

- OPERATION DE FOUILLE PROGRAMMÉE -

LE BOIS JACOB EN PAIMPONT (35) :

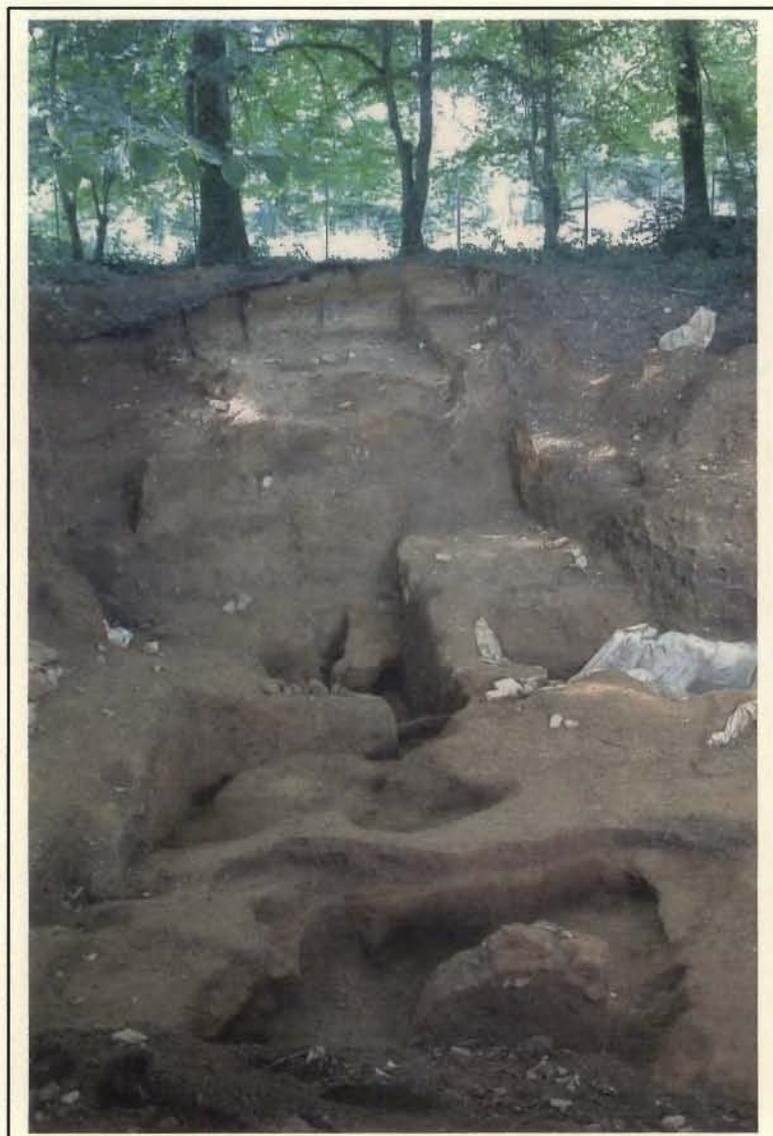
ACTIVITE MINIERE
ET METALLURGIE DE REDUCTION DIRECTE

DRAC-SRA

I^{ER} AGE DU FER – EPOQUE MODERNE

- 8 AVR. 2009

COURRIER ARRIVEE



Responsable d'opération : Jean-Bernard VIVET

D.R.A.C. Bretagne - Service Régional de l'Archéologie
SIVU "Forges et métallurgie en Brocéliande"
(Paimpont/Plélan-le-Grand)

U.M.R. 6566 – Université Rennes I
Centre Régional d'Archéologie d'Alet (Ce.R.A.A.).

2431

OPERATION DE FOUILLE PROGRAMMÉE

- ACTIVITÉ MINIÈRE ET RÉDUCTION DIRECTE AU 1^{ER} AGE DU FER -

PROGRAMME 2006-18 : APPROFONDISSEMENT DES CHRONOLOGIES

2008

LE BOIS JACOB EN PAIMPONT (35) :

**ACTIVITE MINIÈRE
ET METALLURGIE DE REDUCTION DIRECTE**

I^{ER} AGE DU FER – EPOQUE MODERNE

Responsable d'opération : Jean-Bernard VIVET

**D.R.A.C. Bretagne - Service Régional de l'Archéologie
SIVU "Forges et métallurgie en Brocéliande"
(Paimpont/Plélan-le-Grand)
U.M.R. 6566 – Université Rennes I
Centre Régional d'Archéologie d'Alet (Ce.R.A.A.).**

Je remercie le ministère de la Culture (D.R.A.C. Bretagne, Service Régional de l'Archéologie), pour le financement principal de cette opération de fouille archéologique programmée.

Je suis de même reconnaissant au S.I.V.U. "Forges et métallurgie en Brocéliande" pour l'aide financière accordée à cette opération située sur le territoire du massif de Paimpont / Plélan-le-Grand.

J'adresse tous mes remerciements à Monsieur BRICON, Maire de Paimpont, au conseil municipal et au personnel de la mairie, pour l'autorisation accordée à la fouille du Bois Jacob, l'aide aux travaux de terrassement et l'accès à la cantine municipale. De même, je félicite sincèrement toute l'équipe du Foyer Logement Résidence Brocéliande, pour la qualité des repas et l'accueil qui nous a été réservé.

Je tiens à remercier vivement Monsieur Rémy ROUX, propriétaire des parcelles jouxtant au nord et à l'est la partie communale du Bois Jacob, pour son aimable autorisation, de même que pour les informations et documents communiqués (relevés topographiques).

Merci à Florence NICOLLIN, et à l'équipe de Géosciences (Université de Rennes I) pour les mesures magnétométriques réalisées avec les étudiants sur le site du Bois Jacob.

Je souhaite souligner le soutien logistique efficace et indispensable du Centre Régional d'Archéologie d'Alet (Ce.R.A.A., St Malo), qui permet à l'opération de se réaliser dans les meilleures conditions.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes qui ont participé bénévolement, et avec dynamisme, à cette opération ; qu'ils soient tous ici remerciés pour leur investissement et leur concours à tous les niveaux et associés à la réussite de ces travaux :

Xavier BACHETER
Philippe BARDY
Jean BOUCARD
Marie BRUNET
Oregon 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

Merci en particulier à Guy LARCHER, Jean BOUCARD, Marie-José LE GARREC, Xavier BACHETER et Jean-Charles OILLIC pour leur investissement permanent et leur contribution active à l'organisation matérielle et relationnelle. Merci à Maëva LAVOUÉ pour son aide aux travaux de post-fouille.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	P. 3
1. Présentation du site et rappel des résultats antérieurs	p. 5
2. Problématiques liées au travail minier	p. 6
3. Problématiques métallurgiques	p. 8
II. EMPRISE DU SITE ET IMPLANTATION DES SONDAGES	p. 10
1. Relevé géophysique de la partie nord du site	p. 11
2. Observation au sol de la partie est du site	p. 13
3. Implantation des sondages	p. 14
III. SONDAGES DE LA ZONE CENTRALE	p. 17
1. Sondage S120	p. 18
2. Coupe S120-S121	p. 26
3. Sondage S121	p. 30
4. Sondage S122	p. 34
IV. SONDAGES DE LA ZONE OUEST	P. 48
1. Sondage S200	p. 49
2. Sondage S300	p. 53
V. ANALYSES	p. 59
1. Analyses chimiques	p. 59
2. Analyses radiocarbone	p. 64
VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	p. 78
BIBLIOGRAPHIE	p. 91

I.

INTRODUCTION

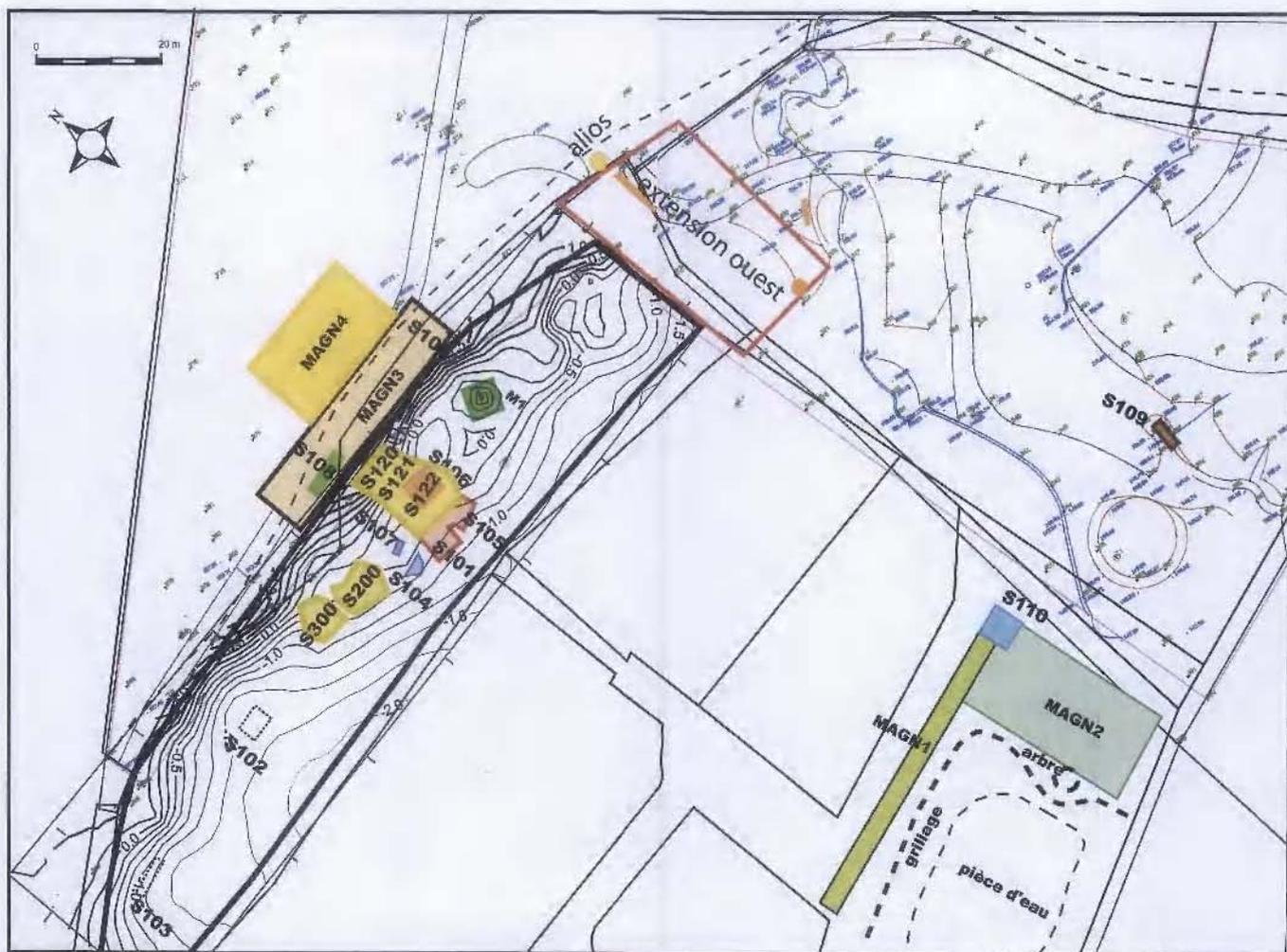


Fig. 1 : implantation des sondages et des zones de relevés géophysique ; les opérations 2008 sont en jaune



Fig.2 : Vue aérienne et localisation du site du Bois Jacob-Lotissement du roi Arthur (encadré orange).

1. PRESENTATION DU SITE ET RAPPEL DES RESULTATS ANTERIEURS

Le site du bois Jacob tire son nom de l'appellation cadastrale de la parcelle 525 allongée correspondant essentiellement à un terrain communal boisé situé sur le coteau, en amont du lieu-dit Jacob des cartes (fig.1-2). Son emprise est susceptible de comprendre les parcelles qui jouxtent cette dernière vers le nord et vers l'est, et très probablement celles du lotissement du Roi Arthur, récemment construit et qui est à l'origine de sa découverte, par le biais d'une vingtaine de scories piégées très denses en forme de culots pseudo cylindriques, souvent de dimensions assez réduites, et que l'on pensait pouvoir être précoces.

Le sondage de 2006 et la fouille programmée de 2007 sont venus confirmer l'existence sur place d'une métallurgie de réduction directe protohistorique, remontant au Hallstatt ou au début de La Tène ancienne. Pour faciliter les descriptions qui vont suivre, cette première période d'activité sera dénommée « période 1 ». La chronologie est attestée par deux datations C14 concordantes réalisées à partir de charbons de bois prisonniers de deux de ces culots (datations calibrées : 750 à 410 av. J-C. et 760 à 520 av. J-C).

L'opération de 2007 a en outre révélé l'existence d'une extraction minière de grande ampleur que l'on soupçonnait suite aux relevés topographiques de 2006, sur lesquels apparaissent un décaissement du rebord de coteau d'environ deux mètres de hauteur sur une longueur dépassant 100 m. Les travaux miniers ne sont pas encore formellement datés. Il s'agit, en tout état de cause, de la première mine de fer très ancienne ou antique reconnue en Bretagne. Elle livre à de nombreuses reprises les traces des coups d'outils des mineurs (du type pic).

Les niveaux d'extraction minière ont été reconnus uniquement sur l'emprise de deux sondages adjacents d'environ 6 x 6 m environ, au 2/3 est du coteau qu'ils entament. Pour comprendre l'ampleur de ces travaux miniers, il est nécessaire d'observer sur d'autres secteurs comment se présente le gîte ferrifère accessible, et tenter d'apprécier l'importance des prélèvements de minerai de fer réalisés par l'homme, en identifiant si possible des fronts de taille. Par ailleurs il s'agit d'identifier les techniques minières utilisées aux différentes périodes représentées. Compte tenu du caractère exceptionnel de ces témoins, il est important de tenter de vérifier l'appartenance ou non de ces extractions minières au 1^{er} âge du Fer / début de La Tène ancienne.

2. PROBLEMATIQUES LIEES AU TRAVAIL MINIER

2.1 Exploitation du gîte ferrifère et datation

Le substrat ferrugineux mis en évidence l'an dernier montre partout des marques de creusement. On peut penser que ces témoins de gîte ferrifères ne constituaient à l'origine qu'un seul et même massif, dont ne subsistent aujourd'hui que des reliquats, aux emplacements laissés par les mineurs. Son exploitation est maintenant bien attestée. L'aspect originel du gîte ferrifère reste difficile à apprécier (sa puissance notamment et la nature des concentrations de minerai les plus riches). L'attribution chronologique de ces travaux minier est également à préciser. Une série de 5 autres datations radiocarbone de charbons de bois présents en différents points et à différentes hauteurs dans les remblais a été lancée pour tenter d'appréhender ce point essentiel. Les résultats de ces datations C14 sont repris infra.

2.2 Mode d'exploitation

Les observations faites au cours de ces deux années soulèvent la question du mode d'exploitation employé par les mineurs.

A ce jour, on recense quatre types de travaux bien identifiés ou seulement possibles, qui peuvent s'étaler entre le Hallstatt et l'époque contemporaine.

Type 1 : Exploitation à ciel ouvert se traduisant actuellement par un décaissement général du flanc de coteau. Sa datation n'est pas actuellement assurée, mais la présence de mobilier céramique d'aspect plus récent (pâte claire, tournée notamment) montre que certains comblements qui lui sont associés appartiennent à une seconde période d'activité, qui sera dénommée ici « période 2 ». A la surface de ces remblais on a trouvé (sondage S106) dans l'une des zones rubéfiées mises au jour, des tessons de poterie qui pourraient appartenir au moyen Age. La pâte et l'aspect sont assez proches de ceux des céramiques mis au jour au sein des ferriers datés du XIV^{ème} siècle.

En toute rigueur, il n'est pas impossible qu'une exploitation à ciel ouvert ait aussi eu lieu au cours de la période 1. Mais, dans ce cas, les travaux de minier de la période 2, vraisemblablement plus extensifs, ont très bien pu démanteler les témoins des travaux antérieurs de ce type, ou bien encore ceux-ci peuvent se situer plus au sud, auxquels cas on ne serait pas en mesure de prouver leur existence.

Type 2 et type 3 : Au fond des sondages archéologiques, les creusements mis au jour dans le substrat ferrugineux prennent l'allure d'excavations aux formes arrondies et de dimensions assez réduites, de 50 cm à 1 m de hauteur environ, actuellement non datées, pouvant traduire une poursuite de l'excavation à ciel ouvert en trous d'homme individuels (type 2) de la période 2 ou bien indiquant l'existence de puits, chambres et/ou galeries (type 3), qui auraient été arasés par les travaux de type 1 de la période 2.

Type 4 : Trois creusements en forme en entonnoir apparaissent au niveau de la surface actuelle à l'extrémité est du site. Le sondage réalisé sur l'un d'entre eux (M1) en 2006 et 2007, a montré l'existence d'un puits presque vertical pratiqué dans les volumineux remblais de rejets 'stériles' dont la partie inférieure, aveugle, s'arrêtait au niveau du substrat. Ce dernier ne laissait apparaître qu'un faible témoin de gîte ferrifère (3 cm d'épaisseur). Il s'agit selon toute vraisemblance d'un puits de recherche de minerai (type 4).

Ainsi que l'indique la datation radiocarbone réalisée sur des charbons appartenant aux derniers niveaux de comblement, celui-ci remonte seulement à la deuxième moitié du 17^{ème} siècle (période 3).

L'emprise assez faible des sondages de 2006 et 2007 ne permet pas de reconnaître formellement les liens fonctionnels entre ces structures ('puits d'accès', 'chambre' ou 'galerie'). En l'état actuel de la fouille, on n'observe seulement l'existence bien nette d'un départ de 'galerie' ou 'chambre' dans l'angle NW du sondage S106, connecté à un espace circulaire comportant de nombreuses traces d'outils pouvant faire office de fond de 'puits'.

La profondeur maximale atteinte par ces excavations, telles qu'elles nous apparaissent aujourd'hui, semble modeste. Elle se situe seulement entre 1,50 m et 2,50 m par rapport au niveau d'humus actuel. Les sondages réalisés dans le bois communal, témoignent tous d'un décapage intégral des niveaux de sols recouvrant le banc ferrugineux. Ces observations, de même que le relevé topographique général du site, montrant une brusque rupture de pente sur 100 m de longueur et 30 m en largeur, conduisent à penser qu'un décaissement général du rebord supérieur du coteau a eu lieu au cours d'une seconde phase d'activité du site. Dans ce cas de figure, la profondeur maximale des creusements initiaux pourrait en théorie se situer entre 3 m et 4,50 m, valeurs plus cohérentes avec une exploitation souterraine avec puits.

Suite à l'extrême bouleversement du terrain constaté, lié aux actions de rebouchage apparemment opportunistes résultant de la conduite des travaux d'extraction et de recherche minières des périodes 2 et 3, la distinction entre véritable travail à ciel ouvert et travail en fosse n'est pas toujours aisée. Il n'est pas impossible que les techniques employées aient pu faire appel successivement aux deux modes d'extraction, aux mêmes périodes ou à des époques différentes.

La reconstitution du phasage du site est donc une question difficile, qui demande à être précisée, notamment en poursuivant les sondages selon l'axe nord-sud, vers l'amont, afin de rejoindre le substrat naturel non ferrifère attesté dans le sondage S108. Ceci peut se faire au niveau de la bande de terrain étroite située immédiatement au dessus du sondage S106 (la seule apparemment encore en place), en bordure nord de la parcelle communale.

3. PROBLEMATIQUES METALLURGIQUES

Les remblais miniers livrent régulièrement des culots de bas fourneaux à scorie piégée bien conservés attribuables au Hallstatt. Ceci indique que, dans les zones explorées, l'extraction minière ancienne ou antique est venue bouleverser les sols d'activité métallurgique appartenant à cette période. Les ateliers de réduction du minerai de fer appartenant à cette période qui ont pu être fouillés s'avèrent extrêmement rares. Par suite, il est essentiel de vérifier s'il subsiste ou non dans certains secteurs, des bas fourneaux en position primaire pouvant rendre compte de cette activité sidérurgique précoce.

L'analyse minéralogique et chimique des minerais et scories permettrait quant à elle, de rendre compte de la qualité du minerai disponible sur place, et comprendre, dans le cadre des chaînes opératoires, les choix qui ont déterminés les extractions minières, en liaison avec les techniques métallurgiques employées.

La question de la datation des travaux miniers, voire de leur phasage, en particulier par rapport aux témoins d'activité métallurgique du Hallstatt, fait partie des problématiques essentielles à résoudre.

L'exploration des axes longitudinaux (parallèle au rebord du coteau) et transversaux (fil de la pente), de même que celle du plateau supérieur doit en outre être poursuivie afin d'appréhender l'ampleur de ces activités minières et métallurgiques.

Le site du Bois Jacob se prête d'ores et déjà à une comparaison fructueuse à la fois sur l'aspect minier et sur la métallurgie précoce, avec le site des Petites Rouilles en La Bazoge (72). La fouille programmée de 2008 vise à consolider ces données préliminaires et contribuer de façon essentielle à la compréhension des techniques d'extraction minière très anciennes et des tout premiers procédés de production du fer protohistorique.

II.

EMPRISE DU SITE

ET

IMPLANTATION DES SONDAGES

1. RELEVÉ GEOPHYSIQUE DE LA PARTIE NORD DU SITE

Afin d'obtenir des informations sur la possibilité d'existence de niveaux d'activité métallurgique qui pourraient avoir subsisté dans des secteurs non encore explorés et tenter d'appréhender le site du Bois Jacob dans sa globalité, un relevé d'anomalies du champ magnétique terrestre, a été réalisé au magnétomètre à protons en avril 2008 par une équipe d'étudiants sous la direction Florence NICOLLIN (Géosciences, Université de Rennes I). Il vient compléter les relevés réalisés en 2006 et 2007

L'appareil utilisé est un magnétomètre à protons GSM-19.

Sachant que toutes les scories de fond de four piégées ont été découvertes en 2006 et 2007 en position secondaire dans les remblais miniers, il s'agissait de vérifier la possibilité d'existence de fours encore en place dans la seule zone non bouleversée située à proximité immédiate des vestiges d'activité métallurgique et minière, sur le rebord supérieur du coteau. Ce dernier se poursuit en plateau sur la propriété de Monsieur Roux puis sur l'emprise du foyer logement.

La vérification a porté sur la parcelle en prairie n° 526 de Monsieur Rémy ROUX (zone magn.4, fig.1).

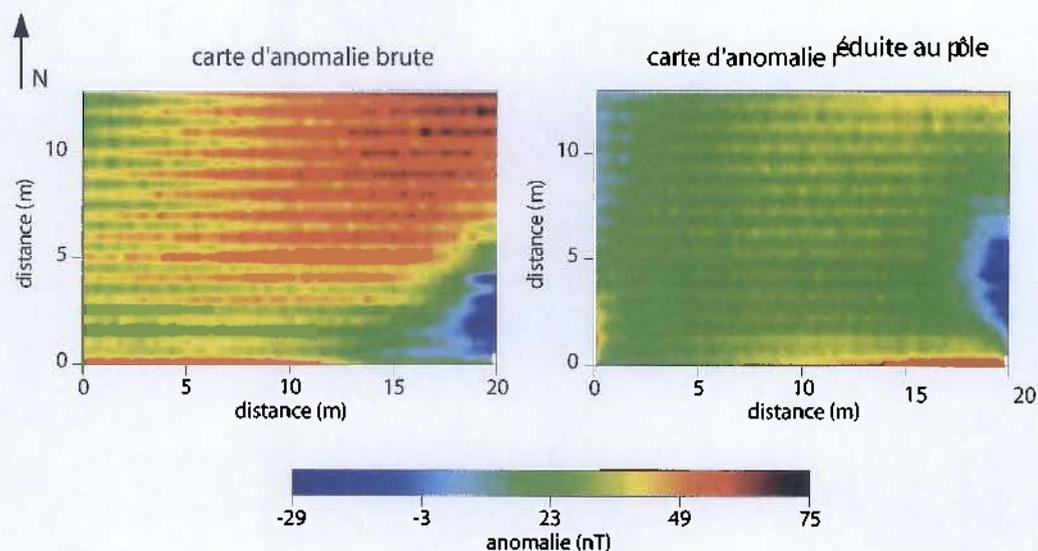
La carte de mesures dressée par l'équipe d'étudiants est reportée en fig.3. On constate qu'elle ne comporte pas d'anomalie magnétique remarquable dans la zone considérée.

De même les travaux de terrassement effectués par Monsieur ROUX au nord-est de la zone de prospection magnétique n'ont livré aucun indice d'activité métallurgique (en particulier aucune scorie). Les sols ne présentent pas l'aspect caractéristique orangé des remblais miniers observés lors des campagnes de fouilles 2006 et 2007 en contrebas.

Légèrement plus au sud le dessouchage d'un arbre a révélé l'existence d'une petite formation ferrugineuse massif et compacte qui a pu être identifiée comme étant un alios (fig.1). On sait que ces blocs sont trop pauvres en fer pour être exploités comme minerai (Vivet et Chauvel, 1999). Par contre ils peuvent être l'indice d'un gîte ferrifère proche, dont les éléments ferrugineux sont susceptibles de fournir, par dissolution, les oxydes de fer accompagnant la précipitation de la silice, essentiellement présente dans l'alios.

Fig. 3 : Le Bois-Jacob, parcelle de Mr Roux - avril 2008

Levé magnétique selon des profils dans la direction E-W, espacés de 0,5 m dans la direction N-S :
 (l'angle SE du levé est situé 56 m au Nord et 2 m à l'Ouest du coin Est au bas des escaliers menant au lotissement)



coloration du sédiment	texture - homogénéité	mobilier
ocre-orange	banc ferrugineux en place	tesson
ocre	paroi subverticale taillée dans le banc	charbon isolé
marron-orange	sol en fond de remblai, base ferrugineuse	bloc de grès
orange teinté (remblai)	sédiment beige-jaunâtre (fond de creusement)	galet de grès
blanchâtre-clair	couche de remblai vidée à la fouille-contact avec fond des excavations	bloc de minerai
jaunâtre	très dur, compact, à pisolites et charbons de bois	scorie
gris-cendreux	extrêmement granuleux sableux et homogène	paroi de four non vitrifiée et vitrifiée
sédiment à petits charbons de bois	argile plastique	front de taille du banc
substrat limoneux blanc	hétérogène avec pierres	trace d'outil
humus	granuleux fin	test tarière
grisâtre	limon humique	limite de fouille, axe de coupe
marron clair		

Fig. 4 : légende des plans et des coupes

2. OBSERVATION AU SOL DE LA PARTIE EST DU SITE

A une quinzaine de mètres au sud de la formation géologique précédente, en lisière de bois, les remblais de la tranchée réalisée pour la pose d'une canalisation montrent des traces de sédiments meubles orange et livrent des blocs de minerai pisolitique.

Cette découverte témoigne d'un prolongement du site minier dans cette direction.

Une exploration plus poussée du sous-bois a permis de trouver d'autres indices non perçus précédemment de l'activité minière dans la partie ouest du talweg, située dans l'axe de la parcelle communale fouillée. On identifie en effet dans la partie haute du vallon un monticule important, présentant à nouveau, en deux endroits, cet aspect orangé peu tassé. L'un des témoins concernait le flanc est de cet amas de remblais probable, en bordure du chemin aménagé dans le bois, et l'autre est situé au sud de celui-ci dans sa partie basse, où l'observation nous est fournie par les rejets d'animaux fouisseurs en bordure de terrier (fig.1).

L'emprise du site minier peut raisonnablement être étendue à cette zone supérieure du vallon, selon une bande N-S de 35 m de long, et 25 m de large, ce qui conduit à un prolongement du site de cette même valeur vers l'est. Les travaux miniers occupent donc toute la parcelle communale boisée et paraissent s'étendre même au-delà, ce qui se traduit par une zone d'activité minimale de 125 m de long pour 30 m de large environ. Du fait de la construction du lotissement du roi Arthur sous-jacent, cette dernière dimension (selon l'axe sud-nord) n'est pas connue. Il est probable que les travaux miniers et métallurgiques aient pu se poursuivre dans la pente du coteau sur une largeur sans doute équivalente. Les coupes stratigraphiques observées lors des terrassements pour fondation des maisons laissent apparaître des niveaux orangés très volumineux surmontant une couche minéralisée ferrugineuse. Cette dernière se termine par une phase d'argile plus verdâtre de nature semblable à celle reconnue dans les sondages S101, S200 et S300 décrits ci-après. Les terres de ces terrassements ont fourni une trentaine de culots de scories piégées, dont les exemplaires les plus intéressants ont été décrits dans le rapport précédent.

3. IMPLANTATION DES SONDAGES

Les sondages de l'opération 2008 se répartissent en deux zones essentielles (fig. 5, photos 1 et 2) appartenant au secteur principal exploré au cours des deux années précédentes.

La première, dénommée zone centrale regroupe une série de sondages S120 à S122, qui recourent partiellement et prolongent vers le nord les sondages S101, S105 et S106 de 2006 et 2007, selon la stratégie proposée dans l'introduction du présent rapport.

La seconde, dénommée zone ouest compte les sondages S200 et S300 ouverts dans cette partie encore peu explorée du site, se trouvant dans le prolongement ouest des sondages S104, S106 et S107 de 2007.

Bien entendu l'emprise de ces sondages est fortement contrainte par l'environnement boisé, ces derniers s'inscrivent pour bonne part dans l'espace disponible entre les arbres du Bois Jacob.

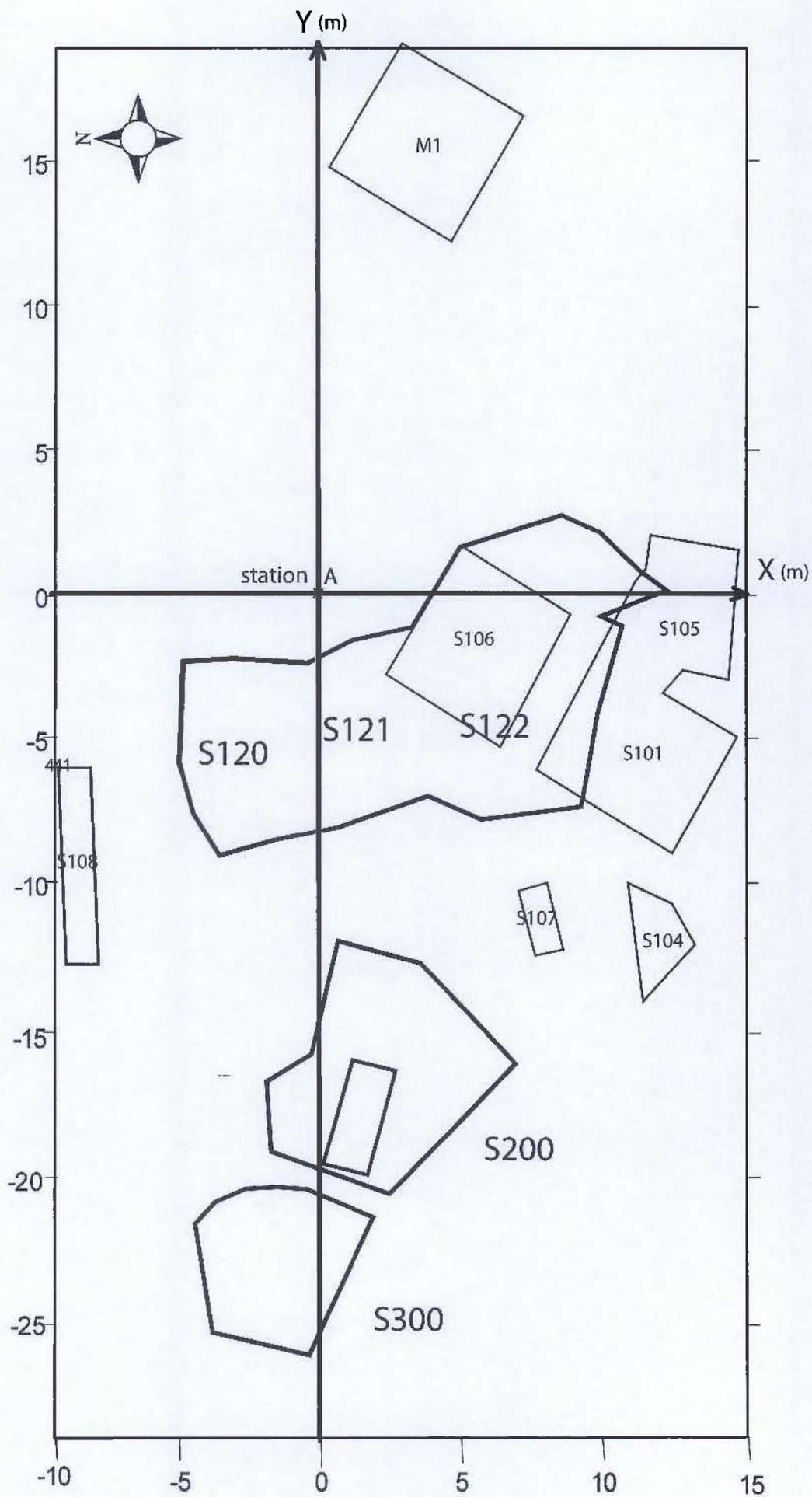


Fig. 5 : Implantation des sondages 2008 dans le secteur de fouilles principal (en gras) et des sondages 2006 et 2007 (en trait fin).



Photo 1 : Le Bois Jacob, zone centrale. Vue générale des sondages S120, S121, S122.



Photo 2 : Le Bois Jacob, zone ouest. Vue générale des sondages S200 et S300.

III.

SONDAGES DE LA ZONE CENTRALE

La description des sondages qui suit reprend l'axe N-S du site (du nord vers le sud).

1. SONDAGE S120

Ce sondage correspond à l'extension vers le nord des sondages S101 et S106 explorés en 2006 et 2007 (photo 3). L'objectif est double : il s'agit d'une part de reconnaître la façon dont le coteau a été entamé selon l'axe nord-sud de la pente, et de tenter de trouver un bas fourneau en position primaire dans l'un des rares emplacements où il aurait pu subsister, sur cette petite plate-forme située au niveau même de la rupture de pente du plateau.

1.1 Secteurs principaux

La fouille a permis de distinguer les quatre secteurs remarquables suivants (fig. 6, photo 4) :

- le quart N-E du sondage laisse apparaître sous plusieurs couches, décrites ci-après, le substrat naturel blanc.
- Les niveaux supérieurs du flanc E révèlent une couche de sédiments rubéfiée.
- La frange S du sondage est constituée de sédiments gris, marron, ou sombres, hétérogènes, très anthropisés.
- La moitié N-O restante du sondage livre un sédiment moins hétérogène orangé à gris.

Au centre du sondage, le substrat blanc du premier secteur présente des tâches d'oxydation ocre à rouge-orangé, indiquant une phase d'exposition à l'air du sédiment. On se situe au point de rupture de pente le plus prononcé, pour lequel les niveaux supérieurs sont les plus fins. La couche d'argile blanche en question, ponctuée de tâches d'oxydes, s'est en partie déversée sur ce dernier secteur, par effet de solifluxion naturelle ou résulte d'un piétinement dans une zone de passage. Un 'amas' de pierres quasiment jointives (grès anguleux) s'y trouve noyé de manière compacte, ce qui pourrait suggérer une éventuelle organisation (photo 6). Celle-ci ne s'est pas vue confirmée sur les 30 premiers centimètres qui ont été dégagés. A l'ouest de cette concentration le sédiment est très différent. Il présente un aspect beaucoup plus meuble, marron, et ne comporte que peu de pierres en comparaison.

1.2 Rebord est – mobilier céramique

Le décapage au tracto-pelle laisse apparaître directement sous la couche d'humus une couche de remblai ocre-orange, qui recouvre un niveau meuble et sombre dans lequel s'insère une poche de sédiment rouge, présentant également un aspect charbonneux (fig. 6, photo 5). Ce secteur a donc été préservé pour



Photo 3 : sondage S120 et coupe S120/S121



Photo 4 : sondage S120



Photo 5 et 6 : banquette est avec sédiment carmin (au-dessus) et dégagement dans l'axe E-F (en dessous).



Photo 7 : frange sud-est du sondage : interruption brusque du substrat blanc vers le sud.

Fig. 6 : sondage S120 - coupe AB

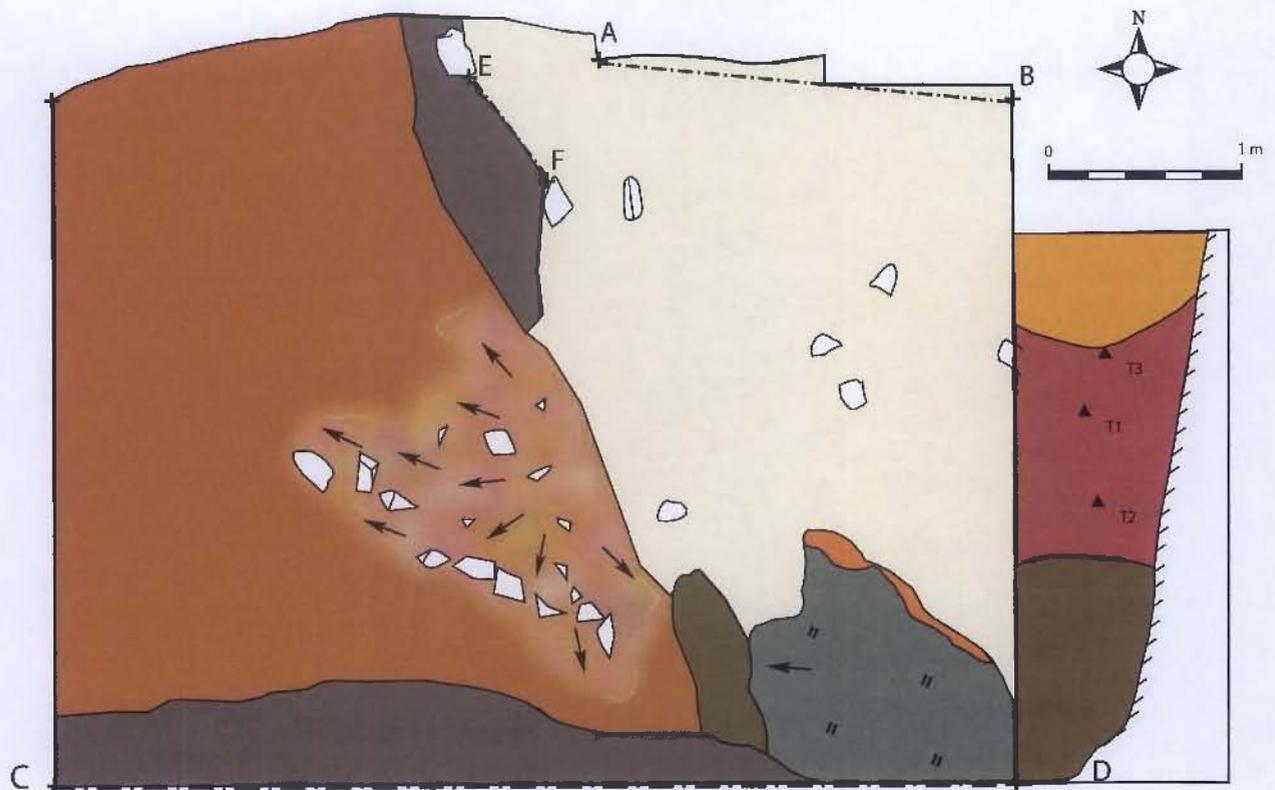
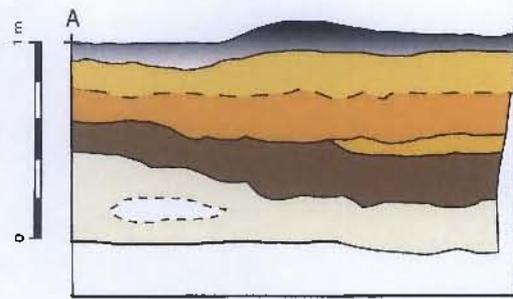


Fig. 7 : sondage S120. Dévers du plateau, front de taille et banquette est.

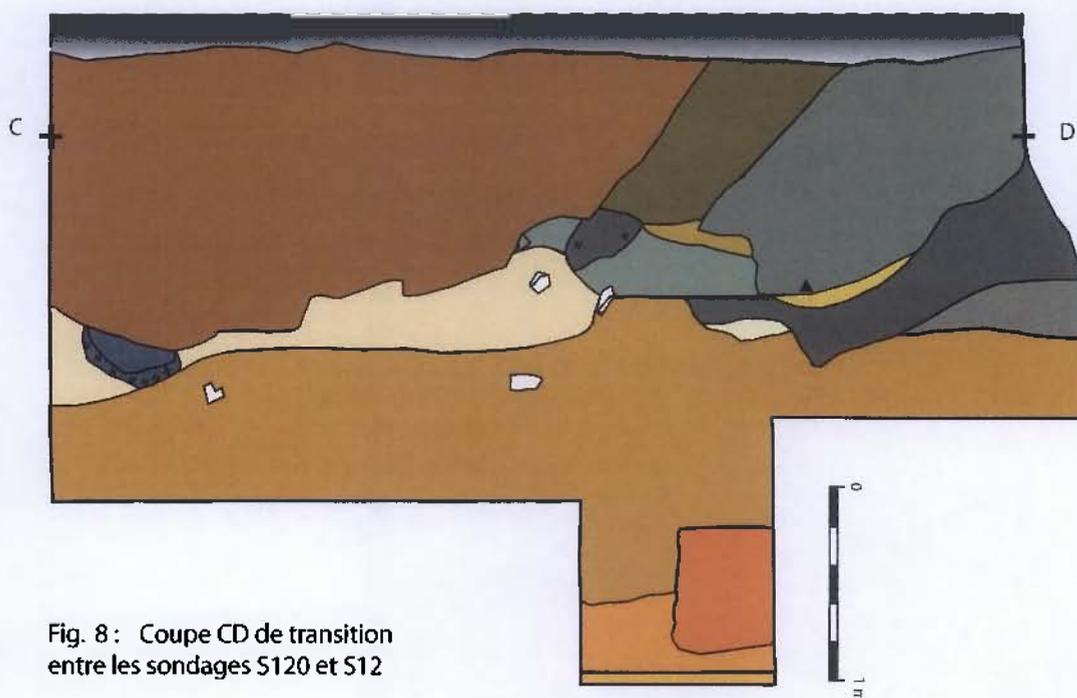


Fig. 8 : Coupe CD de transition entre les sondages S120 et S12

une fouille plus fine. Cette structure rouge carmin livre 4 tessons de céramique. Un fond de pot épais a été trouvé lors du décapage au tractopelle. Un second fond du même type a été découvert une semaine plus tard en fouille manuelle (élément T1 sur la fig. 7). Leur profil, leur diamètre, et leur pâte, montre qu'ils appartiennent à la même poterie (fig. 9, n°1). Les tessons T2 et T3 de la figure 4 remontent entre eux et paraissent bien venir également de ce même pot. Les quatre éléments sont manifestement tournés. Ils présentent une surface externe marron-orangée, et une face interne gris-beige légèrement craquelée. La pâte, moyennement cuite, contient comme dégraissant des quartz anguleux, petits à moyens, laiteux et gris, qu'accompagnent quelques rares micas (muscovite).

Hormis l'allure du fond, le profil du pot n'est pas connu. L'identification reste difficile. On peut juste avancer que la forme de cuisson et la pâte rappellent assez celle des céramiques mises au jour dans les ferriers du moyen Age lors des campagnes de fouilles précédentes sur le massif de Paimpont. L'argile qui a servi à leur confection ne comporte cependant pas de spicules, contrairement à ces dernières.

Leur position stratigraphique, sous la couche de remblai orangé, indique clairement qu'ils sont antérieurs à la phase d'abandon du site, et qu'on peut les rattacher aux travaux miniers et/ou à l'activité métallurgique mise au jour dans ce sondage (voir plus loin).

Du mobilier à caractère métallurgique accompagnait ces éléments céramiques :

- Deux fragments de minerai oolithique de 3 cm de longueur, non attirables à l'aimant, dont l'aspect très rouge provient de l'hématite, sans doute apparue suite au contact d'un feu (l'un d'eux retient encore un petit charbon de bois à sa surface).
- un bloc de minerai oolithique ocre-brun à reflets rougeâtre (longueur 5 cm) est attirable à l'aimant. Cette propriété résulte là encore d'une chauffe du bloc, ayant généré un peu de magnétite.
- une scorie (ou paroi très scoriacée) comportant des bulles dans sa matrice (7 x 6 x 4 cm), attirable à l'aimant.

Ce type de mobilier n'est pas assez abondant pour justifier l'existence d'une opération métallurgique spécifique dans la structure rouge elle-même, qui peut être interprétée, en l'état, comme un rejet secondaire de la chaîne de réduction.

1.3 Coupe extrême nord AB

Le substrat limoneux blanc - jaune pâle apparaît entre 60 et 85 cm (angle N-E) de profondeur sous le sol actuel du haut de coteau. (coupe AB, fig. 6). Il est recouvert par une couche gris marron sombre de nature réductrice vraisemblablement liée à un niveau de sol humique ancien. Il s'agit soit du sol naturel d'origine recouvrant l'argile du substrat, soit d'un sol formé lors d'une phase d'abandon du site. A ce niveau du coteau, le substrat n'est pas oxydé et n'est apparemment pas touché par des travaux de creusement. La première hypothèse semble donc recevable.

Ce substrat argileux presque blanc n'est plus qu'à 35 cm de profondeur dans l'angle SE, compte tenu de la pente très marquée à cet endroit (photo 4 et 5).

Le niveau humique ancien est recouvert par un sédiment meuble orangé semblable aux remblais miniers mis au jour sur l'ensemble du site. Il s'agit donc de haldes provenant vraisemblablement d'extractions de minerai proches, si l'on considère qu'il est assez pénible de renvoyer les déchets vers le haut, surtout dans ce secteur de très grande déclivité. Vers le haut la teinte de ce sédiment tend à se modifier quelque peu du fait de la pédogenèse du sol liée à la transition avec le niveau humique noir sus-jacent.

Fig.9

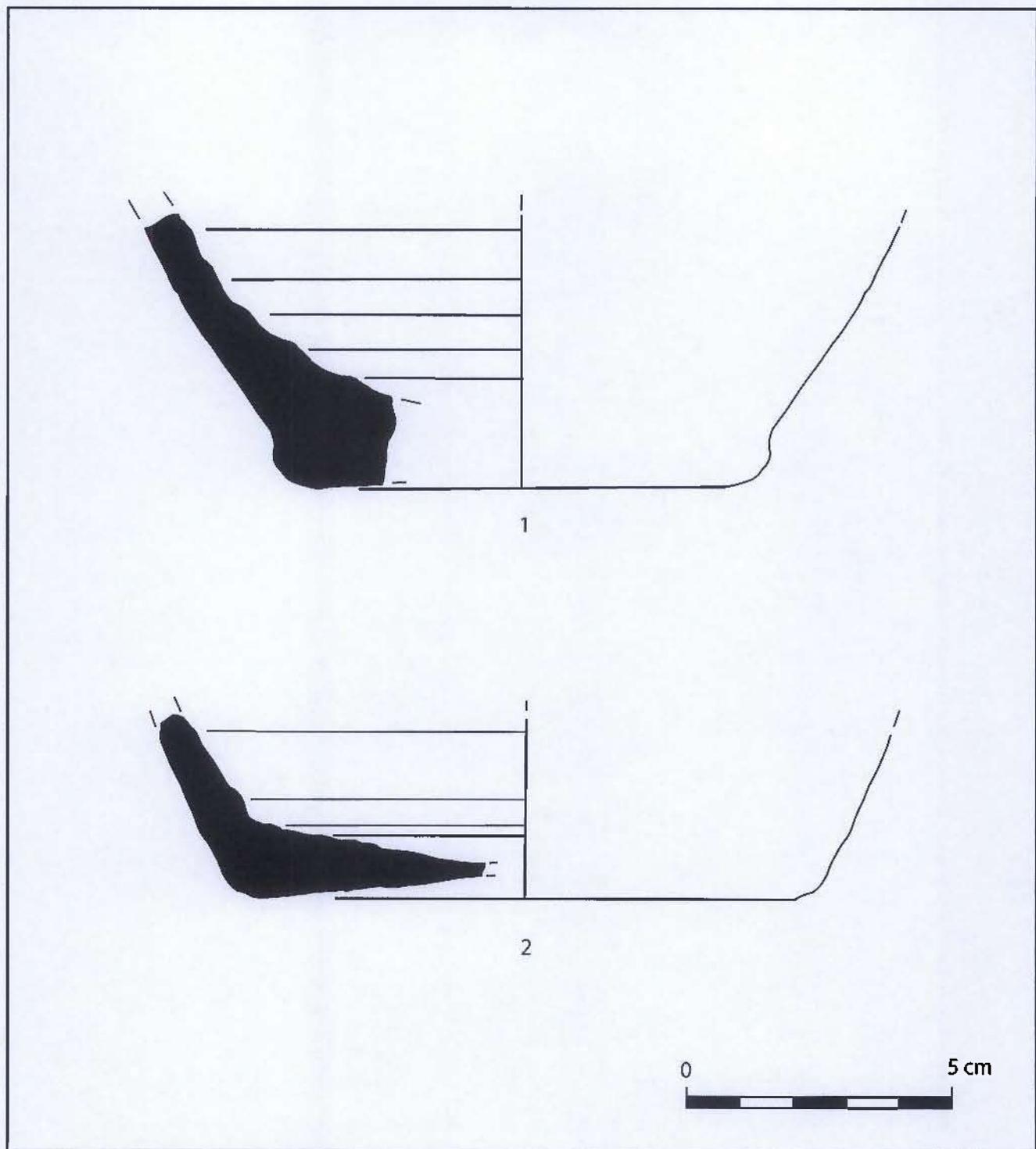


Fig. 9 : céramiques des sondages S120 (n°1) et S122 (n°2).

Le sondage S108 réalisé en 2007 sur le rebord supérieur du coteau (plateau), à seulement 3,5 m du sondage S120 vers le nord, montre que la halde observée ici, de 50 cm d'épaisseur dans sa partie bombée, disparaît ensuite rapidement dans cette direction.

1.4 Stratigraphie dans l'axe N-S (coupe B-D)

L'observation de la coupe transversale montre que la pente est très accentuée selon l'axe N-S (photos 4 et 5). Les remblais orangés recouvrant le niveau humique ancien forment un monticule qui s'estompe progressivement vers le sud. Ce niveau humique sombre, qui intègre la poche de sédiments carmin, devient rapidement très perturbé vers le sud, indiquant une action anthropique marquée dans cette direction. Il recouvre un niveau de transition blanc-jaunâtre, assez caillouteux, qui repose sur le substrat blanc.

1.5 axe E-F

Un dégagement a été réalisé au niveau de l'axe E-F (fig. 7). Il laisse apparaître le substrat limoneux blanc sous une couche assez meuble brun-beige à rougeâtre (photo 6). La surface blanchâtre est inclinée en pente assez prononcée. Elle est assez irrégulière du fait d'enfoncements remplis de sédiment brun-beige et suite à la présence d'assez nombreuses pierres (grés anguleux). La zone de contact ne comporte pas d'accrochages de sédiment ferrugineux. Les remblais situés en arrière vers l'ouest sont un peu plus orangés et très hétérogènes.

Tout ce secteur O et N-O correspond à un grand creusement à ciel ouvert qui a été comblé et recouvert ensuite par la coulée blanchâtre à traces d'oxydes due à la solifluxion et/ou piétinement (zone de passage postérieure ?).

1.6 Front de taille – limite d'exploitation

Dans la partie sud-est du sondage, la couche de substrat blanche s'interrompt brusquement selon un axe transversal à la pente. Ceci montre clairement **que le sol naturel a été volontairement entaillé de façon verticale selon cette direction** (photos 7, 8, 9 et 10).

L'observation soignée de la paroi verticale montre la présence d'une couche ocre-orangée de 2 à 5 cm seulement d'épaisseur, au niveau de la surface de contact du substrat naturel. Cette faible pellicule pourrait constituer un témoin de l'existence de sédiments ferrugineux minéralisés à cet endroit. Les remblais gris-beige hétérogènes viennent ensuite s'appuyer sur cette fine couche orange, formant une couche visible sur toute la hauteur de la coupe S120-S121 décrite ci-après.

A défaut de pouvoir parler de front de taille, on peut supposer que les travaux d'excavations entrepris par les mineurs sont venus vider une grande poche de minéralisation ferrugineuse jusqu'à la limite du substrat naturel constitué de limon blanc.

1.7 frange sud du sondage – mobilier métallurgique

Les remblais gris-beige de la frange sud du sondage sont hétérogènes et présentent des poches plus sombres (photos 8 et 10). Ces sédiments livrent en abondance du mobilier à caractère métallurgique (plus particulièrement dans les poches plus foncées) :

- de nombreuses scories. Celles-ci sont de petite taille ou bien très fragmentées. Toutes ces scories sont **de type coulé**. Les écoulements sont très visqueux et constitués de cordons jointifs, distincts, donnant du relief à la surface supérieure des scories, et un aspect 'grumeleux' à leur surface inférieure. Les scories sont très denses et présentent très peu de bulles. Elles présentent presque toutes des concrétions d'oxydes de fer accrochées à leurs surfaces supérieure et inférieure,
- fragments de paroi de four,
- des blocs de minerai rubéfié et non grillé,
- des charbons de bois de taille modeste.

La fouille a porté essentiellement sur la moitié est de la bande de terre longeant la coupe S120-S121. Un comptage des masses de mobilier extraites a été réalisé. On obtient :

Masse de minerai

Les blocs de minerai mis au jour totalisent 7,3 kg

Masse de scories

La quantité de scories collectée dans le petit secteur ainsi fouillé se monte à 22 kg .

Masse de parois de four

Elle se monte à 3,81 kg

1.8 Conclusion

L'observation de cette adhérence de sédiment ferrugineux au contact du substrat limoneux blanc a de fortes implications sur le potentiel en minerai du gîte ferrifère exploité sur place. Elle constitue sans doute un des apports majeurs de la fouille de 2008, en montrant la puissance très conséquente des niveaux minéralisés très vraisemblablement disponibles. On peut ainsi approcher l'aspect que pouvait revêtir le gîte ferrifère à l'origine et envisager une formation de sédiments très ferrugineux en poche de grande épaisseur, comptant en son sein des blocs de type pisolitique concrétionnés.

Les relevés topographiques entre le haut de la paroi verticale portant des incrustations ferrugineuses et les points les plus bas du sondage S121 sous-jacent montrent que si la poche de sédiment recélant le minerai de fer remonte bien jusqu'à ce niveau, elle pourrait avoir été exploitée sur une hauteur atteignant presque 3 m (**2,95 m**).

Sachant qu'il fallait sans doute creuser sur au moins 40 cm à partir du sol humique pour atteindre le niveau supérieur de cette poche, ces mesures pourraient pleinement justifier l'hypothèse de techniques d'extraction en puits avancées l'an passé pour la première phase d'extraction.

2. COUPE S120-121 :

La coupe quasi verticale concernée forme la limite entre les sondages S120 (supérieur) et S121 (inférieur). Du côté est, elle est très proche du front de creusement décrit précédemment (fig. 8, photo 3 et 13).

La hauteur total entre le sol humique actuel et le niveau du substrat ferrugineux encore en place atteint ici 3,10 m.

Outre leur déclivité selon l'axe de la pente, ces masses de remblais ont été déversées obliquement d'est en ouest.

1. Masse de sédiments hétérogènes en appui sur le flanc vertical

De nombreuses couches de remblais plus ou moins différenciées sont visibles. Les blocs de grès ne sont que faiblement présents. Les couches sont globalement hétérogènes et contiennent des poches plus sombres recélant un peu de charbon de bois, de petits blocs d'argile cuite et de nombreuses petites scories coulées semblables à celles découvertes dans la frange sud du sondage S120 sus-jacent.

Un prélèvement en masse du sédiment contenant du charbon de bois a été réalisé pour analyses anthracologiques et radiocarbone.

A l'est une poche plus sombre, charbonneuse, évoquait un foyer en place (photo 11). Celle-ci a été fouillée et vidée. Il s'agit à nouveau d'un rejet provenant de l'activité métallurgique ou d'une vidange de foyer.

2. Masse de sédiment ocre-rouille inférieure

Dans la partie inférieure de la coupe une masse ferrugineuse ocre-orangé, plus résistante, se dégage, laissant penser que le sol en place est atteint. En réalité, on retrouve des renforcements emplis de sédiment meuble un peu plus ocre, mais encore hétérogène en dessous de ce bloc ferrugineux. Ce n'est que 20 à 40 cm plus bas que l'on rencontre une surface ocre plus résistante qui semble bien constituer le substrat ferrugineux (la fouille s'est arrêtée sur ce dernier niveau).

Concernant cette masse ferrugineuse, il avait été envisagé qu'il s'agisse d'un pan de substrat ferrugineux qui se serait détaché. Il a été dégagé vers le sud, dans le sondage S121 (photo 13). La partie supérieure de cette masse présente un aspect sensiblement différent, plus lité avec des phases plus claires et d'autres plus rouge.



Photo 8 : frange sud-est de S120 : sédiments sombres et limite nord d'exploitation du gisement ferrifère.



Photo 9 et 10 : zone de creusement en limite du substrat limoneux blanc.



Photo 11 et 12 : coupe est-ouest limitrophe des sondages S120 et S121.

Son orientation très oblique indiquerait alors qu'il se soit effondré. Vu le volume (partiel) et la masse qu'il représente, il paraît très peu probable qu'on ait pu le transporter à cet endroit. Il y a donc lieu de penser qu'il se soit détaché de son gîte d'origine situé à un niveau supérieur. Cela viendrait alors conforter l'idée que la minéralisation ferrugineuse était potentiellement présente à hauteur de la partie supérieure de la coupe, ce qui serait cohérent avec l'observation du placage ferrugineux encore adhérent au substrat limoneux à son aplomb décrit précédemment, dans le sondage S120.

Une autre hypothèse tout aussi vraisemblable consiste à voir dans la présence de ces sédiments meubles hétérogènes, sous la masse ferrugineuse compacte, le témoin de travaux de sape pour recherche ou extraction d'un filon plus minéralisé, en mode d'exploitation souterrain ou à ciel ouvert et espace confiné. La masse ferrugineuse serait alors un reliquat en place du substrat minéralisé.

Le démontage de l'épaulement est du sondage a été effectué au moment du rebouchage. Constitué très majoritairement d'argile sombre marron à grise, très meuble, avec de petites poches de charbon de petites dimensions, il n'a pas livré de mobilier très remarquable si ce n'est la présence récurrente et en quantité assez réduite de petites scories jusque dans les niveaux les plus bas (au dessus cependant du sommet de la masse ferrugineuse précédente) et un petit tesson de céramique décrit ci-après.

3. Démontage de la coupe – mobilier céramique

Seuls deux tessons de céramique ont été mis au jour dans ces niveaux sombres et meubles.

Le premier se situe à la base de la poche gris-noir, charbonneuse, située au S-E du sondage S120 (fig. 7 et fig. 8, coupe CD). Ses caractéristiques sont en tous points semblables à celles décrites précédemment pour les 4 tessons mis au jour dans les premiers niveaux du rebord est du sondage S120.

Ceci tend à montrer que ces remblais sombres, contenant du mobilier métallurgique avec scories de type coulées, situés dans ce vers de pente très raide, pour ne pas dire vertical, venant au contact de la surface témoin du substrat ferrugineux naturel, sont contemporains de ceux de la couche sombre presque horizontale avec poche carmin recouvrant le substrat limoneux blanc en amont, et qu'ils correspondent à priori à la même phase d'activité.

Le second tesson a été mis au jour à nouveau dans les sédiments sombres et meubles, mais plus bas, dans les 30 derniers centimètres est du sondage, au moment du rebouchage du chantier. Il est de petite taille, mais présente toujours les mêmes caractéristiques.

Aucun scellement de couche n'apparaît dans la coupe S120-S121, pouvant indiquer une décomposition en plusieurs périodes entrecoupée de phases d'abandon par exemple. On peut considérer que ces couches ou poches sombres appartiennent toutes à la même période d'activité.

4. Conclusions :

Globalement la coupe montre un rebouchage des excavations minières par des remblais s'inscrivant dans un même horizon livrant des éléments d'activité métallurgique de réduction en bas fourneau à scories coulées denses (non spongieuses). Les témoins de bas fourneaux utilisant ce type de



Photo n° 13 : sondage S121 (et S106 au fond). 'galeries' 4 et 5. Coupe stratigraphique AB.



Photos n° 14 et 15 : S121, coupe stratigraphique AB (détail).



Photo n° 16 : S121, moellons de substrat ferrugineux.

Photo n° 17 : S121/S122, fin de fouille : dégagement du 'puits' 5 et de l'excavation 5.



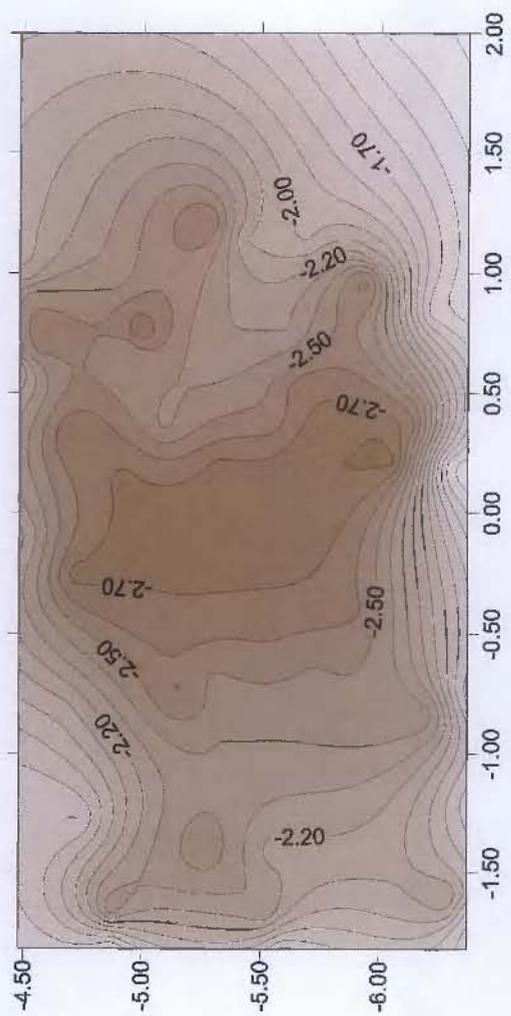


Fig.10 : sondage S121- levé topographique

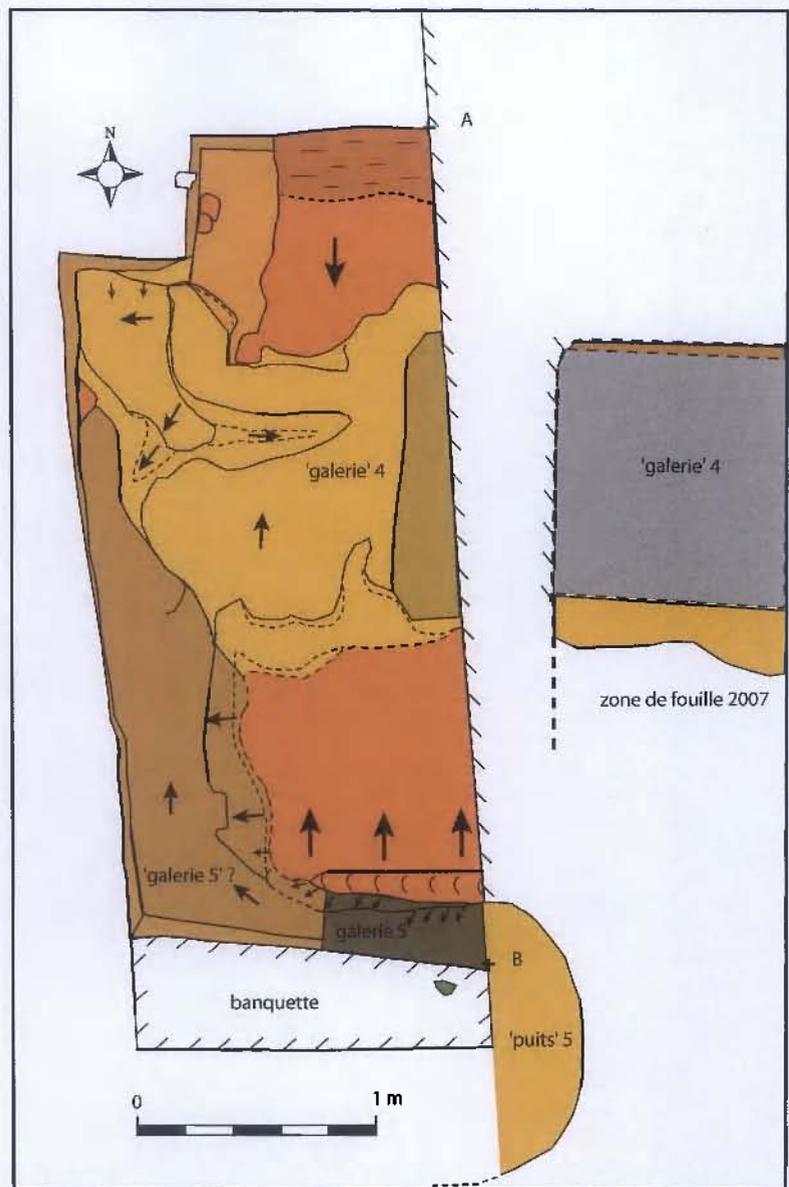


Fig. 11 : S121- 'galeries' et 'puits' au pied de la microfalaise.

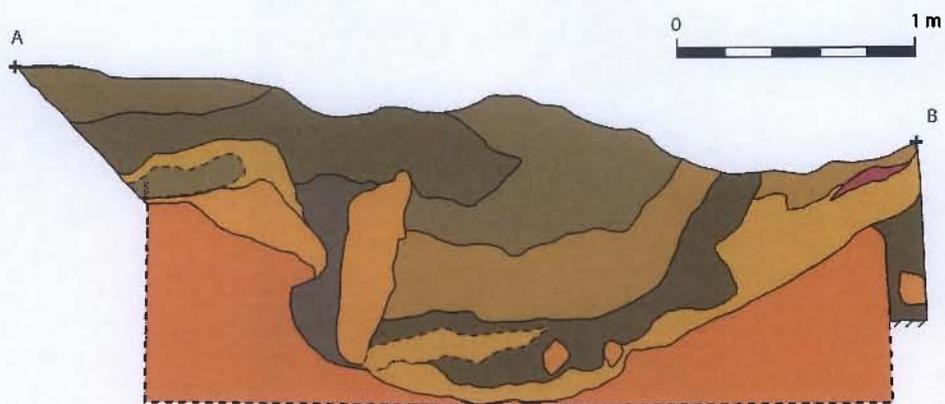


Fig.12 : sondage S121 - coupe AB. Section de 'galerie' minière.

Ainsi que l'indique la coupe sud du sondage, tout l'angle SW de S121 est creusé en profondeur et comblé avec un sédiment orangé et beige très tassé (photo 13 et 17, fig. 11). En tout état de cause, ceci suggère que les deux galeries anciennes puissent se rejoindre ou comporter un croisement au milieu du sondage, à moins qu'il ne s'agisse de travaux de creusements de la seconde période de fonctionnement.

Une scorie piégée (masse = 200 g) a été mise au jour au démontage de la banquette sud. Ce type de mobilier métallurgique montre que l'on est à la transition avec les zones explorées en 2006 et 2007 dans les sondages S106 et S101, qui livraient en quantité modérée mais de façon régulière des scories de réduction formées dans des fours où la matière scoriacée n'est pas évacuée.

3.2 Coupe est

La coupe AB, réalisé sur le côté est du sondage permet de mieux comprendre les différentes phases décrites précédemment (fig. 12, photo 14 et 15).

Sur le côté nord les remblais suivent essentiellement la pente, qui est comme nous l'avons vu, très marquée. Ils buttent en partie sur la masse de substrat ferrugineux et la surmontent (en coupe, à gauche). Dans ce mouvement un moellon de substrat ferrugineux est tombé et se retrouve à la verticale. Il bloque de ce fait certains remblais venant du haut, qui se sont positionnés de même verticalement.

Les remblais venant du sud présente une pente contraire et viennent de même mourir sur ce moellon vertical.

La partie centrale est creusée en « U » ouvert, et montre en section la galerie mise au jour l'an dernier. On retrouve d'autres moellons, moins résistants dans les zones les plus basses. Ils pourraient témoigner de l'effondrement de parois de zones creusées ou bien de rejets liés à une phase d'activité antérieure.

Tout au sud on retrouve, ainsi qu'on l'a vu, un autre creusement en galerie (à l'extrême gauche de la figure). La crête E-W qui correspond au sommet de ce reliquat de substrat en place laissé entre les deux creusements est surmontée par des remblais venant du sud. Ces derniers comportent une poche de sédiment rubéfié rouge-orangé. Cette qualité évoque les poches de même nature mises au jour à de nombreuses reprises dans les remblais de la deuxième phase, et constitue par là même un indice pour une attribution des comblements venant du sud à la période 2 (photo 15). Ces couches recouvrent le sédiment grisâtre de comblement du creusement sud, et sont par suite postérieures.

Tel qu'il est apparu en fin de fouille, ce creusement, prend une forme tout à fait circulaire vers l'est. Par suite il pourrait correspondre au fond d'un ancien 'puits' (n°5).

Celui-ci pourrait avoir été comblé avant la 'galerie' ouest du 'puits' (n°4) mis au jour en 2007. La vue en coupe de cette galerie (vue de l'est, dans le sondage S106 de 2007, qui a été dégagé à nouveau) vient conforter ces observations.

Conclusion :

La disposition des sédiments évoque un processus assez naturel lors d'attaque minière ouverte avec création d'une falaise. Les sédiments se sont ainsi accumulés de manière oblique au pied de la micro-falaise générée par l'arrêt du front de taille, en limite de poche ferrugineuse. Dans notre cas cette assise soutient une bande de sédiments de même nature, le long de la paroi verticale de la micro-falaise. Les sédiments orangés provenant d'autres creusements sont venus ensuite recouvrir cet ensemble.

4. SONDAGE S122

Dans son état *ante* fouilles, ce secteur correspondait à une sorte de méplat du terrain, venant en quelque sorte interrompre la pente générale, accentuée, du site. Le sondage S122 fait la jonction entre les sondages S101 et S105 de 2006 et 2007, au sud, et le sondage S106 de 2007, grâce notamment à l'enlèvement de la banquette de roulement qui séparait S101 et S106 (fig.5).

4.1 Premier stade de fouille – niveaux supérieurs :

1) Substrat ferrugineux

Le dégagement des remblais laisse apparaître à ce niveau une série d'émergences ou 'têtes' de substrat ferrugineux, dont certaines ont été identifiées en 2007 (fig. 13, photos 18 et 19) :

- **RBF1**, au S-E. Les années précédentes seule pointait une masse ocre-orange dense et convexe de faibles dimensions (Vivet, 2006 et 2007). Après un rétrécissement laissant juste un isthme, indiquant des creusements périphériques multiples, elle s'élargit en fait très nettement vers le nord. Les contours montrent des parois pseudo-verticales, sur l'ensemble de la périphérie. Le côté ouest présente une ligne d'attaque avec un travail en sape bien net. Le sol ferrugineux descend ensuite par paliers successifs dans cette direction.

- **RBF2**, au S-W. Dégagé pour une bonne part en 2007, ce massif ferrugineux a livré des traces d'outils très nettes dans sa partie SW. La partie nord prend une forme de virgule tournée vers l'est, montrant le front d'attaque de la grande excavation 1 explorée en 2006 et 2007. Elle livre à nouveau de belles traces d'outils, qui sont décrites plus loin. Il n'est pas impossible que sa forme puisse traduire l'existence d'un 'puits' d'accès à ce niveau.

- **RBF3**, au N-E. C'est cette strate ferrugineuse allongée, entamée de part et d'autre par les travaux miniers, qui avait permis de reconnaître à la fois la présence d'une couche de sédiments en place renfermant du minerai, et des excavations en forme de 'puits' et 'galerie'.

Une grande zone allongée oblique d'axe S-W / N-E de couleur ocre orange assez tassée et ferrugineuse présente un aspect proche de celui du substrat ferrugineux.

De même des témoins compacts de même nature, masses granuleuses ocre-orange de plus ou moins grandes dimensions, apparaissent régulièrement dans les volumineux remblais, meubles et ocre-beige.



Photo n°18 : sondage S122, niveaux supérieurs.

Photos n°19 et 20 : S122, vu du nord (en haut) ; tesson gris tourné dans les remblais tassés surmontant le substrat ferrugineux (RBF1) (en bas).



Photo n°20 : sondage S122, niveaux inférieurs. Excavation n°5. et banquette centrale ; tête de substrat ferrugineux RBF1 à droite.

Photo n°21 : flanc nord de l'excavation 5 ; couche de sédiment ocre tassée surmontant le substrat ferrugineux.

Photo n°22 : coupe stratigraphique - banquette centrale de l'excavation 5.

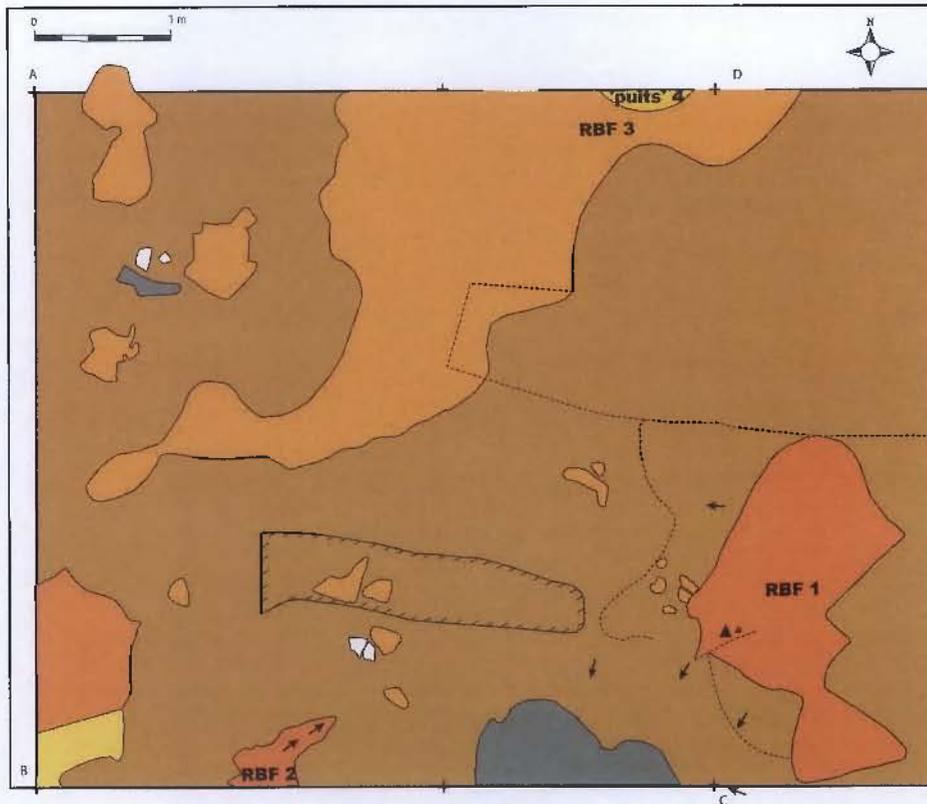


fig. 13 : sondage S122, niveaux supérieurs.

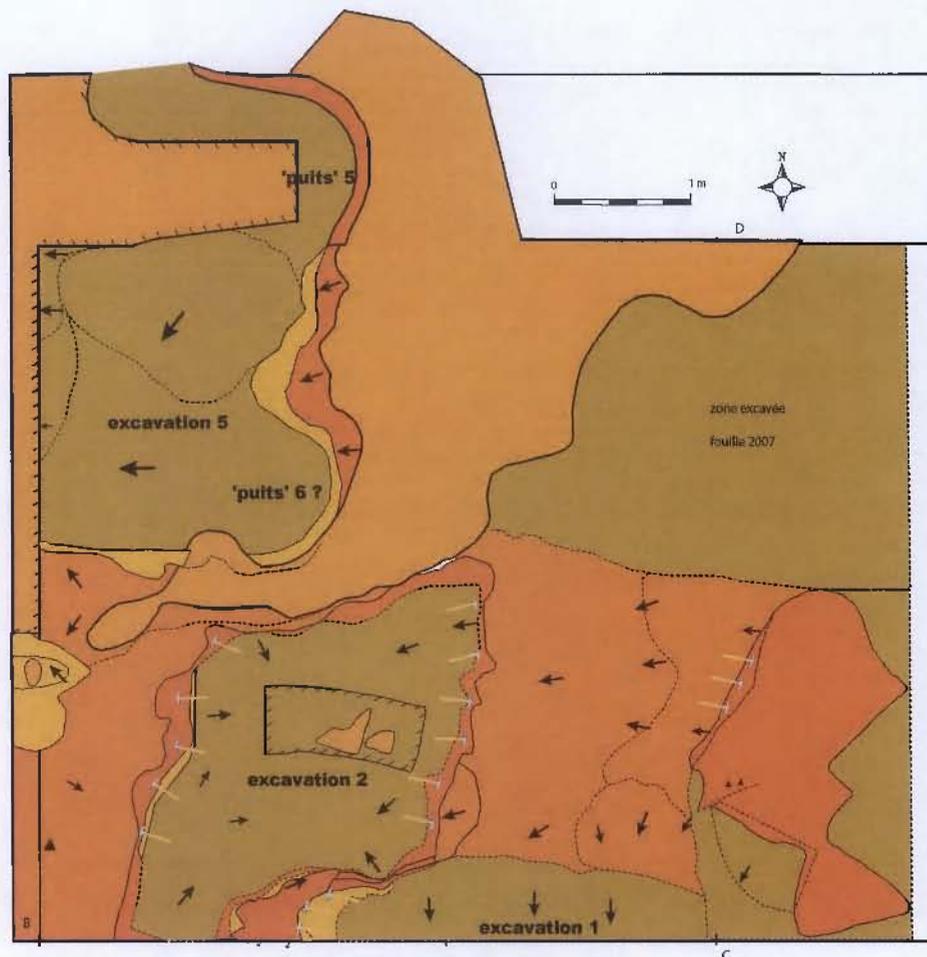


fig. 14 : sondage S122, niveaux inférieurs.

De ce fait on pourrait s'attendre à ce que l'on soit assez proche du substrat ferrugineux. Au cours de la fouille il était envisagé que certaines de ces masses formant des ' îlots ' au sein de sédiments plus meubles et moins colorés puissent figurer des ' piliers ' de soutènement qui auraient subsisté (notamment dans la partie est de S122).

En fait il n'en est rien : ces différents sols et blocs isolés témoignent des grands bouleversements opérés par les mineurs au cours de la deuxième période d'extraction. Les blocs isolés ou grands moellons peuvent être interprétés comme des reliquats de banc ferrugineux effondrés, voire déplacés par les travaux postérieurs aux creusements en puits. Les sols ferrugineux ocre-orange qui apparaissent à ce niveau sont très probablement liés au piétinement des zones écrêtées par les mineurs venus dans un deuxième temps (photo 21).

A certains emplacements l'épaisseur de ces sols de travail et de circulation a pu être reconnue. Elle est de l'ordre de 15 à 25 cm. Sous cette couche tassée on peut reconnaître un matériau sédimentaire plus ferme et plus homogène. La distinction n'est pas aisée et ceci ralentit considérablement la progression de la fouille.

2) Mobilier céramique

C'est sur ce niveau de sol ferrugineux de 15-20 cm d'épaisseur (fig. 13, photo 20), qu'a été découvert un tesson de céramique gris clair, montrant des stries indubitables de tournage. Il était accompagné d'un petit fragment de paroi de four gris et bulleux. Un essai de remontage avec les tessons de même nature trouvés l'an dernier en contrebas dans le sondage S101 s'est révélé positif (remontage avec l'élément n°113 de 2007). L'ensemble céramique appartient visiblement à un même pot (fig. 9, n°2. Un fragment conséquent du fond de ce pot montre également des stries de tournage internes, ainsi que des marques de façonnage obliques, du bas à gauche vers le haut à droite, vu de l'intérieur. La pâte, gris clair, est assez tendre et très micacée (muscovite). Elle contient en outre comme dégraissant du quartz translucide jaune et du quartz laiteux aux surfaces très émoussées.

Cette connexion entre les tessons nous permet d'attribuer de façon plus assurée le rôle des mineurs de la deuxième période qui ont démonté en grand la couche de substrat ferrugineux et comblé l'excavation n°1.

Un second tesson, noir, à cuisson réductrice, a été mis au jour dans la partie inférieure des remblais sableux de l'angle est du sondage S122 (50 cm sous le niveau de décapage initial). Il constitue le seul autre élément céramique découvert dans ce sondage. La pâte, peu cuite, contient comme dégraissant des quartz émoussés laiteux à translucides, petits à moyens, en quantité relativement abondante. Son aspect évoquerait plutôt, sous toutes réserves, une céramique protohistorique.

3) Comblement sombre

Dans le secteur sud du sondage, un peu près au centre, on rencontre une zone de remblais nettement plus sombre (tendant vers le gris-noir), qui se poursuit visiblement sous la coupe selon l'axe N-S. Ce remblai différencié est à mettre en relation avec la zone de poches grises mise au jour dans la partie centrale du sondage S101 de 2006 et 2007, qui a livré notamment du mobilier céramique en quantité notable, en particulier le fond de pot gris clair décrit précédemment.

On note également, une poche grise avec charbons de bois, argile blanche plastique et cailloutis, dans la partie est du sondage auprès des supposés 'piliers', à 40 cm de profondeur par rapport au sommet de ces gros moellons ferrugineux.

4.2 Deuxième stade de fouille : dégagement final

1) Excavations

Sous les sols d'éboulement et de piétinement, on rencontre à nouveau des excavations dont les parois sont bien nettes. Un certain nombre d'entre elles prennent une forme pseudo-circulaire et des parois verticales, évoquant la présence de fonds de 'puits' d'accès (fig. 14).

- On peut ainsi envisager d'interpréter la zone très arquée taillée dans le substrat ferrugineux RBF2 et dont le dégagement s'est achevé cette année comme étant l'un de ces 'puits' (n°1). A ce 'puits' (n°1) pourrait être associée la grande zone excavée fouillée en 2006 et 2007 (excavation n°1).
- Au dos de ce même reliquat de substrat ferrugineux (RBF2), les traces d'outils relevées et moulées en 2007 pourraient résulter du creusement d'un 'puits' n°2 (plus hypothétique du fait que la fouille se trouve limitée vers l'ouest par les arbres). Une excavation bien circonscrite s'ouvre vers le nord (excavation n°2) et communique avec ce creusement marqué d'empreintes de pics bien nettes, qui semble représenter le seul point d'accès.
- Une zone pseudo-circulaire située à l'ouest de la grande excavation (n°3) mise au jour en 2007 dans le sondage S106, entaille le reliquat de substrat ferrugineux RBF3. Elle pourrait faire office de 'puits' (n°3). L'arasement de la partie sud de ce secteur ne permet cependant pas d'être catégorique.
- Le 'puits' d'accès circulaire le plus flagrant (n°4) est celui qui a été mis au jour l'an passé. Il comporte de nombreuses traces de pic obliques, régulières, qui ont été relevées et moulées. Il communique avec un creusement (n°4), qui continue à descendre en direction du N-E. Sa forme allongée évoque celle d'une 'galerie'.



Photos 23 et 24 : S122, traces de travail de sape sur RBF1.



Photos 25, 26, 27 : S122, 'puits' 2 , traces de pic et relevé sur film.



Photos 26, 27, 28 : S122, traces de pics et relevé, sur le flanc est de l'excavation n°2.

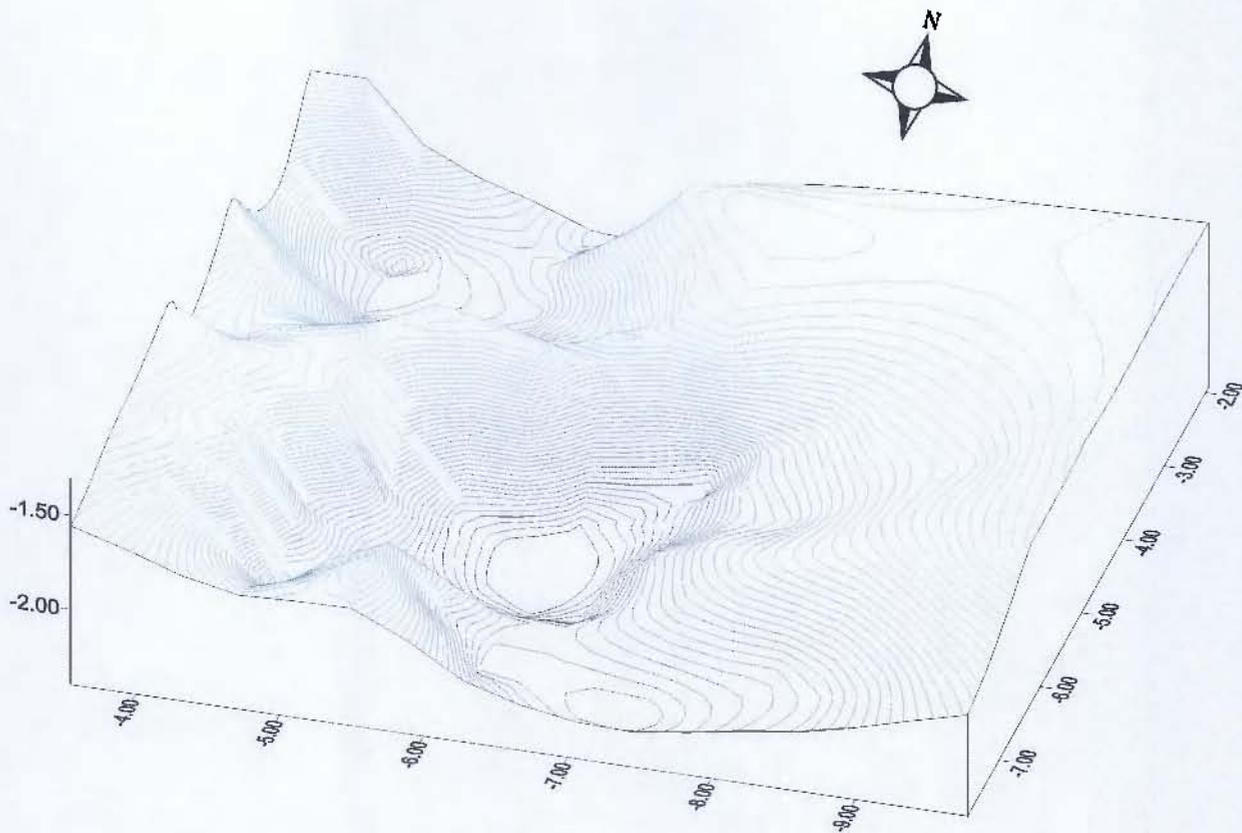


Fig. 15 : sondage S122, relevé topographique 3D.

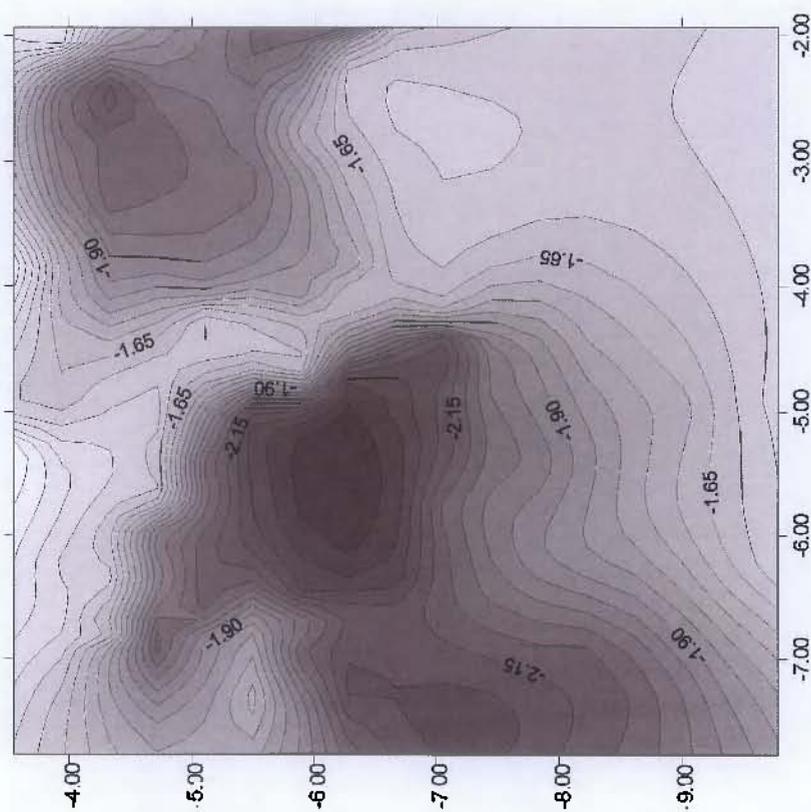


Fig. 16 : sondage S122, relevé des courbes de niveau

- Le secteur N-W du sondage S122 laisse apparaître une large excavation (n°5) comportant deux creusements de type circulaire. Les contours de celui qui est situé au nord, mis au jour en fin de fouille, sont bien nets. Ainsi qu'on l'a vu avec le sondage S121, ce 'puits' très probable (n°5) communique avec une 'galerie' E-W, qui prend soudain une orientation N-S. Les contours W de ces creusements ne sont pas connus du fait que l'on est en limite d'emprise des sondages S121 et S122. La forme pseudo-circulaire située au S-W de l'excavation n°5, pourrait éventuellement faire penser à un 'puits' d'accès (n°6 ?), mais de façon bien moins assurée. Il s'agit vraisemblablement plutôt d'une zone d'extraction de minerai de forme arrondie.

D'après les observations précédentes, il semble qu'un 'puits' d'accès serve à chaque fois à desservir une ou, voire, plusieurs zone(s) excavée(s) pour l'extraction du minerai. L'emprise limitée des sondages liée à l'environnement boisé du site, ne permet pas une vision vraiment extensive de ces excavations, mais il semble que ce schéma d'exploitation puisse de différentier de celui d'un travail d'extraction rayonnant à partir d'un 'puits' central.

2) Coupe de la banquette

Les deux tiers inférieurs du comblement sont représentés par des sédiments très meubles, sableux ou granuleux, homogènes, en particulier sur le plan de la granulométrie (fig. 17, photo 22). Présents dès le niveau supérieur de comblement dans la partie est de l'excavation, ils présentent une forte inclinaison E-W. Cette disposition viendrait plutôt à l'encontre d'un colmatage d'une cavité souterraine au fur et à mesure de la progression et de l'extraction.

Le tiers supérieur ouest de la coupe stratigraphique consiste en apports hétérogènes incorporant des moellons de substrat ferrugineux, qui contrastent avec les matériaux meubles précédents. Ils reposent sur ces derniers.

3) Parois à traces d'outils :

a) description

La fouille de ces excavations a fait apparaître à nouveau cette année l'impact de coups d'outils bien nets dans le substrat ferrugineux. Ces marques sont regroupées au sein de secteurs spécifiques. En l'occurrence, il s'agit de :

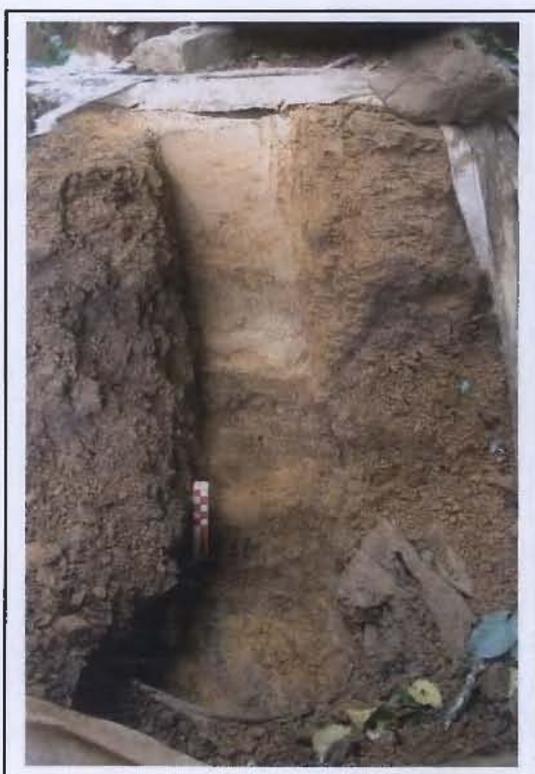
- 1) traces de travail de sape sur le flanc est du reliquat de 'banc' ferrugineux n°1 RBF1 (photos 23 et 24)

- 2) traces étroites et enlèvements sur le flanc nord-est, incurvé en forme de virgule, du reliquat de 'banc' ferrugineux RBF2 – 'puits' n°1 probable (photos 25, 26 et 27)

Les deux tiers supérieurs de la paroi sont régulièrement striés d'impacts pseudo-verticaux, ou légèrement obliques, en forme de sillons étroits et assez courts, pratiquement tous orientés du haut à droite vers le bas en gauche quant on fait face à la paroi.. Le tiers inférieur, un peu moins incliné, montre également de nombreuses traces, assez profondes, laissant de petites cavités, avec amorce en dièdre, pouvant être interprétées comme le résultat d'une action visant à arracher le sédiment compact.

- 3) traces étroites et enlèvements sur le flanc est et angle nord-est de l'excavation n°2 . (photos 28, 29 et 30).

Les traces sont presque verticales. Une majorité d'entre elles s'incline légèrement à partir du bord haut de l'excavation vers le bas à droite, lorsqu'on fait face à la paroi. Elles finissent leur course dans la jonction entre la paroi verticale et le fond de l'excavation, rencontrant un sédiment plus clair et plus verdâtre, qui annonce la proximité du substrat naturel stérile. Quelques unes prennent une obliquité contraire. La verticalité globale des coups portés au sédiment encaissant pourrait traduire une différence d'attitude entre une excavation ayant un volume un plus important, laissant plus d'espace de manœuvre au mineur et le creusement du puits d'accès, ou celui de boyaux très étroits, contraignant les débattements. Dans ce dernier cas on peut supposer que les coups sont portés de manière plus oblique, ce qui peut conduire jusqu'à un travail de sape, tel que celui observé dans l'angle nord-est de l'excavation présente et dans le flanc est du reliquat RBF1 précédemment décrit.



Photos 29, 30,31, 32 : S122, traces de pics et relevé, sur le flanc ouest de l'excavation n°2.

Photo 33 : S122/S106, saignée dans le substrat ferrugineux

4) traces étroites et enlèvements sur le flanc ouest et angle nord-ouest de l'excavation n°2 (photos 31 à 34).

Le tiers nord de cette paroi est sub-vertical et présente même une forme concave. Les traces étroites forment des arcs de cercle nets, attribuables sans équivoque à un coup donné par un outil de type pic (photo 33). Les traces sont quasiment verticales dans l'angle nord-ouest de l'excavation qui marque un changement brusque de direction. A partir de ce point et en allant vers le sud, elles sont espacées régulièrement sur 50 cm environ et elles s'inclinent progressivement selon cette direction. L'inclinaison est également du haut à droite vers le bas à gauche. La progression du mineur est sans doute inverse, celui-ci aurait été gêné par la paroi nord pour porter le coup bien net situé dans le brusque retour d'angle nord-ouest marquant l'arrêt de l'investigation ou de l'extraction.

La partie centrale est bombée dans sa partie inférieure. Elle ne comporte que deux grandes traces en sillon qui atteignent le fond de l'excavation. Ce dernier se raccorde presque à angle droit avec la paroi. L'une est verticale, l'autre est inclinée du haut à gauche vers le bas à droite, selon, donc, une orientation inverse de celle majoritairement rencontrée. Les autres témoins sont représentés par quelques traces en creux attribuables à la pointe d'un outil pointu de type pic et des enlèvements assez volumineux.

Le tiers sud de la paroi compte de très nombreux enlèvements anguleux, comportant la trace de l'extrémité très pointue de l'outil dans leur partie la plus profonde, sur toute la hauteur de la surface verticale (photo 32).

b) relevés et éléments d'interprétation

Des relevés sur film transparent rigide des détachements de matière et traces d'outils ont été réalisés sur :

- la paroi nord-est de RBF2 en forme de virgule ('puits n°1 probable, photo),
- les flancs est et ouest de l'excavation n°2 (photos 29 et 34).

L'exploitation du support transparent en liaison avec la couverture photographique de la paroi est susceptible de fournir une interprétation plus fine des coups portés dans le banc ferrugineux et une approche plus précise de la gestuelle utilisée et des techniques employées.

On peut dès à présent avancer quelques hypothèses et quelques conclusions. L'excavation n°2 montre une nette dissymétrie entre d'une part les deux parois opposées est et ouest, qui portent de nombreuses traces d'outils et d'autre part la paroi nord qui ne compte pas de traces flagrantes de cette nature, et montre plutôt un simple délitement du substrat. Si ce contraste peut-être éventuellement être lié à une différence de qualité de l'encaissant, les traces d'outils notamment

sub-verticales suggèrent que le mineur faisait face aux parois en question. La forme des brusques retours d'angle nord-ouest et nord-est indique que la partie nord de l'excavation ne correspond pas à l'accès à cette zone d'extraction par un puits. Le contour de l'excavation étant fermé dans toute la partie nord, on en déduit que la progression du mineur s'est faite du sud vers le nord.

Le contour est également fermé dans l'angle sud-est. Très mince à cet endroit, il n'est conservé que sur une faible hauteur. Un accès en souricière venant de plus haut ne peut être totalement exclu. Cependant l'angle S-E étant ouvert, il est très probable que le mineur soit venu depuis le côté ouest du reliquat de substrat ferrugineux RB2, pour lequel on a enregistré en 2007 de nombreuses et grandes traces de pic. Par suite, on peut envisager l'existence d'un 'puits' d'accès à ce niveau (fig. 23).

4) Aspect du minerai dans le banc ferrugineux RBF3 de S106 (2007) – Test lors du rebouchage.

Afin de vérifier l'aspect et la stratification du substrat ferrugineux RBF3, dégagé en 2007 dans le sondage S106, au sein duquel a été creusé le 'puits' d'accès n°4, une entaille verticale de 25 cm de large a été pratiquée dans cet encaissant (coupe MN, fig. 23, photo 35).

Dans la partie supérieure de la stratigraphie, on rencontre une phase argileuse orangée claire de 60 cm d'épaisseur, de granulométrie assez fine et relativement tendre. Elle comporte même à sa base une phase mêlée d'argile blanche. Cette couche semble pratiquement stérile du point de vue du minerai. Lui succède une phase gris-beige sombre plus dure, de tracé irrégulier, de 20 à 25 cm de hauteur, qui recèle des blocs ferrugineux plus minéralisés. La phase sous-jacente, de 40 cm d'épaisseur, est faite d'un sédiment plus compact et rocailleux, orange et ocre, contenant encore des blocs de pierre ferrugineuse de différentes qualités, dont l'aspect pour certains d'entre eux paraît moins riche que précédemment. La base de cette strate comporte des veines d'argile de colorations gris-verdâtre. Ce changement signale souvent la proximité du substrat naturel non ferrugineux inférieur.

5) Mobilier minéralurgique et métallurgique

a) minerai

Dans la mesure du possible les blocs de minerai identifiables ont été mis de côté et pesés. Au total c'est une masse de **54 kg** de minerai qui a ainsi été collectée dans les remblais du sondage S122 fouillés. C'est le plus souvent pratiquement au contact des parois du substrat ferrugineux résiduel que les blocs se sont révélés subsister en plus grand nombre. Dans ces emplacements l'aspect compact et l'apparence dense des blocs laissent présumer une teneur importante en fer,

permettant leur utilisation en métallurgie. Les blocs présentent un aspect très majoritairement pisolitique, avec, pour certains d'entre eux, une surface externe montrant des traces d'altération.

b) scories

La masse des scories collectées dans le sondage S122 ne représente que 3,350 kg. Du fait de l'enrobage très collant et incrustant du sédiment orangé encaissant, rendant par moment difficile la distinction entre scories, minerai et blocs de grès, le comptage n'est sans doute pas tout à fait exhaustif. La masse totale de scories extraite est donc vraisemblablement de l'ordre de 5 à 10 kg. Elle ne s'évalue pas, en tout état de cause, en dizaines ou centaines de kg. Il s'agit de scories de type piégé, pour la grande majorité d'entre elles.

Malgré la quantité très importante de sédiments dégagée par la fouille du sondage S122, aucune grosse scorie piégée nouvelle, en forme de culot donnant l'allure de la partie inférieure d'un bas fourneau, n'a été mise au jour dans ce secteur. Le seul élément vraiment remarquable dans cette partie nord du sondage central est celui qui a été découvert en 2007, en coupe dans le sondage S106, dont le diamètre était de 41 cm, la hauteur de 42 cm, et la masse de 80 kg. Il s'avère donc que dans le secteur principal de fouille la plus forte concentration en culots et scories piégée se situe dans le sondage S101, au sud. Si l'on considère, d'une manière générale, que les remblais sont plutôt rejetés en contrebas de la zone de travail, cela tend à indiquer que le décapage à ciel ouvert de la 2^{ème} période d'activité du site a atteint des appareils qui pouvaient se situer dans la partie médiane du site et non pas au nord. Ceci est cohérent avec les relevés magnétiques et le sondage S108, qui indiquaient que les premiers bas fourneaux n'ont pas été installés sur le rebord supérieur du plateau.

c) masse de parois de four

La masse de parois de four mise au jour est extrêmement faible et peu être considérée comme négligeable. Leur état trop fragmentaire ne fournit pas matière à une description informative.

IV.

SONDAGES DE LA ZONE OUEST

1. SONDAGE S200

1.1. Présentation générale

La zone explorée en 2007 à l'est du sondage central, semblait fournir des indices intéressants sur le plan métallurgique, notamment avec les vestiges démantelés d'un bas fourneau dans le sondage S104.

C'est dans l'optique de tenter de retrouver un bas fourneau du 1^{er} âge du Fer encore en place que le sondage S200 a été ouvert dans l'espace assez restreint disponible entre les arbres.

L'ouverture pratiquée s'étend sur environ 8 m de long selon l'axe NW-SE pour une largeur d'environ 6 m de large (fig. 18, photo 36).

Le secteur est rapidement révéler l'existence d'une poche de sédiment rouge conséquente et d'un secteur dans l'angle NE comportant une masse de sédiment orange-rouille granuleuse rappelant l'aspect du « banc ferrugineux » découvert en 2007 dans les sondages S101 et S106 (photos 39 et 40). La profondeur moyenne de ces deux éléments intrusifs est de 45 cm pour le premier et 80 cm pour le second. Cette zone a donc été préservée en vue d'une fouille manuelle.

Le dégagement du secteur s'est poursuivi dans la zone centrale et la zone ouest du sondage. Il s'est avéré que l'on ne rencontrait que du remblai d'extraction minière meuble, de coloration marron-orangé. Les volumes de sédiment déplacés devenant par trop importants eu égard à l'espace très limité disponible, un sondage test a été pratiqué à la pelle mécanique au sein du sondage (photo 37).

Il a permis d'atteindre le substrat ferrugineux à une profondeur de **1,95 m** par rapport à l'humus (sondage rectangulaire allongé sur la figure 18). Compte tenu de la valeur élevée enregistrée, de la quantité énorme de stériles à évacuer dans des conditions difficiles, sans aucun indice sérieux de structure minière ni de métallurgie, il a été décidé de stopper le terrassement mécanique en l'état et de ne pas fouiller cette zone manuellement, hormis le secteur est, déjà mentionné.

1.2. Sondage test à la pelle mécanique

Seul un test à la pelle mécanique (ADEF) a été entrepris lors du rebouchage dans le sondage test profond pour tenter d'approcher l'aspect que peut présenter le socle ferrugineux à cet endroit (photo 37). La godet lisse du tracto-pelle ne pénètre pas facilement cette formation qui résiste surtout du fait de la présence d'argile compacte recelant d'assez nombreux blocs plus ou moins ferrugineux.

Le fond du sondage présente une surface très résistante essentiellement ocre, avec des passages bruns, blancs et rouges, formant des croûtes qui se délitent rapidement (photo 38). Elle est parsemée de blocs ocre d'apparence assez ferrugineuse au premier abord. Quelques blocs de couleur rouge sang situés le long de la coupe sud, témoignent de la présence d'hématite. L'examen plus approfondi de l'ensemble des blocs extraits montre que seulement quelques-uns d'entre eux montrent un aspect pisolithique et une continuité



Photos 36, 37 et 38 : sondage S200, vue générale, test ADEF à la pelle mécanique et substrat ferrugineux résiduel



Photo 39 et 40 : S200 N-W, moellon de substrat ferrugineux noyé dans les remblais.



Photo 41 et 42 : poche de sédiment rouge livrant des pierres plates ou particulières.



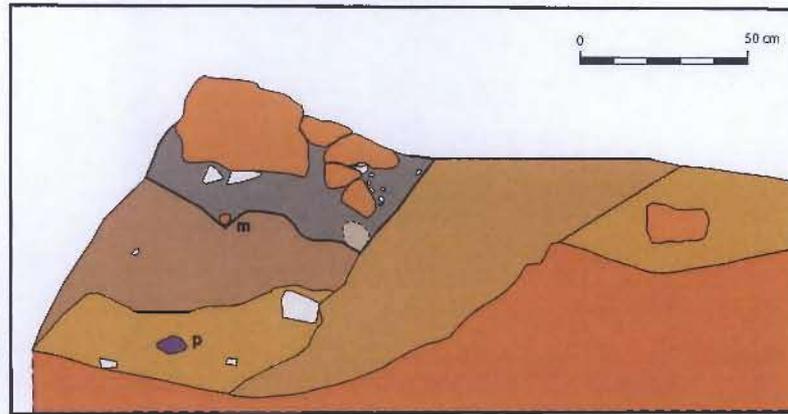


Fig. 17 : Sondage S122. Coupe sud de la banquette témoin située au centre de l'excavation 2.

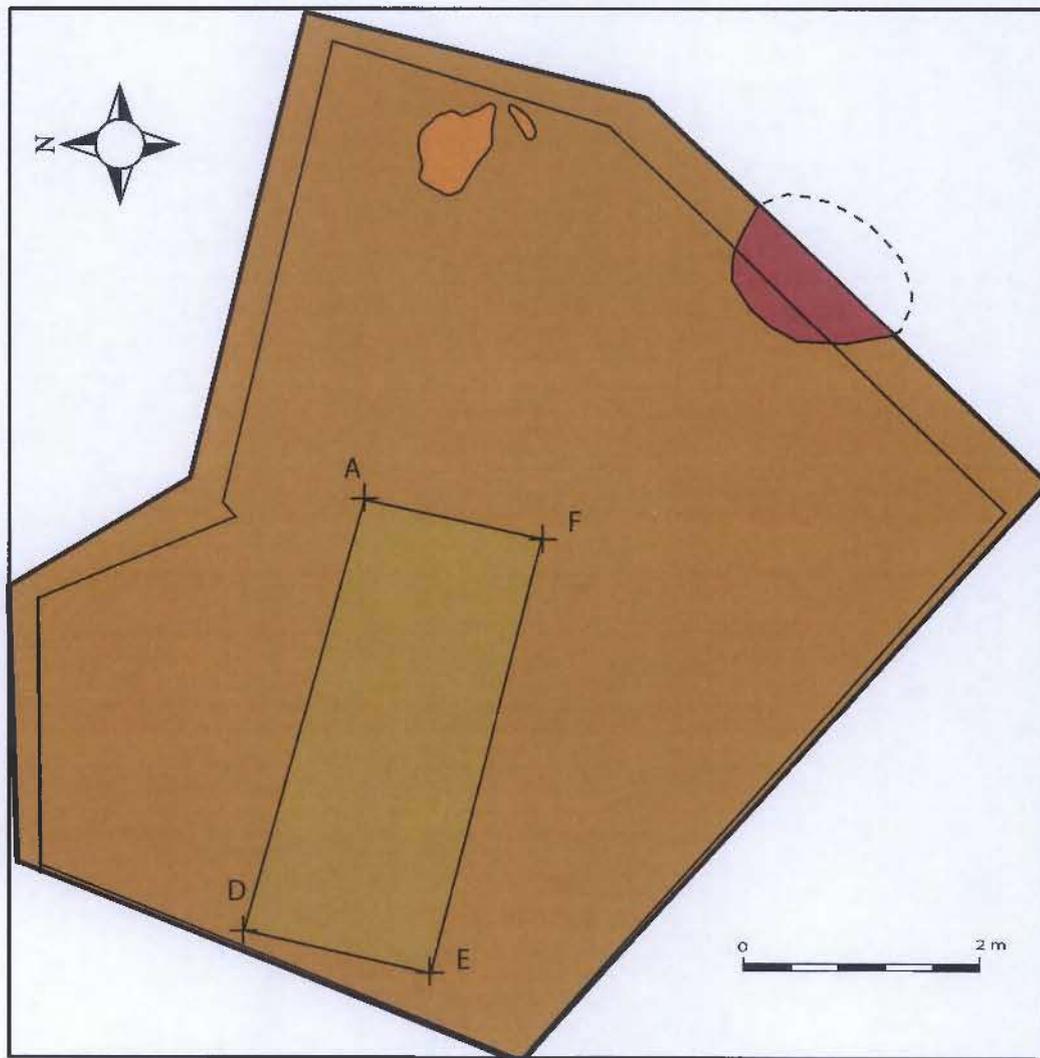


Fig. 18 : Sondage S200 avec test plus profond ADEF à la pelle mécanique.

suffisante des hydroxydes de fer, permettant de les qualifier de minerais. Une forte proportion des éléments concrétionnés semble trop chargée en argile pour pouvoir être exploitée en tant que tel.

La pelle a entamé ce socle ferrugineux sur une épaisseur de 40 cm.

Un échantillonnage de ces sédiments ferrugineux plus ou moins concrétionnés a été recueilli dans l'emprise du sondage-test mécanique.

La coupe ne montre pas de phase de transition entre le remblai et le socle ferrugineux.

On peut en conclure que l'extraction minière était vraisemblablement réalisée à ciel ouvert à cet endroit et qu'elle est très probablement associable à la période de fonctionnement à laquelle sont attribuables les remblais volumineux (période 2). La progression dans l'attaque du socle ferrugineux a certainement généré d'importantes haldes qui sont venues combler les zones précédemment dégagées.

1.3. Pan de sédiment orange ferrugineux

La masse de sédiment ocre-orange du secteur NE évoquée, rappelant les « têtes » de banc ferrugineux résiduelles observées en S101 et S106, est apparue à une profondeur de 80 cm, et a été dégagée (photos 39 et 40). Des poches de sédiment un peu plus blanchâtres apparaissent à ses abords. La fouille manuelle a finalement révélé que cette masse de sédiment ferrugineux reposait elle-même sur du sédiment marron-orangé provenant de remblais miniers. Son épaisseur est de 30 cm. On a donc tout lieu de penser qu'il s'agit d'un pan de socle ferrugineux, qui a été démantelé et évacué au cours de la période 2 de fonctionnement du site.

1.4. Poche de sédiment rouge

Une masse importante de sédiment rouge vient s'insérer dans l'imposante épaisseur de remblais à une profondeur de 30 cm (base de la poche à 55 cm). Son épaisseur est de 25 cm (photo 41). Sa largeur dans la coupe est de 1,50 m. Ainsi qu'il a pu être vérifié au cours du rebouchage du sondage, elle se prolonge vers l'est sur une longueur d'environ 60 cm à partir de la coupe, ce qui donne une longueur de l'ordre de 1,20 m selon cette direction.

Son contenu mérite d'être détaillé. Elle contient en effet un certain nombre d'éléments particuliers :

- une quantité importante de pierres plates (grès), retrouvées elles-mêmes généralement à plat (photo 42).
- plusieurs blocs de grès pouvant faire office d'outil (photo 42).
- une série de blocs ferrugineux à l'aspect rubéfié et non rubéfié.
- quelques rares charbons de bois.

1.5. conclusion

Les volumes très conséquents de remblais déplacés par la pelleuse ou dégagés à la pioche ont livré une quantité extrêmement faible de scories (moins d'une dizaine de scories piégées observées). Par suite on peut considérer que l'activité métallurgique était très peu (voire pas du tout) présente dans ce secteur et que les niveaux supérieurs de cette zone n'ont probablement pas accueilli de bas fourneaux au cours de la première période de fonctionnement du site (Hallstatt), contrairement à ce qui a été observé dans les sondages voisins S101, S106, S104, situés plus à l'est.

L'ensemble des bouleversements spectaculaires observés est à mettre sur le compte des mineurs ayant opéré au cours de la deuxième période d'occupation du site.

2. SONDAGE S300

2.1 masses sédimentaires

En premier lieu il faut souligner le volume considérable des remblais miniers à cet endroit. La puissance des sédiments rejetés atteint **2,85 m** à l'extrémité nord, en pointe, du sondage (photos 2 et 48). Le socle ferrugineux apparaît à une profondeur de 1,23 m sous la couche d'humus dans l'angle sud-est du sondage. Son niveau moyen dans le reste du sondage est de **1,40 m**. Les creusements plus modestes opérés sur le flanc sud et au sud-ouest atteignent actuellement une profondeur voisine de 1,65 m sous humus.

Sur l'ensemble des fortes épaisseurs de sédiments marron-beige accumulées, visibles sur les 3 coupes de limite de sondage, on n'observe aucune stratigraphie vraiment différenciée. Les remblais viennent au contact du substrat ferrugineux, y compris dans les zones creusées dans ce massif. C'est à peine s'y on peut distinguer par moment une pellicule d'argile un peu plus claire de 2 cm au fond de ces excavations.

Quelques rejets ponctuels présentent un aspect particulier :

- Ainsi l'angle SE du sondage montre-t-il un déversement de sédiments au contenu plus pierreux (grès), d'axe et pente E-S, et qui s'étale à la fois sur le substrat ferrugineux encore en place et dans le creusement ovale qui s'ouvre à ce niveau vers le nord.
- On enregistre la présence d'une zone située au nord-ouest du sondage très peu différenciée, mais livrant quelques petits charbons dispersés. Ceux-ci ont été en partie collectés à des fins de datation.
- Au sein des grandes masses de remblais meubles on note l'existence de trois poches de sédiment rougeâtre-bordeaux. On n'observe que de rares charbons de bois et aucune structure de chauffe ou foyer n'a été mis en évidence. Elles ont été recensées à différentes hauteurs dans les coupes :
 - la première, notée R1, se situe dans la coupe NE (photos 2 et 48). Elle se situe à 1,10 m sous le niveau d'humus et 1,07 m au dessus du fond de creusement. Sa largeur est de 60 cm, pour une épaisseur maximale, dans sa partie centrale, de 14 cm.
 - la seconde, notée R2, se situe dans la coupe Sud du sondage (photo 49). Elle se situe à 35 cm sous le niveau d'humus et 50 cm au dessus du substrat ferrugineux en place. Sa largeur est de 1,60 m pour une épaisseur maximale, dans sa partie centrale de 45 cm. La base de la poche est marquée par un lit de pierre (grès) reposant essentiellement à plat.
 - La troisième, R3, fait partie du comblement blanchâtre du creusement qui longe la coupe sud du sondage. Sa coloration, rosâtre, est moins prononcée que celle des précédentes. Il est probable que la teinte observée résulte du mélange des sédiments très clairs du comblement avec celle d'une poche peu épaisse de sédiment rougeâtre de nature semblable aux précédentes (photo 45).



Photos 43 et 44 : sondage S300. niveaux supérieurs et inférieurs.

Photos 45, 46 et 47 : S300, creusement sud, creusement est avec traces d'outils et relevé.

Photos 48, 49 : S300, vue générale et poche rouge dans la coupe sud



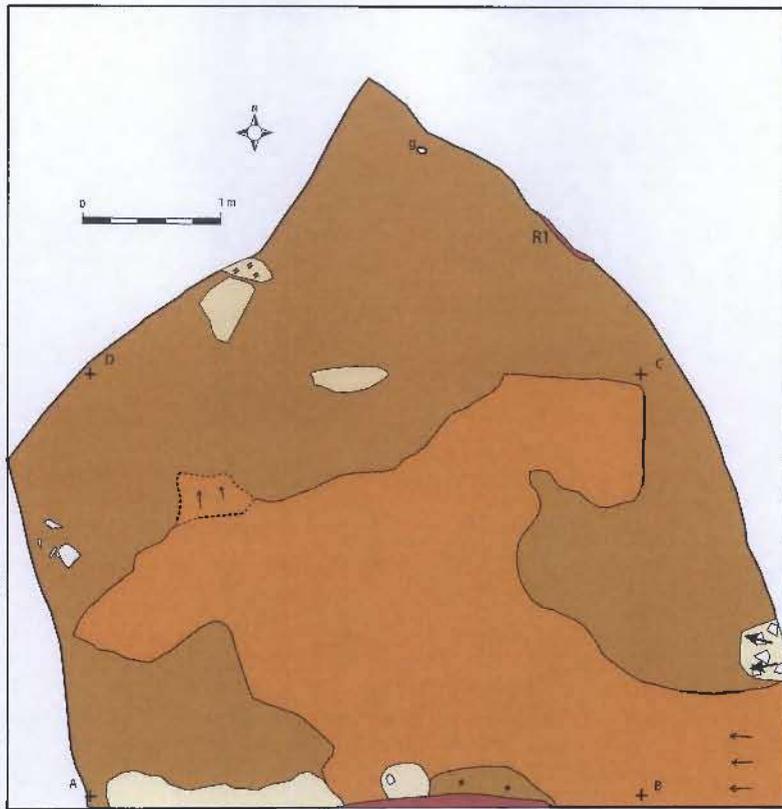


Fig. 19 : sondage S300, niveau supérieur du socle ferrugineux résiduel.

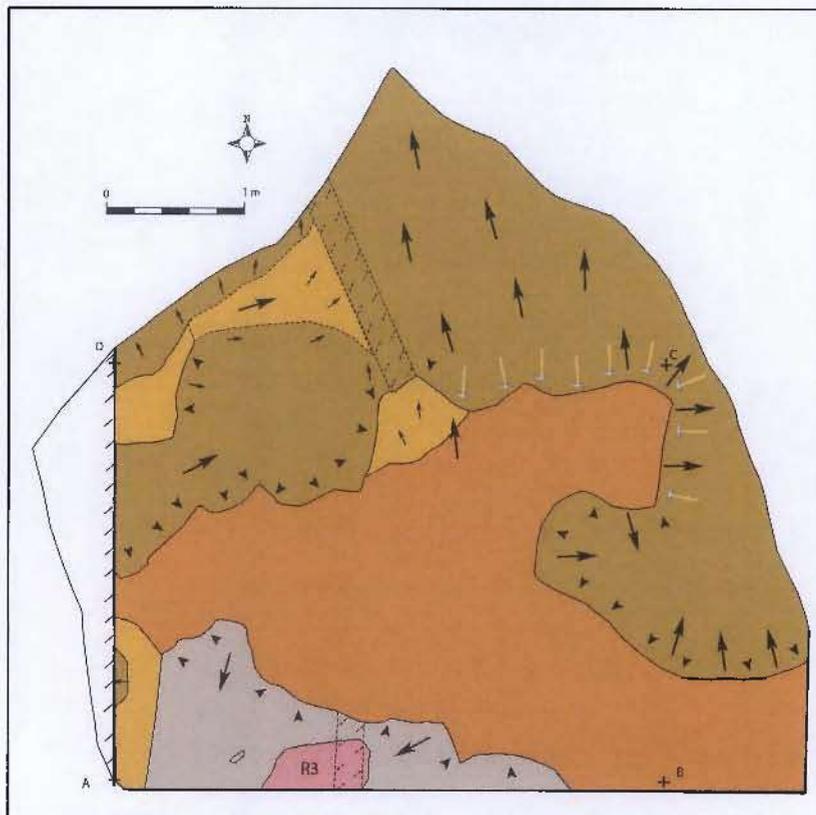


Fig. 20 : sondage S300, creusements dans le socle ferrugineux.

Elles ont été en grande partie vidées pour vérification, mais n'ont pas livré de mobilier céramique.

A l'instar de celles reconnues dans les sondages S120, S200 et du sondage S106 de l'an passé on peut penser, compte tenu de la similitude d'aspect, qu'il s'agit de rejets secondaires d'une structure de chauffe ayant rubéfié les sédiments ferrugineux sur laquelle elle était installée.

Même si, bien sûr, ces remblais n'ont pas été constitués en un seul jour, on ne perçoit aucune interruption dans leur mise en place. Leur homogénéité conduit à penser que malgré leur ampleur, ces masses sédimentaires correspondent à une seule phase d'activité minière.

2.2 Socle ferrugineux entaillé

Le décapage à la pelle mécanique a révélé l'existence d'une surface plus compacte et dense de coloration jaune-ocre à verdâtre qui livre de façon disséminée des blocs ocre plus ou moins ferrugineux (photo 43, fig.19).

Le décapage manuel montre que les remblais décrits précédemment entrent en contact sans transition avec ce socle ferrugineux. A priori, il ne s'agit que de ce qui subsiste de la formation ferrugineuse d'origine, qui devait être beaucoup plus volumineuse.

Dans leur travail d'extraction les mineurs sont descendus jusqu'à un niveau bien précis dans la strate ferrugineuse qui apparaît encore en place. Elle occupe environ la moitié de la superficie du sondage. Hormis dans l'angle sud-est, où ce socle remonte progressivement de 20 cm, l'ensemble de cette surface est pratiquement horizontale (17 cm d'écart entre les extrêmes). Par suite, le gîte ferrifère semble avoir été décapé à ce niveau sur l'ensemble de l'emprise du sondage. Ceci suggère que cette phase de progression se soit déroulée à ciel ouvert.

2.3 Creusements

A partir de ce niveau de référence, des creusements plus profonds s'ouvrent dans le substrat ferrugineux en place (photo 44, fig. 20). Les comblements correspondants ne montrent pas d'interruption stratigraphique avec les remblais sus-jacents.

L'une de ces excavations entaille le socle ferrugineux selon un axe est-ouest et occupe toute la partie nord du sondage, qui se poursuit en pointe triangulaire, pour atteindre comme nous l'avons vu à cet endroit près de 3 m de profondeur. La pente sud-nord du creusement montre que celui-ci se poursuit dans cette direction, vers le rebord du plateau.

Un second creusement, à l'est, prend la forme d'une sorte de cavité pénétrant vers l'ouest dans la masse ferrugineuse. Sa partie la plus profonde est au voisinage de 2,00 m sous le niveau d'humus. Le raccordement entre les deux zones prend l'allure d'une tête minérale, dont l'extrémité se trouve au point C. C'est dans le secteur que l'on rencontre des traces d'outils bien marquées.

Le flanc sud se trouve entamé par une troisième série de creusements, dans laquelle on trouve de nombreux blocs ocres de 2 à 7 cm de longueur, dans une couche venant au contact avec le substrat ferrugineux. Les plus gros blocs se trouvent à 2-3 cm du substrat.

2.4 Quantifications – ressources disponibles

Dans ce dernier creusement deux évaluations des quantités de matière minéralisée ont été réalisées.

La première comprend le démontage de la petite banquette (fig.20). On compte une masse m_1 de 3,210 kg de blocs ferrugineux pour un volume $V_1 = 0,3 \times 0,40 \times 0,25 \text{ m}^3 = 0,030 \text{ m}^3$, soit une concentration potentielle en blocs ferrugineux **$c_1 = 110 \text{ kg / m}^3$ de terre.**

Dans la second cas on compte une masse m_2 de 3,930 kg de blocs ferrugineux pour un volume $V_2 = 0,4 \times 0,1 \times 0,5 \text{ m}^3 = 0,020 \text{ m}^3$, soit une concentration **$c_2 = 200 \text{ kg / m}^3$ de terre.**

Tels qu'ils apparaissent, il s'agit de blocs qui ont été abandonnés sur place, sans doute en raison de l'aspect pas suffisamment engageant de ceux-ci, qui semblent recéler une teneur trop aléatoire et souvent trop faible en fer. Ces données peuvent cependant donner une orientation quand à la densité en blocs disponibles dans une zone proche, en toute logique, d'un secteur mieux minéralisé.

Enfin, sur l'ensemble de la fouille manuelle des comblements du sondage S300, on a pu collecter une masse **$m = 60 \text{ kg}$** de blocs présentant réellement l'aspect de minerai exploitable.

2.5 Test de vérification de la nature du minerai

Plusieurs tests ont été réalisés à la pioche pour reconnaître l'aspect du minerai exploité à cet endroit. Force est de constater la faible richesse des matières ferrugineuses extraite dans le substrat résistant subsistant.

Le banc se délite en petites masses verdâtres à ocre, majoritairement argileuses, qui s'accompagnent de blocs ocre, centimétriques à décimétriques, auxquels adhère fortement l'argile (photo 45). Les proportions en hydroxydes de fer ne paraissent pas bien grandes par rapport à celles des blocs collectés régulièrement dans les remblais des sondages S101, S106, S122.

Curieusement le délitement naturel des masses prélevées donne lieu à un sédiment d'allure homogène ne ressemblant plus du tout à l'aspect du socle ferrugineux d'origine. Il devient notamment granuleux à pulvérulent, ou même sableux, si l'on continue à le broyer. Ceci pourrait expliquer l'aspect des masses de remblais sus-jacentes. Celles-ci ont pu subir en outre d'autres métamorphoses à partir du moment où elles ont été soumises à l'oxydation de l'air ambiant et aux intempéries.

Les formations ferrugineuses observées doivent donc être considérées comme seulement résiduelles. Elles ne sont pas vraiment représentatives du minerai de bonne qualité sans doute disponible dans la mine. L'observation des terrassements pour la construction des maisons du lotissement (de même que l'observation en fouille en S101 et les explorations à la tarière forestière) montre que dans les coupes de terrain les couches argileuses verdâtre se situent pratiquement à chaque fois à la base des formations ferrugineuses.

On est donc enclin à penser que les mineurs ont extrait l'essentiel des filons ferrugineux présents en S300. Seuls apparaissent aujourd'hui la base de ces formations et l'on perçoit la limite à partir de laquelle les mineurs choisissaient de conserver ou non les blocs ferrugineux pour leur usage métallurgique.

2.6 Traces d'outils

La fouille des excavations qui entament le substrat ferrugineux fait apparaître des traces d'outils plus particulièrement évidentes au niveau de la zone qui encadre une tête de substrat ferrugineux, sorte de dièdre résultant de la jonction entre deux secteurs de creusement (photo 46). Les traces d'enlèvement de matière, laissant de petites cavités oblongues sur les parois sont les plus nombreuses. Elles prennent souvent une forme en 'goutte d'eau', avec une extrémité supérieure plus étroite que la partie inférieure qui tend à s'évaser (en particulier au voisinage de la banquette). Il semble qu'il s'agisse à nouveau du travail d'un pic plutôt que celui d'un outil tel qu'une pelle. Peut-être y a-t-il utilisation de plusieurs outils conjointement. L'interprétation de cet aspect demande un examen plus poussé. Des traces très anguleuses occupent le revers nord de la 'tête' de substrat ferrugineux mentionnée. On distingue des sillons quasi verticaux et de larges encoches de forme pyramidale. Les sillons étroits évoquent à nouveau très fortement l'utilisation de pics à cet emplacement. Certains sillons partent de la partie supérieure de la paroi, d'autres débutent à mi-paroi et atteignent la rupture de pente très marquée à la base de la paroi, située au niveau d'un changement de teinte et d'aspect du substrat, qui prend une coloration verdâtre. Une chronologie relative entre encoches et sillons pourrait sans doute être mise en évidence.

Un relevé au feutre sur support translucide a été effectué en liaison avec la couverture photographique (photo 47).

2.7 Mobilier

Une petite série de galets de grès et autres roches gréseuses présente un aspect particulier. Outre la représentativité étonnante de ces galets dans ce secteur où les pierres sont globalement assez rares, leurs dimensions, les rendent aptes à la préhension. On note la présence d'enlèvements ou de fractures ne semblant pas dus à la gélifraction et rappelant par certains aspects ceux d'outils préhistoriques.

L'ensemble de ces indices oriente vers une utilisation possible de ces blocs comme outils propres à l'extraction minière ou au broyage du minerai.

Sur une bonne partie des exemplaires les traces d'impact ou de taille ne sont pas bien assurées ou inhabituels. L'ensemble du mobilier collecté demande à être examiné de plus près, avec des critères proches de ceux utilisés pour le matériel lithique.

Dans la mesure où il s'agit bien d'outils, et par suite de l'existence des traces de pic bien nettes, ne provenant visiblement pas de ces roches, il est envisagé que ces pierres aient pu être sélectionnées (voire peut-être même amenées) pour servir d'outil complémentaire, assez opportuniste, à l'utilisation des pics métalliques.

2.5 Attribution chronologique

Malgré l'absence de mobilier datant, la présence récurrente des poches de sédiment rouge, semblables à celles reconnues dans d'autres secteurs, et dont l'association avec de la céramique tournée a été démontré à deux reprises, de même que l'absence de sol de transition avec le substrat ferrugineux, indiquent qu'au moins une part des creusements (sinon la totalité d'entre eux) et leur comblement pourraient être attribués à la période 2 de fonctionnement du site.

IV.

ANALYSES

1. ANALYSES CHIMIQUES

Deux analyses chimiques ont été réalisées au CRPG de Nancy en liaison avec l'UMR 5060 et l'UMR 6566 à partir d'éléments collectés dans le sondage S101 lors de l'opération de 2006 (fig. 21).

La première (référence 2450) porte sur un bloc de minerai compact de 390 g, mis au jour dans les niveaux inférieurs de remblais miniers ocre plus ou moins sableux de l'excavation n°1, en contrebas de la banquette E-W (côté ouest) de S101 (fig.21, Min 1A). La seconde concerne une coulure provenant du culot de scorie piégée n°1, trouvé dans les remblais de l'excavation n°1, dont l'analyse C14 fournit une date calibrée comprise entre 760 et 520 av. J.-C (fig.21, Sc 1B).

1.1. Echantillon de minerai

Sa teneur en oxyde de fer est de 67,31 % (Fe_2O_3), soit 47 % en fer métal. Cette forte teneur confirme son utilisation potentielle comme minerai de fer destiné à une réduction en bas fourneau.

La teneur en silice (SiO_2) ne représente que 13 % environ de l'échantillon et la teneur en alumine (Al_2O_3) n'est que de 5,5 %.

Sa perte au feu est élevée (13,85 %). Si on prenait en compte la libération de l'eau au cours du cheminement du bloc de minerai dans le bas fourneau lors de sa réduction, et que l'on raisonnait sur la matière sèche, cela porterait la teneur en fer métal potentiellement accessible à près de 77 %.

Ref Echantillon	Bois Jacob S101		As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	
2450	BJ 1A	minerai	30,4	114	34,24	0,2	0,446	126,7	7,102	106	7,183	13,24	17,42	
2451	BJ 1B	scorie	1,867	106,2	25,34	0,202	0,578	83,65	2,516	157,7	1,178	8,354	13,64	
			Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Ge ppm	Hf ppm	Ho ppm	In ppm	La ppm	Lu ppm	Mo ppm	
2450	BJ 1A	minerai	10,09	3,554	7,584	15,09	3,689	6,049	3,404	0,394	57,07	1,7	1,647	
2451	BJ 1B	scorie	8,718	2,953	6,343	13,43	2,014	8,597	2,827	0,469	28,75	1,7	1,44	
			Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sm ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	
2450	BJ 1A	minerai	3,321	60,7	24,85	6,3577	15,93	14,13	1,103	16,08	1,32	70,29	0,342	
2451	BJ 1B	scorie	4,625	51,18	19,1	3,1124	11,86	8,738	0,361	13,66	1,062	47,38	0,41	
			Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm		
2450	BJ 1A	minerai	2,901	7,908	1,591	7,172	134,5	0,707	65,38	11,21	46,86	248,6		
2451	BJ 1B	scorie	2,223	10,74	1,441	4,818	184,9	0,953	76,6	10,21	20,9	451		
			SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	MnO %	MgO %	CaO %	Na2O %	K2O %	TiO2 %	P2O5 %	PF %	Total %
2450	BJ 1A	minerai	12,96	5,50	67,31	0,03	0,02	L.D.	<	0,14	0,19	0,52	13,85	100,53
2451	BJ 1B	scorie	19,24	3,84	80,91	0,20	0,16	0,45	L.D.	0,21	0,24	1,01	-6,75	99,51

fig. 21 : Analyse de la composition chimique d'un bloc de minerai et d'une scorie collectés dans le sondage S101 (opération 2006).

La fouille ne livrant pratiquement aucun bloc de minerai grillé associé aux scories piégées, il paraît très probable que l'opération de ' grillage ', au cours de laquelle une grande partie de l'eau est évacuée, n'ait pas été mise en œuvre pour cette métallurgie du Hallstatt. L'évacuation de l'eau interstitielle ou cristalline ne constitue pas un obstacle à sa réduction. Des essais de broyage pour expérimentation montrent que le caractère fortement pisolitique des blocs rend leur désagrégation facile, contrairement à d'autres échantillons du secteur Haute-Bretagne, et que, de fait, l'opération de ' grillage ' n'est pas ici une étape ni déterminante, ni forcément utile.

Concernant les éléments majeurs, le calcium est absent et la teneur en oxyde de magnésium (MgO) n'est que de 0.02 %. De même le sodium est absent et l'oxyde de potassium (K₂O) n'existe qu'en très faible quantité.

Le manganèse est très faiblement représenté (0,03 % en MnO). Comme souvent sur l'ensemble du secteur la teneur en titane n'est pas négligeable (0,19 % en TiO₂). Seule la teneur en phosphore (0,52 % en P₂O₅) est un peu plus notoire.

Concernant les éléments traces, la somme des teneurs s'élève à 965,01 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 Patrifér Jean-Jacques Chauvel, Vivet et Chauvel, 2003).

Ainsi qu'il a été déjà constaté localement (sur le massif de Paimpont) la teneur locale en chrome (Cr) est assez élevée (106 ppm) de même que celle en zirconium Zr (248.6 ppm).

La teneur en arsenic (As) de l'échantillon est faible par comparaison avec celle 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). Cet élément est donc susceptible de fournir une caractéristique discriminante locale, en particulier si, malgré sa volatilité, il est encore présent dans les scories.

La teneur totale en Terres rares du minerai est élevée (282,28 ppm), contrairement aux valeurs jusqu'ici enregistrées pour les minerais crus analysés sur Paimpont lors des précédentes opérations archéologiques. Cette valeur élevée est en partie due à une présence importante de cérium (126,7 ppm en Ce). Par suite, la teneur en Terres rares se situe à hauteur des valeurs obtenues pour les minerais de couche (271,1 ppm) et donc significativement plus haut que la valeur moyenne des minerais superficiels de Bretagne centrale (91,4 ppm).

1.2. Echantillon de scorie

La scorie analysée comporte une très forte teneur en fer (80,91 % en Fe₂O₃, soit près de 57 % en fer métal, illustrant la tendance naturelle, pour ces minerais non calciques, à former de la fayalite, et laissant supposer, par suite, une difficulté intrinsèque à obtenir une ségrégation très poussée du métal.

Même si les teneurs dans la scorie en CaO, MgO, K₂O, s'avèrent comparativement un peu plus élevées que celles observées dans le minerai précédent, elles restent à un faible niveau et peuvent s'expliquer par l'apport des cendres en sels minéraux. La teneur en sodium reste en dessous du seuil de détection.

De même que pour le minerai on note des teneurs non négligeables en TiO₂ (0,24 %) et en P₂O₅ (1,01%). La teneur en manganèse est un peu plus forte que précédemment (0,20 %) tout en restant très modeste.

La teneur peu élevée de la scorie en éléments traces (407,59 ppm), tend à la rapprocher des minerais superficiels et à l'éloigner des minerais de couche de la région.

On note à nouveau une teneur assez élevée en chrome (157,7 ppm) et en zirconium (451 ppm). La teneur en arsenic (As) est à nouveau très faible (1,87 ppm).

Concernant l'ensemble des autres éléments chimiques, les valeurs enregistrées présentent une bonne concordance avec celles fournies par le minerai. Cette absence de disparité flagrante conduit à penser que le minerai présent sur place a très certainement généré la scorie piégée trouvée sur place (culot n°1) et a donc servi à produire le métal in situ. Une multiplication des analyses permettrait de démontrer plus sûrement cette filiation, mais pour l'instant on n'observe pas d'incompatibilité évidente.

Les données d'analyses chimiques sont encore peu nombreuses sur le massif de Paimpont. Elles demandent à être complétées de manière à approfondir ce type d'étude et mieux asseoir les comparaisons régionales et locales dégagées par cette première interprétation rapide.

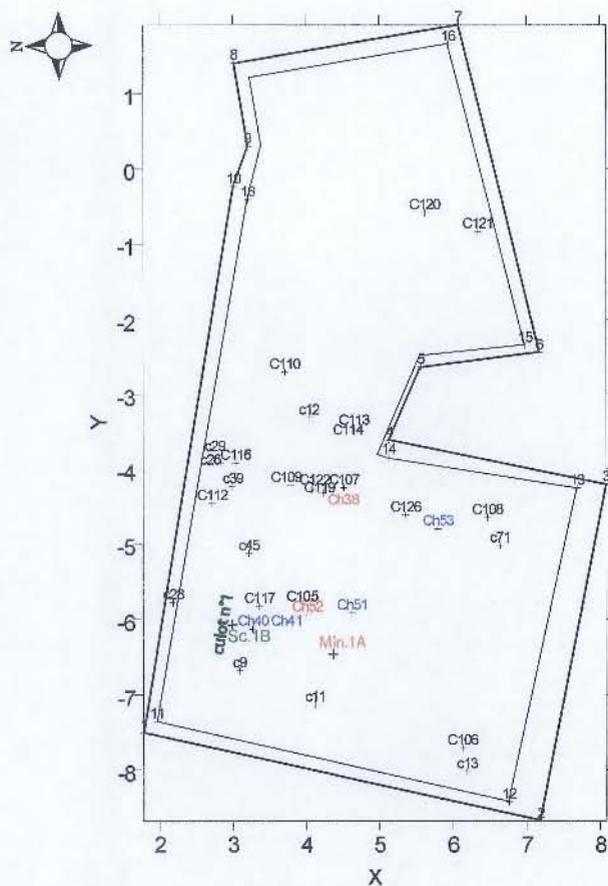


Fig. 21: Sondage S101. Position des charbons de bois (Ch), des tessons de céramiques (c), des échantillons de minerai (Min. 1A) et de scorie (Sc. 1B). Datations C14: Ch.38 et Ch.52.

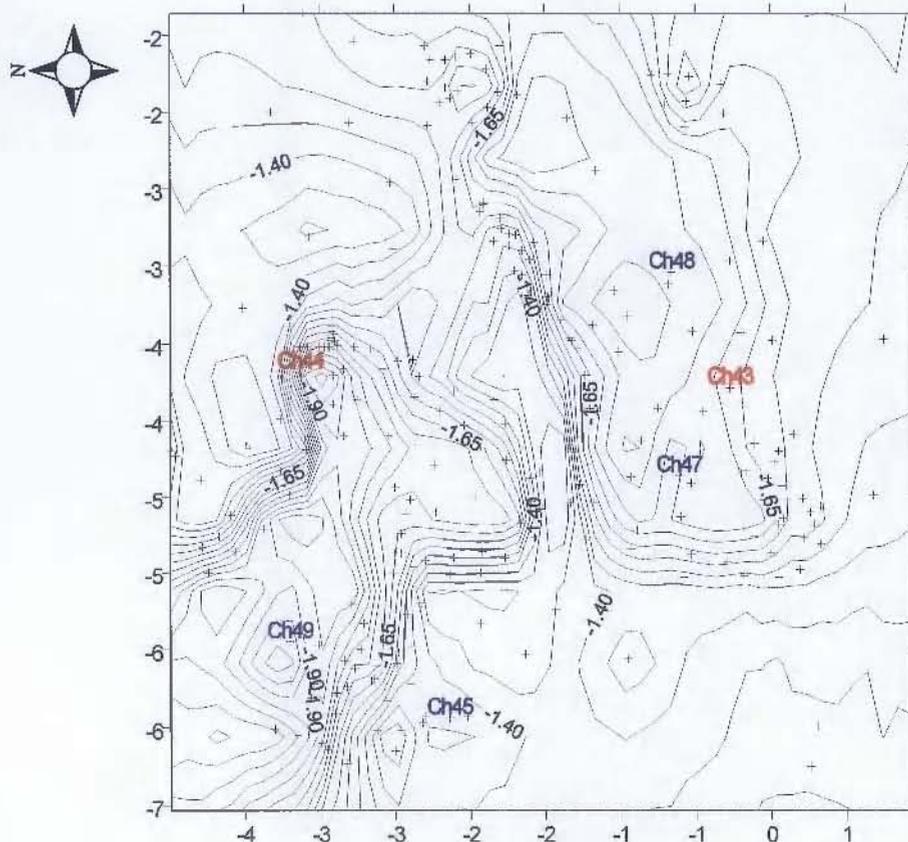


Fig. 22 : Sondage S106. Position des charbons de bois (Ch) mis au jour. Datations C14: Ch.43 et Ch.44.

2. ANALYSES RADIOCARBONE

Comme souvent dans le cas des sites miniers, l'attribution chronologique des différentes phases de fonctionnement, notamment celles intéressant les travaux d'extraction, est difficile à établir du fait de la rareté des découvertes d'éléments datants. C'est aussi vrai dans le cas du site du Bois Jacob, malgré la découverte de quelques éléments de céramique, qui fournissent malgré tout des indications de chronologie relative, au demeurant trop succinctes du fait de l'absence de forme vraiment identifiable.

Pour tenter de résoudre cette question, on a donc eu recours à une série de 6 nouvelles datations C14 réalisées les laboratoires de Beta Analytic (Floride) et par ceux de l'Université de Laval (Québec) sur des charbons de bois choisis en fonction de leur position stratigraphique et de leur localisation précise (fig. 21 et 22).

2. 1. Sondage S101

a) Datation UL-3236, Ch.38

Les charbons qui ont servi à cette datation ont été collectés dans la banquette centrale est-ouest du sondage S101 de 2006, au sein d'un sédiment jaune orangé situé immédiatement au dessus d'un grand niveau gris, à 40 cm au-dessus du pied de la banquette. Le lot est de 30 charbons environ dont 10 de taille centimétrique, pour une masse de 40 g. Il s'agissait de tenter de dater la phase de comblement en sédiments hétérogènes marquée notamment par la présence dans la pente d'une grande poche de sédiments souvent grisâtre, inclinée du nord au sud, recelant à différentes profondeurs une série de tessons dont certains sont de teinte gris-clair et sont tournés (c108 à c118 et c122, comprenant un fond de pot c115, fig. 9, n°2). Le tesson le plus proche (c107), également présent dans la banquette, se situe pratiquement à la même profondeur, légèrement plus à l'est. Sa pâte est bien cuite et assez serrée, de couleur pastel marron-rosé à l'extérieur, beige sombre à l'intérieur. Son âme est grise avec présence de quartz et de petits micas comme dégraissant. Il remonte avec le tesson c119 également proche, mais présent en dessous de ce dernier (26 cm plus bas). Le remontage montre que la poterie est tournée. Le tesson gris clair c122 est situé environ 40 cm en dessous des charbons analysés. Le fond de pot c115 est situé environ 25 cm plus bas que ces derniers. C108, situé tout au sud, est 60 cm en dessous, pratiquement au fond de l'excavation n°1.



UNIVERSITÉ
LAVAL

Laboratoire de datation au ^{14}C
Centre d'études nordiques
Québec, QC, Canada

CERTIFICAT de DATATION au ^{14}C

Numéro de la datation: UL-3236

Numéro de l'échantillon : Ch.38

Type de matériel: charbon

Pré-traitement (s): HCl 5%, NaOH 1% et HCl 5%

Lieu de prélèvement : Bois Jacob

Client (e) : M. Jean-Bernard Vivet
7 chemin des Guettes
35430 Saint-Suliac FRANCE

ACTIVITÉ ^{14}C : 0,747 +/- 0,00620

ÂGE ^{14}C : 2340 +/- 70 BP

Temps de comptage: 2700 minutes

Masse de carbone comptée: 2,9161 g

Les âges sont non-corrigés et calculés selon la demi-vie de Libby (5568 ans).

Guillaume Labrecque

Guillaume Labrecque, technicien

pour Patrick Lajeunesse (directeur du laboratoire)

Le 28 avril 2008

RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM*

CALIB REV5.0.2

Copyright 1986-2005 M Stuiver and PJ Reimer

*To be used in conjunction with:

Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215-230.

Annotated results (text) - -

Export file - c14res.csv

UL-3236

Radiocarbon Age 2370 +/- 70 BP (âge corrigé)

Calibration data set: intcal04.14c

Reimer et al. 2004

% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal BC 730- 692	0.135
	659- 652	0.022
	543- 384	0.843
95.4 (2 sigma)	cal BC 761- 682	0.153
	671- 356	0.809
	285- 252	0.027
	250- 234	0.011

References for calibration datasets:

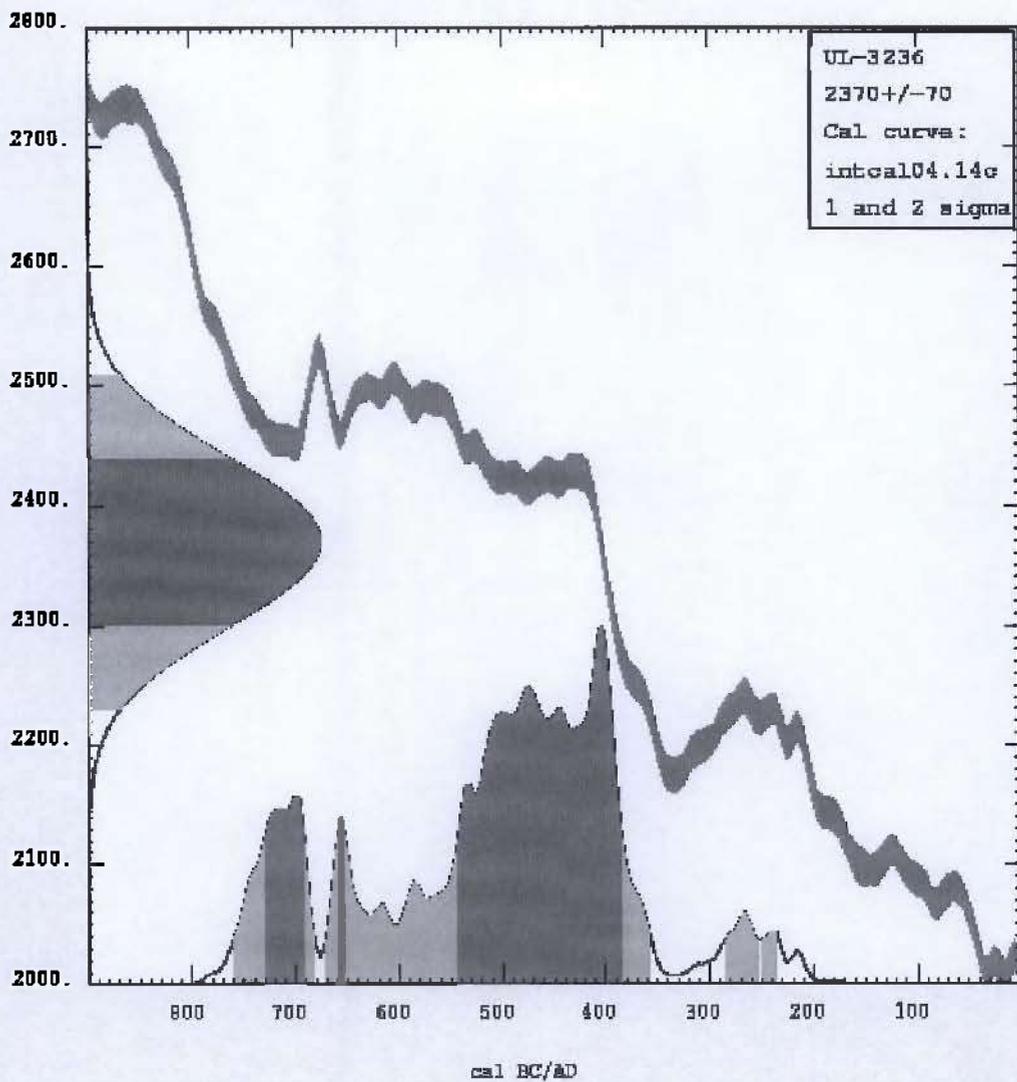
PJ Reimer, MGL Baillie, E Bard, A Bayliss, JW Beck, C Bertrand, PG Blackwell,
CE Buck, G Burr, KB Cutler, PE Damon, RL Edwards, RG Fairbanks, M
Friedrich,
TP Guilderson, KA Hughen, B Kromer, FG McCormac, S Manning, C Bronk Ramsey,
RW Reimer, S Remmele, JR Southon, M Stuiver, S Talamo, FW Taylor,
J van der Plicht, and CE Weyhenmeyer (2004), Radiocarbon 46:1029-1058.

Comments:

* This standard deviation (error) includes a lab error multiplier.
 ** 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2)
 ** 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2)
 where ^2 = quantity squared.
 [] = calibrated range impinges on end of calibration data set
 0* represents a "negative" age BP
 1955* or 1960* denote influence of nuclear testing C-14

NOTE: Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



La datation obtenue à 2 sigma (95,4 % probabilité) couvre essentiellement une période allant de **671 à 356 av. J.-C.** Les résultats à 1 sigma (68,3 % de probabilité) ne couvrent essentiellement que la période comprise entre **543 et 384 av. J.-C.**

Ces datations renvoient donc à l'âge du Fer, et intéressent une période allant du Hallstatt aux premières phases de La Tène ancienne.

Ces valeurs n'étant visiblement pas en corrélation avec le type de céramique majoritairement rencontré dans ces niveaux, on est en droit de penser que les charbons analysés concerne plus la métallurgie, très précoce ainsi qu'on l'a vu, plutôt que le caractère domestique habituellement lié aux poteries. Il n'est pas impossible qu'il s'agisse encore de charbons liés au culot n°1, situé 2,35 m plus à l'ouest (115 kg), ou liés aux culots situés immédiatement en dessous, 45 cm plus bas (fragments de culot n°3 et 4, de 107 et 32 kg respectivement). Le mobilier métallurgique, constitué de fragments de scories piégées, avec extrémité en forme de goutte, et de fragments de parois de four, quoiqu'en quantité assez modeste, est régulièrement présent dans tous les niveaux de comblement évoqués.

En ce sens, le cotoiement de ces deux entités non contemporaines atteste que ce sont bien les mineurs de la seconde période qui ont démoli les niveaux d'activité de réduction du Hallstatt ou de La Tène ancienne, et qui sont venus combler les excavations reconnues au fur et à mesure de leur progression.

b) Datation ULA-608, Ch.52. (AMS)

Les charbons Ch.52 proviennent d'une couche argileuse charbonneuse proche de la zone d'attaque par les mineurs du reliquat de substrat ferrugineux RBF2 observée en 2006 et 2007 (côté est). Ils sont issus d'un prélèvement en masse (2770 g) de sédiment qui comptait deux morceaux de minerai de taille assez importante (360 g en tout). Ils ne sont pas très éloignés du culot n°1, mais se situent à 21 cm sous le niveau où reposait la scorie piégée, qui comportait un lit de charbons de bois, bien délimité, de 5 à 10 cm sous et autour de la scorie.

RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM*
CALIB REV5.0.2

Copyright 1986-2005 M Stuiver and PJ Reimer

*To be used in conjunction with:

Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215-230.

Annotated results (text) - -

Export file - c14res.csv

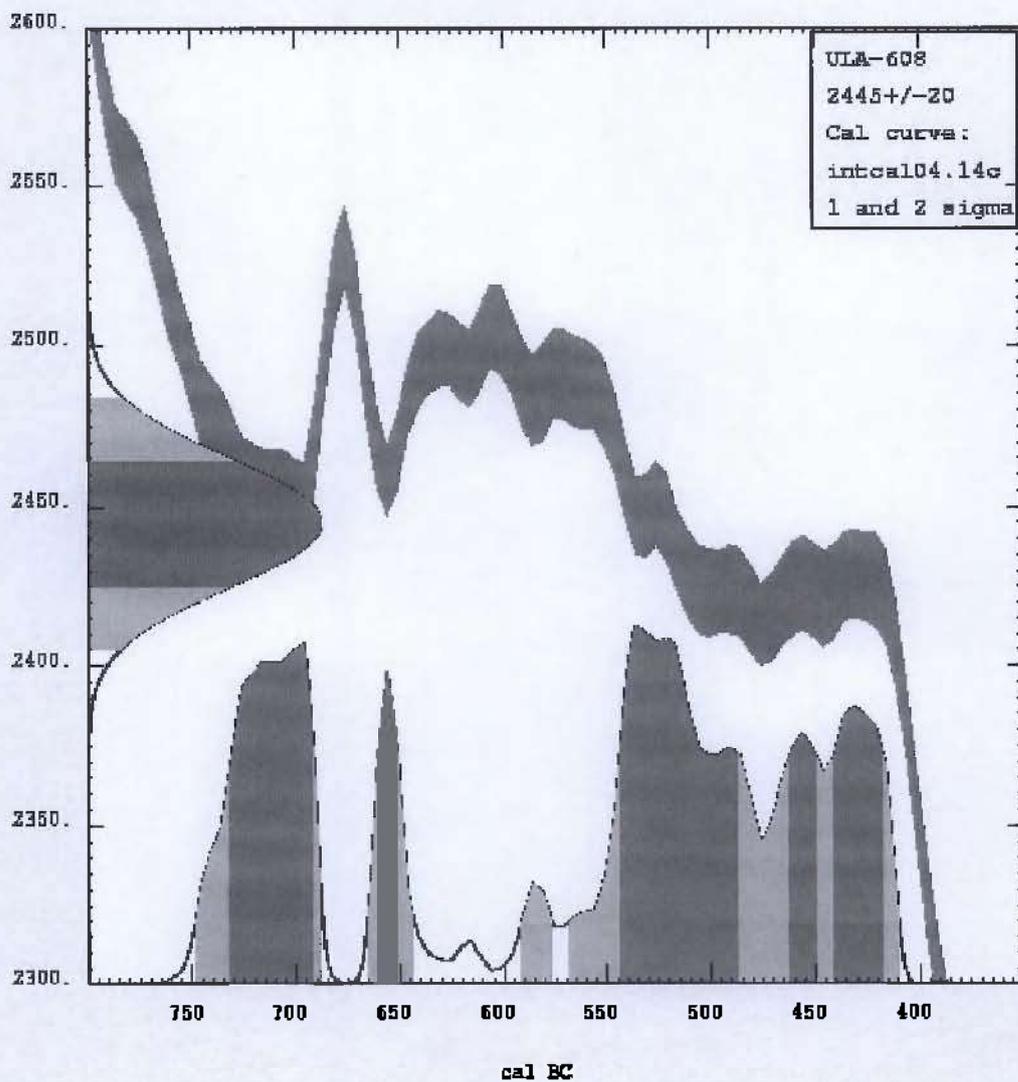
ULA-608
UCIAMS-47801

Radiocarbon Age 2445 +/- 20 BP

Calibration data set: intcal04.14c # Reimer et al. 2004
% area enclosed cal AD age ranges relative area under
probability distribution

68.3 (1 sigma)	cal BC 731- 691	0.307
	660- 651	0.066
	544- 486	0.400
	462- 450	0.077
	441- 417	0.150
95.4 (2 sigma)	cal BC 749- 687	0.270
	666- 643	0.075
	592- 577	0.023
	568- 410	0.632

Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



Les datations obtenues se situent de nouveau à l'âge du Fer : valeur à 2 sigma comprise entre **568 et 410 av. J.-C.**, et valeur à 1 sigma dans l'intervalle **544 à 486 av. J.-C.**, conduisant au Hallstatt ou au début de La Tène ancienne. Les valeurs à 2 sigma, fournies par Université de Laval, pour ces deux datations sont donc concordantes entre elles, et également en bonne corrélation avec celle fournie par Beta Analytic pour les charbons de bois prisonniers de la scorie piégée voisine (culot n°1).

Là encore on peut penser que les charbons en question proviennent des opérations de réduction de la 1^{ère} période d'activité.

2.2. Sondage S106

a) Datation ULA-609, Ch.43 (AMS)

Les 6 charbons collectés, ont été trouvés isolément dans une argile un peu plus brune et meuble, située au fond de l'excavation n°3, juste au dessus de la couche d'argile compacte et plastique figurant le substrat ferrugineux, à 1 m du front d'attaque vertical nord (puits n°3 possible). Ils représentent une masse totale d'un peu moins de 15 g. L'un d'eux comportait environ 10 cernes.

Compte tenu de la rareté des résidus métallurgiques rencontrés dans l'environnement immédiat, ces charbons sont susceptibles de fournir une datation de l'extraction minière elle-même. Dans le cas d'une progression souterraine, on peut aussi évoquer la nécessité de s'éclairer à l'aide de torche par exemple.

RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM*
CALIB REV5.0.2

Copyright 1986-2005 M Stuiver and PJ Reimer

*To be used in conjunction with:

Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215-230.

Annotated results (text) - -

Export file - c14res.csv

UCIAMS-47290 ULA-609

Radiocarbon Age 2445 +/- 25 BP (âge déjà calibré)

Calibration data set: intcal04.14c

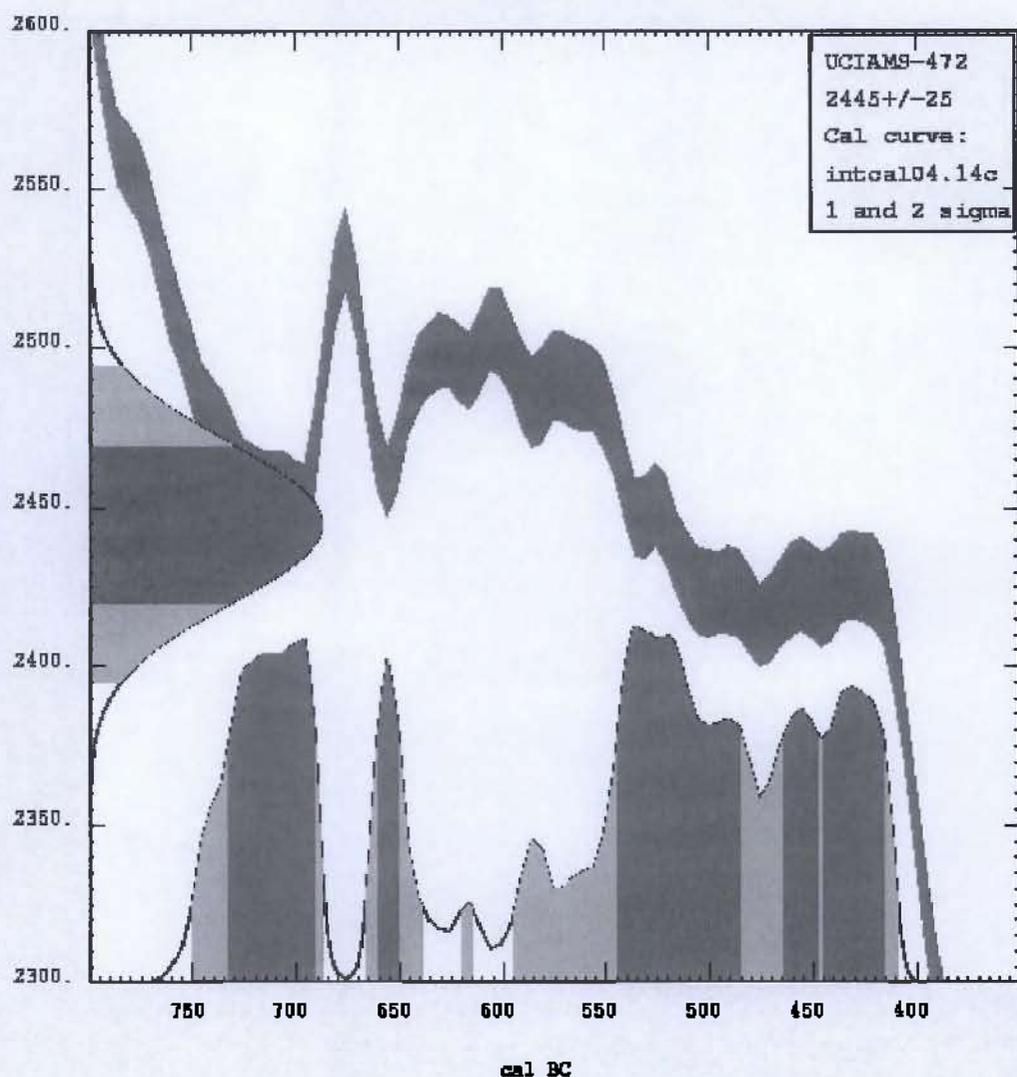
Reimer et al. 2004

area enclosed	cal AD age ranges	relative area under Probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal BC 732- 691	0.284
	661- 650	0.062
	544- 484	0.388
	464- 447	0.095
	444- 416	0.172
95.4 (2 sigma)	cal BC 751- 686	0.257
	667- 638	0.084
	619- 615	0.006
	594- 409	0.653

References for calibration datasets:

PJ Reimer, MGL Baillie, E Bard, A Bayliss, JW Beck, C Bertrand, PG Blackwell, CE Buck, G Burr, KB Cutler, PE Damon, RL Edwards, RG Fairbanks, M Friedrich, TP Guilderson, KA Hughen, B Kromer, FG McCormac, S Manning, C Bronk Ramsey, RW Reimer, S Remmele, JR Southon, M Stuiver, S Talamo, FW Taylor, J van der Plicht, and CE Weyhenmeyer (2004), Radiocarbon 46:1029-1058.

Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



La datation calibrée à 2 sigma se situe entre **594 et 409 av. J.-C.**, et celle donnée à 1 sigma entre **544 et 484 av. J.-C.**

Ces valeurs sont à nouveau très proches des résultats précédents. Elles tendent à conforter sérieusement la présence des métallurgistes et/ou des mineurs au Hallstatt ou au début de La Tène ancienne. Elle est en bonne corrélation avec la datation du culot n°1 du sondage S101 et celle du culot issu des travaux de terrassement du lotissement du roi Arthur sous-jacent.

b) Datation 241727, Ch.44 (AMS)

Compte tenu du sédiment adhérent aux 25 petits charbons collectés (masse totale = 12 g), on ne dispose en réalité que d'environ 3 g de matière carbonée. L'intérêt des charbons en question réside dans leur position au sein de la couche beige venant en contact du fond d'un petit diverticule d'extraction ou petite cavité d'exploration s'enfonçant profondément et en oblique dans le substrat naturel, à partir de la zone de communication entre la galerie n°4 et son accès très probable ('puits' n°4). Les résidus métallurgiques de ces niveaux sont rares. On note juste dans l'environnement immédiat la présence d'un petit bloc d'argile cuite pouvant provenir d'un fragment de paroi de four.

		BETA ANALYTIC INC.		UNIVERSITY BRANCH 4985 S.W. 74 COURT MIAMI, FLORIDA, USA 33155 PH: 305/667-5167 FAX: 305/663-0964 E-MAIL: beta@radiocarbon.com	
REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES				Report Date: 3/24/2008	
Mr. Jean-Bernard Vivet				Material Received: 2/26/2008	
Sample Data	Measured Radiocarbon Age	13C/12C Ratio	Conventional Radiocarbon Age(*)		
Beta - 241726 SAMPLE : JBV8PMPBJMif ANALYSIS : AMS-Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (charred material): acid/alkali/acid 2 SIGMA CALIBRATION : Cal AD 1640 to 1700 (Cal BP 310 to 260) AND Cal AD 1720 to 1820 (Cal BP 220 to 140) Cal AD 1920 to 1950 (Cal BP 30 to 0)	200 +/- 40 BP	-24.8 o/oo	200 +/- 40 BP		
Beta - 241727 SAMPLE : JBV9PMPBJc44/S106 ANALYSIS : AMS-Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (charred material): acid/alkali/acid 2 SIGMA CALIBRATION : Cal BC 810 to 750 (Cal BP 2760 to 2700) AND Cal BC 680 to 670 (Cal BP 2630 to 2620) Cal BC 610 to 600 (Cal BP 2560 to 2560)	2610 +/- 40 BP	-27.0 o/oo	2580 +/- 40 BP		

CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-27;lab. mult=1)

Laboratory number: **Beta-241727**

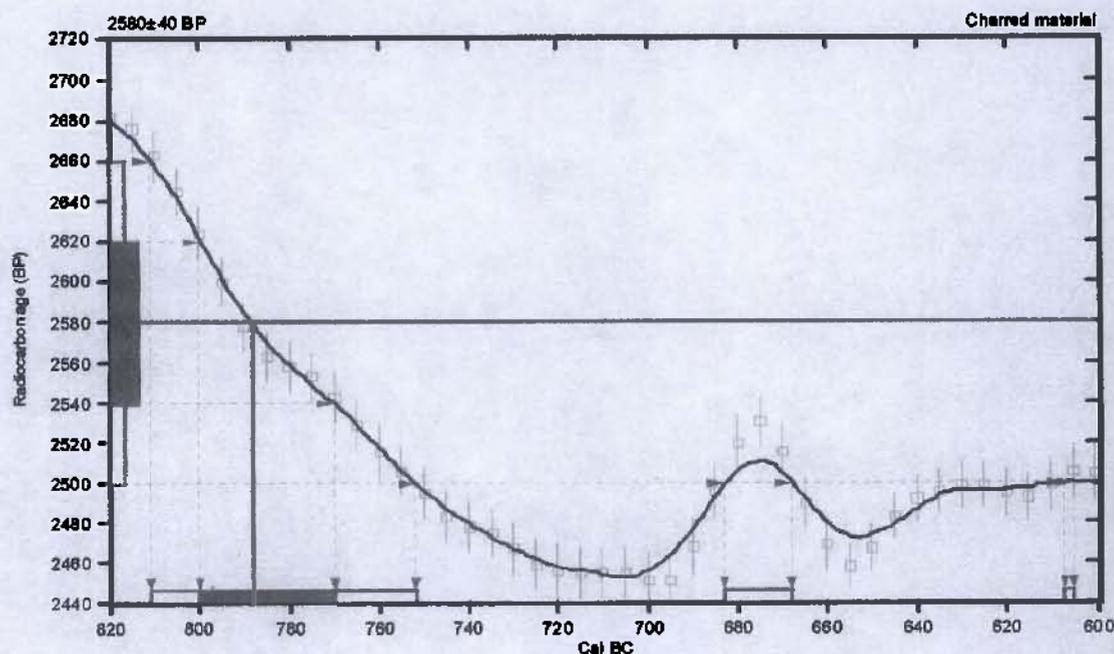
Conventional radiocarbon age: **2580±40 BP**

**2 Sigma calibrated results: Cal BC 810 to 750 (Cal BP 2760 to 2700) and
(95% probability) Cal BC 680 to 670 (Cal BP 2630 to 2620) and
Cal BC 610 to 600 (Cal BP 2560 to 2560)**

Intercept data

Intercept of radiocarbon age
with calibration curve: **Cal BC 790 (Cal BP 2740)**

**1 Sigma calibrated result: Cal BC 800 to 770 (Cal BP 2750 to 2720)
(68% probability)**



References:

Database used

INTCAL04

Calibration Database

INTCAL04 Radiocarbon Age Calibration

IntCal04: Calibration Issue of Radiocarbon (Volume 46, nr 3, 2004).

Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2), p317-322

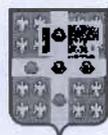
Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

La datation calibrée obtenue à 2 sigma comporte trois périodes situées entre 810 et 600 av. J.-C. La première période (810 à 750 av. J.-C), également fournie par la valeur à 1 sigma (800 à 770 av. J.-C) est très haute. Elle ne semble pas compatible avec la métallurgie du fer, même la plus précoce. Les deux périodes suivantes fournies par la datation à 2 sigma concernent les périodes comprises respectivement entre 680 et 670 av. J.-C., et 610 à 600 av. J.-C. Ce dernier intervalle paraît seul compatible avec les deux datations précédentes. Ce dernier point pourrait peut-être resserrer la chronologie de la première période d'activité métallurgique et probablement minière, sous toutes réserves (compte tenu du nombre au demeurant assez réduit de dates calibrées disponibles statistiquement), autour de la transition VIIème- VIème siècle av. J.-C.

2.3. Sondage S104 – Datation Ch.32 UL-3235

Cette datation visait à déterminer la date de fonctionnement d'un bas fourneau démantelé et rejeté dans les remblais, mais dont les vestiges étaient suffisamment concentrés pour qu'on puisse l'interpréter comme tel (opération 2007). Les charbons de bois collectés adhéraient encore à certaines scories et parois de four, laissant supposer leur association presque certaine.



UNIVERSITÉ
LAVAL

Laboratoire de datation au ^{14}C
Centre d'études nordiques
Québec, QC, Canada

CERTIFICAT de DATATION au ^{14}C

Numéro de la datation: UL-3235

Numéro de l'échantillon : Ch.32

Type de matériel: charbon

Pré-traitement (s): HCl 5%, NaOH 1% et HCl 5%

Lieu de prélèvement : Bois Jacob

Client (e) : M. Jean-Bernard Vivet
7 chemin des Guettes
35430 Saint-Suliac FRANCE

ACTIVITÉ ^{14}C : 0,712 +/- 0,00595

ÂGE ^{14}C : 2730 +/- 70 BP

Temps de comptage: 2700 minutes

Masse de carbone comptée: 2,9970 g

Les âges sont non-corrigés et calculés selon la demi-vie de Libby (5568 ans).

Guillaume Labrecque

Guillaume Labrecque, technicien

pour Patrick Lajeunesse (directeur du laboratoire)

Le 28 avril 2008

RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM*

CALIB REV5.0.2

Copyright 1986-2005 M Stuiver and PJ Reimer

*To be used in conjunction with:

Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215-230.

Annotated results (text) - -

Export file - c14res.csv

UL-3235

Radiocarbon Age 2760 +/- 70 BP (âge corrigé)

Calibration data set: intcal04.14c

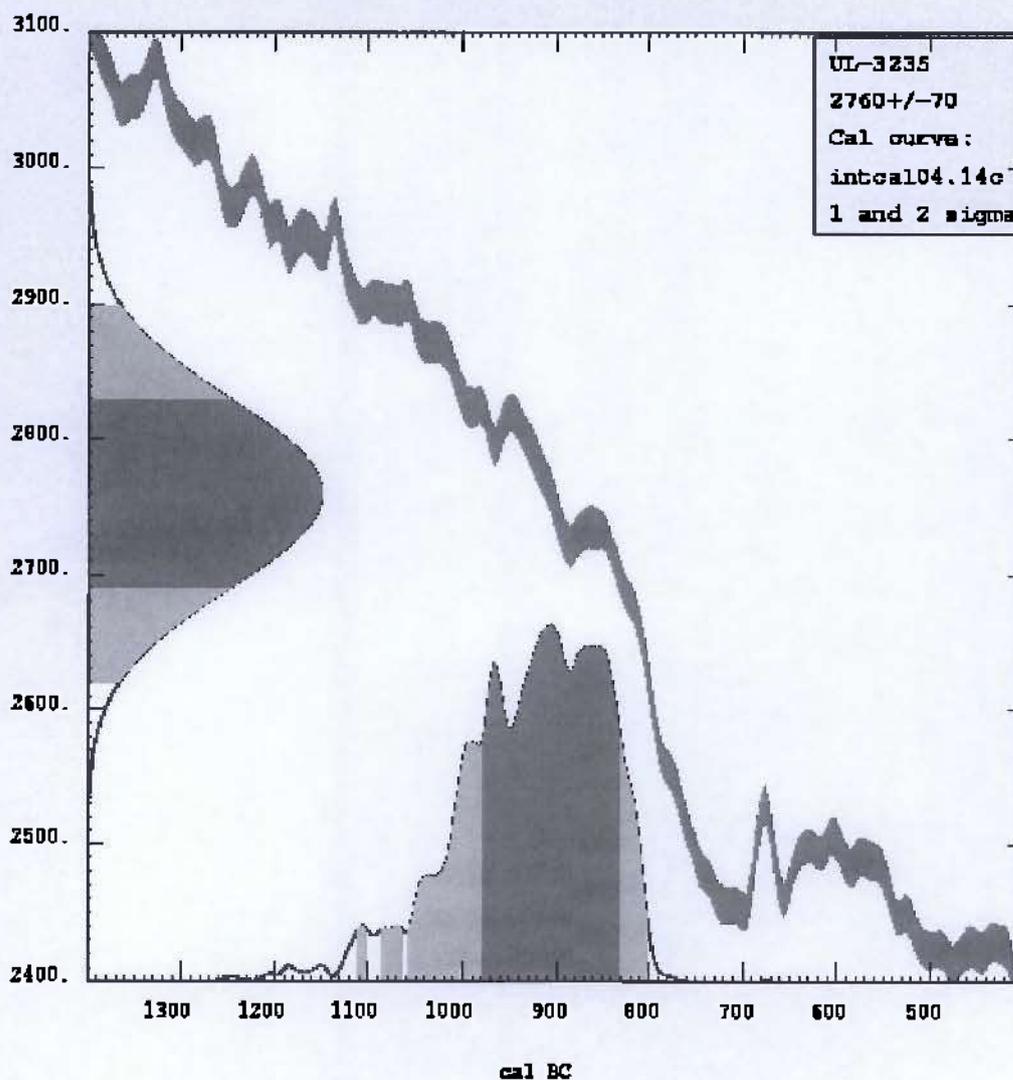
% area enclosed cal AD age ranges

Reimer et al. 2004

relative area under
probability distribution

68.3 (1 sigma)	cal BC 978- 831	1.000
95.4 (2 sigma)	cal BC 1112- 1101	0.009
	1086- 1063	0.019
	1058- 800	0.972

Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



La datation calibrée, obtenue à 2 sigma fournit l'intervalle de dates **1058 à 800 av. J.-C.**, celle à 1 sigma entre **978 et 831 av. J.-C.** Les valeurs les plus basses recourent la période la plus ancienne de la datation précédente. Mais comme on l'a vu ces datations très hautes sont étonnantes et difficiles à interpréter. Ainsi qu'on le sait la méthode d'analyse radiocarbone date la mort de l'arbre. Il paraît quelque peu surprenant que les métallurgistes aient pu réutiliser pour leur réduction du charbon fait à partir d'un arbre mort depuis 120 ans dans le meilleur des cas, et sans doute plutôt 200 ans (si l'on s'en tient à l'interprétation chronologique précédente). Malgré tout on peut évoquer le fait que les métallurgistes de ces périodes utilisaient très probablement des troncs d'arbres et de grosses branches, ainsi que les analyses anthracologiques réalisées par Dominique Marguerie (UMR 6566) ont pu le mettre en évidence sur le site de réduction du Rocher Abraham en St Pierre de Plesguen à La Tène moyenne (Vivet, 2001 et 2007) et poser la question des zones mortes adhérant encore à de grands arbres, ayant une très longue existence. L'étude anthracologique des charbons en question et l'analyse pollinique du sédiment qui les contenait pourraient peut-être apporter des éléments de réponse.

2.4. Sondage M1

Les résultats d'analyse des charbons issus du puits dont la forme supérieure, en entonnoir, était encore visible en surface, ont été fournis et décrits dans le rapport d'opération 2007. Pour résumer, ils ont permis d'avancer qu'il s'agissait selon toute probabilité d'un puits d'exploration, destiné à la recherche de minerai, pratiqué autour de 1660-1680 de notre ère dans les remblais de la seconde période. Ces travaux, qui n'ont pas été couronnés de succès à cet emplacement, étant donné que le minerai avait déjà été prélevé par les mineurs anciens ou antiques, coïncident avec la création des grandes forges de Paimpont par les sieurs d'Andigné et Farcy (à partir de 1653).

2.5. Conclusion

Les opérations métallurgiques de réduction étant celles qui sont le plus susceptibles de générer une importante quantité de charbon de bois, on constate (mais cela était en partie attendu) que les datations fournissent une information concernant la première période, et sans doute plus spécifiquement la métallurgie, dont tout porte à croire qu'elle a pu s'établir en surface au cours d'une première phase de fonctionnement située au Hallstatt ou/et au cours de la première phase (A) de La Tène ancienne. Ces niveaux d'activité métallurgique ont été ensuite démantelés par les travaux miniers de la seconde période, non formellement datés, réalisés à ciel ouvert.

Par rebond en quelque sorte, ces datations incitent à voir dans l'extraction en 'puits' et 'chambres' et 'galerie' reconnue, des témoins d'extraction minière remontant à la même période, soit parce que les charbons collectés sont directement liés aux besoins de cette activité (éclairage) soit parce qu'il paraît logique que la métallurgie implantée en surface se soit approvisionnée à partir du minerai sous-jacent présent en quantité très abondante. La bonne concordance entre les compositions du minerai et de la scorie, précisée précédemment va également dans ce sens.

De même on note que la zone de bas fourneaux disparaît brusquement sur le rebord supérieur du plateau, là où le gîte ferrifère s'interrompt également.

Malgré tout il convient de garder cette dernière attribution chronologique de témoins de travaux miniers précoces à l'état de simple hypothèse seulement, du fait que le caractère souterrain de l'exploitation n'est pas totalement avéré, et du fait des problèmes d'interprétation stratigraphique rencontrés.

Les données collectées au cours des 3 campagnes réalisées au Bois Jacob, et les résultats des datations radiocarbone en cours doivent être reprises de façon globale et décryptées progressivement afin de lever les nombreuses interrogations que soulève la fouille, et tenter de donner une réponse vraiment satisfaisante à cette dernière question.

V.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1. Premières conclusions

Au travers des opérations de 2006, 2007 et 2008, la fouille programmée du Bois Jacob a montré l'existence d'une activité métallurgique remontant au Hallstatt ou/et au début de La Tène ancienne. Il est envisagé que certains témoins d'extraction minière en 'puits' et 'chambres' ou 'galeries' (fig.23), puissent être contemporains de cette période (voir les 4 datations radiocarbone de charbons dans les remblais, par exemple), mais cela reste pour l'instant loin d'être prouvé. Une seconde période d'activité, encore mal datée, est à l'origine des grands bouleversements du coteau observés (sur plus de 100 m de longueur et 30 m de large).

Grâce aux sondages réalisés au niveau de la rupture de pente du coteau montrant le contact entre le gîte ferrifère et le substrat limoneux non ferreux, il est possible de proposer une valeur très probable de la puissance de la formation renfermant le minerai de fer. Celle-ci se situerait au voisinage de 3 m.

L'observation des strates résiduelles du gîte ferrifère a également pu être réalisée, permettant d'approcher l'aspect du minerai disponible. Les analyses chimiques précisent sa composition et ne montrent pas d'incompatibilité majeure avec les scories piégées trouvées sur place.

Les travaux de la période 2, réalisés au moins en grande partie à ciel ouvert, ont démontés les niveaux sur lesquels ont été installés les premiers bas fourneaux à scorie piégée, dont on retrouve les témoins indirects. Le culot de scorie n°1 et les charbons de bois de l'excavation n°1 appartiennent à la période 1 (Hallstatt/La Tène ancienne). Ils sont mêlés à du mobilier plus récent (tessons gris clair tournés. Le comblement de cette excavation date donc de la période 2.

D'autres éléments, appartenant à des appareils fonctionnant avec écoulement de scorie hors du four, eux aussi démantelés, accompagnent cette seconde période d'activité, permettant d'explorer une période métallurgique et une technique de réduction à scories coulées denses, jusqu'ici mal renseignées dans le secteur. Dans le sondage S120 les remblais orangés recouvrent les sédiments sombres associables à cette métallurgie, indiquant une poursuite de l'activité minière contemporaine ou postérieure.

Une dernière phase, visible au sol, sous la forme de trois excavations en entonnoir pratiquées dans les remblais miniers anciens, est attribuable à une recherche minière de la période contemporaine, vraisemblablement liée à la création des Forges de Paimpont par d'Andigné et de Farcy vers 1653 (datation C14).

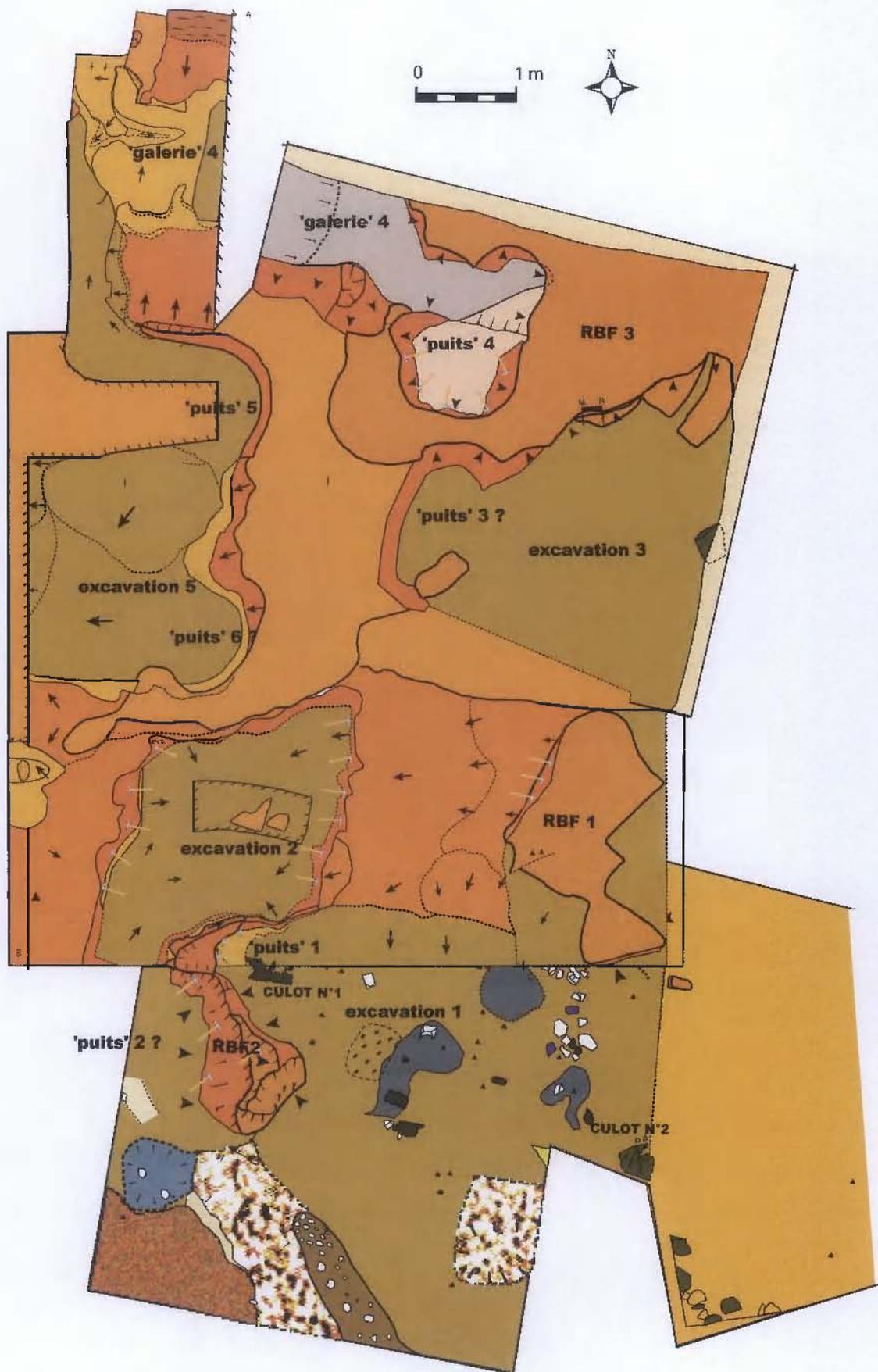


Fig. 23 : plan d'ensemble des sondages S101, S105, S106, S120, S121, S122 - niveaux inférieurs.

2. Hypothèses et discussion

L'ensemble des opérations réalisées de 2006 à 2008 montre soulève un certain nombre de problématiques d'ordre chronologique et technique qui ne peuvent être levées sans une étude de synthèse plus approfondie et l'obtention de datations absolues complémentaires.

Les lignes qui suivent offrent quelques éléments de discussion et d'observation susceptibles d'enrichir la réflexion.

2.1 Travail souterrain ou à ciel ouvert ?

Les observations faites au cours de ces deux années soulèvent la question du mode d'exploitation employé par les mineurs. Les découvertes réalisées inciteraient à émettre l'hypothèse d'une exploitation minière première en puits et chambres ou galeries, suivie d'une exploitation seconde à ciel ouvert, venant en quelque sorte décapiter et démolir les puits anciens. Cependant, dans l'état actuel de l'étude, le travail souterrain n'est pas formellement établi.

a) arguments en faveur d'un travail souterrain.

Plusieurs arguments plaident en faveur d'une première phase de travail minier en milieu souterrain, avec puits d'accès et vraisemblablement chambres ou galeries :

- La forme cylindrique de certains creusements,
- l'espace très réduit laissé aux mineurs dans les excavations,
- la fragilité et la faible largeur des reliquats de substrat ferrugineux subsistant encore verticalement,
- l'obliquité des traces de coups de pics encore visibles dans le substrat,
- la comparaison avec des témoins semblables mis au jour sur le site minier des Petites Rouilles à la Bazoge (72) lors des fouilles préventives réalisées sur le parcours de l'autoroute A28 près du Mans (Langlois, 1999, Dunikowski, Cabboï et alii., 1998 et 2001 ; CD A28, 1999). Dans l'exploitation du 1^{er} niveau ferrugineux en galerie simple, sans étaie, le fond d'un puits attribué à l'époque gauloise, présente des traces d'outils d'aspect tout à fait semblable à celui rencontré au Bois Jacob. La vue générale des creusements de la mine des Petites Rouilles montre aussi des lambeaux résiduels dans les couches ferrugineuses exploitées.

- les culots de scorie piégée ont été retrouvés à différentes profondeurs dans les remblais de la seconde période, y compris en surface du sol humique actuel. Dans certains cas, on pourrait envisager que la présence de culots dans des niveaux profonds puisse s'expliquer par un rebouchage partiel de puits dès la 1^{ère} période (Hallstatt ou à La Tène ancienne). C'est le cas notamment de la scorie n°1, de 56 cm de diamètre et 113 kg, découvert en 2006. Sa position était quelque peu particulière : sa virole reposait sur la tranche. On note également une concentration des scories tout autour du culot, ainsi que la présence de fragments de parois de four et de charbons de bois. Il n'est pas impossible que certains des charbons de bois contemporains situés dans le même sondage, qui ont fait l'objet d'une datation soient liés à celle-ci. La conservation de gouttelettes allongées, fragiles, sur le corps de la scorie de même que celle des charbons de bois à son contact, s'expliquerait difficilement en présence d'une exposition aux actions météorologiques et à de multiples manipulations. Ils plaident pour un enfouissement rapide. Suite à la campagne de fouille de 2008, on s'aperçoit que l'emplacement de la scorie s'inscrit dans le périmètre semi-circulaire attribuable aux vestiges possibles d'un 'puits' (n°1), comportant de nombreuses marques de pics. Malgré tout il faudrait considérer que le culot n°1 résulte d'un rejet isolé, sachant que les remblais de l'excavation n°1 en relation avec le 'puits n°1' contiennent des tessons d'une poterie gris clair tournée appartenant à priori à la période 2. En tout état de cause les comblements qui environnent le culot n°1 sont complexes et demandent à être étudiés à nouveau.

b) arguments en contradiction avec un travail souterrain.

La profondeur atteinte par les excavations, telle qu'elle nous apparaît aujourd'hui semble relativement modeste. Les excavations se situent entre 1,50 m et 2,50 m par rapport au niveau d'humus actuel. Jusqu'à présent aucun puits vertical s'ouvrant à partir du sol actuel n'a été reconnu, hormis celui pratiqué au cours de la période moderne pour recherche de minerai, mentionné précédemment.

On peut bien sûr objecter que les structures reconnues puissent correspondre à la partie inférieure de travaux miniers souterrains qui ont été tronqués par le décaissement général de la période 2.

L'examen de la stratigraphie n'est cependant pas en faveur d'une telle interprétation. Le travail souterrain induit bien souvent un colmatage des zones explorées au fur et à mesure de la progression. Ces déplacements de sédiments sont susceptibles de créer une discrimination marquée dans la nature des remblais, entre ceux qui seraient souterrains et ceux qui sont liés à l'exploitation extensive à ciel ouvert. A aucun moment de la fouille, ce type de discontinuité n'a été constaté de manière flagrante. Un exemple particulièrement frappant nous est fourni par le sondage S300, dans lequel les coupes font état d'une homogénéité des remblais impressionnante.

Il faudrait alors supposer que l'on ait évacué les sédiments des 'chambres' ou 'galeries' au fur et à mesure de leur exploitation et que celles-ci étaient vides lors du décaissement général, au moins en ce qui concerne celles qui ont été fouillées.

Un autre élément de réflexion est fourni par la mise au jour dans le sondage S122 en particulier de moellons de substrat dans le comblement situé au niveau du haut des parois des excavations. On aurait pu s'attendre au contraire de les retrouver au fond des excavations dans le cas où les travaux à ciel ouvert entameraient des 'chambres' ou 'galeries' vides. Ce n'est le cas que dans le sondage S121. Ou alors il faut considérer que les mineurs de la période 2 se sont empressés de

comblent ces excavations anciennes au fur et à mesure de leur découverte, pensant qu'il n'y avait plus rien à extraire à cet endroit. Les prélèvements ultérieurs de substrat ferrugineux pourraient alors se retrouver en surface de ces comblements.

Toujours dans le cas du sondage S122, les relevés et la fouille montrent que les contours des excavations n°2 et n°5 se dessinaient déjà en grande partie dans la couche de sédiment ocre formant une sorte de niveau de piétinement de 20 cm environ sur le substrat ferrugineux en particulier. Par suite le creusement de ces excavations de façon postérieure et à partir du niveau de décaissement général de la période 2 doit être sérieusement envisagé.

D'une manière générale les comblements ne montrent pas de stratigraphie en forme de courbes de concavité de plus en plus accentuée à mesure que l'on dirige vers le bas, telles que l'on peut les rencontrer classiquement dans des structures en creux se comblant progressivement. On décèle juste la présence de poches de remblais jetées selon des axes obliques, qui partent souvent bien au-dessus du rebord des excavations.

2.2. Phasage de l'activité minière

Compte tenu des questions soulevées précédemment l'établissement de phases à l'intérieur des grandes périodes mentionnées pourrait se décliner de différentes manières :

- a) Exploitation minière en puits et galeries au cours de la première période (hallstatt/La Tène ancienne), puis exploitation à ciel ouvert au cours de la période 2, venant tronquer les travaux anciens
- b) Exploitation minière à ciel ouvert en période 1 dans l'emprise de la fouille, tronquée par l'exploitation à ciel ouvert de la période 2, auquel cas la première phase pourrait avoir totalement disparu.
- c) Exploitation minière en puits et galeries au cours de la première période (hallstatt/La Tène ancienne) ou à ciel ouvert hors de l'emprise fouillée, par exemple dans l'emprise du lotissement.
- d) Première phase d'exploitation minière en puits et galeries au cours de la période 2, non formellement datée, suivie d'une deuxième phase à ciel ouvert au cours de cette même période, venant tronquer les travaux récents.
- e) Première phase d'exploitation minière à ciel ouvert au cours de la période 2, suivie d'une deuxième phase à ciel ouvert au cours de cette même période.
- f) Exploitation minière à ciel ouvert de grande ampleur au cours de la période 2, comportant de manière contemporaine, des creusements plus spécifiques à certains endroits, avec une contrainte possible due aux volumineuses haldes limitant l'emprise de ces explorations ou extractions complémentaires et obligeant à travailler de manière plus verticale, ou voire en mode semi-enterré.

Toutes ses possibilités demandent à être examinées soigneusement une à une, afin de dégager la solution la plus cohérente possible. Des solutions croisées ou plus complexes sont même envisageables.

Ainsi qu'on l'a évoqué il y a une troisième période d'activité correspondant selon toutes probabilités à une exploration pour recherche de minerai au XVII^e siècle.

Un autre élément d'appréciation nous est fourni par l'ouverture quadrangulaire observée en 2007 dans le sondage S107, comblée d'un sédiment homogène jaune safran. Cette forme spécifique pourrait suggérer l'existence de travaux miniers appartenant à une période différente, telle que l'époque gallo-romaine pour laquelle on recense la plupart du temps des ouvertures présentant cet aspect (Domergue, 2008).

Cependant, l'excavation verticale observée a été pratiquée dans le sédiment de remblai de la seconde période. Si les datations montrent qu'elle correspond au Moyen Age, cette hypothèse ne serait pas recevable.

En tout état de cause, ce puits quadrangulaire est soit contemporain de la période 2, auquel cas il pourrait correspondre à une phase d'activité différenciée, soit postérieur à la période 2, par exemple pour une recherche de minerai.

Sa présence reste assez inexplicée dans l'état actuel des opérations. En effet, il a été comblé avec un sédiment limoneux de teinte jaune safran, complètement différent du remblai orangé meuble et granuleux constituant l'encaissant. Ce type de sédiment pourrait correspondre à une variante de l'argile appartenant au substrat naturel (présent sur l'ensemble du Massif de Paimpont), qui peut passer rapidement d'un aspect très blanc et très fin à un sédiment mêlé d'ocre, plus plastique.

Des scories (26 éléments) mises au jour dans le comblement de la minière M1, située à moins de 15 m du sondage S122, présentent la typologie de **scories en plaquettes** et pourraient, par suite, bien appartenir à l'époque gallo-romaine (Vivet, 1997 et 2008).

2.3 traces d'outils

En première approche les empreintes laissées dans le sédiment relativement tendre du banc ferrugineux fournissent d'ores et déjà des informations essentielles concernant le type d'outils et la gestuelle :

- Plusieurs traces, particulièrement nettes, de l'extrémité extrêmement pointue d'un outil, observées en 2007, comportaient de deux faces planes latérales se faisant face, laissant ainsi une empreinte de section pratiquement rectangulaire. Cet aspect conduit à écarter des outils tels que des bois de cerf et à postuler l'utilisation d'un instrument à percussion lancée de type pic. Les indications fournies par les observations de 2008 sont en accord avec cette première interprétation.
- Les traces s'évasent ensuite vers le bas, indiquant par là que les coups sont portés de haut en bas.
- Une majorité d'entre eux, plus ou moins obliques, présentent une orientation allant du haut à droite vers le bas à gauche. Ce geste semble assez naturel pour un droitier.

L'utilisation de pic de fer est généralement plutôt consacrée à l'abattage de minerai ou roche d'offrant pas une résistance trop élevée, roche tendre et friable (Domergue, 2008).

Des exemples d'utilisation de ce type d'outil existent pour les périodes reculées, mais ils sont peu nombreux. L'existence de pics en fer est bien avérée à l'époque gallo-romaine (un exemplaire bien conservé est présenté par exemple au Musée de Vaisons-la-Romaine). Son utilisation dans le contexte minier est également attestée par la mise au jour de pic-marteau et pic simple dans le village de mineurs de La Loba, Cordoue, et de pic à brique comportant un tranchant horizontal à l'opposé de la pointe, à La Loba également (Blazquez et al., 2002) Il existe une représentation d'un pic bien reconnaissable sur une monnaie de bronze du Cerro del Plomo, mine El Centenillo (Musée archéologique de Jaén) toujours dans le monde ibéro-romain (Domergue, 1969). Un pic à 4 pans découvert à Kamareza dans le célèbre secteur minier de Laurion en Grèce, fournit un exemple bien conservé de ce type d'outil (Weisberger, 1985). Les mines de plomb et d'argent du Laurion ont fonctionné du VI^{ème} siècle av. J.-C. jusqu'au 1^{er} siècle de notre ère.

Une tablette d'argile corinthienne montre des mineurs grecs au travail, utilisant un pic emmanché symétrique (peu pointu au demeurant) et des paniers (Derry et Williams, p. 123)

Les exemples de pics métalliques bien datés archéologiquement pour la période du 1^{er} âge du Fer qui nous intéresse sont donc malgré tout très rares, même durant la période grecque classique dans le monde méditerranéen.

L'utilisation d'outils en fer est avérée à partir du VI^{ème} – V^{ème} siècle av. J.-C., mais là encore les outils manquent. Elle est attestée de manière indirecte par l'identification de travaux effectués à la pointerolle dans la mine d'Hagios Sostis (île grecque de Siphnos) et entre le VI^{ème} et IV^{ème} siècle dans les mines d'or de Kinyra et de l'Acropole dans l'île grecque de Thasos.

On note également que deux outils en bronze ont été découverts dans le site exceptionnel de Timna en Israël qui compte plus de 9000 puits, appartenant pour la plupart à la période égyptienne du site (13^{ème} et 12^{ème} siècle av. J ; -C. et l'on mentionnera bien sûr la découverte bien connue d'un pic en bronze emmanché, très bien conservé, grâce au contexte spécifique que constitue la mine de sel du site éponyme de Hallstatt.

Dans le cas où certains des travaux miniers mis au jour sur le site du Bois Jacob remonteraient à ces périodes reculées, l'observation et le relevé des traces d'outils seraient susceptibles d'alimenter les connaissances portant sur l'outillage et les techniques minières mises en place au début de l'âge du Fer dans le monde occidental. Ces données n'en restent pas moins très intéressantes s'il s'avérait qu'ils appartiennent à la période 2.

Ainsi qu'on l'a vu, la forme des outils (notamment des pics) est pérenne. Les traces qu'ils laissent dans le substrat ne constituent pas dans l'état actuel de la question un élément de datation intrinsèque.

2.4. Utilisation probable d'outils de pierre

Au cours des trois campagnes de fouille, on a pu constater l'existence de blocs de grès présentant un aspect inhabituel parmi les pierres, au demeurant peu nombreuses, des remblais venus combler les différentes excavations.

Il s'agit pour l'essentiel de blocs de grès d'une quinzaine de centimètre de longueur, de forme souvent arrondie, présentant pour certains, une bonne tenue en main, et comportant des stigmates pouvant être de nature anthropique (photo 50).

La forme très arrondie de certains blocs, qui contraste avec l'aspect anguleux des blocs naturellement présent sur place, suggère que ces derniers puissent correspondre à des concrétions dans la masse du grès formant une sorte de nodule ou de noyau. Leur relative rareté dans le secteur, laisse à penser qu'ils ont fait l'objet d'un choix spécifique sur place, ou qu'ils ont été apportés.

Quels blocs montrent des détachements de nature anthropique assurée. Pour d'autres, les stigmates sont moins nets. Pour donner une image, ils évoquent par moments ceux d'outils préhistoriques très précoces du type chopping-tool. Afin de progresser dans l'interprétation de ces éventuels outils, et compte tenu de la difficulté à apprécier les traces d'impact éventuelles, de même que la variété d'aspect qu'il peuvent présenter, il est prévu de les examiner individuellement avec le regard que l'on porte habituellement en archéologie au mobilier lithique, avec l'aide de spécialistes de ces périodes reculées.

Ces éléments incitent à envisager l'utilisation d'outils en pierre sans doute assez opportunistes, en complément aux pics de percussion métalliques.



Photo 50 : blocs de grès particuliers pouvant avoir servi d'outils aux mineurs.

2.5. emprise du site – zone d'activité métallurgique du Hallstatt / La Tène ancienne.

L'extension du site vers l'est, en direction du talweg de la parcelle voisine (propriété de Mr Roux, a été constatée cette année.

L'extrême adhérence de l'argile ocre aux blocs de minerai découverts pose la question de leur lavage. Le talweg observable aujourd'hui recueille les ruissellements à l'occasion de fortes pluies. On peut se demander quels ont été les besoins en eau pour le débouage du minerai à toutes les époques. Il est possible que les mineurs aient utilisé le ruisseau de la Moutte en contrebas du lotissement et de la route de Paimpont à Plélan-le-Grand, alimenté par l'étang de Paimpont (qui ne présentait pas la même physionomie qu'aujourd'hui, en l'absence de barrage). Ils ont également pu aménager le talweg en question et son aspect actuel pourrait justement résulter de ces actions (et de l'exploitation en carrière plus tardive).

L'absence de réponse magnétique dans le secteur situé sur le rebord de plateau au dessus du Bois Jacob constitue une information tout à fait essentielle pour la compréhension du site. Celle-ci paraît donc bien limiter l'emprise de la zone d'activité métallurgique vers le nord.

De même, on constate l'absence de scories piégées dans la partie nord de fouille centrale, en contraste avec toute la partie médiane et sud (sondages S106, S101, S105).

Les scories ne sont pratiquement plus présentes dans les sondages S200 et S300, situés à l'ouest de la zone centrale. Il en est de même des sondages encore plus éloignés vers l'ouest S102 et S103 de 2006 (avec néanmoins un peu plus éléments en S103). Les découvertes en surface ou à faible profondeur (15-20 cm) sont par contre nombreuses dans toute la partie est du site.

On est donc amené à conclure que l'essentiel de l'activité métallurgique de la période 1 se situait dans la partie centre-est à est de la parcelle communale du Bois Jacob, et plutôt dans les deux-tiers sud de celle-ci.

La découverte de scories nombreuses et de parois de four dans le sondage S110 de 2007, et leur présence en grand nombre dans les terres de terrassement du lotissement donnent à penser que l'implantation de l'activité métallurgique (et voire minière) pouvait occuper une bonne partie du flanc nord et nord est du lotissement. Les mineurs ont peut-être été attirés au départ par des affleurements de strates ferrugineuses apparaissant sur le flanc ouest du talweg.

3. PERSPECTIVES

L'opération de fouille programmée du Bois Jacob a révélé l'existence d'une mine de fer très ancienne ou antique unique en Bretagne, comprenant trois périodes d'activités majeures. Seule la dernière activité a pu être attribuée formellement (exploration pour recherche de minerai à la fin du XVII^{ème}). On constate, manifestement, que les mineurs ont su identifier à différentes époques l'existence de minerai de fer à cet endroit, en partie sans doute grâce à l'observation de travaux miniers antérieurs (seconde et troisième période).

L'exploration du site du Bois Jacob atteste de façon inédite l'existence de ressources en minerai de fer au Hallstatt/La Tène ancienne à l'emplacement même d'une zone production de fer en bas fourneau. Elle permet d'aborder pour la première fois la question de l'approvisionnement en matière première des bas fourneaux du 1^{er} âge du Fer. Ces appareils de réduction du minerai de fer se comptent par centaines, et probablement par milliers dans la seule Haute-Bretagne (plus de 350 sites attestés, sachant par ailleurs qu'un certain nombre de ceux-ci comptent deux ou plus appareils de réduction). Les résultats des prospections thématiques menées ces dernières années conduisent à penser que la majorité d'entre eux est sans doute attribuable à La Tène moyenne.

La question est, néanmoins, loin d'être résolue. La fouille du Bois Jacob suggère que la réduction du minerai de fer se fait sur le site même d'extraction au Hallstatt. Par contre ce n'est pas le cas des sites de La Tène ancienne de Quévert-Taden (La Ville Pierre II en Quévert et ceux qui entourent le Bois du Parc (Vivet et *alii*, 2003), ni des sites, très majoritaires en nombre, de La Tène moyenne (L'Étang du Perray, Le Rocher Abraham, Les Glyorels I, II, III, pour ne citer que ceux qui ont été fouillés). Ceux-ci ne surmontent pas ou ne jouxtent pas de gîtes ferrifères, même s'ils n'en sont potentiellement éloignés que de quelques kilomètres. On constate d'ailleurs, dans l'état actuel de la question dans le secteur, qu'il en est de même pour les périodes suivantes (époque gallo-romaine, moyen Age, et période industrielle).

Le Bois Jacob se prête donc d'ores et déjà à une comparaison fructueuse à la fois sur l'aspect minier et sur la métallurgie précoce, avec le site des Petites Rouilles en La Bazoge (72).

Du point des techniques d'exploitation minières, le traitement des six relevés sur film transparent des traces d'outils et des deux moulages en silicone, accompagnés d'une couverture photographique, permettrait d'aborder de façon plus précise les questions de méthode et d'outillage adoptés par les mineurs, rendant possible des comparaisons avec d'autres sites de même nature.

L'analyse minéralogique et chimique des minerais et scories, conduite de manière plus approfondie et plus systématique permettrait quant à elle, de rendre compte plus complètement de la qualité du minerai disponible sur place, et comprendre, dans le cadre des chaînes opératoires, les choix qui ont déterminés les extractions minières, en liaison avec les techniques métallurgiques employées.

L'exploration des axes longitudinal (parallèle au rebord du coteau) et transversal (fil de la pente) qui a été conduite a permis d'appréhender l'ampleur de ces activités minières et métallurgiques. Au besoin, elle pourrait être poursuivie de façon localisée pour répondre à certaines des interrogations soulevées précédemment.

Le site du Bois Jacob livre des témoins de deux procédés de réduction du minerai de fer. Le premier, attribuable à la période du Hallstatt/La Tène ancienne, s'est traduit par la construction de plus d'une trentaine de bas fourneaux à scorie piégée de diamètre interne compris entre 25 et 55 cm. Le second, lié à la période 2 de fonctionnement du site, non datée, laisse écouler une scorie dense à l'extérieur du four. Ce type de site est très mal connu actuellement en Haute-Bretagne.

Une petite série de scories (23 exemplaires) mis au jour dans le comblement de la 'minière' M1, présente la même typologie que celle des scories denses à grosse bulle interne, dénommée scorie en plaquette, habituellement caractéristique de la période gallo-romaine (Vivet, 1997, 2007 et 2008). Cette présence pose la question de l'existence d'un 3^{ème} type de production, en four pérenne à proximité du gisement. Celle-ci est pratiquement inédite (à part quelques indices) sur le massif de Paimpont. Elle pose de même la question d'une éventuelle 4^{ème} période d'activité, s'il s'avérait comme certains éléments de céramique semblent le suggérer, que la période 2 correspondent au moyen Age. A moins qu'il s'agisse d'une coulée dense accidentelle de la période 2 ou que les deux périodes trouvent une zone de recouvrement au haut moyen Age.

On sait que la datation et le phasage des exploitations minières sont souvent peu aisées à reconstituer. Comme on a pu le voir certaines questions ne reçoivent pas de réponse vraiment satisfaisante. Le décryptage des différentes phases d'évolution du site est une question délicate, qui demande à être poursuivie patiemment.

Un réexamen des coupes stratigraphiques et du mobilier s'impose, à la lumière également des nouvelles datations. Il permettrait d'éclairer ce volet inédit et tout à fait essentiel que représente l'activité des mines de fer très anciennes en Bretagne. Sur le plan de la métallurgie, le site du Bois Jacob constitue un témoin d'activité tout à fait majeur en ce sens qu'il atteste de façon flagrante la précocité d'une production de fer protohistorique, jusqu'ici pratiquement insoupçonnée dans les régions les plus occidentales du monde celtique.

BIBLIOGRAPHIE

Supports médiatiques

A28, 1999, L'Archéologie du fer. Découvertes paléométallurgiques sur le tracé de l'A28, CD-rom, BMultiMédia/AFAN/Cofiroute/Ministère de la Culture et de la Communication./Conseil général de la Sarthe.

ARANDA R., CHAUVEL J.-J., COLLIOU C., DILLMANN Ph., GARÇON A.-F., 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.

DERRY Thomas Kingston et Trevor Illtyd WILLIAMS, 1993, - A Short History of Technology, Dover publications, 145p.

DOMERGUE C., 2008, Les mines antiques - La production des métaux aux époques grecque et romaine, coll. Antiqua, éd. Picard, 240 p.

DUNIKOWSKI C. avec la collaboration de C. BONNIOL-JARRIER, V. DELOZE, A. GAUTHIER, M. GUTIERREZ-BERGA, V. POMMIER, N. SOUPART A28, 1998, Section Alençon-Le Mans-Tours, Rapport de fouille, commune de La Bazoge (72) - " Les Trois Couleurs ", n°7, Opération archéologique autoroute A28, Série Fouille (février 1998).

DUNIKOWSKI Christophe et CABBOI Sandra, 2001, - L'extraction du minerai de fer, la production du charbon de bois et la réduction du minerai de l'Age du Fer, de la période romaine et du haut moyen Age dans le nord de la France (les exemples du site des Clérimois, département de l'Yonne et ensemble des sites de la Sarthe), Actes del 6è Curs d'Archeologia d'Andorra, L'obtencion del ferro pel procedimiento directe entre els segles IV^e i XIX^e, p. 189 - 210.

Le Fer en Brocéliande, DVD, S.I.V.U. Forges et Métallurgie, Réalisation Mathieu Daniel, Siam Productions.

GUIMAULT Colette, 2007, - Le Bourg de Paimpont : évolution de l'espace au XIXe siècle, Bull. mém. Soc. archéol. Hist. Ille-et-Vilaine, vol. 111, pp. 123-129.

J.-Y LANGLOIS, 1998, Section Alençon-Le Mans-Tours, Rapports de fouille et Annexes, commune de La Bazoge et St Saturnin - " Les Petites Rouilles " et " Le Grand Hameau " par, n°10/11, Opération archéologique autoroute A28, Série Fouille (février 1998).

LARCHER Guy, 1990, Sites métallurgiques de la région de Paimpont, rapport (collectif) de prospection inventaire, S.R.A. Bretagne.

LARCHER Guy, 1991, Sites métallurgiques de la région de Paimpont, rapport (collectif) de prospection et fouille du site de Couédan, S.R.A. Bretagne.

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.

VIVET J-B, 1997 - Paléométaballurgie du fer à l'est de la Rance et dans le Combournais - bilan interprétatif des données de prospection, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 25, p.57-90.

CHAUVEL J-J., VIVET J-B. et BONNIOL-JARRIER C., 1999, Etude minéralogique préliminaire du mobilier paléosidérurgique dans le Nord de la Haute-Bretagne, *Les dossiers du Ce.R.A.A.*, 27, p. 87-100.

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

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

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., 2007, - La production du fer protohistorique en Haute-Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques, actes du colloque de l'A.F.E.A.F., Toulouse - mai 2004 (en cours de publication, éd. Ausonius).

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.