

13 FEV. 2004

OPERATION DE PROSPECTION THÉMATIQUE

TRECELIEN EN PAIMPONT (35) : METALLURGIE DE
REDUCTION DIRECTE DU MINERAI DE FER EN FORÊT
DE BRECELIEN, AUX XIV^e- XVI^e SIECLES.

2003

Responsable d'opération : Jean-Bernard VIVET



❖ Analyses minéralogiques et chimiques : Jean - Jacques CHAUVEL

Direction Régionale des Affaires Culturelles
Service Régional de l'Archéologie de Bretagne

Conseil Général d'Ille et Vilaine
SIVU " Forges et métallurgie en Brocéliande "

1959

OPERATION DE PROSPECTION THÉMATIQUE 1/2

—
2003
—

SONDAGE ARCHEOLOGIQUE

TRECELIEN EN PAIMPONT (35) : METALLURGIE DE
REDUCTION DIRECTE DU MINERAI DE FER EN FORÊT
DE BRECELIEN, AUX XIV^e- XVI^e SIECLES.

Responsable d'opération : Jean-Bernard VIVET

❖ **Analyses minéralogiques et chimiques : Jean - Jacques CHAUVEL**

Direction Régionale des Affaires Culturelles
Service Régional de l'Archéologie de Bretagne

Conseil Général d'Ille et Vilaine
SIVU " Forges et métallurgie en Brocéliande "

En tout premier lieu, je remercie le Conseil Général d'Ille et Vilaine pour le financement de l'opération archéologique de prospection thématique intéressant la métallurgie antique et ancienne du département.

De même, je suis reconnaissant au S.I.V.U. "Forges et métallurgie en Brocéliande", de son concours financier à l'opération de sondage archéologique sur le site de Trécélien, qui a permis notamment l'hébergement des fouilleurs. Merci à l'association 'Histoire, Patrimoine et Métallurgie en Brocéliande', d'avoir bien voulu assurer le relais des crédits.

Je tiens à remercier vivement Monsieur Alain LE GUALÈS, propriétaire de la parcelle sur laquelle se déroulait l'opération de sondage, en forêt de Paimpont, pour son aimable autorisation et son accueil, et Monsieur Jean-Marc BOUSSAIS, garde forestier, pour la mise en œuvre pratique.

Je remercie sincèrement la Mairie de Paimpont de nous avoir donné la possibilité de bénéficier de la cantine municipale, de même que Monsieur THOMAS et toute son équipe du Foyer Logement Résidence Brocéliande, pour la préparation des repas, et l'accueil qui nous a été réservé.

Je souhaite témoigner toute ma gratitude et ma reconnaissance aux personnes qui ont participé bénévolement, et avec entrain, à ce travail, et qui ont partagé les fruits de leur connaissance du terrain :

Fabrice ALCINDOR
Mathilde ANDRE
Catherine BIZIEN-JAGLIN
Jean BOUCARD
Héloïse DORANLO
Jean-François DUVAL
Camille GANDONNIERE
Yann GARTNER
Nicolas GIRAULT
Jacques GUILLEMOT
Catherine HENRY
Jérôme JEHANNES
Guy LARCHER

Marie-José LE GARREC
Laetitia LETENDRE
Jacques LESCAUDEY
Fabien LESGUER
Bertrand MALLE
Raymond MONTELLO
Gwendal MOULEC
Joann NEVO
Jean-Charles OILLIC
Lise PEIFFER
Simon PELLEQUER
Bérénice PLUNIAN
Christian RAGUIN

Merci en particulier à Guy LARCHER, pour son concours permanent et efficace à la bonne réalisation du chantier, à Marie-José LE GARREC, pour son investissement très courageux et très précieux dans les travaux de relevés, ainsi qu'à Louis MARTEL pour la topographie et les calculs relatifs aux volumes des ferriers, à Jean BOUCARD pour les recherches de terrain sur les chemins anciens, à Louis et Françoise BEAUVAIS pour leur accueil aux Maisons Bleues, à Jacqueline LAPERAS pour le lavage de la céramique, à Fabien LESGUER pour le remontage des poteries, et à Nicolas GIRAULT pour la mise en forme de certains dessins.

Mes remerciements vont également à Laurent BEUCHET (I.N.R.A.P.) pour son aide amicale et précieuse dans l'identification céramique.

Je tiens à souligner toute l'obligeance de Claudie HERBAULT, pour la mise à disposition de données documentaires, résultant d'un travail inédit, intéressant directement l'activité métallurgique du massif de Paimpont aux XV^e – XVI^e siècles.

Enfin, je remercie le Centre Régional d'Archéologie d'Alet, pour la gestion des crédits attribués par le Conseil Général, et pour son soutien logistique efficace, qui ont permis à l'opération de se réaliser dans de bonnes conditions.

SOMMAIRE

1 ère PARTIE : *SONDAGE ARCHEOLOGIQUE 2003* (J.-B. VIVET)

	pages
A. <u>PRESENTATION DU SITE ET PROBLEMATIQUE</u>	
1. Introduction	4
2. Présentation du site – résultats antérieurs	4
3. Contexte de recherche – problématique	5
B. <u>ETUDE DES SECTEURS FOUILLES</u>	
I. AMAS DE SCORIES A10 ET A7 - STRUCTURE DE CHAUFFE SF1	
1. Description générale de la zone	6
2. Structure de chauffe SF1	10
3. Mobilier métallurgique	13
4. Interprétation	15
II. CONSTITUTION ET ENVIRONNEMENT DES FERRIERS	
1. Amas de scories A11	19
2. Estimation du volume et de la masse des ferriers	23
3. Série de sondages test sur les ferriers et leur environnement	28
4. Minerai de fer près de la fontaine	34
5. Présence précoce sous les niveaux de scories, à l'emplacement d'un abri de charbonnier moderne	35
6. Accumulation pierreuse sur le versant ouest du ruisseau	37
7. Sondage sur le chemin ancien traversant le site, à hauteur de l'amas A6	39
8. Réseau de chemins anciens	40
C. <u>ELEMENTS CERAMIQUES</u>	43
D. <u>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</u>	45
BIBLIOGRAPHIE	47
PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	51
ANNEXES 1 à 5 : Exemples de forges	64

2 ème PARTIE : *ANALYSE DU MINERAI ET DES SCORIES* (J.-J. CHAUVEL)

A. PRESENTATION DU SITE ET PROBLEMATIQUE

1. INTRODUCTION

Le sondage réalisé cette année sur le site de Trécélien, dans le cadre de la prospection thématique sur la paléoméallurgie du fer en Haute Bretagne, fait suite à une première opération, menée au même endroit et dans le même contexte en 2002 (Vivet, 2001).

Le site se présente sous la forme d'un ferrier en forêt constitué d'une douzaine d'amas de scories encore en élévation, dont le volume va de quelques mètres cubes à plusieurs centaines de mètres cubes (fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6). Ces résidus, générés par l'opération de réduction du minerai de fer en bas fourneau, présentent la particularité de montrer en section un bullage extrêmement prononcé, à tel point que l'on prendra l'option typologique de les dénommer ici « spongieuses ». Une douzaine de sites de caractéristiques très semblables ont été recensés sur le massif de Paimpont (Larcher, 1990).

La production du fer relève ici du procédé direct en bas fourneau, dans des installations de taille sans doute encore modeste, sans utilisation de la force hydraulique.

L'opération de l'an dernier a notamment permis d'aboutir à la mise au jour, en toute fin d'opération, d'une structure de chauffe très particulière, motivant la réouverture du sondage cette année.

Les résultats de trois analyses minéralogique et chimique d'échantillons (deux scories et un bloc de minerai chauffé) provenant du sondage 2003, nous étant parvenus, le présent rapport comporte une deuxième partie qui leur est consacrée (J.-J. CHAUVEL)

2. PRESENTATION DU SITE – RESULTATS ANTERIEURS

La situation actuelle du site en pleine forêt, a remarquablement bien conservé le site, qui livre directement sous une faible couche humique des niveaux archéologiques en place. La nette structuration de l'ensemble, déjà mise en évidence grâce au relevé topographique réalisé en 2001, permet d'envisager une approche plus globale du site. Outre les amas de scories, l'environnement montre plusieurs secteurs susceptibles d'avoir joué un rôle dans son fonctionnement et dans l'évolution de l'activité (fig. 7). Un amas de scories complémentaire (A11), excentré, découvert à 70 m environ au nord est de l'ensemble de ferriers principal (secteur B) présente potentiellement, de ce fait, un intérêt pour la mise au jour d'un appareil de réduction du minerai de fer, et pour l'obtention d'éléments de chronologie relative (fig. 6). Deux concentrations de pierres importantes formant un bombement notoire dans le paysage, situées sur l'autre rive du ruisseau de Trécélien, en bordure des chemins anciens, est susceptible d'être en rapport avec l'activité

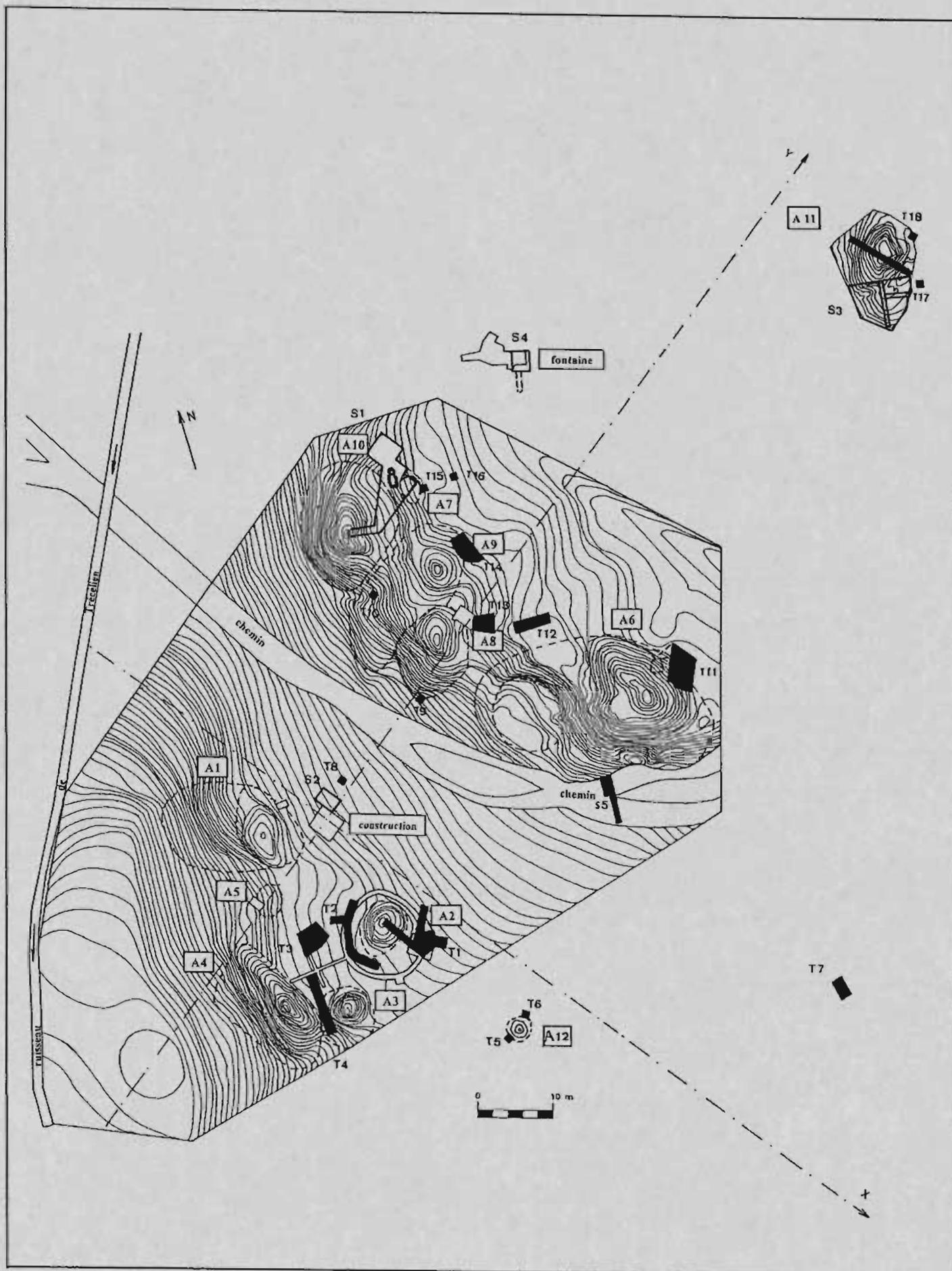
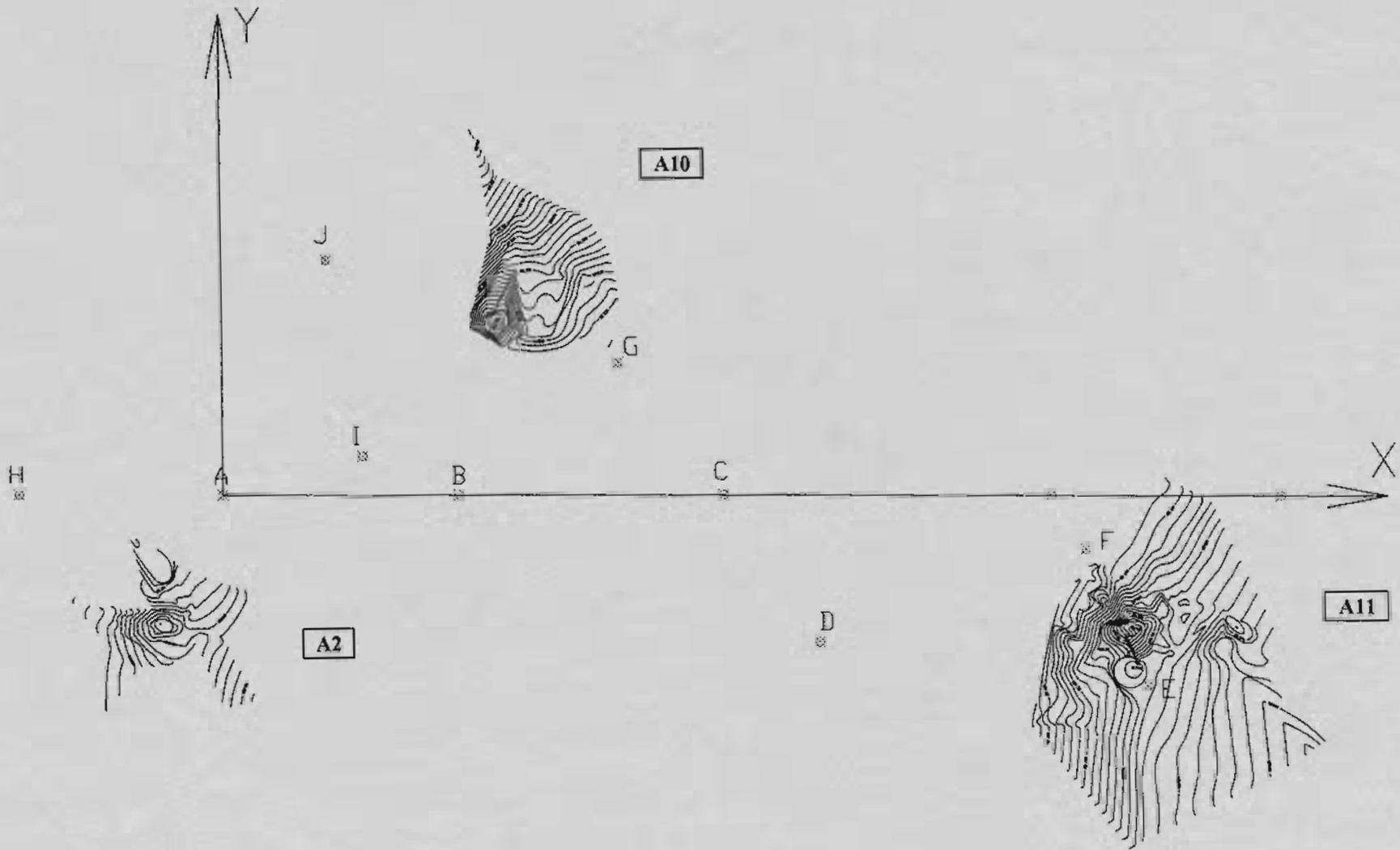


Fig. 1 - Plan général du site de Trécélien en PAIMPONT (35) : amas de scories A1 à A12. Répartition des sondages : sondages 2002 en trait fin, sondages 2003 en trait gras (S) et décapages tests en noir (T).



site de TRECÉLIEN
courbes isométriques
espacement 0,10 m

PLAN DE SITUATION DES FERRIERS A2, A10 et A11

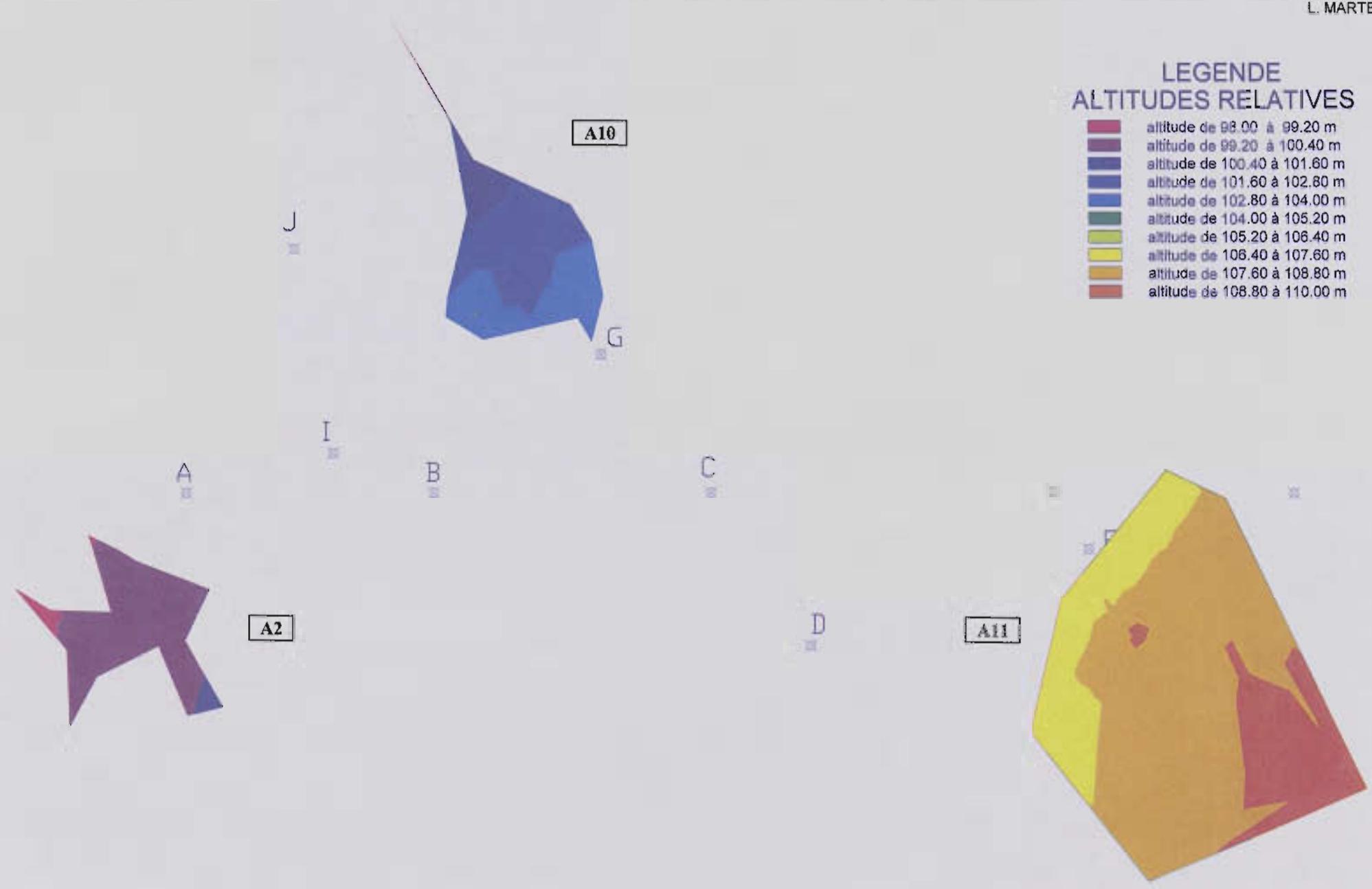
0 5 10 15 20 25 30m

Echelle 1/500

Fig. 2

LEGENDE ALTITUDES RELATIVES

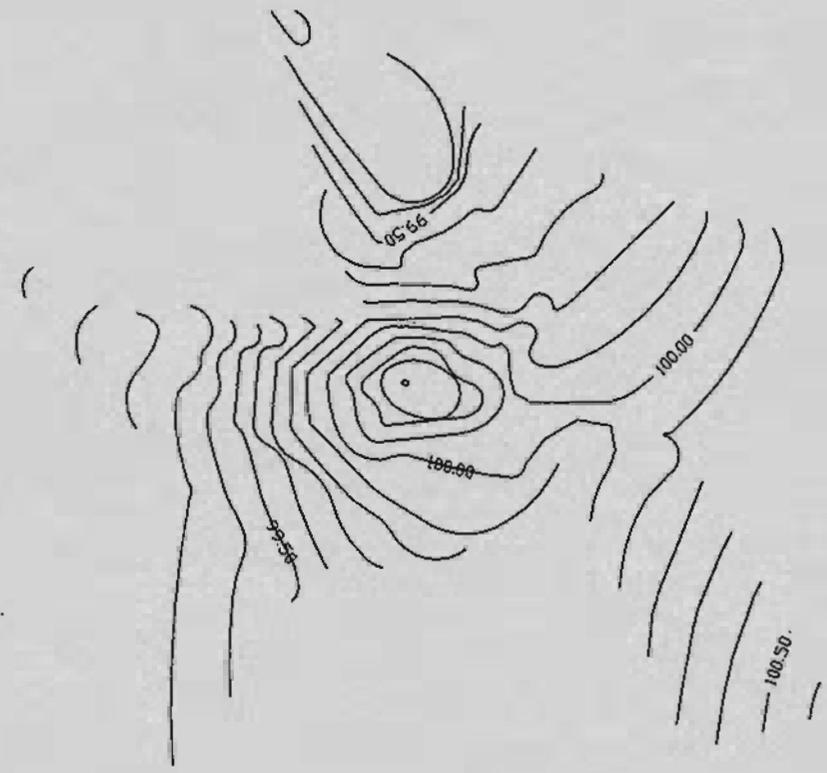
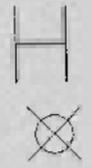
	altitude de 98.00 à 99.20 m
	altitude de 99.20 à 100.40 m
	altitude de 100.40 à 101.60 m
	altitude de 101.60 à 102.80 m
	altitude de 102.80 à 104.00 m
	altitude de 104.00 à 105.20 m
	altitude de 105.20 à 106.40 m
	altitude de 106.40 à 107.60 m
	altitude de 107.60 à 108.80 m
	altitude de 108.80 à 110.00 m



site de TRECELIEN
VISUALISATION

PLAN DE SITUATION DES FERRIERS A2, A10 et A11

Fig. 3

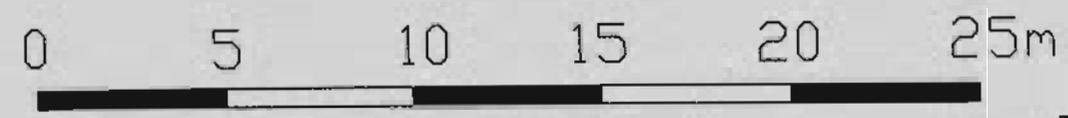


AMAS A2

Fig. 4

site de TRECELIEN
courbes isométriques
espacement 0,10 m

Altitudes relatives : base = 100,00 m



Echelle 1/200

0 5 10 15 20 25 m

Echelle 1/200

Altitudes relatives :

base = 100,00 m

AMAS A11

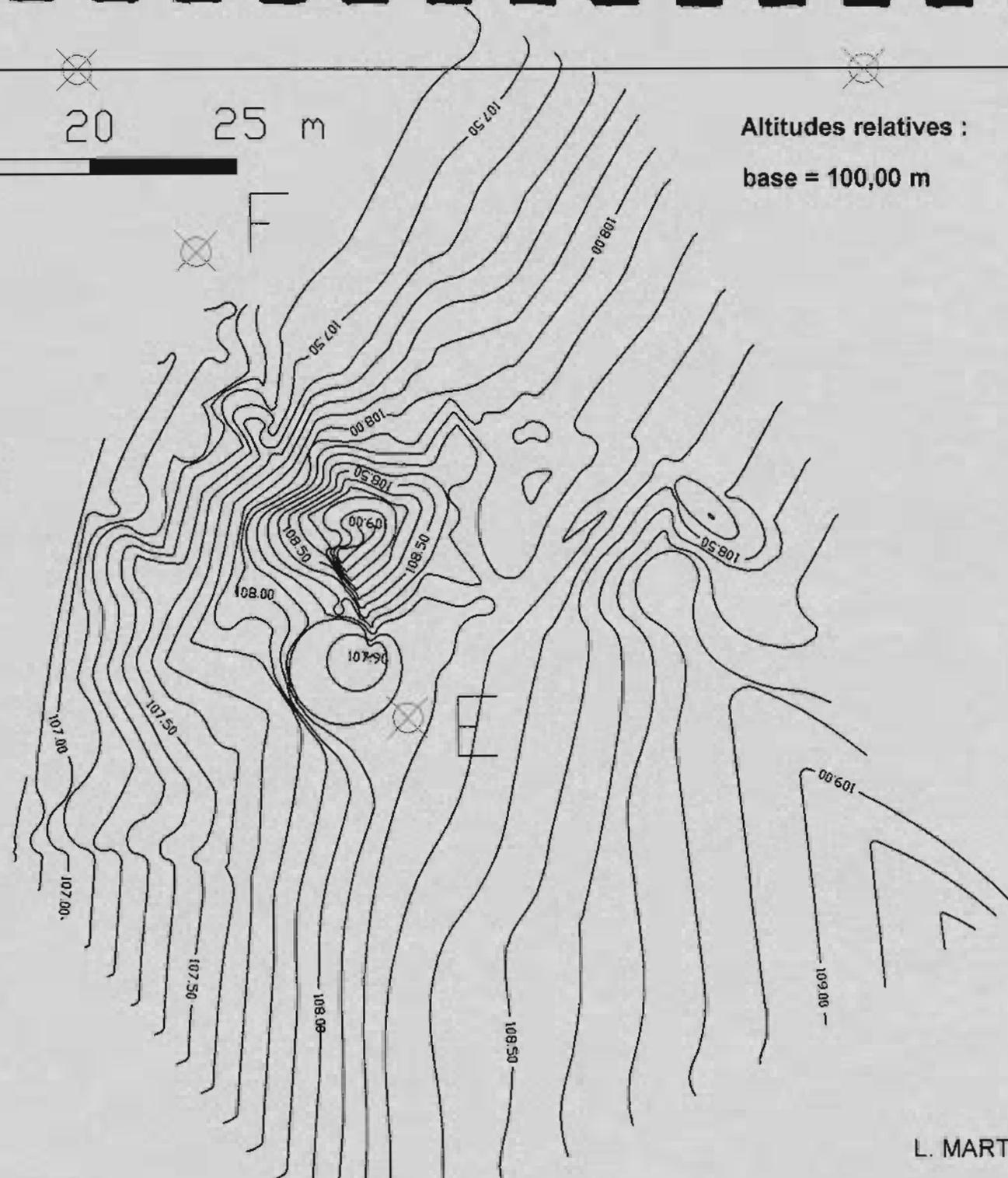
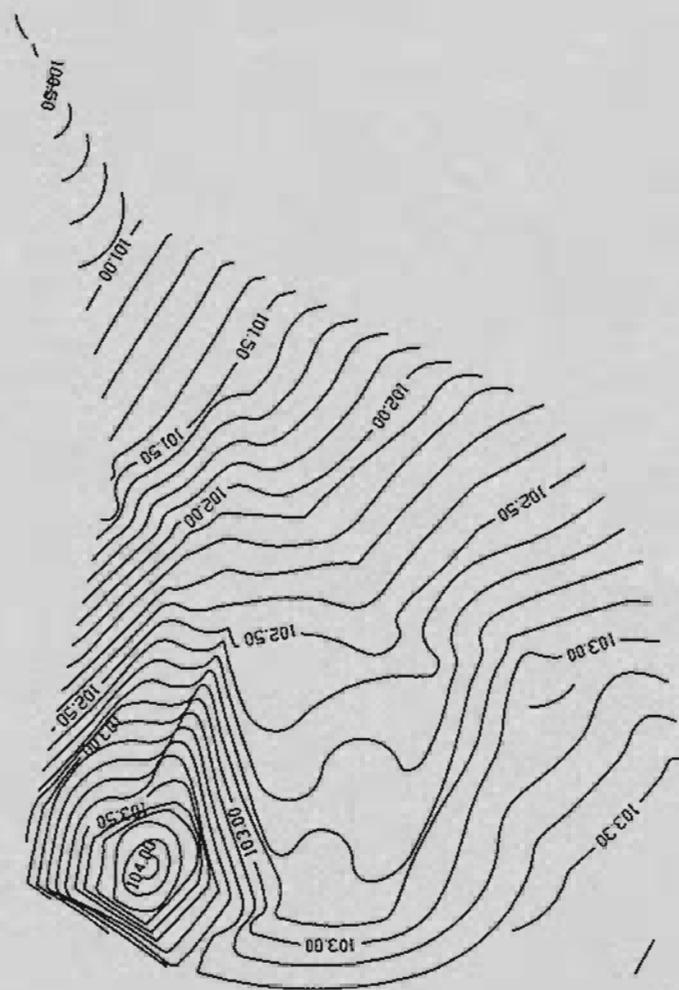


Fig. 5

site de TRECELIEN
courbes isométriques
espacement 0,10 m

L. MARTEL



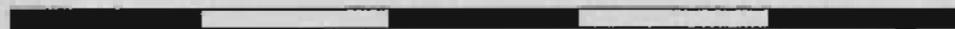
AMAS A10

Fig. 6

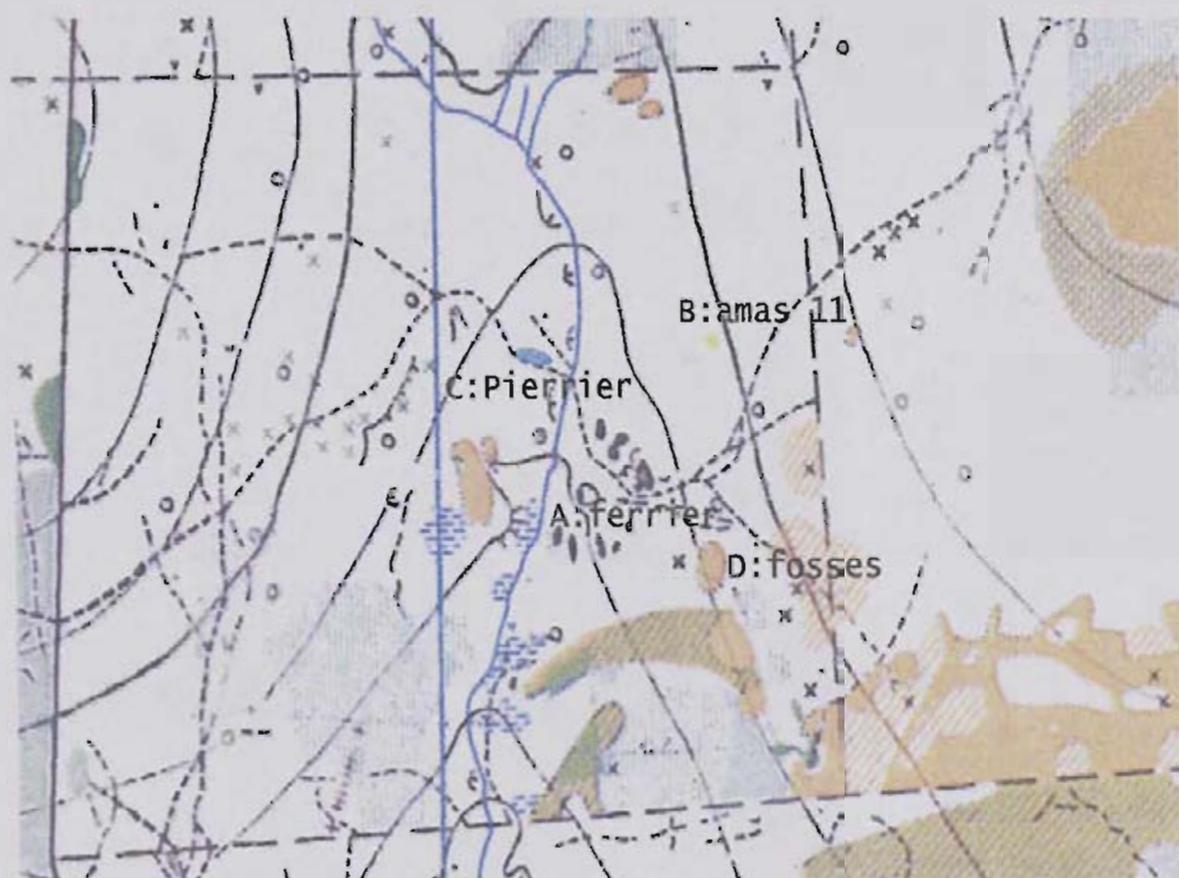
site de TRECELIEN
courbes isométriques
espacement 0,10 m

Altitudes relatives :
base = 100,00 m

0 5 10 15 20 25m



Echelle 1/200



Site de Trécélien en Paimpont dans son environnement

Fig 7

métallurgique (secteur C). Enfin, une zone comportant plusieurs dépressions humides, située au sud-est du site (secteur D), pourrait avoir un rapport avec le travail du minerai. L'existence d'autres appareils de travail métallurgique sur l'emprise du site, en particulier des bas fourneaux, est bien sûr également recherchée.

Le sondage réalisé en 2002 a permis de préciser la datation de l'activité métallurgique de réduction : elle se situe dans la fourchette des XIV-XVI^e siècles. Des traces d'occupation au XIII^e siècle ont également été perçues. Cette attribution constituait l'objectif premier de l'opération en 2002. Cette datation a été également reconnue pour le ferrier du Cannée en Paimpont, et l'on peut l'élargir sans trop se hasarder à l'ensemble des ferriers à scories spongieuses du massif de Paimpont.

3. CONTEXTE DE RECHERCHE –PROBLEMATIQUE

Les sources documentaires normandes et celles relatives au Pays de Châteaubriant font état de l'apparition du procédé indirect (produisant de la fonte) en haut-fourneau dès les années 1450 dans le premier cas, et au début du 16^e siècle dans le second cas (entre 1505 et 1515). L'ancien procédé, mentionné dans les textes sous les qualificatifs de 'forges grossières' (à Paimpont en 1419-1420), forges à bras, grosses forges, forges volantes... pourrait avoir subsisté encore longtemps parallèlement au développement des hauts-fourneaux. On ne sait paradoxalement rien de leur aspect, ni des procédés techniques employés et très peu sur les hommes qui les conduisent (travail saisonnier, travail de spécialiste à temps plein, logeait-on sur place ?). La production, l'approvisionnement en minerai et charbon, et la destination de ces installations ne nous sont pas connues (que désignent véritablement les termes ' forge grossière ' ?). Produisait-on uniquement du fer brut, 'non dégrossi', comme le suggère leur appellation, c'est à dire à l'état de loupe peu travaillée, que l'on ne ramène pas tout de suite à l'état de lingot près à l'emploi, le martelage, éventuellement hydraulique, se faisant ailleurs ? Les productions étaient-elles à destination militaire (armes blanches, armes de jet, canons...) ou visaient-elles le monde rural (outils, socs de charrue, poêles...) ? D'une manière générale, en France et même en Europe, les textes concernant ces installations sont très lacunaires, et les fouilles archéologiques les concernant, très peu nombreuses.

En ce qui concerne la région Bretagne la documentation publiée sur le sujet pour cette période, est à ce jour extrêmement lacunaire. Les mentions d'activité métallurgique à Paimpont y font en quelque sorte figure d'exception, en contraste d'ailleurs avec les importations de fer espagnol et normand, mais on pressent l'existence d'autres centres de production.

L'opération de sondage 2003 a donc été reconduite sur le site de Trécélien, afin d'examiner sur le plan technique le four mis en évidence l'an dernier, et reconnaître les dispositifs métallurgiques (bas fourneaux, bas foyer d'affinage) et chaînes opératoires utilisés. Fort de l'expérience acquise l'an dernier, le recours à une mini-pelle mécanique, engin de terrassement dont les dimensions permettent d'accéder et opérer dans ce milieu forestier reculé, s'est avéré nécessaire pour l'exploration de ces grosses accumulations de scories.

Des prospections permettant la reconnaissance des autres ferriers à scories bulleuses du massif de Paimpont se sont également poursuivies en 2003, afin de mieux recenser l'existant (topographie des amas, mobilier métallurgique et céramique associés) et permettre sa protection.

D'une façon plus générale, les travaux proposés s'inscrivent dans le cadre de la caractérisation chronotypologique des sites métallurgiques régionaux, et par-là même, s'emploient à restituer l'évolution des techniques relatives à la production et au travail du fer, de l'antiquité à nos jours.

B. ETUDE DES SECTEURS FOUILLES

I. AMAS A10 ET A7 - STRUCTURE DE CHAUFFE SF1

1. DESCRIPTION GENERALE DE LA ZONE

1.1 Eléments stratigraphiques.

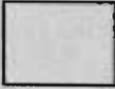
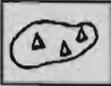
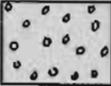
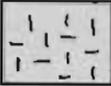
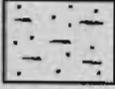
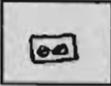
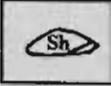
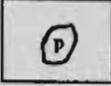
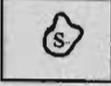
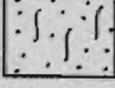
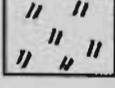
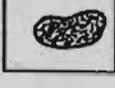
Le secteur exploré correspond au sondage S1 (fig. 1). La vue en plan de cette zone montre à l'ouest une butte abrupte correspondant à l'amas de scories A10, installé sur le flanc est du talweg dont le ruisseau de Trécélien occupe le fond (fig. 5, 8, 9). En continuité avec A10, on rencontre vers le sud, les ferriers également volumineux A9, puis A8. A cheval sur la rupture de pente marquant le début du talweg, on trouve au sud-est un petit ferrier, A7, qui n'est pas, lui-même non plus, déconnecté de l'amas A8. L'amas A7 surplombe la structure de chauffe SF1, objet principal de l'exploration plus approfondie de cette année. La structure elle-même se trouve elle-même positionnée de façon inclinée, un peu en biais par rapport à l'axe général de la pente actuellement observable, juste en dessus de la rupture de pente déjà citée (voir planches photographiques à la fin du document).

A quelques centimètres sous l'humus, on rencontre une épaisse couche noire, charbonneuse, continue, qui contient de grandes quantités de scories et qui résulte de l'étalement des ferriers A7, A9 et A10. Celle-ci recouvre pratiquement tout le secteur considéré, à l'exception de la partie située le plus au nord, où elle diminue petit à petit, pour finir par disparaître. Dans cette direction, le limon du substrat, qui prend ici, une coloration ocre-jaune, apparaît sous un niveau de transition marron ou brun humique contenant moins de scories (fig. 9 bis, coupe Y-Z). Quelques rares scories non coulées ont été observées dans les niveaux supérieurs du limon, sans que l'on puisse les relier formellement à l'activité des ferriers à scories spongieuses voisins.

Une couche de limon blanc partiellement anthropisée (ou seulement perturbée localement), est apparue sous ce niveau de scories, en secteur nord est du sondage S1. Le sédiment suit la dénivellation générale du terrain, à partir de la brusque rupture de pente qui apparaît entre le plateau incliné, situé à l'est, et le début du talweg du ruisseau de Trécélien. Cette couche vient en quelque sorte buter contre la structure de chauffe SF1 et la recouvre largement, ainsi que le montre la grande coupe stratigraphique traversant la structure SF1 (fig. 10). Un apport possible de matière argileuse destinée au modelage et au façonnage du revêtement interne de fours, avait été envisagé. La différence d'aspect du limon naturel mis au jour dans le secteur en pente et celui du plateau invite à y voir une autre possibilité. Les nombreux carottages effectués à la tarière forestière en 2002 et les sondages tests T15 et T16 réalisés à la mini-pelle, montrent que, aux abords de la zone de fouille, le limon du plateau incliné est constitué d'une argile fine très blanche. L'épaisse couche blanche pourrait donc correspondre à un colluvion, provenant d'une coulée qui n'aurait pu se produire dans ce cas, qu'entre la fin de l'utilisation de la structure SF1 et la constitution ou l'étalement du petit ferrier A7, satellite vraisemblable de l'amas de scories plus conséquent A9, voire de l'amas A10.

Le sondage de 2002 avait montré des niveaux très perturbés dans la partie nord de la zone de fouille, comportant de nombreux moellons d'argile mi-cuite orange et deux concentrations de scories un peu particulières, soit rondes évoquant quelque peu des culots, soit encore très liées à de l'argile cuite. Entre cette

Fig. 8 - Légende des plans et coupes

	limon blanc		sédiment rubéfié + blocs d'argile cuite
	argile naturelle compacte jaune		crôte d'argile chauffée endurcie
	limon ocre - orange - beige		limon jauni par les oxydes de fer
	humus		bloc de grès
	sédiment marron		Pierre à cupules (grès)
	sédiment gris		schiste
	limon rose-orangé		paroi de bas fourneau
	couche hétérogène à moellons d'argile cuite		scorie
	couche de scories - sédiment brun à noir		scorie noyée dans les pierres
	sédiment charbonneux - charbons de bois		tesson
	couche très charbonneuse		limon gris ' terreux '
	sédiment rouge ou orangé attirable à l'aimant		cailloutis rougeâtre-gris très tassé
	très forte rubéfaction du limon		limite de fouille

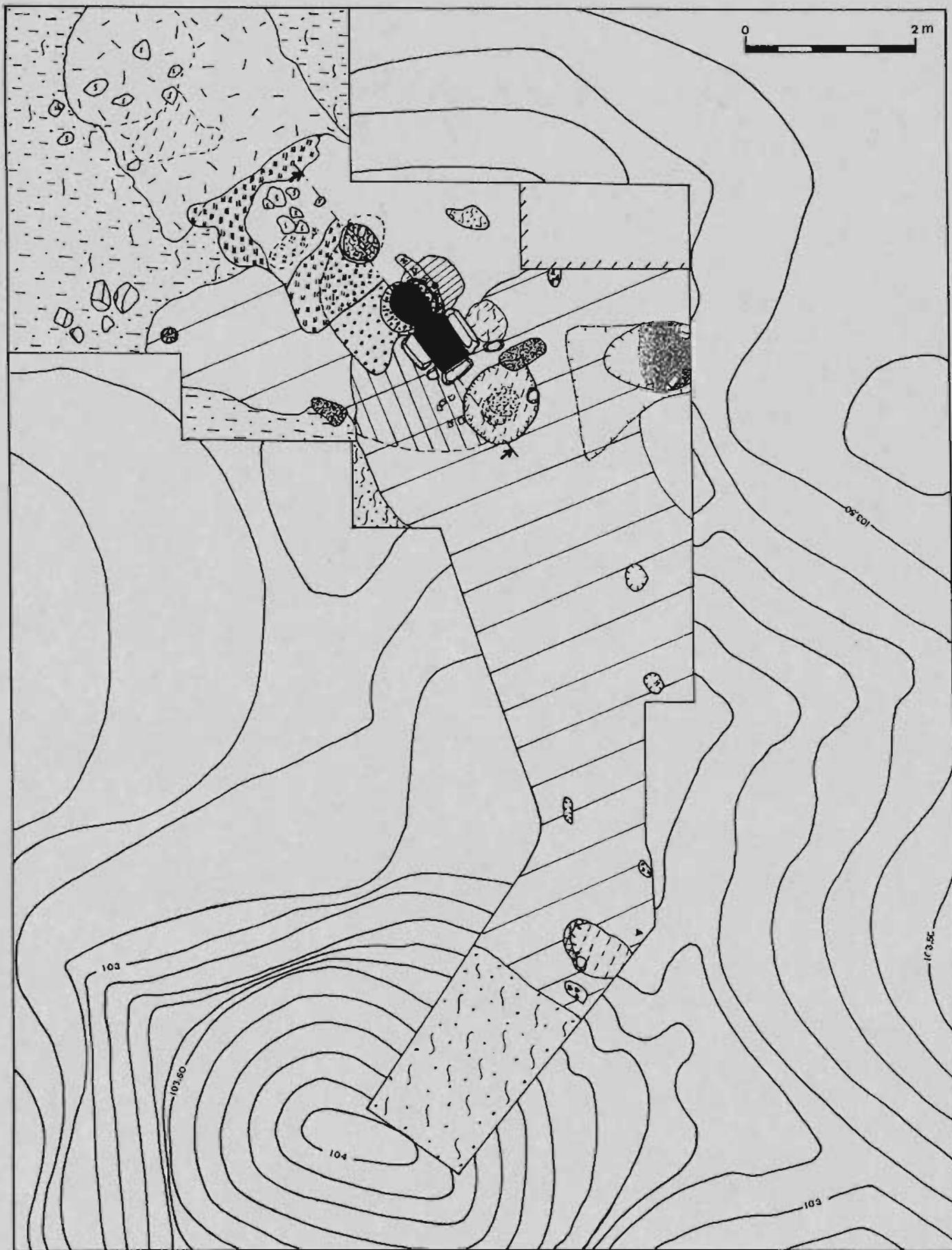


Fig. 9 - Sondage S1 : zone des amas A7 et A10 et structure de chauffe SF1.

zone et la structure SF1, la couche de limon blanc recouvre un niveau noir extrêmement charbonneux (fig. 10). Ce dernier couvre lui-même en grande partie un sol d'argile grise et rose, durcie par la chauffe (décrit ci-après), en continuité avec les parois en entonnoir de la partie supérieure de l'appareil SF1. Compte tenu de sa position stratigraphique, le niveau noir semble bien correspondre à une accumulation résiduelle de charbon de bois, témoignant d'une réserve de combustible en amont de SF1, ou dans cette direction.

Ce dépôt fait place à une épaisseur d'argile (7 cm environ), encroûtée, beige-rose-orangée, continue, très durcie et légèrement craquelée, se détachant seulement par blocs. Cet encroûtement forme une sorte de lèvres externe résultant de l'épatement des rebords du foyer ovale de la structure SF1. Il résulte sans doute en grande partie de la circulation et des manipulations de matières très chaudes, liées au travail métallurgique.

L'argile située à hauteur et en contrebas du compartiment rectangulaire de la structure, présente une nuance rosé-orangée dans sa coloration générale ocre, due également aux effets de température, ou au démantèlement partiel du sol encroûté précédent.

La zone située à l'est et au sud-est de SF1, montre, quant à elle, une épaisse accumulation de couches de scories, qui constitue l'amas A7. La coupe stratigraphique T-U (fig. 9 bis), située dans un secteur à transitions nombreuses, donne une idée de ces rejets multiples, qui sont ordinairement gris sombre ou noirs. Les rejets, inclinés selon la direction sud-est / nord-ouest, sont venus recouvrir la couche de limon blanc qui a fossilisé la structure SF1, ce qui montre que la constitution de l'amas A7 est postérieure au fonctionnement de cet appareil.

Concernant la coupe T-U, l'épaisseur totale atteint 70 cm et comporte, au sein des niveaux de scories, des poches de limon blanc (à deux reprises), un dépôt de sédiment limoneux très rubéfié, et une couche hétérogène contenant des fragments de parois de four. Le dernier niveau enregistré est constitué d'argile gris beige, de faible épaisseur, à priori assimilable au sol d'occupation lié au fonctionnement de la structure de chauffe SF1. Dans ce secteur, et au sud de SF1, une couche charbonneuse peu épaisse vient par moment s'insérer dans ce niveau beige-orangé, générant peut-être deux sols successifs. Le niveau supérieur est cependant en général assez meuble et hétérogène.

Au contact direct de la structure de chauffe SF1, on rencontre, comme il a déjà été dit une épaisse couche de limon blanc, qui s'insère entre la puissante couche de scories noires et le limon ocre clair, du substrat. Ce dernier est extrêmement rubéfié à l'arrière de la paroi verticale scoriacée du compartiment ovale de SF1.

Deux échantillons de scories, prélevés au sein de l'amas A10, ont fait l'objet d'une analyse minéralogique et chimique dont les résultats sont exposés en deuxième partie du rapport (J.-J. Chauvel)

1.2 Structures et rejets particuliers

En dehors de SF1, la fouille livre deux structures en creux bien marquées, dans l'axe de l'appareil de chauffe.

En amont, il s'agit d'un 'trou de poteau' C1, comblé de sédiment noir à scories, et montrant des éléments de calages sous forme de plaques de schiste rouge. Un talutage bien marqué prend l'aspect, en plan horizontal, dans sa moitié ouest, d'un arc de cercle de limon blanc. Cet élément impliquerait qu'il ait été façonné au travers de la couche de limon recouvrant la structure, et qu'il doit donc être en toute logique considéré comme postérieur à cette dernière, malgré sa position très particulière vis à vis de celle-ci. On observera cependant que des poches de limon blanc apparaissent assez souvent au sein des couches de scories noires. On ne peut donc exclure une infiltration de ce type lors de son comblement ou bien encore supposer que le colluvion probable soit venu entourer l'objet du calage avant sa destruction. Cette couche blanche vient mourir à son niveau, et le sol de moellons d'argile cuite forme une sorte de V courbe de part et d'autre du 'trou de poteau', tout en s'interrompant dans la direction opposée à la masse de sédiment blanc.

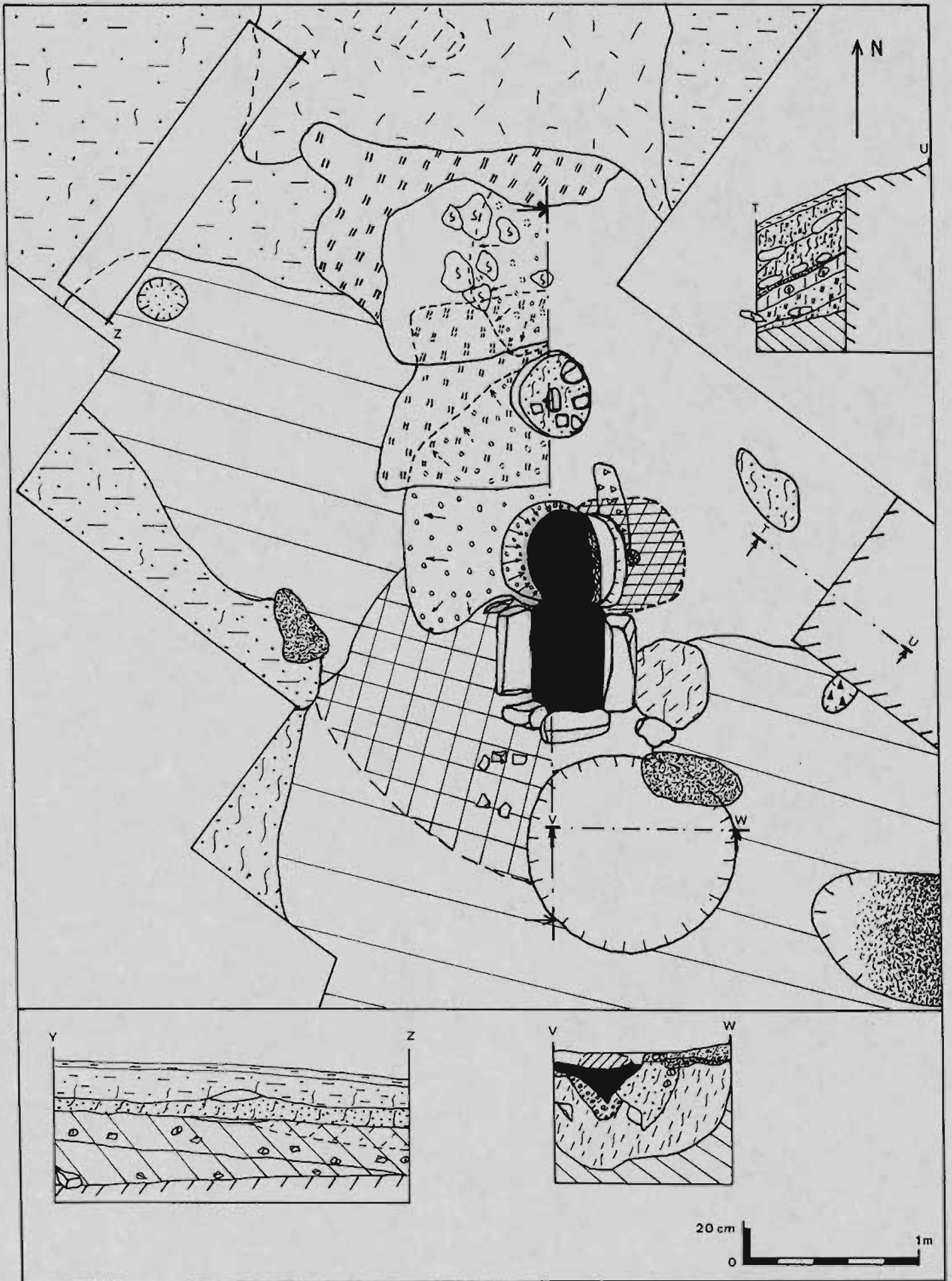
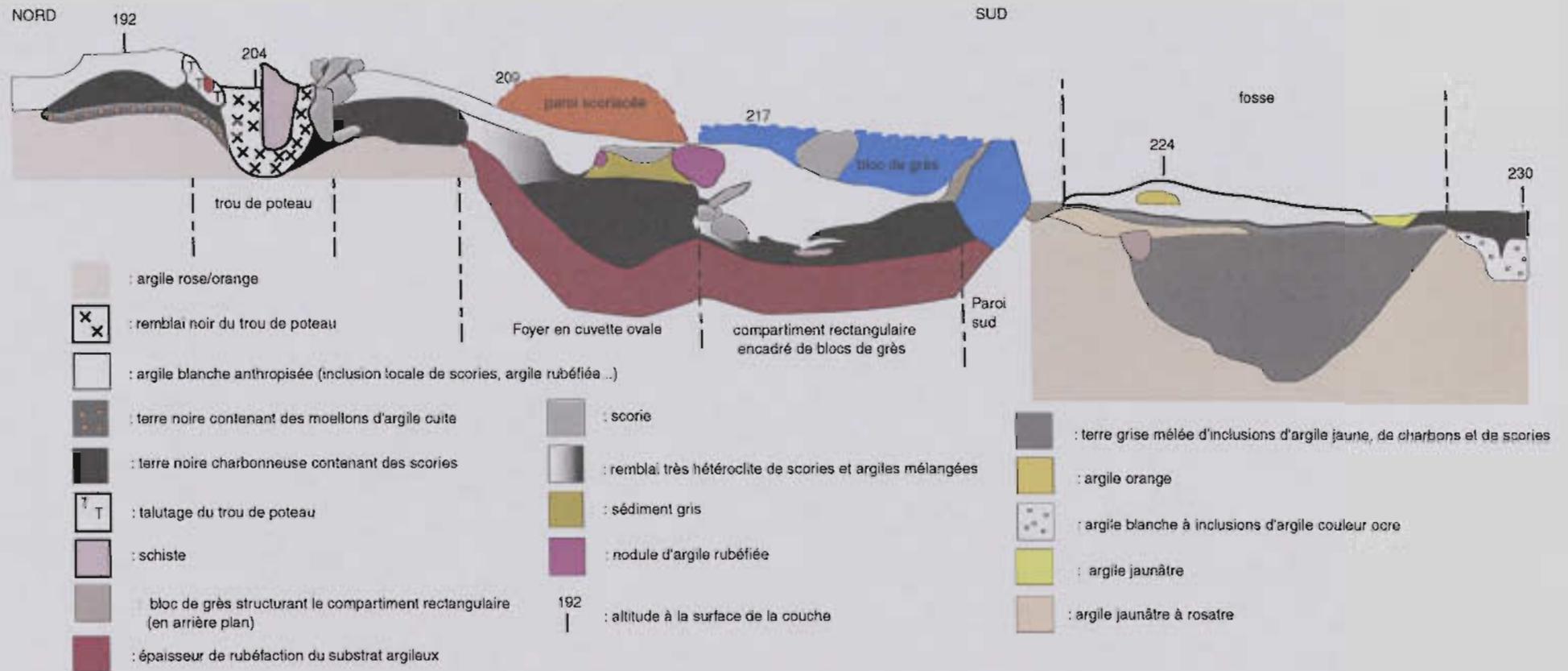


Fig. 9 bis - Sondage S1 : Vue en plan et coupes de la zone entourant la structure de chauffe SF1.

Fig. 10 : Trécélien- Paimpont
coupe longitudinale traversant la structure de chauffe SF1



Echelle : 1 / 17 e

En aval de SF1, on rencontre une grande fosse C2, de forme pratiquement circulaire, de 1,10 à 1,20 m de diamètre, remplie essentiellement d'un sédiment gris, recelant des scories en quantité moyenne (par rapport aux niveaux noirs supérieurs).

La coupe stratigraphique V - W (fig. 9 bis) montre une perturbation en pointe au sein de ce remplissage, évoquant fortement l'implantation d'un pieu.

Le niveau de limon blanc anthropisé provenant très probablement d'un colluvionnement, vient colmater ces niveaux de remplissage. Localement, au nord est, c'est un dépôt de sédiment granuleux rouge attirable à l'aimant, qui joue ce rôle. On peut donc penser que la constitution et/ou le fonctionnement de la fosse est contemporaine de celle de la structure SF1.

Quelques structures moins conséquentes viennent compléter celles qui ont été présentées :

- Trois dépôts de sédiment granuleux très rouge, rubéfié par la chaleur, attirable à l'aimant. Le premier a été mentionné précédemment au-dessus de la fosse et était déjà visible lors du sondage de 2002. Le second, plus volumineux, se situe au sud, où il émerge de l'imposante masse de scories se trouvant à la jonction de A7, A9 et A10. Il forme un dépôt au niveau du sol, en léger creux à cet endroit. Le troisième est situé à 1 m à l'ouest de SF1, à la base du niveau de scories noir.
- Trois structures en creux sont également apparues, en dehors de fosses de très petites dimensions, ne présentant pas de grande signification.
 - * L'une, qu'il convient de noter du fait de sa localisation est une petite fosse de sédiment gris contenant des scories, perturbation possible, située quasiment sur le côté sud-est du compartiment rectangulaire de SF1, et positionnée en partie inférieure de la couche de limon blanc qui recouvrait la structure. Son interprétation est difficile, du fait notamment qu'elle s'intègre à une petite zone non fouillée, laissée en réserve.
 - * La seconde, aux parois verticales, se trouve à 2,50 m au nord-ouest de SF1. Son remplissage de sédiment brun contraste avec le sol ou substrat ocre au sein duquel elle est installée. Il s'agit soit d'une petite fosse, soit de l'implantation d'un trou de poteau, bien que dans cette dernière hypothèse, elle ne soit marquée par aucun élément de calage.
 - * Une troisième structure, de forme semi-circulaire, en entonnoir peu profond, se trouve située complètement sous l'amas A10. Elle est implantée dans le sol ocre, mis au jour dans la tranchée qui a été taillée jusqu'à l'aplomb du sommet du ferrier. La chaleur a induré la paroi d'argile de la zone déversée, et l'on note une petite couronne de rubéfaction au-dessus. Cette sorte de demi-cuvette s'ouvre sur une couche de sédiment gris de quelques centimètres, qui suit la ligne de pente (vers le sud) et se poursuit, tout en se réduisant, derrière la coupe pratiquée dans l'amas de scories.

Cette dernière structure témoigne de l'existence d'un foyer antérieur à la constitution du ferrier A10, peut être lié à des opérations préparatoires de faible ampleur pratiquées au début de l'activité de réduction proprement dite, ayant donné naissance aux ferriers. Il n'est pas impossible que ces traces de chauffe soient l'indice d'un appareil plus conséquent situé à proximité et noyé également sous les scories.

Plusieurs très petites fosses, implantées dans le sol ocre-orangé-beige de la base des scories, ont livré des tessons de céramique des groupes 1 et 2, semblables à ceux rencontrés au sein des ferriers, notamment dans l'amas A7. C'est le cas, par exemple d'une fosse située à proximité immédiate de la structure semi-circulaire précédemment décrite.

Dans l'état actuel du décapage, le relevé des différentes structures en creux ne permet pas de reconnaître le plan d'une quelconque construction, tel qu'un apprentis. Seule la structure C1 en amont de la structure de

chauffe SF1, montre formellement un système de calage, à l'aide de pierres en schiste pourpre. Force est de reconnaître son alignement avec l'axe de l'appareil SF1, de même qu'avec l'implantation d'un pieu dans la fosse C2. Sous réserve de l'hypothèse stratigraphique la concernant, la structure C1 doit sans doute être prise, du point de vue fonctionnel, dans son unicité. Il pourrait s'agir de ce fait d'un système permettant le maintien d'un outil ou d'un appareil. On peut évoquer en ce sens le billot soutenant une enclume, ou bien encore le soufflet permettant d'activer le foyer, nécessairement présent compte tenu de la forme ouverte de la structure de chauffe et des épaisseurs de rubéfaction enregistrées.

1.3 Mobilier céramique

Dix tessons appartenant aux groupes de céramique n°1 et 2 avaient été mis au jour, l'an passé, dans ce secteur. Deux d'entre eux, notamment, appartenant à un même pot, découverts au sein des épaisses couches de scories noires de l'amas A7, proviennent d'un fond assez épais à glaçure au plomb verte partielle, sur la face intérieure, seul exemple de revêtement de ce type pour le groupe n°1 (un tesson du même type portant une tâche de glaçure jaune a été mis au jour également cette année dans ce même secteur).

Le sondage S1 a livré 51 tessons supplémentaires faisant partie de ces mêmes groupes de terres cuites. Six d'entre eux sont représentés en figure 29 (leur désignation commence par les lettres D et E). Le col d'un pichet ou même plutôt d'une cruche du groupe n°1, a été découvert au sein des couches de scories se trouvant à la jonction des ferriers A7, A9 et A10 (D52.4). Aucun profil complet n'a pu être reconstitué. Les formes de lèvres sont variées, mais peu typiques.

La majeure partie des tessons a été collectée à l'est et au sud est de la structure SF1. Ils se répartissent pour la plupart dans toute l'épaisseur des rejets de scorie noirs des 3 ferriers précités.

Quelques éléments ont été collectés à l'interface de ces niveaux noirs et de limon blanc sous-jacente, d'autres à l'interface entre la couche blanche et le sol ocre beige, et un certain nombre d'entre eux se situaient dans ce même sol, à très faible profondeur.

Quinze éléments du groupe 1 ont été trouvés dans le niveau noir situé à la base du ferrier A10, à la limite du sol de limon blanchâtre, au niveau de la tranchée pratiquée dans l'amas, et à l'ouest de la structure semi-circulaire rubéfiée, décrite ci-après (E 50.15 et E 50.17, fig. 29).

On peut donc considérer dans l'état actuel de l'étude céramique, que les phases d'occupation, de travail et de rejets de résidus métallurgiques, appartiennent toutes à la même période de la fin du Moyen Age ou du début de l'époque moderne (XIV^{ème} - XV^{ème} siècles), sans que l'on soit en mesure de préciser les durées et intervalles respectifs de fonctionnement de la structure de chauffe SF1, d'ensevelissement de celle-ci par la couche de limon blanc, ou de constitution des ferriers A7, A9, A10.

2. STRUCTURE DE CHAUFFE SFI

2.1 Description

La structure est divisée en deux compartiments complètement différents (fig. 11). L'ensemble présente une inclinaison très marquée, en bonne corrélation avec celle des différents niveaux stratigraphiques (fig. 12). Il semble que l'on ait volontairement voulu utiliser cet effet de pente. Le compartiment supérieur, que l'on dénommera par la suite foyer ou compartiment ovale, montre un aménagement excavé, dont les éléments latéraux, extrêmement dissymétriques (lèvre d'argile durcie et paroi scoriacée verticale), livrent un espace de chauffe étroit et assez profond. La partie basse de l'appareil consiste essentiellement en un encadrement rectangulaire de pierres allongées sur trois côtés, ménageant une chambre allongée, à fond plat en son centre.

2.1.1 Foyer ovale :

La fosse de travail est délimitée d'un côté par une croûte d'argile durcie par le feu, qui, comme on l'a déjà évoqué, s'évase largement vers l'extérieur, à partir d'une lèvre ovalisée, et de l'autre par une paroi de four en argile très fortement scoriacée, positionnée verticalement. L'encroûtement argileux présente, au niveau de la fosse, un profil non anguleux, qui part pratiquement d'un niveau horizontal (et même légèrement déversé vers l'extérieur au départ), pour ensuite progressivement plonger vers la verticale. A partir de ces rebords supérieurs faiblement inclinés, la fosse s'enfonce donc en entonnoir, dont la section inférieure atteint une profondeur de 30 cm par rapport au niveau du sol. L'aire de chauffe globalement ovale passe donc d'une ouverture de grand axe voisin de 60 cm, et de petit axe de l'ordre de 50 cm, à un espace très confiné dans sa partie profonde, dont les dimensions se réduisent à un grand axe de 30-35 cm pour un petit axe de 25 cm. Toute la surface interne de la fosse, de couleur grisâtre est très endurée.

A l'extérieur, l'encroûtement argileux, déborde largement vers l'ouest et le nord-ouest, en s'atténuant progressivement à mesure que l'on s'éloigne du foyer.

Le remplissage de ce foyer en fosse, a été fossilisé par le niveau de limon blanc couvrant l'ensemble de l'appareil. Sous cette couche on rencontre, dans le secteur oblique de la fosse, côté nord, un niveau de transition constitué d'assez grosses scories et d'argile blanche, et côté sud, de terre argileuse marron. L'essentiel du dépôt occupant le fond de la structure est constitué d'une seule couche noire, charbonneuse, contenant des scories.

2.12 La paroi de four scoriacée

La paroi d'argile verticale constituant la façade est de la fosse, présente vers l'intérieur du foyer une face scoriacée dont la concavité selon un plan perpendiculaire à cet axe, est bien visible, sans être pour autant très prononcée. Le bloc argileux dépasse le niveau du sol sur une hauteur conservée de 25 cm. Sa hauteur totale est de 50 cm. La paroi de four, dans sa partie inférieure, ne rejoint pas tout à fait le niveau du fond de la fosse. Elle est, en effet, rongée à sa base sur 4 cm environ. Le sédiment noir de remplissage occupant le fond de la structure s'est glissé dans cet intervalle. La face scoriacée répond très fortement à l'aimant.

La largeur hors tout (selon un axe horizontal) de la paroi de four est de 52 cm, pour une épaisseur cuite par la chaleur de l'ordre d'une dizaine de centimètre. Du côté externe, l'argile en partie orangée, hétérogène et mal cuite, fournit un contour pas tout à fait bien délimité, qui augmente l'épaisseur précédente d'une valeur de 6 cm environ.

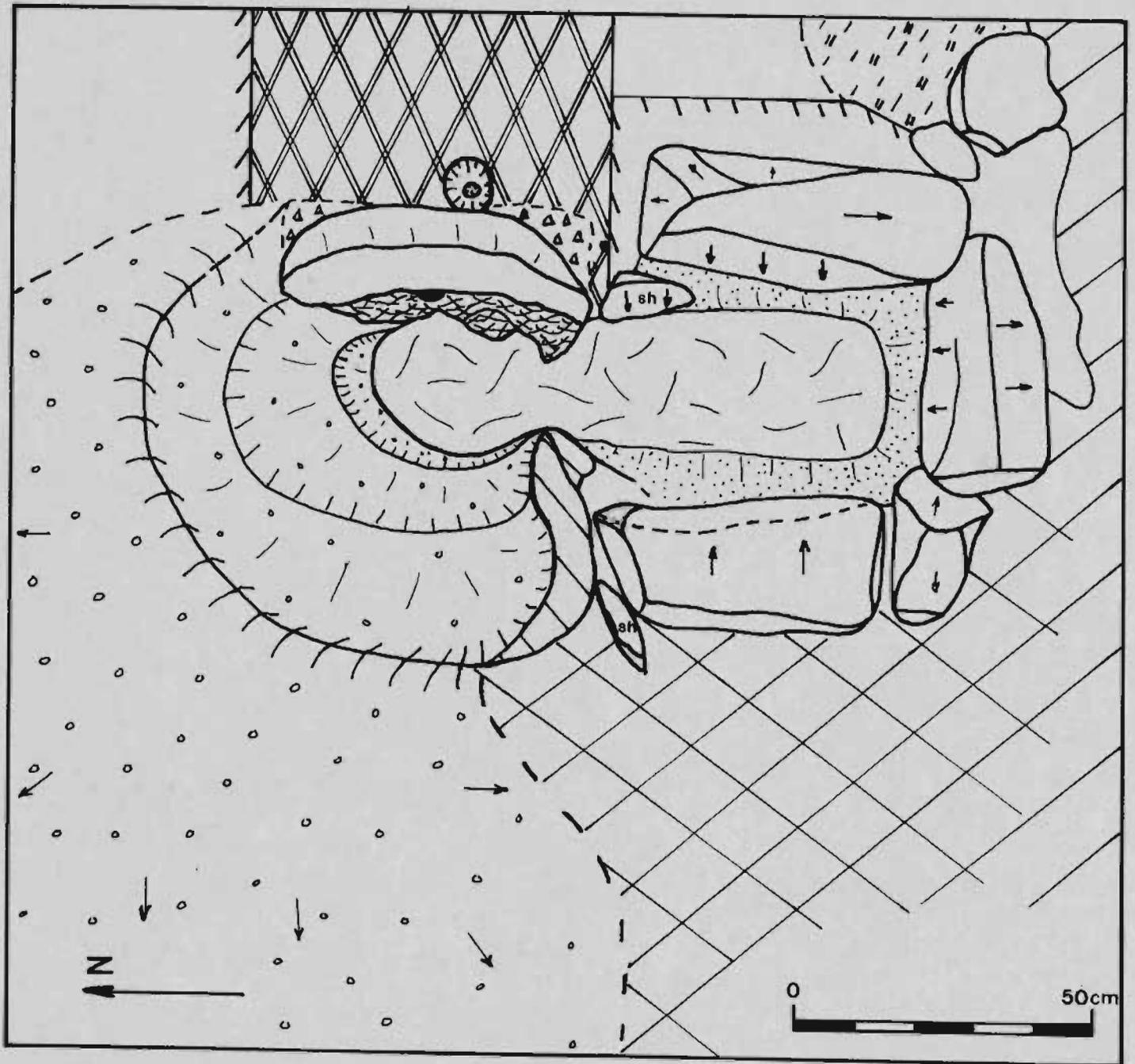


Fig. 11 - Vue en plan de la structure de chauffe SF1.

Ce qui est remarquable dans le dispositif, c'est la jonction d'argile opérée depuis le rebord ouest, en direction de la paroi scoriacée verticale, qui aboutit à la forme d'entonnoir à section ovale reconnue.

La question se pose du possible réemploi d'un pan entier de bas fourneau (ou tout du moins de son revêtement interne) dans la construction de la structure de chauffe, compte tenu du fait que de tels fragments, montrant presque à chaque fois une concavité semblable du côté scoriacé, sont régulièrement présents au sein des amas de scories ou des niveaux de sédiment rubéfié liés à ceux-ci (Vivet, 2002). L'intérêt serait, dans ce cas, de bénéficier d'un matériau stabilisé par la cuisson de l'argile, et qui a évacué son eau. Cependant la mise en place d'un tel bloc, rigidifié essentiellement sur sa face interne, qui atteint certainement 80 kg, ne va pas sans poser quelques problèmes de prélèvement, transport et mise en place, ainsi qu'on a pu l'apprécier au démontage de cet élément. La manutention d'un tel bloc hétérogène provoquerait rapidement des fissurations irréversibles.

La rubéfaction du sédiment situé en arrière de la paroi et des pierres est du foyer rectangulaire, est très forte. De couleur presque rouge sang, on l'observe de manière continue sur une épaisseur de 15 à 20 cm, dans sa zone sud, et sur 12 cm au nord, dans les niveaux supérieurs. Les traces sont visibles jusqu'à 50 cm en arrière de la paroi. Le sédiment rubéfié enveloppe en quelque sorte la paroi scoriacée en s'incurvant vers l'intérieur à mesure que l'on s'enfonce, tout en restant parfaitement visible en profondeur, où il forme en particulier une bande de limon rouge sous la masse d'argile cuite, à une profondeur de 28 cm sous le niveau de base des grès structurants voisins. Cette rubéfaction du limon a donc été provoquée par la chauffe, en place, intense, de la paroi scoriacée. Aucune fosse pouvant attester la mise en place du bloc argileux déjà cuit, n'a été notée dans l'emprise de la zone fouillée. Il est, de ce fait, probable que la paroi ait été façonnée à cet endroit même.

Les niveaux de sol enregistrés autour de la structure de chauffe, sous réserve de l'existence de zones assez réduites dont la fouille n'a pas été achevée, ne permettent pas non plus d'envisager sérieusement que cette paroi scoriacée fasse partie d'un four beaucoup vaste, qui aurait été démoli.

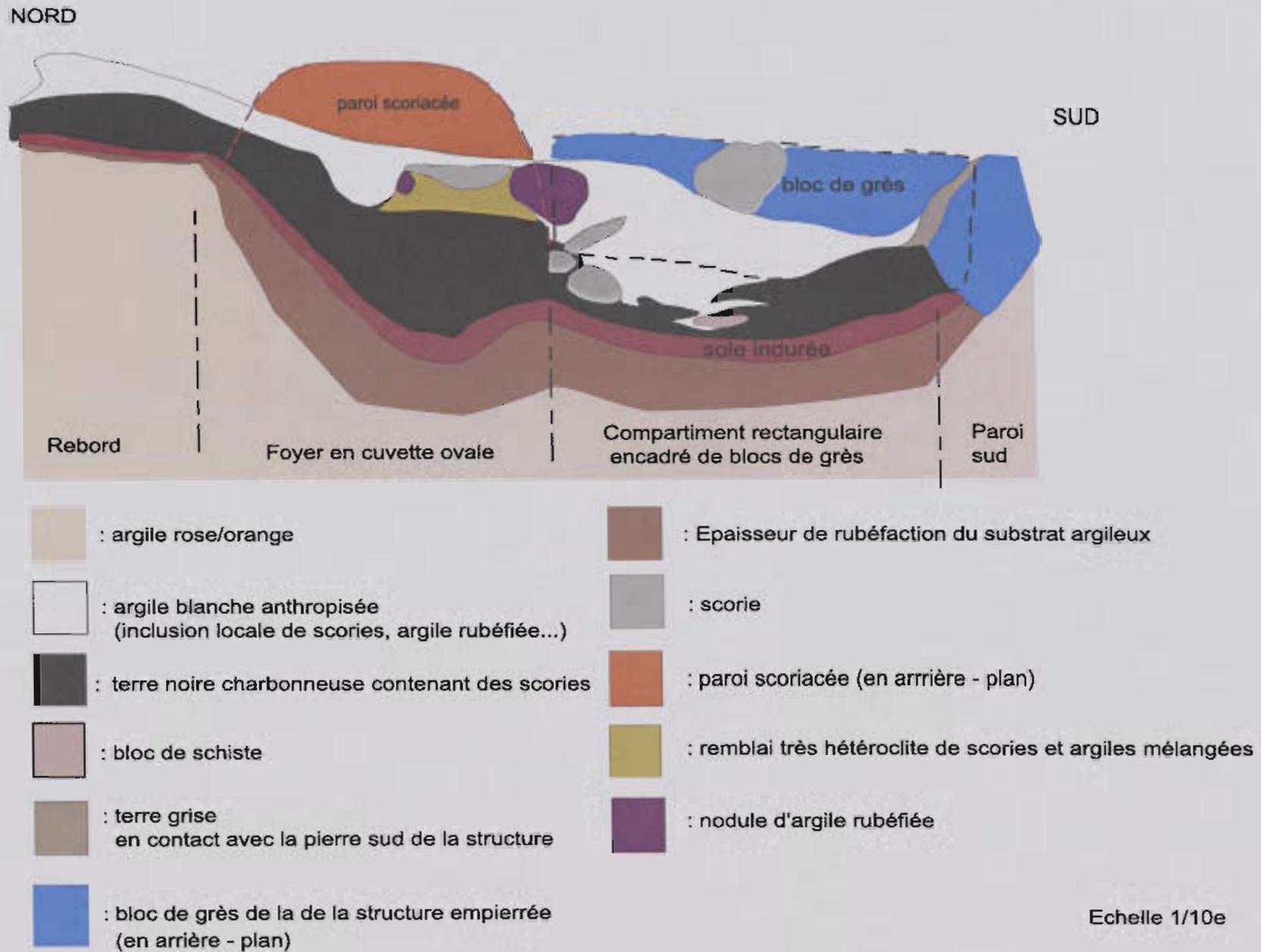
On notera enfin qu'une dizaine de gros fragments de paroi de four scoriacés (5 à 10 kg), en apparence similaires à celle de SF1, a été collectée à différents niveaux au sein de la tranchée ouverte dans l'amas de scories A10.

2.3 Compartiment rectangulaire.

L'agencement des blocs de grès dessine une forme quadrangulaire, de 55 cm de long, pour une largeur de l'ordre de 35 à 40 cm. Curieusement, l'espace réellement ménagé, descend bien en dessous du niveau de base de ceux-ci. La jonction des grandes pierres avec le fond plat, présente un profil courbe, qui démarre même pratiquement sous celles-ci. Le fond est fait d'une croûte gris-noir-bleue correspondant à une sole extrêmement durcie, légèrement bosselée.

On observe une rubéfaction intense, continue, du sol sous-jacent sur une épaisseur de 17 à 18 cm. Cette valeur est tout à fait spectaculaire, surtout lorsqu'on considère que les gaz chauds s'élèvent naturellement, et modifient donc les niveaux supérieurs beaucoup plus que la base. Il faut donc comprendre que cette rubéfaction est le fait d'un rayonnement thermique puissant, lui-même lié directement aux températures élevées qui ont été atteintes. Il faut cependant prendre en compte le fait que la rubéfaction peut être également liée à la porosité du sol (ici, compact), mais plus encore à l'état d'hydratation du sédiment au moment de la chauffe. Ceci pourrait signifier que le sol était humide lors des opérations. Il y a pu avoir séchage de la structure avant de l'utiliser selon son destination normale. L'expérimentation montre cependant que l'on observe un cerne blanc ou gris clair intercalaire dans ce dernier cas. On ne distingue pas de phase de cette nature, ni d'interruption ou reprise des opérations. La poursuite d'essais expérimentaux relatifs à l'impact de la chauffe sur le sol, pourrait fournir sans aucun doute, des indications complémentaires permettant d'aller plus loin dans l'interprétation de ce type de structure.

Fig. 12 : Trécélien- Paimpont
coupe de la structure de chauffe SF1



2.4 Jonction entre les deux foyers

L'ensemble de la structure suppose une réflexion préalable à la disposition des éléments structurants entre eux. C'est bien la position décalée (vers l'intérieur) de la paroi scoriacée du foyer ovale par rapport à l'encadrement de pierres quadrangulaire du foyer inférieur, qui fournit un axe longitudinal global à l'appareil.

Dans l'état où a été mise au jour la structure de chauffe SF1, la paroi d'argile très endurée grisâtre du foyer ovale s'interrompt au niveau de la jonction entre les deux compartiments. Le remplissage très charbonneux du foyer ovale était retenu dans sa partie supérieure par un remblai très hétérogène, beige, contenant des scories et des blocs d'argile cuite, résultant de l'abandon de la structure. Cependant le dépôt charbonneux se poursuit au fond vers la chambre rectangulaire, indiquant la possibilité de faire communiquer les deux compartiments, qui montrent par ailleurs une continuité de leur sole.

2.5 Témoins probables du système de ventilation

La grande paroi scoriacée verticale, précédemment décrite, présente en son centre géométrique un défaut de matière scoriacée de forme grossièrement circulaire, pouvant évoquer un orifice permettant le passage des vents. A la fouille un sédiment gris très meuble occupait ce conduit plus ou moins cylindrique de 5,5 à 6 cm de diamètre. Un trou de diamètre inférieur à cette valeur est d'abord apparu dans la partie haute de ce comblement très friable. Il faut cependant préciser que la surface interne de cet orifice possible n'étant pas scoriacée, elle est de ce fait très friable.

L'extrême fragilité de cet élément oblige cependant à émettre des réserves, quant à son utilisation pour la ventilation. Il se peut malgré tout que l'extrémité d'un soufflet ait pu détériorer le conduit, lors de son utilisation ou au moment de son enlèvement.

Ces observations sont à mettre en relation avec la mise à jour l'an dernier d'un fragment de paroi de four percé d'un orifice de ventilation traversant à 50 cm de profondeur dans le sondage effectué au sein de l'amas A8. L'aspect de cet élément est nettement plus vitrifié, avec une surface au feu noire, comportant quelques points d'opaline bleue. Les gaz ont pénétré par des fissures vers l'arrière, produisant ce même type de surface à l'arrière. Le diamètre traversant, est de 4 cm, ce qui n'est pas incohérent avec celui de la structure de chauffe de cette année, compte tenu de son état probablement dégradé.

On observe la présence d'un trou de piquet à l'arrière de la paroi, noyé dans le sédiment rubéfié, qui pourrait signaler, par exemple, le système de fixation d'un soufflet.

On peut penser que l'un des rôles essentiels de la paroi verticale scoriacée est de protéger de la chaleur et des escarbilles le soufflet de forge (et le souffleur). Dans certains cas ce type d'installation est désigné comme un petit muret en bordure de la cuvette du foyer de forge (Thommen et Kohler, 1991).

Compte tenu de la déclivité de l'ensemble de la structure SF1, et de la surface de la lèvre endurée et évasée du foyer ovale, on peut imaginer, que le métallurgiste ou forgeron, se positionne, quant à lui, sur ce rebord déversé à l'extérieur, pour travailler (dans la mesure où les tâches de soufflage et d'enfournement de matière ferrugineuse sont séparées).

3. Mobilier métallurgique

3.1 Niveau de travail

Comme nous l'avons vu, la couche noire, charbonneuse, qui reposait sur la sole du four, a été scellée par le niveau de limon blanc, apporté ou résultant simplement du colluvionnement. On peut raisonnablement penser que ce niveau correspond aux résidus des dernières opérations qui y ont été menées. Elle se révèle en ce sens extrêmement précieuse pour l'interprétation du travail métallurgique réalisé dans SF1. De ce fait elle a été prélevée pour sa plus grande part, et correspond au volume d'un seau de fouilles. Trois tamisages test ont été pratiqués selon la méthode exposée ci-dessous.

Elle est essentiellement constituée de scories de dimensions réduites, inférieures à 5-10 cm, pour la majorité d'entre elles. On y retrouve également, du charbon de bois, et de petits agrégats de limon. de façon évidente les scories de la structure de chauffe de celles des ferriers avoisinants.

La masse collectée représente 8 kg . Trois fractions de 500 g de sédiments ont été échantillonnées : l'une en partie supérieure du seau, une seconde en son milieu, la dernière au fond de celui-ci. Pour l'étude des éléments les plus fins, les trois échantillons ont subi le protocole suivant :

- 1) tri par passage dans deux tamis de maille différente (maille 14 pour la plus fine).
- 2) Les éléments ayant traversé sont repris dans une batée en fer, munie sur sa face inférieure, à proximité de l'extrémité du tronc de cône, d'une série de 6 aimants permanents. Les mouvements typiques de mise en rotation de l'eau permettent d'évacuer les éléments légers et non magnétiques. Le résidu persistant, accroché à la batée à hauteur des aimants est prélevé à l'aide d'une spatule plastique et mis à sécher.

En vue de faire des comparaisons utiles à l'interprétation de la structure, le même protocole a été appliqué à une masse de 500 g également de sédiment noir, provenant d'un prélèvement en masse et à cœur de l'amas de scories A10, qui s'est rassemblé essentiellement en fond de seau (le ferrier en contient peu).

Les premières observations tant macroscopiques que microscopiques (réalisées au microscope binoculaire) ne permettent pas de différencier formellement les résidus collectés sur la sole de l'appareil de chauffe de ceux du ferrier, provenant a priori essentiellement d'opérations de réduction.

L'analyse de ces fractions est actuellement en cours et a été confiée, dans le cadre de son travail, à Nicolas Girault, étudiant actuellement en D.E.A. d'archéologie à Paris I, sous la direction de Paul Benoît.

3.2 Sous la sole

Seules deux scories ont été mises au jour dans le niveau rouge-orangé extrêmement rubéfié se trouvant sous la sole de l'appareil. Compte tenu de leur position, elles appartiennent probablement à des états antérieurs (et même carrément plus anciens). Ces deux éléments présentent une morphologie un peu spécifique. L'une d'elle est une scorie de type cylindrique de 3 cm de diamètre et 10 cm environ de long, à fayalite rayonnante et surface externe rugueuse. Les scories de ce type renvoient à celles trouvées dans les sites gallo-romains de la région (Vivet, 1997, 1999) et de bas fourneaux de l'Age du Fer mis au jour sur le tracé de l'autoroute A28 près du Mans (Dunikowski et Cabbōi.). Elles sont visiblement dues à un écoulement de la fayalite au travers d'un orifice circulaire.

La seconde a pu être incorporée dans le sol au cours de la mise en place de la paroi verticale. Il s'agit plus précisément d'un amalgame entre des oxydes de fer, de la fayalite, de l'argile ocre et peut-être du métal. On constate en effet une très forte attirance à l'aimant. Celle-ci nécessiterait une analyse plus précise.

3.3 Secteur au nord de SF1

Dans le secteur qui surmonte la structure de chauffe, en direction du nord, plusieurs concentrations de scories particulières avaient été observées et collectées au sein du sédiment très hétérogène (Vivet, 2002). Quelques exemplaires, juste au-dessus du trou de poteau, présentent une surface inférieure bombée, circulaire ou pseudo-circulaire, en forme de culot. Cependant leur surface supérieure, bulleuse, à zones lisses alternées, ne les différencie pas, à l'échelle macroscopique, de celle des scories de réduction des ferriers environnants. Seule leur morphologie (dans la mesure où elle sont suffisamment bien conservées) est un peu spécifique, en ce sens qu'il est difficile de voir la section d'origine de l'écoulement, qui n'est, de ce fait pas linéaire, mais semble circonscrit dans une cuvette. Une autre catégorie, située un peu plus haut encore, correspond à un amalgame entre scorie et argile cuite, avec parfois des zones oxydées également incrustées. Ces scories évoquent le démantèlement d'un four, soit pour l'arrachage de la loupe, soit pour sa réfection. Leur relation à la fois fonctionnelle et stratigraphique avec la structure de chauffe, reste difficile à établir.

4 Interprétation de la structure de chauffe SF1

4.1 Éléments dimensionnels

Le taux de fractionnement des scories constituant les ferriers est élevé. Malgré cela on peut essayer de vérifier la compatibilité des dimensions de la structure de chauffe avec celles des scories de plus grande taille, représentées, en particulier, par les coulures en canal. L'amas A5 fouillé l'an dernier a fourni un exemplaire dont l'empâtement maximal donne une largeur de 23 cm, pour une longueur de 24 cm. L'amas A7, surplombant la structure de chauffe, a livré quant à lui deux grandes scories, l'une évasée, l'autre en forme de rigole étroite, dont le remontage permet d'évaluer la largeur maximale de l'écoulement à 17,5 cm, pour une longueur conservée de 52 cm. La partie basse de la structure SF1 a une longueur de 60 cm, pour une largeur de l'ordre de 35 à 40 cm, et présente des parois latérales courbes qui font penser aux traces d'écoulement en rigole. Les valeurs ainsi enregistrées ne permettent pas d'exclure l'hypothèse d'un écoulement dans la partie basse de l'appareil. Il faut cependant noter que l'échantillon n'est pas complet. Il convient également de remarquer que l'on observe de nombreux diamètres différents pour les semi-sections de ces scories en canal.

Par ailleurs, on ne voit pas forcément l'intérêt de borner l'écoulement à une structure semi-fermée, qu'il faut ensuite vider (mais on le voit, après tout, dans les représentations de bas fourneau d'Agricola (fig. 14). Il se peut également que la fosse située en contrebas corresponde, par exemple à une aire de travail à protéger.

4.2 Forme générale de structure

4.2.1 Essai de rapprochement avec des forges du Moyen Age.

La forme générale de la structure évoque un travail effectué en axe, telles que ceux pratiqués dans des forges à différentes périodes (Merluzzo et Forrières, 1991). Ainsi que l'indiquent les principaux éléments descriptifs retranscrits ici (Bailly-Maître, 1991), les exemples contemporains ou légèrement antérieurs renvoient, par contre, à des foyers de forme rectangulaire, nettement plus vastes, et en élévation.

A Brandes, dans le massif de l'Oisans, au 13^e siècle un « modèle type » a pu être défini à partir de quatre ateliers). Les foyers, s'appuyant sur un édifice en pierre, comportent une sole construite de 1,20 m x 2 m, surélevée de 60 cm par rapport au niveau du sol, indiquant par-là que l'ouvrier travaillait en hauteur, ainsi que l'atteste également dans tous les cas, une étude iconographique à partir des manuscrits de la Bibliothèque Nationale. Fait intéressant, il est indiqué que trois d'entre eux, la structure était subdivisée en deux compartiments (annexe 2).

L'iconographie indique également que le foyer repose sur un bâti cylindrique jusqu'aux XIII^{ème}-XIV^{ème} siècles, et prend la forme d'une paillasse rectangulaire à partir du XV^{ème} siècle.

Plusieurs trous de poteaux situés en avant de l'angle du foyer marquent l'emplacement du bâti du soufflet, ce qui implique une arrivée d'air latérale comme dans les forges du XV^{ème} (Chieze et Benoît, 1990).

Autour du foyer le sol est percé de petites cuvettes rubéfiées, aux contours durcis, de même module que les nombreux culots trouvés dans le dépotoir, et qui recouvrait une autre forge de près de 3 tonnes de déchets métallurgiques (culots et scories). Dans ce rejets il n'y a aucune scorie coulée, cordée ou en plaque. Il s'agit essentiellement de scories « bulleuses » et de culots. Le diamètre de ces derniers est d'environ 12 cm.

Dans le cas de la forge du Samson (annexe 3), au XVI^{ème} siècle, le foyer occupe une aire de 1,20 m x 2,20 m (Grandemange, 1990). La disposition du soufflet est la même qu'à Brandes.

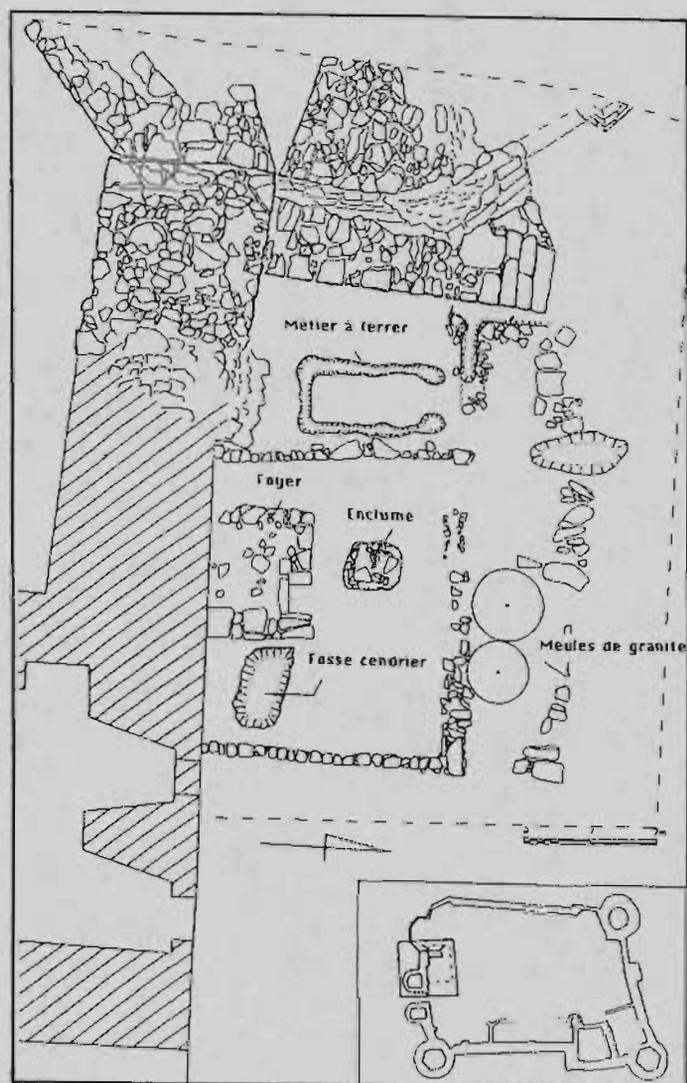


Fig. 13 - Forge du château du Guildo (22), XV ème siècle (Beuchet, 1998).

Les éléments iconographiques fournis dans le *De Re Metallica* (Agricola, 1556) et dans le *Pirotechnia* (Biringuccio, 1558), sont dans les grandes lignes, en bon accord avec les données issues des fouilles détaillées précédemment (annexe 1).

Plus proche de nous, la fouille du château du Guildo nous donne un exemple de forge bien datée (fig. 13), installée au cours du dernier quart du XIV^e siècle, réaménagée au début du XV^e siècle et détruite dans la seconde moitié de ce même siècle (Beuchet, 1998). Encore une fois le foyer de forge, appuyé contre un mur, dans un petit bâtiment de 5 x 4 m environ, est lui-même quadrangulaire (2 x 1.5m), maçonné, et en élévation (60 cm, d'après les traces de chauffe au mur). La zone de chauffe, en cuvette, est lutée d'argile.

Tous ces éléments, iconographiques ou issus de fouille, montrent un dispositif pour le forgeage d'élaboration ou de réparation d'objets, autour des XIV-XV^e siècles, finalement bien typé, dont les caractéristiques sont bien éloignées de ce que l'on observe sur le site de Trécélien. Il convient cependant d'opposer le fait que ces forges fonctionnent à chaque fois à l'intérieur d'un bâtiment maçonné ou d'un appentis.

On peut également avancer qu'après deux campagnes de fouille, intéressant une douzaine de sondages, dans un secteur de plus d'un hectare centré sur les ferriers, un seul objet métallique en fer a été collecté, en l'occurrence une lame pliée d'une trentaine de centimètres, fichée au sein de l'amas A5, mise au jour en 2002 (Vivet, 2002). Cet état de fait tend à montrer que l'élaboration des objets en métal, n'a pas lieu sur le site même des accumulations de scories du site.

Sous réserve d'analyses métallurgiques du mobilier fournissant des données contraires, on est en droit de penser que la structure de chauffe ne correspond pas à une forge d'élaboration d'objets en fer.

4.2.2 Essai de rapprochement avec des bas fourneaux du Moyen Age ou ultérieurs.

a) Fourneaux décrits par Agricola

L'ouvrage d'Agricola, dans son livre neuf, nous fournit une des rares descriptions des opérations sidérurgiques du XVI^e siècle, même si l'on doit déplorer un éloignement géographique important, compensé sans doute par de nombreux voyages, et un intérêt semble-t-il limité pour la métallurgie du fer (5 pages iconographie comprise sur 508 pages dans la traduction de France Lanord). Si l'on en croit les représentations gravées, qui accompagnent le texte, le fourneau forme un massif de pierre quadrangulaire maçonné en pierre, s'élevant à une hauteur approchant ou dépassant celle d'un homme (fig.14). La force hydraulique y est employée, ce qui n'est pas le cas de Trécélien. L'écoulement de la scorie à l'extérieur semble prévue ici dans une cuvette circulaire au pied du fourneau (et non dans une rigole).

On voit donc que la structure mise au jour à Trécélien est très éloignée de celle qui est décrite par Agricola.

b) Forges catalanes

On pourrait trouver une certaine similitude de forme de la structure fouillée à Trécélien avec certaines descriptions de forges catalanes ou apparentées, malgré leurs nombreuses spécificités (emploi de la force hydraulique – deux soufflets ou bien trompe à eau, réaction avec métal très carburé, minerai à fort taux de manganèse...).

- Le schéma d'une forge catalane reproduit par Tylecote (1987), d'après Percy (1864) et François (1843) montre un foyer ouvert et asymétrique (annexe 4). La base quadrangulaire du foyer (60 x 60 cm) s'élargit à



A: Fourneau B: Les degrés C: Le minerai D: Le charbon



A: Foyer B: Le tas amoncelé C: La voie à couliement D: Une masse de fer
E: Le maillet en bois F: Le gros marteau en fer G: Une enclume

Fig. 14 - Réduction du minerai de fer, travail de la loupe au maillet de bois, De Re Metallica (Agricola, 1556).

1 m suite au dévers de la paroi opposée à l'arrivée du soufflet. Sa hauteur est de l'ordre de 1,50 m à 2 m. Le charbon est chargé côté tuyère, tandis que le minerai est approvisionné du côté opposé à celle-ci.

Une réflexion autour d'une telle disposition, n'est pas inintéressante pour essayer d'expliquer, en particulier, le fait que la paroi verticale de la structure de Trécélien soit scoriacée sur toute sa surface, alors que le rebord argileux ovale, qui lui fait face, ne l'est pas.

Tylecote indique que la distribution de ces forges catalanes ne s'arrête aux Pyrénées. Ainsi, le modèle Corse, apparaît beaucoup plus rustique et ressemble plus à un foyer de forge de forgeage d'objet, dans laquelle le mur extérieur du foyer est réalisé à l'aide de blocs de minerai. De même, les fourneaux Caucasiens décrits par Grzelishvili (1964) semblent avoir l'allure de bas foyers.

- L'étude documentaire réalisée pour le sud des Pyrénées catalanes (Sancho I Planas, 2000), qui porte sur la production de fer préfigurant les forges catalanes proprement dites (celles-ci n'apparaissent qu'à partir du XVI^{ème} et sont restées actives jusqu'à la seconde moitié du XIX^{ème}), a abouti à l'observation sur le terrain d'un four situé à Fabregada. Sa construction remonte au XI^{ème} siècle, datation confirmée par la céramique mise au jour dans les couches de fondation de la forge et de destruction du village (XIII^{ème}). La force hydraulique, de faible intensité au regard du faible débit du cours d'eau, est utilisée non pas pour les soufflets, mais pour le martinet. La structure a été excavée dans la roche calcaire, et complétée avec de grandes pierres liées au mortier à la chaux (annexe 5). Les murs de la chambre de réduction sont revêtus d'un enduit argileux. Il s'agit d'un bas fourneau ovale ayant comme dimensions extrêmes de cuve 40 et 60 cm, pour une profondeur de 60 cm. Un canal de sortie des scories prolonge l'appareil vers un puits à scories de 15-20 cm de profondeur environ, permettant leur ramassage à l'extérieur.

4.2.3 Essai de rapprochement avec des foyers d'épuration des loupes

a) De re metallica, Agricola

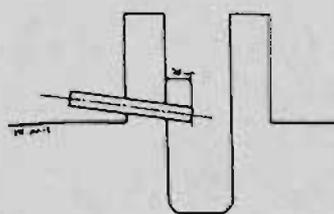
Agricola précise en effet que la masse métallique sortie du fourneau (deux ou trois cents livres), après martelage au maillet de bois (fig. 14), est fractionnée en quatre, cinq ou six parties selon sa taille, au martinet. « Puis on refond ces parties dans un autre foyer de forge et on les place à nouveau sur l'enclume ».

Cette opération évoque le travail d'épuration et de mise en forme, visant à en faire « des masses rectangulaires, des socs, des cercles, mais surtout des barres ».

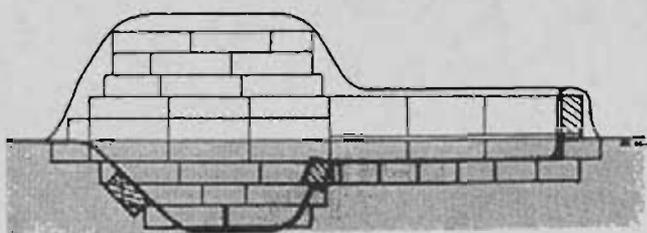
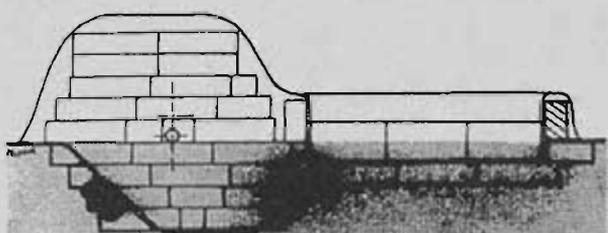
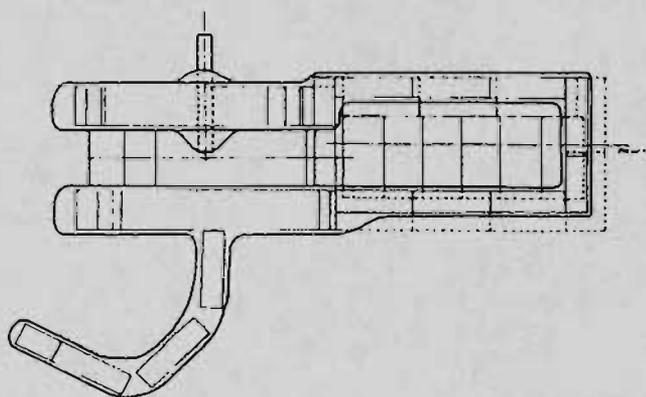
Le foyer de forge en question ne fait pas l'objet d'une description particulière. Il est possible que ce foyer soit spécifique, mais il est tout aussi probable qu'il s'agisse simplement d'un foyer de forge tel que celui représenté sur la gravure qui accompagne le texte (annexe 1). Cette dernière représentation est à nouveau très différente de la structure observée en forêt à Trécélien.

b) Forges de tradition japonaise.

Malgré la distance culturelle qui nous sépare des pays du soleil levant, des points de convergence intéressants apparaissent avec des foyers de forge, constitués à des fins de 'seconde réduction' ou 'affinage des loupes' par deux Maîtres japonais, lors d'une démonstration en France (Merluzzo, Forrières, 1995). Celle-ci avait été organisée à Nancy-Jarville par le C.C.S.T.I.F.M. (Musée de l'Histoire du Fer et Laboratoire d'Archéologie des Métaux) et le groupe de Recherche sur la Métallurgie Traditionnelle (G.R.M.T./1). Il n'est pas inutile de préciser que Maître ONO MASAMI, trésor culturel vivant, et Maître WAKITA RYOSUI opèrent selon des méthodes traditionnelles sauvegardées depuis le XVI^e siècle. Sans entrer dans le détail de la chaîne opératoire, on constate que la forme générale de l'appareil utilisé par les deux métallurgistes montre beaucoup de similitude avec la structure de chauffe de Trécélien (fig. 15). Les foyers sont construits à même le sol, après creusement d'une tranchée de 0,15 m de profondeur. Deux parois de brique parallèles donnent au foyer une forme allongée de 0,60 x 0,20 m. Ces petits murets de brique ont une hauteur totale de 55-60 cm dans la zone de soufflage. Ils se prolongent dans l'axe, tout en réduisant leur hauteur totale à environ 25 cm, et en formant un compartiment rectangulaire (pour le foyer construit par ONO), en continuité avec la zone de chauffe. Cet



Legende :
 1. 200 mm
 2. 100 mm
 3. 50 mm



0 50 cm

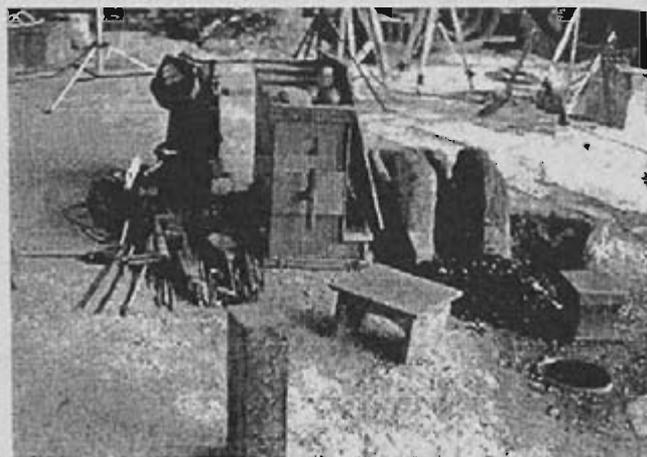


Fig. 15 - Foyer de forge ('seconde réduction' ou 'affinage des loupes'), construit par le Maître japonais ONO MASAMI, lors d'une démonstration organisée à Nancy-Jarville par le C.C.S.T.I.F.M. (Musée de l'Histoire du Fer et Laboratoire d'Archéologie des Métaux) et le G.R.M.T. (groupe de Recherche sur la Métallurgie Traditionnelle) (Merluzzo, Forrières, 1995).

espace complémentaire paraît servir à 'gérer' l'utilisation du charbon de bois tel que son stockage, l'ajustement de la quantité juste nécessaire, l'évacuation de charbons indésirables...

Il faut faire abstraction de l'aménagement situé à l'opposé de la tuyère, destiné à recevoir, de manière très spécifique, un charbon de paille.

La ventilation (soufflet à tiroir) est réalisée à l'aide d'une tuyère latérale légèrement inclinée, traversant le muret de brique au ras du sol, disposition très comparable à celle supposée dans la paroi de l'appareil de Trécélien. Il s'agit par contre d'un conduit cylindrique et non d'un simple orifice.

Dans l'opération dite de 'seconde réduction', on colmate le foyer de forge à ses deux extrémités par de la poussière de charbon de bois mouillée et tassée afin de former un puits de la hauteur des murets latéraux de la forge et concentrer la chaleur près de la tuyère. L'aspect du foyer ovale de Trécélien s'apparente fortement à l'espace ainsi défini dans le foyer japonais.

Les forges japonaises décrites sont en réalité employées à plusieurs travaux : reprise de l'éponge de métal incomplètement réduite (opération s'apparentant d'une certaine manière à un puddlage), grappage des petits éléments métalliques épars, mais se poursuit par d'autres opérations plus en aval de l'épuration, telles que la formation d'un lingot plat en vue de produire une lame, le contrôle de la cémentation et le corroyage.

Si, comme on l'a dit, l'éloignement géographique ne permet pas un rapprochement technique qui soit un lien ou une diffusion culturelle, ces descriptions montrent sans conteste une bonne fonctionnalité de la forme de l'appareil pour la réalisation de différentes tâches de 'seconde réduction' et d'épuration.

Comme on le voit la structure de chauffe mise au jour à Trécélien pose de sérieux problèmes d'interprétation et ses caractéristiques, qui soutiennent mal les comparaisons en font un dispositif technologique original de la fin du Moyen Age ou du début de la Renaissance. Dans l'état actuel de l'étude il est difficile de trancher totalement sur sa fonctionnalité et seul le recours à l'analyse physico-chimique des résidus métallurgiques qui reposaient sur la sole de l'appareil, pourrait peut être permettre, avec beaucoup de difficultés, de proposer un mode de fonctionnement de l'appareil (ou au moins de rejeter définitivement l'une des hypothèses).

II. CONSTITUTION ET ENVIRONNEMENT DES FERRIERS

1. AMAS DE SCORIES A11

1.1 description – constitution de l'amas A11.

Cette butte de scories n'a été découverte que tardivement par rapport à l'ensemble principal d'amas du site. Sa position est en effet nettement plus excentrée, puisqu'elle se situe à 70 m au nord-est de l'amas le plus oriental (A6). Il convient de préciser qu'il n'est éloigné que d'une quinzaine de mètre, à peine, de la branche nord-est du chemin creux ancien qui divise le site en deux. Cette situation spécifique, présentait donc un intérêt sur le plan de la chronologie relative d'une part, et d'autre part sur la découverte potentielle d'une structure de réduction pouvant lui être directement associée, contrairement aux autres amas, qui sont trop proches les uns des autres pour que la distinction soit bien nette.

Un décapage exhaustif de la couche humique recouvrant le ferrier et de ses abords immédiats a été réalisé, sur un secteur carré de 15 m de côté (fig. 16). L'accumulation de ces scories spongieuses se poursuit quelque peu sous l'humus au-delà de l'élévation visible (en trait fort), et correspond globalement à l'emprise du relevé topographique de la figure. L'expérience acquise l'an dernier, grâce à la découverte de la structure SF1, et à l'examen des fragments de revêtements internes de four, incitaient à se concentrer sur des zones de concentration pierreuse. Un épaulement bien marqué sur le flanc sud du ferrier, en particulier, montrait en son sein, une dépression ovale bordée de blocs de grès affleurant juste de l'humus. Compte tenu de la disposition spécifique de cet ensemble pierreux vis à vis du ferrier, un dégagement progressif et raisonné a été mené, assez exigeant en terme de temps, bien qu'il n'ait pas donné lieu à un enregistrement systématique, ni nécessité un enlèvement total. En effet, les états successifs de fouille de cette zone ont petit à petit laissé apparaître une accumulation continue de blocs de grès sur plusieurs niveaux, sans structuration apparente.

Les pierres de dimensions plus réduites, enlevées niveaux par niveaux, n'ont donc pas été reportées sur le plan, à l'exception du bord ouest de l'amas, dont le dessin donne une idée de la densité (fig. 16). On constate que les plus gros blocs se trouvent essentiellement en partie inférieure du tas formé. Un certain nombre de ces éléments atteignent des masses très respectables approchant et dépassant même les 20 kg. Les blocs les plus profonds sont directement ancrés dans le limon blanc du substrat, sans qu'aucun sol intercalaire n'apparaisse. La répartition des plus gros blocs ne permet pas d'y lire d'organisation précise. Les lacunes de sédiment très souvent observées entre les pierres indiquent que l'accumulation résulte d'un simple rejet continu des éléments les uns sur les autres, sans interruption temporelle notoire. L'absence d'organisation empêche d'y voir le résultat de l'éboulement d'une structure maçonnée. Malgré des variations de coloration du sédiment (brun, marron, jaune, blanc) aucun liant ou mortier n'a pu être observé. Aucune pierre ne montre de rubéfaction ou d'impact de feu évident. Ainsi que le montre la stratigraphie, la butte de scories est venue s'appuyer sur cet amas de pierres sans le recouvrir intégralement.

Le sol naturel, très blanc, prend par moments, localement, une coloration superficielle jaune, directement liée à la présence de scories. Les oxydes de fer des scories sont très vraisemblablement responsables de ce phénomène, qui n'est pas systématique. Le lessivage des scories a pu produire cet effet, en fin de compte assez marginal, du fait de la grande stabilité de la fayalite, qui constitue la matière majoritaire de ces scories coulées.

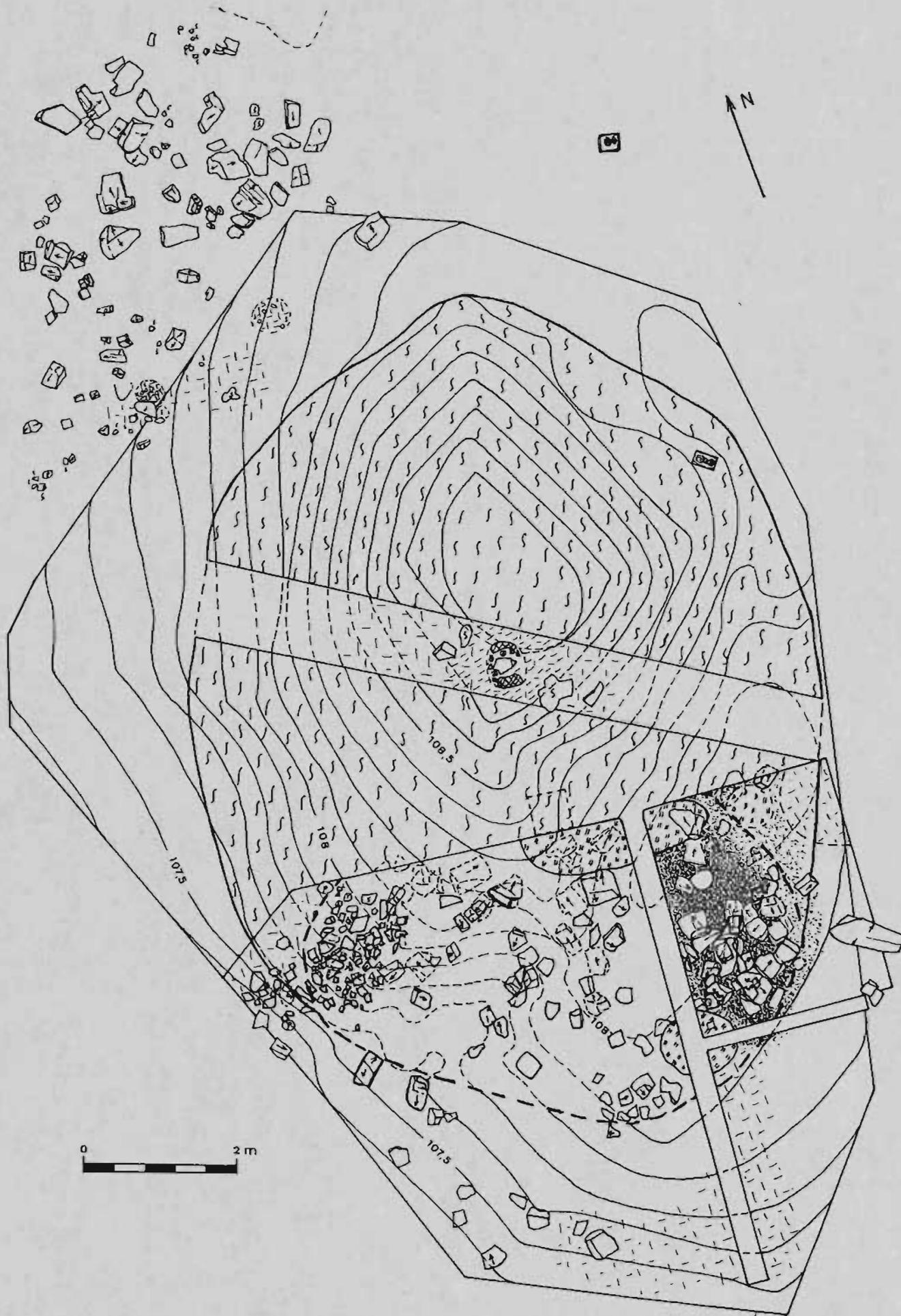


Fig. 16 - Amas de scories A11 : plan du sondage S3, tranchée pratiquée par la mini-pelle mécanique et série de grès apparus au nord suite au décapage total de l'amas. Blocs de grès à cupules isolés, au nord-est.

Un comptage systématique des masses de pierres accumulées a été réalisé au fur et à mesure des décapages manuels, au cas où il se serait agi de l'éboulement de la structure maçonnée d'un bas fourneau. La fouille ne livrant pas d'évidence de ce type, le démontage total des pierres n'a pas été poursuivi jusqu'à son terme. Une partie de celles-ci, en direction du centre du ferrier est également restée en place sous l'amas de scories. Compte tenu du fait que ce sont les plus gros blocs que l'on retrouve au niveau du sol, on peut estimer que le pesage réalisé correspond à un peu moins de la moitié de la masse des pierres présentes, fin de fouilles. La masse des pierres comptabilisées est de 2 382 kg. On peut estimer de ce fait que le pierrier représente une masse totale de l'ordre de 4 à 5 t.

Une évaluation de la masse de scories par unité de volume de ferrier a été effectuée sur un cube de 50 cm de côté au sein du ferrier, au-dessus de la banquette nord de l'amas de pierres (fig.16). Elle donne lieu à une interprétation des masses de scories, dans la suite du présent rapport.

On note par ailleurs, de l'autre côté du ferrier (zone au nord de A11), une concentration de gros blocs de grès. Il n'y a pas non plus d'organisation spatiale précise, et les roches ne sont pas là superposées contrairement à l'amas décrit précédemment. Il semble s'agir simplement de roches provenant du socle sous-jacent, et qui sont naturellement en place.

Le secteur sud livre une zone très étendue, de sédiment rougeâtre attirable à l'aimant, se déclinant en brun-rouge ou brun-orangé en périphérie. Il contient à la fois des blocs de grès de bonne dimension en continuité avec ceux de la partie plus orientale du tas de pierre, et des scories, assez denses et quelquefois cordées. On note aussi la présence de plusieurs dépôts de sédiment très charbonneux à la fois au sein de l'amas de pierre et dans la couche de sédiment rougeâtre. Ces observations montrent que la constitution de l'amas de pierre est contemporaine de celle du ferrier, y compris des phases de rejet de sédiment rouge 'magnétique' et de charbon de bois, et l'on peut s'interroger sur le rôle de cette accumulation de pierres, ne montrant pas de trace évidente de chauffe, vis à vis de l'activité métallurgie.

Quelques traces très peu épaisses de rubéfaction ou de résidus de sédiment chauffé sont observables à la surface du sol, sous le ferrier, au niveau de la grande tranchée de sondage pratiquée à la mini-pelle. De grandes scories coulées disposées de part et d'autre, à plat sur le sol, accompagnent ces témoins de chauffe. On retrouve le substrat blanc immédiatement en dessous de ce niveau, sur une épaisseur de 15 cm au moins.

Les éléments céramiques, trouvés en quantité non négligeable (une vingtaine de tessons), étaient pour la plupart intercalés entre les pierres, avec des glissements possibles dans les lacunes interstitielles. Ils appartiennent essentiellement au groupe de céramiques n° 1. Certains sont encore colorés superficiellement par le sédiment rouge. Ils renvoient à des fonds de pots de grandes dimensions (W84.4, fig. 29). Quelques éléments du groupe 2 (céramique à pâte claire) ont également été mis au jour.

Rien ne permet de dissocier ces ensembles de tessons, de ceux collectées dans les ferriers A6-A7-A8-A9-A10, situés à 80 m plus bas, ni de ceux de la fontaine, assez proche. On peut donc considérer que l'amas A11 est globalement contemporain des autres amas du site, dans la fourchette chronologique assez large proposée (XIV-XVI^{ème} siècles).

1.2 Pierres à cupules

Deux gros blocs de grès de forme parallélépipédique, montrant des cupules bien marquées ont été découverts, en position isolée, sur le flanc nord de l'amas de scories pour le premier (fig.17) et en bordure nord de ce dernier pour le second (fig.18). Le premier bloc (n°1) a une masse de 22,6 kg et le second (n°2) de 19,3 kg.

Le bloc n°1, émergeait largement de l'humus du sol. Sa face 1 reposait directement sur les couches de scories du ferrier. Celles-ci présentaient par ailleurs un aspect jaunâtre du fait de leur enrobage dans une fine pellicule d'argile ocre-jaune. Le bloc n°2, quant à lui, affleurait également et était posé sur la face 2, en extrême limite du ferrier.

La forme quadrangulaire des blocs a manifestement été choisie de manière à disposer de tables de travail planes. L'abrasion et les coups portés ont généré des entailles en cuvettes plus ou moins oblongues.

Sur le bloc n°1, on les retrouve sur les quatre faces de plus grandes dimensions. Les deux extrémités étroites et inclinées du bloc, ne permettant pas de le poser en position stable, n'ont logiquement pas été exploitées. Ces traces de martelage forment une série de trois dépressions conjointes, sur trois faces. Les profondeurs sont les suivantes :

- face 1 : 1,9 – 1,7 – 1,8 cm
- face 2 : 1,8 – 1,7 – 0,8 cm
- face 3 : 2,0 – 1,7 – 1,7 cm

La quatrième face montre une cuvette un peu plus élargie de 2,0 cm de profondeur, qui se prolonge par une zone dépressionnaire de 1,7 cm de profondeur.

Le bloc n°2, de forme plus cubique, compte quant à lui, deux surfaces de travail, correspondant aux deux faces opposées les mieux appropriées (planes, un peu plus grandes, et de forme carrée). Deux autres faces opposées sont également sensiblement planes. L'une, crevassée, ne montre pas de coup. L'autre présente quelques marques de piquetage, sans suite. Le travail de la face n°1 a provoqué une rupture du bloc, le rendant impropre à toute utilisation ultérieure.

La face n°1 est largement martelée et montre une grande cuvette de 2,6 cm de profondeur, accompagnée d'une petite cuvette de 2,0 cm de profondeur, à l'origine de la fracture de la pierre. La face n°2 est surtout marquée par une dépression ovale de 2,0 cm de profondeur, à laquelle s'adjoint une zone de martelage parallèle, de même forme, peu profonde, mais qui a provoqué le départ d'un éclat en bordure, stoppant sans doute l'opération à ce stade.

Les dépressions observables ressortent fortement du fait de leur aspect blanc, en quelque sorte piqueté et à abrasion grossière, qui contraste avec la surface d'altération des blocs, essentiellement lisse et colorée en jaune et orangé par les oxydes de fer. La morphologie générale des blocs évoque fortement celle des tables de broyage rencontrées à différentes périodes auprès des mines, tous métaux confondus. Le piquetage ou martelage a laissé de petites empreintes allongées, de 2,5 mm de long, pour 1 mm de large et 1 mm de profondeur environ. Aucune trace spécifique d'oxydes de fer n'apparaît dans ces marques. De ce fait il est impossible de relier formellement leur utilisation au broyage et concassage du minerai. Il faut cependant noter que leur exposition à l'air, dans un environnement humique, a pu lessiver les surfaces et provoquer une migration de particules minérales qui auraient pu éventuellement y adhérer.

Les dispositions récurrentes des dépressions enregistrées sur un même bloc témoignent cependant ici d'un cycle de travail particulier. Lorsque le creusement généré par la frappe atteint une certaine profondeur (de l'ordre de 1,7 à 2 cm), l'emplacement choisi semble ne plus convenir, et on le déplace, jusqu'à épuisement des surfaces et faces disponibles. Les profondeurs atteintes restent encore modestes et pourraient, au contraire, aider au maintien de l'objet à broyer. Il faut sans doute envisager d'autres utilisations.

Il se pourrait par exemple que ces surfaces de travail aient été employées à des tâches telles que celle de la déformation de métal à froid pour la production, la réparation ou la récupération d'objets métalliques, un

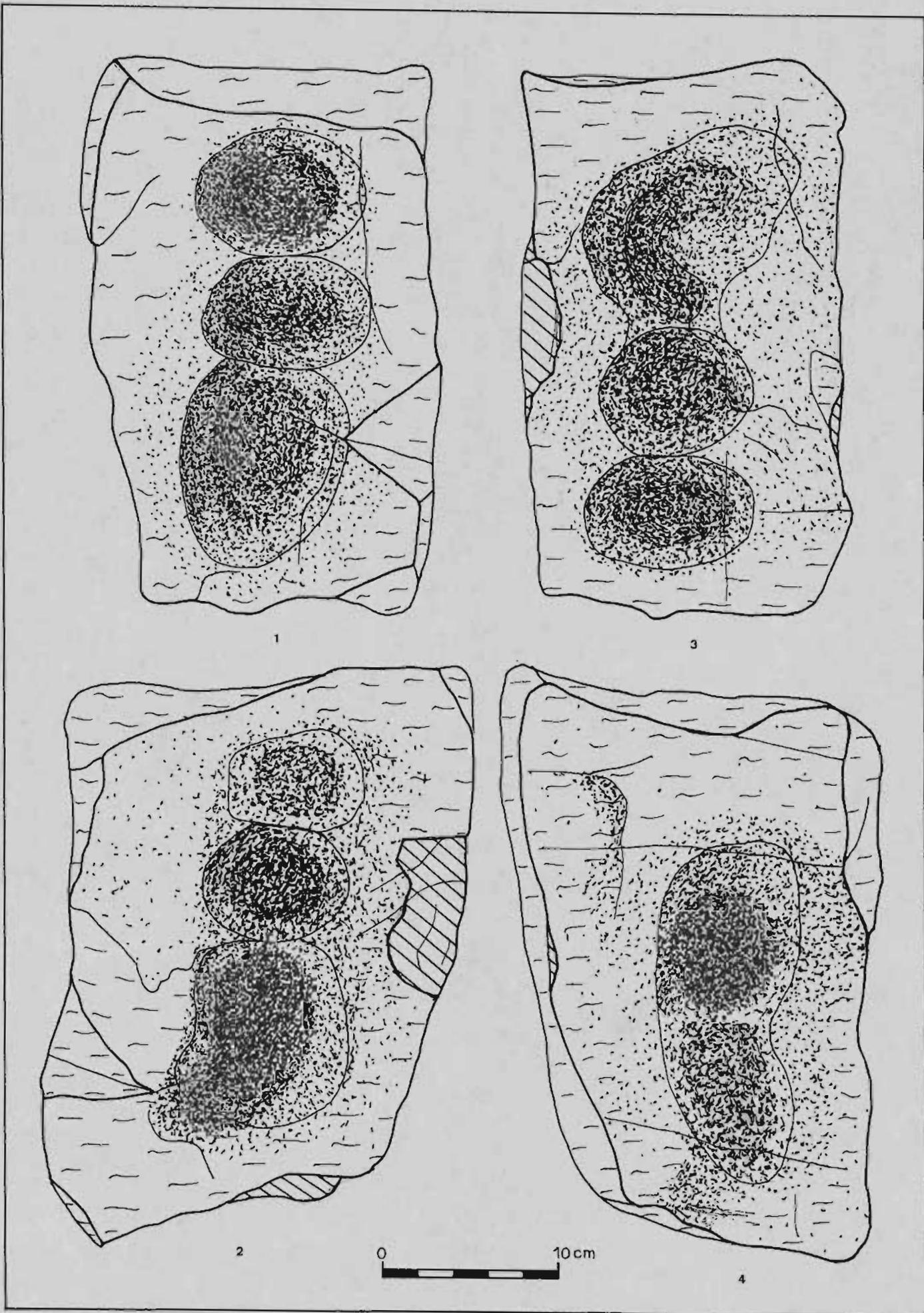
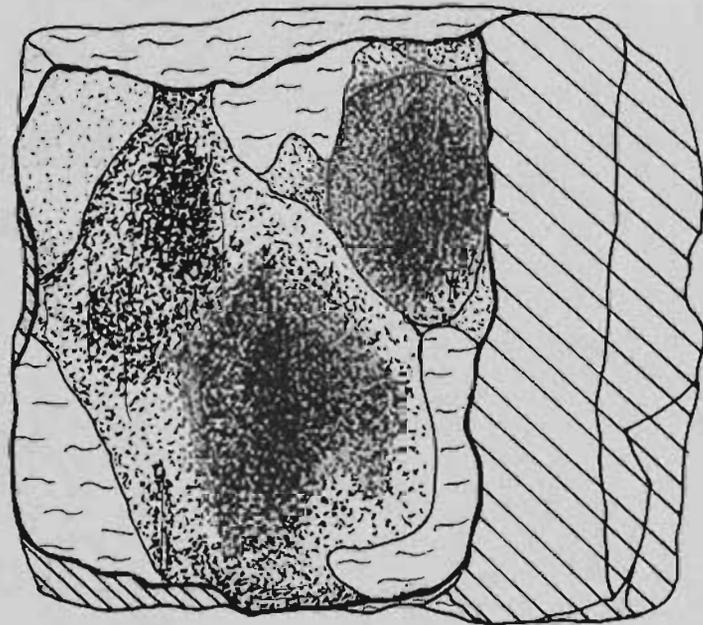
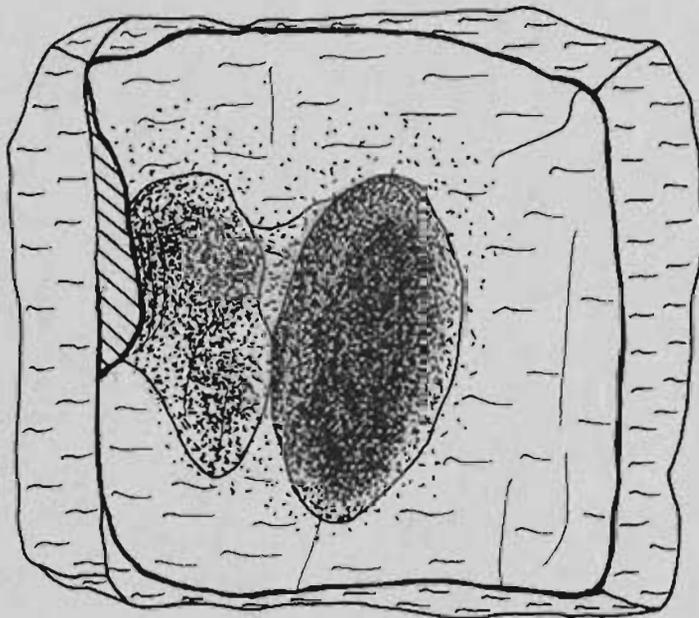


Fig. 17 - Bloc de grès quadrangulaire à cupules n°1.



1



2

Fig. 18 - Bloc de grès quadrangulaire à cupules n°2.

creusement trop conséquent de la pierre rendant plus difficile le positionnement de l'objet et le contrôle d'impact du marteau. On peut imaginer, pourquoi pas, l'utilisation en table de martelage de la loupe métallique afin de la débarrasser des scories encore adhérentes. L'interprétation reste donc très ouverte en l'absence d'association directe avec une structure de travail.

On mentionnera enfin, à ce sujet, la présence d'une série de blocs de grès fragmentés cylindriques trouvés en prospection sur le site du Laitray en Paimpont, ferrier de même nature, au milieu de l'étalement quasi continu des scories. L'aspect de ces derniers rappelle quelque peu celui de pilons.

2. ESTIMATION DU VOLUME ET DE LA MASSE DES FERRIERS

2.1 Amas A11

Une topographie assez serrée du secteur de l'amas A11 a été réalisée afin d'établir une estimation sérieuse du volume de scories que représente ce ferrier (fig. 19). Le calcul a été mené par Louis Martel, du département Génie-civil (IUT) de l'Université de Rennes 1, à partir des nombreux points de mesure (une centaine environ à chaque fois). Le levé de terrain a été effectué avec une station LEICA TC-705.

Les points caractéristiques du terrain ont été mémorisés en 3D (coordonnées relatives). Le report a été fait sous AUTOCAD 2000 et le tracé des courbes de niveau ainsi que le calcul de volumes à l'aide du progiciel COVADIS.

Le principe de calcul du volume réalisé avec COVADIS est le suivant :

- Une triangulation est effectuée entre les points levés (modélisation numérique du terrain) selon la méthode de Delaunay (recherche des triangles les plus équilatéraux possibles).
- Les opérations de décapage manuel et à la mini-pelle mécanique ont permis de s'assurer du niveau de base sur lequel reposent les scories. Celui-ci a été assimilé à un plan incliné défini à partir de trois points écartés encadrant le ferrier.
- Par rapport au plan de base incliné défini par ces trois points, on obtient des prismes triangulaires verticaux juxtaposés (fig. 23).
- Le volume total est la somme des volumes de chaque prisme.

Les calculs ainsi menés fournissent les données suivantes :

- emprise en surface du ferrier : $S = 100 \text{ m}^2$
- volume du ferrier A11 de $33,5 \text{ m}^3$

A noter que, dans le cas particulier du ferrier A11, il faut retrancher l'amas de pierres qui constitue l'épaulement sud du ferrier, dans le calcul du volume des scories. Suite aux comptages des masses de pierres et aux relevés de fouille, cette accumulation de blocs (comportant des espaces vides) peut être évaluée à 3 ou 4 m^3 . Ce qui donnerait un volume 'utile' (vis à vis de la métallurgie) de 30 m^3 au ferrier.

2.2 Ensemble A8-A9-A10

Ces trois amas de scories se chevauchant en grande partie, l'évaluation a été conduite à partir de la topographie fine de l'ensemble des monticules (fig. 21). Elle a abouti selon la même méthode que précédemment aux résultats suivants :

- emprise en surface du ferrier : $S = 780 \text{ m}^2$
- volume du ferrier constitué par les amas A8-A9-A10 : 536 m^3

FERRIER HAUT

altitudes relatives

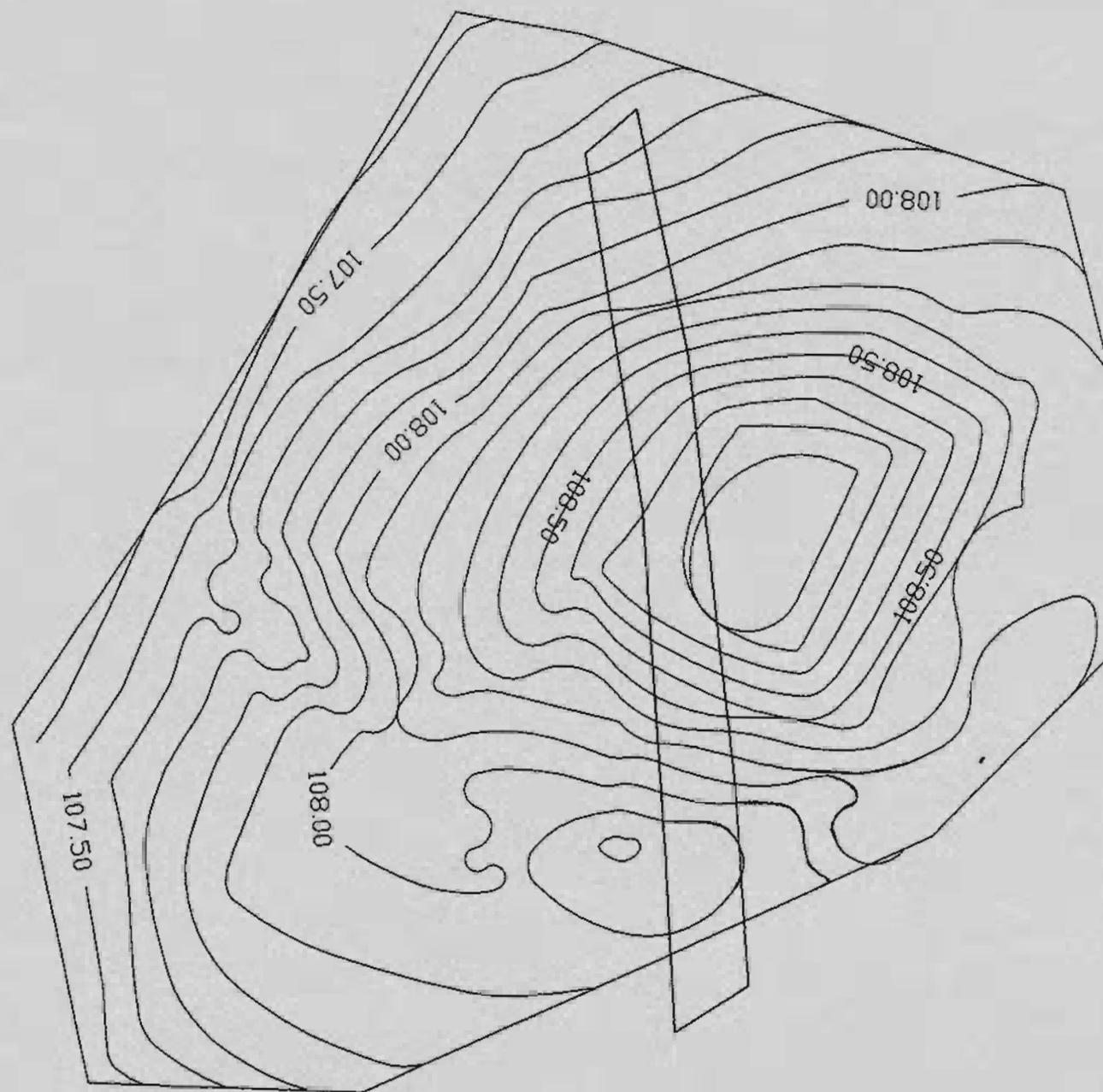


Fig. 19 - Topographie de l'amas de A11. Echelle : 1/75 e

FERRIER HAUT
perspective isométrique

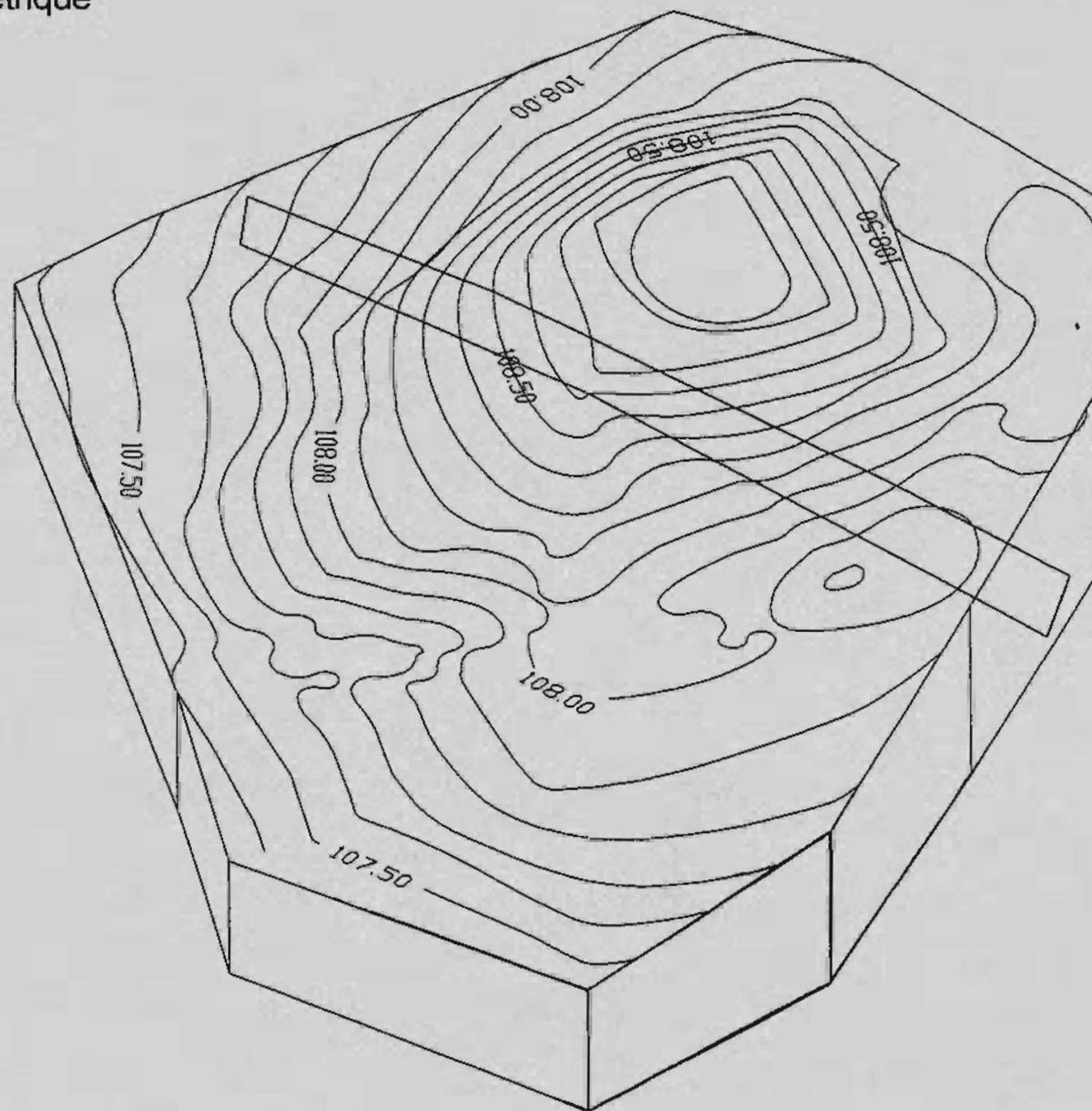


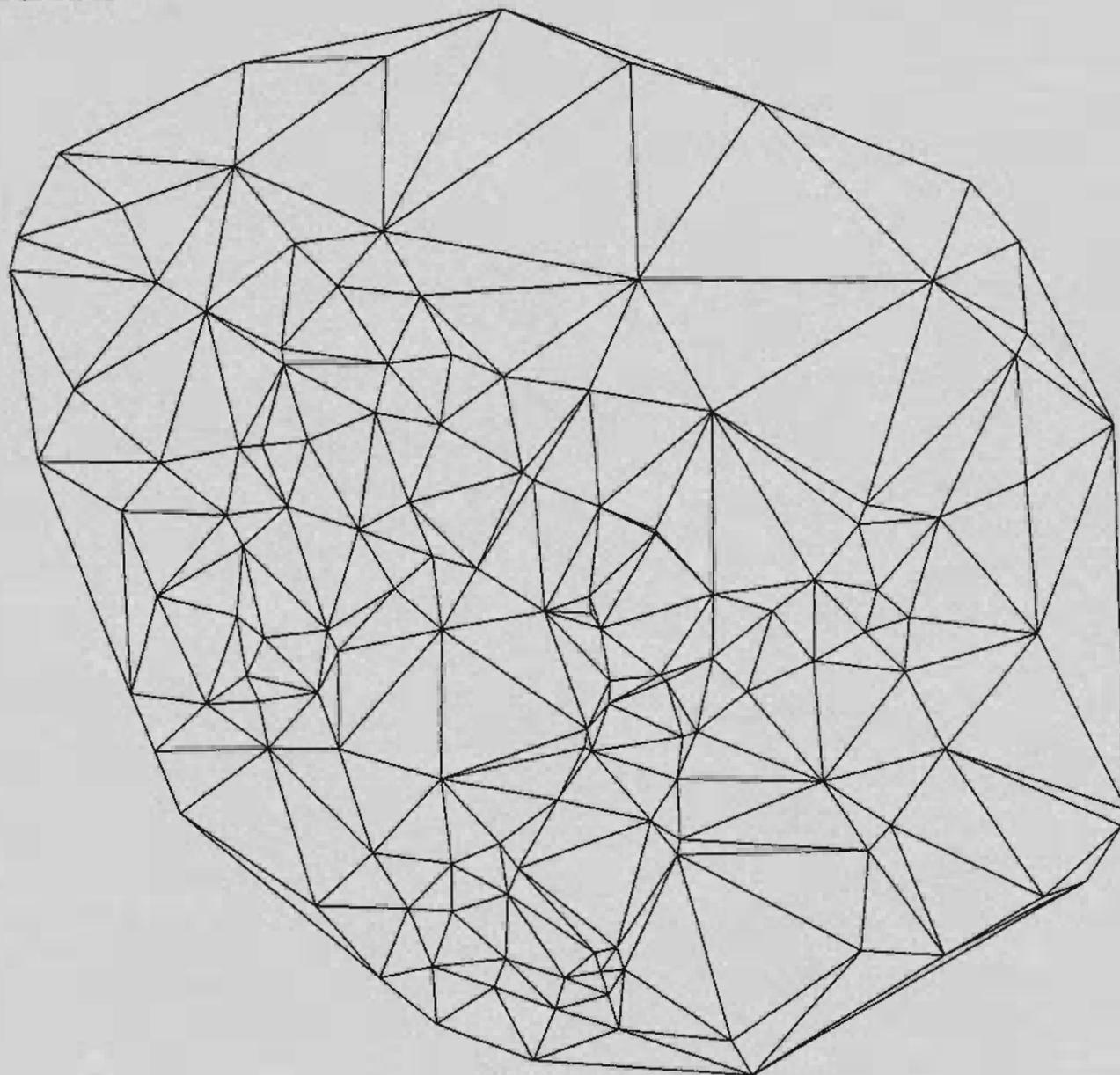
Fig. 20 - Topographie de l'amas de A11. Echelle : 1/75 e

FERRIER BAS

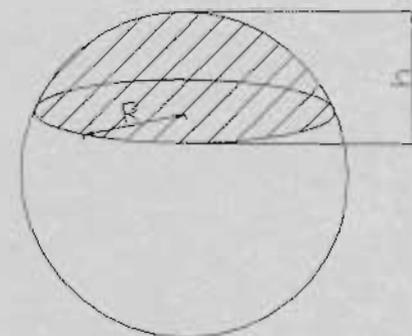
éch: 1/200

modele numerique du terrain

Fig. 23 - Topographie du ferrier constitué des amas A7, A8, A9 et A10. Triangulation selon la méthode de Delaunay et rappel de la formule du volume d'une calotte sphérique.



$$V = (P/6) h (h^2 + 3R^2)$$



Rappel de la formule du volume du segment sphérique

2.3 Comparaison avec une calotte sphérique – perspectives

A titre de comparaison et afin de vérifier l'ordre de grandeur du résultat obtenu, un calcul de volume a été effectué en assimilant le ferrier à un segment sphérique (calotte).

Le périmètre de la base est celui du cercle moyen et la hauteur la distance entre le niveau du sol 'naturel' relevé en fouille et le niveau maximum moyen du ferrier.

Rappel de la formule du volume du segment sphérique :

$$V = (P/6) \cdot h \cdot (h^2 + 3 R^2)$$

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Amas A11 : $R = 6,20 \text{ m}$ $h = 1,50 \text{ m}$ (environ) d'où $V' = 92,3 \text{ m}^3$
- Ensemble des amas A8-A9-A10 : $R = 16,60 \text{ m}$ $h = 4 \text{ m}$ (environ) d'où $V' = 1764,9 \text{ m}^3$

On constate que les volumes calculés précédemment à l'aide des prismes verticaux représentent environ le tiers du volume de la calotte sphérique correspondante, ou mieux 30 % de celle-ci :

Ainsi :

- | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| - Amas A11 : | $V' \times 0,30 = 28 \text{ m}^3$ | au lieu de $V = 33,5 \text{ m}^3$ |
| - Ensemble des amas A8-A9-A10 : | $V' \times 0,30 = 529,5 \text{ m}^3$ | au lieu de $V = 536 \text{ m}^3$ |

Si cette proportion s'avère correcte pour d'autres ferriers, elle permettrait de fournir une première estimation rapide (très approximative quand même) des volumes de ferriers à partir des données topographiques. L'épaisseur d'accumulation des scories sous le niveau de sol visible actuel nécessite cependant de réaliser de petits sondages ponctuels.

Ce calcul approché peut s'avérer précieux pour la reconstitution du volume des ferriers ayant fait l'objet de récupération ultérieure, comme dans le cas du grand amas A6 et de l'amas A1, par exemple. C'est sans doute le seul moyen d'évaluer la masse manquante dans ce type de situation.

2.4 Estimation de la masse nette de scories par m³ de ferrier :

Plusieurs estimations du rapport entre la masse nette de scories et le volume du matériel extrait dans les ferriers ont été menées en 2002 et 2003.

Amas de scories	couche	prof.	année	n°	masse scories nette	masse sédiment nette	volume seau	masse de scorie / m ³ ferrier	volume seau	masse de scorie / m ³ ferrier	masse de scorie moyenne/ m ³ ferrier
					kg	kg	m ³	kg/m ³	m ³	kg/m ³	kg/m ³
A7 (carré E56)	n°1, noire à scories	45 cm	2002	1	9.380	10.830	0.011	853	0.01	938	895
A7 (carré E56)	n°1, noire à scories	45 cm	2002	2	7.430	10.130	0.011	675	0.01	743	709
A7 (carré E56)	n°2, rouge à scories	50-55 cm	2002	3	11.64	10.530	0.011	1058	0.01	1164	1111
A10	au cœur du ferrier, tranchée minipelle	1 m	2003	1	7.290	0.500	0.011	663	0.01	729	696

Table 1 : Estimation de la masse de scories contenue dans un volume donné de matériaux constitutifs d'un ferrier.

On voit que les masses, par unité de volume de ferrier, peuvent varier assez fortement suivant les couches considérées. Les valeurs extrêmes sont obtenues pour :

- un prélèvement au sein du ferrier A10 à environ 1 m de profondeur, dans la coupe pratiquée à la mini-pelle mécanique. On observe une quasi-absence de sédiment argileux. De ce fait, la masse de 500 g de matière pulvérulente rassemblée au fond du seau, essentiellement due aux scories émietées (l'influence des charbons de bois est négligeable) a été ajoutée à celle des scories au moins centimétriques. On obtient une masse globalement comprise entre 650 et 750 kg/m³, soit une valeur médiane de l'ordre de 700 kg/m³.
- un prélèvement dans une couche de sédiments particulière, très rouge, contenant des scories plus denses dont la surface a pris cette coloration. L'estimation donne une valeur globalement comprise entre 1050 et 1150 kg/m³, soit une valeur médiane de l'ordre de 1100 kg/m³.

Les pierres et fragments de paroi de four rencontrés ont bien sûr été séparés des scories. Le calcul de moyenne opéré sur les quatre prélèvements fournit une valeur comprise entre 808 et 889 kg/m³.

On voit que la précision des résultats dépend beaucoup de l'incertitude sur l'évaluation du volume de remplissage des seaux de fouilles.

Aussi le travail a-t-il été conduit sur un volume plus important de matériaux, extrait dans un volume cubique de dimensions 0,5 x 0,5 x 0,5 m, directement taillé au sein du ferrier A11. Les résultats sont les suivants :

n°	masse brute	masseseau	masse scories	long,	larg,	haut,	volume	masse de scorie / m3 ferrier
	kg	kg	kg	m	m	m	m3	kg/m3
1	9.800	0.580	9.220	0.5	0.5	0.5	0.125	885
2	12.500	0.580	11.920					
3	14.420	0.580	13.840					
4	9.240	0.580	8.660					
5	13.700	0.580	13.120					
6	14.340	0.580	13.760					
7	11.080	0.580	10.500					
8	13.940	0.580	13.360					
9	12.460	0.580	11.880					
10	4.920	0.580	4.340					
		total:	110.600					

Table 2 : Estimation de la masse de scories contenue dans un volume cubique de 0,5 m de côté, prélevé au sein de l'amas de scories A11.

La valeur trouvée est de **885 kg/m³**. Cette masse est en bon accord avec la fourchette moyenne issue des quatre prélèvements détaillés précédemment, tout en se situant pratiquement en haut de l'intervalle. Il convient de préciser que les fragments millimétriques de scorie contenus dans le peu de 'sédiments' présents accompagnant les scories n'ont pu être comptés, malgré tout le soin apporté au tri. L'influence sur le résultat n'est pas grande, mais tend à majorer un peu le résultat. Par ailleurs, la précision de cette dernière mesure est bien meilleure que celle des quatre prélèvements précédents. De ce fait, c'est ce résultat de 885 kg/m³ qui sera retenu pour l'estimation de la masse des ferriers.

A l'aide des volumes obtenus précédemment grâce à la topographie, on est maintenant en mesure de donner une estimation de la masse de scories contenus dans plusieurs ferriers de Trécélien. Les résultats sont rassemblés dans la table 3, ci-dessous.

Amas de scories	volume du ferrier	masse de scories/m3	Masse nette des scories
	m3	kg/m3	Kg
A11	30	885	26 550
A8-A9-A10	536	885	474 360

Table 3 : masse des scories constitutives des ferriers A11 et A8-A9-A10.

On voit que la masse de scories de l'amas A11 est de l'ordre de **27 t**, et que celle de l'ensemble des amas A8-A9-A10, avec une valeur de **474 t**, approche les 500 t !

Les dernières expérimentations que nous avons réalisées en 2002 et 2003 lors de la fête du fer de Paimpont n'interdisent pas de penser que l'on puisse atteindre, à partir de la composition chimique des scories et du minerai, le rendement des opérations de réduction réalisées avec le minerai de surface armoricain. En effet à partir des bilans massiques et des analyses chimiques, Jean-Jacques Chauvel (géosciences-Université de

Rennes1) a repéré le comportement très constant (taux d'enrichissement par rapport au minéral) des terres rares, ce qui constituerait une bonne base de référence pour les calculs. Il serait alors possible d'approcher avec un indice de confiance correct la masse de métal produite par ces ferriers. Celle-ci constitue un enjeu particulièrement important pour l'interprétation de ces zones de production, sur le plan social et économique. Ce travail que nous menons actuellement est en cours de validation et sera naturellement appliqué au site de Trécélien.

3. SERIE DE SONDAGES TESTS SUR LES FERRIERS ET LEUR ENVIRONNEMENT

Une série de sondages tests a été menée grâce au concours de la mini-pelle mécanique, afin notamment de rechercher d'autres appareils de transformation métallurgique, et en particulier le ou les bas fourneaux à l'origine de la formation des ferriers. Ces opérations visaient également l'obtention de données techniques et chronologiques complémentaires.

3.1 Sondages test T1 et T2 sur l'amas A2

Cet amas de scories a fait l'objet des deux sondages test T1 et T2 à la mini-pelle (fig. 1). Le premier, situé en secteur est, se décompose lui-même selon trois orientations. La surface polygonale la plus à l'est correspond à une réouverture et un élargissement du sondage réalisé au même endroit en 2002. En effet, ce dernier ayant livré une série de parois de four de plusieurs kilogrammes en partie vitrifiées, au sein d'une épaisse couche de sédiment brun-rouge, il semblait opportun de reprendre ce secteur de fouille cette année, à titre de vérification. Le niveau, apparaissant directement sous la couche d'humus, a livré à nouveau des parois du même type. Un sondage manuel de 40 x 40 cm montre malheureusement que l'épaisseur de la couche de rejet n'est pas très grande (15 à 20 cm maximum), et semble, de ce fait, peu propre à dissimuler un appareil de chauffe conséquent. Un test réalisé à la mini-pelle en direction de l'est confirme cette observation.

Sous le niveau brun-orangé attirable à l'aimant, on rencontre une couche limoneuse jaune. Par contre, cette couche orangée recèle un lot conséquent de tessons de céramique, dont certains éléments fournissent une datation assez tardive, discutée ci-après dans le chapitre sur les terres cuites (n° Am2 89, fig.30). Du fait de la présence de ces tessons, en grand nombre, la fouille n'a pas été poursuivie jusqu'à son terme. Il subsiste notamment encore une bonne partie du niveau orangé en place.

La branche orientée vers le nord livre également quelques tessons. Des blocs de grès de fortes dimensions commençaient à apparaître l'an passé. Leur dégagement ne montre pas de structuration particulière, malgré le fait qu'ils soient dans un même alignement. De ce fait, la fouille n'a pas non plus été poursuivie plus avant.

Une deuxième branche a été ouverte vers le centre du ferrier. Elle nous livre d'autres éléments chronologiques, dont quelques-uns sont assez inattendus...

Un élément de matériel lithique est apparu sous la forme d'un fragment de lame ou de débitage lamellaire, en silex blanc et bleu. Bien que le mobilier lithique ait rarement été collecté sur la commune, à cause, vraisemblablement, du couvert forestier, une datation néolithique avait été obtenue lors de la fouille de bas fourneaux sur le site de Couesdan à Plélan-le-Grand (4313-4252 BP en datation calibrée).

De même, à l'extrémité est de la tranchée, sous le niveau gris limoneux situé directement sous le niveau de scories, à l'interface avec le sol limoneux blanc sous-jacent, quatre fragments d'une même tegula, sont apparus. Mis à part le terminus post quem logique qu'il fournit, cette découverte mérite d'être signalée, de part la très faible occurrence de témoins de cette période sur la commune, malgré l'existence d'une voie de communication la traversant du nord au sud, dont le tracé n'est d'ailleurs pas reconnu (Duval, 1998). Sans rechercher l'exhaustivité, on citera à nouveau les fouilles du site métallurgique de Couesdan (Plélan-le-Grand), dont la datation C14 situe l'activité entre 128 et 370 ap. J.-C.

Enfin, une série de tessons appartenant aux groupes 1 et 2 (voir chapitre sur les céramiques), a été collectée au sein du ferrier, aussi bien au niveau de sa base, qu'à 20 cm au-dessus et sous 50 cm de scories, au milieu de la coupe sud. La coupe montre essentiellement une accumulation continue de scories, qu'accompagne un sédiment gris-noir, charbonneux, limoneux et sec. Si aucune structure marquante n'apparaît sous la masse du ferrier, le sondage permet de se rendre compte, par contre, de la hauteur maximale réelle de l'accumulation de scories, qui se situe au voisinage de 1,20 m (cf. aussi fig. 4).

Le second sondage, de forme circulaire, épousant le flanc sud du monticule de scories, livre des informations comparables aux observations collectées l'an passé, un peu plus en contrebas, sur une largeur moindre. La stratigraphie très tranchée, montre ici la présence au sein des scories, sous l'humus, d'un sédiment d'abord jaunâtre ou gris, coloré par moment des particules rougeâtres, auquel succède une phase très noire et charbonneuse, interrompue par de grandes poches sous-jacentes de sédiment rouge attirable à l'aimant, rejoignant le sol limoneux blanc. Aucun élément nouveau ne permet de pressentir la présence d'un bas fourneau dans ce secteur, même au niveau du petit diverticule créé vers l'ouest, dans l'espace permis par les arbres en place.

3.2 Sondage test T3 au centre géométrique des amas A1, A2, A3, A4, A5.

Par suite de la disposition presque circulaire de l'ensemble des ferriers A1, A2, A3, A4, A5, occupant la partie basse du site, un sondage à la mini-pelle mécanique a été tenté dans un secteur occupant une position centrale vis à vis de ceux-ci. On peut en effet formuler l'hypothèse d'un rejet périphérique des scories à partir d'un appareil, dont la conduite nécessiterait par exemple une libre circulation dans ses abords immédiats. Le sondage, de 3 m sur 3 m environ, se situe un peu au nord de la tranchée en croix réalisée l'an dernier. Les données sont assez voisines de celles de 2002, avec là encore, alternance de couches charbonneuses noires et granuleuses rouges, comportant un assez grand nombre de scories, mais aucun indice matériel supplémentaire suggérant la présence d'un bas fourneau.

3.3 Sondage test T4 à l'intersection entre les amas A3 et A4.

L'idée d'un rejet de part et d'autre d'un appareil pouvant être envisagée, un sondage en tranchée, de 8 m de long pour 1,20 m de large, a été opéré à la rencontre des amas de scories A3 et A4. Il révèle à nouveau la présence des couches noires et rouges précédemment décrites à la base des ferriers, sous les niveaux gris-noirs de scories supérieurs. Les couches rouges peuvent être épaisses (plusieurs dizaines de centimètres) ou parfois très fines (1 à 2 cm). Ces niveaux ne donnent pas non plus d'indication sur le lieu d'implantation d'un appareil de réduction.

3.4 Sondages test T5 et T6 : petit amas de scories écarté A12.

La présence d'un léger relief par rapport au paysage environnant, sur lequel s'est implanté un bouquet d'arbres a suscité une vérification rapide. Les sondages T5 et T6, ont, de fait, révélé la présence d'un petit amas de scories (A12), un peu à l'écart des précédents, et jusque là ignoré. Le petit tas de 2 m - 2,50 m de diamètre pour 35 - 40 cm de haut environ, repose directement sur le limon jaune côté sud ouest (T6). Par contre, au nord (T5), une couche brun-rouge vient s'intercaler sous les rejets de scories noirs.

3.5 Sondage test T7 : dépression géométrique en milieu humide au sud est des ferriers.

Un secteur très humide situé au sud-est de la zone des ferriers, présente une série de dépressions aux contours assez géométriques, qui finissent par rejoindre le lit du ruisseau de Trécélien. Un travail de lavage du minerai de fer était envisageable à cet endroit. La vérification de cet aspect s'est traduite par un sondage de 2,50 x 1,5 m sur l'une des 'vasques' tourbeuses quadrangulaires de ce lieu. La couche tourbeuse brune,

épaisse de 40 cm environ, fait place à un niveau de vase grise, qui se trouve en contact avec le limon blanc et jaune pâle sous-jacent, contenant de rares blocs de grès épars. Une perturbation grise, isolée, peu profonde, est apparue dans ce substrat, sans doute due à l'impact d'une grosse branche. Aucun mobilier n'a été reconnu. Ces fondrières tourbeuses paraissent bien se développer naturellement, suite à l'écoulement d'une ou plusieurs résurgences sur ce terrain incliné, qui finissent par remplir une petite zone en dépression. La permanence de l'eau en ces endroits empêche la croissance des végétaux dans leur emprise, malgré l'importance de la couche humique.

3.6 Sondage test T8 en amont du sondage S2.

La coupe stratigraphique nord du sondage S2 (situé près de l'origine du repère du chantier), montre l'existence, assez inattendue, d'une épaisse couche de scories dans un secteur ne montrant aucun relief notable. Compte tenu des informations chronologiques importantes livrées par ce sondage (cf. § B. II. 5.), un test à la pelle mécanique a été opéré à quelques mètres en amont du sondage, vers le nord. Il montre un prolongement des rejets métallurgiques dans cette direction, confirmant par-là leur étendue. On rencontre à nouveau un niveau de sédiment rouge à la base du dépôt noir, l'ensemble reposant sur le limon jaune pâle. A noter la mise au jour, l'an dernier, d'un fragment de paroi de four, qui a été collecté, directement sous l'humus, quelques mètres encore plus haut, un peu avant le chemin.

On peut se demander, du fait de leur emplacement à mi-distance entre l'amas de scories A1 et le chemin, dans quelle mesure ces niveaux limoneux bruns et rouges riches en scories ne pourraient pas résulter du prélèvement de grande ampleur opéré à une période indéterminée sur le ferrier A1 (Vivet, 2002). Sans modifier la conclusion chronologique énoncée un peu plus loin, leur constitution pourrait alors être (éventuellement largement) postérieure à l'activité métallurgique elle-même, et provenir d'un stock intermédiaire ou de pertes liées au chargement de ce matériau abondant, aux abords du chemin.

3.7 Sondage test T9 en aval du ferrier A8.

Ce petit sondage test a pour but de vérifier l'emprise du grand ferrier A8 vers le bas et de tester la présence de structure sur son flanc aval, contrairement à la majorité des sondages réalisés jusqu'ici intéressant essentiellement les secteurs amonts. La couche de scories noire apparaît directement sous l'humus, sur une épaisseur maximale de 25 cm, un peu plus faible qu'il ne pouvait y paraître. Le sondage marque la fin du ferrier. En fait, la pente encore forte, qui donne sur le chemin, n'est pas due au monticule de scories, mais provient essentiellement du relief naturel. Ces observations ne sont pas sans importance dans l'estimation du volume des ferriers, traitée précédemment. On ne note pas de trace de structure.

3.8 Sondage test T10 en aval des ferriers A9 et A10.

Le test effectué dans la même optique que le précédent, au niveau du talweg généré par les deux amas A9 et A10, montre encore une fois la succession humus - couche gris-noire de scories - couche de sédiment granuleux rouge - limon jaune pâle, avec des épaisseurs de dépôt respectives de 5 cm - 35 cm et 5 cm. Là encore la pente naturelle est très prononcée.

3.9 Sondage test T11 sur le flanc est de l'amas A6.

Un décapage a été réalisé à la mini-pelle sur une surface rectangulaire entamant en partie le flanc est de l'amas de scories A6. La stratigraphie montre que le grand ferrier repose sur un sol limoneux blanc et a ici une hauteur de 75 cm. Il comporte à sa base une couche limoneuse grise encore riche en scories, renfermant une petite série de tessons de poterie des groupes 1 (8 éléments appartenant à un ou deux pots) et 2 (1 fragment de fond) respectivement à 44 et 58 cm sous la surface du ferrier. On notera pour le premier groupe un récipient de grandes dimensions (diamètre : 40 cm), du type oule, à lèvre presque carrée, trouvé sous une épaisseur de scories de 40 cm (Am6.1, fig. 29).

La couche noire humique située à l'est du ferrier renfermait un bloc de grès de très grande taille, de 70cm au minimum dans sa partie affleurante triangulaire, sur lequel a été stoppé le décapage de la mini-pelle. La fouille manuelle n'a pas montré d'agencement particulier associé à cette pierre, hormis son rôle de délimitation d'une couche charbonneuse noire provenant du ferrier. La présence conjointe d'une anse provenant d'un grès post-médiéval récent avec un tesson de céramique du groupe 1 à une vingtaine de centimètres à l'est de ce grand bloc signale une perturbation moderne ou résultant du travail de la mini-pelle.

Un petit bloc de minerai chauffé, rouge et brun, a été découvert dans le niveau humique gris-noir à 80 cm au sud-est de la grand pierre. Sa découverte mérite d'être signalée, car il constitue le 3^{ème} élément de ce type jamais mis au jour sur le site.

Sa masse est de 38,6 g et sa longueur de 48 mm. Bien qu'un peu plus grand que la moyenne des blocs de minerai cru découverts près de la fontaine, décrits dans le chapitre suivant, il reste compris à l'intérieur des valeurs extrêmes de masse et longueur de ceux-ci.

Il présente au moins partiellement un aspect pisolitique comme les éléments crus de la fontaine, ce qui pourrait bien confirmer une origine commune avec ces derniers.

Le bloc ferrugineux, allongé et arrondi, est moyennement attirable à l'aimant. Bien que ces critères de rubéfaction et d'attraction à l'aimant plaident en faveur d'un élément ayant subi une chauffe volontaire, dite de 'grillage', on ne peut exclure une simple chauffe accidentelle dans un foyer, qui peut aboutir au même résultat.

La très faible quantité de tels éléments pose la question véritablement du grillage. On sait que cette opération constitue une aide au concassage et facilite la pénétration des gaz (Chauvel et Vivet, 2001). Bien que probable, cette étape n'a cependant rien d'obligatoire, et l'élimination de l'eau structurellement présente dans la goethite peut s'effectuer, par exemple, dans la partie supérieure du bas fourneau.

Il est de fait très étonnant au vu des volumes considérables de déchets scoriacés produits (estimés précédemment certains d'entre eux), que l'on retrouve aussi peu de résidus de minerai, et qui plus est, de minerai grillé. Doit-on croire à un soin extrême de la part des métallurgistes, qui ne veulent perdre aucun élément de matière première ? La présence de minerai cru près de la fontaine, pose la question de l'approvisionnement et du grillage. Si un grillage est réalisé sur place on pourrait s'attendre à en trouver le témoignage sous la forme de structures de combustion et d'un nombre non négligeable de blocs perdus ou rejetés suite, par exemple, aux tris après grillage. Le seul argument en faveur d'un grillage aurait pu renvoyer à la présence récurrente des couches de sédiment rubéfié très attirable à l'aimant. Ces couches ou poches orangées et rouges, déjà observées l'an dernier, apparaissent en effet systématiquement à la base des ferriers, et l'on peut de ce fait présumer qu'elles sont liées aux premières étapes de transformation sidérurgiques. Mais les analyses ont montré qu'elles sont beaucoup trop pauvres en oxyde de fer. La présence de scories noyées au sein de ces poches tend également à y voir plutôt une vidange de sédiments suite à la réfection interne des fours ou à leur nettoyage, mais la preuve doit en être faite, s'agissant d'éléments en position au moins secondaire.

Le calibrage dimensionnel des blocs de minerai cru mis au jour près de la fontaine (cf. chapitre suivant) ne plaide pas non plus en faveur d'un grillage, puisque l'un des intérêts de celui-ci est de les fragiliser, pour mieux les fractionner. On ne peut cependant exclure que celui-ci soit mis en poudre, auquel cas le grillage aurait quand même sa place.

En tout état de cause, la très faible quantité de minerai mis au jour tend à montrer que l'approvisionnement en matière première, éventuellement fournie par un autre corps de métier (mineurs), représente un travail et/ou un coût, qui sont loin d'être négligeables, et qui, par conséquent, incitent à éviter soigneusement la perte de ces précieuses charges minérales.

3.10 Sondages tests T12 et T13 entre A6 et A8.

Les importants volumes de scories à déplacer n'avaient pas permis l'an dernier de prolonger de beaucoup le sondage positionné en amont du ferrier A8, livrant cependant un certain nombre de paroi argileuses cuites, attribuables à un four. Le recours à la pelle mécanique pour les deux sondages T12 et T13 (la césure entre eux est due à la présence des ifs et d'un grand arbre), donne un éclairage complémentaire au sondage 2002.

On note tout d'abord que le sondage T12 confirme l'extension, non directement décelable dans le paysage, du très grand ferrier A6, vers le nord. En effet, les couches de rejets observées dans cette tranchée ont encore une épaisseur comprise entre 45 et 75 cm environ. Des couches granuleuses rouges obliques apparaissent au milieu des scories, dans la coupe nord, en hauteur, et dans l'extrémité ouest de la tranchée, plus en profondeur (photo 2/449). Le sol de limon clair est ici parsemé de pierres anguleuses (grès), sans structuration apparente.

La coupe est du sondage test T13 montre, quant à elle, une épaisseur de rejets de scories de 90 cm, qu'accompagne un sédiment poussiéreux gris - noir.

Les extrémités en regard des deux sondages sont celles qui ont livré une demi-douzaine de grand blocs d'argile cuite et scoriacée, souvent arqués, provenant d'un appareil de chauffe. Ces fragments de parois de four ont des masses atteignant 5 kg et même situés entre 5 et 10 kg pour plusieurs d'entre eux. Malgré cette présence, aucun appareil n'est apparu dans l'espace testé, un peu limité par l'implantation des arbres.

Ces deux sondages montrent la continuité existant entre les amas A8 et A6, par superposition, vraisemblablement, des rejets de A6 sur ceux de A8, en suivant la ligne de pente, très marquée en cet endroit.

La mise au jour dans le sondage A8, d'un bloc de minerai grillé, exige à nouveau l'attention, du fait de la très faible occurrence de ces témoins. Pour cette raison le bloc en question a fait l'objet d'une **analyse chimique, qui se trouve au cœur de la problématique portant sur l'origine géographique et géologique du minerai (Jean-Jacques Chauvel, infra).**

3.11 Sondage test T14 sur le flanc nord-est de l'amas A9.

Ce sondage, de 4,50 m sur 2,20 m environ, a été motivé par l'observation, l'an passé, de l'existence de nombreux blocs de grès affleurant de l'humus au pied de l'amas de scories A9 (face nord-est). Plusieurs tessons de céramique avaient également été découverts dans la couche supérieure. La construction d'un bas fourneau pouvant inclure un bâti en pierre, il s'avérait nécessaire de vérifier cette zone particulière. Les couches stratigraphiques se succèdent sur une hauteur de 90 cm, avec une fois encore, insertion d'une poche de sédiment rouge (15 cm d'épaisseur environ) dans la partie inférieure des dépôts de scories noirs.

Les blocs de grès dégagés dans un premier temps à la main, puis à la mini-pelleteuse, se répartissent en tous sens, sur la hauteur de sédiment, qui, à quelques mètres de la coupe frontale du ferrier, ne s'établit plus que sur quarantaine de centimètres. Ils ne montrent aucun agencement spécifique, pouvant s'apparenter à une quelconque structure. De nombreuses petites fosses apparaissent de façon erratique dans le sédiment limoneux jaune pâle sous-jacent. Quelques-unes recèlent des tessons de céramique), mais le mobilier est présent sur toute la hauteur de l'amoncellement (groupes 1 et 2).

3.12 Sondage test T15 sur le flanc est de l'amas A7.

Le bouquet d'arbres surmontant le ferrier A5, qui domine la structure de chauffe SF1, rendant difficile la poursuite du grand sondage S1 dans cette direction, un test mécanique a été effectué sur son flanc est pouvant éventuellement dissimuler un appareil. Les carottages réalisés à la tarière forestière en 2002, indiquaient une forte épaisseur de rejets. L'épaisseur des couches de scories atteint effectivement 50 cm, avec là encore alternance entre couches noires et dépôts rouge-carmin, sur un sol limoneux jaune pâle ne montrant pas de traces anthropiques notoires.

3.13 Sondage test T16 en amont de l'amas A7.

Afin de s'assurer de la discontinuité des niveaux de rejets métallurgiques en direction du plateau faiblement pentu dominant le secteur haut des ferriers, un sondage rapide a été conduit 5 m en arrière du précédent. On rencontre de fait, sous l'humus, un niveau limoneux marron d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, ne contenant quasiment pas de scories et reposant sur le limon jaune clair.

3.14 Sondages test T17 et T18 sur l'amas A11.

La grande couche de sédiment granuleux rouge du ferrier A11 présentant des limites un peu floues en secteur est du sondage manuel S3, une vérification à la mini-pelle a été menée 3 - 4 m mètres plus loin dans cette direction. Le sondage indique encore sa présence à cette distance. Le profil stratigraphique montre qu'elle s'achève à cet endroit, sans révéler pour autant de structure appareillée. Le sous-sol limoneux est très blanc et plus argileux.

Une dépression située à quelques mètres au nord-est du ferrier A11 (fig. 6), a fait l'objet d'un dernier contrôle. Bien que l'accumulation de scories s'arrêtât bien avant ce secteur en creux, ce dernier s'est avéré être en partie comblé, de façon un peu inattendue, par une couche de scories noire, d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, dissimulée par un épais manteau humique.

CONCLUSIONS

Les sondages test réalisés confirment l'alternance de couches noires et de sédiment rubéfié rouge attirable à l'aimant observé au sein des ferriers (déjà notée l'an dernier, en particulier dans un sondage réalisé sur le ferrier A8). Ces rejets successifs semblent rythmer les opérations de réduction, nécessitant vraisemblablement un nettoyage et sans doute une réfection des appareils, du moins dans les premières phases de fonctionnement. En effet, les couches de sédiment rouge apparaissent presque à chaque fois dans les niveaux les plus profonds et se trouvent dans un certains nombre de cas directement au contact des couches de limon clair blanc ou jaune provenant du substrat naturel.

4. MINERAI DE FER PRES DE LA FONTAINE

Une série de petits blocs marrons avaient été découverts dans la couche de compost noire, à l'emplacement de l'exutoire de la fontaine mise au jour en 2002. Cette vingtaine de petits nodules s'était révélée correspondre à du minerai de fer, présentant un faciès particulier, pisolitique. L'analyse de l'un d'entre eux a fourni une valeur de 69 % en oxydes de fer (Fe_2O_3), valeur élevée, qui en fait un véritable minerai (Vivet, rapport 2/2, 2002).

Ces concrétions ferrugineuses étant plus concentrées sur le flanc gauche de l'exutoire, une petite extension du sondage 2002 a été opérée dans cette direction (fig.1). La masse totale mise au jour en ce point (2002 et 2003) s'élève à 24 kg. Pour des raisons d'étude une partie des blocs prélevés n'a volontairement pas été débarrassée totalement du sédiment qui les enrobe. De ce fait, on peut simplement avancer pour le moment, que la masse globale dépasse les 20 kg. La quantité collectée de façon exhaustive, sans être considérable, est cette fois-ci nettement plus significative, et peut être assimilée à un petit stock de matière première. Une prolongation du sondage dans la même direction montre que les blocs, bien groupés, disparaissent rapidement vers sud-ouest et l'est.

L'observation d'un échantillon de 83 blocs lavés indique que la masse moyenne de ceux-ci se situe au voisinage de 16,4 g. En prenant pour base cette valeur, le nombre de blocs de minerai cru collecté semble dépasser les 1000 exemplaires (sans doute même 1200 éléments).

Les valeurs minimale et maximale respectives sont de 1,8 g et 51,9 g. La distribution est symétrique autour de la valeur moyenne, mais l'écart type est assez élevé (11g).

De même la longueur moyenne des blocs s'établit à 32,7 mm, pour des dimensions minimales et maximales respectives de 16 et 64 mm. La distribution des longueurs suit une loi gaussienne, d'écart type 8,7 mm, pour laquelle on peut considérer que 63 % des valeurs sont comprises entre 23 et 42 mm. Ceci indique l'existence d'un net calibrage des blocs ferrugineux, portant apparemment plus sur leurs dimensions maximales que sur leur poids. Bien sûr, cette première étude, intéressant un échantillon qui n'est pas encore très élevé, mériterait d'être complétée par une analyse intéressant de plus nombreux blocs.

A titre de comparaison, s'agissant cependant d'une autre période, l'Age du Fer (Tène ancienne ou moyenne), d'un autre secteur, La Ville Pierre II en Quévert, près de Dinan, le module moyen des 334 blocs résiduels de minerai grillé, collectés auprès des bas fourneaux, se situe au voisinage de 2-3 cm, pour une masse moyenne deux fois plus petite, autour de 8 g.

Au vu de cette quantité déjà plus importante, se pose la question du lavage. Les dernières études et expérimentations présentées en novembre de cette année par Florian TEYREGEOL, lors de la réunion du groupe H3 à Paris I, montrent la possibilité de laver des quantités conséquentes de minerai, dans une fosse de volume assez limité, en réutilisant en permanence la même eau de lavage, malgré le fait qu'elle soit très chargée en particules. Bien qu'il s'agisse d'un minerai différent (plomb argentifère transformé dans les mines royales de Melles et d'un substrat naturel différent, il convient d'envisager sérieusement cette possibilité. La zone de fouille 2002 pratiquée largement sur la zone d'écoulement de la fontaine ne plaide pas vraiment en faveur d'une telle hypothèse. Le borbier de compost humique noir, repose sur un limon blanc immaculé, juste surmonté par une fine couche de transition grise de quelques centimètres. Il n'est pas interdit de penser, malgré tout, que la qualité de l'eau et les conditions réductrices de milieu humide ne puisse produire une mise en solution et un lessivage des particules d'oxydes de fer ocre. A titre d'exemple, le petit stock de minerai cru noyé dans la couche humique noire n'a pas engendré de sol très ferrugineux.

5. PRESENCE PRECOCE SOUS LES NIVEAUX DE SCORIES, A L'EMPLACEMENT D'UN ABRI DE CHARBONNIER MODERNE

La découverte l'an passé d'un tesson de céramique précoce, provenant des ateliers de Chartres de Bretagne a motivé une exploration complémentaire de ce secteur, susceptible de fournir des arguments chronologiques intéressant les différentes phases d'occupation du site.

Un sondage de 3 x 2 m a donc été entrepris au nord de l'abri de charbonnier moderne mis au jour en 2002, à partir du petit sondage test où avait été découvert ce fragment de col de pichet à bec pincé.

La stratigraphie montre essentiellement deux niveaux principaux sous le lit de feuilles (fig. 24). Le premier, riche en scories de dimensions assez limitées (3 à 10 cm en moyenne), est encore humique, noir et relativement charbonneux. Le second est constitué d'un limon blanchâtre, montrant par zones, des altérations tantôt légèrement ocre, tantôt rosâtres.

A la base du niveau noir riche en scories, de 30-35 cm d'épaisseur, viennent s'insérer deux niveaux de sédiment granuleux rouge inclinés dont l'épaisseur est de 5 cm pour le premier et atteint 30 cm, pour le plus profond, selon une alternance maintenant familière, mais qui a son importance. La deuxième couche de sédiment rouge arrivent au contact des couches de limon clair blanc et jaune. Cette couche est sans doute à l'origine de la zone rosée un peu endurée, observée dans le limon jaune clair sous-jacent, au centre du sondage (fig. 24), compte tenu du pendage général nord-sud. Les niveaux scoriacés recouvrent la totalité du rectangle de fouille. La figure 24 montre un état de fouille où subsiste encore la trace, en forme de langue, de ces derniers niveaux. La stratigraphie montre une remontée des couches vers l'est, où elles font place, dans l'angle du sondage, à une petite fosse très cendreuse.

Ainsi qu'il a été évoqué lors de la description du sondage test T8, ces couches de scories signalent peut-être le transport des résidus métallurgiques, entre le chemin et l'amas A1, soit lors du prélèvement effectué sur celui-ci, soit lors de sa constitution. La présence des couches rouges encore bien formées, plaiderait plutôt en faveur de cette dernière hypothèse.

En bordure sud du sondage est apparue un trou de poteau laissant voir en son centre une trace plus sombre, bien circulaire de 16 cm de diamètre. La coupe stratigraphique montre qu'il a traversé les couches scoriacées noires et rouges et pénétré dans le sédiment limoneux jaune, sur une vingtaine de centimètres. Son remplissage, très compact, contenait, outre des cailloux et des scories, un clou très oxydé de type moderne, semblable à ceux trouvés l'an passé dans les niveaux supérieurs, liés à l'occupation d'un petit abri, probablement construit par un charbonnier, après 1926 (Vivet, 2002). On peut, de ce fait, certainement attribuer son creusement à un élément de consolidation de ce petite construction, très sommaire.

Le niveau blanc et jaune pâle, ne comporte que quelques scories dans la zone de transition superficielle. Il a été fouillé sur une épaisseur maximale de 30 cm (au niveau d'une bande centrale de vérification). Une petite extension du sondage vers le sud montre la présence de grès assez conséquents en profondeur dans le limon jaune, de même qu'un peu plus au nord dans la tranchée test centrale.

La surface explorée n'a pas permis de reconnaître de structure identifiable, telle que fosse ou trou de poteau, hormis la perturbation moderne décrite précédemment. Elle a livré, par contre, un lot considérable de tessons de poteries.

On note une remarquable scission entre les céramiques des deux niveaux, dont la description est développée dans la chapitre concernant les terres cuites. Dans le niveau humique noir, sept tessons de céramiques du groupe 1 ont été mis au jour, ainsi que deux éléments d'un fond plat du groupe 2. Le niveau limoneux blanc sous-jacent, par contre, n'a livré aucune céramique du groupe 1. En revanche, ont été collectés, sur une dizaine de centimètres d'épaisseur, et pour une grande part dans un zone concentrée de 20 cm de diamètre, un peu plus de 200 tessons appartenant très majoritairement à deux pichets à pâte claire, à légère glaçure verte sur la

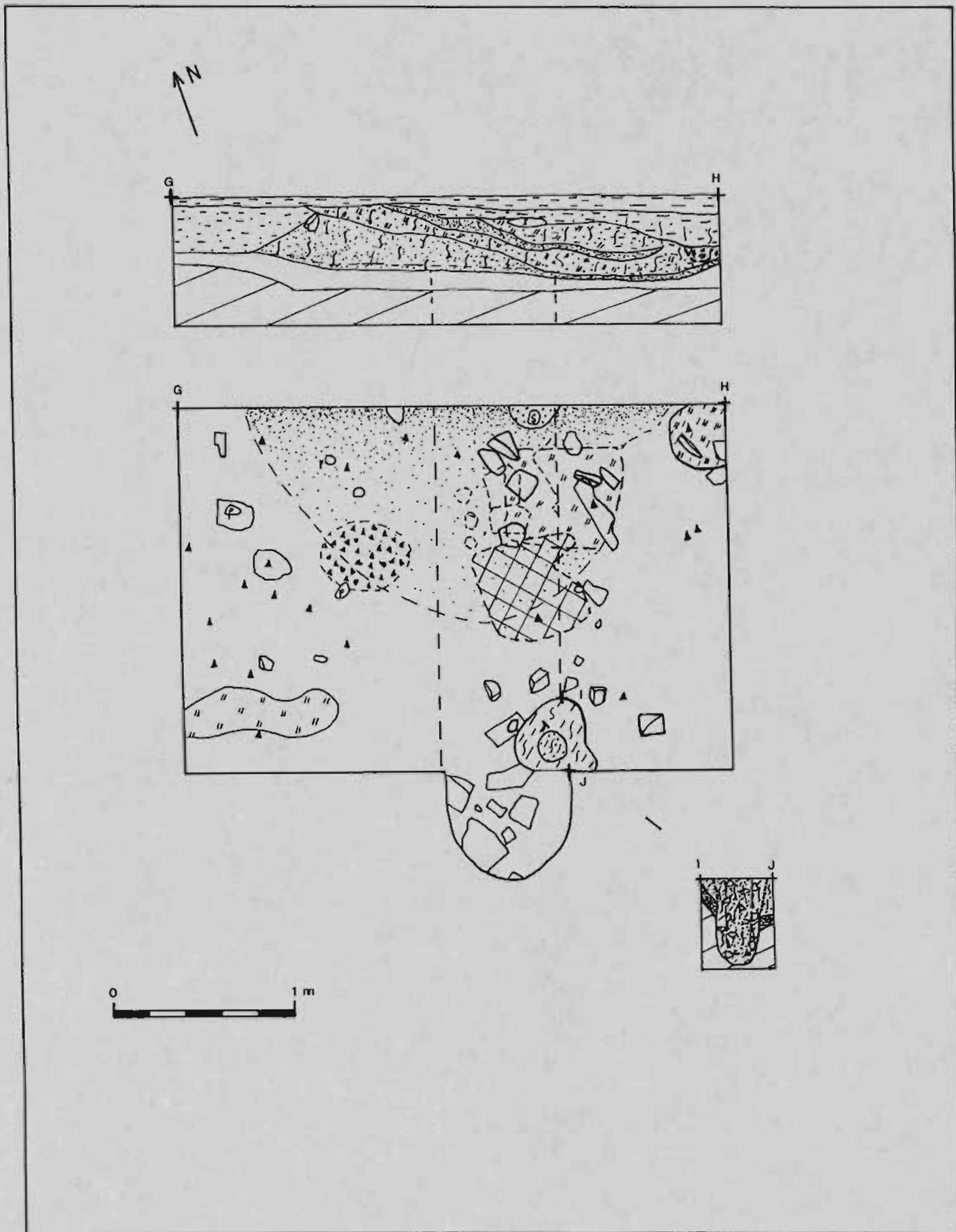


Fig. 24 - Sondage S2 : niveau XIII-XIVe, livrant plusieurs pichets à bec pincé et glaçure verte, sous des couches de scories, à l'emplacement d'un abri de charbonnier moderne.

surface externe. Le bord à bec pincé, de même nature, mis au jour l'an passé, n'appartient à aucune de ces deux poteries. L'état de fragmentation et les remontages extrêmement nombreux semblent indiquer que ces pichets à boire ont été abandonnés là et piétinés, et ont été de ce fait incorporés au sol limoneux, sans doute boueux.

Ainsi que l'indique l'étude céramique, cette stratigraphie très tranchée fournit donc un terminus post quem situé entre le milieu du XIII^{me} et le milieu du XIV^{eme} siècle, à l'activité métallurgique sus-jacente.

6. ACCUMULATION PIERREUSE SUR LE VERSANT OUEST DU RUISSEAU

L'observation de l'environnement de la zone des ferriers a permis de reconnaître à l'ouest du site, après passage à gué du ruisseau de Trécélien, une sorte de monticule allongé, de 8 x 6,5 m, situé à moins de 4 m du chemin (portion commune des branches A et B, décrites plus loin), d'où émergent de façon évidente de nombreuses pierres, sous l'humus marron.

Ce bombement oblong, se double, deux mètres plus bas, d'un second, de taille sensiblement identique et de même nature, ainsi que le montre le sol soulevé par un arbre abattu par une tempête, situé dans un secteur plus difficile d'accès, du fait des ifs et des arbres de futaie qui s'y développent.

Leur orientation reprend pratiquement celle du chemin ancien, le second se trouvant d'ailleurs presque à la fourche entre le chemin principal et une branche qui part vers le nord, mais dont on perd rapidement la trace (fig. 1, 7, 28). Ces deux ensembles pierreux présentant un certain potentiel vis à vis de la recherche d'une structure bâtie à proximité des ferriers, ayant pu servir, par exemple, d'habitat. De ce fait un sondage a été effectué sur le premier monticule cité.

Le décapage de la couche d'humus peu épaisse, livre, de fait une surface couverte de pierres quasiment jointives, dont l'emprise est bien délimitée (fig. 25). Certaines d'entre elles tendent à former un arc de cercle en secteur bas de l'amas, mais de façon peu systématique. La fouille de cette accumulation, sur un secteur limité, ne montre pas de structuration évidente. Les blocs de grès, de taille variée, sont disposés, sans organisation ni inclinaison précises. La disposition quelque peu circulaire observée en surface, évoque un ultime rejet sur une partie inclinée d'un amas constitué, générant de façon naturelle dans la chute une répartition périphérique en arc.

Une présence néolithique n'étant pas, à priori, à exclure, ainsi qu'on a pu le voir d'ailleurs précédemment (élément de débitage sur lame trouvé près du ferrier A2), ou bien encore celle de tombelles gauloises, un sondage test a été prudemment réalisé à partir d'une perturbation montrant un soulèvement des couches par un arbre abattu, décelable par la subsistance d'un petit muret argileux-pierreux et une zone en dépression.

La stratification enregistrée sur la partie saine du sondage test (coupe schématique K-L, fig. 25), montre sous la couche d'humus, un niveau de pierres disposées en tous sens, au sein d'un limon gris-blanc, se poursuivant, sans césure évidente, dans un sédiment limoneux jaune. La concentration pierreuse chute ensuite assez rapidement dans le sédiment argileux ocre sous-jacent (à partir de 50 cm sous le niveau d'humus).

Aucun élément céramique n'a été découvert, mais 13 scories de type bulleux ont été mises au jour dans le secteur fouillé, noyées dans les niveaux pierreux. Elles montrent donc que la constitution de l'accumulation de pierres est soit contemporaine, soit postérieure, à l'activité métallurgique du versant opposé du ruisseau. Il est à noter que l'on ne rencontre pas, de manière évidente en prospection, de scories sur le sol environnant.

Le sondage livre, enfin, quelques rares scories informes, apparemment plus visqueuses et plus cordées, dans le niveau argileux ocre le plus profond. Le lien avec les ferriers situés autour du XV^{ème} siècle n'est pas sûr. Celles-ci peuvent remonter par exemple à l'Age du Fer, compte tenu du très grand nombre de sites de ce type sur le massif.

Un sondage latéral a également été effectué, de manière à reconnaître les dispositions respectives de l'amas pierreux et du chemin. On note une diminution progressive de la densité des pierres au fur à mesure que l'on s'éloigne de l'épicentre de l'amas, qui laissent apparaître le limon jaune sous l'humus. L'emprise en creux du chemin, marquée par un sédiment gris, fait apparaître un sol très caillouteux. Ce dernier semble d'ailleurs marqué par deux concentrations parallèles de petites pierres fragmentées, distantes de 1,10 m environ, évoquant des zones de roulement.

Compte tenu des résidus métallurgiques mis au jour en son sein, le monticule pierreux ne renvoie visiblement pas aux périodes très anciennes évoquées. Ce résultat, obtenu dans le cas de notre sondage, apporte d'ailleurs sa contribution à la question problématique de l'origine des très nombreuses accumulations de pierres décelées en prospection forestière sur le massif de Paimpont.

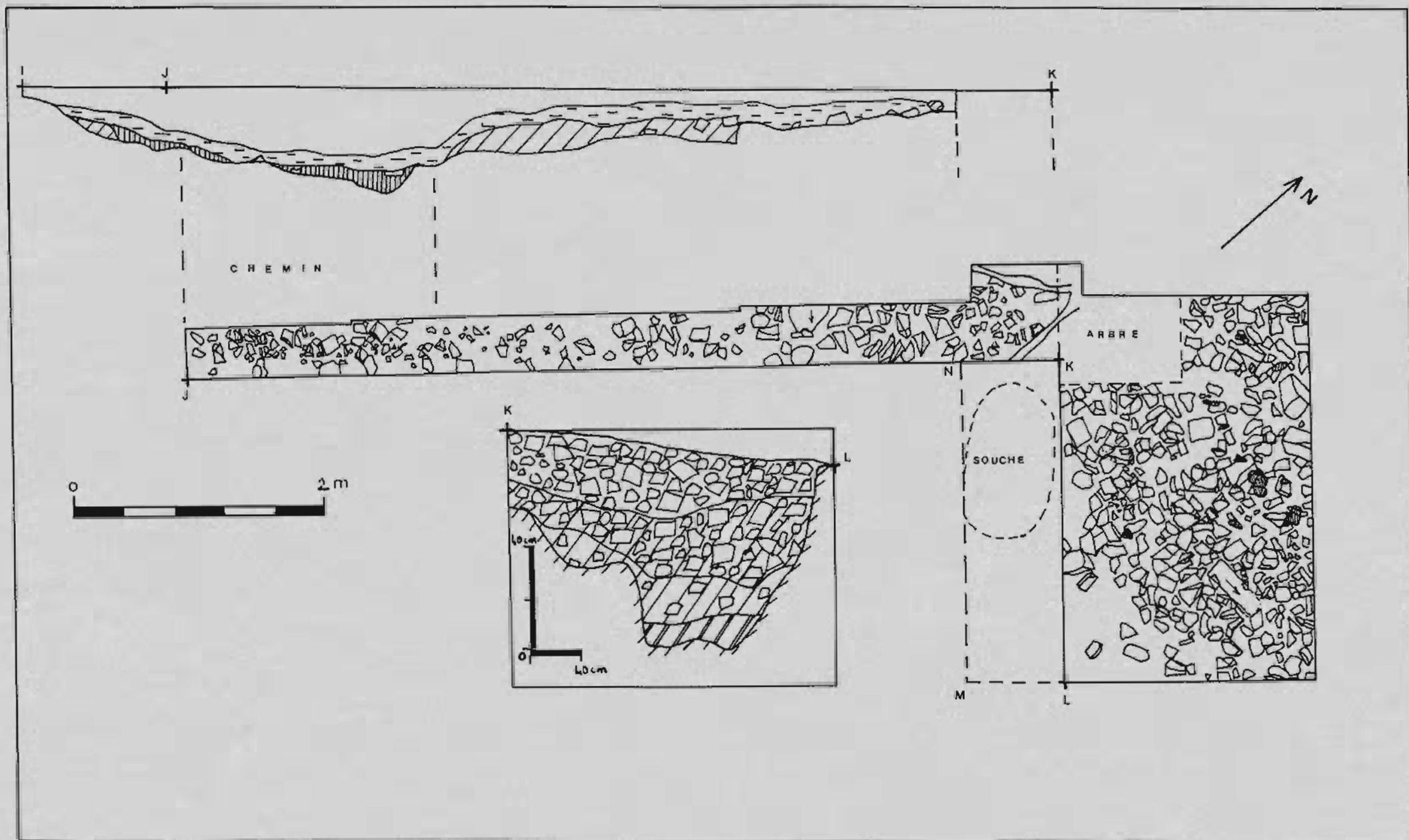


Fig. 25 - Sondage S4 : amas de pierre et chemin ancien sur le versant ouest du ruisseau de Trécélien.

Pour le cas qui nous intéresse, on peut envisager une fonctionnalité liée à l'établissement ou à l'entretien du chemin voisin (y compris éventuellement le passage à gué situé en contrebas). Par suite, ces hypothèses peuvent également être étendues à l'amas de pierre mis au jour dans la partie sud du ferrier A11, lui aussi proche du chemin (branche C, fig. 27). Ces pierres mises en tas correspondraient alors, soit à une réserve de grès destinée à fournir un matériau encaissant pour la stabilité du chemin, soit à l'élimination de roches gênantes, naturellement présentes dans le sol. On note d'ailleurs régulièrement la présence de tels blocs en bordure du chemin. On peut enfin envisager qu'il s'agisse d'un simple stockage de pierres abandonné, réservé à d'autres usages, mais facilement disponible, compte tenu de sa proximité avec le chemin ancien. Autre le domaine du bâti, il ne faut pas écarter totalement, jusqu'à preuve du contraire, la possibilité d'un emploi lié à la construction de bas fourneaux.

7. SONDAGE SUR LE CHEMIN ANCIEN TRAVERSANT LE SITE, A HAUTEUR DE L'AMAS A6.

Un autre sondage a été réalisé en travers du chemin ancien, dans la partie qui contourne l'amas A6, en vue de reconnaître sa constitution et éventuellement d'obtenir des éléments de chronologie directe ou relative.

En cet endroit, le chemin se sépare en deux tracés sensiblement parallèles, laissant un terre-plein allongé en une sorte d'isthme central (photo 1/173). La fouille montre que le passage principal correspond à celui qui est le plus proche du ferrier. En effet, sous l'humus apparaît un sol de cailloutis jaune, extrêmement serré et tassé, indiquant la mise en place volontaire d'un encaissant assurant une assise solide pour le cheminement. Ce sol occupe une largeur de 1,75 m, sur la portion de chemin de 1,40 m, qui a été reconnue.

Malgré sa position, en contrebas du très grand ferrier A6 et vraiment accolé à celui-ci, on n'observe que très peu de scories dans son parcours, en creux bien prononcé. Si celui-ci avait été antérieur à l'activité métallurgique qui a généré ces ferriers, et qu'il ait été abandonné, il y a tout lieu de penser qu'il aurait été au moins en partie comblé par les scories qui peuvent facilement tomber de l'énorme amas A6. Il n'est d'ailleurs pas non plus recouvert par les ferriers eux-mêmes, sur le restant de son tracé. S'il est contemporain du ferrier A6, il est malgré tout étonnant que l'accumulation de scories de ce dernier n'ait pas plus débordé sur celui-ci. Il est possible que les métallurgistes aient pris soin de ne pas encombrer la voie d'accès, et l'ai entretenue soigneusement.

S'il est postérieur à l'amas A6, ce que pourrait signifier son tracé en virage déversé, qui épouse la forme du grand rejet de scories, il aurait été aussi simple et efficace d'utiliser ces résidus métallurgiques pour drainer et stabiliser le chemin. On sait, en effet que des prélèvements très importants ont été réalisés sur les ferriers A1 et A6, ainsi qu'en témoignent les dépressions circulaires observables en leur sein. L'emplacement du sondage s'est révélé malheureusement défavorable pour l'examen des positions relatives de A6 et du chemin, du fait d'une perturbation, seulement visible sous l'humus, ayant laissé une petite enclave dans le ferrier, juste dans cette zone de transition. L'observation visuelle semblerait indiquer que le chemin a été taillé partiellement dans la masse de scories, mais le sondage paraît montrer que cela n'est pas si évident du fait notamment que le sol de cailloutis se situe à un niveau plus profond que les couches de scories de la base du ferrier. Ceci demanderait cependant confirmation.

Le second tracé, au sud du terre-plein, ne livre pas de sol de cailloutis. Les blocs de grès présents ne montrent apparemment pas d'aménagement spécifique, mais une section en cuvette prononcée, au remplissage grisâtre, qui signale un sentier. Il correspond selon toute vraisemblance à un passage plus occasionnel, permettant le croisement ou le dépassement. On peut imaginer son rôle par exemple de sentier 'muletier', par opposition à une voie de charriage, qui quant à elle, jouxterait l'amas A6.

Quoiqu'il en soit, la fouille de cette portion de chemin confirme l'importance de cette voie de communication, dont une description plus approfondie suit. On pense naturellement à l'acheminement des matières premières : le minerai dont on ne voit pas de trace d'extraction sur place, le charbon de bois, impliquant de déplacement de gros volumes. Il en est de même de l'écoulement du métal produit, et enfin de l'importante récupération de scories sur les ferriers A1 et A6, déjà évoquée.

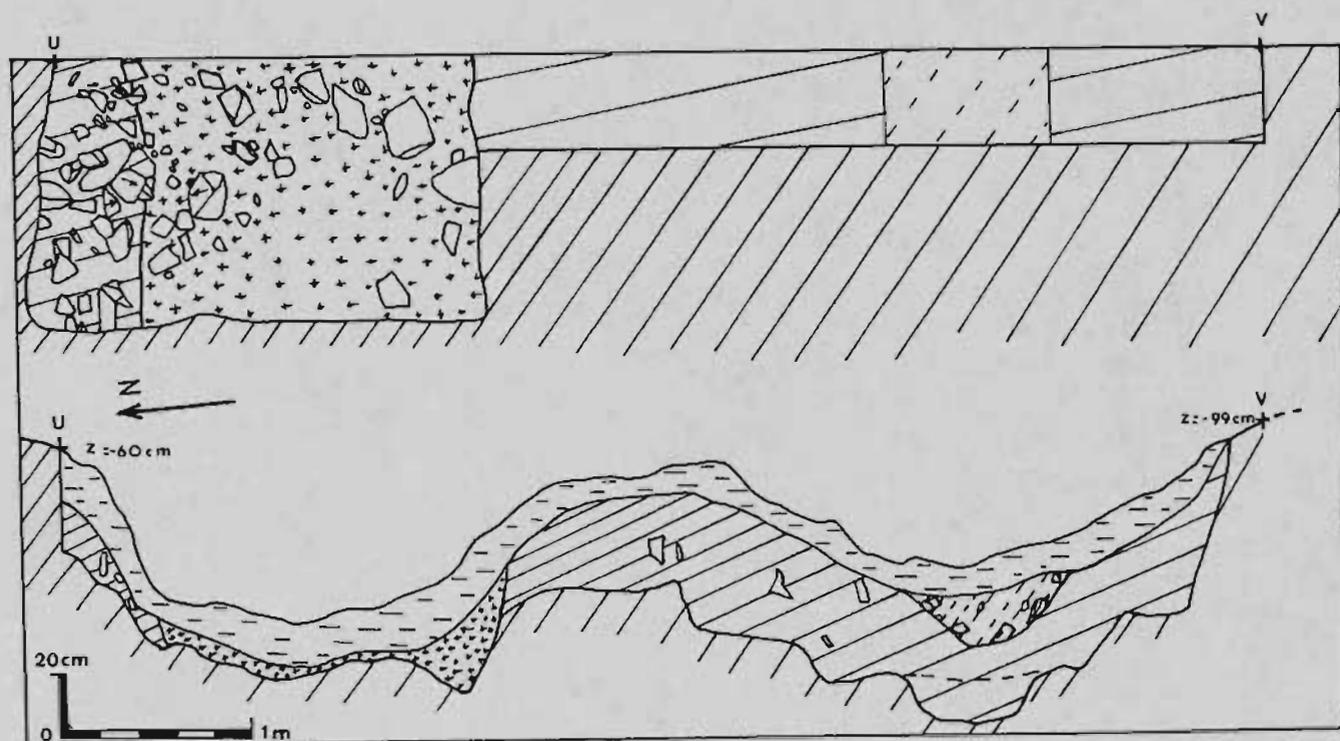


Fig. 26 - Sondage S5 : vue en plan et en coupe du chemin ancien longeant le grand amas de scories A6.

8. RESEAU DE CHEMINS ANCIENS

Il n'est pas inutile de préciser que les réseaux de sentiers ou chemins, plus ou moins fragmentaires, ne sont pas rares en forêt de Paimpont, d'où une certaine prudence à conserver dans l'interprétation de ces axes de circulation, qui se sont superposés au fil du temps. Ceux qui concernent le site, cependant, présentent la particularité d'avoir une topographie bien marquée au sol, présentant un dénivelé central encore bien visible (de plusieurs dizaines de centimètres) et une largeur assez conséquente, de l'ordre de 1,40 m à 2 m. Autre argument intéressant, les tracés observés sont tout à fait indépendants des axes suivis par les lignes de coupe divisant la forêt en secteurs organisés (fig. 27). La création des cantons forestiers fait l'objet de l'arrêt du 23 août 1841, qui, après bien des péripéties, met fin aux 'Usements' de la forêt de 'Brécilien' inscrits dans la charte de 1467 (Fédération Carrefour de Trécélien, 1993, et Duval, 1998). Les orientations spécifiques de ces chemins tendent donc à prouver leur antériorité par rapport à cette partition de la forêt.

On note également que, dans ce réseau, la multiplication des tracés parallèles semble liée à l'importance de la voie de la communication, ce que paraît bien confirmer le sondage S5. Le site montre en tous cas une zone de convergence de ces chemins, qui proviennent principalement de quatre directions différentes, que l'on se propose de détailler.

a) branche sud-ouest (n°1)

A partir du tronçon commun traversant à gué le ruisseau de Trécélien, immédiatement en contrebas du site métallurgique, et à l'ouest de celui-ci, on observe un embranchement donnant naissance à deux cheminements bien distincts. La première branche prend résolument une direction sud-ouest et traverse le grand axe reliant l'étang des Forges à celui du Pas du Houx, noté de façon très évidente et presque exclusive sur la carte de Cassini (Vivet, 2002). Il ne s'y arrête pas, ce qui semble bien signifier qu'il est plus ancien que ce dernier. Son tracé se perd quelque peu sur la carte détaillée de la Ligue de Bretagne de Course d'orientation (fig.2), du fait des nombreux embranchements recensés. Il a donc été observé plus avant sur le terrain. Il aboutit dans l'axe du chemin qui, sur les cartes actuelles permet de relier l'Etang Neuf à la ligne de la Moutte. Ceci paraît bien indiquer que le chemin ancien traverse la ligne de la Moutte, et par conséquent, que cette liaison reprend un tracé ancien vers l'Etang Neuf. Cette pièce d'eau est barrée par une digue élevée, permettant une chute d'eau de hauteur très importante, dont l'utilisation, en amont de celle de L'Etang de la Fenderie, ne nous est pas connue. Cette dernière par contre, au toponyme bien révélateur, est en connexion avec le site de production indirecte des Forges, situé sur l'étang du même nom, encore un peu plus en contrebas. Difficile de dire, dans l'état actuel de la question, s'il existe un lien entre le site métallurgique de Trécélien et l'existence de l'Etang Neuf et de sa digue. Ce dernier toponyme tendrait plutôt à y voir simplement une liaison entre le site de Trécélien et le vallon du ruisseau de la Moutte (sans doute avant la création de l'Etang). Ce talweg, très prononcé, nous ramène vers le bourg de Paimpont, mais aussi surtout vers des mines ferrifères. Cependant il semble que l'on ne puisse retenir ce dernier argument. Lors de la création des Forges de Paimpont, Jacques de FARCY et François d'ANDIGNÉ font don, dans les années 1650, de la vallée de la Moutte au prieur de l'abbaye de Paimpont, en compensation des droits d'usages de la forêt. Or, en 1672, ils demandent le droit à ce dernier, de tirer du minerai dans cette même vallée. Ceci tend donc à prouver que ce gros gîte ferrifère, marqué par de très grandes excavations, n'était pas connu, ni exploité, auparavant (informations G. Larcher).

b) branche nord-ouest (n°2)

Cette branche présente l'intérêt de mener également vers Paimpont, mais au voisinage immédiat des gîtes ferrifères de la Gelée, à environ 2 km du site de Trécélien. Leur exploitation, marquée par de multiples excavations à ciel ouvert, de dimensions moindres que celle de la vallée de la Moutte, est sans doute plus

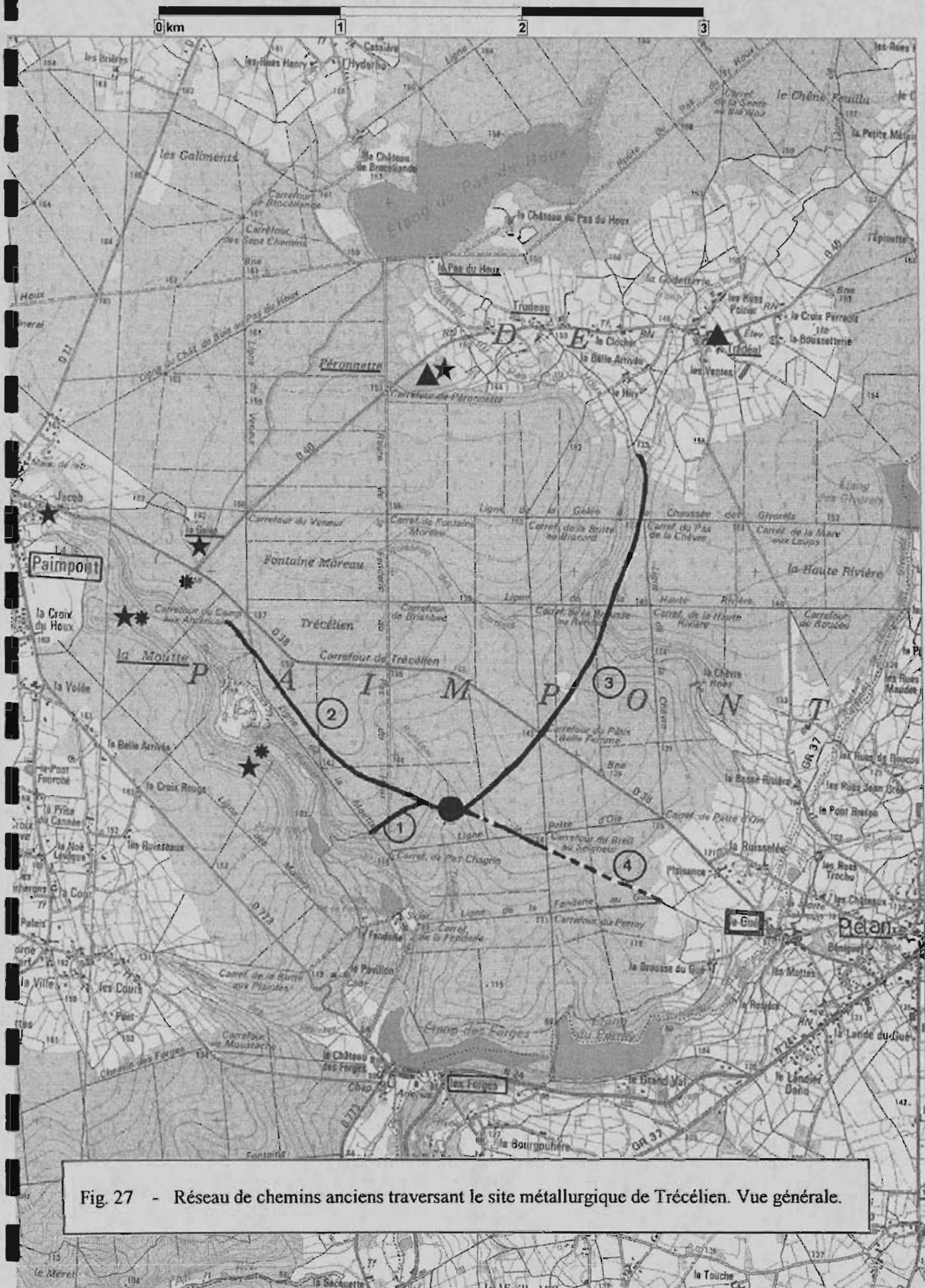


Fig. 27 - Réseau de chemins anciens traversant le site métallurgique de Trécelien. Vue générale.

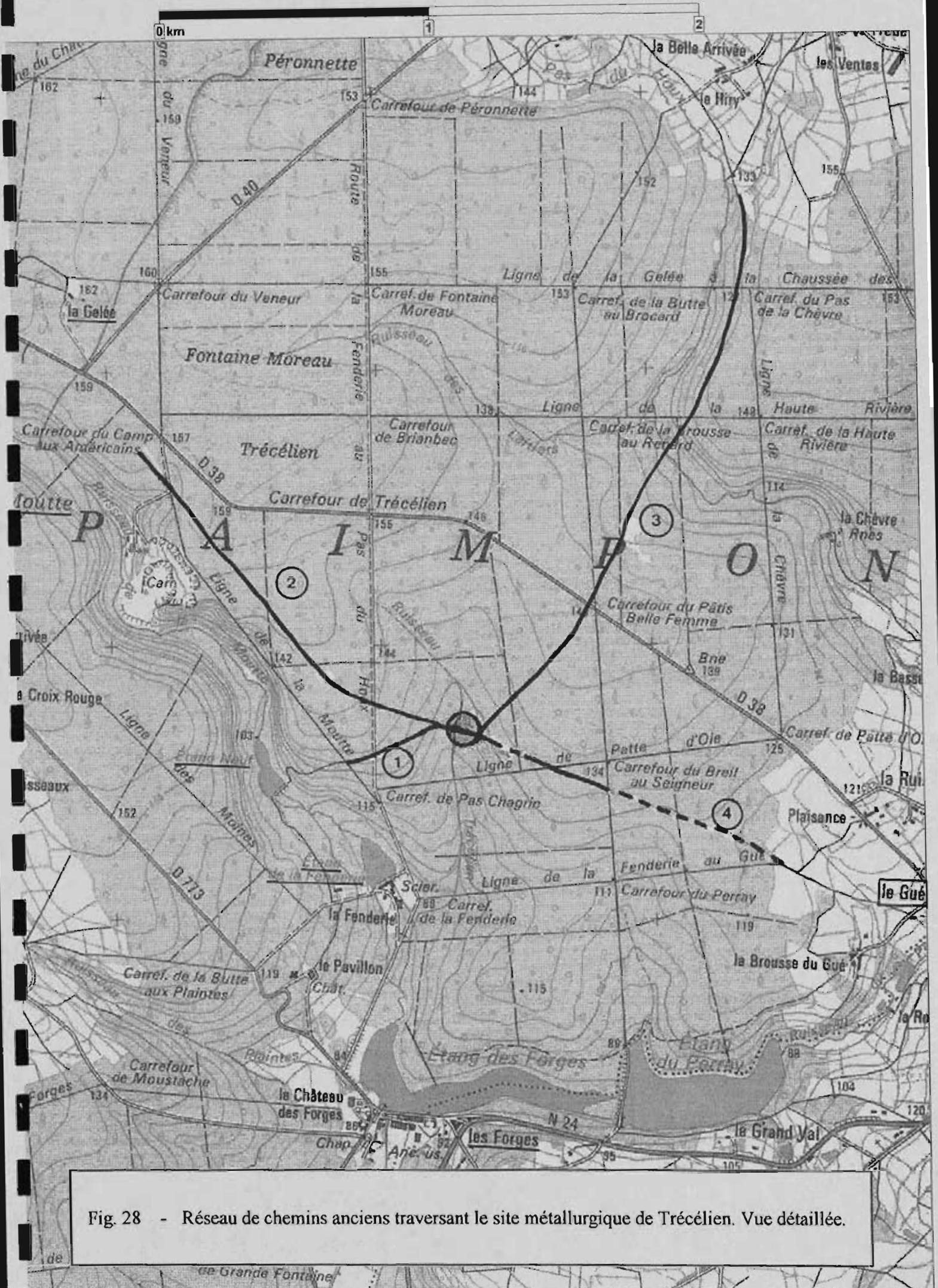


Fig. 28 - Réseau de chemins anciens traversant le site métallurgique de Trécélien. Vue détaillée.

ancienne. A noter, qu'une formation minérale en partie de type pisolitique, a été observé l'an dernier à proximité de ce secteur, au niveau du lotissement de Brocéliande, en construction.

c) branche nord-est (n°3)

Le départ de cet embranchement mérite une attention particulière, notamment par rapport à la fouille de l'amas de scories A11. En effet, à une vingtaine de mètres à l'est du ferrier A6, ce chemin prend la direction du nord est, en passant à une quinzaine de mètres du ferrier excentré A11. De ce fait, les positions relatives de ce dernier ferrier et de cette voie de cheminement laissent à penser qu'elles ne sont pas indépendantes. Cette très longue branche, est celle qui est la mieux marquée dans le paysage forestier, et l'on peut suivre avec facilité son cheminement laissant une dépression centrale bien nette. Elle aboutit au petit vallonement du ruisseau du Pas du Houx, et permet de rejoindre, l'étang du même nom. Celui-ci est notamment lié au fonctionnement d'un haut fourneau non connu, sans doute précoce, comme l'atteste les amoncellements de laitiers, que l'on peut voir en contrebas de la digue. Il est difficile de discuter plus avant de l'éventuelle contemporanéité de ce dernier avec les dernières phases de fonctionnement du site de Trécélien. On notera cependant que ce cheminement donne la possibilité de gagner les hameaux de Trudeau et de Trédéal, où l'on connaît la présence de ferriers de même nature que Trécélien (Larcher, 1991 et 1994). Le carrefour principal de Trédéal est dominé par un énorme ferrier dépassant le millier de mètres cubes. Dans le secteur de Péronnette, ils se présentent sous forme d'une série d'amas un peu plus modestes en forêt. Par suite, on peut s'interroger, sur l'existence d'un tissu de chemins permettant l'approvisionnement des sites métallurgiques en matière première, et l'écoulement du métal produit à la fin du Moyen-Age ou à la Renaissance.

d) branche sud-est (n°4)

On peut suivre très nettement sur plusieurs dizaines de mètres le début du tracé de cette branche, qui débute, tout en s'élevant, à une quinzaine de mètres au sud-est du ferrier A6. Celui-ci se perd un peu dans une zone humide, pour réapparaître de nouveau de façon bien marquée, en particulier dans l'angle entre la ligne de la Patte d'Oie et celle qui mène, au sud, à la digue de l'Étang du Perray. A partir de là, l'observation n'est malheureusement plus possible, suite à des travaux forestiers et agricoles, dans ce secteur est, situé entre la Ligne de la Patte d'Oie, et celle de la Fenderie au Gué. On peut simplement constater que sa direction, rectiligne, se trouve précisément dans l'axe d'un chemin principal menant au Gué.

Cette branche revêt une importance particulière, car c'est elle qui permet un rapprochement très probable entre le site de Trécélien en forêt, et celui du Gué-de-Plélan, mentionné dans les textes, d'une part comme lieu où se tenaient des foires franches (Leguay, 1982 ; Cosiz, 1993), et d'autre part comme origine attribuée au forgeron SIMON Jehan qui, en 1465, fournit en deux livraisons 2 400 fers de viretons (carreaux d'arbalète) à la ville de Vitre (recherches de Claudie Herbault, A.D.I. et V. 1F1200, quittance du 21-09/1465). On pourrait vraisemblablement ajouter les nombreuses fournitures de traits d'arbalète, picques, vouges, ... (identifiées par Claudie Herbault et mentionnées dans le rapport 2002), par des forgerons de 'Brécélien' et de la paroisse de Plélan, sans plus de précision. Ainsi, par exemple, la paroisse de Plélan est citée en 1472, pour la fourniture du 'batail' de la cloche du beffroi de Rennes (298 livres de fer, forgeron LE TEXIER Jehan, A.M.R., liasse 48, 1-02/1472), qui fournit d'ailleurs un autre marteau, de 466 livres, pour la même destination en 1675, A.M.R. 1050 cptes.). En 1480, ce sont 100 vouges, que les frères JOUSSET Pierre et Jehan, forgerons et 'ouvriers de vouges', 'ouvriers de forges', toujours de Plélan, livrent à la ville de Rennes. On retrouve, bien plus tard, en 1527, plusieurs des patronymes précédemment cités, semblant bien indiquer une spécialisation, qui se transmet de génération en génération, en la personne de JOUSSET Yvon, et de SYMON Michel, auxquels s'adjoint THOMAS Jehan, forgerons de Plélan, produisant pour la ville de Rennes, 5000 fers de garrot, 1000 picques et 100 fers de hallebardes (A.M.R. liasse 161 (1-02/1527).

Suite aux deux campagnes menées, comportant un nombre important de sondages, on constate à Trécélien une quasi-absence d'objet métallique fini (une seule lame de 28 cm, tordue, très corrodée). De

même, aucun déchet de forge n'a été identifié. Les ferriers, constitués par l'accumulation de scories de réduction, témoigne originellement d'opérations de réduction du minerai de fer. Par ailleurs, les 'revenus de la forêt de 'Brocéliande', pour les années 1419-1420 (Marquis de l'Estourbeillon, 1894) nous situent explicitement les forges 'grossières' en forêt ('hauste forest', et 'forêt de Lohéac'). On est donc tenté de proposer que celles-ci produisent le métal, qui est ensuite transformé en objets métalliques finis par des forgerons spécialisés. Dans ce cas on devine la nécessité de liaisons entre les sites de réduction et ceux de transformation. Cependant, le hiatus chronologique entre la mention de ces forges grossières et celles concernant SIMON Jehan et les autres forgerons, ne permet une confrontation directe des sources. Malgré la transmission filiale de ces métiers, on ne constate aucune coïncidence entre les patronymes des 'tenants' des forges grossières et ceux des 'forgerons' en contact avec les villes de Vitré, Rennes, Nantes, et l'armée ducale.

C. LA CERAMIQUE

Ce sont près de 400 tessons de céramique (402, plus précisément), qui ont été mis au jour et référencés, cette année. Comme nous le verrons un peu plus loin, environ 200 d'entre eux appartiennent à deux poteries découvertes au même endroit. S'ajoutant aux 123 éléments de l'an dernier, ceci porte donc à 524, l'effectif du lot céramique exhumé sur le site de Trécélien.

Bien qu'en plus grand nombre qu'en 2002 et couvrant un périmètre plus vaste, les éléments céramiques mis au jour cette année se répartissent essentiellement selon les mêmes catégories que l'an passé. Ils viennent, de ce fait, conforter et compléter statistiquement un certain nombre d'observations déjà faites, qui portent, en particulier, sur des productions dont les ateliers ne sont pas tous connus.

1. Céramique précoce du XIII- XIV^{ème} siècle

Le sondage réalisé dans le secteur de l'abri de charbonnier a livré dans les niveaux inférieurs, comme nous l'avons vu, sous une couche de scories conséquente, deux pichets à bec pincé en céramique claire (M35.9 et L35.5, fig. 30). Ils comportent tous deux une légère glaçure au plomb verte recouvrant superficiellement la surface externe supérieure du pot. Le premier (M35.9) est fait d'une pâte légèrement rosée, peu cuite, qui se désagrège facilement au doigt. Il peut être attribué de façon sûre aux productions des ateliers de Fontenay en Chartres de Bretagne (Beuchet, 1998). Comme nous l'avons indiqué l'an dernier la zone de diffusion de ces céramiques se superpose essentiellement avec celle de la baillie de Rennes et certains éléments ont été recueillis à Plélan-le-Grand et à St Méen-le-Grand. Le second, dont la forme complète a pu être reconstituée montre un bec ponté. Il provient soit de Chartres de Bretagne, soit de régions plus méridionales telles que le Saintongeais. Les tessons des deux pots étaient intimement mêlés et très fragmentés, noyés dans le sédiment limoneux blanchâtre, sans qu'aucune structure notable puissent leur être associée. Ces productions céramiques renvoient à une période que l'on peut situer de façon pratiquement certaine entre le milieu du XIII^{ème} siècle et le milieu du XIV^{ème}. Leur présence vient confirmer l'occupation précoce du site soupçonnée l'an passé, mais qui ne reposait que sur un seul tesson dans un petit sondage de vérification. Jusqu'à présent aucun élément similaire n'a été identifié dans les autres secteurs du site. Du fait de leur position stratigraphique précédemment décrite, ces deux pichets à boire, fournissent un terminus post quem précieux concernant l'activité métallurgique du site de Trécélien.

2. Céramique du groupe n°1.

Ce groupe, plus tardif, se caractérisant par une pâte essentiellement marron, très micassée (muscovite et biotite), riche en quartz et en spicules a été décrit plus longuement en 2002. La forme très typée de certains bords à lèvres plate et striée, les situent entre le XIV^{ème} et le XVI^{ème} siècles. Cette catégorie est la plus représentée et se rencontre pratiquement au sein de tous les ferriers du site qui ont été explorés, et dans leur voisinage immédiat.

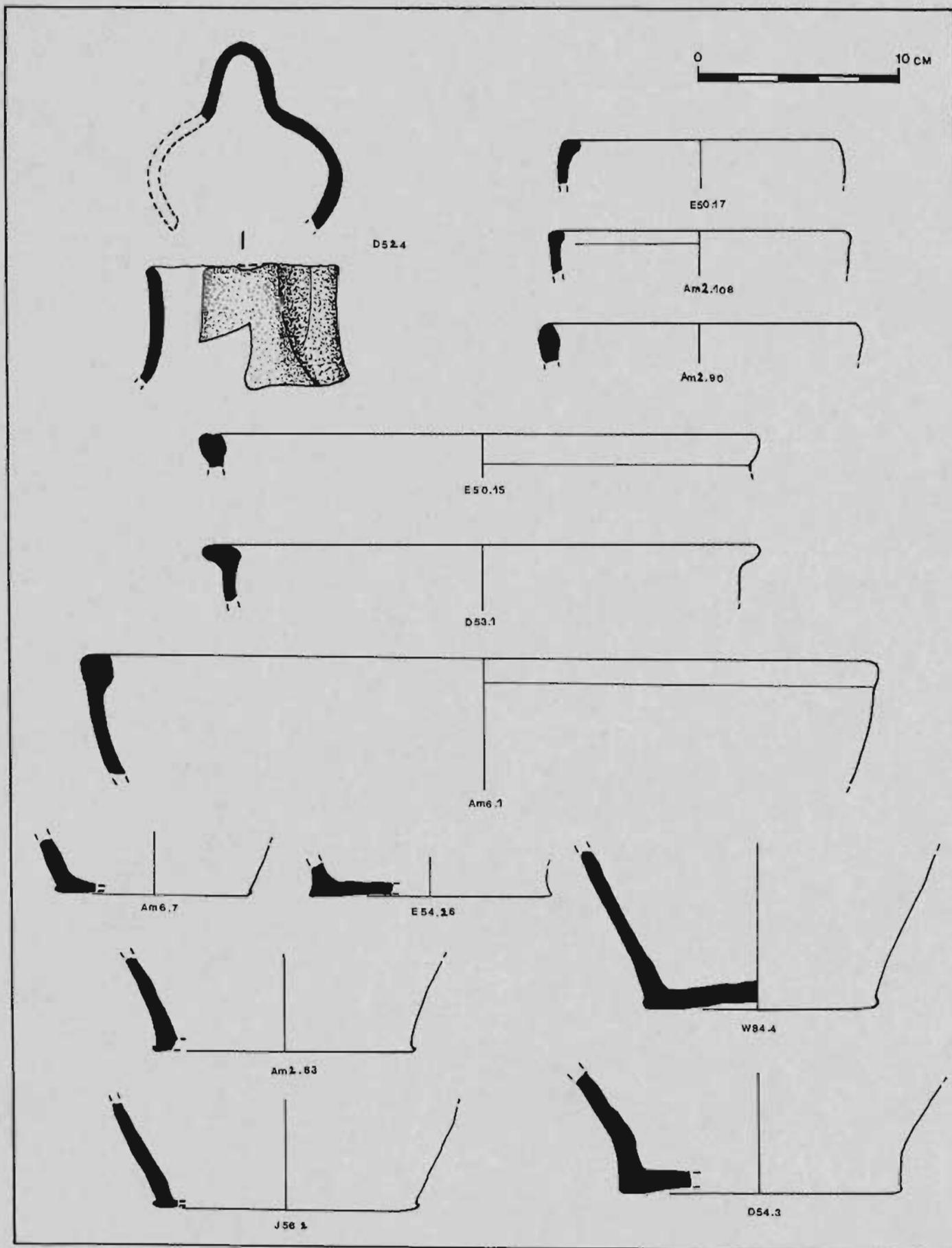


Fig. 29 - Céramique mise au jour en 2003 sur le site de Trécélien (planche I).

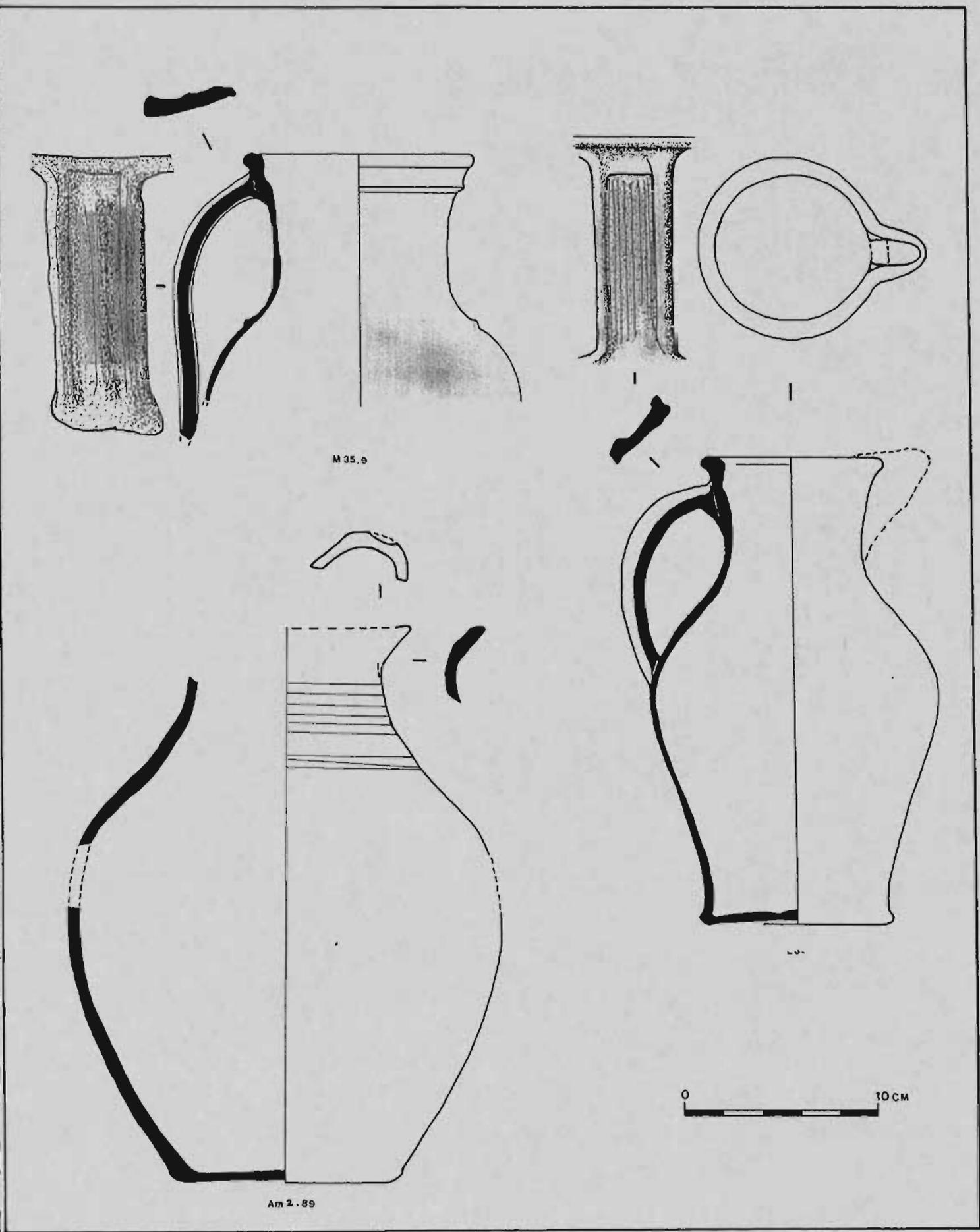


Fig. 30 - Céramique mise au jour en 2003 sur le site de Trécélien (planche 2).

En plus des formes de grandes dimensions du type oule, l'existence de pichet ou cruche soupçonnée l'an dernier se trouve confirmée. C'est le cas notamment de l'élément D52.4 (fig. 29) trouvé dans l'amas A7, qui recouvre la structure de chauffe SF1. Certains éléments mis au jour cette année, notamment une cruche à bec pincé (Am2.89, fig. 30), dont le remontage a permis l'obtention de la majeure partie du profil archéologique, pourraient tirer certaines de ces productions vers le XVI^{ème} siècle, voire même vers le début du XVII^{ème}. Il convient cependant de préciser que cette dernière poterie a été mise au jour sur le flanc est de l'amas de scories A2, qui comportait déjà l'an dernier des éléments disparates, très étalés dans le temps. A noter également le remontage d'un des tessons trouvés en 2002 (Am2.57) avec les éléments de ce pichet.

3. Céramique du groupe n°2.

Il s'agit essentiellement d'une céramique à pâte blanche ou claire, également décrite l'an dernier, qui accompagne la céramique du groupe n°1. Les éléments mis au jour pourraient provenir de pichets, mais ce groupe est difficile à cerner car on ne possède presque aucun élément de forme, hormis quelques fonds (Am6.7, fig. 29). Seule une trentaine d'éléments de ce type a été recensée cette année. Onze d'entre eux ont été mis au jour sur le flanc sud de l'amas A11. Seul un tesson montre une glaçure verte au plomb.

4. Céramique récente

Très peu d'éléments céramiques des XVIII – XX^{ème} siècles, tels que le fragment d'anse du sondage T11, sur l'amas A6, ont été collectés, indiquant par-là que le site n'a été que très faiblement perturbé aux cours des périodes récentes.

L'essentiel du lot céramique lié aux ferriers renvoie à la transition entre la fin du Moyen Age et le début de l'époque moderne (XV-XVI^{ème} siècles). Cependant, ainsi que nous l'avons vu, des éléments attestent une présence plus précoce localement sur le site au XIII^{ème} ou XIV^{ème} siècle, antérieure ou éventuellement contemporaine des premières opérations métallurgiques de réduction. Certains éléments donnent à penser que le site a peut-être continué à fonctionner jusqu'à la fin du XVI^{ème} siècle, voire jusqu'au début du XVII^{ème}, ou bien a continué à être visité, notamment dans le secteur de l'amas A2. On pense bien sûr à la récupération très volumineuse de scories qui a été opérée au sein des amas A1 et A6. De même le site a été quelque peu fréquenté plus tardivement, comme le montre l'abri de charbonnier mis au jour l'an passé.

D. CONCLUSIONS et PERSPECTIVES

La structure SF1 qui a été explorée cette année à Trécélien, s'avère tout à fait inédite pour la période considérée. Si les analyses confirment bien l'interprétation avancée, elle pourrait bien constituer un exemple unique d'appareil de chauffe servant au travail d'épuration qui suit directement la phase de réduction proprement dite en bas fourneau, appareil souvent évoqué, pour de nombreuses périodes, mais en réalité très rarement observé. Elle constitue, par-là, un témoin tout à fait essentiel et unique, des opérations effectuées au sein de ces ' forges grossières ' à la fin du Moyen Age ou au début de l'époque moderne.

L'interprétation de la structure SF1 passe donc par une étude plus poussée et systématique des nombreux échantillons de mobilier métallurgique et de sédiments qui ont été collectés. Cette opération se fera en partie par Nicolas Girault, actuellement en DEA sur ce thème (Paris I).

La série conséquente de sondages réalisée au cours des deux campagnes de fouilles, en amont des ferriers, à leur intersection, ou à leur périphérie, en testant tous les micro-reliefs visibles, de même que l'exploration magnétique dans la zone assez plane située entre le ferrier A4 et le ruisseau de Trécélien, n'ont pas permis de localiser l'emplacement de bas fourneaux, dont on peut supposer que la partie bâtie ait pu laisser subsister des vestiges marquant encore le paysage. L'exploration à cœur de certains d'entre eux (A2, A10 et A11), rendue possible cette année, grâce à l'emploi d'une mini-pelle, n'a pas fourni non plus ce résultat. Le témoignage oral de l'évacuation d'un ferrier de même nature situé au hameau de Trédéal, apporte cependant un argument précieux. Malgré le temps écoulé depuis le déplacement de ces résidus métallurgiques, l'exploitant agricole a gardé en mémoire la présence d'un four noyé au sein du gros monticule de scories (20 x 10 x 2,5 m environ). Sur le site de Trécélien, la présence d'un ou plusieurs appareils de réduction sous les couches de scories des grands ferriers (A6, A8, A9...) reste l'une des hypothèses les plus vraisemblables, incitant à poursuivre ces investigations en entamant les ferriers plus volumineux vers leur centre de masse. La difficulté réside dans les volumes de scories qu'il faudrait déplacer pour s'en assurer, compte tenu que seule une mini-pelle mécanique peut intervenir dans ce contexte forestier. Bien qu'envisageable, cette opération nécessite cependant d'avoir une idée suffisamment précise du ferrier à tester et du secteur à décaper. Les sondages réalisés ne fournissent aucune indication suffisamment tangible en ce sens.

On peut supposer l'existence de bas fourneaux sur place, compte tenu de la présence de l'appareil de chauffe SF1 lui-même, des rejets de sédiment rouge-orangé en couches nombreuses, vraisemblablement liées à leur nettoyage et réfection, de la céramique collectée en quantité notoire, de l'aménagement de la fontaine...

Une poursuite de l'exploration de ces sites à scories spongieuses s'impose autant pour la mise au jour de ces fours, que pour la compréhension de la structure de chauffe très spécifique, qui a été découverte.

La recherche de ces appareils de réduction à partir de grands ferriers en élévation ou arasés, reste en quelque sorte un cas d'école, dont la mise au point méthodologique reste à faire. Elle a notamment fait l'objet, par exemple, d'une communication cet automne, lors de la réunion du groupe H3 « Mines et métallurgie » (Dunikowski et Cabboï).

Compte tenu des difficultés pratiques rencontrées, il est envisagé de conduire des prospections magnétiques et électromagnétiques, suivies d'un sondage archéologique, sur un ferrier du même type situé en milieu ouvert, au lieu-dit Le Vert Pignon, qui se trouve également sur la commune de Paimpont, au nord de celle-ci. Il est

prévu ensuite d'appliquer la méthode et le résultat de ces investigations (en cas de mise au jour d'une telle structure), au site de Trécélien.

Ces installations constituent des témoins majeurs des techniques adoptées à la fin du Moyen Age ou au début de l'époque moderne, pour la transformation du minerai de fer en métal. Si elles ont pu être observées fugitivement lors de la récupération de ferriers de ce type (en Normandie), aucune description détaillée n'en a été faite. Les sources historiques ne nous livrent rien sur leur constitution ni leur fonctionnement, et très peu sur les hommes qui les mènent.

Cette campagne de prospection permettrait également de vérifier plus complètement l'existence ou l'absence de témoins matériels en place, au voisinage des ferriers ou au sein de ceux-ci, des productions de produits semi-finis ou finis, qui sont au cœur des problématiques afférentes au rôle exact des 'forges grossières' et des forges dans la chaîne opératoire de production et de diffusion du métal.

Par ailleurs, l'expérience acquise sur ce type de site invite à amorcer des prospections sur d'autres ferriers de typologie voisine hors du massif de Paimpont, afin d'établir une première série de comparaisons sur des sites métallurgiques, dont on ne possède pas, la plupart du temps, d'éléments de datation formelle. On rencontre notamment ces monticules de scories dans le sud du département d'Ille et Vilaine, en particulier en pays de Châteaubriant, en limite des régions Bretagne et Pays de Loire, pour lequel on possède, par ailleurs, des données documentaires concernant l'activité métallurgique médiévale (Davy, 1913 ; Belhoste, Herbault, Mayeux, et Tinevez., 1984 ; Herbault, 1991).

BIBLIOGRAPHIE

- AGRICOLA Georgius, 1556, *De re metallica*, traduction Albert France-Lanord, deuxième édition Gérard Klopp S.A., Thionville, 1992, p. 341-346.
- ANDRIEUX Jean-Yves, 1987, *Forges et hauts fourneaux en Bretagne, du XVII^e au XIX^e siècle*, Nantes, C.I.D. éditions.
- BAILLY-MAITRE M.-C., 1986, *Mines et métallurgie dans les Cévennes au Moyen-Age*, *Dossiers Histoire et Archéologie*, 107, juillet-août 1986, p.24-25.
- BAILLY-MAITRE M.-C., 1986, *La métallurgie en Oisans*, *Dossiers Histoire et Archéologie*, 107, juillet-août 1986, p.26-29.
- BAILLY-MAÎTRE Marie-Christine, 1991, *Mines et forges au Moyen Age et au début des temps modernes - Réflexions autour de l'exemple de Brandes, Annexe sur l'étude physico-chimique par Alain PLOQUIN*, in BENOIT P. et FLUZIN P. (Ed.), 1991, - *Paléométaballurgie du fer et cultures, actes du symposium international du Comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques*, Belfort, Sévenans, 1-3 novembre 1990, Belfort, Ed. Vulcain, Paris, p. 333-347.
- BAILLY-MAÎTRE Marie-Christine, 2002, - *Concasser et broyer sur un site minier des XIIIe-XIVe siècles : Brandes-en-Oisans (Huez, Isère). Première étude à partir des outils, des ateliers et des résidus*. in : *Moudre et broyer. II - Archéologie et histoire. Table ronde internationale. Clermont-Ferrand, 30 novembre - 2 décembre 1995* / BAILLY-MAÎTRE Marie-Christine. - Paris : CTHS, - p. 213-228
- BELHOSTE Jean-François, LECHERBONNIER Yannick, ARNOUX Mathieu, ARRIBET Danielle, AWTY Brian G., RIOULT Michel, 1991, - *La métallurgie normande, XII^e - XVII^e siècles ; la révolution du haut fourneau*, *Cahiers de l'Inventaire*, 14, réalisé par le Service Régional de l'Inventaire Général de Basse-Normandie, D.R.A.C., et l'Association Histoire et Patrimoine Industriels de Basse Normandie (Ed.), Caen, 322 p.
- BELHOSTE J.-F. et MAHEUX H., 1984, *Les forges du pays de Châteaubriant*, *Cahiers de l'Inventaire*, 3, *Inventaire général des monuments et richesses artistiques de la France, Pays de Loire, Département de Loire-Atlantique*, Nantes, 295 p.
- BENOIT P., *Rapport de synthèse triannuel 1987-1990 « Mine et métallurgie dans les monts du Lyonnais du Moyen Age au XVIIIe siècle*, p. 48-83.
- BENOIT P., PLOQUIN A., GUILLOT I. FLUZIN PH., 1989, - *Forges ou réduction, étude analytique de fonds de fours, The Archaeometallurgy of iron : results achieved, 1967-1987*, Liblice (Tchécoslovaquie), 1987, Prague.
- BENOIT Paul et CAILLEAUX Denis, 1991, - *Moines et métallurgie dans la France médiévale, études issues du colloque du 13-14 mars 1987 à Paris I*, Association pour l'Édition et la Diffusion des Études Historiques, A.E.D.E.H., Paris, 353 p.
- BENOIT P. et FLUZIN P. (Ed.), 1991, - *Paléométaballurgie du fer et cultures, actes du symposium international du Comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques*, Belfort, Sévenans, 1-3 novembre 1990, Belfort, Ed. Vulcain, Paris.
- BEUCHET Laurent, 1992, *La Motte Salomon - Plélan-le-Grand, rapport de diagnostic archéologique*, SRA Bretagne, Rennes.
- BEUCHET Laurent, avec la collaboration de PICAULT Christèle, 1998, - *La Forge du Château du Guildo, XIVe-XVe siècles*, *Actes du VIe Congrès International d'archéologie médiévale "L'innovation technique au Moyen Age (1996)*, S.A.M., p.169-171.

- CHAUVEL J.-J., VIVET J.-B. et BONNIOL-JARRIER C., 1999, Etude minéralogique préliminaire du mobilier paléosidéurgique dans le Nord de la Haute-Bretagne, *Les dossiers du Ce.R.A.A.*, 27, p. 87-100.
- CHAUVEL J.-J. et VIVET J.-B., 2001, - Le bassin paléosidéurgique de l'est de la Rance - Caractérisation et étude comparative des ressources minières et des minerais de fer grillés à l'Age du Fer et à l'époque gallo-romaine, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 29, p. 59-72.
- CHIEZE V., BENOIT P., « Images de la forge dans les manuscrits de la Bibliothèque Nationale, XIIIe-XVIe siècle », *Images des mines et de la métallurgie du Moyen Age à nos jours. Table ronde du GHMM*, Paris, Ed. Pierres et Terre, n°33, p. 11-21.
- COURSON Aurélien de, 1863, - Usements et coutumes de la forêt de Brécélien (1467), in *Eclaircissements, cartulaire de Redon*, Paris.
- COZIC Nicolas, 1993, - La motte Salomon, Plélan-le-Grand (Ille et Vilaine) 35 223 001 AH; recherche documentaire sur le contexte historique du site, Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes, 39 p.
- DAVY L., 1913, Etude des scories de forges anciennes éparses sur le sol de l'Anjou, de la Bretagne et de la Mayenne pour servir à l'histoire de la métallurgie, *Bull. Soc. industrie minérale*, 3, p. 397-469 et p. 551-579. (voir M. Giot)
- DUNIKOWSKI K., 1991, - Approche méthodologique d'un ferrier, l'exemple du site des Clérimois, In FLUZIN P. et BENOIT P., - Paléométaballurgie du fer et cultures, actes du symposium international du Comité pour la sidéurgie ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques, Belfort, Sévenans, 1-3 novembre 1990, Belfort, Ed. Vulcain, Paris, p. 325-332.
- 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 procedimenta directe entre els segles IV^e i XIX^e, p. 189 - 210.
- DUVAL J.-F., 2000, - Métallurgie et défrichements en forêt de Paimpont au Moyen Age, *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, tome 107, n°3, p. 7-28.
- DUVAL J.-F., 1998, - Occupation et mise en valeur du sol dans la région de Plélan-Le-Grand au Moyen-Age (V^e - XIII^e siècle), mémoire de maîtrise, Université de Haute-Bretagne, Rennes II, 150 p., 39 cartes.
- ESTOURBEILLON (Marquis de L'), 1894, - Les revenus de la forêt de Brocéliande aux XV^e et XVI^e siècles, bulletin de Société Polymatique du Morbihan, 1893, Vannes, p. 121-133.
- FICHET DE CLAIREFONTAINE François, 1996, - Ateliers de potiers médiévaux en Bretagne, ouvrage collectif sous la dir. de F. FICHET DE CLAIREFONTAINE, D.A.F., n°55, 166 p.
- FEDERATION CARREFOUR DE TRECÉLIEN, - Les Forges de Paimpont, une activité industrielle du XVII^e au XIX^e siècle, 1993, Association des Amis du Moulin du Châtenay, numéro hors série, imprimerie Spéciale Châtenay, 60 p.
- FILARETE, XV^e, « Description d'une usine à fer au XV^e siècle », *Mélanges, Revue d'Histoire de la Sidéurgie*, 1960-4.
- FRANÇOIS Jules, 1843, - Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées, particulièrement dans l'Ariège, Paris.
- GAILLARDO A. et RUBIO S., 1930, - La Farga Catalana, In Rafael Dalmau (Ed.), Barcelone, 1930 (1^{ère} édition), 1993 (2^e édition facsimil).
- GILLE B., 1960, L'industrie métallurgique en Champagne au Moyen Age, *Revue d'Histoire de la Sidéurgie*, 1, p. 13-20.
- GILLE B., 1961, Les problèmes de la fouille en matière d'histoire sidéurgique, *Revue d'Histoire de la Sidéurgie*, R.H.S., 2, p. 63-68.
- GILLE B., 1968, - L'organisation de la production du fer au Moyen Age, *Revue d'Histoire de la Sidéurgie*, IX, p. 95-121.
- GRANDEMANGE J., 1990, « Le Samson, atelier et habitat d'une mine d'argent au XVI^e siècle », *Pierres et Terre*, 34, p. 116-120.

GRZELISHVILI I. A., 1964, - Ironworking in ancient Georgia, Tbsilisi.

GUERISSE Pauline, 1994, Sites sidérurgiques anciens du Massif de Paimpont, Mémoire de Maîtrise. Dir. Andrieux J.-Y., Rennes II, 229 p.

HERBAUT Claudie, 1991, - A propos de certaines dotations de monastères, aux XIIe et XIIIe siècles, par les seigneurs de la région de Châteaubriant (44), dans 'Moines et métallurgie dans la France médiévale', études issues du colloque du 13-14 mars 1987 à Paris I, Association pour l'Édition et la Diffusion des Études Historiques, A.E.D.E.H., Paris, p. 59-71.

JOCKENHÖVEL A., 1995, - Struktur und Organisation der Mittelalterlichen Eisengewinnung in der alten Grafschaft Nassau-Dillenburg (Deutschland), in Magnusson G. (ed.), in *The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change*. Papers presented at the Norberg Conference on May 1995, vol. 1, Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, Stockholm, p. 232-247.

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

LARCHER Guy, 1992, Sites métallurgiques de la région de Paimpont ; Couesdan en Plélan-le-Grand, rapport de fouille programmée, S.R.A. Bretagne.

LARCHER Guy, ANDRIEUX Jean-Yves, BRÛLE (Anne), COIGNARD (Joël), FONTUGNE Michel, HERBAUT Claudie, LOYER Stéphane, MOINERAIIS Marc, PLAINE Jean, 1993, Fouilles d'un bas fourneau et de ses structures annexes à l'étang du Perray, en Plélan le Grand (Ille et Vilaine), Revue Archéologique de l'Ouest, 10, 1993, p. 101-114.

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.

LEGUAY Jean-Pierre et MARTIN Hervé, 1982, - Fastes et malheurs de la Bretagne ducale 1213-1532, Ed. Ouest France Université, 194 p.

LEGUAY J.-P., 1988, Un aspect du travail du métal dans les villes armoricaines au Moyen-Age: la fabrication des canons et des armes blanches, In Benoit P. et Cailleaux D., Hommes et travail du métal dans les villes médiévales, Paris, Ed. EHESS, p. 185-226.

MERLUZZO P., FORRIERES C., avec le concours de THOUVENIN A., PLOQUIN A., 1995, - Les premières étapes du travail du fer en foyer de forge selon des procédés traditionnels japonais, In P. Benoit, P. Fluzin (Ed.), Paléoméallurgie du fer et cultures, actes du symposium international du Comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques, Belfort, Sévenans, 1-3 novembre 1990, Belfort, Ed. Vulcain, Paris, p. 71-86.

PERCY J., 1864, - Metallurgy ; volume 2, iron and steel, John Murray, Londres.

RICHARD T., 1838, - Etudes sur l'art d'extraire immédiatement le fer de ses minerais sans convertir le métal en fonte, Paris.

SANCHO I PLANAS Marta, 2000, - Production de fer au Moyen Age: les forges au sud des Pyrénées catalanes, IXe-XIIIe siècle. In: FLUZIN Philippe, 2000, Arts du feu et productions artisanales, Actes des Rencontres 21-23 octobre 1999, sous la direction de Pierre Pétrequin, Philippe Fluzin, Jacques Thiriou et Paul Benoit, Ed. APDCA, Centre de recherches archéologiques du CNRS, Villes d'Antibes, Ministère de la culture et de la communication, 628 p., p. 73-86.

THOMMEN B. et KOHLER T., 1991, - Cours d'initiation à l'étude de la métallurgie de fer ancienne et à l'identification des déchets de cette industrie, Association Suisse des Techniciens des Fouilles Archéologiques, Feidmeilen, Suisse.

TINEVEZ J.-Y., 1984, In BELHOSTE J.-F. et MAHEUX H., 1984, Les forges du pays de Châteaubriant, Cahiers de l'Inventaire, 3, Inventaire général des monuments et richesses artistiques de la France, Pays de Loire, Département de Loire-Atlantique, Nantes, p. 28.

TYLECOTE R.-F., 1987, The Early History of Metallurgy in Europe, Londres-New York, p. 164-167.

URTEAGA Mertxe, CREW Peter and Susan, FLUZIN Philippe, HERBACH Richard, DILLMANN Philippe, 2000, - Restitution ethnoarchéologique et conduite des procédés. Forges d'Agorregi, Pays basque, Espagne, In Arts du feu et productions artisanales, 2000, Actes des Rencontres 21-23 octobre 1999, sous la direction de Pierre Pétrequin, Philippe Fluzin, Jacques Thiriot et Paul Benoit, Ed. APDCA, Centre de recherches archéologiques du CNRS, Villes d'Antibes, Ministère de la culture et de la communication, p. 53-72.

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

VIVET J-B. et alii, 2001, - Paléosidérurgie dans l'inter bassin de la Rance, du Combournais à la forêt de Paimpont, rapport de prospection thématique (35), Service Régional de l'Archéologie de Bretagne, Rennes.

CHAUVEL J.-J. et VIVET J.-B., 2001, - Le bassin paléosidérurgique de l'est de la Rance – Caractérisation et étude comparative des ressources minières et des minerais de fer grillés à l'Age du Fer et à l'époque gallo-romaine, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 29, p. 59-72.

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

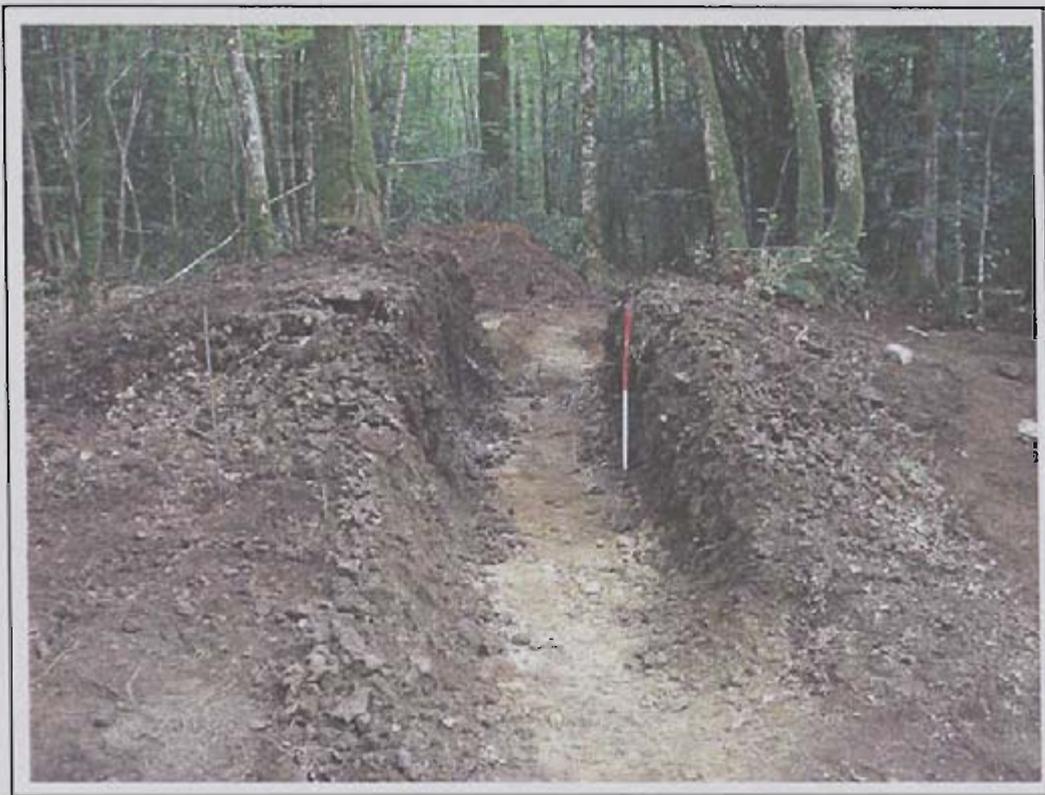


Photo n°1 : Amas A11 – décapage de la couche d'humus et tranchée au cœur du ferrier.



Photo n°2 : Sondage S1 - Vue générale de la zone des ferriers A7 et A10, où a été découverte la structure de chauffe SF1.



Photo n°3 : Sondage S1 – Coupe stratigraphique traversant la structure SF1 ; ferrier A7 en arrière--plan.



Photo n°4 : Structure SF1, recouverte par une épaisse couche de limon blanc et par les rejets de scories du ferrier A7 (début de fouille 2003).



Photo n°5 : fosse C2, en contrebas de la structure de chauffe SF1.



Photo n°6 : Trou de poteau C1 taluté, en amont de la structure de chauffe SF1.



Photo n°7 : Structure de chauffe SF1
Foyer ovale et paroi verticale scoriacée.



Photo n°8 : Structure de chauffe SF1
paroi verticale scoriacée, dégagée.



Photo n°9 : Structure de chauffe SF1, vue en perspective des compartiments rectangulaire et ovale,
rubéfaction sous la sole.



Photo n°10 : Structure de chauffe SF1, vue en plan. On notera la forte rubéfaction du sol derrière la paroi scoriacée, ainsi que la trace d'un trou de piquet derrière celle-ci. Le niveau de fouille atteint est celui de la sole de l'appareil.



Photo n°11 : Structure de chauffe SF1
Paroi scoriacée en cours de dégagement.



Photo n°12 : Structure de chauffe SF1
Rubéfaction sous la paroi scoriacée prélevée.



Photo n°13 : Amas A11 – Vue générale après décapage. Zone en dépression avec pierres affleurantes, sur l'épaule sud (à gauche).



Photo n°14 : Amas A11, vu de l'est, après décapage. Tranchée de sondage et zone de sédiment rubéfié.



Fig. 15 : Amas A11 – pierrier associé au ferrier, vu du sud-ouest



Fig. 16 : Amas A11 – accumulation de pierres de toutes dimensions.



Fig. 17: AmasA11 - Jonction entre le pierrier et la zone de sédiment rubéfié, attirable à l'aimant.



Fig. 18: AmasA11 - Gros blocs de grès subsistant après enlèvement des pierres de petit calibre.



Photo n°19 : Amas A11 - Pierre à cupules n°1, trouvée à la surface du ferrier, sur son flanc est.



Photo n°20 : Amas A11 - Pierre à cupules n°2, trouvée en limite nord-est du ferrier.



Photo n° 21: Sondage test T1 sur l'amas A2, zone rubéfiée sud-est



Photo n° 22: Sondage test T1 sur l'amas A2, tranchée centrale



Photo n° 23: Sondage test T2 sur l'amas A2



Photo n° 24: Sondage test T4 à l'intersection des amas A3 et A4.



Photo n° 25: Sondage test T5, découverte du nouvel amas de scories A12.



Photo n° 26: Sondage test T6, découverte du nouvel amas de scories A12, vu du sud.



Photo n°27 : Sondage test T8 en amont du sondage S2 ; chemin ancien et amas A8. au fond.



Photo n°28 : Sondage test T8 en amont du sondage S2. couches inférieures rubéfiées.



Photo n°29 : Sondage test T9 en aval du ferrier A8.



Photo n°30: Sondage test T10 en aval des ferriers A9 et A10.



Photo n° 31: Sondage test T11 sur le flanc est du grand ferrier A6.



Photo n° 32: Sondage test T11 entre les ferriers A6. et A8.



Photo n°33 : Sondage test T13 en amont de A8, où a été trouvé un bloc de minerai chauffé, qui a fait l'objet d'une analyse (infra). Au fond sondage T12 et amas A6..



Photo n°34 : Sondage test T14 sur le flanc nord-est de l'amas A9.



Photo n°35 : Sondage test T15 sur le flanc est de l'amas A7.



Photo n°36 : Sondage test T16 en amont de l'amas A7.



Photo n°37: Sondage test T17 sur l'amas A11 : extension de la zone de sédiment rubéfié.



Photo n°38 : Sondage test T18 dans une zone en dépression au nord-est de l'amas A11, livrant des scories.



Photo n°39: Minerai de fer près de l'exutoire de la fontaine aménagée sur une résurgence.



Photo n°40: Petit stock de minerai de fer près de l'exutoire de la fontaine.. - vue de détail.



Photo n°41 : Sondage S2 - Niveaux XIIIe – XIVE, sous les couches de scories, à l'emplacement d'un petit abri de charbonnier datant du XX e siècle..



Photo n°42 : Sondage S2 - Coupe stratigraphique montrant les couches de scories et de sédiment rouge, au-dessus du sol de mise au jour de pichets à bec pincé .des . XIIIe – XIVE siècles



Photo n°43: Sondage S4 - Accumulation pierreuse sur le versant ouest du ruisseau de Trécélien



Photo n°44: Sondage S4 – Coupe stratigraphique du pierrier.



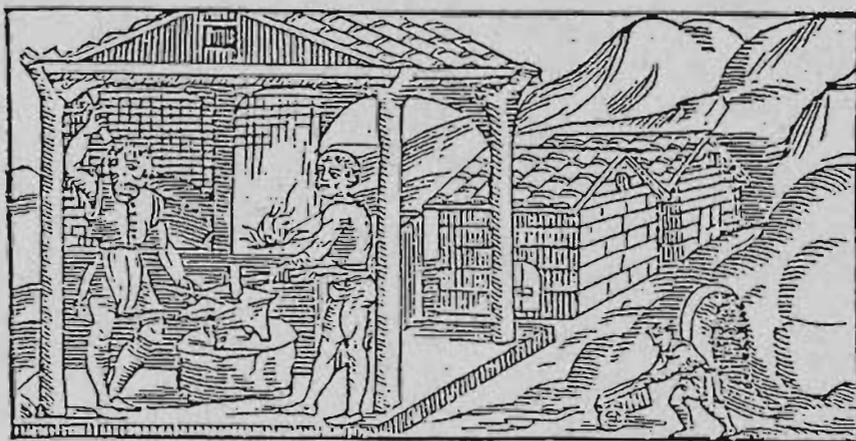
Photo n°45: Sondage S4 –tranchée de sondage au niveau du chemin ancien.



Photo n°46 et 47 ci-dessus : Sondage S5 –tranchée de sondage au niveau du chemin ancien.

ANNEXES

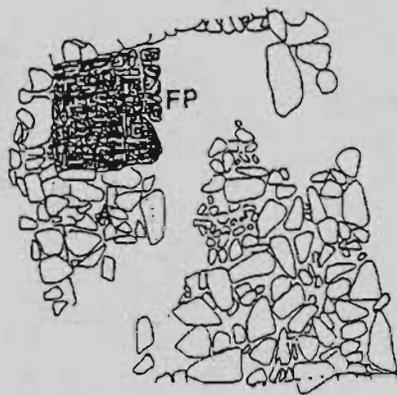
- Annexe 1 - Gravures représentant des forges : *Pirotechnia* (Biringuccio, 1558) et *De Re Metallica* (Agricola, 1556).
- Annexe 2 - Brandes, massif de l'Oisans, XIII ème siècle, quatre ateliers de forge en contexte minier (Bailly-Maître, 1991).
- Annexe 3 - Plan de l'atelier de forge du Samson, au XVI ème siècle (Grandemange, 1990).
- Annexe 4 - Schéma d'une forge catalane reproduit par Tylecote (1987), d'après Percy (1864) et François (1843).
- Annexe 5 - Four de Fabregada, préfigurant les forges catalanes, XI-XIII ème siècles (Sancho I Planas, 2000).



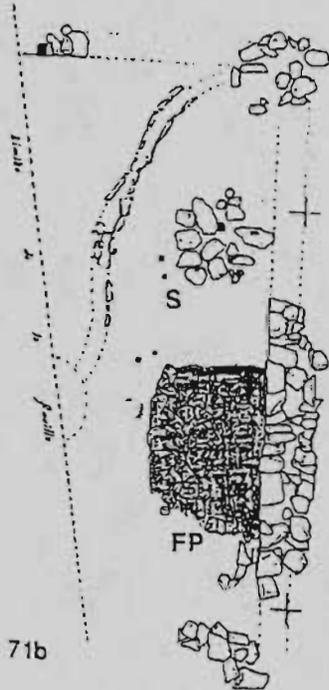
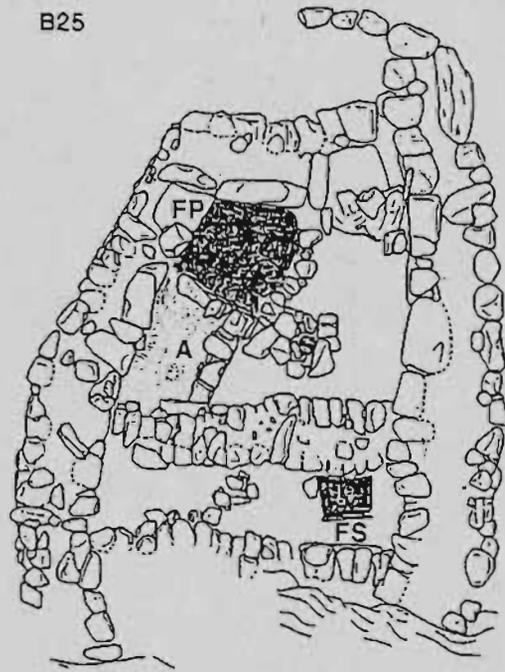
A: Un four B: Les soufflets C: Des pinces D: Un marteau (martinet)
E: L'eau courante

Annexe I - Gravures représentant des forges : Pirotechnia (Biringuccio, 1558) et De Re Metallica (Agricola, 1556).

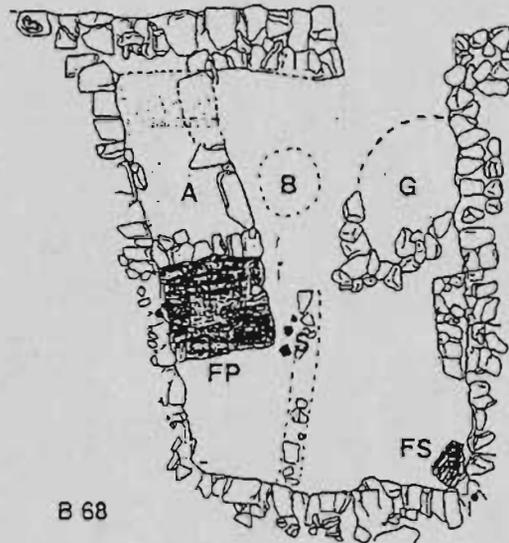
B 35



B25



B 71b



B 68

0 1m

FP ● FOYER DE FORGE

S EMPLACEMENT DU SOUFFLET

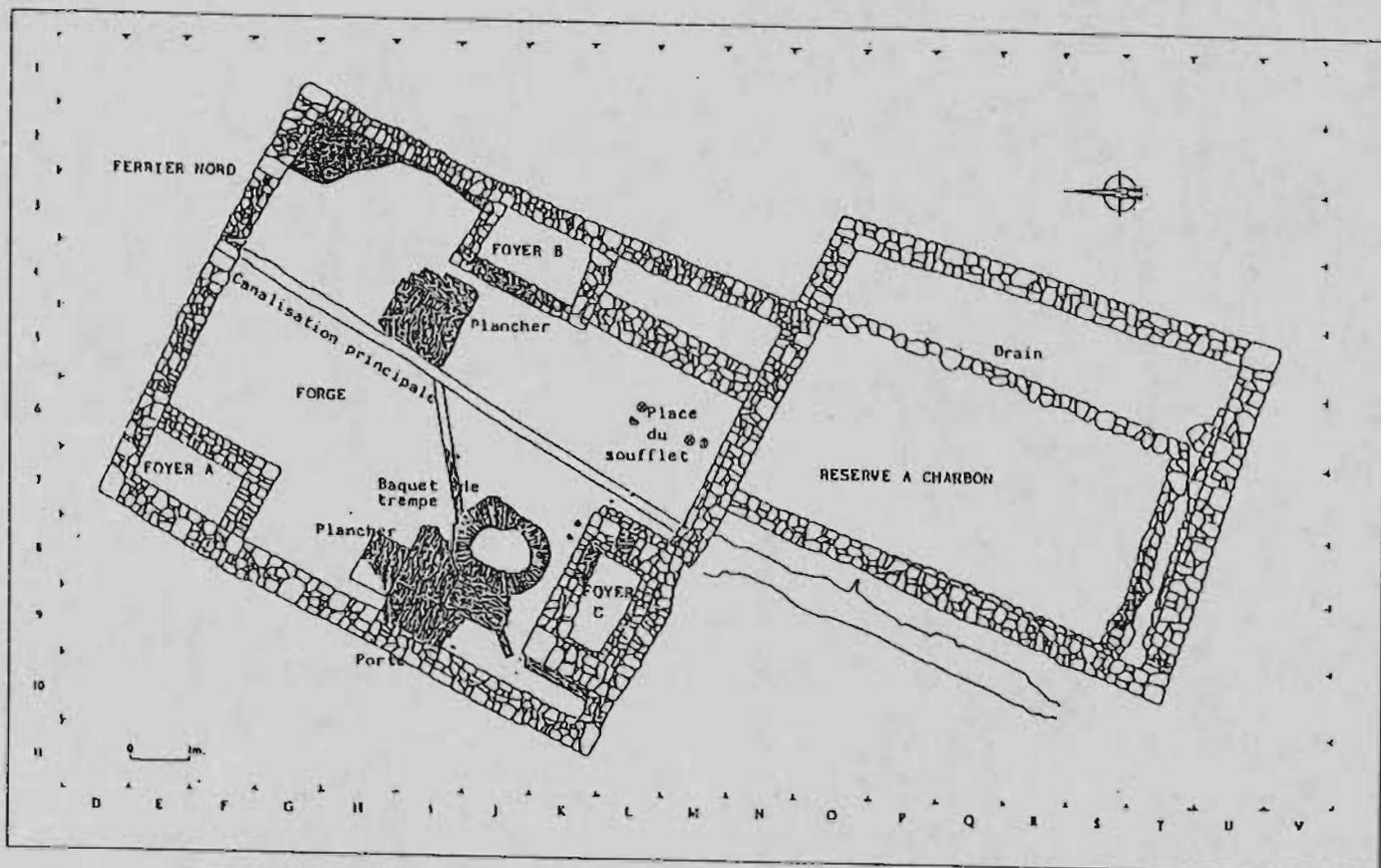
G "GATEAU" DE SCORIES ET DE BATTITURES

FS ● FOYER SECONDAIRE

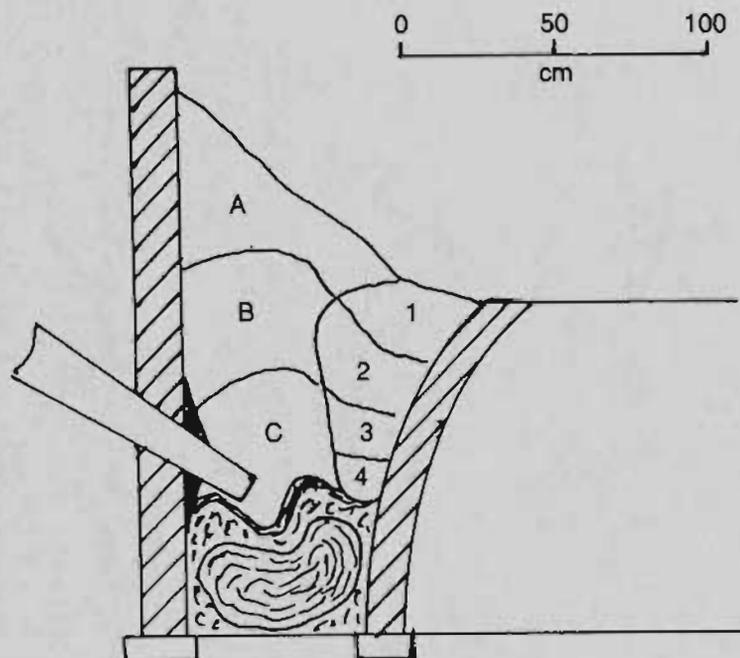
Ⓐ STOCKAGE D'ARGILE

B BILLOT D'ENCLUME

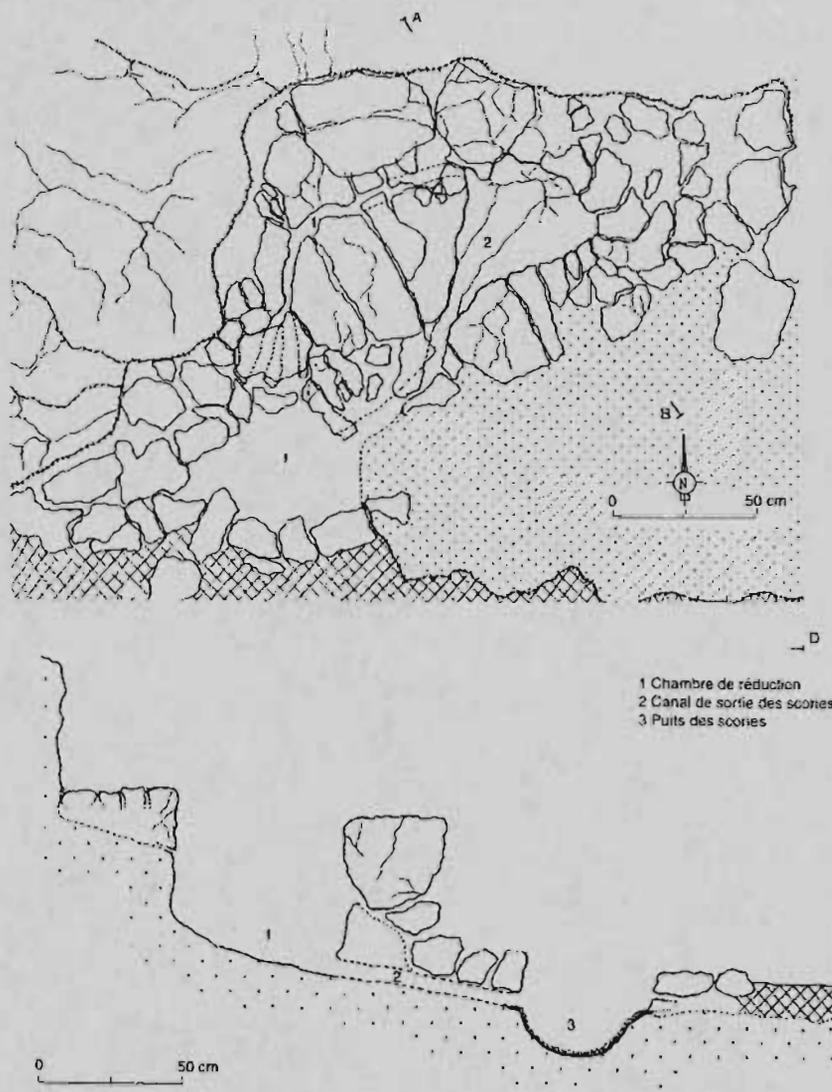
Annexe 2 - Brandes, massif de l'Oisans, XIII ème siècle, quatre ateliers de forge en contexte minier (Bailly-Maître, 1991).



Annexe 3 - Plan de l'atelier de forge du Samson, au XVI ème siècle (Grandemange, 1990).



Annexe 4 - Schéma d'une forge catalane reproduit par Tylecote (1987), d'après Percy (1864) et François (1843).



Annexe 5 - Four de Fabregada, préfigurant les forges catalanes, XI-XIII ème siècles (Sancho I Planas, 2000).



TRECELIEN

Fouille 2003

**Analyse du minerai
et des scories**

Jean-Jacques Chauvel
Janvier 2004

ECHANTILLONNAGE ET METHODOLOGIE

Parmi le matériel récolté en 2033 sur la fouille de Trécélien, 3 échantillons ont été prélevés pour analyse.

n° éch.	n° anal. Chim.		
JBV 146	310264	Trécélien	minerai grillé
JBV 147	310265	Trécélien-A 10	scorie
JBV 148	310266	Trécélien-A 10	scorie

Les échantillons JBV 147 et 148 correspondent à des scories massives.

Les méthodes analytiques

Les analyses minéralogiques par diffraction des rayons X ont été conduites dans les laboratoires de Géosciences-Rennes : générateur Philips PW3710 - rayonnement du cobalt sous 35 kV et 30 mA.

Les analyses chimiques sont dues au Service d'Analyse des Roches et Minéraux (SARM) de Nancy : analyse par ICP-AES pour les éléments majeurs et par ICP-MS pour les autres éléments.

Les calculs normatifs

Pour permettre les calculs de normalisation, on a attribué aux éléments indétectables lors de l'analyse (<L.D. sur le tableau d'analyses) une teneur arbitraire égale à la moitié de la teneur fournie par le laboratoire comme limite de détection.

Les calculs normatifs sont conduits sur les bases suivantes :

Normalisation aux chondrites CI : TAYLOR S.R. & GORTON M.P. -1977- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41 : 1375-1380.

Normalisation au NASC (North American Shale Composite) : HASKIN *et al.*, In : TAYLOR S.R. & MC LENNAN S.M. -1985- *The Continental Crust*. Blackwell Scientific Publications.

Normalisation à la croûte continentale supérieure (CCS) : MC LENNAN S.M. -2001- *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2.

Normalisation aux minerais superficiels et aux minerais ordoviciens de Bretagne centrale : Société géologique et minéralogique de Bretagne, Programme PATRIFER (non publié).

Le minerai grillé

Le minerai analysé ici (JBV 146) a subi un grillage efficace qui ne laisse subsister que 1,94% d'éléments volatiles. Essentiellement composé de silice et d'oxydes de fer ($\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 93,84\%$) ce minerai contient 40,33% de fer-métal. (Tabl. 1)

Compte tenu de l'enrichissement lié au grillage, la teneur totale en éléments traces (1158,91 ppm) est cohérente avec la teneur totale moyenne fournie par les minerais superficiels de Bretagne centrale (1066,81 ppm) et par l'échantillon de minerai cru (JBV 126) déjà analysé à Trécélien (Tabl. 2). On note toutefois quelques particularités par rapport à la moyenne des minerais superficiels (Tabl.1): la teneur en As est nettement plus élevée (387,9 ppm au lieu de 118 ppm) et il en est de même pour la teneur en Zr (405 ppm au lieu de 156 ppm). La teneur en Terre Rares, faible et compatible avec celle des minerais superficiels, est significativement inférieure à celle des minerais ordoviciens (Tabl. 2).

Normalisation des Terres Rares

La courbe de normalisation des Terres rares (Fig. 2A) montre un profil particulier caractérisé par des taux de fractionnement très faibles (voir Tabl.2) et par le fractionnement des Terres Rares lourdes.

Les scories

Les deux échantillons analysés ont des compositions tout à fait comparables (Tabl.1) et montrent des teneurs en alcalins significatives (moy. $\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} = 5,87\%$). La teneur totale en éléments traces (3042,13 ppm) est élevée et très supérieure à celle des scories obtenues lors de l'expérimentation 2002 (1327,76 ppm). Ces teneurs élevées sont en grande partie liées à l'abondance de certains éléments comme Cr, Sr, V et Zr (Tabl. 4).

Normalisation des Terres Rares

Les teneurs en Terres Rares ont été normalisées aux chondrites (Fig. 2A). Le taux de fractionnement La_N/Yb_N est voisin de 2 et est très nettement inférieur au taux de fractionnement fourni par les scories de l'expérimentation 2002 ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 10,65$). Le profil de la courbe apparaît nettement différent de celui de la courbe fournie par le

minerai grillé en particulier en ce qui concerne le fractionnement des Terres Rares lourdes (Fig. 2A et Tabl.2)

Normalisation des scories au minerai grillé

Les teneurs ont été normalisées au minerai grillé JBV 146 (Fig1 et 3). L'observation la plus importante réside dans l'examen de la figure 1C qui montrent que la courbe des valeurs croissantes du taux d'enrichissement des traces ne présentent aucun plateau.

Comparaison avec les données de l'expérimentation 2002

LES ELEMENTS MAJEURS (Fig. 3A) : on note, comme en 2002, un enrichissement en alcalins lié au combustible. La différence majeure réside dans le fait que SiO_2 et TiO_2 ne montrent aucun enrichissement dans les scories.

LES ELEMENTS EN TRACES (Fig. 3B) : on notera en particulier que pour les éléments incompatibles, qui, en 2002, ont montré des valeurs de N très constantes, les taux d'enrichissement sont ici très hétérogènes. Cette observation confirme l'absence de plateau sur la courbe de la figure 1C.

LES TERRES RARES (Fig. 3C) : le profil de la courbe de normalisation à JBV 146 est très voisin de celui de la courbe obtenue pour les scories de 2002 sauf en ce qui concerne les Terres Rares lourdes. Le taux d'enrichissement moyen s'établit à 2,26 pour les Terres Rares légères. Par rapport aux résultats de 2002 cette valeur du taux d'enrichissement paraît très élevée car en 2003 le calcul est mené par rapport à un minerai grillé.

Les éléments essentiels de la comparaison sont regroupés sur la figure 4 et dans les tableaux 2 à 5.

A l'examen des données obtenues, il apparaît donc difficile d'établir la filiation entre les scories JBV 147 et 148 et le minerai JBV 146 :

- impossibilité de mettre en évidence un taux homogène d'enrichissement scories/minerai grillé ;
- taux d'enrichissement des Terres Rares non compatibles avec les résultats fournis par l'expérimentation 2002
- fractionnement différent des Terres Rares lourdes

La question suivante se pose alors : les scories analysées sont issues de quel type de minerai ?

Pour tenter de répondre à cette question, la composition des scories a été normalisée aux compositions moyennes des minerais superficiels et des minerais ordoviciens de Bretagne centrale, fournies par le programme Patrifér. D'autre part des éléments de comparaison avec les données déjà disponibles sur les sites archéologiques de Bretagne centrale (Paimpont et Pléchâtel) ont été réunis dans les tableaux 2 à 5. L'examen de ces documents conduit aux observations suivantes :

* Le minerai utilisé peut-il provenir des ressources ordoviciennes ?

La question doit être posée car l'Ordovicien de la Forêt de Brocéliande renferme des couches de minerai de fer bien connues et qui ont fait l'objet d'une exploitation importante. L'examen des courbes de normalisation scories/minerai ordovicien ainsi que des figures 5 et 6 ne semblent pas aller dans ce sens. Le problème des Terres Rares reste cependant difficile à régler. On a vu qu'une normalisation des scories au minerai JBV 146 donnait un taux d'enrichissement différent pour les Terres Rares lourdes et légères avec des valeurs supérieures à 2 proches de celles obtenues en 2002. Cette valeur de N paraît très élevée quand on se souvient que JBV146 est grillé. Dans ce cas, les valeurs (<2) obtenues par normalisation aux minerais ordoviciens (Fig. 2C) apparaissent plus vraisemblables. Elles montrent cependant un taux d'enrichissement trop variable et l'hypothèse de scories provenant de la réduction d'un minerai ordovicien semble difficile à retenir.

* Le minerai utilisé peut-il provenir d'un minerai superficiel ?

C'est la normalisation des scories à la moyenne des minerais superficiels qui fournit la courbe la plus proche de celle obtenue lors de l'expérimentation 2002 pour les traces (Fig. 3B). En revanche la courbe obtenue pour les Terres Rares (Fig. 2C) est très éloignée de celle de 2002 avec un taux d'enrichissement très élevé : le minerai à l'origine des scories doit donc être nettement plus riche en Terres Rares que la moyenne des minerais de surface. Il faut noter toutefois que c'est pour cette hypothèse que les documents synthétiques des figures 5 et 6 sont les plus proches.

Devant ces difficultés d'interprétation, on a tenté, sur la base des quelques données disponibles, de comparer les minerais superficiels de la région de Brocéliande

(2 anal.) avec ceux de la région de Pléchâtel et avec la moyenne des minerais de Bretagne centrale (Tableau 3). A l'examen de ces données, et malgré leur état très fragmentaire, il apparaît que les minerais crus de la région de Paimpont présentent certaines particularités : plus fortes teneurs en Cr, V et Zr, et par contre teneurs en Terres Rares plus faibles que la teneur moyenne.

On se trouve donc en présence d'éléments contradictoires qui semblent aller dans le sens de l'utilisation d'un minerai superficiel (particularités de la région de Brocéliande en ce qui concerne les traces) mais qui n'excluent pas totalement la possibilité du minerai de couche (teneurs en traces trop faibles par rapport à celles des scories).

Dans cette situation que doit-on en conclure ?

Il faut rappeler tout d'abord que les données actuellement disponibles sur la zone de Brocéliande sont encore fragmentaires en ce qui concerne l'utilisation de l'outil géochimique.

Les éléments d'interprétation restent donc les suivants :

- Le minerai analysé n'est pas représentatif du minerai ayant servi à l'élaboration des scories.
- L'utilisation exclusive du minerai de couche ne semble pas devoir être retenue.
- L'hypothèse de l'utilisation d'un minerai superficiel ayant une composition voisine de la composition moyenne des minerais superficiels de Bretagne centrale ne semble pas non plus satisfaisante, compte des caractères des scories.

Il reste donc deux interprétations possibles : ou bien (1) il y a eu mélange des deux types de minerai ou bien (2) le matériel utilisé provient d'affleurements de la couche de minerai ordovicien dans une zone où celle-ci est atteinte par les phénomènes d'altération superficielle. Dans le deuxième cas, il est important de rappeler qu'un minerai superficiel comprend essentiellement des éléments qui proviennent du lessivage des couches du sous-sol. Un minerai de couche altéré est donc enrichi en éléments stables: les minerais superficiels sont pauvres en traces et en Terres Rares par rapport aux minerais de couche (Tabl. 2).

Compte tenu du contexte géologique et historique propre à la région de Brocéliande et en attendant des données complémentaires il paraît raisonnable de privilégier actuellement la seconde hypothèse.

Conclusions

Les résultats de l'analyse des 3 échantillons prélevés dans le matériel recueilli sur la fouille de Trécélien en 2003 sont riches d'enseignements et permettent de mesurer les possibilités et les limites de l'outil géochimique dans l'étude du matériel fourni par les chantiers paléosidéurgiques. Il apparaît ainsi clairement que le minerai ayant donné naissance par réduction directe aux scories analysées ne peut avoir la composition de l'échantillon de minerai grillé analysé.

Dans la recherche de la source possible du minerai, l'analyse chimique, et en particulier l'analyse des éléments en traces et des Terres Rares peut être un outil puissant pour argumenter le choix entre plusieurs solutions possibles. Ainsi, en ce qui concerne Trécélien, les premiers résultats fournis ici semblent orienter les recherches vers un gisement de minerai de fer ordovicien altéré, de préférence à un gisement classique de croûte ferrugineuse de type latéritique comme c'est généralement le cas dans beaucoup de sites régionaux. On rappellera ici que les affleurements de minerai ordovicien altéré ne sont pas inconnus dans la région de Brocéliande : affleurement dans l'emprise du Camp de Coetquidan, blocs de minerai oolithique totalement hématisés dispersés en forêt... Ce problème ne pourra trouver une solution que lorsque l'on pourra disposer d'un corpus d'analyses significatif.

ELEMENTS MAJEURS (%)

No CRPG			Ref Ech.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	PF	Total
310264	Trécélien	minerai grillé	JBV 146	36,18	3,09	57,66	0,09	0,19	< L.D.	< L.D.	0,14	0,42	0,11	1,94	99,82
310265	Trécélien-A10	scorie	JBV 147	36,67	8,87	50,32	0,45	0,87	3,83	0,13	2,17	0,41	0,79	-4,78	99,73
310266	Trécélien-A10	scorie	JBV 148	34,25	8,14	53,83	0,43	1,08	4,01	0,26	1,74	0,44	0,66	-5,44	99,4

ELEMENTS EN TRACES (ppm)

No CRPG				As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Ge	Hf	In	Mo	Nb	Ni
310264	Trécélien	minerai grillé	JBV 146	387,9	128,6	5,816	0,157	0,461	2,935	40,95	4,458	5,22	4,368	1,792	9,585	0,136	0,868	7,469	10,94
310265	Trécélien-A10	scorie	JBV 147	249,2	689,8	28,22	< L.D.	0,68	0,916	280,4	9,587	5,565	6,58	0,545	13,52	0,135	< L.D.	7,993	4,495
310266	Trécélien-A10	scorie	JBV 148	386,9	603,4	30,53	< L.D.	0,556	0,949	368,6	3,798	6,285	5,606	0,547	14,83	0,2	0,508	8,155	5,547

No CRPG				Pb	Rb	Sb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr	ΣTraces
310264	Trécélien	minerai grillé	JBV 146	4,961	5,621	1,445	1,134	19,98	0,732	3,296	3,811	39,77	1,504	51,5	8,101	405,4	1158,91
310265	Trécélien-A10	scorie	JBV 147	1,607	54,41	< L.D.	3,091	354,3	0,704	19,15	11,79	439	1,25	109,8	< L.D.	676,4	2969,14
310266	Trécélien-A10	scorie	JBV 148	1,580	46,43	< L.D.	0,947	278,7	0,725	19,66	9,996	458,9	1,18	105,4	< L.D.	755,2	3113,13

TERRES RARES (ppm)

No CRPG				La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE
310264	Trécélien	minerai grillé	JBV 146	13,18	42,36	7,641	36,52		10,08	2,171	9,618	1,459	9,275	2,027	6,581	1,059	7,891	1,402	151,26
310265	Trécélien-A10	scorie	JBV 147	50,8	131,1	18,22	79,76		22,02	4,807	21,12	3,442	21,37	4,465	13,81	2,225	16,62	2,746	392,51
310266	Trécélien-A10	scorie	JBV 148	52,89	133,5	20,3	89,57		24,93	5,408	22,96	3,74	22,74	4,613	14,29	2,37	18,23	2,96	418,5

Tableau 1- Trécélien Composition du minerai et des scories de la structure A10

<i>Minerai</i>	Eu/Eu*	La/Yb	La/Sm	Gd/Yb	Σ REE	Σ traces
JBV 146	0,68	1,13	0,84	0,98	151,26	1158,91
Exp.2002	0,75	9,7	3,7	1,69	109,68	900,03
min.superf.(*)	0,65	5,12	2,88	1,28	91,38	1066,81
min. de couche(*)	0,77	1,3	1,37	0,85	308,91	4161,92

<i>Scories</i>	Eu/Eu*	La/Yb	La/Sm	Gd/Yb	Σ REE	Σ traces
JBV 147	0,69	2,07	1,49	1,03	392,51	2969,14
JBV 148	0,70	1,97	1,37	1,02	418,5	3115,13
Exp.2002 (1)	0,74	10,65	3,89	1,73	289,21	1327,76

(1) composition moyenne

Tableau 2

Trécélien : composition du minerai et des scories

comparaison avec l'expérimentation de 2002 et avec les données du programme Patrifex(*)

	Σ traces	Cr	Sr	V	Zr
Trécélien - JBV 126	754,28	157,3	5,87	157	259,7
Vert Pignon - 1 anal.	1124,4	275	14,5	246	403
Pléchâtel - 2 anal.	874,3	28,6	63,15	50,8	235,5
Minerai sup.	1177,7	83,1	41,1	453	156,3
Minerai de couche	4639,6	57,8	2374	583	227,9

Tableau 3

Teneurs (ppm) en éléments traces des minerais crus

	Σ traces	Cr	Sr	V	Zr
Trécélien 2003-2 anal.	3042,13	324,5	316,5	448,9	715,8
Vert Pignon - 2 anal.	2156,13	322	154,5	376,5	659,5
Pléchâtel - 2 anal.	988,76	60	109	66,5	141,5

Tableau 4

Teneurs (ppm) en éléments traces des scories

Minerai cru				
Trécélien - JBV126	Paimpont	Pléchâtel	Min.surf.	Min. couche
48,4	66,3	160,3	91,4	271,7

Tableau 5

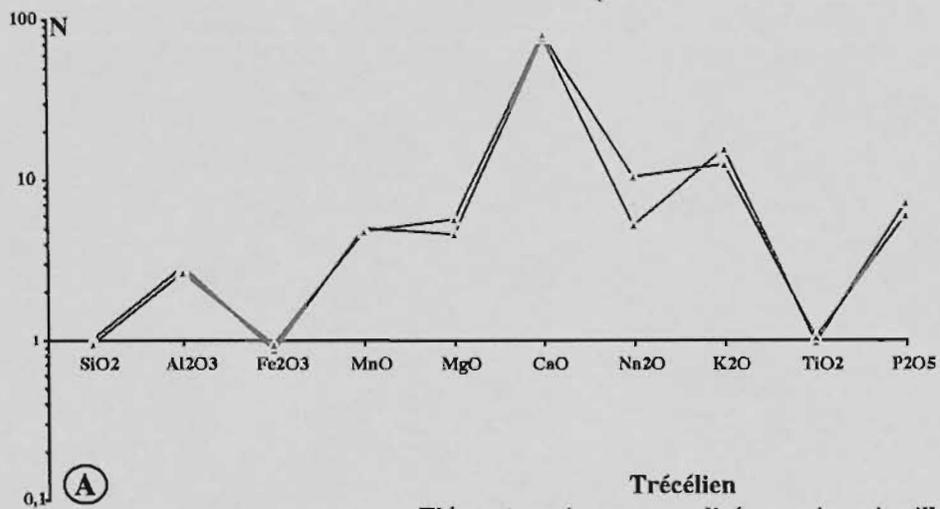
Teneurs (ppm) en Terres rares

Scories		
Trécélien	Paimpont	Pléchâtel
405,5	335,4	185,7

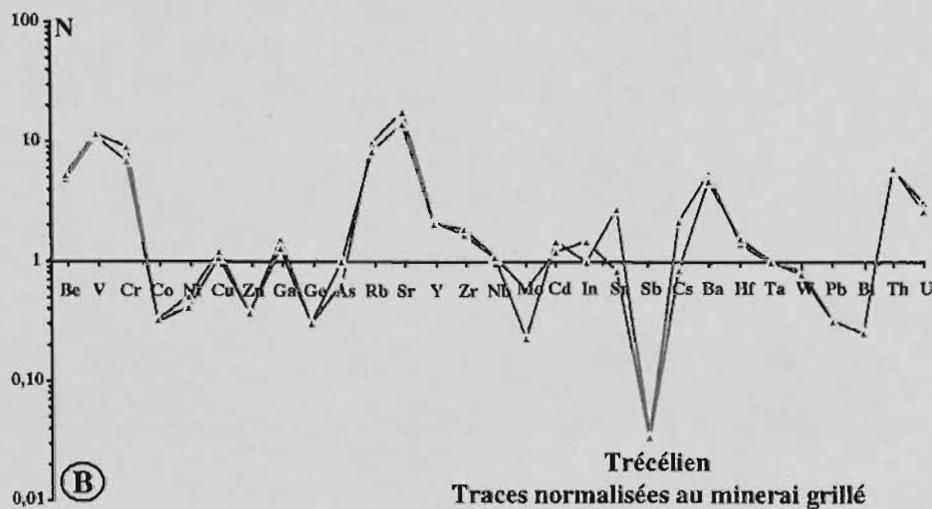
Tableaux 2 à 5

Composition chimique du minerai et des scories

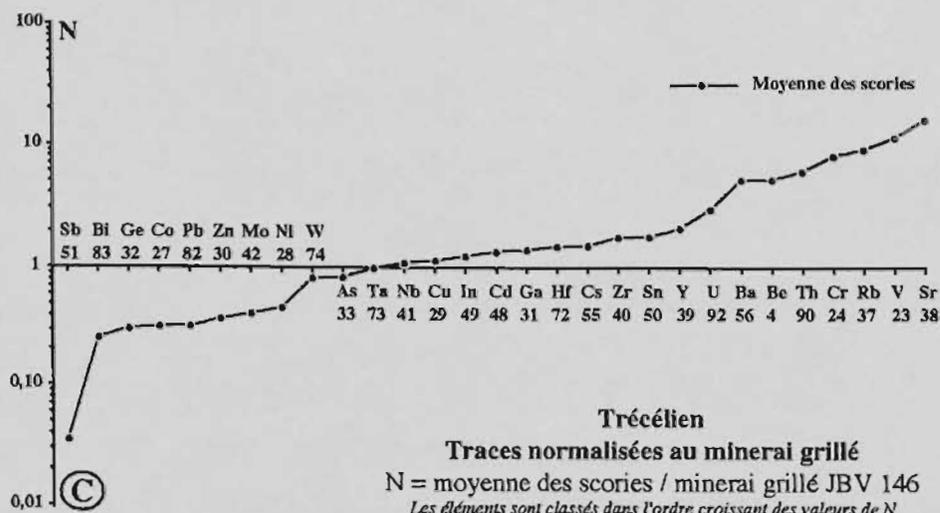
Comparaison avec les données antérieures



Trécélien
Éléments majeurs normalisés au minerai grillé
 N = scories / minerai grillé JBV 146



Trécélien
Traces normalisées au minerai grillé
 N = scories / minerai grillé JBV 146
 Les éléments sont classés dans l'ordre croissant des numéros atomiques



Trécélien
Traces normalisées au minerai grillé
 N = moyenne des scories / minerai grillé JBV 146
 Les éléments sont classés dans l'ordre croissant des valeurs de N

Figure 1
TRECELIEN - Éléments majeurs et en traces

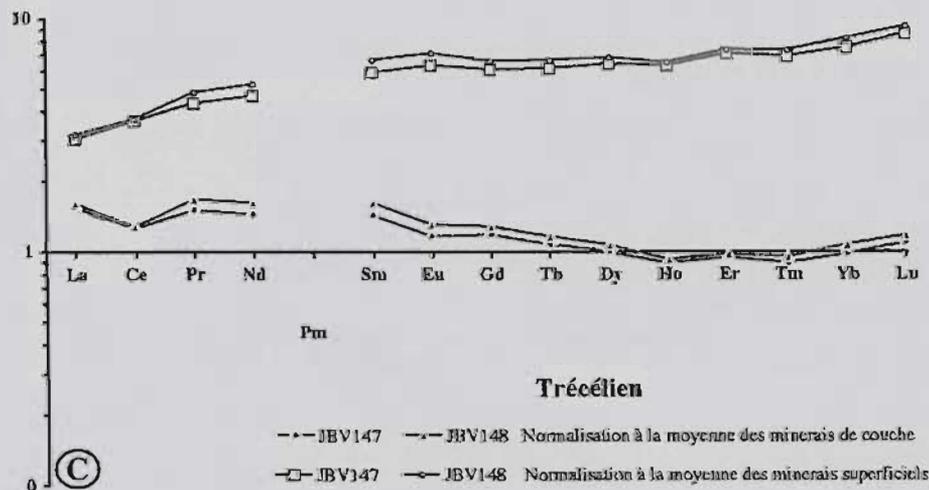
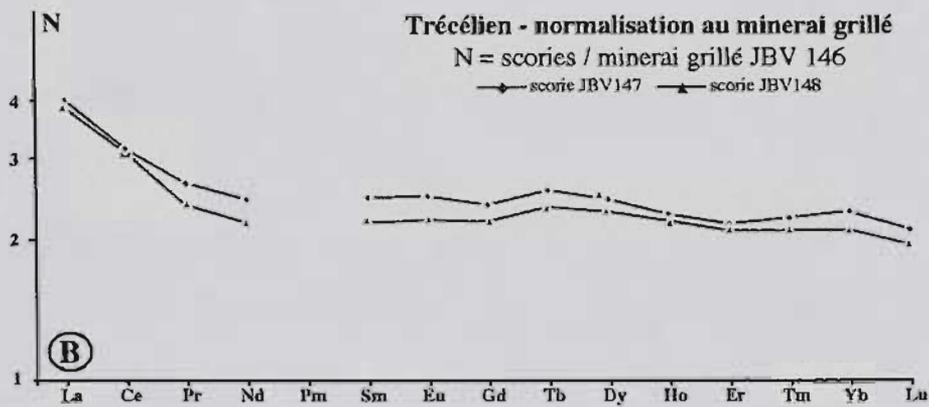
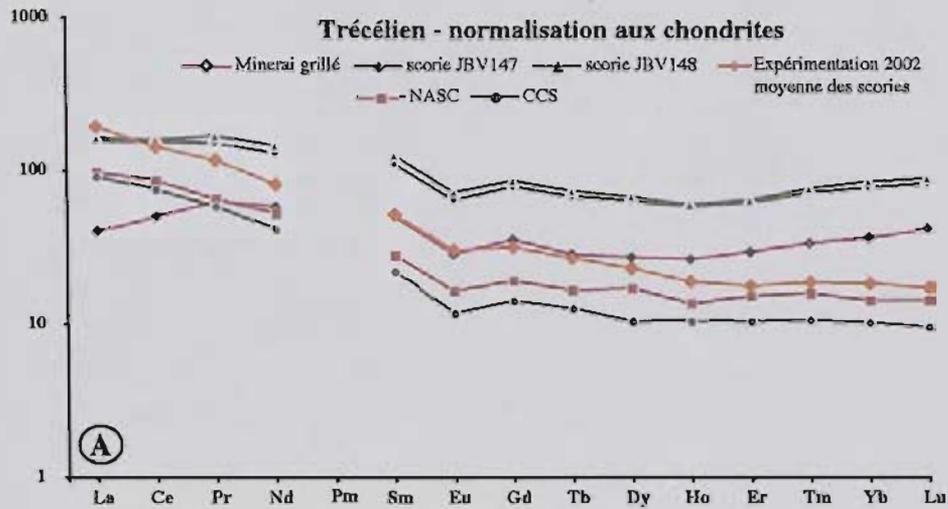


Figure 2
TRECELIEN - Terres rares

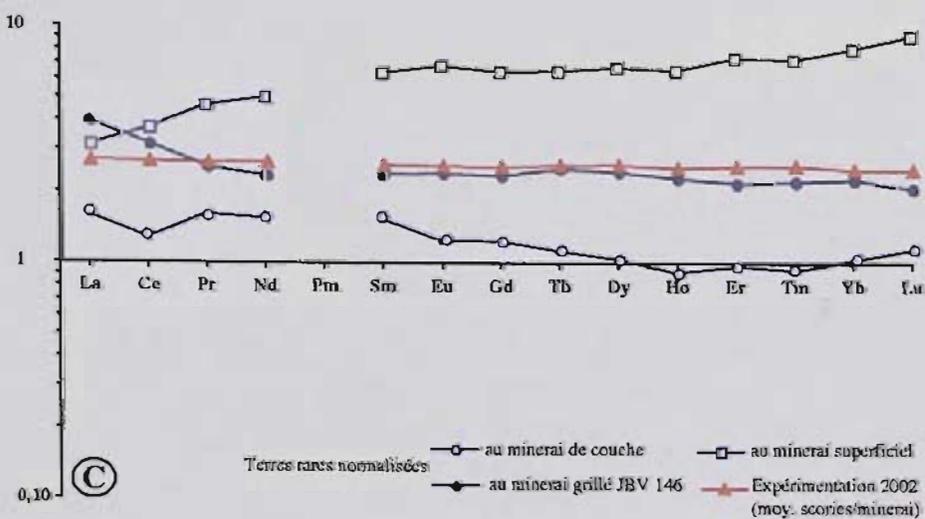
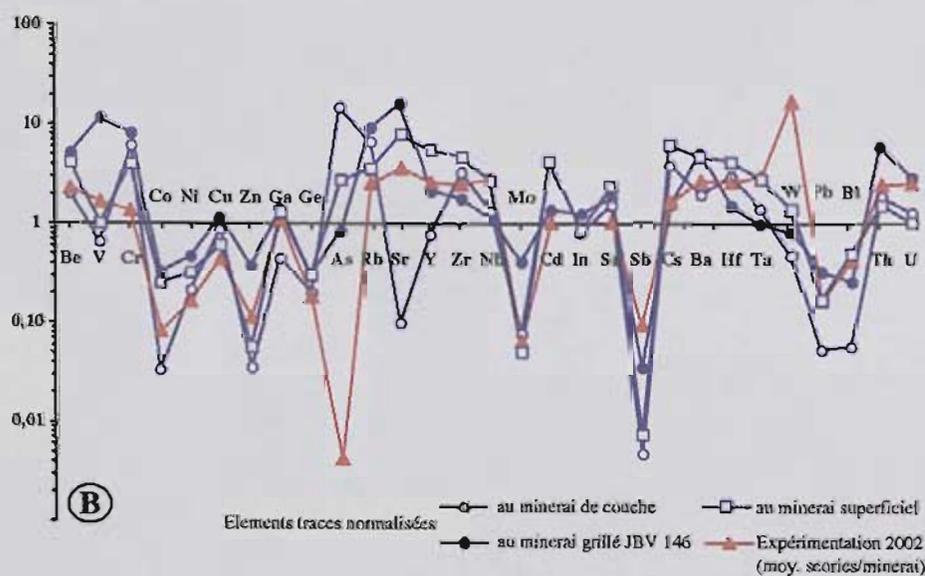
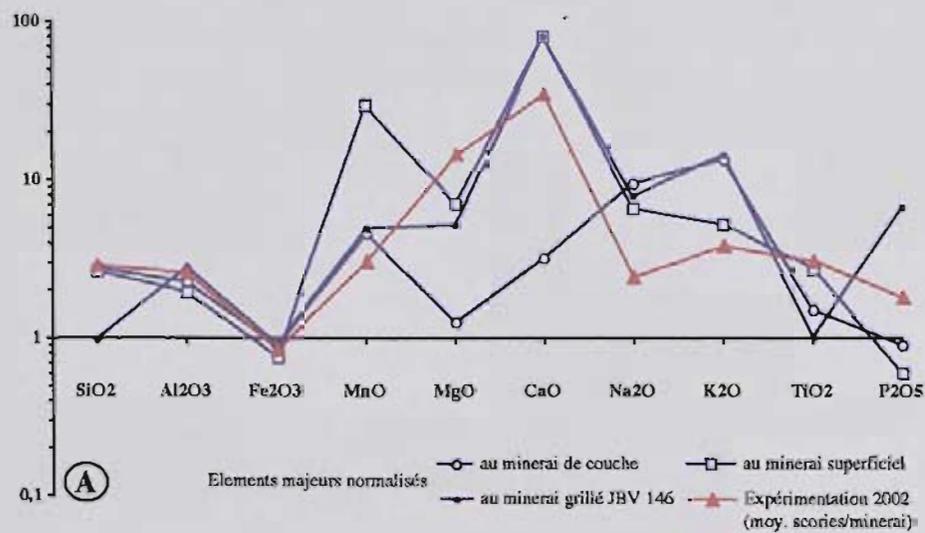
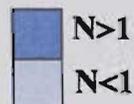
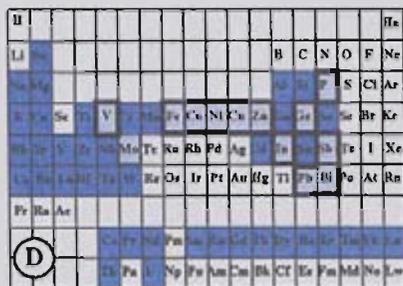
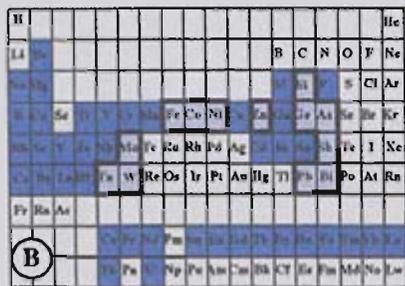
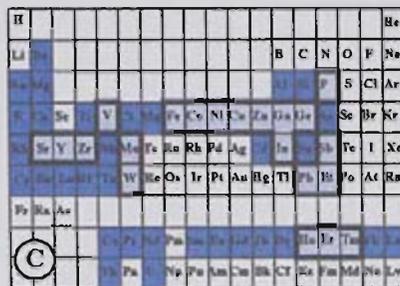
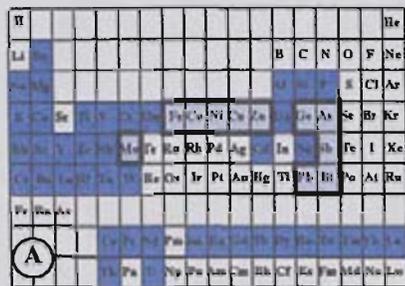


Figure 3
Trécélien - Composition moyenne des scories
Comparaison avec l'expérimentation 2002



A: Expérimentation 2002

N = moyenne des scories/moyenne du minerai cru

B, C & D: Trécélien

B: N = moyenne des scories/moyenne du minerai grillé

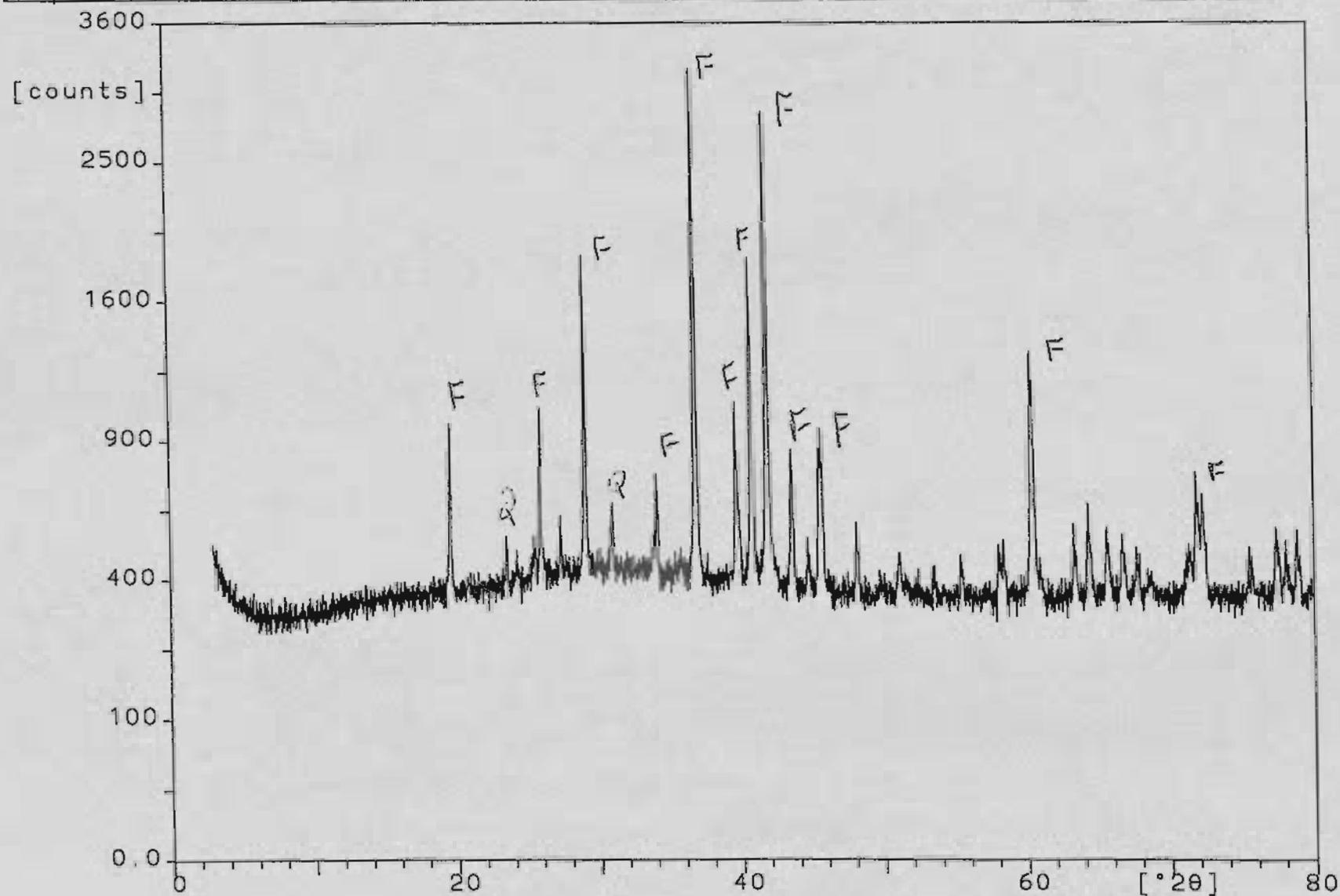
C: N = moyenne des scories/moyenne des minerais ordoviciens de Bretagne centrale

D: N = moyenne des scories/moyenne des minerais superficiels de Bretagne centrale

Figure 6
Répartitions des valeurs de N

Sample identification: JBV147

15-Jan-2004 16:58

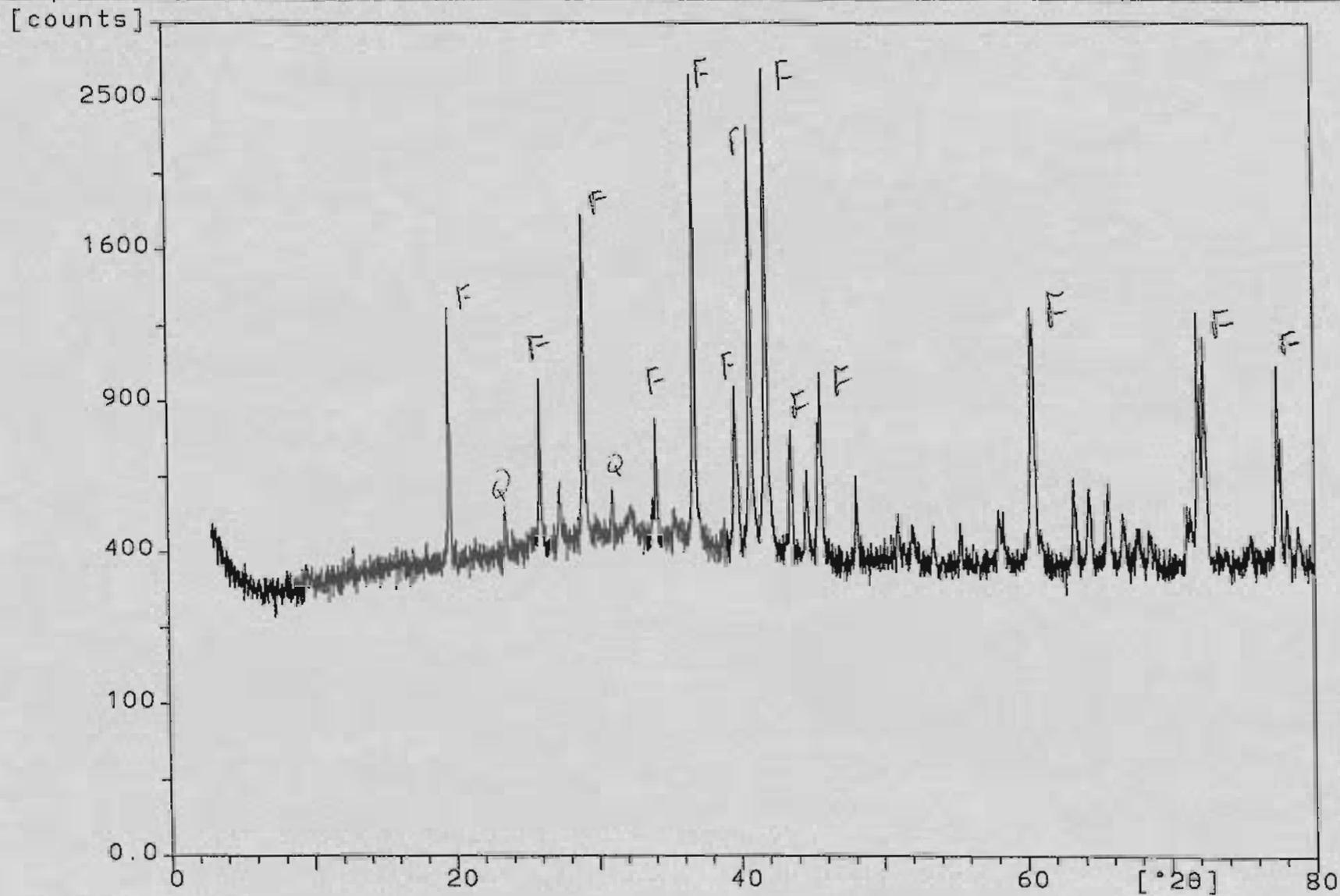


JBV147.RD

Fig. 7

Sample identification: JBV148

15-Jan-2004 16:59



JBV148.RD

Fig 8