure ; (3) : face latérale

Cette scorie a été découverte dans la structure F. 1612 (fig. 22). Elle mesure 5.3 cm de long, 4.3 cm de large et 1.9 cm d'épaisseur. Elle pèse 111 g. Il s'agit d'une petite scorie typiquement en forme de calotte. La scorie est enrobée dans une matière granuleuse orangée, incrustée de quelques cailloux, de petits charbons de bois. Cette scorie n'a pas été coupée.

2.4.2. Autres scories

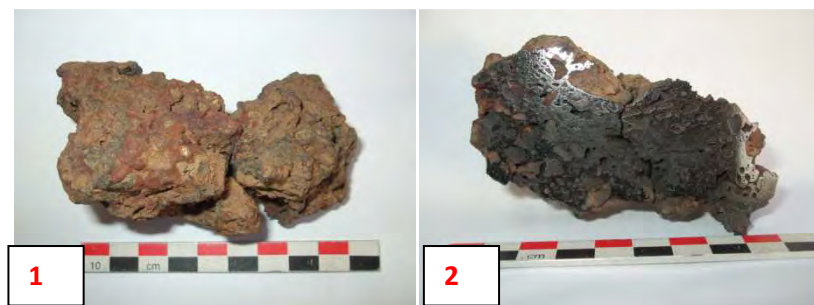


Fig. 23 : Scorie informe provenant de la structure F. 2045
(1) : face latérale ; (2) coupe transversale

Cet échantillon provient de la structure F. 2045 (fig. 23). Il mesure 8.5 cm de longueur, 8.4 cm de largeur et 3.4 cm d'épaisseur. Il pèse 440 g. La face supérieure et la face inférieure sont très mouvementées. La scorie est de couleur noire et rouge, recouverte par un voile terreux ocre. Quelques cavités sont présentes, mais elles ne montrent pas de traces de charbons de bois. La coupe de l'échantillon montre une matrice grise foncée parsemée de très nombreuses vacuoles de toutes tailles.

3. Les battitures

Les battitures sont des déchets de taille millimétriques caractéristiques du travail de forge d'une masse de fer (épuration et fabrication d'objets finis). Elles résultent de l'éclatement, sous les coups du marteau, de la fine pellicule d'oxydes qui s'est formée à la surface du métal au cours de sa chauffe.

Des sédiments ont été prélevés dans les foyers, suspecté d'être reliés à une activité de forge. Une partie des sédiments prélevés a été tamisée. Les refus de tamis ont été observés à la binoculaire afin de vérifier la présence ou non de battitures.

Deux types de battitures ont été identifiés : les battitures plates et les battitures rondes. Les battitures plates ou lamellaires sont de petites écailles dont l'épaisseur dépasse rarement le millimètre. Leur morphologie très plate résulte du martelage d'une surface plane d'un métal bien épuré. Les battitures rondes ou globulaires sont semblables à de petites billes. Lors du martelage, l'enveloppe à l'état liquide formée à la surface du métal est projetée dans l'air et provoque la formation de petites billes.

Neuf structures ont livré des battitures et parfois des fragments millimétriques de scories (fig. 24).

	Structures	Quantité de battitures	Notes
F. 1615	four	peu	
Sd 2018 us 4		important	
F. 1676 us 1	fosse	moyen	
F. 1321	trou de poteau	important	fgts scories et batt. Plates et rondes
F. 1205 us 2	foyer	moyen	et fgts scories
F. 1140 us 2	four	peu	fgts scories et batt. Rondes
F. 1672 us 2	trou de poteau	moyen	fgts scories et batt. Rondes (++) et plates
F. 1478 us 2	foyer	peu	
F. 1669 us 3	foyer	peu	

Fig. 24 : Récapitulatif de la localisation et des quantités de battitures découvertes dans les sédiments.

Les premières observations montrent une importante quantité de battitures rondes dans des sédiments provenant de trous de poteau (F 1321 et 1672). Ces trous de poteaux peuvent avoir formé une architecture ayant abrité une forge, ou alors un bâtiment s'est installé ultérieurement sur un emplacement dédié anciennement à une forge. Ce qui expliquerait l'importante quantité de battitures retrouvée dans les trous de poteaux. Les battitures découvertes sont principalement des battitures rondes. La forte présence de ces battitures peut être interprétée comme « la conséquence d'un cycle de travail répété entraînant un « suage » extrême du métal utilisé » (Orengo 2003 p. 47). Cela signifie qu'une importante quantité de particules liquides se sont formées car le fer contenait de nombreuses impuretés, ou que le forgeron a utilisé une grande quantité d'ajouts. Néanmoins, ce travail devra être affiné dans les mois qui suivent.

Quel que soit leurs formes, les battitures sont de très bons indices pour localiser assez précisément un atelier. Les scories de forge ayant pu être déplacées pour diverses raisons.

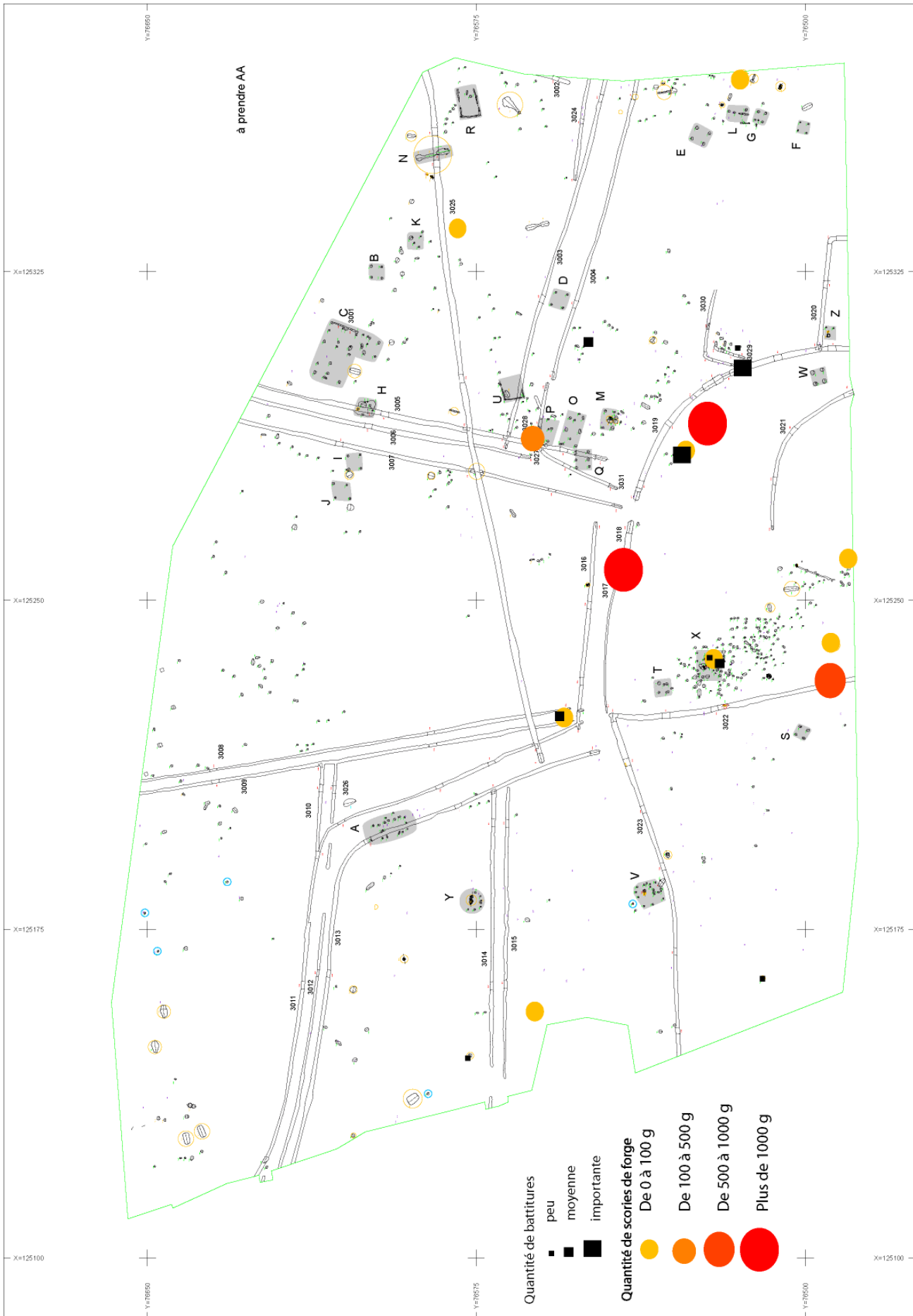


Fig. : 25 : Localisation des déchets de post-réduction et de forge sur le site de Penn an Roz

Les scories sont très dispersées et elles se concentrent principalement dans le centre sud du site. La quantité de battitures est également très importante dans cette zone. (Fig. 25). Néanmoins, des concentrations de petites et moyennes quantités de battitures hors du centre sud du site montrent que des activités de forge ont eu lieu en d'autres endroits du site.

Il est difficile de mettre en parallèle la quantité de battitures et l'intensité du travail de forge. L'érosion du site ayant pu emporter des sédiments riches en battitures.

Conclusion

Certaines structures où des déchets de post-réduction ont été découverts, ont pu être datées à partir de la présence de céramique. Ainsi, quelques tessons de céramique de l'âge du Fer ont été mis au jour dans des structures ayant livré des battitures (F. 2018, F.1140, F. 1478 et F. 1669) et une structure ayant livré une scorie de forge (F. 2045). Une seule scorie peut alors être reliée à cette période chronologique : il s'agit de la scorie informelle trouvée dans la structure F. 2045, décrite plus haut. La quantité de battitures contenues dans des structures de l'âge du Fer est particulièrement importante.

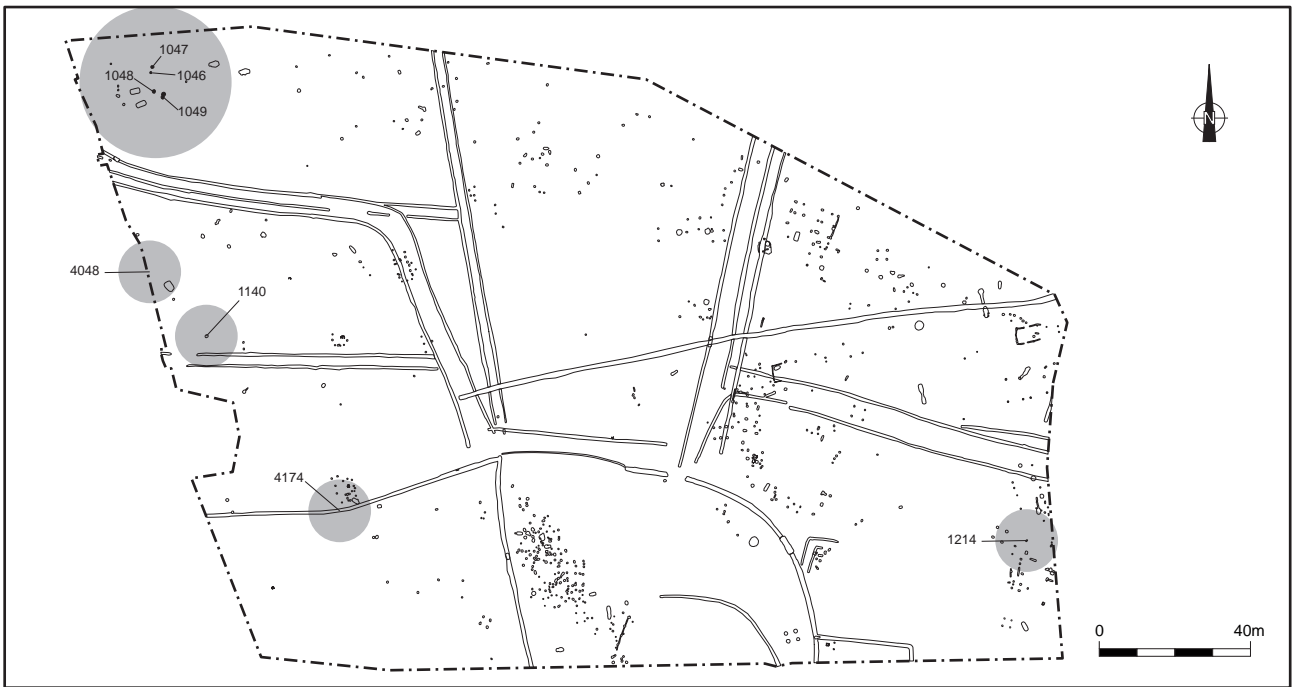
Néanmoins, il est difficile de relier cette activité de forge à l'activité de réduction de La Tène ancienne connue sur ce site. Cette activité de post-réduction a très bien pu intervenir à la fin de l'âge du Fer. En effet, la présence de céramique gallo-romaine et de céramique de l'âge du fer dans de mêmes structures laisse supposer une occupation du site au cours de la transition chronologique.

Trois structures ayant livré des battitures (F. 1615, F. 1205 et F. 1669) et trois structures ayant livré des scories (F. 1001, F. 1408 et F. 2045) ont livré de la céramique gallo-romaine. La céramique de la structure F. 1001, qui a livré plus de 3 kg de scories, a été datée du 1^{er} au 3^{ème} siècle après J.C. Les quantités de battitures présentes dans les structures gallo-romaines sont relativement peu nombreuses. Par contre, les scories livrent plus d'informations.

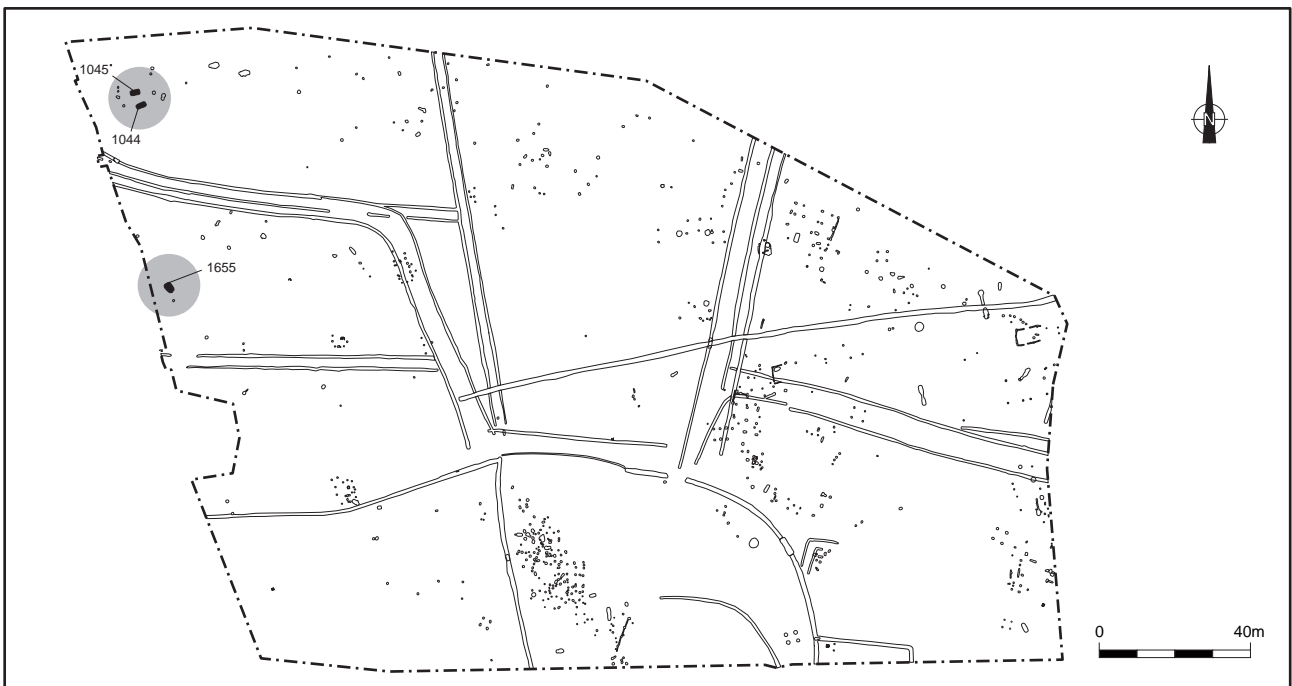
Il est intéressant de noter que la taille et le poids des culots de forge découverts sur le site sont de calibres moyens. Le poids moyen est autour de 260 g, si on exclut le culot de forge de 1.5kg très riche en fer. Les dimensions de l'axe de soufflerie est comprise entre 3.6 cm et 10 cm. Les dimensions de l'axe perpendiculaire varient de 5 cm à 16 cm. L'épaisseur varie selon les échantillons de 20 à 75 mm, avec une moyenne de 35 mm. Toutes les scories de forge sont des calottes uniques.

Certaines scories, de petits calibres, peuvent être associées à de l'entretien ou à de la réparation d'objets métalliques. Toutefois, les données métriques révèlent une intensité de travail assez longue : un poids arithmétique de 260 g révèle une phase de travail assez longue, lors de la confection d'objets par exemple.

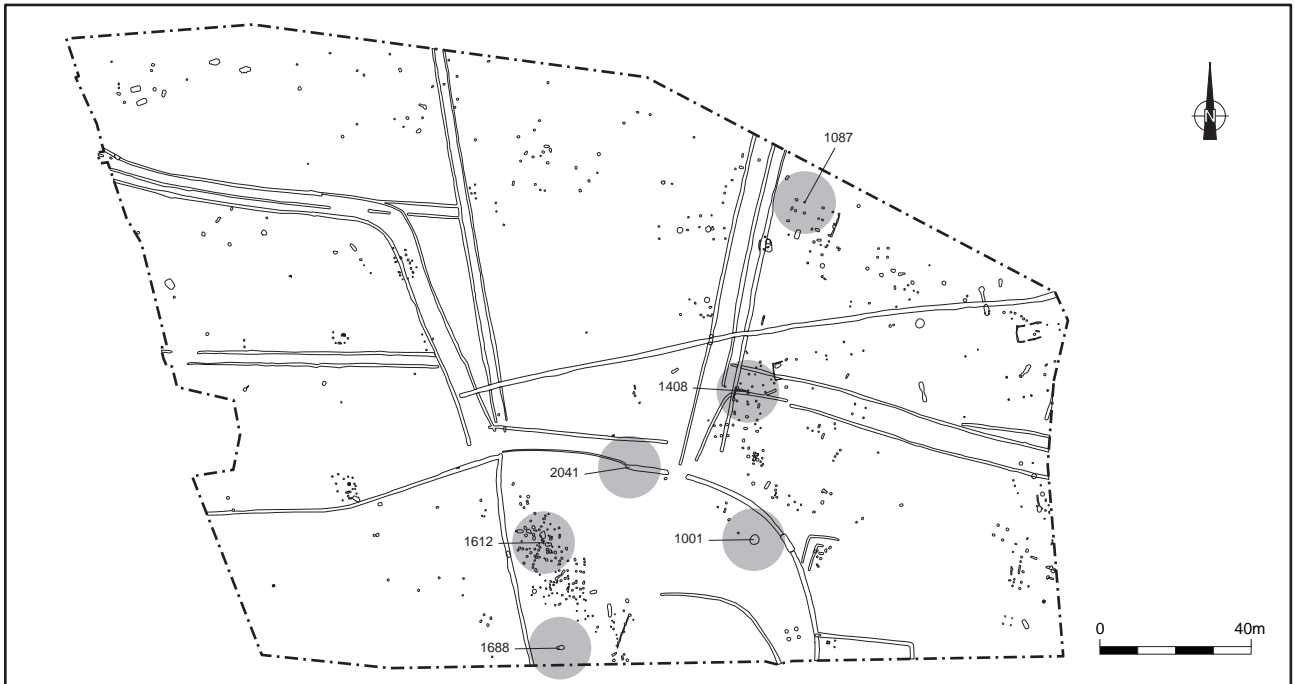
Néanmoins, une des scories montre un profil différent. Une scorie provenant de la structure F. 1001 présente une importante masse de fer en son sein. Cette scorie a pu être formée lors de l'épuration d'une masse de fer. La concentration de métal dans la scorie proviendrait de la fragmentation dans le foyer d'une masse de fer incomplètement densifiée.



Plan de localisation des scories piégées



Plan de localisation des fosses de rejet de parois de four



Plan de localisation des scories de forge en calotte

Bibliographie

Colliou Chr. Et Peyrat F., 2012 – Expérimentation d'un bas-fourneau réutilisable fonctionnant en ventilation naturelle. In : Térégeol F., 2012 – Comprendre les savoir-faire métallurgiques antiques et médiévaux : l'expérimentation archéologique et archéométrique sur la plate-forme expérimentale de Melle, Editions Errance, Paris, p. 19-36

Dunikowski C. et Cabboi S., 2001 – L'extraction du minerai de fer, la production du charbon de bois et la réduction du minerai de l'âge du Fer, de la période romaine et du haut moyen Âge dans le nord de la France (les exemples du site de Clérimois, département de l'Yonne et ensemble des sites de la Sarthe). Actes del 6^e curs d'Arquelogia d'Andorra, p. 189-210

Jouanet N., 2010 – Prospection paléométallurgique autour des lingots bipyramidaux de Saint-Connan (Côtes- d'Armor). SRA Bretagne, 67 p.

Jouanet-Aldous N., 2011 – Prospection paléométallurgique en Centre ouest Bretagne. SRA Bretagne, 110 p.

Le Carlier de Veslud C., 2011 – Les métallurgies anciennes en Bretagne : Reconnaissance diachronique des zones d'exploitation et de traitements des minerais. Rapport de prospection thématique. SRA Bretagne, Rennes, 51 p.

Orengo L., 2003 – Forges et forgerons dans les habitats laténiens de la Grande Limagne d'Auvergne. Fabrication et consommation de produits manufacturés en fer en Gaule à l'âge du Fer. Editions Monique Mergoïl, Monographie Instrumentum, 26, 325 p.

Paynter S., 2001 – Introductions to Heritage Assets. Pré-industrial Ironworks. English Heritage, May 2011, 6 p.

Roy R., 2009 – Diagnostic archéologique avant la construction d'une zone d'Aménagement Concerté à Châteaulin. (Finistère). Rapport de Diagnostic Archéologique. Juillet 2009, INRAP, 113 p.

Serneels V., 1998 – La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne. In : Feugère M. et Serneels V. (dir.), Recherches sur l'Economie du fer en Méditerranée nord-occidentale. Monographie Instrumentum, 4, Editions Monique Mergoïl, Montagnac, 1998, p. 7- 44

Vivet J.-B., 2007 – Le bois Jacob en Paimpont (35) : Activité minière et réduction directe à partir du 1^{er} âge du Fer. Les Glyorels 1 et 2 en Paimpont (35) : Ateliers et bas fourneaux du second âge du Fer. Opération de prospection thématique 2006. Paléométallurgie du fer en Haute Bretagne, Secteur de Paimpont. SRA Bretagne, Rennes, 100 p.

Vivet J.-B., 2007 - *La production du fer protohistorique en haute Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques*, in : Milcent P.-Y. (dir), 2007- *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*, Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF, Toulouse, 20-23 mai 2004, supplément 14/2 à Aquitania, p. 63-84.

Vivet J.-B., 2009 – Caractérisation des sites paléosidéurgiques et miniers du massifs de Paimpont (35). Opération de prospection thématique 2008. Paléoméallurgie du fer en Haute Bretagne, Secteur de Paimpont. SRA Bretagne, Rennes, 142 p.



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ministère de la Culture
et de la Communication
ministère de
l'Enseignement supérieur
et de la Recherche

Penn ar Roz – Un site d'activité métallurgique protohistorique et antique Rapport complémentaire : le mobilier sidérurgique

Inrap Grand Ouest
37 rue du Bignon
CS 67737
35577 Cesson-Sévigné
Tél. 02 23 36 00 40

www.inrap.fr