Autorisation n° 2008/244

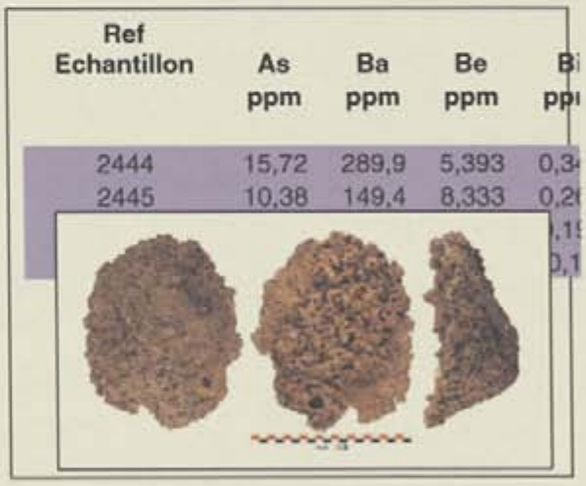
OPERATION DE PROSPECTION THEMATIQUE 2008

PALEOMETALLURGIE DU FER EN HAUTE BRETAGNE - SECTEUR DE PAIMPONT

DRAC-SRA
15 AVR. 2009
COURRIER ARRIVEE

CARACTÉRISATION DES SITES PALEOSIDERURGIQUES ET MINIERS DU MASSIF DE PAIMPONT (35)

Volume 1



Ref Echantillon	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm
2444	15,72	289,9	5,393	0,34
2445	10,38	149,4	8,333	0,26

Responsable prospection thématique : Jean-Bernard VIVET

- **Responsable sondages sur les sites des Glyorels III et Haute-Rivière II : J-B VIVET**
- **Responsable du sondage sur le site de Péronnette : Nicolas GIRAULT**

D.R.A.C. Bretagne - Service Régional de l'Archéologie
SIVU "Forges et métallurgie en Brocéliande"- Plélan-Paimpont
Communauté de communes de Brocéliande
U.M.R. 6566 CNRS Rennes I - Centre Régional d'Archéologie d'Al

2433 a

Autorisation n° 2008/244

OPERATION DE PROSPECTION THEMATIQUE

- PALEOMETALLURGIE DU FER EN HAUTE BRETAGNE -
- SECTEUR DE PAIMPONT -

PROGRAMME 2006-25 : Histoire des techniques, de la protohistoire au 18e siècle et archéologie industrielle

2008

CARACTÉRISATION DES SITES PALEOSIDERURGIQUES ET MINIERS DU MASSIF DE PAIMPONT (35)

***

VOLUME 1

Responsable d'opération de prospection thématique : Jean-Bernard VIVET

- **Responsable des sondages sur les sites des Glyorels III et Haute-Rivière II : Jean-Bernard VIVET**
- **Responsable du sondage sur le site de Péronnette : Nicolas GIRAULT**

D.R.A.C. Bretagne - Service Régional de l'Archéologie
SIVU "Forges et métallurgie en Brocéliande"
(Paimpont/Plélan-le-Grand)
U.M.R. 6566 - Rennes I, EA 127 et UMR 7041-PARIS I Sorbonne
Centre Régional d'Archéologie d'Alet (Ce.R.A.A.)

Je remercie les acteurs du ministère de la Culture (D.RA.C. Bretagne, Service Régional de l'Archéologie), pour le financement principal de cette opération archéologique de prospection thématique, portant sur la métallurgie antique de la Haute-Bretagne.

Je suis également très reconnaissant au S.I.V.U. "Forges et métallurgie en Brocéliande", de l'intérêt porté à ces travaux et du concours financier accordé à cette opération située sur le territoire du massif de Paimpont / Plélan-le-Grand.

Je remercie vivement Monsieur Alain LE GUALÈS, pour son aimable autorisation, permettant le bon déroulement de ces opérations, ainsi que Monsieur Jean-Marc BOUSSAIS, garde forestier, pour les aspects pratiques d'organisation.

Je tiens à souligner ici le rôle tout à fait essentiel tenu par Guy LARCHER, Jean BOUCARD, Marie-José LE GARREC et Jean-Charles OILLIC , tant pour la découverte et l'observation précise des sites en prospection que pour leur investissement permanent dans l'organisation pratique et relationnelle des opérations. Merci à Cécile LE CARLIER et à Nadège JOUANET pour l'enregistrement et la quantification spécifique et patiente du mobilier métallurgique sur le terrain.

Merci à Florence NICOLLIN, aux étudiants du département Géosciences de l'université de Rennes I, pour la mise en œuvre des travaux de prospection géophysique sur le site de La Haute-Rivière II.

Je souhaite également remercier le Centre Régional d'Archéologie d'Alet (Ce.R.A.A., St Malo), pour son soutien logistique.

Mes remerciements vont aussi bien sûr aux équipes de fouille qui ont participé avec persévérance et dynamisme aux opérations de :

- Les Glyorels III et La Haute-Rivière II :

Xavier BACHETER
Philippe BARDY
Jean BOUCARD
Marie BRUNET
Oregan DELAUNAY
Laetitia DEMAY
Julien GAUCHER
Marie GROUSSET
Nadège JOUANET
Guy LARCHER
Rozenn LE MOEL
Fabien LESGUER
Joséphine LORENDEAU
Julie MORTREUIL
Léonce KI
Raphaëlle ODOT
Jean-Charles OILLIC
Christian RAGUIN
Catherine STRUNZ

- Péronnette :

Alexandre BOUCHER
Kevin CORBION
Cécile LE CARLIER
Anne DELAPLACE
Marie GROSSET
Marie GROUSSET
Fabien HAMM
Elisabeth JENSSONNIE
Fabien LESGUER
Jean-Charles OILLIC

Concernant ce dernier sondage, nos plus vifs remerciements vont :

- à la Communauté de Commune de Brocéliande,

- à l'Association Archéolithe,

- au Service Archéologique Départemental des Yvelines,

pour les aides financières et matérielles, venant compléter celles citées antérieurement, pour la bonne conduite de l'opération.

SOMMAIRE

INTRODUCTION p.2

I. LE SITE DES GLYORELS III EN PAIMPONT :
Un atelier de réduction de la série
des « sites à zone rouge ». P.5

II. LA HAUTE RIVIERE II : Indices d'un atelier
de réduction à scories écoulées. p.22

III. ANALYSES CHIMIQUES DES MINERAIS ET SCORIES. p.33

IV. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES. P.51

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE

Les opérations de prospection thématique réalisées ces dernières années en Haute-Bretagne (Vivet, 1999 à 2007), ainsi que celles et effectuées plus anciennement par l'équipe de Guy Larcher (1989 à 1993), ont permis d'explorer sur le massif de Paimpont des ateliers comportant des bas fourneaux appartenant au Hallstatt / début de La Tène ancienne (Le Bois Jacob), à La Tène moyenne (L'Etang du Perray, Les Landes, Les Glyorels I et II), à l'époque gallo-romaine (Couesdan) et au moyen Age (Trécélien, Vert Pignon II et III). Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du programme 2006-25 sur l'histoire des techniques, en liaison avec l'U.M.R. 6566 « CReAAH, Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire » de l'Université de Rennes 1. Ils visent à terme, à fournir une caractérisation chronologique et technique des gisements de scories et sites métallurgiques de Haute-Bretagne s'inscrivant entre le 1er Age du Fer et le XVIIIème siècle.

Il s'agit en particulier de tenter d'identifier des marqueurs chronologiques spécifiques à la métallurgie et à l'extraction minière, d'aborder la distribution spatiale des gisements, et surtout de reconnaître l'existence d'activité paléosidérurgique en Haute-Bretagne au cours de périodes jusqu'ici non renseignées (La Tène final, bas Empire-haut Moyen-âge) ou des procédés différentiés au sein d'une même période. L'apparition et le développement de fourneaux à scories coulées, dense (non bulleuse) sont très mal connus en Haute-Bretagne.

Le présent rapport se décompose en deux volumes :

- Le premier volume (1) porte sur deux sondages intéressant les ateliers à scories denses piégées (site des Glyorels III) et écoulées (site de La Haute-Rivière II) – responsable des opérations : Jean-Bernard VIVET,

- Le second volume (2) concerne le sondage réalisé sur le site minier et métallurgique à scories spongieuses (très bulleuses) de Péronnette – responsable d'opération : Nicolas GIRAULT.

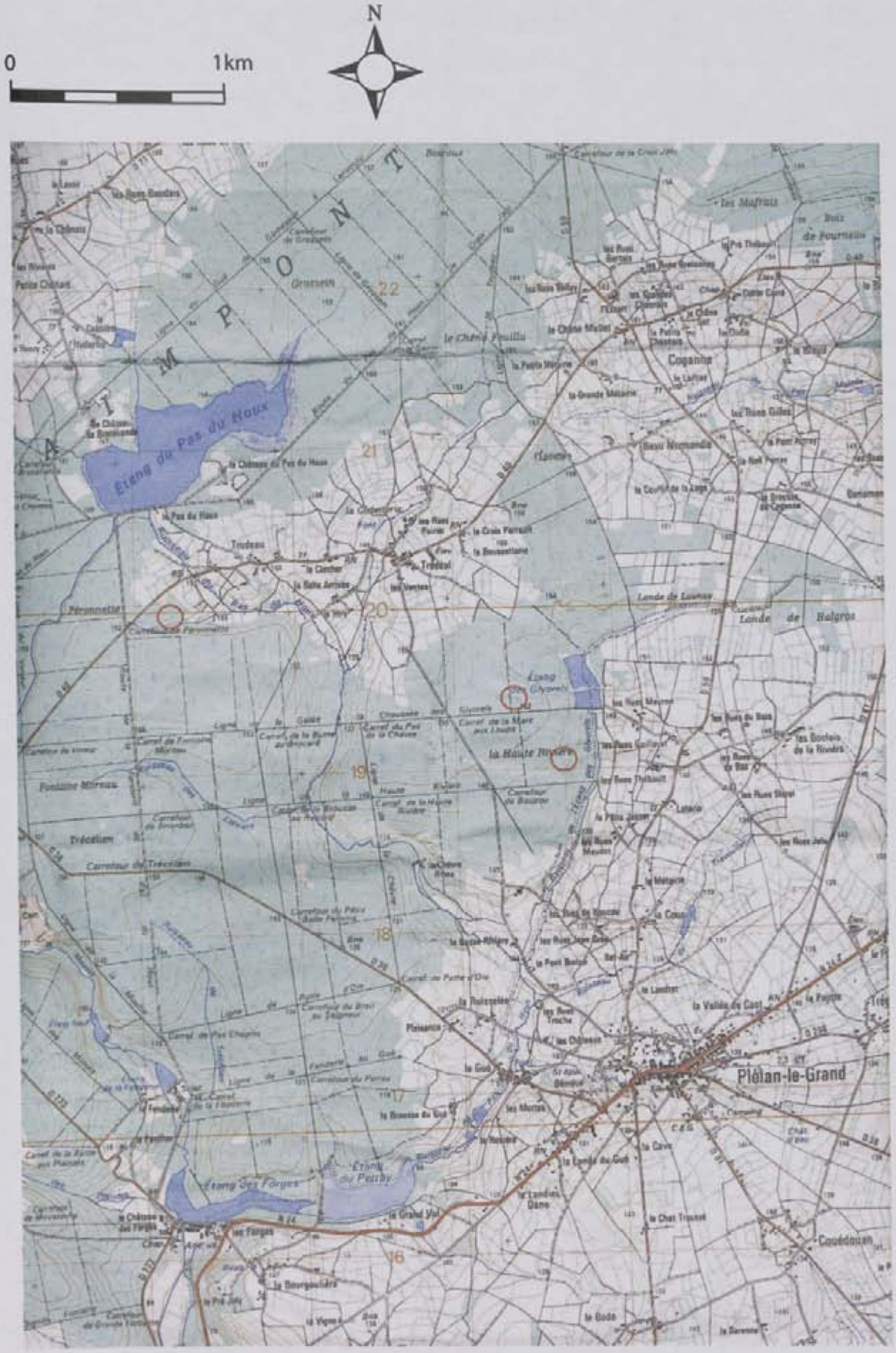
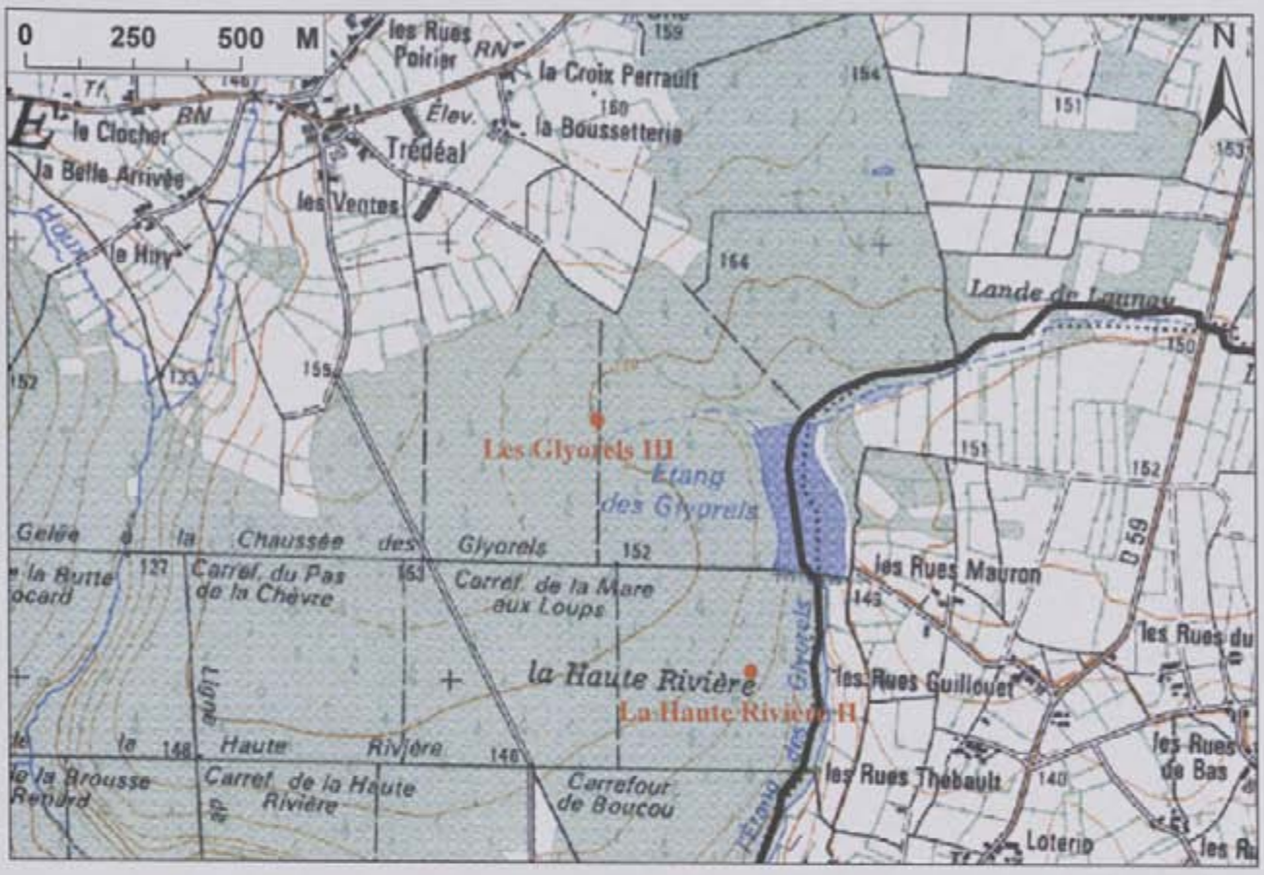


Fig. 1 : carte ign - localisation des sondages des Glyorels III, de la Haute-Rivière et de Péronette.



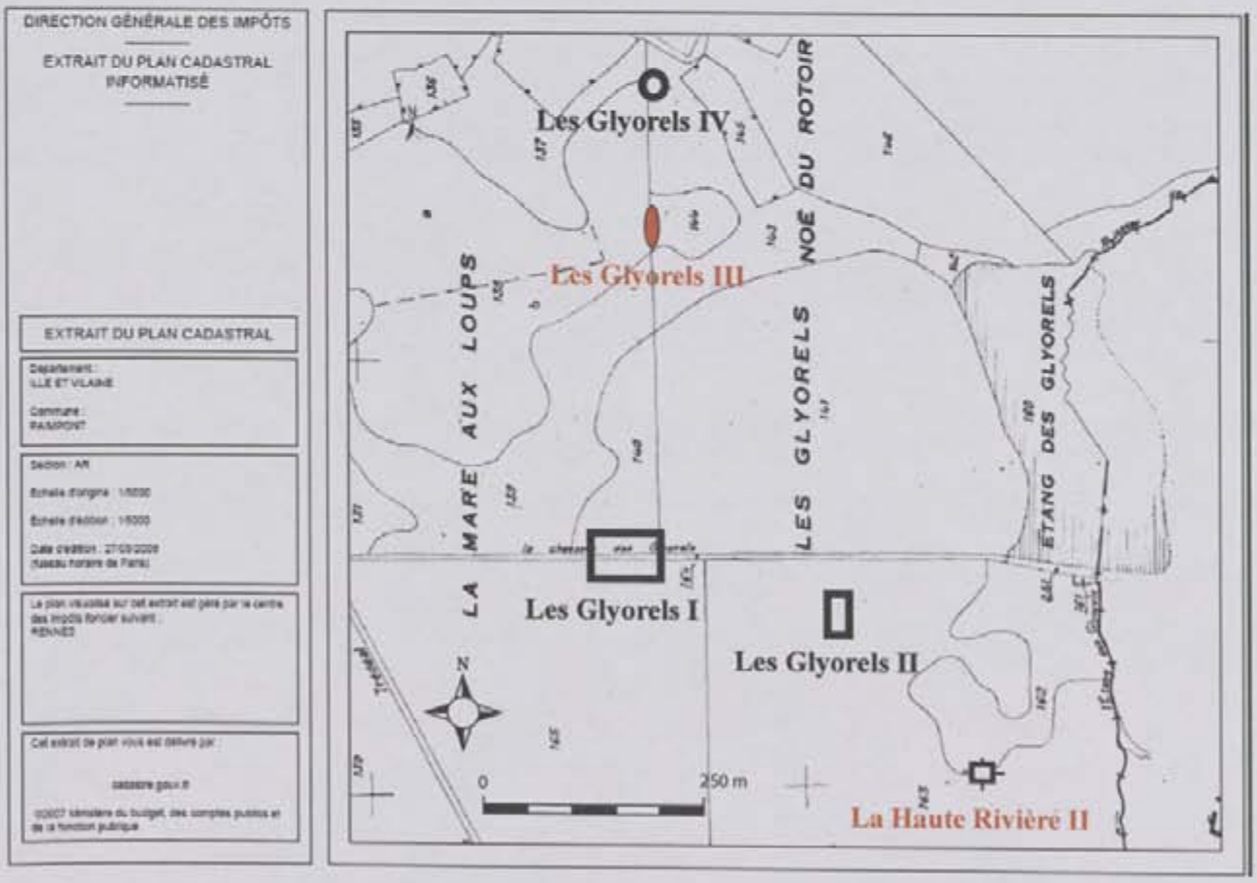


Fig. 2 et 3 : site des Glyorels III et de La Haute Rivière II, carte IGN et extrait cadastral.

I.

LE SITE DES GLYORELS III EN PAIMPONT :

UN ATELIER DE REDUCTION DE LA SERIE

DES « SITES A ZONES ROUGES »

Photos 1,2 et 3 : Les Glyorels III -vue générale du site (fosse 2 et bas fourneau au premier plan, zone rouge au fond) ; carottage dans le sédiment rouge ; bouchon d'argile conique en surface.

Photos 4 et 5 : bas fourneau BF1, en fin et en cours de fouille.
Photo 6 : scorie coulée interne.
Photos 7 et 8 : parement externe.

Coordonnées Lambert : **X = 268 340**
Y = 2 345 585

1. INTRODUCTION

L'association caractéristique, dans le massif de Paimpont, de zones de sédiments rouge et orangé aux sites métallurgiques montrant des concentrations de scories au sol (plusieurs centaines) et de parois de four scoriacées (plusieurs dizaines ou plusieurs centaines), a été décrite dans le rapport de prospection thématique 2007. Cette corrélation récurrente (Larcher, 1990 à 1994) s'est vue confirmée lors d'opérations archéologiques sur ce type de sites, telles que celles de l'Etang du Perray (Brûlé-Garçon et alii, 1993), des Landes (Vivet, 2001), des Glyorels I et des Glyorels II (Vivet, 2006).

Le recensement de ces sites en 2007, porte à environ 150 le nombre de ces sites à zones rouges.

La présence très spécifique de bouchons d'argile coniques fait partie des éléments remarquables livrés par ce type de site (Larcher, 1994 ; Vivet, 2001, 2006, 2007). Ils semblent bien constituer un marqueur chronologique des sites métallurgiques de cette période.

La série de datations C14 aujourd'hui obtenue pour ces sites à bouchon d'argile couvre essentiellement la période comprise entre 400 et 100 av. J.-C., correspondant globalement à La Tène moyenne.

Malgré des datations concordantes et un grand nombre de caractéristiques semblables, un examen plus poussé des données indique l'existence de signes distinctifs, plus mineurs, pouvant nous renseigner sur la façon dont se sont déclinés les procédés liés à la chaîne de production de référence reconnue jusqu'ici.

Des travaux de drainage et élargissement d'un chemin perpendiculaire à La Ligne des l'Etang des Glyorels ont fourni l'opportunité d'explorer l'un de ces très nombreux sites à zones rouges, livrant dans son talus un nouvel appareil de réduction (fig. 2 et 3, photo 3).

Sa position dans le talus laissait espérer une conservation des parties médianes ou hautes de l'appareil, qui fait habituellement défaut dans la plupart des bas fourneaux fouillés. Par ailleurs, une scorie de bon calibre, accompagnée d'une série de gros blocs scoriacés, permettait d'envisager de retrouver le culot de scorie piégé en position primaire dans le fourneau, ce qui n'était pas le cas pour les fours de ce type jusqu'ici explorés.

Un fragment de bouchon d'argile conique a été découvert juste un peu avant le sondage sur le bord du talus en direction du nord, à 2,75 m du bord du bas fourneau (photo 2). Cet élément fournit d'ores et déjà une datation probable du four, qui pourrait donc remonter à La Tène moyenne.

2. CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE DE SONDAGE

La présence d'une grande tache de sédiment rouge avait déjà été remarquée depuis plus d'une dizaine d'années dans l'emprise du chemin, en corrélation avec des scories de type piégé (Jean Boucard et Guy Larcher). L'élargissement du chemin (vers l'est) et le déboisement de ses abords a généré quelques bouleversements laissant apparaître de façon plus évidente cette zone de sédiment rouge (fig. 4). La partie la plus au sud, entre 55 et 70 m selon l'axe Y, est située dans une zone humide et montre un étalement de ces sédiments colorés dû aux travaux de terrassement. Elle ne peut donc pas être véritablement prise en compte.

Le grand secteur rouge situé à l'est du chemin a été déterminé à partir d'une série importante de carottages manuels, réalisés selon le procédé déjà décrit l'an dernier (photo 1). Régulièrement de petites scories étaient remontées avec le sédiment des carottes. Au sein des sols rouges, se différencie une petite zone, de couleur noire, livrant des scories en plus grand nombre. On note un changement très net de végétation (plus ouverte et comportant de nombreuses fougères) vers l'est, à la limite de l'emprise de sédiment rouge reconnue. Ses dimensions sont considérables. L'emprise, de forme globalement ovale, s'étend sur plus de 70 m selon son grand axe (N-E/S-W)

et au moins 25 m selon son petit axe. Elle ne semble pas se poursuivre vraiment au-delà des masses de terres rejetées sur le talus vers l'ouest lors des travaux de drainage.

On remarque que le bas fourneau découvert (désigné par la suite par : BF1) n'est pas situé dans l'emprise de la zone rouge en question. Le terrain remontant vers le nord à partir de la zone humide évoquée, il se trouve en amont de cette dernière à 20 m de celle-ci, au plus court. On notera également que le bas fourneau du site des Glyorels II, fouillé en 2006, était situé sur un secteur de teinte marron, tangent à la zone rouge principale (Vivet, 2006).

Ainsi que nous l'avons vu, le secteur est très riche en sites métallurgiques à scories piégées et zones rouges associées. Les travaux de nivellement et drainage du chemin ont également mis au jour un site de ce type, un peu plus au nord encore, à 150 m de la zone de fouille, désigné sous le nom des Glyorels IV. La zone rouge forme ici une sorte de terrasse sur le bord ouest du chemin d'environ 12 m de diamètre (sans compter l'emprise du chemin lui-même et une extension possible, mais sans doute limitée, au niveau du talus ouest du chemin, qui livre lui aussi sur 17 m de longueur des parois de four et des scories piégées. Le carottage réalisé au centre de cette terrasse montre une stratigraphie de 50 cm d'épaisseur comportant une épaisse couche de terre rouge sous l'humus, suivie d'une épaisse couche noire contenant des scories. Un fragment de tuyère traversante a été collecté en prospection parmi les parois de four présentes à la fois sur les deux côtés du chemin et dans le chemin lui-même.

La répartition des zones de fouille est la suivante (fig. 4) :

- sondage 1 : rectangle de fouille incluant le bas fourneau BF1 découvert initialement,

- sondage 2 : rectangle de fouille faisant pratiquement face au four (1 m plus au nord), de l'autre côté du fossé (côté est) dans l'emprise du chemin et positionné sur une structure fossoyée noire (structure 2),

- sondage 3 : rectangle de fouille positionné sur un fossé ou une fosse (structure 3) apparaissant dans la coupe du fossé de drainage, dans l'emprise de la grande zone rouge.

- sondage 4 : tranchée test étroite et rectangle de fouille sur le bord est du chemin, en face de la structure précédente, dans une zone livrant une grande quantité de parois de bas fourneau.

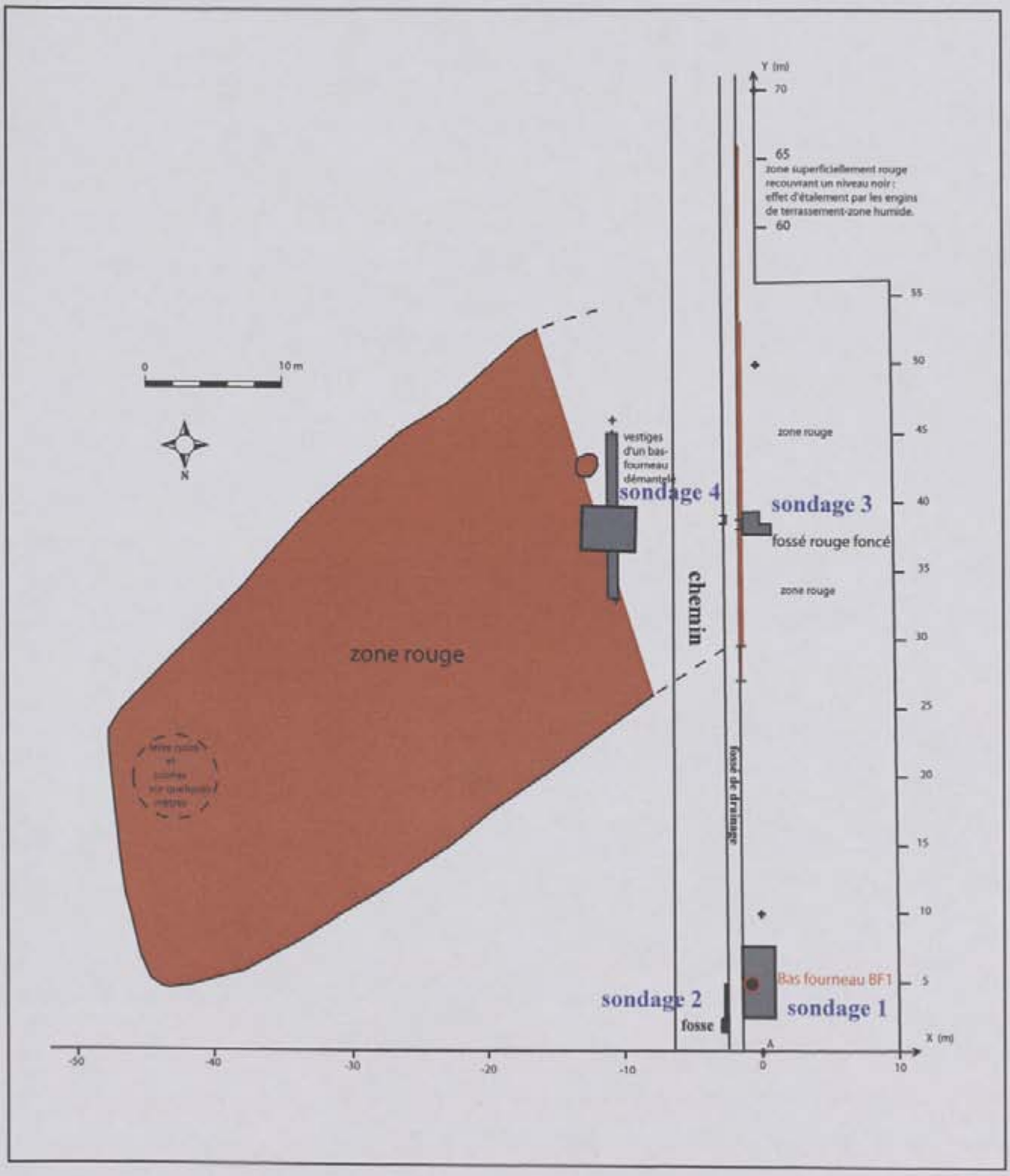


Fig. 4: levé général du site à ' zone rouge 'des Glyorels III.

3. SONDAGE 1 – BAS FOURNEAU BF1

3.1 Conditions d'enfouissement.

L'emplacement du bas fourneau au sein d'un talus sans doute assez ancien semblait engageant quant aux possibilités de conservation du four. La fouille a cependant révélé rapidement que ce dernier a été atteint par les engins de terrassement, qui ont nivelé et tassé le terrain avant de recreuser un fossé et rejeter les terres sur le talus d'origine. Ainsi on a pu observer au sein des sédiments blanc-jaune pâle du substrat l'existence d'une bande de terrain de 50 cm de large, tout à fait parallèle au fossé de drainage. Celle-ci était enfoncée sur une hauteur de 20 cm environ et montrait aux abords immédiats nord du bas fourneau des stries transversales évoquant les marques laissées par la chenille d'un engin de terrassement.

La fouille montre que celui-ci a roulé sur la moitié ouest du four, en écrasant les parois sur son passage et en ouvrant la partie qui était plus en élévation, reléguant vers l'ouest cette dernière (photo 5). Il subsiste également du passage d'un engin deux sillons parallèles aux abords S-W du bas-fourneau.

3.2 Secteur au sud-est du bas fourneau

Après évacuation des importantes masses de terre rejetée sur le talus, une échancrure de fouille a été pratiquée au sud-est du bas fourneau afin de reconnaître l'existence d'éventuelles structures annexes et de manière à s'assurer de la stratigraphie du sol dans lequel a été implanté le bas fourneau. La fouille ne révèle aucune structure dans cette direction (fig. 5).

La couche d'humus noir recèle peu de scories. A la base on rencontre un niveau de transition tassé, gris à jaune clair, auquel succède un sédiment limoneux blanc à jaune pâle de nature semblable au substrat local. Cette interface contient de petites scories en quantité assez faible, mais de façon régulière. Elle pourrait correspondre au niveau de sol de l'activité métallurgique.

Des tests à l'aimant de ces niveaux de transition brun-noir à beige-jaune, ne livrent pas de battitures.

Sur l'ensemble du secteur, on constate à nouveau, comme pour les fours des Glyorels I et II, qu'il ne subsiste que de très rares fragments de minerai, de petite taille, à l'aspect 'grillé'.

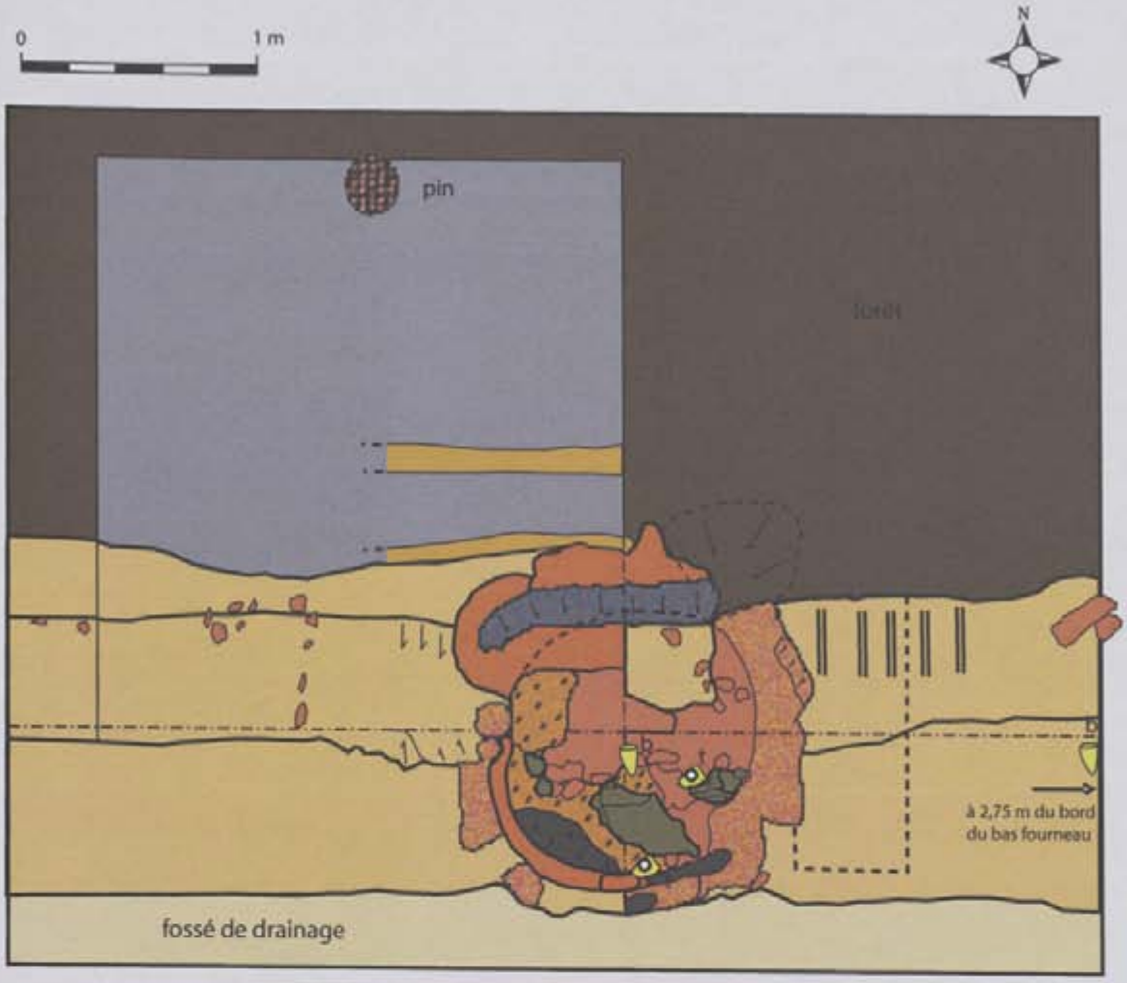


Fig. 5 : Les Glyorels III, sondage 1 - Bas fourneau BF1

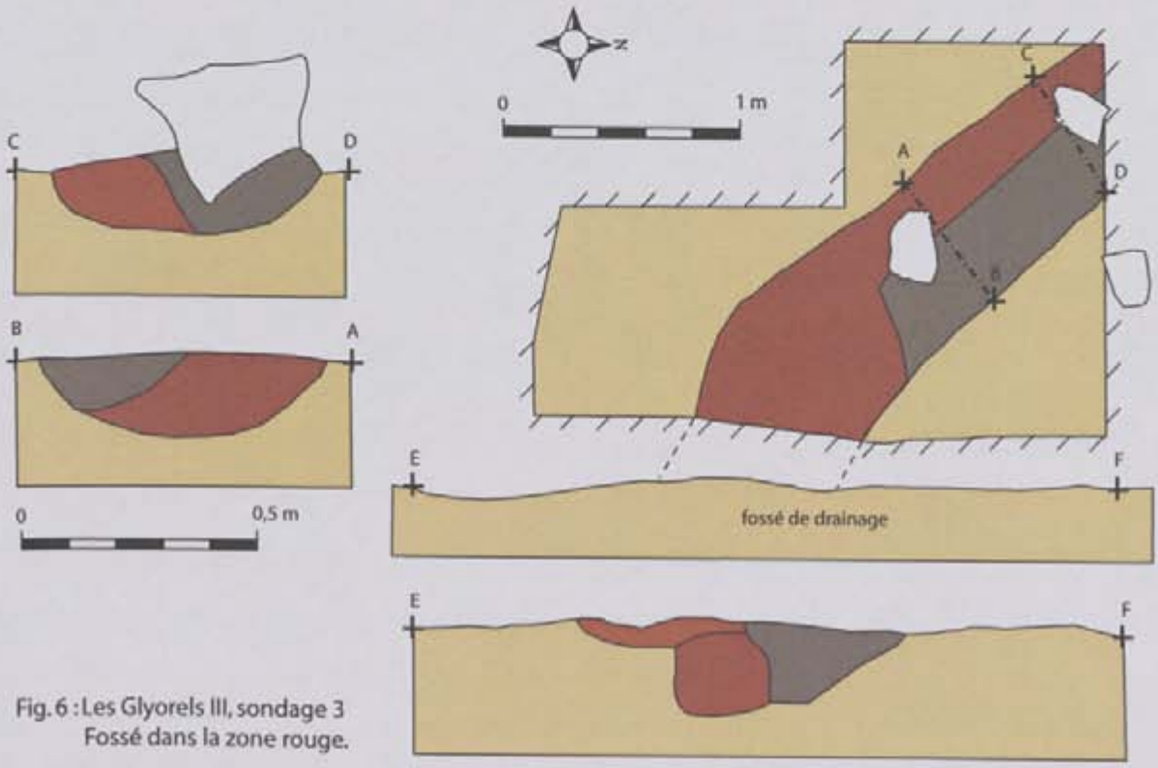


Fig. 6 : Les Glyorels III, sondage 3
Fossé dans la zone rouge.

3.3 Dimensions et caractéristiques du four.

Le dégagement manuel a permis de retrouver le profil bien **circulaire** de la partie inférieure de l'appareil. Son diamètre interne est de **1,08 m** (photo 4).

On constate donc une extrême régularité dimensionnelle des 3 fours du secteur qui ont été fouillés. Tout trois fournissent une valeur comprise entre 1,05 m et 1,10 m pour la partie inférieure de l'appareil. A titre de comparaison, les fours globalement contemporains de l'Etang du Perray (Plélan-Le-Grand) et du Rocher Abraham (St Pierre de Plesguen, au nord du département) donnent quant à eux les valeurs respectives suivantes : 1,25 m et 91 cm et 97 cm (deux fours pour ce dernier site). Il y a lieu ici de constater cette convergence des valeurs, qui se situent dans une gamme très haute.

La hauteur maximale de cuve encore en place se situe en secteur ouest du fourneau et se monte à **55 cm.**

La hauteur de parois bien conservées montrant une forme circulaire est de 27 cm. Les secteurs S-E et N ne comptent plus que 17 cm de parois en élévation.

Afin de tenter d'appréhender la manière dont a été construit l'appareil, un décaissement du sédiment a été opéré à l'extérieur de l'appareil, en secteur ouest (photos 7 et 8). On constate que dans cette partie inférieure du four, les moellons d'argile ayant servi au bâti sont intimement mêlés au sédiment argileux lui-même. De ce fait il n'est pas très aisé de vérifier la disposition des pains d'argile. Néanmoins, il semble bien qu'ils soient placés de façon tangentielle au cercle interne et non radialement (comme c'est le cas pour le four de l'Etang du Perray par exemple). Les fours des Glyorels I et II, ceux du Rocher Abraham sont construits de la même manière que celui des Glyorels III.

Une petite tranchée test dans la paroi du four a permis de reconnaître l'épaisseur de la paroi, qui est comprise, au niveau de la cuve, entre **22 et 25 cm.**

L'essentiel de la partie supérieure du comblement du four est constituée de parois effondrées, plus ou moins écrasées par l'engin de terrassement ou partiellement dissoutes par les intempéries. Seule émerge en secteur N-E, une importante scorie, dont la base repose sur le fond du four. Celle-ci ne présente pas l'aspect très caractéristique en virole cylindrique, contrairement à d'autres exemplaires collectés au voisinage immédiat du four, dans les terres de surface ou dans la fosse noire située de l'autre côté du fossé. Il s'agit d'une scorie dense, montrant l'écoulement en gouttes et coulures verticales de la matière.

La couche inférieure, en contact avec le fond du four, contient des poches noires contenant encore des fragments de charbon de bois et une couche de sédiment ocre-rouille, retenant également des charbons. Elle résulte vraisemblablement, au moins en partie, de la migration des oxydes du fait du lessivage par les pluies.

Un prélèvement en masse de ces couches charbonneuses a été réalisé en vue d'une analyse C14 et d'une étude anthracologique.

Le fond de l'appareil n'est pas constitué d'une couche d'argile lissée. On passe pratiquement sans transition du niveau ocre rouille charbonneux à une argile jaune-beige renfermant de nombreux petits blocs de grès anguleux de 2-3 cm de long.

L'état de conservation du bas fourneau permet difficilement de vérifier l'existence ou non d'une fossé communiquant avec la partie basse de l'appareil, comme cela a été observé dans plusieurs bas fourneaux de ce type (L'Etang du Perray, Les Glyorels I, Les Glyorels II). Il est possible malgré tout que celui-ci ait pu exister dans le secteur est de la cuve de BF1, en liaison avec la fosse noire du sondage 2 décrite plus loin.

3.4 ventilation du bas fourneau

Deux fragments de tuyère faisant orifice de trous de ventilation au travers de la paroi du four ont été retrouvés à l'intérieur de l'appareil (fig. 5).

Un petit bloc d'argile cuite présente l'aspect d'un fragment de bouchon d'argile conique par comparaison avec d'autres exemplaires mieux conservés trouvés maintenant en quantité notoire sur ce type de four (au moins une quarantaine). Il correspond à la pointe de l'objet. Celle-ci n'est pas très cuite, contrairement à d'autres éléments, qui présentent des marques de vitrification. En expérimentation on constate de même une variabilité dans l'atteinte de ses obturateurs, suivant la valeur de leur longueur, leur conicité, l'épaisseur de la paroi du four, leur enfoncement plus ou moins grand dans l'orifice pratiqué dans la paroi suivant le diamètre de ce dernier, sans compter les flux de chaleur plus ou moins grands qui atteignent le secteur où ils se trouvent positionnés et la façon dont on conduit le bas fourneau.

Sa présence à l'intérieur du four atteste bien son utilisation en liaison directe avec l'appareil et tend à confirmer celle du bouchon conique trouvé à 2,75 m du bas fourneau dans les terres bousculées par l'engin de terrassement.

Concernant ce dernier exemplaire, c'est la partie opposée à la pointe qui a est conservée (ce qui est plus rarement le cas, cette partie ayant moins chauffé). Celle-ci présente un léger renflement faisant passer la fin du tronc de cône de 4 cm à un disque presque régulier de 5 cm de diamètre. Il n'est pas très cuit et ne présente pas non plus de trace de vitrification.

Les fragments de tuyère et les bouchons d'argile conique ont un aspect tout à fait semblable à ceux trouvés en fouille sur les sites des Glyorels I et II (une dizaine d'exemplaire de chaque sur chacun des deux sites) de même que sur les sites de l'Etang du Perray et du Rocher Abraham. Cette homogénéité indique la mise en pratique d'une technique de ventilation commune à ces sites. Ainsi que l'on a déjà eu l'occasion de l'évoquer, l'abondance de ces pièces sur ces fours suggère même la possibilité d'une ventilation en convection naturelle.

3.5 Caractérisation du mobilier métallurgique

a) parois

Une quantité importante de moellons présente un état de conservation permettant une restitution de la largeur de ceux-ci (dans le sens de l'épaisseur de la paroi du four). La moyenne des valeurs obtenues sur 23 exemplaires donne une valeur de **6,7 cm**. Compte tenu de l'épaisseur de paroi de la cuve enregistrée (22 à 25 cm), trois à quatre rangées de ces moellons sont nécessaires pour la façonner et sans doute plus pour constituer le corps de la partie haute de l'appareil.

La masse totale des parois mise au jour dans ce sondage représente **125,6 kg**. Compte tenu des conditions de découverte, avec intervention engins mécaniques, il est clair que la masse totale du bâti d'origine doit largement dépasser cette valeur (photo 12). Celle-ci fournit un ordre de grandeur de ce que l'on peut recueillir sur place dans ce type de situation.

b) scories

La masse de scories extraite du four au cours de la fouille se monte au voisinage de 95 kg. A celles-ci il faut ajouter celles qui ont été trouvées en surface à l'emplacement du four, soit 151 kg et celles mises au jour dans la fosse noire du sondage 2, soit 78 kg.

La masse totale des scories qui sont liées au four est de **323,8 kg.**

Il conviendrait de tenir compte des scories enfouies dans l'emprise du chemin, ainsi que le montrent un certain nombre d'exemplaires apparaissant régulièrement en surface de celui-ci, dont la masse n'est pas connue.

Une telle masse scoriacée peut être générée par le four BF1, de grandes dimensions en une seule opération. Il est possible, compte tenu de l'incertitude sur la masse complète de scories, qu'il y ait eu deux opérations.

Un essai de reconstitution d'un bloc scoriacé unique a été tenté à l'aide des blocs scoriacés présentant des surfaces appartenant à une virole cylindrique (photo 10). Le remontage entre les blocs n'est pas effectif, soit parce que la cassure présente une dégradation rendant impossible cette opération, soit parce que les blocs ont été produits par des opérations différentes (ou à cause de ces deux occurrences conjointes).

On notera simplement que la dimension interne du four ainsi reconstitué est cohérente avec celle du diamètre enregistré pour le bas fourneau BF1.

c) problématique typologique

L'un des apports importants du sondage concerne la typologie des scories de fer. Hors contexte, il est par moments difficile de faire la distinction entre scories coulées denses et scories piégées (Vivet 2007). De manière à apporter une réponse sérieuse, il est recommandé de ne se prononcer que sur une quantité minimale de plusieurs dizaines d'éléments (une cinquantaine si possible).

Ainsi qu'on le soupçonnait certains éléments échappent à cette classification très formelle. C'est le cas de scories suffisamment fluides pour pouvoir couler jusqu'au fond de l'appareil. Si la cuve possède de grandes dimensions comme c'est le cas ici, celles-ci peuvent s'étaler au fond de l'appareil en nappe limitée. Fragmentées, elles peuvent ne pas présenter de différence notable avec une scorie coulée à l'extérieur. Mieux conservées, elles peuvent conserver un pédoncule quasi vertical signant leur chute jusqu'à la partie basse de l'appareil. L'aspect particulier de cet étalement les ont fait désigner comme scories ' en éventail' (Vivet, 1997).

La fouille du bas fourneau BF1 des Glyorels III, a fait apparaître un élément de ce type encore en place au fond du four, en secteur N-E (photo 6). La matière scoriacée a manifestement coulé le long de la paroi du four jusqu'à sa base, à partir de laquelle elle s'est étalée. D'autres éléments plus modestes ont également été observés sur la face interne ouest de l'appareil.

Il serait par suite utile d'introduire dans la caractérisation typologique le terme de **scorie coulée interne** possédant éventuellement un **pédoncule pseudo-vertical**, et d'utiliser systématiquement le terme de **scories écoulées** lorsqu'il s'agit de matière scoriacée qui est effectivement sortie du bas fourneau. Ceci permet d'ailleurs de compléter la classification dans le cas d'écoulements externes très limités tombant le long de la paroi extérieure du four et donnant lieu, par conséquent à une **scorie écoulée à pédoncule pseudo-vertical**.

La description précise de ces rejets métallurgiques est à prendre en considération pour une interprétation correcte du procédé mis en œuvre, à partir des scories trouvées en fouille ou en prospection, afin de permettre une restitution fidèle de l'activité métallurgique menée sur place (Serneels, 1993).

4. SONDAGE 2 : FOSSE DE REJETS DE SCORIES.

La fosse noire qui apparaît en coupe du fossé de drainage, pratiquement en face du bas-fourneau, légèrement au nord de celui-ci, contient de façon très tassée du mobilier métallurgique et des poches de charbon de bois (photo 9).

Sa longueur est de 3,30 m. Sa profondeur est assez constante, de l'ordre de 25 cm. Son comblement au sud, côté bas fourneau, est fait d'un sédiment noir très charbonneux ne contenant pratiquement pas de scories, contrairement au côté opposé au fourneau où elles sont très nombreuses. Certaines d'entre elles sont conséquentes et sont accompagnées par plusieurs gros blocs de grès.

Le dégagement latéral est a été poursuivi dans l'emprise du chemin. Il a fait apparaître à nouveau au nord de la fosse une série de scories de toutes dimensions extrêmement tassées en secteur N-E. L'emprise de la zone noire est plus réduite au sud et assez bien délimitée. Son extension vers l'est côté N-E n'est pas tout à fait assurée du fait des perturbations liées à la constitution et à l'usage du chemin.

Photo 9 : sondage 2, fosse vue du sud.

Photo 10 : test d'assemblage des scories de BF1 et de la fosse.

Photo 11: démontage de la paroi de la cuve de BF1 (en haut)
Photo 12 : masse de parois de BF1

Photos 13 et 14 : sondage 3, vue en plan et en coupe du fossé recouvert par la couche de sédiment rouge.

Photos 15 et 16 : sondage 4, bouchon d'argile conique et concentration de parois dans la couche de sédiment rouge.

5. SONDAGE 3 : FOSSÉ SUD

Le fossé sud apparaissant très nettement en coupe du fossé de drainage aux cotes comprises ente 38 m et 38.50 m dans l'axe de celui-ci, a fait l'objet d'un sondage d'exploration limité (fig. 6 , photos 13 et 14).

Il se poursuit vers l'ouest selon un axe sensiblement S-E / N-W. La coupe montre un comblement différencié, d'argile orangé puis rouge foncé sur la moitié S-W et d'argile grisâtre sur la moitié N-E (par rapport à son axe longitudinal). Cette dissymétrie de comblement est globalement conservée au niveau des coupes AB et CD.

La couche grise ne contient pas de mobilier remarquable. La couche rouge orangée est un peu plastique et contient quelques charbons de bois. La couche rouge est plus fine et sableuse et renferme de petits charbons de bois en assez grand nombre. Le substrat est limoneux blanc à jaune clair et ne contient pas de cailloutis à cet endroit alors que c'est le cas à proximité.

Le profil du fossé apparaît encore dans la coupe du fossé de drainage sur le côté opposé (côté chemin), mais en décalé vers le sud et donc dans l'axe précédent (et de façon perturbée), indiquant qu'il s'agit plus vraisemblablement d'un fossé que d'une fosse.

Le fossé renferme deux très gros blocs de grès, qui paraissent bien en place, malgré l'action des engins de terrassement. Ils présentent des plans de fractures dont certains sont peut-être liés à ces engins, mais d'autres pourraient être plus anciens. Un troisième bloc retrouvé à quelques mètres dans les déblais du talus pourrait remonter avec le bloc situé au centre du sondage. Ces blocs étant peu nombreux dans le secteur, leur présence à cet endroit pourrait être l'indice de structures plus importantes à proximité.

5. SONDAGE 4 : CONCENTRATION DE PAROIS ET DE SCORIES AU SEIN DE LA ZONE ROUGE.

5.1 Présentation

Ce secteur est marqué par une quantité impressionnante de parois de four, en partie scoriacées et
de scories de type piégé (photo 16).

Cette très forte concentration permet d'envisager l'existence d'un bas fourneau à cet endroit.

Une saignée S-N de 25 cm de large et 13 m de long a été pratiquée sur le bord de l'allée, parallèlement à celle-ci, afin de reconnaître la structure en question. Un rectangle de fouille

transversal a ensuite été mis en place là où les parois de four étaient les plus nombreuses, donnant lieu à des formations quasi continues.

La vue en coupe de sondage en long montre l'existence d'un niveau de sédiment rouge en place sous les masses de terre provenant des terrassements du chemin, sur toute la longueur et sur une profondeur de 25 cm. La façon dont a pu se constituer une telle masse de sédiment coloré est une question qui n'est toujours pas à ce jour résolue. Elle ne contient pas de charbon de bois en quantité notable, ni de fragments de minerai, hormis quelques rarissimes petits blocs d'oxydes de fer, qui pourraient remplir cette fonction et qui ont été collectés. Dans le secteur exploré elle recèle des scories, et des parois de four, en plus grand nombre encore. Un prélèvement en masse de ce sédiment rouge a été effectué dans la coupe de la saignée, juste un peu au nord du rectangle de fouille, à 25 cm de profondeur afin de tenter de résoudre cette question.

Dans l'emprise de la saignée, la couche rouge est seulement interrompue par une couche de sédiment noir en limite sud de l'ouverture rectangulaire, contenant de petites scories de type piégé. Un prélèvement en masse de cette couche a été réalisé. Juste à côté de cette limite, à l'intérieur du rectangle de fouille, on observe la présence d'un petit fossé étroit (ou fosse) d'axe E-W, rempli de sédiment rouge. Sa profondeur est de 35 cm sous le niveau supérieur de sédiment rouge. Compte tenu de sa position il n'est pas impossible qu'il puisse constituer un prolongement du fossé sud mis au jour dans le sondage précédent (sondage 4). Il y a lieu de préciser l'existence d'une souche assez importante juste au nord de cette structure, qui bloquait d'ailleurs entre les racines de nombreuses parois de four.

Une petite saignée a également été pratiquée dans l'emprise du chemin à environ 1 m de la précédente et parallèlement à cette dernière, dans sa partie sud (au sud du rectangle de fouille). On ne rencontre sur toute la longueur qu'un niveau gris très perturbé et contenant des branchages.

Dans toute la surface du rectangle de fouille on met au jour le sédiment meuble rouge (photo 16). Sous cette couche colorée de 20 à 25 cm d'épaisseur on retrouve partout le substrat naturel limoneux jaune clair à blanc. La couche rouge livre des parois éparses, ainsi que des concentrations de parois de four, essentiellement au voisinage de la saignée, selon un axe S-E / N-W .

Pour une raison inconnue le bas fourneau n'apparaît pas dans l'emprise de ce sondage et les tests à la tarière forestière réalisés tout autour ne donnent pas d'indice complémentaire. On peut avancer quelques hypothèses sur cette question. Peut-être l'appareil se trouvait-il dans l'emprise de l'allée et s'est trouvé démantelé lors du terrassement ou lors d'un aménagement plus ancien. Il est possible aussi qu'il se situe plus à l'est, au niveau des grands arbres de la lisière forestière ou sous les grandes souches stockées par les engins.

Quoiqu'il en soit cette concentration en mobilier métallurgique a livré un grand fragment de scorie en culot cylindrique et des fragments de paroi de grande taille (7,840 kg par exemple) ne laissant aucun doute sur son existence à proximité immédiate. Il sera désigné par le terme de bas fourneau BF2 par la suite.

5.2 Caractérisation du mobilier métallurgique

a) ventilation

Le sondage rectangulaire a permis de mettre au jour un bouchon d'argile conique de belle facture (photo 15). Cet élément signe à nouveau un procédé appartenant très probablement à La Tène moyenne. Compte tenu de la disposition des vestiges du fourneau et de la grande dimension de la zone rouge, on peut considérer que cette fois le fourneau se trouve au sein de la zone en question.

En dehors du bouchon d'argile conique mentionné ci-dessus, on compte un certain nombre de fragments de tuyère.

b) parois de four

Elles sont souvent vitrifiées.

c) quantification des parois

La somme totale des masses de fragments de parois mis au jour est de **115,2 kg.**
Elle est du même ordre de grandeur que celle du bas fourneau BF1, dans des circonstances de découverte proches. De même on observe que des fragments de paroi affleurent à la surface du chemin, sans que l'on puisse préciser quelle quantité ils représentent.

5.3 conclusion

L'existence des deux fours, l'un en dehors de cette zone et l'autre à l'intérieur, de même que l'existence du fossé rempli de sédiment rouge, questionne sur le lien possible entre les zones rouges et une série d'appareils pouvant rayonner à partir de celle-ci. Ceci pourrait alors indiquer que les métallurgistes puissent se fixer au moins quelque temps pour réaliser une production donnée de fer par exemple.

II.

LE SITE DE LA HAUTE-RIVIERE II EN PAIMPONT :

INDICE DE BAS FOURNEAU A SCORIE ECOULEE

Photo 17 : site de La Haute-Rivière II. Sondage P1 principale sur la petite anomalie magnétique.

Photos 18 et 19 : sondage P1, secteur sud de la structure fossoyée et coupe AB.

Photo 20 : aire de charbonnage à l'emplacement de la grande anomalie magnétique.

Photos 21 et 22 : sondage P10, niveaux supérieur et inférieur de la structure à moellons d'argile saumon.

Coordonnées Lambert : **X = 268 691**
Y = 2 344 998

1. introduction et mesures géophysiques

Le site se trouve dans un secteur de pins déboisé, labouré et replanté avec la même espèce en 2006, sur l'amorce d'un coteau, dont le versant est donne sur le ruisseau de l'Etang des Glyorels, 200 m plus bas (photo 17).

La prospection au sol du site de la Haute-Rivière II fournit un ensemble de caractéristiques très différentes de celles rencontrées et identifiées lors des opérations archéologiques précédentes. On note en particulier la présence très majoritaire de scories coulées et l'absence de zone rouge de grandes dimensions.

Un ensemble d'une dizaine d'éléments de mobilier céramique à pâte cuite en milieu oxydant a également été trouvé sur le secteur.

La technique de réduction employée fait appel à un bas fourneau à scorie denses écoulées hors de l'appareil, dont l'apparition et l'utilisation n'est pas renseignée dans le secteur de la Haute-Bretagne, en dehors des sites à scories en plaquettes de la période gallo-romaine (Vivet, 2007 et 2008). Le mobilier céramique collecté sur place pourrait renvoyer à des périodes jusqu'ici non renseignées (La Tène finale, bas-Empire-haut moyen-âge).

L'emprise essentielle de la zone de scories, dont le nombre dépasse la centaine, est globalement circulaire, de diamètre égal à 20 m. En partie nord-ouest de cette emprise, on note l'existence d'une zone de 5 m de diamètre, livrant des parois d'argile cuite scoriacées (quelques dizaines de kg) attribuables à un appareil de réduction de type bas fourneau.

Une opération de prospection magnétique a été menée sur ce secteur par les étudiants de maîtrise de Géosciences (Université de Rennes I) sous la direction de Florence Nicollin (page suivante).

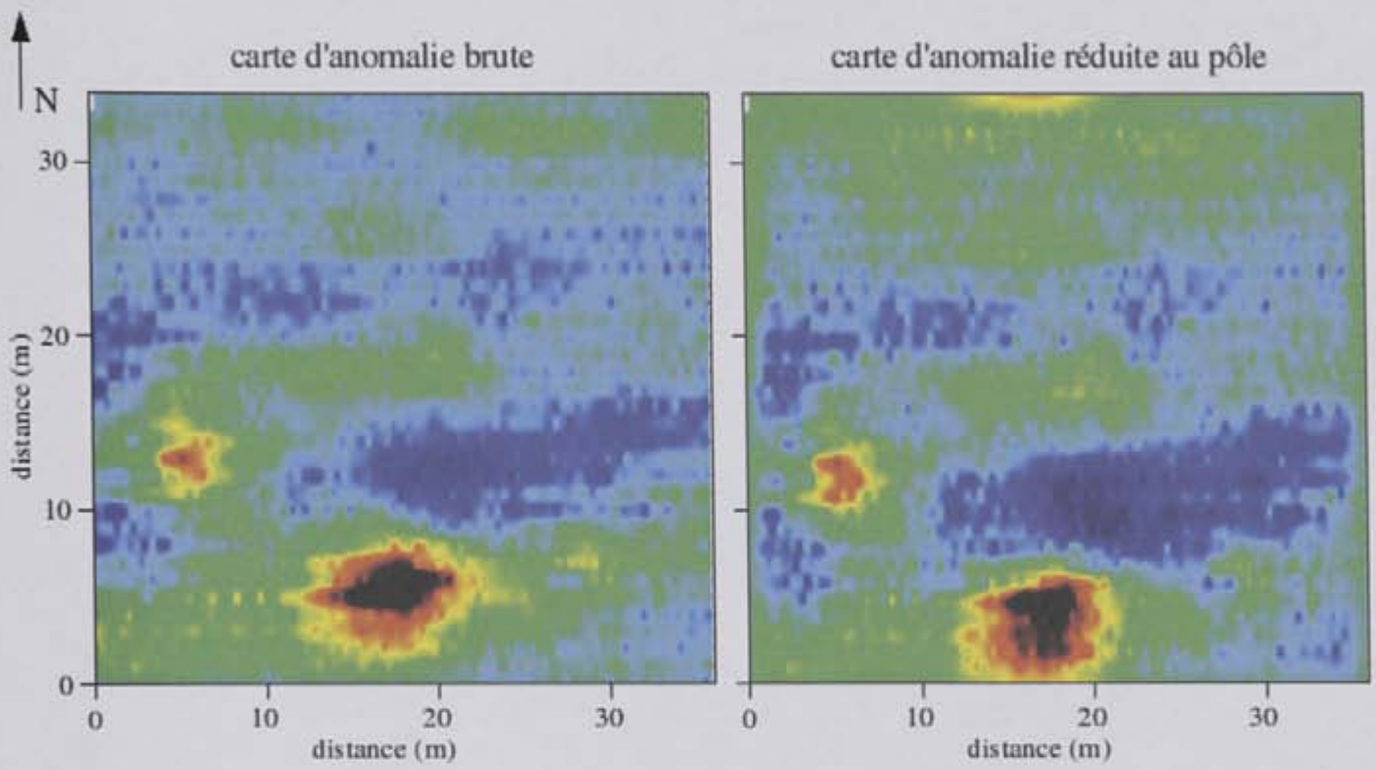
L'exploitation des résultats de mesure montre la présence de deux anomalies du champ magnétique terrestre très nettes (fig.7), d'une vingtaine de nanotesla (nT). La plus petite des deux anomalies coïncide bien avec la zone de concentration de parois, ce qui tend fortement à confirmer l'existence possible d'un bas fourneau à cet endroit. On n'observe par contre rien de particulier à l'emplacement de l'anomalie de plus grande dimension.

En début de sondage, force était de constater que la végétation avait largement repris ses droits en un peu plus d'un an et que les observations précédentes ne pouvaient plus être faites. Il y a lieu de préciser que le terrain présente un relief en dents de scies et monticules, du fait du labour forestier et du mode d'implantation des pins, essentiellement sur les bombements centraux, ce qui augmente la difficulté d'interprétation des couches de sédiment rencontrées.

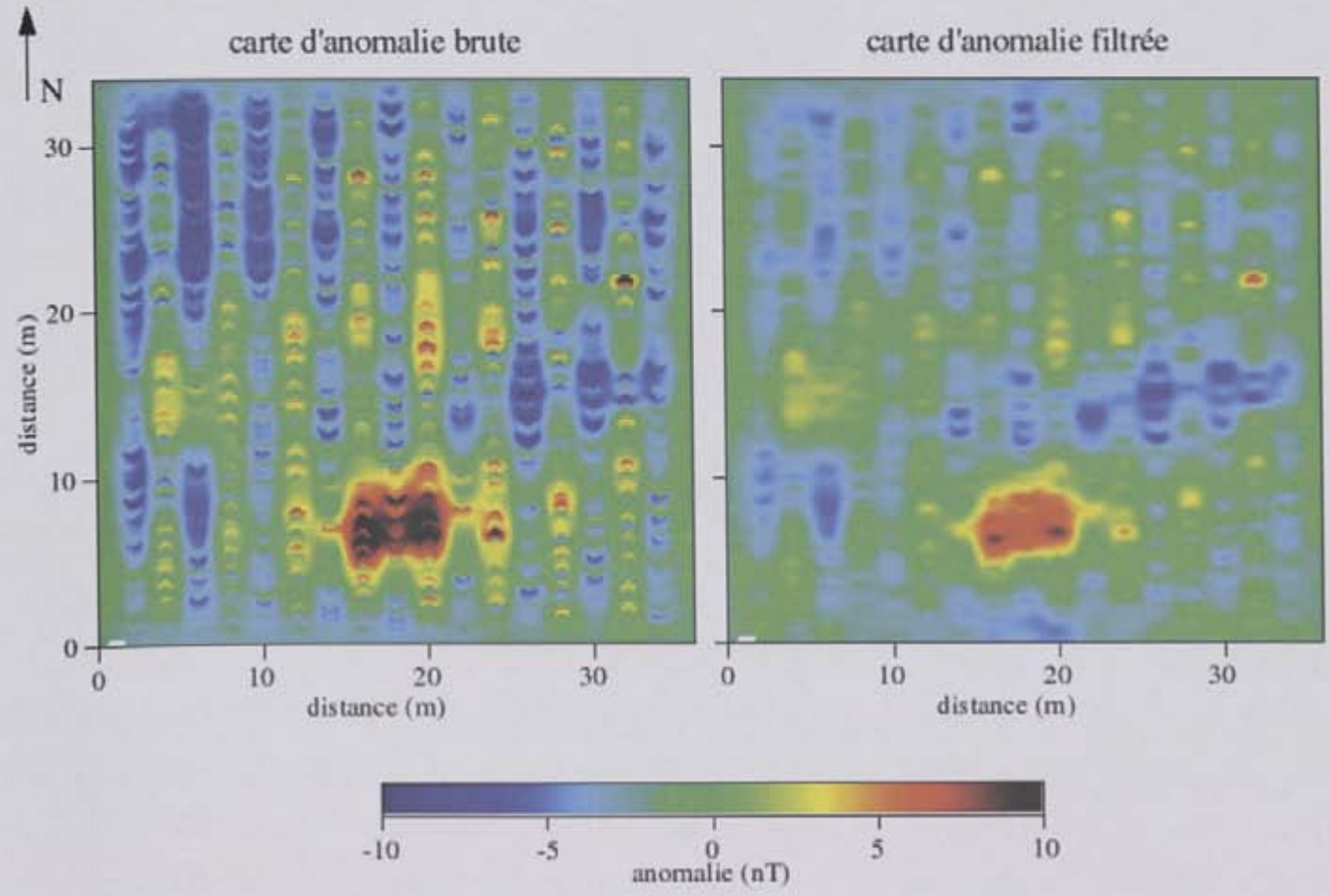
Les zones de fouille ont donc essentiellement été calquées sur les emplacements donnés par les anomalies magnétiques précédentes.

Fig. 7 : La Haute-Rivière II en Paimpont, mesures géophysiques - avril 2007

1) Levé magnétique selon des profils dans la direction E-W, espacés de 1 m dans la direction N-S :



2) Levé magnétique selon des profils dans la direction N-S, espacés de 2 m dans la direction E-W :



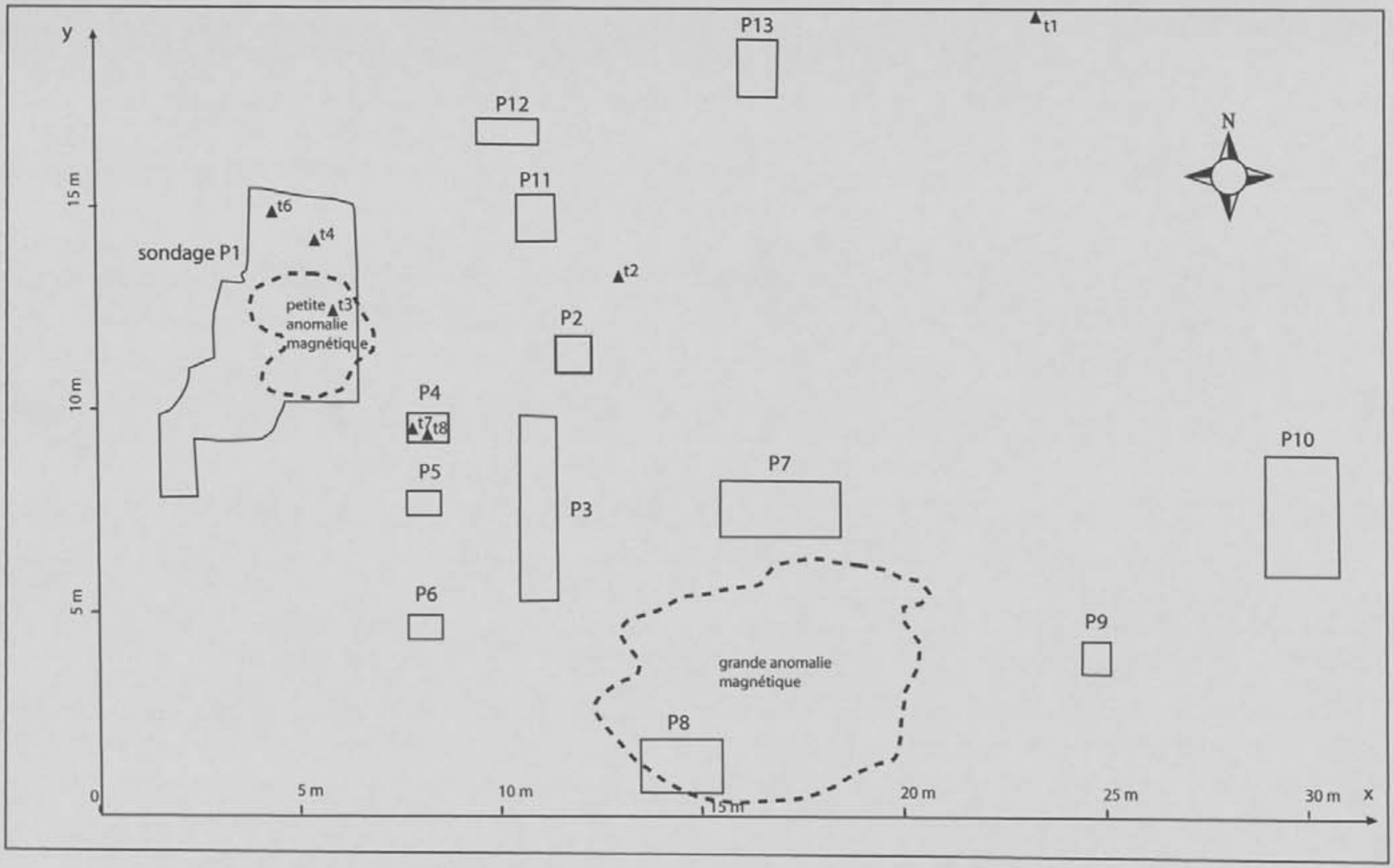


Fig. 8 : La Haute-Rivière II, implantation des sondages et anomalies magnétiques

2. Eléments essentiels observés au cours du sondage.

2.1 Structure à l'emplacement de la grande anomalie magnétique - sondages P7 et P8.

Les nombreux sondages tests réalisés montrent que l'anomalie magnétique de plus grande emprise coïncide globalement avec une aire de charbonnage bien marquée (photo 20). Le relevé de la partie positive de l'anomalie, réduite au pôle, a été reporté sur le plan d'implantation des sondages (fig. 8). La partie négative de l'anomalie se trouve immédiatement au nord de la partie positive. Il y a lieu de remarquer ici la valeur peu élevée du gradient de champ magnétique qui se situe entre -10 nT et + 10 nT.

Les sondages P7 et P8 ont été pratiqués afin de mieux reconnaître l'aire de charbonnage. Celle-ci est de forme globalement circulaire et d'épaisseur modeste, voisine de 20 cm dans sa partie la plus bombée. Le sommet de la 'charbonnière' se trouve à 4 m au nord de l'axe de référence Ox (fig. 8). Le sédiment sous jacent a localement été légèrement coloré par la chauffe.

Elle n'a pas livré d'élément pouvant lui conférer une chronologie très ancienne.

2.2 Structure allongée à moellons d'argile saumon - sondage P10.

Les explorations ont également montré l'existence d'une structure remplie de moellons d'argile peu cuite, de destination inconnue (fig. 9). Un relevé du niveau supérieur est indiqué sur la figure en pointillé (photo 21). Les sédiments colorés apparaissent encore dans la coupe du trait de labour forestier le plus profond (au nord).

Le volume global de la structure est relativement bien délimité, mais son organisation interne est difficile à saisir (photo 22, fig.9). La faible consistance des moellons ne permet pas toujours de distinguer ceux-ci de l'argile du sol sur lequel ils reposent. La profondeur à laquelle on rencontre les moellons principaux s'établit entre 30 cm et 42 cm sous le niveau du sol actuel.

On pourrait éventuellement évoquer une structure de chauffe très fruste telle qu'un four à pain par exemple. Mais on remarque de façon étonnante, qu'elle ne recèle aucun charbon de bois, ni entre les moellons, ni même dans le sédiment limoneux encaissant et ceci malgré la proximité de l'aire de charbonnage précédemment décrite.

Les scories sont très peu présentes dans le secteur, et dans l'emprise du sondage réalisé à l'emplacement de cette structure. Par suite, il parait difficile de lui donner une fonction en lien

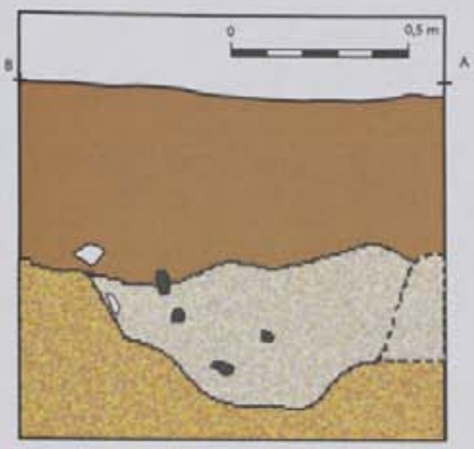
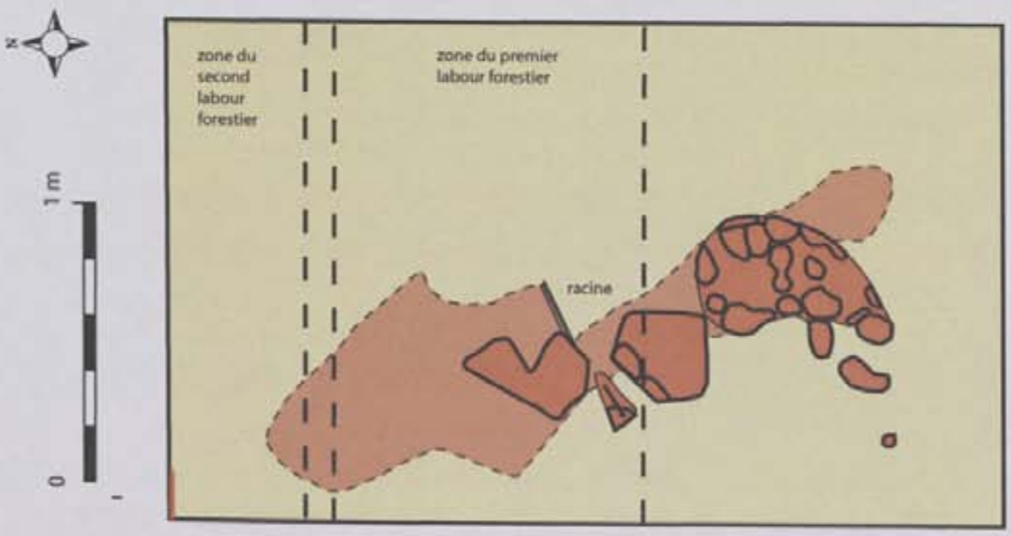


Fig. 11 : coupe AB en partie sud de la structure fossoyée

Fig. 10 : sondage P10, structure fossoyée, contenant des scories et des fragments de paroi de four.



direct avec l'activité métallurgique, plus prononcée non loin de là. Un rôle annexe à celle-ci n'est pas impossible malgré tout.

Les quelques petits fragments de minerai grillé trouvés (voir chapitre suivant) dans la couche recouvrant la structure sont en quantité bien faible pour assurer une fonction de grillage. Il semble que la 'structure' corresponde à un bâti artisanal très léger, qui a été démantelé, et rejeté à cet endroit, et qui se retrouve donc là en position donc secondaire.

2.3 Structure à l'emplacement de la petite anomalie magnétique - sondage P1.

Les premiers décapages manuels livrent régulièrement des scories et quelques parois de four au sein d'un sédiment marron-beige limoneux, sans que l'on puisse dégager un quelconque agencement cohérent. Le travail est freiné du fait de la présence d'une souche d'arbre très résistante, de grande dimension (châtaignier ?) en état de décomposition partiel (photo 17, au centre). Cette action sur le corps principal de l'arbre et les nombreuses racines engendre une coloration locale du sédiment qui prend alors une coloration grisâtre à bleu. Les scories sont présentes à tous les niveaux y compris au contact des éléments de la souche, dont on a tout lieu de penser qu'elle est restée en place.

La poursuite de la fouille montre que l'implantation et le développement de l'arbre sont liés à une zone qui reste humide du fait de l'existence d'une fosse ou d'un fossé assez profond.

Les limites de cette structure ont été quelque peu difficiles à cerner du fait de l'existence de cette souche, du fait également de son comblement, très comparable à celui du substrat sous-jacent, fait de limon blanc parsemé de poches d'argile ocre-jaune, et du fait que le niveau de sédiment marron beige recouvre l'ensemble du secteur, et qu'elle n'apparaît, par suite, qu'à une profondeur d'au moins 40 cm sous l'humus (fig. 10).

Ses contours sont très irréguliers. Ils ont été bien reconnus dans la moitié sud du sondage, mais sont assez flous en partie nord. Son emprise occupe globalement la moitié ouest du sondage.

A son extrémité sud, sa profondeur par rapport au niveau d'humus atteint **90 cm**. Dans son état actuel, la hauteur de son comblement initial, comportant plus de phases blanches que le substrat, est de 40 à 45 cm (fig. 11, coupe AB, photo 19 et 20). La structure paraît bien se poursuivre dans l'angle S-W du sondage (au-delà de la ligne en pointillé où s'est arrêtée la fouille.

Il comporte à tous les niveaux des scories denses à l'aspect souvent rouillé et quelques fragments de paroi de four de taille modeste, mais ce mobilier est particulièrement présent au contact du substrat.

Il est accompagné de quelques rares charbons de bois de petite taille, en particulier au fond du sondage et dans la zone de devers vers cette partie plus profonde de la structure, qui atteint 86 cm à cet endroit. Un prélèvement a été effectué à ce niveau à des fins de datation absolue (fig. 10, échantillonnage E1).

3. Mobilier métallurgique

a) minerai

Sur toute l'étendue de la fouille seules deux occurrences de petits blocs (1 bloc de 4 cm de long, et des fragments infra centimétriques) de minerai très probable ont été recensées. Ils ont été découverts dans la couche orange – saumon apparaissent au niveau de la partie supérieure de la structure à moellons d'argile rosée du sondage P10.
Ils présentent l'aspect de minerai grillé et sont attirables à l'aimant.

a) scories

Ce qui a motivé l'intervention est la présence de ces scories spécifiques, dont la fouille a confirmé les caractéristiques principales.

Tous les exemplaires mis au jour présentent les stigmates de scories de scories coulées. Cette constance d'aspect et l'absence de scories manifestement piégées, indique qu'elles sont très majoritairement au moins écoulées, c'est-à-dire qu'elles sont sorties de l'enceinte du four.

Ces scories sont très denses et très fragmentées. On n'observe pas de témoin de véritable nappe fluide. Bien que l'on arrive à identifier le plan général d'écoulement, les surfaces supérieures et inférieures de ces scories présentent un relief notoire. Ces éléments indiquent qu'il s'agit d'un écoulement visqueux et de développement limité.

Un autre élément d'appréciation est l'existence de zones d'oxydes internes ou accrochées à leur surface, qui ne proviennent pas ici du contexte ferrugineux du sédiment encaissant, quasi inexistant ici. L'effet est sans un peu plus accentué pour les scories qui ont été conservées dans le milieu humide de la structure fossoyée.

Seuls trois exemplaires, recueillis en particulier dans le comblement de l'extrémité sud de la partie explorée de la structure, présentent un aspect quelque peu différentié, du fait de leur forte densité, de leur aspect encore plus rouillé, de leur réponse positive à l'aimant et de la forme en culot plano-convexe pour deux d'entre eux et plus ramassée pour le troisième. Leur dimension principale est de 12 cm, 18 cm et 11 cm respectivement. Ils feront l'objet d'une étude plus approfondie.

b) parois de four.

Leur présence à tous les niveaux de comblement pourrait indiquer l'existence d'un bas fourneau à proximité immédiate. Elle pourrait notamment suggérer que la structure fossoyée puisse correspondre à une fosse de travail directement liée à l'appareil de réduction. Aucune concentration nette même aux extrémités de la structure fossoyée n'est apparue.

Les exemplaires de paroi mis au jour sont très fragmentaires. Leur aspect très blanc à rose clair, montre qu'ils ont subi pour la plus grande partie d'entre eux, une cuisson poussée.

c) ventilation

La fouille n'a livré qu'un petit de paroi très fragmenté montrant une surface scoriacée incurvée transversale à l'épaisseur scoriacée, pouvant être assimilé au passage des vents d'une tuyère. Celui-ci a été découvert dans le sondage P4 situé à proximité de la structure fossoyée de P1 (fig. 8). Il se trouvait à une profondeur de 25 cm par rapport au niveau de sol actuel, au sein d'un sein d'un sédiment homogène, peu plastique de couleur ocre beige. Il est associable aux deux tessons (une pâte claire, et un tesson à cuisson réductrice) qui ont été trouvé dans le voisinage immédiat et à la même profondeur.

4. Mobilier céramique.

Une série de 8 tessons de céramique a été mise au jour au cours de la fouille (fig. 8).

Quatre d'entre eux ont découverts dans le sondage P1 (tessons t3 à t6), deux dans le sondage P2 (tessons t7 et t8), et deux autres ont été trouvés en dehors des sondages en surface pour l'un (t1), l'autre (t2) à 5 cm sous la surface du sol actuel, correspondant à un bombement pour plantation de pin.

Trois exemplaires du sondage P1 ont été trouvés à une profondeur comprise entre 5 et 30 cm. Le quatrième a été trouvé dans les déblais de creusement sud du sondage. Tous quatre font état d'une cuisson réductrice pas très poussée, leur donnant des colorations marron à entièrement noir. La surface externe de deux d'entre eux a été soigneusement lissée.

Aucune forme n'est identifiable. Sous toutes réserves, une attribution gauloise pourrait être éventuellement avancée.

L'un des tessons du sondage P4 présente des caractéristiques semblables, avec un aspect également lissé et un dégraissant à nombreux petits quartz laiteux. L'autre est un petit fragment de pâte claire tournée de couleur rouge-orange à blanc, comportant sans doute une engobe blanche. Tous deux ont été trouvés à 25 cm de profondeur.

Le tesson t1 est un fond de pot tourné à pâte gris clair. Le tesson t2 est un tesson marron-brun assez cuit sans doute assez proche du col, montrant une rupture du profil à l'aspect bombée.

La présence de ces dernières céramiques ainsi qu'une série de pâte claires découvertes auparavant en prospection pourrait peut-être orienter l'attribution chronologique vers la fin de l'indépendance / début de la période romaine, sans aucune certitude.

5. conclusion.

L'ensemble des sondages P1 à P13 réalisés à une profondeur au minimum de 40 cm, n'ont pas livré d'autre structure que celles décrites précédemment. Les seuls indices d'activité métallurgique se traduisent par la présence de scories éparses dans les sondages autres que ceux dont on a fourni des données quantitatives.

Une série de 51 carottages tests à la tarière forestière a complété le dispositif de recherche, sur l'ensemble de la surface et notamment autour du sondage P1. Les profondeurs explorées ont la plupart du temps atteint ou dépassé 60 cm de profondeur. Un enregistrement des couches rencontrées a été réalisé. Aucune structure supplémentaire n'a pu être détectée.

Par suite on peut formuler trois hypothèses tout aussi plausibles :

1) Le bas fourneau a entièrement été détruit, en raison peut-être de la faible profondeur de son implantation.

2) Les vestiges retrouvés correspondent à un rejet secondaire et l'appareil est situé à une certaine distance de là.

3) Le bas fourneau se trouve à proximité, peut-être dans l'axe de la structure (au nord ou au sud).

Sans permettre de préciser sérieusement la chronologie du site, le mobilier céramique trouvé en fouille n'en donne pas moins quelques orientations possibles. Son lien est presque assuré avec la métallurgique, compte tenu du contexte de découverte dans les niveaux les plus riches en scories et paroi. Le recours à une datation C14 s'avère nécessaire afin d'attribuer ce mode de réduction à scories écoulées denses.

III.

ANALYSES CHIMIQUES

DES MINERAIS ET SCORIES

1. SITE DES GLYORELS I ET II.

1.1 LES GLYORELS I ET II : Echantillons de minerai

La fouille des deux sites n'a livré que très peu d'échantillons de minerai.
Les exemplaires mis au jour sont passés par le feu. Ils seront dénommés 'grillés' pour plus de facilité. Ils ont été collectés à l'intérieur du four, ou dans la zone d'ouverture de celui-ci. Les analyses chimiques ont été réalisées au CRPG de Nancy en liaison avec l'U.M.R. 5060 et l'U.M.R. 6566.

ref.	Bois Jacob sondage S101			As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2452	GLYOREL 2-2	scorie coulure interne du four		< L.D.	136,6	25,5	0,197	0,68	94,8	1,61	272	6,67	18,3	16,92
2453	GLYOREL 2-1	minerais grillés		13,2	110,3	4,09	0,312	0,8	25,1	6,39	130	3,5	17,9	3,423
2454	GLYOREL 1-2A	Petites scories à l'int.du four		1,99	112,6	21,9	0,261	1,36	93,6	2,08	243	18,5	11,9	15,19
2455	GLYOREL 1-1	Minerai grillé		19,6	72,63	12,8	0,525	0,49	72,8	12,3	156	40,4	8,71	11,22
				Er	Eu	Ga	Gd	Ge	Hf	Ho	In	La	Lu	Mo
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2452	GLYOREL 2-2	scorie coulure interne du four		10,8	4,015	6,76	16,53	0,74	12,7	3,45	< L.D.	35,6	2,3	0,918
2453	GLYOREL 2-1	minerais grillés		2,06	0,817	4,16	3,037	2,9	11,1	0,64	0,24	9,84	0,45	0,727
2454	GLYOREL 1-2A	Petites scories à l'int.du four		10,3	3,45	8,26	14,99	1,78	10,6	3,2	0,37	35,8	2,35	< L.D.
2455	GLYOREL 1-1	Minerai grillé		8,48	1,883	6,7	9,372	3,39	6,47	2,64	0,32	31,9	1,64	0,68
				Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Sm	Sn	Sr	Ta
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2452	GLYOREL 2-2	scorie coulure interne du four		6,84	64,68	9,36	7,502	14,6	24,7	0,32	18,6	1,25	51	0,613
2453	GLYOREL 2-1	minerais grillés		7,55	14,02	20,4	9,645	3,3	7,55	1,46	3,76	1,47	10,3	0,708
2454	GLYOREL 1-2A	Petites scories à l'int.du four		5,32	61,85	16	3,173	13,7	45	0,6	16,9	1,35	40,4	0,503
2455	GLYOREL 1-1	Minerai grillé		2,92	29,94	29,8	8,063	7,11	78	1,54	8,13	1,62	26,7	0,306
				Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
2452	GLYOREL 2-2	scorie coulure interne du four		2,76	18,13	1,82	23,97	377	1,23	80,6	13,9	18,3	665	
2453	GLYOREL 2-1	minerais grillés		0,53	6,586	0,36	6,06	143	1,26	15,3	2,69	30,2	535	
2454	GLYOREL 1-2A	Petites scories à l'int.du four		2,46	16,14	1,79	6,502	298	1,01	81	13,4	36,2	533	
2455	GLYOREL 1-1	Minerai grillé		1,64	9,428	1,35	3,091	99,2	0,6	93,7	9,25	32,2	309	
			SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	PF	Total
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2452	GLYOREL 2-2	scorie coulure interne du four	23,3	6,9	72,4	0,2	0,2	0,3	< L.D.	0,4	0,3	1,1	-5,6	99,7
2453	GLYOREL 2-1	minerais grillés	39,02	2,01	52,58	0,07	0,02	< L.D.	< L.D.	0,08	0,44	0,37	4,42	98,99
2454	GLYOREL 1-2A	Petites scories à l'int.du four	22,63	6,47	71,94	0,17	0,26	0,20	< L.D.	0,50	0,28	0,76	-3,81	99,40
2455	GLYOREL 1-1	Minerai grillé	14,75	4,04	68,75	0,14	0,20	0,20	< L.D.	0,68	0,17	0,43	9,26	98,61

Fig. 12 : Les Glyorels I et II, résultats d'analyses chimiques CRPG Nancy – UMR 5060

Leur teneur en oxyde de fer respectives (pour Glyorels I et Glyorels II) sont de 68,75 % et 52,58 % (Fe_2O_3) atteste leur utilisation en tant que minerai destiné à être réduit dans un bas fourneau afin d'en tirer du fer métal (bien que de façon moins nette pour le second élément).

La teneur en silice (SiO_2) ne représente que 15 % environ de l'échantillon dans le cas des Glyorels I, mais 39 % dans le cas des Glyorels II. Leur teneur en alumine (Al_2O_3) est faible 4 % dans le premier cas, 2 % dans le second.

Sa perte au feu du 1er échantillon est assez élevée (9.3 %), ce qui pourrait indiquer que le 'grillage' n'a pas été poussé jusqu'à son terme (Vivet, 2008). En raisonnant sur la matière sèche, cela porterait la teneur en fer métal potentiellement accessible de l'échantillon à près de 53 %. La perte au feu du second échantillon est moins élevée (4,4 %).

L'échantillon des Glyorels I contient de faible teneurs en sels minéraux de calcium, magnésium, et potassium : 0,2% en oxyde de calcium (CaO), 0,2 % en oxyde de magnésium (MgO) et 0,68 % en oxyde de potassium (K_2O). Le sodium est absent. Concernant ce dernier élément et le calcium, ils sont absents dans l'échantillon des Glyorels II et les valeurs en magnésium et potassium sont encore bien plus faibles que dans l'échantillon des Glyorels I : 0,02 % et 0,08 %.

Le manganèse est faiblement représenté (0,14 % et 0,07 %en MnO). Comme souvent sur l'ensemble du secteur la teneur en titane n'est pas négligeable (0,17 % et 0,44 % en TiO_2). Seule la teneur en phosphore (0,43 % et 0,37 % en P_2O_5) est un peu plus notoire.

Concernant les éléments traces, la somme des teneurs s'élève respectivement à 1036,8 ppm et 1101,4 ppm ce qui correspond aux valeurs jusqu'ici rencontrées pour les minerais superficiels de Bretagne centrale (1066,81 ppm en moyenne), par comparaison avec les teneurs des minerais de couche de la région pour lesquels cette valeur dépasse en moyenne le seuil des 4000 ppm (4161,92 ppm, programme Patrifer Jean-Jacques Chauvel, Vivet et Chauvel, 2003).

Ainsi qu'il a été déjà été constaté localement (sur le massif de Paimpont) la teneur locale en chrome (Cr) est élevée (156 ppm et 130 ppm) de même que celle en zirconium Zr (309 ppm et 535 ppm). Le vanadium est également bien présent avec des valeurs (99,2 ppm et 143 ppm) d'un ordre de grandeur assez proche de celui rencontré au Bois Jacob (134,5 ppm). Il en est de même pour le chrome (106 ppm) et le zirconium (248,6 ppm).

Les teneurs en arsenic (As) des échantillons sont faibles (19,6 ppm et 13,2 ppm) en comparaison de celles obtenue à la fois dans le minerai et les scories analysées localement pour le site de Trécélien (respectivement 387,9 ppm, 249.2 ppm et 386,9 ppm). Cette différence a également été signalée pour le minerai du Bois Jacob.

Les teneurs totales en Terres rares du minerai sont respectivement de 159 ppm et 60 ppm. La première valeur nous situe entre celle des minerais de couche (271,1 ppm) et les minerais superficiels de Bretagne centrale (91,4 ppm), tandis que la deuxième valeur est bien dans la gamme des minerais superficiels. La différence entre les valeurs des deux échantillons tient en grande partie au cérium (Ce) et au Lanthane (La).

1.2. LES GLYORELS I ET II : Echantillons de scorie.

De même que pour les minerais, un échantillon de scorie de chacun des sites a été analysé.

Les deux scories comportent une très forte teneur en fer (72 % en Fe_2O_3), soit 50 % en fer métal, valeur proche de celle de la fayalite pure (54,8 %), illustrant la tendance naturelle, pour ces minerais non calciques, à former préférentiellement ce minéral.

Les teneurs en CaO, MgO, K_2O, restent à des valeurs sensiblement identiques à celles du minerai des Glyorels I: 0,2 %, 0,26 % et 0,50 % respectivement. Comparativement ces valeurs sont supérieures dans celui des Glyorels II : 0,3 %, 0,2 % et 0,4 %, tout en restant à un faible niveau, qui peut s'expliquer par l'apport des cendres en sels minéraux. La teneur en sodium reste en dessous du seuil de détection dans les deux cas.

De même que pour le minerai on note des teneurs non négligeables en TiO_2 (0,28 % et 0,3 %) et en P_2O_5 (0,76 % et 1,1 %). La teneur en manganèse reste faible : 0,17 % et 0,2 % respectivement.

La concentration peu élevée de ces scories en éléments traces (217,16 ppm et 225,89 ppm), les apparentent aux minerais superficiels de la région.

Comme pour les minerais précédents, on note à nouveau une teneur élevée en chrome (243 ppm et 272 ppm) et en zirconium (553 ppm et 665 ppm). La teneur en arsenic (As) est à nouveau très faible (1,99 ppm et en dessous du seuil de détection dans le deuxième cas).

La somme des valeurs en terres rares est plus élevée que celle des minerais correspondants précédents : 217,16 ppm et 225,89 ppm

Bien entendu, il faudrait multiplier le nombre d'analyses pour confirmer ces résultats. Ces données préliminaires fournissent cependant quelques orientations utiles permettant d'orienter les futures recherches de filiation notamment et obtenir des comparaisons régionales.

2. SITE DU VERT PIGNON III

Ces résultats d'analyse portent sur deux échantillons de minerai et quatre scories issus du site du Vert Pignon III en PAIMPONT(35), au cours des fouilles réalisées au sein d'un ferrier à scories spongieuses.

Ce site a livré de façon exceptionnelle des structures de chauffe liées aux opérations de réduction et de post-réduction d'un atelier fonctionnant autour du XIV ème siècle (Vivet, 2004 et 2005). Les culots ont été trouvés en place dans les foyers et même, pour l'un d'entre eux en position primaire.

Un site de la même famille, Trécélien en PAIMPONT (35), découvert auparavant (Vivet, 2002, 2003 et 2004) a livré du mobilier métallurgique de nature semblable dont l'étude a été entreprise par Nicolas Girault dans le cadre d'un mémoire de DEA (Girault, 2005). L'étude de ces nouveaux échantillons s'inscrit dans ces travaux, qui se poursuivent sous forme d'une thèse portant sur l' « Etude archéologique des déchets de métallurgie des ferriers du massif forestier de Paimpont ». Les fiches descriptives et photos qui suivent ont été réalisées par Nicolas Girault en collaboration avec Cécile Le Carlier (U.M.R. 6566, Rennes I).

2.1. LE VERT PIGNON III : Echantillons de minerai.

1) Description

Fiche minerai

Site : Vert-Pignon III
N° d'enregistrement : VP3M01
Forme :
Type :
Amas associé :
Carré de fouille associé :

Epaisseur maximum : 3,3 cm
Longueur maximum : 11 cm
Largeur maximim : 7,9 cm
Masse : 481 g
Attirable à l'aimant :

Description morphologique :

Fragment minéral de forme trapézoïdale et de section rectangulaire. Ce fragment présente une surface de couleur noire à rose avec quelques fissures longitudinales. 2 bords montrent qu'il existe une strate de couleur rouge située au centre du fragment de 5 à 8 mm d'épaisseur environ.

Fiche minerai

Site : Vert-Pignon III
N° d'enregistrement : **VP3M02**
Forme :
Type :
Amas associé :
Carré de fouille associé : K49

Epaisseur maximum : 2,7 cm
Longueur maximum : 4,3 cm
Largeur maximim : 3,9 cm
Masse : 53 g
Attirable à l'aimant :

Description morphologique : Nodule de couleur rouille à rouge avec des taches noires.

Photo 23 : Le Vert Pignon III, échantillon de minerai VPIIIMO1.

Photo 24 : Le Vert Pignon III, échantillon de minerai VPIIIMO2.

ref.	Vert Pignon	échantillon	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2444	VP3-M-01	minerai de fer	15,7	289,9	5,39	0,348	0,28	20,3	37,9	19,4	1,98	20,5	1,365
2445	VP3-M-02	minerais de fer (2 frag.)	10,4	149,4	8,33	0,263	0,57	47,3	7,34	108	3,5	19,7	6,106
2446	VP3-Sco-02	scorie plano-convexe	5,98	709,3	5,8	0,198	0,35	34,9	15,9	95,5	1,04	52,6	4,485
2447	VP3-Sco-03	scorie écoulée spongieuse	< L.D.	506	28	0,19	0,62	139	0,67	307	25,6	14	17,56
2448	VP3-Sco-05	scorie écoulée spongieuse	< L.D.	579,5	19,3	0,213	0,58	87,9	2,04	278	5,62	15,8	12,44
2449	VP3-C-11	scorie plano-convexe	< L.D.	322	6,12	0,357	0,32	56,5	2,67	106	1,07	37	6,321

			Er	Eu	Ga	Gd	Ge	Hf	Ho	In	La	Lu	Mo
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2444	VP3-M-01	minerai de fer	0,79	0,653	5,91	1,728	1,37	1,93	0,26	0,14	9,03	0,12	1,466
2445	VP3-M-02	minerais de fer (2 frag.)	3,88	1,478	8,12	6,188	3,9	6,65	1,26	0,2	18,3	0,85	1,38
2446	VP3-Sco-02	scorie plano-convexe	2,87	1,129	8,33	4,364	1,23	4,59	0,89	0,3	14,8	0,58	2,272
2447	VP3-Sco-03	scorie écoulée spongieuse	11,9	4,055	7,41	17,85	0,84	13,6	3,82	< L.D.	57,9	2,5	1,416
2448	VP3-Sco-05	scorie écoulée spongieuse	8,15	3,019	7,63	12,54	0,75	9,9	2,58	< L.D.	34,1	1,76	0,865
2449	VP3-C-11	scorie plano-convexe	3,89	1,532	10,7	6,496	0,92	4,92	1,25	0,1	22,3	0,75	1,334

			Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Sm	Sn	Sr	Ta
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2444	VP3-M-01	minerai de fer	2,35	8,615	66,4	11,72	2,15	27,5	4,56	1,96	1,15	35,2	0,228
2445	VP3-M-02	minerais de fer (2 frag.)	5,82	27,58	33,1	8,297	6,59	29,8	2,59	7,06	1,67	28,9	0,519
2446	VP3-Sco-02	scorie plano-convexe	3,52	19,4	41,5	1,634	4,65	39,1	1,04	4,89	3,35	252	0,327
2447	VP3-Sco-03	scorie écoulée spongieuse	7,51	74,65	17,3	8,321	17,7	101	< L.D.	19	0,77	223	0,694
2448	VP3-Sco-05	scorie écoulée spongieuse	5,94	51,76	13	1,284	12	67	0,24	14,1	0,83	208	0,534
2449	VP3-C-11	scorie plano-convexe	4,23	30,6	11,3	8,556	7,27	47,1	0,71	7,38	7,31	158	0,375

			Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2444	VP3-M-01	minerai de fer	0,24	2,592	0,11	9,097	24,4	0,61	9,12	0,79	107	80,3
2445	VP3-M-02	minerais de fer (2 frag.)	0,99	6,758	0,65	3,14	108	1,28	30,4	4,87	48,6	305
2446	VP3-Sco-02	scorie plano-convexe	0,72	5,274	0,48	2,399	95,2	1,3	22,4	3,47	19,2	211
2447	VP3-Sco-03	scorie écoulée spongieuse	2,86	22,16	2,02	11,02	346	0,88	113	14,6	21	685
2448	VP3-Sco-05	scorie écoulée spongieuse	2,06	14,27	1,41	8,822	289	1,37	63,7	10,6	11	498
2449	VP3-C-11	scorie plano-convexe	1,05	6,457	0,64	3,139	194	1,81	33,2	4,72	110	227

			SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	PF	Total
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2444	VP3-M-01	minerai de fer	34,39	3,14	52,65	1,15	0,18	0,16	< L.D.	0,75	0,18	0,78	5,14	98,50
2445	VP3-M-02	minerais de fer (2 frag.)	33,41	4,47	58,51	0,09	0,14	0,15	0,26	0,67	0,34	0,67	1,44	100,16
2446	VP3-Sco-02	scorie plano-convexe	19,29	2,75	70,73	0,64	1,39	4,15	0,19	2,00	0,22	1,24	-2,20	100,40
2447	VP3-Sco-03	scorie écoulée spongieuse	35,4	8,6	54,5	0,4	1,0	2,5	0,2	1,8	0,4	0,8	-5,1	100,3
2448	VP3-Sco-05	scorie écoulée spongieuse	29,5	6,2	61,3	0,6	0,8	2,4	0,2	1,5	0,3	1,5	-5,8	98,5
2449	VP3-C-11	scorie plano-convexe	21,1	3,5	71,5	0,6	0,9	1,6	0,2	1,4	0,3	1,3	-2,2	100,2

ésultats d'analyse

Fig. 13 : Le Vert Pignon III, résultats d'analyses chimiques CRPG Nancy – UMR 5060

c) éléments d'interprétation

Les échantillons VP3M1 ET VP3M2 ont une teneur en oxydes de fer (Fe_2O_3) respectivement de 52,65 % et 58,51 %, soit 36,9 %et 40,7% en fer métal, ce qui, sans être considérable permet leur utilisation en tant que minerai. Il convient de préciser que les blocs ferrugineux mis au jour dans le ferrier du Vert Pignon, peu d'éléments présentent un faciès indiquant de façon flagrante une très forte minéralisation en oxyde ou hydroxydes de fer. Soit que la concentration observée ci-dessus soit considérée comme suffisante pour obtenir du métal à partir des bas fourneaux découverts sur place, soit qu'il s'agisse de blocs mis au rebus parce que considérés comme siliceux.

La teneur en silice (SiO_2) des deux échantillons dépasse en effet 30 % (34,4 % et 33,4 % respectivement). L'alumine (Al_2O_3) est, par contre, plus faiblement représentée avec 3,1 % et 4,5 %.

La perte au feu des deux échantillons est faible (5,1 % et 1,4 %). Leur aspect externe montrant des phases rouges semble indiquer qu'ils ont été passés au feu, ce qui pourrait expliquer ces faibles valeurs.

Les sels minéraux de calcium, magnésium, potassium, et sodium sont très faiblement présents ou même absents : 0,16 % en CaO, 0,18 % en MgO, 0,75 % en K_2O et une valeur en dessous du seuil de détection pour Na_2O dans le 1er cas, 0,15 % en CaO, 0,14 % en MgO, 0,67 % en K_2O et 0,26 % en Na_2O pour le second échantillon.

Le manganèse est assez élevé dans le 1er échantillon (1,15 en MnO %), mais pas dans le second (0,09 %). Comme souvent sur l'ensemble du secteur la teneur en titane n'est pas négligeable (0,18 % et 0,34 % en TiO_2). Seule la teneur en phosphore (0,78 % et 0,67 % en P_2O_5) est un peu plus notoire.

Concernant ces éléments majeurs, ils diffèrent très peu entre les deux échantillons, et ne montrent pas non plus de différences significatives par rapport à celles rencontrées dans les analyses d'échantillons des Glyorels I et II et du Bois Jacob, hormis la teneur en silice, beaucoup plus faible, dans ce dernier cas.

Concernant les éléments traces, la somme des teneurs s'élève respectivement à 784,5 ppm et 941 ppm, ce qui correspond aux valeurs jusqu'ici rencontrées pour les minerais superficiels de Bretagne centrale (1066,81 ppm en moyenne), par comparaison avec les teneurs des minerais de couche de la région pour lesquels cette valeur dépasse en moyenne le seuil des 4000 ppm (4161,92 ppm, programme Patrifer Jean-Jacques Chauvel, Vivet et Chauvel, 2003).

En ce qui concerne la teneur en chrome (Cr) du 1er échantillon, elle est faible (19,4 ppm). Celle du second échantillon est assez élevée (108 ppm) et correspond plus à ce qui a été déjà été constaté localement sur le massif de Paimpont. Le zirconium est très présent, en particulier dans le second échantillon (80,3 ppm et 305 ppm respectivement). Il en est de même (valeur plus forte dans le second cas) pour le vanadium (V) avec 24,4 ppm et 108 ppm.

Les teneurs en arsenic (As) des échantillons sont faibles (15,7 ppm et 10,2 ppm) en comparaison de celles obtenue à la fois dans le minerai et les scories analysées localement pour le site de Trécélien (respectivement 387,9 ppm, 249,2 ppm et 386,9 ppm). Cette différence mérite d'être signalée, s'agissant de sites de même nature (ateliers à scories spongieuses) et de la même période : moyen Age, autour du XIVème siècle.

Les teneurs totales en Terres rares du minerai sont respectivement de 40,51 ppm et 105,23 ppm et correspondent globalement à celles des minerais superficiels de Bretagne centrale (91,4 ppm).

2.2. LE VERT PIGNON III : Echantillons de scorie.

a) description des échantillons.

Fiche scorie

Site : Vert-Pignon III
N° d'enregistrement : VP3C02
Forme : culot
Type :
Amas associé :
Carré de fouille associé : N48

Epaisseur maximum : 3,4 cm
Diamètre maximum: 11,3 cm
Masse : 392 g
Attirable à l'aimant : attirance faible à moyenne

Description morphologique :

Scorie complète de forme plano-convexe orientée qui s'inscrit dans une forme circulaire. La surface inférieure est convexe. La surface supérieure est irrégulière, légèrement concave.

Cette scorie semble être formée de deux apports de matière accumulée dans un même axe. La première phase inférieure fait 2 à 3 cm d'épaisseur au centre et s'affine vers les bords. Cette première phase est nettement concave et accueille en son centre une deuxième phase de scorie de diamètre inférieur qui semble s'être déposée ultérieurement sans se mélanger complètement à la scorie sous-jacente (diam 6-7cm, épaisseur env.1 cm). Au niveau de l'accroche du culot sur la paroi, les deux parties se fondent en une seule masse de telle sorte qu'il n'y a pas de rebord, à un endroit qui pourrait être la trace dans l'emplacement de la tuyère dans le foyer.

La surface supérieure est en grande partie composée de la couche de scorie qui s'est déposée en second lieu. La scorie est noire avec un encroûtement de couleur rouille. On observe des porosités irrégulières dont des bulles éclatées et des négatifs de charbons de bois qui sont les traces de ce qui venait recouvrir la scorie dans le foyer. Au niveau de l'accroche, on note la présence d'une petite zone vitreuse de couleur verte.

Ce qui semble être la première phase de la scorie apparaît aussi en surface supérieure essentiellement sur les bords. Elle est assez irrégulière, de couleur noire avec de nombreux négatifs de charbons de bois.

La surface inférieure, de couleur noire, semble mouler le fond du foyer dans lequel la matière s'est déposée. La scorie est irrégulière, grumeleuse avec un aspect terreux, et inclut des particules exogènes : battitures rondes millimétriques, fragments minéraux blanchâtres millimétriques, des particules de céramique orangées et des petits fragments de scories. Cette surface inférieure est conservée dans sa globalité et montre probablement la surface d'appui de la scorie dans le foyer.

Fig. 24 : Le Vert Pignon IIII,

échantillon de scorie VP3SCO2

Fig. 25 : Le Vert Pignon IIII,

échantillon de scorie VP3SCO3

Fiche scorie

Site : Vert-Pignon III
N° d'enregistrement : VP3SC03-a
Forme : scorie coulée
Type :
Amas associé :
Carré de fouille associé :

Epaisseur maximum : 3,2 cm
Longueur maximum : 13,4 cm
Largeur maximum : 12,3 cm
Masse : 711 g
Attirable à l'aimant : non

Description morphologique :

Scorie coulée plane, orientable, dont la surface supérieure est globalement plane et la surface inférieure est irrégulière. La scorie est de forme sub-rectangulaire, fracturée à ses deux extrémités perpendiculaires à l'axe de la coulée. Elle conserve en majorité ses bords latéraux correspondant à la largeur de la coulée.

Ce fragment semble être le produit d'un apport principal continu de matière en fusion coulant dans un petit canal tronconique et ayant débordé secondairement sur un bord. De l'autre côté, le flanc est bien rectiligne, marquant probablement la surface de contact avec le canal de coulée.

La surface supérieure est en grande partie lisse et homogène avec quelques grosses bulles éclatées et quelques vaguelettes dans l'axe de la coulée principale. Du côté du bord ayant débordé, la matière prend un aspect de cordons entremêlés. Dans son ensemble, la surface supérieure est noire, avec par endroits, un léger film de couleur rouille

La surface inférieure moule le sol sur lequel cette scorie s'est écoulée. Pour moitié, la surface est de forme convexe le long de l'axe de la coulée principale. L'autre moitié, correspondant au débordement secondaire, est beaucoup plus irrégulière, composée apparemment de petits cordons de matière. L'ensemble de la surface inférieure présente une porosité développée avec des pores de petite taille, bien visibles aux quelques endroits fragmentés.

Les cassures aux deux extrémités de la coulée montrent que la scorie forme des cordons mêlés entre eux au niveau du débordement secondaire. La matière, qui apparaît brillante, présente une porosité importante avec des pores de petite taille répartis sur la surface de toutes les cassures et des grosses bulles sphériques et ovalisées dans la deuxième moitié supérieure de la coulée principale.

Fiche scorie

Site : Vert-Pignon III
N° d'enregistrement : **VP3SC05-a**
Forme : scorie coulée
Type :
Amas associé :
Carré de fouille associé :

Epaisseur maximum : 7,8 cm
Longueur maximum : 14,5 cm
Largeur maximum : 11,5 cm
Masse : 1654 g
Attirable à l'aimant : non

Description morphologique :

Scorie coulée, orientable, avec une surface supérieure irrégulière et une surface inférieure convexe. Scorie de forme globalement rectangulaire, cassée de toutes parts, ayant perdue sa forme initiale.

La scorie semble être le résultat d'au moins deux apports de matière successifs. Aucun indice ne permet d'orienter ce fragment dans le sens de la coulée. Une grosse couche inférieure de 4 à 5 cm d'épaisseur et une couche supérieure, très lacunaire, de 1 à 1,5 cm d'épaisseur, située au centre de la scorie et qui semble s'être mêlée à la matière inférieure.

La surface supérieure est fragmentée sur la moitié. La scorie est de couleur noire. La surface qui n'est pas cassée se présente sous la forme de bourrelés conjoints et de quelques bulles éclatées. La porosité, visible essentiellement au niveau des cassures est très développée, composée de pores de taille millimétrique.

La surface inférieure est beaucoup plus homogène. La scorie, grumeleuse, a moulé le sol sur lequel elle a coulé. On ne note aucune porosité visible.

Les cassures latérales montrent que la matière s'organise en deux phases superposées. Une première phase, partant de la surface inférieure, de 1 à 2 cm d'épaisseur, assez compacte, présente des vacuoles de taille millimétrique allongées du bas vers le haut. Une deuxième phase qui s'étend jusqu'à la surface supérieure, beaucoup moins dense, de 1 à 3 cm d'épaisseur, se compose de vacuoles de forme circulaire de taille millimétrique avec quelques cas de taille centimétrique.

Fig. 25 : Le Vert Pignon IIII,

échantillon de scorie VP3SCO5

Fig. 26 : Le Vert Pignon IIII,

échantillon de scorie VP3C11

Fiche scorie

Site : Vert-Pignon III
N° d'enregistrement : **VP3C11**
Forme : culot
Type :
Amas associé :
Carré de fouille associé : N47, Fr2

Epaisseur maximum : 8,6 cm
Diamètre maximum: 19,6 cm
Masse : 1369 g
Attirable à l'aimant : non

Description morphologique :

Scorie de forme plano-convexe orientée, surface inférieure irrégulière convexe avec un apex décentré, surface supérieure irrégulière de forme globalement plane. Scorie de forme ovale entièrement conservée.

Le culot semble composé d'un seul apport de matière. La surface supérieure est de couleur noire avec quelques taches de couleur rouille. La matière est très perturbée formant des microreliefs de tailles centimétriques et de formes complexes dont les parties en creux sont, pour la plupart, des négatifs de charbons de bois. La porosité, peu constituée, se présente sous la forme de bulles éclatés au sein de cordons de matière. Cette face supérieure déborde en lèvre oblique à l'endroit où se positionne la ventilation par rapport au foyer.

La surface inférieure moule le fond du foyer en forme de cuvette de profil irrégulier. La matière s'organise en deux pans autour d'un axe central aligné avec la ventilation. La masse de matière la plus importante se situant à la verticale de la ventilation. Sur un des deux pans, la scorie forme un bourrelet complémentaire, qui s'oriente vers le bord, cassant la régularité de la forme convexe de la surface inférieure. L'ensemble de cette surface correspond à l'aspect du fond du foyer mis au jour lors de la fouille. La matière, de couleur noire, s'organise en microreliefs de taille millimétrique sur toute la surface. On remarque quelques zones marginales de couleur rouille. Les reliefs les plus accentués correspondent à des négatifs de charbons de bois. La porosité est quasi-absente, se limitant à quelques micro-cordons de scorie fragmentés. La scorie inclue quelques graviers et quelques nodules marginaux d'argile ayant chauffé, de taille infra-millimétrique.

La surface d'appui de cette scorie dans le foyer est complètement conservée, délimitant bien les bords du foyer. A noter que l'observation hors contexte ne permet pas de faire la différence entre la partie de la scorie directement en contact avec le foyer et celle qui se trouve au centre de ce dernier, simplement appuyé sur le comblement charbonneux. Le positionnement exact du culot avec le foyer a été enregistré lors de la fouille.

c) éléments d'interprétation

Les scories plano-convexes contiennent des teneurs en fer élevées, voisines de 70 % en Fe_2O_3, supérieures même à celles des scories coulées (54,5 % et 61,3 %). Cette concentration pourrait signer une phase d'activité métallurgique au cours de laquelle la concentration en fer augmente au fond du foyer, soit du fait du procédé physico-chimique lui-même, soit du fait d'apports de fragments métalliques ou bien d'oxydes de fer issus du métal en cours de travail (battitures).

Les teneurs en CaO sont d'un ordre de grandeur nettement plus élevé que celle des minerais précédents (1,6 % à 4,15 %). Le magnésium est également plus présent : 0,8 % à 1,9 % en MgO. C'est également le cas du potassium avec des valeurs en K_2O comprises entre 1,4 % et 2 %. Cet accroissement des valeurs est vraisemblablement à mettre au compte de l'apport en sels minéraux des cendres de charbons de bois (voire, pourquoi pas, également par d'autres matières végétales). La teneur en sodium, par contre, ne subit pas la même évolution. Il y aurait sans doute lieu de s'interroger sur les raisons de cette différence de comportement (constaté également pour les échantillons des sites précédents).

De même que pour le minerai on note des teneurs non négligeables en TiO_2 (0,22 à 0,4 %) et en phosphore : 0,8 % à 1,5 % en P_2O_5. La teneur en manganèse reste faible : 0,17 % et 0,2 % respectivement. Le manganèse est plus constant que dans les minerais examinés (0,4 % à 0,64 %).

Les concentrations en Barium (Ba) sont fortes (709,3 ppm, 506 ppm, 579,5 ppm et 322 ppm). C'est aussi le cas du strontium (Sr) qui se situe entre 158 ppm et 252 ppm, montrant une nette évolution par rapport aux teneurs des minerais précédents. Le chrome (Cr), le vanadium (V), et le zirconium (Zr) sont également très présents dans les scories.

Ceci se traduit par une concentration en éléments traces dans les scories beaucoup plus élevée que ceux rencontrés précédemment : 1305,6 ppm à 2461 ppm, encore que d'un ordre de grandeur nettement plus faible que celui des minerais de couche de la région.

La teneur en arsenic (As) est à nouveau très faible (5,98 ppm) pour l'un des échantillons, en comparaison avec celles citées précédemment pour les scories du site de Trécélien, et en dessous du seuil de détection pour les autres.

La somme des valeurs en terres rares est assez variable et difficile à interpréter.

3. Conclusion

A nouveau il est important de préciser que ces résultats d'analyse doivent être confrontés à un corpus plus étoffé et réexaminés en tenant compte des contextes de découverte. Ces recherches feront l'objet d'un approfondissement et d'une restitution, notamment dans le cadre des thèses qui sont menées (Nicolas Girault et Jean-Bernard Vivet).

Ces premiers éléments d'interprétation montrent néanmoins plusieurs tendances qu'il serait intéressant d'explorer plus avant. Des traitements mathématiques classiques d'analyse des données pourront leur être appliqués. Ces travaux pourront être mis en commun avec ceux issus des recherches poursuivies dans ce domaine par l'U.M.R. 6566 (Cécile Le Carlier).

III.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'opération de prospection thématique a permis de rassembler plusieurs opérations de sondage couvrant les recherches en paléométallurgie du massif de Paimpont, et permettant de reconnaître et caractériser sur le plan typo-chronologique des ateliers appartenant à différentes périodes.

- La fouille du site des Glyorels III complète l'approche des sites à 'zone rouge' qui remontent à priori à La Tène moyenne et dont on recense plus de 150 exemplaires sur le massif de Paimpont. Elle montre en particulier la très grande similitude des appareils de réduction utilisés, qui comportent malgré tout des variations mineures qui pourraient permettre d'affiner les appartenances. Elle indique aussi l'association très probable de plusieurs appareils aux zones rouges de grandes dimensions (de l'ordre de 40 m au moins), alors que celles de dimensions plus modeste (20 m environ) n'accueillent sans doute qu'un seul appareil (cas du site des Glyorels I).

- Le site de La Haute Rivière II, livre des témoins d'une activité paléosidérurgique qui se différencie sur le plan technique par la présence de scories écoulées denses, encore très mal reconnue dans le secteur. L'analyse radiocarbone devrait permettre de préciser sa situation chronologique, qui constitue un élément d'interprétation essentiel.

- Le sondage réalisé sur le site de Péronnette, dont la description fait suite (volume 2) a permis de commencer à reconnaître conjointement l'aspect minier et métallurgique d'un site de la famille des ferriers à scories spongieuses appartenant très vraisemblablement à fin du moyen Age. Sur le plan méthodologique la liaison entre ces deux aspects serait précieuse pour l'interprétation des analyses minéralogiques et chimiques du secteur, telles que celles décrites ici. Plusieurs structures métallurgiques ont été identifiées. D'une manière plus générale la poursuite de ces travaux sur Péronnette contribuerait fortement à éclairer le mode de fonctionnement technique et humain de ces ateliers, souvent cités dans les textes par les historiens, mais jamais vus sur le terrain, en dehors des découvertes récentes et tout à fait inédites de Trécélien et du Vert Pignon.

L'ensemble des données archéologiques dégagées par ces opérations vont pouvoir être reprises et faire l'objet de publications dans le cadre des trois thèses doctorales suivantes :

- Jean-Bernard VIVET : « Les techniques métallurgiques de réduction directe mises en œuvre dans les ateliers de production de fer du centre de la Haute-Bretagne, de la protohistoire au début de l'époque moderne, Centre d'Histoire des Sciences et d'Histoire des Techniques (CH2ST), EA 127, Université de Panthéon-Sorbonne Paris 1,

- Nicolas GIRAULT : " Etude archéologique des déchets de métallurgie des ferriers du massif forestier de Paimpont," Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, équipe d'archéologies environnementales, ArScAn, UMR 7041,
- Jean-Charles OILLIC : "Etude de l'évolution du massif forestier de Paimpont (Ille-et-Vilaine) sous l'impact des activités humaines sur le long terme : inventaire des occupations archéologiques et historiques et enregistrement de la végétation sur les 6 derniers millénaires." , Université de Rennes I, Laboratoire d'Archéométrie, UMR 6566.

Il est également prévu de mettre en relation les aspects très complémentaires ainsi abordés grâce à la constitution d'un P.C.R. intitulé « BRÉCÉLIEN : étude interdisciplinaire d'une forêt mythique », permettant ainsi la mise en œuvre de synergies et la réalisation d'un travail de synthèse efficace.

Par ailleurs une publication sous forme d'un numéro spécial des Dossiers du Ce.R.A.A. (pôle éditorial, St Malo) est en cours de réalisation permettant de faire un premier point sur « Les productions de fer et la forêt avant les Forges de Paimpont (35) : ' 2000 ans de métallurgie' ».

La densité des ateliers paléométallurgiques du massif de Paimpont et du secteur Haute-Bretagne en général, dont la découverte et l'enregistrement sont sans cesse croissants, montre le vaste potentiel existant encore dans le domaine de l'identification et de la protection de ces sites, bien souvent menacés, témoins essentiels de l'histoire des techniques des mines et métallurgies du fer.

Bibliographie

BRULE-GARÇON Anne-Françoise, LARCHER Guy, ANDRIEUX Jean-Yves, COIGNARD Joël, FONTUGNE Michel, HERBAUT Claudie, LOYER Stéphane, MOINERAIS Marc, PLAINE Jean, 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, 1993, p. 101-114.

GARÇON A.-F. , ARANDA R., CHAUVEL J.-J., COLLIOU C., DILLMANN Ph., GIRAULT N., PELLEQUER S., PLOQUIN A. et VIVET J.-B., 2007, Vents et fours. Du minerai à l'objet. (Recherches sur la ventilation naturelle en paléométallurgie du fer), Programme Collectif de Recherche, dir. A.-F. GARÇON, rapport final, année 2006, S.R.A. Bretagne.

GIRAULT Nicolas, 2005, - Paléométallurgie du fer en forêt de Paimpont : le site de Trécélien, mémoire de D.E.A. d'archéologie des périodes historiques (sous la direction de Paul Benoît), Université Paris I –Panthéon-Sorbonne U.F.R. 03, 100 p.

LARCHER Guy, 1994, La zone sidérurgique de la forêt de Paimpont (Ille-et-Vilaine)-bilan diachronique. Colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, La Sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte Européen, sous la direction de Michel Mangin, Annales littéraires de l'Université de Besançon, 536 Série Archéologie, 40, p. 113-120.

SERNEELS Vincent, 1993, - Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale, Cahiers d'Archéologie romande N°61, collection créée par Colin Martin, 241 p.

VIVET J-B, 1997 - Paléométallurgie 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**, p.57-90.

VIVET J-B, 2001, - Le Rocher Abraham, St Pierre de Plesguen (35): un témoin essentiel de l'activité sidérurgique gauloise du Nord de la Haute-Bretagne, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, **29**, p. 79-94.
VIVET J-B., CHAUVEL J-J., NICOLLIN F., 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**, p. 77-99.

VIVET J-B., 2002, - Trécélien en Paimpont (35) : métallurgie de réduction directe du minerai de fer en forêt de Brécélien, au XIV-XVIe siècle, rapport n°1 de prospection thématique 2002, Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes.

VIVET J-B., 2003 - Trécélien en Paimpont (35) : métallurgie de réduction directe du minerai de fer en forêt de Brécélien, au XIV-XVIe siècle, rapport de prospection thématique 2003, Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes.

VIVET J-B., 2004 – Paléosidérurgie diachronique du Massif de Paimpont (35) – Le Vert Pignon III : découverte de fours métallurgiques en activité autour du XVe siècle, Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes.

VIVET J.-B., 2004, - PAIMPONT (Ille et Vilaine), le ferrier de Trécélien, *Archéologie Médiévale.*

VIVET J.-B., 2004, Paléosidérurgie diachronique du massif de Paimpont (35) – Le Vert Pignon III : découverte de fours métallurgiques en activité autour du XVe siècle, rapport d'opération de prospection thématique 2004, Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes.

VIVET J.-B., 2005, Le Vert Pignon III en Paimpont (35) – témoin inédit de l'activité de réduction directe autour de XVème siècle au cœur d'un ferrier, rapport d'opération de prospection thématique 2005, Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes.

VIVET J.-B., 2006 – Le Bois Jacob en Paimpont (35) : activité minière et réduction directe à partir du 1er âge du Fer ; Les Glyorels I et II en Paimpont : ateliers et bas fourneaux du second âge du Fer, Paléométallurgie du fer en Haute-Bretagne, rapport d'opération de prospection thématique, Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes.

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* L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal, actes du XXVIIIe colloque de l'A.F.E.A.F., Toulouse 20-23 mai 2004, Aquitania, *suppl.14/2*, éd. Ausonius, p 63-84.

VIVET J-B, 2008, - Pilleverte II, en Plesder (35) : un atelier armoricain de production massive de fer au haut-empire, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 36, p. 73-102.