

PALEOSIDERURGIE DIACHRONIQUE DU MASSIF DE
PAIMPONT (35)

LE VERT PIGNON III : DECOUVERTE DE FOURS
METALLURGIQUES EN ACTIVITE AUTOUR DU XV^e SIECLE.

2004



Responsable d'opération : Jean-Bernard VIVET

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

SIVU " Forges et métallurgie en Brocéliande "
Paimpont – Plélan-le-Grand

2046a

OPERATION DE PROSPECTION THÉMATIQUE

—
2004
—

PALEOSIDERURGIE DIACHRONIQUE DU MASSIF DE
PAIMPONT (35)

LE VERT PIGNON III : DECOUVERTE DE FOURS
METALLURGIQUES EN ACTIVITE AUTOUR DU XV^e SIECLE.

Responsable d'opération : Jean-Bernard VIVET

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

SIVU " Forges et métallurgie en Brocéliande "
Paimpont – Plélan-le-Grand

En tout premier lieu, je remercie le Ministère de la Culture, représenté par le Service Régional de l'Archéologie, pour son soutien et pour le financement de cette opération archéologique de prospection thématique, intéressant la métallurgie antique et ancienne de la Haute-Bretagne.

De même, je suis reconnaissant au S.I.V.U. "Forges et métallurgie en Brocéliande", de l'intérêt porté aux opérations de sondage archéologique du territoire de Paimpont et Plélan-le-Grand, et de son aide financière précieuse, pour la restauration des fouilleurs, la location du matériel de mesures, ainsi que pour les datations C14. Merci à l'association 'Histoire, Patrimoine et Métallurgie en Brocéliande', d'avoir bien voulu assurer le relais des crédits.

Je tiens à remercier vivement Messieurs Alain LE GUALÈS, Olivier GUERIN et Vital BOSCHERIE, propriétaires des parcelles sur lesquelles se déroulaient les opérations de sondage, pour leur aimable autorisation, ainsi que Monsieur Jean-Marc BOUSSAIS, garde forestier, et Monsieur Jean-Christophe PORTEMONT, exploitant, pour leur accueil et les modalités pratiques de mise en œuvre.

Je remercie sincèrement Monsieur BRICON, Maire de Paimpont, le conseil municipal et le personnel de la mairie, pour son concours actif aux opérations, qui concernent partiellement des terrains communaux, tant au niveau de l'aide aux terrassements que de l'accès à la cantine municipale. De même, je félicite Monsieur THOMAS et toute l'équipe du Foyer Logement Résidence Brocéliande, pour la qualité des repas, et l'accueil qui nous est 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 :

Virginie ALLAIN
Mathilde ANDRE
Lalla AYACHE
Xavier BACHETER
Jean BOUCARD
Lisa CALISTE
Matthieu CHARLES
Jean-Pierre COLLIN
Elsa-Frédérique DEHIER
Héloïse DORANLO
Camille GANDONNIERE ?
Nicolas GIRAULT
Catherine HENRY
Jacqueline LAPERAS
Guy LARCHER
Marie-José LE GARREC

Aurore LEJOSNE
Quentin LEMOULAND
Michaël LEROUX
Fabien LESGUER
Mylène MALATESTA
Raphaël MONTOLIN
Pierre-Emilien MOUSSARD
Pierre-Eric MOUSSARD
Alexandra NESPOULOUS PHALIPPOU
Jean-Charles OILLIC
Simon PELLEQUER
Virginie PENQUERC'H
Christian RAGUIN
Philippe ROBERT
Olivier ROUX

Merci en particulier à Guy LARCHER, pour son investissement permanent et sa collaboration active à toutes les opérations, à Marie-José LE GARREC et Louis MARTEL, de l'IUT de Génie Civil de Rennes, pour les multiples travaux de relevés topographiques, à Maurice GAUTHIER pour les clichés aériens, à Jacqueline LAPERAS pour le lavage de la céramique, et à Nicolas GIRAULT pour son concours aux travaux de post-fouille (dessins en particulier).

On doit la bonne réalisation des travaux de prospection géophysique au soutien technique du département de Géosciences à l'université de Rennes I, en la personne de Florence NICOLLIN, et aux qualités de ténacité dans la mise en œuvre des mesures réalisées par Virginie PENQUERC'H, Xavier BACHETER, et Constance DE PONCHARA, étudiants en maîtrise dans cette unité. Merci à Monsieur René RUAULT, de la société ABEM, pour son aimable concours dans ces opérations.

Enfin, je remercie le Centre Régional d'Archéologie d'Alet (Ce.R.A.A., St Malo), pour son soutien logistique efficace et indispensable, qui a permis à l'opération de se réaliser dans de bonnes conditions.

SOMMAIRE

I. DATATIONS RADIOCARBONE	p. 4
1. Nature et objet des analyses C14	
2. Lotissement de Brocéliande / Roi Arthur	
3. Les Plaintes (ruisseau des Plaintes) – secteur du Cannée.	
4. Le Bas Chesnais II – secteur de Trélat, commune de TADEN (22)	
5. Diamètres internes des bas fourneaux en Bretagne - synthèse diachronique	
II. LA CROIX DU HOUX – BOURG DE PAIMPONT	P. 8
1. Découverte, nature du site et problématique	
2. Opérations de prospection géophysique et sondages.	
III. TRECELIEN EN PAIMPONT	p. 14
1. Travaux antérieurs – problématique.	
2. Mesures Géophysiques	
3. Sondages archéologiques	
4. Conclusion	
IV. LE VERT PIGNON II – TELHOUËT EN PAIMPONT	p. 20
V. LE VERT PIGNON III EN PAIMPONT	p. 22
1. Problématique	
2. Présentation du site	
3. Prospection géophysique	
4. Sondages	
VI. CONCLUSION GENERALE – PERSPECTIVES	p. 37
BIBLIOGRAPHIE ET ANNEXES	

I. DATATIONS RADIOCARBONE ET DIAMETRES DES BAS FOURNEAUX

1. NATURE ET OBJET DES ANALYSES C14

Des analyses radiocarbone ont été menées sur des charbons de bois retenus prisonniers à l'intérieur de scories de fond de four. Elles portent sur deux échantillons du massif de Paimpont, prélevés sur les lieux dits ' Lotissement de Brocéliande / Roi Arthur ' et ' Les Plaintes ' (commune de PAIMPONT) et sur un échantillon provenant du bassin de Rance, au nord de Dinan, au lieu-dit 'Le Bas Chesnais' (commune de TADEN). Le rapport d'analyse détaillé, fournissant les résultats bruts, réalisé par la société BETA ANALYTIC INC. (Miami, Floride, U.S.A.) est reporté en fin de chapitre.

Les travaux d'analyse radiocarbone, ont continué à porter, en 2004, sur une série de scories de fond de four circulaires livrés par la prospection, en vue de tenter de corréler, dans la région, la chronologie (premier Age du Fer - période gallo-romaine, voire au delà) au diamètre interne des appareils de réduction. Sans constituer en soi un critère de datation absolu, cette grandeur physique tangible est susceptible de constituer un des éléments essentiels, participant à la détermination typo-chronologique des sites paléosidéurgiques.

La description qui suit a servi de base à l'un des chapitres du travail de synthèse portant sur la sidérurgie armoricaine de l'Age du Fer, exposé au colloque de l'A.F.E.A.F. de Toulouse en mai 2004 (Vivet, 2005).

2. LOTISSEMENT DE BROCELIANDE / ROI ARTHUR

La découverte fortuite de fonds de four de petites dimensions lors des travaux de terrassement et de construction du lotissement de Brocéliande / Arthur, nous a amené à collecter un maximum d'éléments afin de renseigner ces témoins d'une métallurgie, qui semblait plus modeste que celle rencontrée jusque là, et qui pouvait apparaître de ce fait plus précoce.

Ce sont en tout une quinzaine de fonds de four qui ont été recensés (Pl.1). Ils sont accompagnés seulement de quelques fragments de paroi de four, et de scories piégées en coulures en quantité peu élevée.

La forme de certains exemplaires indique l'existence d'une fosse réceptacle permettant à la scorie de s'écouler sous la zone la plus chaude, évitant ainsi l'obstruction des orifices de ventilation. Le secteur où sont installés ces



Photo n°1 : Terrassements sur le lotissement de Brocéliande / Arthur – sédiment ferrugineux ayant livré les scories piégées.

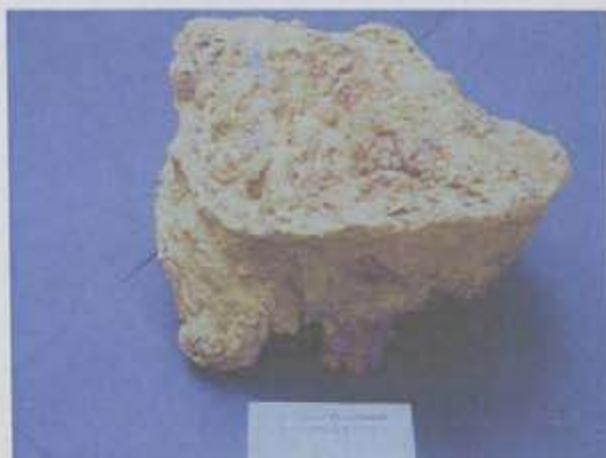


Photo n°2 : scorie de fond de four piégée N°1



Photo n°3 : scorie de fond de four piégée N° 2



Photo n°4 : scorie de fond de four piégée N°3



Photo n°5 : scorie de fond de four piégée N°9



Photo n°2 : scorie de fond de four piégée N°14



Photo n°7 e 8 : Les Plantes en PAIMPONT (35) – scorie de fond de four piégée – datation C14



Photo n° 9 et 10 : Le Bas Chesnais II en TADEN (22) scorie de fond de four piégée – datation C14 – vue de profil (jalon de 1 m) et vue du dessous.

PLANCHE 2



5. DIAMETRES INTERNES DES BAS FOURNEAUX EN BRETAGNE - SYNTHESE DIACHRONIQUE

Les fourneaux observés jusqu'ici sont tous circulaires ou pseudo-circulaires. Dans l'évolution des procédés, le diamètre interne des fours, en tant que variable technique conditionnant très fortement la conduite des appareils (l'expérimentation archéologique le montre), constitue un élément de caractérisation important des sites paléosidéurgiques (fig. 1). Les fours les plus anciens (Remardières, Plaintes, lotissement Arthur/Brocéliande) sont manifestement de plus petite taille, et leur forme n'est qu'approximativement circulaire. Ainsi, sur quinze exemplaires pouvant être attribués au premier âge du Fer (voire au tout début de La Tène ancienne), treize présentent un diamètre compris entre 26 et 42 cm, un élément est voisin de 53 cm, le dernier exemplaire n'est pas déterminé, mais ne peut être inférieur à 35 cm. Ces dimensions rappellent, également pour les périodes les plus précoces, celles des fours en fosse et à utilisation unique, mis au jour dans les fouilles préventives de l'A28 près du Mans, sur le site 'les Barres' en Bazoge (Dunikowski et Cabboï, 2001). Avec les sites du Bas Chesnais, et de la Ville Pierre II, on observe une brusque croissance de ces dimensions, qui s'élèvent respectivement à 71 et 80 cm de diamètre, dès les premières phases de La Tène ancienne. Le site du Bas Lannouée, livre une valeur proche, et même un peu plus élevée (84 cm), à la même époque ou à la fin de cette période. Les bas fourneaux du Rocher Abraham et de l'étang du Perray, intéressant essentiellement La Tène Moyenne, voient croître encore la taille des appareils, qui atteignent respectivement 97 et 125 cm, ce qui est considérable. On peut supposer que l'obtention et le maintien d'une température élevée, répartie de façon homogène dans ce type de structure, n'est pas chose aisée. Avec le site de Kermoisan, à la fin de l'indépendance et 1^{er} siècle ap. J.-C., ces dimensions conservent des valeurs élevées (80 cm à environ 1,10 m). Elles fléchissent ensuite très nettement pour les fours à scorie piégée datés de la période gallo-romaine, reconnus sur les sites de La Ville d'Ahaut (73 cm) et de Couesdan (deux occurrences de l'ordre de 45-50 cm et un élément à 75-80 cm). On notera enfin une évolution technique majeure du four gallo-romain à écoulement de Pilleverte II en Plesder, qui voit son diamètre interne, proche de 1,40 m à l'origine, être volontairement réduit à 70 cm, à l'aide d'une série de pierres verticales, au cours d'un second stade d'utilisation (II-III^{ème} s. ap. J.-C.).

SITE	COMMUNE	Dép.	RESPONSABLE	DIAMETRE	ENTITE	DATATION
			D'OPERATION	INTERNE	MESUREE / DATEE (*)	CALIBREE
Les Remardières	ST-PIERRE-DE-PLESGUEN	35	J.-B. VIVET	36 cm min.	scorie de fond de four *	- 786 à - 403 av. JC
Les Plaintes	PAIMPONT	35	J.-B. VIVET	39 cm	scorie de fond de four *	- 760 à - 700 av. JC et - 640 à 390 av. JC
Lotissement Brocéliande/Arthur	PAIMPONT	35	J.-B. VIVET	26 à 42 cm 63 cm	12 scories (1 datation *) 1 scorie	- 770 à - 410 av. JC
Le Bas Chesnais III	TADEN	22	J.-B. VIVET	71 cm	scorie de fond de four *	- 620 à - 390 av. JC
La Ville Pierre II	QUEVERT	22	J.-B. VIVET	80 cm	bas fourneau F1	- 603 à - 391 av. JC
La Ville Pierre II	QUEVERT	22	J.-B. VIVET	80 cm	bas fourneau F2 *	- 603 à - 391 av. JC
Le Bas Lannouée	YVIGNAC	22	J.-B. VIVET	84 cm	scories de fond de four *	- 402 à - 208 av. JC
Etang du Perray	PLELAN-LE-GRAND	35	G. LARCHET	125 cm	fossé latéral F3 *	- 358 à - 114 av. JC
Le Rocher Abraham	ST-PIERRE-DE-PLESGUEN	35	J.-B. VIVET	91cm	bas fourneau F1 *	- 349 à - 66 av. JC
Le Rocher Abraham	ST-PIERRE-DE-PLESGUEN	35	J.-B. VIVET	97cm	bas fourneau F2	- 349 à - 66 av. JC
Kermoisan	QUIMPER	29	J.-C. LE BIHAN	95 cm	structure a	- 210 à - 30 av. JC fin de l'indépendance
Kermoisan	QUIMPER	29	J.-C. LE BIHAN	80 cm	structure d	- 210 à - 30 av. JC fin de l'indépendance
Kermoisan	QUIMPER	29	J.-C. LE BIHAN	110 cm ?	structure g	- 210 à - 30 av. JC fin de l'indépendance
La Ville d'Ahaut	MEILLAC	35	J.-B. VIVET	73 cm	scorie de fond de four *	- 35 à 323 av./ap. JC
Couesdan	PLELAN-LE-GRAND	35	G. LARCHET	76 x 80 cm	bas fourneau S1, ovale *	127 à 370 ap. JC
Couesdan	PLELAN-LE-GRAND	35	G. LARCHET	47 x 63 cm	bas fourneau S3, ovale	127 à 370 ap. JC
Couesdan	PLELAN-LE-GRAND	35	G. LARCHET	46 cm	bas fourneau S4, circulaire	127 à 370 ap. JC
Pilleverte II	PLESDER	35	J.-B. VIVET	130 cm puis 70 cm	bas fourneau circulaire *, puis en fer à cheval	II - III e siècle ap. JC
La Fossardais	LA DOMINELAIS	35	J.-P. BARDEL	96 cm à 100 cm	bas fourneau *	à partir de la période gallo-romaine

Fig.1 : Diamètre interne des bas fourneaux armoricains

**BETA ANALYTIC INC.**

DR. M.A. TAMERS and MR. D.G. HOOD

UNIVERSITY BRANCH
4985 S.W. 74 COURT
MIAMI, FLORIDA, USA 33155
PH: 305/667-5167 FAX: 305/663-0964
E-MAIL: beta@radiocarbon.com**REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES**

Mr. Jean-Bernard Vivet

Report Date: 12/2/2003

Material Received: 10/29/2003

Sample Data	Measured Radiocarbon Age	¹³ C/ ¹² C Ratio	Conventional Radiocarbon Age(*)
Beta - 184831 SAMPLE : JBV1PMPLTBRO ANALYSIS : Radiometric-Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (charred material): acid/alkali/acid 2 SIGMA CALIBRATION : Cal BC 790 to 400 (Cal BP 2740 to 2350)	2470 +/- 60 BP	-25.5 o/oo	2460 +/- 60 BP
Beta - 184832 SAMPLE : JBV2PMPLSPLA ANALYSIS : Radiometric-Standard delivery (with extended counting) MATERIAL/PRETREATMENT : (charred material): acid/alkali/acid 2 SIGMA CALIBRATION : Cal BC 780 to 360 (Cal BP 2730 to 2310) AND Cal BC 280 to 240 (Cal BP 2230 to 2190)	2400 +/- 80 BP	-25.6 o/oo	2390 +/- 80 BP
Beta - 184833 SAMPLE : JBV3TDNBSCH ANALYSIS : Radiometric-Standard delivery (with extended counting) MATERIAL/PRETREATMENT : (charred material): acid/alkali/acid 2 SIGMA CALIBRATION : Cal BC 770 to 360 (Cal BP 2720 to 2310) AND Cal BC 280 to 240 (Cal BP 2230 to 2190)	2370 +/- 70 BP	-24.9 o/oo	2370 +/- 70 BP

Dates are reported as RCYBP (radiocarbon years before present, "present" = 1950A.D.). By International convention, the modern reference standard was 95% of the C14 content of the National Bureau of Standards' Oxalic Acid & calculated using the Libby C14 half life (5568 years). Quoted errors represent 1 standard deviation statistics (68% probability) & are based on combined measurements of the sample, background, and modern reference standards.

Measured C13/C12 ratios were calculated relative to the PDB-1 International standard and the RCYBP ages were normalized to -25 per mil. If the ratio and age are accompanied by an (*), then the C13/C12 value was estimated, based on values typical of the material type. The quoted results are NOT calibrated to calendar years. Calibration to calendar years should be calculated using the Conventional C14 age.

CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-25.6:lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-184832

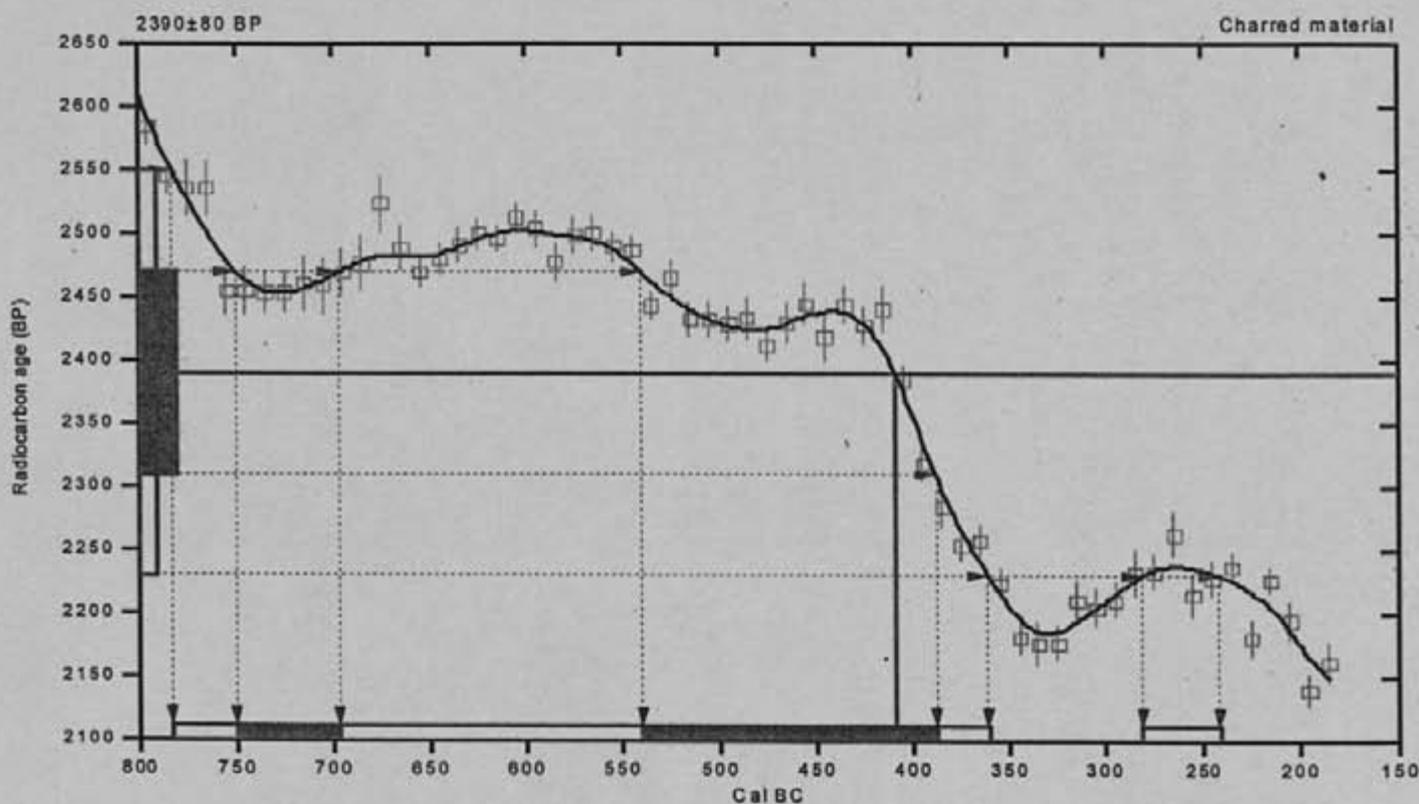
Conventional radiocarbon age: 2390±80 BP

2 Sigma calibrated results: Cal BC 780 to 360 (Cal BP 2730 to 2310) and
(95% probability) Cal BC 280 to 240 (Cal BP 2230 to 2190)

Intercept data

Intercept of radiocarbon age
with calibration curve: Cal BC 410 (Cal BP 2360)

1 Sigma calibrated results: Cal BC 750 to 700 (Cal BP 2700 to 2650) and
(68% probability) Cal BC 540 to 390 (Cal BP 2490 to 2340)



References:

Database used

Calibration Database

Editorial Comment

Stuiver, M., van der Plicht, H., 1998, Radiocarbon 40(3), p. xii-xiii

INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration

Stuiver, M., et al., 1998, Radiocarbon 40(3), p. 1041-1083

Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2), p. 317-322

Beta Analytic Inc.

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

CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-25.5:lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-184831

Conventional radiocarbon age: 2460±60 BP

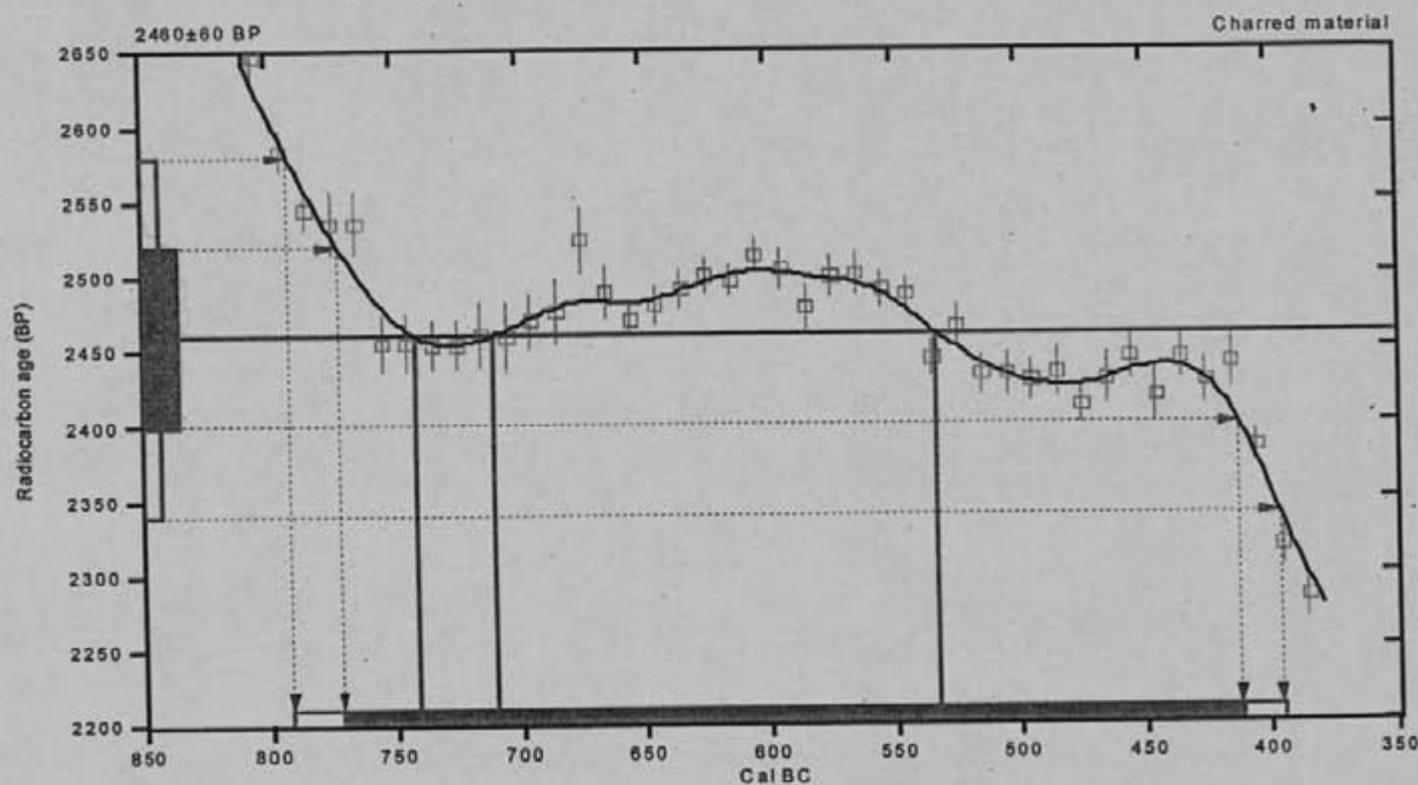
2 Sigma calibrated result: Cal BC 790 to 400 (Cal BP 2740 to 2350)
(95% probability)

Intercept data

Intercepts of radiocarbon age
with calibration curve:

Cal BC 740 (Cal BP 2690) and
Cal BC 710 (Cal BP 2660) and
Cal BC 530 (Cal BP 2480)

1 Sigma calibrated result: Cal BC 770 to 410 (Cal BP 2720 to 2360)
(68% probability)



References:

Database used

Calibration Database

Editorial Comment

Stuiver, M., van der Plicht, H., 1998, Radiocarbon 40(3), pxi-xiii

INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration

Stuiver, M., et. al., 1998, Radiocarbon 40(3), p1041-1083

Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

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

Beta Analytic Inc.

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

CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-24.9:lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-184833

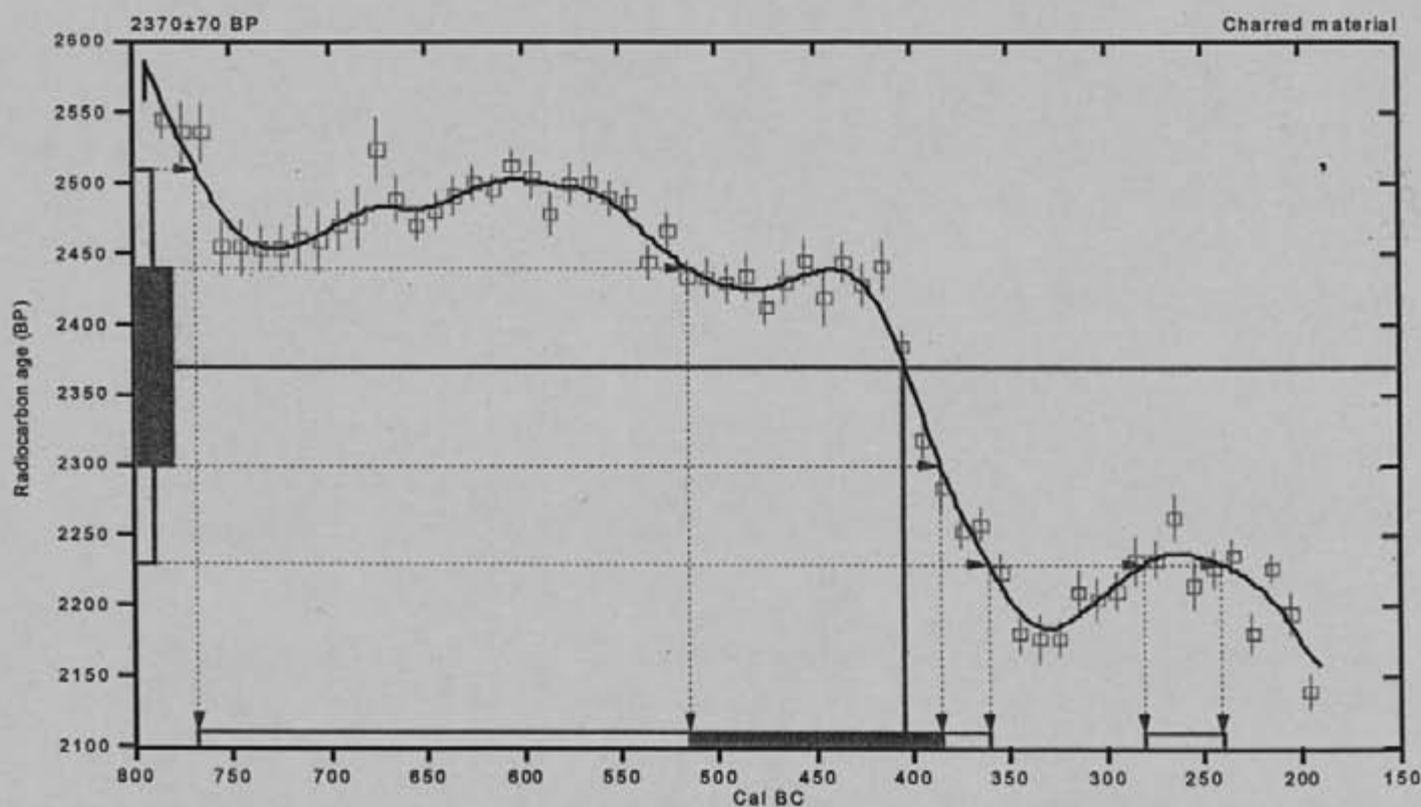
Conventional radiocarbon age: 2370±70 BP

2 Sigma calibrated results: Cal BC 770 to 360 (Cal BP 2720 to 2310) and
(95% probability) Cal BC 280 to 240 (Cal BP 2230 to 2190)

Intercept data

Intercept of radiocarbon age
with calibration curve: Cal BC 400 (Cal BP 2350)

1 Sigma calibrated result: Cal BC 520 to 390 (Cal BP 2460 to 2340)
(68% probability)



References:

Database used

Calibration Database

Editorial Comment

Stuiver, M., van der Plicht, H., 1998, *Radiocarbon* 40(3), pxi-xiii

INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration

Stuiver, M., et al., 1998, *Radiocarbon* 40(3), p1041-1083

Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

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

Beta Analytic Inc.

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



Consistent Accuracy
Delivered On Time.

Beta Analytic Inc.

4985 SW 74 Court
Miami, Florida 33155 USA
Tel: 305 667 5167
Fax: 305 663 0964
beta@radiocarbon.com
www.radiocarbon.com

MR. DARDEN HOOD
Director

Mr. Ronald Hatfield
Mr. Christopher Patrick
Deputy Directors

December 2, 2003

Mr. Jean-Bernard Vivet
Les Portes
Saint Suliac F-35430
France

RE: Radiocarbon Dating Results For Samples JBV1PMPLTBRO, JBV2PMPLSPLA,
JBV3TDNBSCHE

Dear Mr. Vivet:

Enclosed are the radiocarbon dating results for three samples recently sent to us. They each provided plenty of carbon for accurate measurements and all the analyses went normally. The report sheet also contains the method used, material type, applied pretreatments and, where applicable, the two sigma calendar calibration range.

As always, this report has been both mailed and sent electronically. All results (excluding some inappropriate material types) which are less than about 20,000 years BP and more than about ~250 BP include this calendar calibration page (also digitally available in Windows metafile (wmf) format upon request). The calibrations are calculated using the newest (1998) calibration database with references quoted on the bottom of each page. Multiple probability ranges may appear in some cases, due to short term variations in the atmospheric ¹⁴C contents at certain time periods. Examining the calibration graphs will help you understand this phenomenon. Don't hesitate to contact us if you have questions about calibration.

We analyzed these samples on a sole priority basis. No students or intern researchers who would necessarily be distracted with other obligations and priorities were used in the analyses. We analyzed them with the combined attention of our entire professional staff.

Information pages are also enclosed with the mailed copy of this report. If you have any specific questions about the analyses, please do not hesitate to contact us.

The cost of the analysis was charged to your MASTERCARD card. A receipt is enclosed. Thank you. As always, if you have any questions or would like to discuss the results, don't hesitate to contact me.

Sincerely,



Consistent Accuracy ...
Delivered On Time.

Beta Analytic Inc.
4985 SW 74 Court
Miami, Florida 33155 USA
Tel: 305 667 5167
Fax: 305 663 0964
Beta@radiocarbon.com
www.radiocarbon.com

Dr. MURRY A. TAMERS
Mr. DARDEN G. HOOD
Directors

Mr. RONALD E. HATFIELD
Mr. CHRISTOPHER L. PATRICK
Deputy Directors

ANALYTICAL PROCEDURES AND FINAL REPORT

Final Report

The final report package includes the final date report, a statement outlining our analytical procedures, a glossary of pretreatment terms, calendar calibration information, billing documents (containing balance/credit information and the number of samples submitted within the yearly discount period), and peripheral items to use with future submittals. The final report includes the individual analysis method, the delivery basis, the material type and the individual pretreatments applied. The final report will be sent by mail, fax or e-mail, where available.

Pretreatment

Pretreatment methods are reported along with each result. All necessary chemical and mechanical pretreatments of the submitted material are applied at the laboratory to isolate ^{14}C which may best represent the time event of interest. When interpreting the results, it is important to consider the pretreatments. Some samples cannot be fully pretreated, making their ^{14}C ages more subjective than samples which can be fully pretreated. Some materials receive no pretreatments. Please read the pretreatment glossary.

Analysis

Materials measured by the radiometric technique are analyzed by synthesizing sample carbon to benzene (92% C), measuring for ^{14}C content in a scintillation spectrometer, and then calculating for radiocarbon age. If the Extended Counting Service is used, the ^{14}C content is measured for a greatly extended period of time. AMS results are derived from reduction of sample carbon to graphite (100 %C), along with standards and backgrounds. The graphite is then detected for ^{14}C content in an accelerator-mass-spectrometer (AMS) located at one of 9 collaborating research facilities, who return the raw data to us for verification, isotopic fractionation correction, calculation calendar calibration, and reporting.

The Radiocarbon Age and Calendar Calibration

The "Conventional ^{14}C Age (*)" is the result after applying $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ corrections to the measured age and is the most appropriate radiocarbon age (the "*" is discussed at the bottom of the final report). Applicable calendar calibrations are included for materials 0 and about 20,000 BP. If certain calibrations are not included with a report, the results were either too young, too old, or inappropriate for calibration.

PRETREATMENT GLOSSARY

Pretreatment of submitted materials is required to eliminate secondary carbon components. These components, if not eliminated, could result in a radiocarbon date which is too young or too old. Pretreatment does not ensure that the radiocarbon date will represent the time event of interest. This is determined by the sample integrity. The old wood effect, burned intrusive roots, bioturbation, secondary deposition, secondary biogenic activity incorporating recent carbon (bacteria) and the analysis of multiple components of differing age are just some examples of potential problems. The pretreatment philosophy is to reduce the sample to a single component, where possible, to minimize the added subjectivity associated with these types of problems.

"acid/alkali/acid"

The sample was first gently crushed/dispersed in deionized water. It was then given hot HCl acid washes to eliminate carbonates and alkali washes (NaOH) to remove secondary organic acids. The alkali washes were followed by a final acid rinse to neutralize the solution prior to drying. Chemical concentrations, temperatures, exposure times, and number of repetitions, were applied accordingly with the uniqueness of the sample. Each chemical solution was neutralized prior to application of the next. During these serial rinses, mechanical contaminants such as associated sediments and rootlets were eliminated. This type of pretreatment is considered a "full pretreatment". On occasion the report will list the pretreatment as "acid/alkali/acid - insolubles" to specify which fraction of the sample was analyzed. This is done on occasion with sediments (See "acid/alkali/acid - solubles")

Typically applied to: charcoal, wood, some peats, some sediments, textiles

"acid/alkali/acid - solubles"

On occasion the alkali soluble fraction will be analyzed. This is a special case where soil conditions imply that the soluble fraction will provide a more accurate date. It is also used on some occasions to verify the present/absence or degree of contamination present from secondary organic acids. The sample was first pretreated with acid to remove any carbonates and to weaken organic bonds. After the alkali washes (as discussed above) are used, the solution containing the alkali soluble fraction is isolated/filtered and combined with acid. The soluble fraction which precipitates is rinsed and dried prior to combustion.

"acid washes"

Surface area was increased as much as possible. Solid chunks were crushed, fibrous materials were shredded, and sediments were dispersed. Acid (HCl) was applied repeatedly to ensure the absence of carbonates. Chemical concentrations, temperatures, exposure times, and number of repetitions, were applied accordingly with the uniqueness of each sample. The sample, for a number of reasons, could not be subjected to alkali washes to ensure the absence of secondary organic acids. The most common reason is that the primary carbon is soluble in the alkali. Dating results reflect the total organic content of the analyzed material. Their accuracy depends on the researcher's ability to subjectively eliminate potential contaminants based on contextual facts.

Typically applied to: organic sediments, some peats, small wood or charcoal, special cases

"collagen extraction"

The material was first tested for friability ("softness"). Very soft bone material is an indication of the potential absence of the collagen fraction (basal bone protein acting as a "reinforcing agent" within the crystalline apatite structure). It was then washed in de-ionized water and gently crushed. Dilute, cold HCl acid was repeatedly applied and replenished until the mineral fraction (bone apatite) was eliminated. The collagen was then dissected and inspected for rootlets. Any rootlets present were also removed when replenishing the acid solutions. Where possible, usually dependant on the amount of collagen available, alkali (NaOH) was also applied to ensure the absence of secondary organic acids.

Typically applied to: bones

"acid etch"

The calcareous material was first washed in de-ionized water, removing associated organic sediments and debris (where present). The material was then crushed/dispersed and repeatedly subjected to HCl etches to eliminate secondary carbonate components. In the case of thick shells, the surfaces were physically abraded prior to etching down to a hard, primary core remained. In the case of porous carbonate nodules and caliche, very long exposure times were applied to allow infiltration of the acid. Acid exposure times, concentrations, and number of repetitions, were applied accordingly with the uniqueness of the sample.

Typically applied to: shells, caliche, calcareous nodules

"neutralized"

Carbonates precipitated from ground water are usually submitted in an alkaline condition (ammonium hydroxide or sodium hydroxide solution). Typically this solution is neutralized in the original sample container, using deionized water. If larger volume dilution was required, the precipitate and solution were transferred to a sealed separatory flask and rinsed to neutrality. Exposure to atmosphere was minimal.

Typically applied to: Strontium carbonate, Barium carbonate (i.e. precipitated ground water samples)

"none"

No laboratory pretreatments were applied. Special requests and pre-laboratory pretreatment usually accounts for this.

"acid/alkali/acid/cellulose extraction"

Following full acid/alkali/acid pretreatments, the sample is rinsed in NaClO₂ under very controlled conditions (Ph = 3, temperature = 70 degrees C). This eliminates all components except wood cellulose. It is useful for woods which are either very old or highly contaminated.

Applied to: wood

"carbonate precipitation"

Dissolved carbon dioxide and carbonate species are precipitated from submitted water by complexing them as ammonium carbonate. Strontium chloride is added to the ammonium carbonate solution and strontium carbonate is precipitated for the analysis. The result is representative of the dissolved inorganic carbon within the water. Results are reported as "water DIC".

Applied to: water

BETA ANALYTIC INC.
RADIOCARBON DATING LABORATORY
CALIBRATED C-14 DATING RESULTS

Calibrations of radiocarbon age determinations are applied to convert BP results to calendar years. The short term difference between the two is caused by fluctuations in the heliomagnetic modulation of the galactic cosmic radiation and, recently, large scale burning of fossil fuels and nuclear devices testing. Geomagnetic variations are the probable cause of longer term differences.

The parameters used for the corrections have been obtained through precise analyses of hundreds of samples taken from known-age tree rings of oak, sequoia, and fir up to about 10,000 BP. Calibration using tree-rings to about 12,000 BP is still being researched and provides somewhat less precise correlation. Beyond that, up to about 20,000 BP, correlation using a modeled curve determined from U/Th measurements on corals is used. This data is still highly subjective. Calibrations are provided up to about 19,000 years BP using the most recent calibration data available (Radiocarbon, Vol 40, No. 3, 1998).

The Pretoria Calibration Procedure (Radiocarbon, Vol 35, No. 1, 1993, pg 317) program has been chosen for these calendar calibrations. It uses splines through the tree-ring data as calibration curves, which eliminates a large part of the statistical scatter of the actual data points. The spline calibration allows adjustment of the average curve by a quantified closeness-of-fit parameter to the measured data points. A single spline is used for the precise correlation data available back to 9900 BP for terrestrial samples and about 6900 BP for marine samples. Beyond that, splines are taken on the error limits of the correlation curve to account for the lack of precision in the data points.

In describing our calibration curves, the solid bars represent one sigma statistics (68% probability) and the hollow bars represent two sigma statistics (95% probability). Marine carbonate samples that have been corrected for $\delta^{13}C/^{12}C$, have also been corrected for both global and local geographic reservoir effects (as published in Radiocarbon, Volume 35, Number 1, 1993) prior to the calibration. Marine carbonates that have not been corrected for $\delta^{13}C/^{12}C$ are adjusted by an assumed value of 0 ‰ in addition to the reservoir corrections.

Reservoir corrections for fresh water carbonates are usually unknown and are generally not accounted for in those calibrations. In the absence of measured $\delta^{13}C/^{12}C$ ratios, a typical value of -5 ‰ is assumed for freshwater carbonates.

(Caveat: the correlation curve for organic materials assume that the material dated was living for exactly ten years (e.g. a collection of 10 individual tree rings taken from the outer portion of a tree that was cut down to produce the sample in the feature dated). For other materials, the maximum and minimum calibrated age ranges given by the computer program are uncertain. The possibility of an "old wood effect" must also be considered, as well as the potential inclusion of younger or older material in matrix samples. Since these factors are indeterminant error in most cases, these calendar calibration results should be used only for illustrative purposes. In the case of carbonates, reservoir correction is theoretical and the local variations are real, highly variable and dependant on provenience. Since imprecision in the correlation data beyond 10,00 years is high, calibrations in this range are likely to change in the future with refinement in the correlation curve. The age ranges and especially the intercept ages generated by the program, must be considered as approximations.)

CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

Variables used in the calculation of age calibration → (Variables: est. C13/C12=-25;lab. mult=1)

Laboratory number: **Beta-123456**

The uncalibrated Conventional Radiocarbon Age (± 1 sigma)

The calendar age range in both calendar years (AD or BC) and in Radiocarbon Years (BP)

Conventional radiocarbon age¹: **2400 \pm 60 BP**

2 Sigma calibrated result: **Cal BC 770 to 380 (Cal BP 2720 to 2330)**
(95% probability)

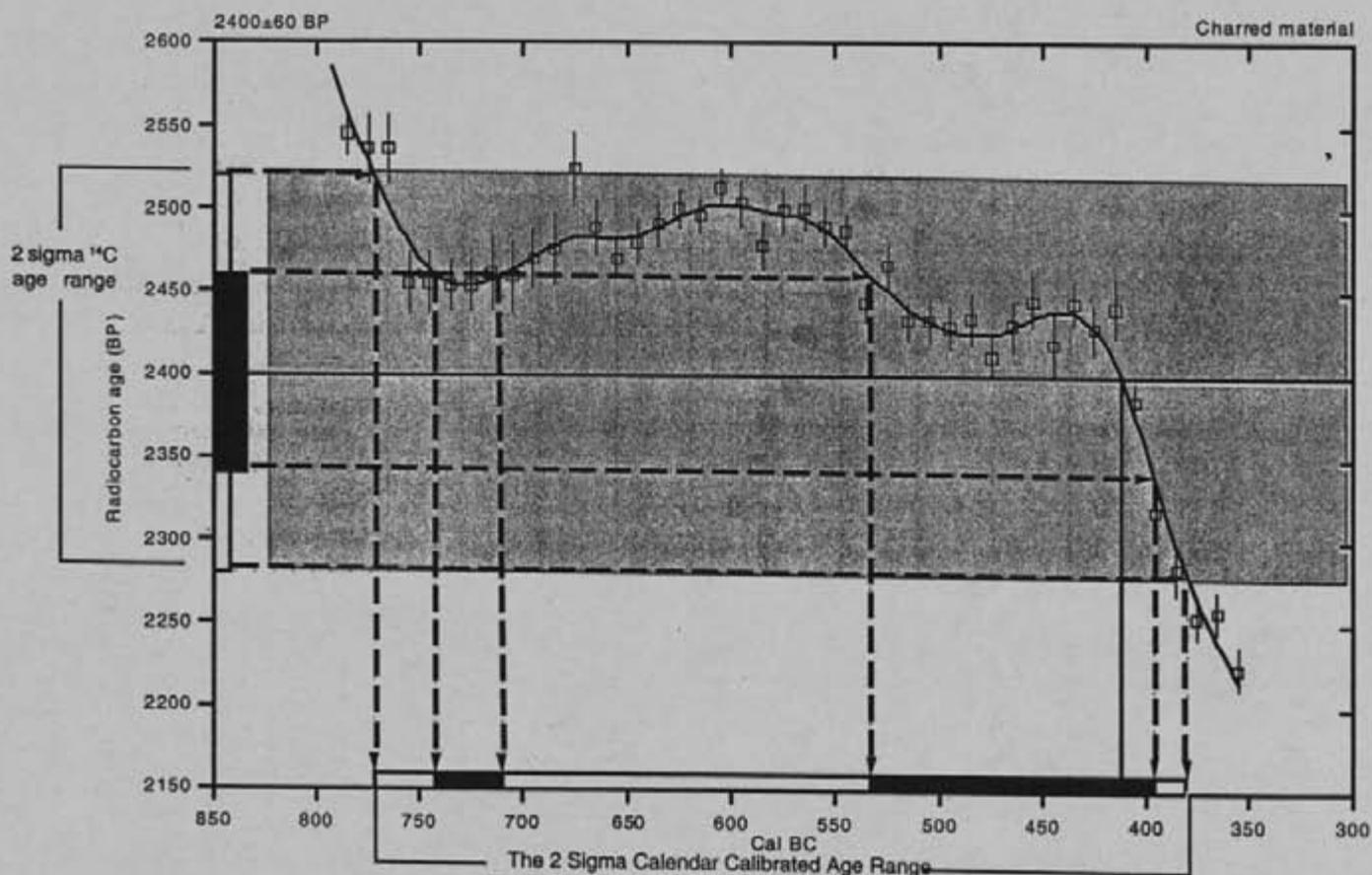
¹ C13/C12 ratio estimated

The intercept between the average radiocarbon age and the calibrated curve time scale. This value is illustrative and should not be used by itself.

Intercept data

Intercept of radiocarbon age with calibration curve: **Cal BC 410 (Cal BP 2360)**

1 Sigma calibrated result: **Cal BC 740 to 710 (Cal BP 2690 to 2660) and Cal BC 535 to 395 (Cal BP 2485 to 2345)**
(68% probability)



This range is determined by the portion of the curve that is in a "box" drawn from the 2 sigma limits on the radiocarbon age. If a section of the curve goes outside of the "box", multiple ranges will occur as shown by the two 1 sigma ranges which occur from sections going outside of a similar "box" which would be drawn at the 1 sigma limits.

References:

Database used
Intcal 98

Calibration Database

Editorial Comment

Stuiver, M., van der Plicht, H., 1998, *Radiocarbon* 40(3), pxi-xiii

INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration

Stuiver, M., et al., 1998, *Radiocarbon* 40(3), p1041-1083

Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

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

References for the calibration data and the mathematics applied to the data. These references, as well as the Conventional Radiocarbon Age and the C13/C12 ratio used should be included in your papers.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

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

II. LA CROIX DU HOUX (commune de Paimpont)

1. DECOUVERTE, NATURE DU SITE ET PROBLEMATIQUE

Le travail de prospection très suivi mené depuis près de 15 ans par l'équipe de Guy Larcher et les opérations réalisées ces trois dernières années sur la commune, dans le cadre d'une prospection thématique sur la paléoméallurgie (Jean-Bernard Vivet), attestent la richesse spectaculaire du massif de Paimpont en matière de paléosidérurgie. Les très nombreux sites (plus de 120), qui couvrent plusieurs périodes chronologiques, font de Paimpont et Plélan-le-Grand, un véritable laboratoire d'étude en ce domaine.

Les travaux de terrassement réalisés sur la parcelle 553 (zone artisanale en cours de viabilisation et développement) ont montré l'existence simultanée de scories et de tegulae sur ce secteur, sans mobilier céramique notable.

En première approche les nombreuses scories observées (plus d'une centaine), non bulleuses, très visqueuses et très fragmentées, ont été collectées plus particulièrement sur la partie est de la parcelle. On constate conjointement la présence de très nombreux charbons de bois dans la coupe du nouvel accès aménagé, ainsi que celle d'un fragment de minerai grillé.

Concernant les argiles cuites, la présence de tegulae et d'imbrices au centre et à l'ouest de cette même parcelle indique une occupation remontant au moins à l'époque gallo-romaine. Il y a lieu de noter qu'à notre connaissance, malgré l'existence de la voie gallo-romaine Corscul-Rieux traversant la commune (Pincemin, 1985 ; Duval, 1998 et 2000), dont le tracé n'est pas reconnu. L'orientation du parcellaire ancien constitue un élément d'interprétation non négligeable (fig. 2, 3, 4). Aucun élément de ce type n'a été découvert à ce jour dans l'emprise de la très grande commune de Paimpont, à l'exception quatre fragments d'une tegula trouvés l'an dernier en fouille, sous l'amas de scories A2 du ferrier de Trécélien, qui remonte à la fin du moyen Age ou au début de l'époque moderne (Vivet, 2003).

Dans l'état actuel de la question il s'avère encore difficile de déterminer quelle est la part des sites sidérurgiques du massif devant être attribuée à l'époque gallo-romaine et celle se rapportant à l'Age du Fer, exception faite de ceux ayant livré des bouchons d'argile cuite coniques, dont on a montré le rattachement, à une période essentiellement centrée sur La Tène moyenne.

Le sondage s'inscrit dans le cadre de l'opération de prospection thématique 2004 sur la paléoméallurgie du fer en Haute-Bretagne. Les indices recueillis à la Croix du Houx, s'intègrent fortement à la problématique développée, qui s'attache à trouver des critères d'identification des sites métallurgiques et à reconstituer l'évolution des techniques de travail du fer. Il s'agit donc en premier lieu de reconnaître les installations métallurgiques ayant pu subsister (foyer de grillage, bas fourneaux, foyer de forge...) dans l'emprise des quatre lots de terrain (fig. 5) de la parcelle (554 a) adjacente à celle (553) des découvertes précédemment décrites, et de

L'ABBAYE DE PAIMPONT
(d'après photo I.G.N. n°28, mission 919-1219, 1952)

C. 33



Fig.2 : Parcelleire autour de l'abbaye de Paimpont d'après photos aériennes de 1952
(Duval, 1998) ★ Lotissement Brocéliande / roi Arthur
 ★ Croix du Houx



Fig.3



Fig.4

savoir, consécutivement, si les scories observées à cet emplacement doivent être ou non reliées aux terres cuites d'origine gallo-romaine collectées (appentis, utilisation/récupération de tuiles dans la construction des structures de chauffe...).

En ce qui concerne la réduction du minerai de fer en bas fourneaux en Bretagne, on compte maintenant, ainsi qu'on a pu l'exposer précédemment, un certain nombre de jalons bien identifiés chronologiquement et techniquement, dans la période comprise entre la fin de l'Age du Fer et la fin du moyen Age. On peut citer, en Ille et Vilaine : La Fossardais en La Dominelais (fouille : Jean-Pierre Bardel), Couesdan en Plélan-le-Grand (fouille : Guy Larcher), Pilleverte II en Plesder (fouille : Jean-Bernard Vivet). On dispose par ailleurs d'une datation C14 sur une scorie de fond de four (La Ville d'Ahaut en Meillac). Ce nombre reste encore, malgré tout, insuffisant pour permettre des généralisations tout à fait sûres. Les trois derniers sites concernent au moins la période gallo-romaine, au cours de laquelle semblent coexister deux modes de fonctionnement : des fours à scorie piégée, modestes, en parallèle avec des installations plus productives, à écoulement de scories, comme celle de Plesder, qui génèrent de véritables ferriers, tels que ceux, non fouillés, recensés aussi dans le Combournais (Lanos, 1984 ; Vivet, 1997). La permanence apparente du mode très ancien de fonctionnement au côté de sites de production plus pérennes et plus structurés, renvoie à un monde rural gallo-romain à deux vitesses. Cette constatation fondamentale demande à être confirmée et complétée, et mérite largement d'être étudiée plus avant.

Les périodes qui suivent jusqu'à la fin du moyen Age sont très peu renseignées hormis les éléments carolingiens de paléosidérurgie recueillis sur une fouille de sauvetage dirigée par Stéphane Blanchet à Croix Audran en Carnac (56), et de forge, au Teilleul et à la Talvassais en Montours (Cattedu, 2002).

2. OPERATIONS DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE ET SONDAGES.

2.1 Mesures magnétiques

Pour tenter de préciser les emplacements de structures importantes, intéressant la métallurgie, il a été prévu préalablement d'établir une cartographie des anomalies magnétiques du site de la Croix du Houx, dans le cadre d'une convention passée entre l'Université de Rennes I, le Centre Régional d'Archéologie d'Alet (Ce.R.A.A.) et trois étudiants en stage de maîtrise à Géosciences (Université de Rennes I). Les sondages ont donc été ciblés principalement sur les anomalies magnétiques apparues, et sur le long du bord sud de la parcelle, au voisinage des découvertes décrites précédemment. Le décapage des zones de sondage, a été effectué au tracto-pelle à lame lisse, grâce au concours de la commune, propriétaire du terrain.

Dans un premier temps une carte des anomalies magnétiques, mesurées à l'aide d'un magnétomètre à protons, a été levée sur un rectangle très allongé, correspondant au tiers ouest de la parcelle 554 a, parallèlement au grand axe du bourg (fig. 6). L'enregistrement montre une perturbation magnétique marquée à 23 m vers l'est et 55 m vers le nord, par rapport à l'origine du graphique, qui correspond à l'angle sud-ouest de la parcelle, de plusieurs dizaines de nanotesla (nT). Pour le reste de la parcelle, les coordonnées des anomalies ont été directement utilisées.

Il y a lieu de préciser que les mesures n'ont pas pu être réalisées dans des conditions idéales. Des difficultés techniques, liées au mode d'enregistrement des données ont été rencontrées à ce moment là, obligeant à utiliser une méthode beaucoup plus fastidieuse de validation point par point, qui conduit à parcourir le terrain selon des mailles plus larges que prévues, compte tenu de la surface importante à cartographier. A cela s'ajoute, la présence dans le voisinage, de gros véhicules, équipés de machines tournantes, qui, malgré toutes les précautions prises, tendaient à perturber par moment les mesures.



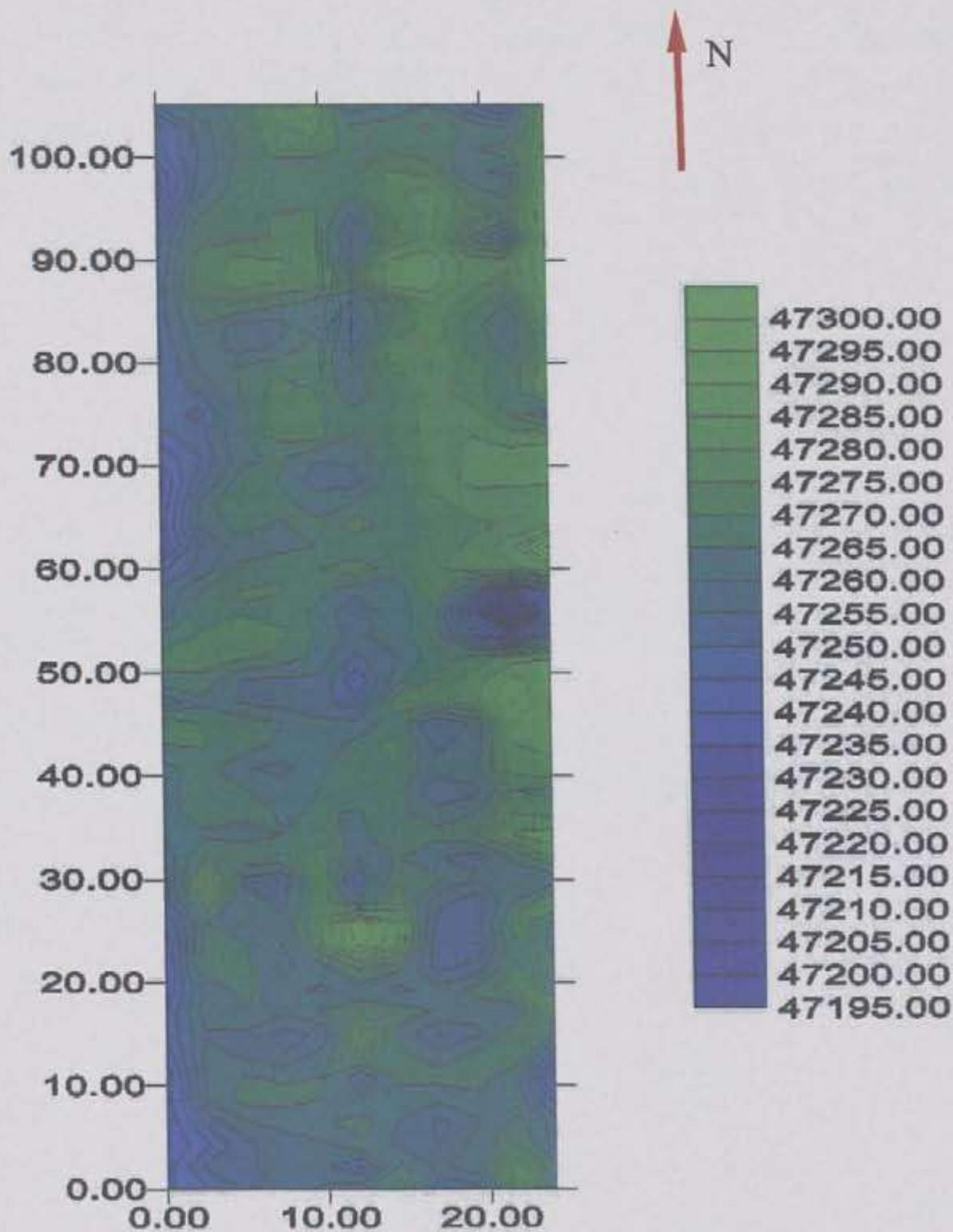
Photo n° 11 : La Croix du Houx – Bourg de Paimpont. Vue des parcelles 553- 554 et de l'implantation des sondages.



PLANCHE 3.

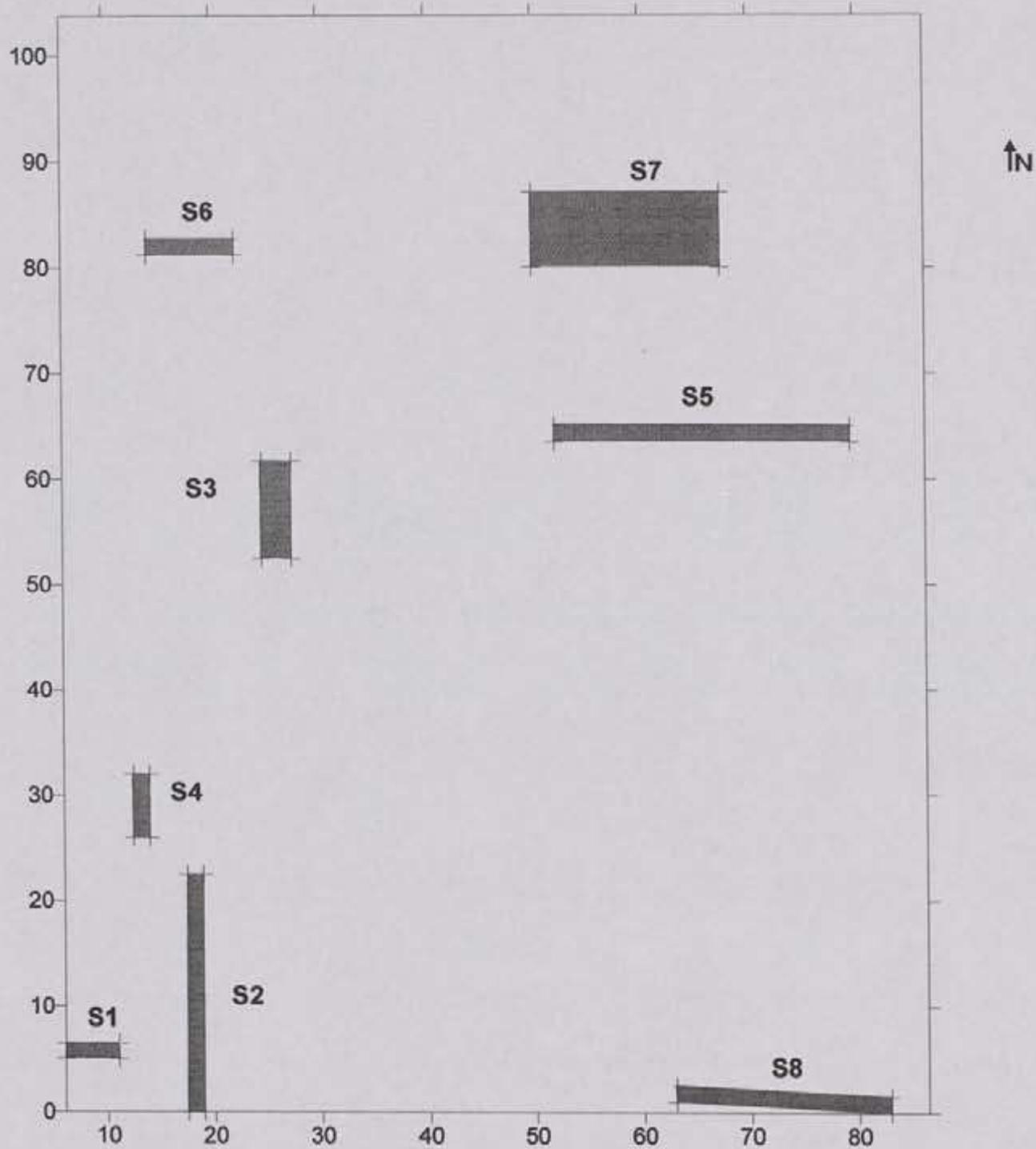
Photos n° 12,13 et 14 : structure empierrée dans sondage S3 (vues dans l'axe et vue transversale).





La Croix du Houx en Paimpont - parcelle 554 a -
 Carte des anomalies magnétiques du tiers ouest
 de la parcelle (26/06/2004)

Fig.6



La Croix du Houx - parcelle 554 a - Commune de PAIMPONT (35)

Implantation des sondages - juillet 2004 -

Fig.7

2.2 Sondage S3

C'est à cet emplacement qu'a été placé le sondage S3, de 9,20 m de long et 2,80 m de large (fig. 7). Le décapage de la couche végétale a permis de mettre au jour un empierrement longitudinal, qui a pu être observé sur une distance d'au moins 6 m (Pl.3). Sa direction générale est très voisine de l'axe nord-sud. Elle semble dévier quelque peu vers l'ouest dans la partie nord du sondage. Il est possible que cet effet soit en partie lié au fait que le dégagement manuel des pierres dans ce secteur n'a pas pu être poussé jusqu'à son terme. Les derniers décapages montrent que l'on retrouve à nouveau des pierres sous la couche d'argile dans ce secteur.

La largeur de la structure empierrée atteint 2,80 m. On observe une forte ségrégation du module des pierres entre les bords, où l'on rencontre de gros blocs de grès, et la zone centrale, constituée d'un cailloutis très serré.

Une coupe transversale à l'axe de l'empierrement a été pratiquée afin de vérifier l'épaisseur de ce blocage de pierres et reconnaître la disposition de ses premières assises. Dans l'état de restitution actuel l'empierrement ne compte pas plus de 15 cm de hauteur. On ne constate la présence d'aucune fosse de fondation, à ce niveau, ni même à niveau plus profond, ainsi qu'on a pu le constater sur un sondage plus profond réalisé à la pelle mécanique dans l'angle sud-est du sondage.

Cette disposition écarte l'hypothèse d'un mur de soutien relatif à un bâtiment. On n'observe pas non plus de retour d'angle sur la longueur, assez conséquente, dégagée. Ces éléments orientent donc l'interprétation de la structure soit vers les restes d'un mur de pierres sèches effondré, soit vers celle d'une voie empierrée. L'hypothèse d'un mur comportant un parement, dont les plus beaux éléments se seraient affaissés de manière symétrique, ne tient pas pour différentes raisons : l'éloignement et l'isolement des plus gros blocs, l'absence de fondation, et surtout l'aspect très tassé et serré des petites pierres centrales.

Cette dernière observation est par contre en bon accord avec la constitution d'une voie empierrée à peu de frais. La continuité de ce blocage de pierres de petit module, montre quelques zones nettement plus en dépressions, que l'on pourrait sans doute qualifier, dans ce contexte, d'ornières. Les plus gros modules sont, par contre écartés sur le bord de la route, ainsi qu'on le voit souvent en forêt sur des chemins anciens (comme par exemple sur le site métallurgique de Trécélien, dont il est question plus loin dans ce rapport). Dans cette acceptation, la largeur utile du chemin pourrait être voisine de 1,80 m.

Bien que modeste et ne possédant pas de couches de soutien en profondeur, la structure a livré le fer d'un animal, dans les niveaux situés à la surface de l'empierrement. Cet indice isolé serait sans doute assez faible pour valider la présence d'un cheminement, s'il ne s'était pas apparu, de façon quelque peu récurrente, dans un autre sondage (S4).

Hormis cet élément, on note seulement l'existence de cinq petites scories denses, tout à fait intégrées au cailloutis. Cette présence est, bien sûr à signaler, compte tenu de l'invention de celles qui ont conduit à mener cette opération. Il faut bien dire la difficulté qu'il y a à dater ces éléments isolés et leur omniprésence sur le territoire de la commune. Ils ne nous fournissent donc en retour aucun élément très précis de datation, si ce n'est le fait que l'empierrement ne peut être antérieur au Premier Age du Fer.

2.3 sondage S6

Non loin de là, dans le sondage S6 placé sur une petite anomalie, ont été reconnues deux petites fosses arrondies, au sédiment grisâtre, très peu profondes (15 - 20 cm), peut-être liées à des chablis. Les grandes parcelles du secteur, ainsi que l'indique des cartes postales anciennes étaient plantées de quelques rangées de pommiers (fig. 8). Seuls deux tessons peu identifiables, sans doute post-médiévaux ont été recueillis en surface d'une des fosses.

2.4 sondage S4

Une autre anomalie magnétique, quelque peu remarquable au vu du tracé, a conduit à opérer un nouveau sondage dans ce secteur. Il a abouti à la découverte à nouveau d'un empiècement très légèrement oblique par rapport à l'axe du sondage, peut-être sud-sud-ouest / nord-nord-est (Pl.4). L'observation est toutefois peu aisée du fait de la faible emprise du sondage. Il montre de même que S3, mais de façon un peu plus lacunaire, l'existence d'un niveau de cailloutis extrêmement serré, alternant avec des concentrations de pierres de faible module.

La fouille a permis de dégager un fer de petites dimensions, totalement inséré dans le niveau de pierre, en position horizontale (photo §). Trois autres éléments du même type ont également été découverts dans les niveaux en contact avec les pierres. Le nombre de ces inventions, statistiquement peu probables sur une aussi faible surface, paraissent bien devoir confirmer la fonction de chemin empièré attribuée.

Il en va de même de la cohérence des quatre fers au total découverts, qui par leur forme et leur faible dimension, orientent vers une appartenance à des animaux de traits ou bâtés, tels que de petits chevaux, ânes ou mulets par exemple. La typologie de ces fers indiquent qu'ils sont postérieurs au XIII^{ème} siècle (cf, par exemple, le 'medieval catalogue' du London Museum, 1940, p. 112 à 117). Ce mobilier particulier mériterait sans doute une étude plus détaillée.

Seul un fragment de tegula, mis au jour dans la couche végétale supérieure, mérite d'être en outre signalé. Son déplacement à partir du lieu de découvertes d'éléments plus nombreux, situé à proximité, est plus que probable.

2.5 sondages S1 et S2

Ces deux sondages, en limite de parcelle, avaient pour objet de reconnaître la zone la plus proche des découvertes des imbrices et tegulae.

Le petit sondage S1 a permis d'observer la composition du sol. Sous un niveau d'une petite quinzaine de centimètres seulement de terre végétale, on rencontre presque sans transition une couche d'argile où alternent en diverses proportions les phases limoneuses blanches et les argiles un peu plus plastiques ocre du substrat naturel. Aucune présence de couche liée à la période gallo-romaine n'est à signaler.

Le sondage S2, perpendiculaire à S1, à l'emplacement d'une petite déviation du champ terrestre, ne livre également aucun témoin de ce type, ni d'élément justifiant cette caractéristique géophysique.

2.6 sondage S8

De même, le sondage S8 a été implanté le long de la parcelle 553, dans la zone où ont été trouvés à la fois des niveaux très charbonneux (en coupe dans l'aménagement d'un voie, stabilisé avec un encaissant de schistes rouge) et une série abondante de scories de faibles dimensions.

Aucun témoin de cette espèce n'est apparu dans la longue tranchée du sondage S8, ce qui tendrait à montrer qu'il puisse s'agir d'une installation de réduction dont la production est réduite.

2.7 sondage S5

La tranchée S5, de près de 28 m de long, ne montre à nouveau aucune structure particulière. On notera seulement la présence dans un niveau peu profond d'un ancien manomètre en alliage cuivreux, peut-être à

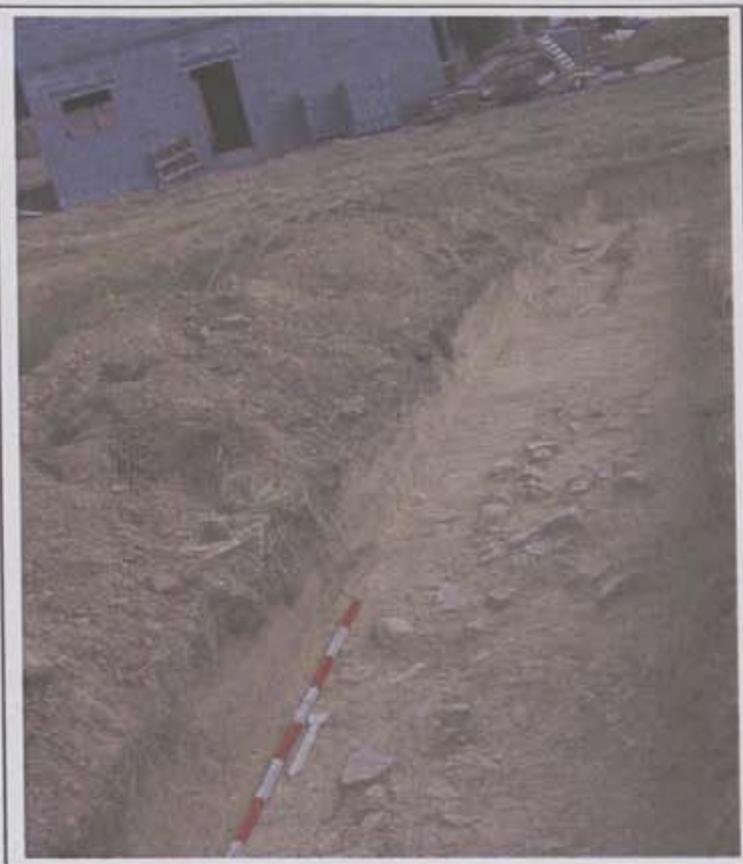


Photo n° 15 et 16 : La Croix du Houx en PAIMPONT. Sondage S4 - Empierrement et fer d'animal.



Photo n° 17 : sondage S1



Photos n° 18 et 19 : sondage S6. Petite fosse carrée à bords arrondis, après décapage (à droite) et après fouille (à gauche).



PLANCHE 4.



Photo n° 20 : sondage S7 - fossé gallo-romaine avec tegula en place et coupe sud

l'origine de la petite anomalie magnétique enregistrée. Les fils de clôture tombés au sol près du côté est de la parcelle peuvent éventuellement influencer un peu la mesure dans ce secteur, de même que quelques piquets de fer plantés en extrémité.

On note l'existence, dans certaines zones, de nodules très compacts de minerai de fer au sein de l'argile ocre, de taille centimétrique et de couleur marron à brun foncé. Bien qu'en quantité assez modeste, ces minéralisations en rognons, témoignent peut-être de la présence de couches sous-jacentes plus fournies. Il y a lieu de préciser que l'on est à environ 200 m des extractions minières très impressionnantes de la vallée de La Moutte.

Paradoxalement les gîtes ferrifères du massif de Paimpont sont mal connus. Plusieurs types de formations géologiques peuvent leur avoir donné naissance. Des analyses pétrographiques, minéralogiques et chimiques de ces échantillons, présenteraient un intérêt certain pour progresser dans cette caractérisation minière.

2.8 sondage S7

Ce sondage presque carré, situé près de l'angle nord est de la parcelle nous livre un élément d'appréciation majeur quant à la présence gallo-romaine perçue en prospection, sous la forme d'un fossé à fond plat, très régulier, presque orienté, lui aussi, sud - nord (se dirigeant néanmoins quelque peu vers le nord-est). Il est creusé dans le substrat, que l'on atteint sous une couche de 40 cm d'argile beige et 20 cm de terre végétale (Pl.4). Sa largeur à ce niveau est de 1 m à 1,10 m et sa profondeur atteint à peine 40 cm. La largeur au niveau sa section horizontale inférieure est de 60 cm.

Son comblement est fait d'un limon gris foncé à marron contrastant avec le sédiment jaune du substrat. C'est en place, dans le niveau supérieur de cette couche grisâtre qu'a été mise au jour, une tegula, restée prisonnière de celui-ci, en position inclinée.

Au niveau du tronçon central du fossé la couche montrait de nombreux petits charbons de bois dispersés, dans une zone bien délimitée. Une pierre volumineuse est également apparue à l'extrémité sud de cette zone, et à la limite du niveau de comblement gris.

La structure et les éléments mobiliers qu'elle retient, signent une présence gallo-romaine ou postérieure à proximité. On est probablement dans une zone légèrement en marge de bâtiments ou installations plus conséquentes.

2.9 Conclusion

La découverte de témoins d'occupation gallo-romaine à la Croix du Houx, dans le bourg, et à proximité vraisemblablement de l'ancienne voie gallo-romaine Corseul-Rieux, est un élément de prospection majeur pour Paimpont, qui ne recensait, jusque là, pratiquement aucun vestige attribuable à cette période sur le territoire communal.

L'observation des scories recueillies au bord du chemin d'accès à l'usine d'eau et à la parcelle 553, montre qu'il s'agit de scories écoulées. La question de la période d'apparition et du développement de ce type de technique (bas fourneau à écoulement externe) est loin d'être élucidée (Vivet, 2005). Cette présence au voisinage immédiat, de vestiges gallo-romains constitue un indice intéressant, même si la preuve de contemporanéité n'a pas pu être établie.

La mise au jour d'un ancien chemin peut-être parallèle à l'axe principal actuel du bourg, pourrait renvoyer aussi au passé métallurgique de la commune, par le biais d'une circulation qui semble très active dans ce secteur, et qui est sans doute liée aux volumineux transports de matériaux (minerai, charbon, métal), engendrés par l'activité des Forges de Paimpont, à l'époque moderne.

L'ensemble des huit sondages réalisés montre que le sol de ce secteur n'est pratiquement pas perturbé, ce qui est aujourd'hui rare et donc remarquable, lorsqu'on observe les effets destructeurs, qui ont résultés de la généralisation des labours profonds ou l'emploi d'engin mécanisés lourds.

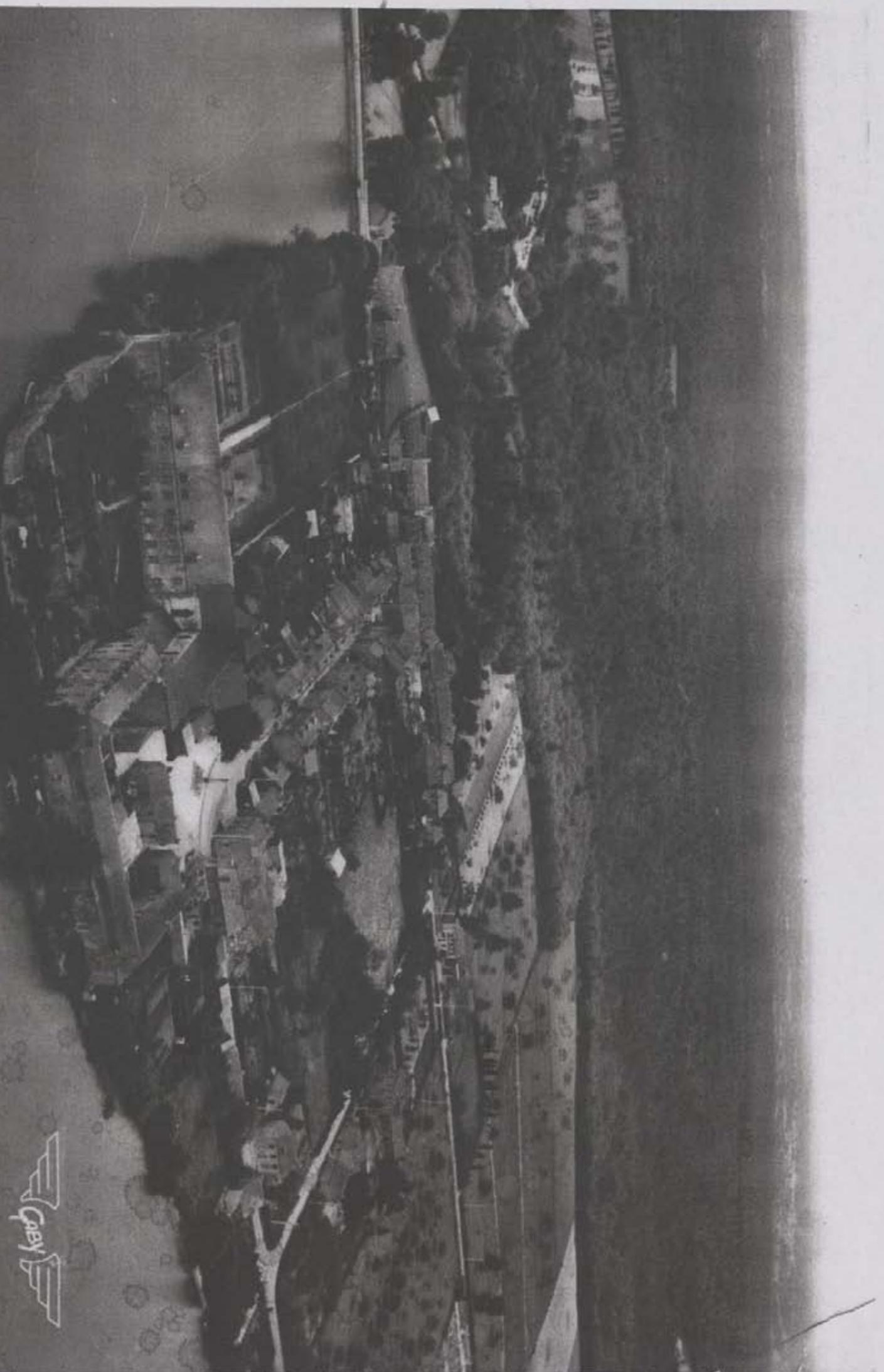


Fig. 8

QAY

L'ensemble des découvertes de la Croix du Houx et du lotissement de Brocéliande/roi Arthur, invite à accentuer les efforts de prospection en amont des opérations d'urbanisme, dans des zones concernées par de futurs projets de construction.

C'est le cas notamment de l'espace, actuellement en prairies, situé au nord de la parcelle sondée, entre la forêt et le bourg. Une vue aérienne fournie par une carte postale ancienne (information Guy Larcher), montre deux auréoles noires très nettes, qui se situent au voisinage du grand talus d'enceinte nord de l'usine d'eau (et peut-être même directement sous celui-ci, et qui pourrait provenir de gisements sidérurgiques anciens (fig. 8). Compte tenu des découvertes présentées ici, en particulier dans le sondage S7, une surveillance du secteur est de rigueur.

Un autre secteur au nord est du bourg semblent devoir être concerné par des projets à moyen terme. Il serait utile de réaliser, dès 2005, une prospection, au sol et magnétique, dans les parcelles concernées.

III. TRECELIEN EN PAIMPONT

1. TRAVAUX ANTERIEURS – PROBLEMATIQUE.

Les premières opérations (2001 et 2002) visaient à reconnaître la nature de ces ferriers à scories spongieuses du massif de Paimpont et à déterminer à quelle période ils appartiennent (fig. 9). La fouille de 2002 a abouti à une attribution se situant autour du XV^{ème} siècle (XIV^{ème} – XVI^{ème}), par le biais de la céramique trouvée en place. La structure de chauffe SF1, découverte en 2002 et fouillée lors de l'opération thématique de 2003, sous les niveaux de scories des ferriers (A7 et A10) qui la surplombent, est tout à fait inédite (fig. 10). Installée juste en contrebas de la rupture de pente du talweg, elle a été rapidement colmatée par un limon blanc, colluvion très probable du plateau incliné sus-jacent, qui a figé l'appareil dans son dernier état de fonctionnement (Vivet, 2003 et 2004).

Dans l'état actuel des données recueillies, la fonction de réduction (bas fourneau) semble devoir être écartée au profit d'opérations de post-réduction, telles que l'épuration de la loupe obtenue en réduction directe, et éventuellement de forge en bas foyer, type d'installation souvent évoquée, pour de nombreuses périodes, mais en réalité, rarement observée. Quelques scories en culot pouvant correspondre à ce type de tâche ont été collectées dans les niveaux directement liés à l'appareil, ainsi qu'à proximité de celui-ci, de même que sur un amas plus éloigné (A11). L'étude minéralogique et chimique des résidus métallurgiques de la fouille devrait permettre de préciser les conditions opératoires et le type de travail effectué. Pour cette époque de la fin du Moyen Âge - début de la Renaissance, qui prélude à l'émergence du procédé indirect (hauts fourneaux), on manque d'outils propres à bien différencier les étapes de la chaîne opératoire, notamment en ce qui concerne la distinction entre réduction du minerai de fer, et épuration menant à la production de lingots. Une étude, à la fois métallographique, typologique et minéralogique, du matériel collecté en 2002 et 2003 à Trécélien (scories de différentes morphologies, battitures, particules attirables à l'aimant, sédiments rubéfiés....) est actuellement menée par Nicolas Girault, actuellement en DEA sur ce thème en Bretagne, sous la direction de Paul Benoît (Paris I). Il s'agit de trouver des critères minéralogiques, morphologiques et chimiques, propres à préciser les étapes de la chaîne opératoire (réduction du minerai, épuration de la loupe métallique, 'grappage', formation d'un lingot, forgeage) réalisées par les hommes conduisant les 'forges grossières' en forêt.

Malgré deux campagnes de sondages (2002 et 2003), les bas fourneaux qui ont donné naissance au ferrier restaient dissimulés. La localisation de telles structures en contexte forestier constitue un cas d'espèce nécessitant une mise au point méthodologique.

La recherche de ces appareils s'est donc poursuivie à Trécélien en 2004, à la faveur, notamment, d'une prospection magnétique approfondie, conduite par trois étudiants en maîtrise (Géosciences, Rennes 1) au cours des mois de mai et juin 2004 : Virginie Penquerc'h, Xavier Bacheter, et Constance De Ponchara. Tout en cherchant à localiser de façon pratique les structures en question, ce travail de stage s'est attaché à prendre en considération la méthodologie de prospection, en s'intéressant à l'interprétation des signaux enregistrés et à la

Trécélien en PAIMPONT (35) – carte IGN 25 000^{ème} GUER 1119 Ouest 1997

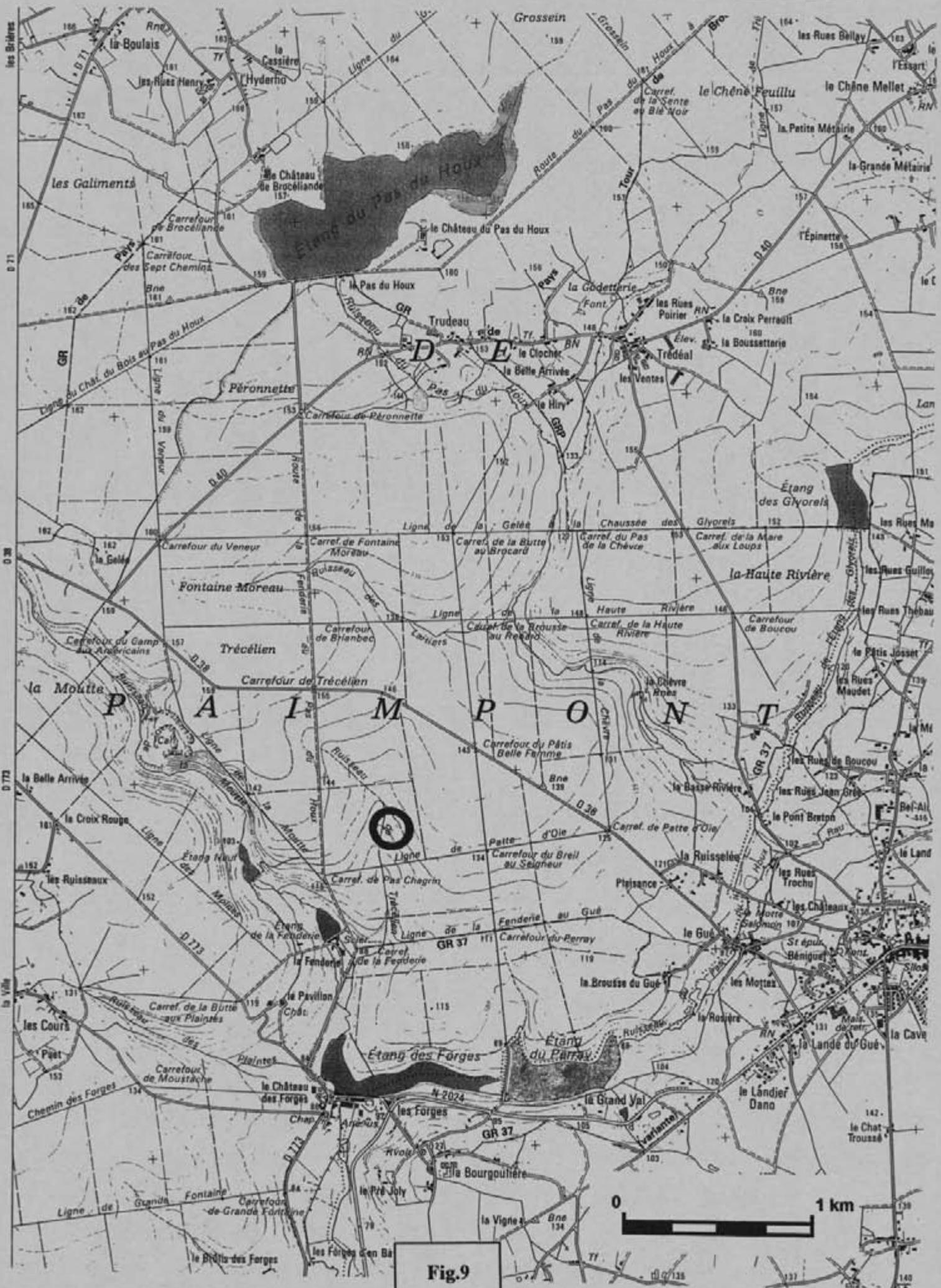


Fig.9

mise en œuvre des mesures géophysiques les mieux adaptées à l'exploration des ferriers. Les moyens d'exploration employés ces deux dernières années (prospection magnétique, tarière forestière, mini-pelle...) ont fournis, en effet, des informations intéressantes, mais trop lacunaires ou difficilement interprétables.

2. MESURES GEOPHYSIQUES

Jusque là, seule une réponse par défaut fournissait une information par défaut, en considérant que l'absence de déviation du champ magnétique terrestre indiquait bien une absence de structure de chauffe. Il s'agissait donc de vérifier si l'existence d'un type d'anomalie magnétique donné pouvait être attribuée à la présence d'un bas fourneau, et pouvait être discriminée du signal provenant des scories ou autres rejets sidérurgiques constituant les ferriers. Ce travail a été conduit au cours d'un stage de deux mois par trois étudiants en maîtrise à Géosciences Rennes I Virginie PENQUERC'H, Xavier BACHETER, et Constance DE PONCHARA.

Les multiples essais et mesures qu'ils ont effectués ne peuvent être relatés ici dans le détail. Ces travaux ont fait l'objet individuellement de leur mémoire de maîtrise et d'une soutenance. Il serait utile de travailler plus avant cette question et publier cet aspect de la prospection en relation avec les observations et analyses issues des sondages réalisés aux emplacements de signaux significatifs. Nous ne retiendrons que les principaux tracés et résultats.

Un profil électrique nord - sud a été réalisé à l'emplacement du foyer d'épuration probable mentionné précédemment, qui a été recouvert de scories l'an dernier lors de la remise en état du site (la paroi verticale scoriacée a néanmoins été prélevée). Les mesures ont été faites à l'aide de 32 électrodes espacées d'un mètre. Le profil se prolongeait au niveau de la jonction des amas A8 et A9 du ferrier. La présence de la structure est bien visible sur la vue en coupe traitée par le logiciel Res2Dinv et se traduit par une résistivité très élevée et ponctuelle. Le ferrier quant à lui est caractérisé par une forte résistivité, mais de forme plus étalée.

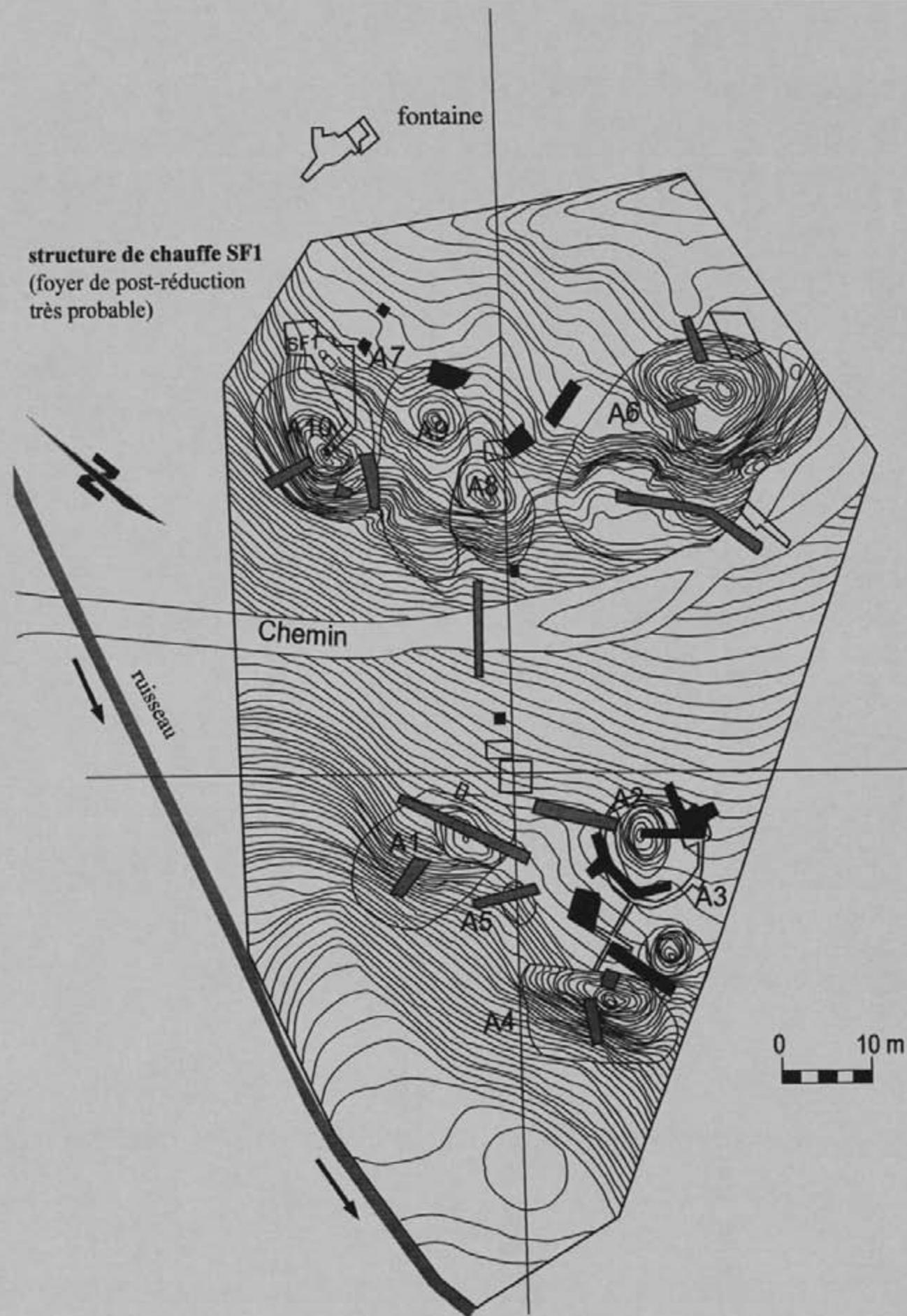
Au vu des résultats obtenus à Trécélien, Vert Pignon II et III, et au Pas du Houx, la méthode électrique s'avère donc très concluante dans le cas présent. Une des difficultés pourrait venir cependant de la faible taille des structures vis-à-vis de la distance minimum pratique des électrodes. Elle pourrait s'avérer bien adaptée pour la recherche de structures de dimensions conséquentes (à partir de 1,5 m). Un autre obstacle à signaler, est la lourdeur de la mise en œuvre pour obtenir une image étendue des caractéristiques de résistivité d'un ferrier s'étalant sur plusieurs milliers de mètres carrés. Difficile à utiliser en milieu forestier aux reliefs abrupts générés par les ferriers eux-mêmes, elle paraît, par contre, très intéressante lorsqu'elle peut être automatisée sur un terrain plus accessible.

Une carte magnétique a également été dressée sur un rectangle de 12 x 6 m, avec un pas de 1 m. Aucune anomalie bien précise n'a pu être obtenue. Seule la réalisation d'une carte très restreinte (5 x 3 m) située exactement à l'emplacement de la structure, avec un pas de 50 cm (E-W) et un pas de 25 cm (N-S) permet de percevoir la forme allongée du foyer.

Il est certain que la fouille elle-même a pu créer une perturbation de la carte magnétique du terrain localisé sur SF1 (et en particulier l'absence de la paroi scoriacée de 50 x 50 cm), et il est bien évident que cet essai n'a valeur de test que pour comprendre les limites et les aléas de la méthode employée. On aurait pu s'attendre cependant à ce que le bouleversement aléatoire des scories puisse annuler en quelque sorte les dipôles élémentaires du ferrier, et fasse mieux ressortir la structure. La question en tout cas peut se poser sur des ferriers, très nombreux, qui à une époque ancienne ou moderne ont été bousculés, sans parler de leur affaissement progressif naturel.

Bien qu'exigeant un peu plus de temps en milieu forestier, qu'en espace ouvert, la méthode de mesures à l'aide d'un magnétomètre à protons, fixé à l'opérateur à l'aide d'un harnais, s'avère nettement plus souple, pour la couverture d'espace conséquents, que le pose des électrodes pour la mesure de résistivité. Si le mode automatique (« walking ») ne peut pas toujours être utilisé dans ce type de contexte, il est possible néanmoins de valider manuellement l'enregistrement du champ magnétique aux points de référence du parcours considéré.

Une série de cartes magnétiques ont été établies sur l'ensemble du ferrier. Compte tenu de la gêne occasionnée par certaines concentrations ou bouquets d'arbres, ces enregistrements ont été complétés des profils magnétiques. Les valeurs sont souvent élevées. Elles dépassent couramment 100 nT .



Ferrier de Trécélien en PAIMPONT (35) - Amas de scories A1 à A10.
Implantation des sondages de 2004 (gris), 2003 (blanc) et 2002 (noir).

Fig.10

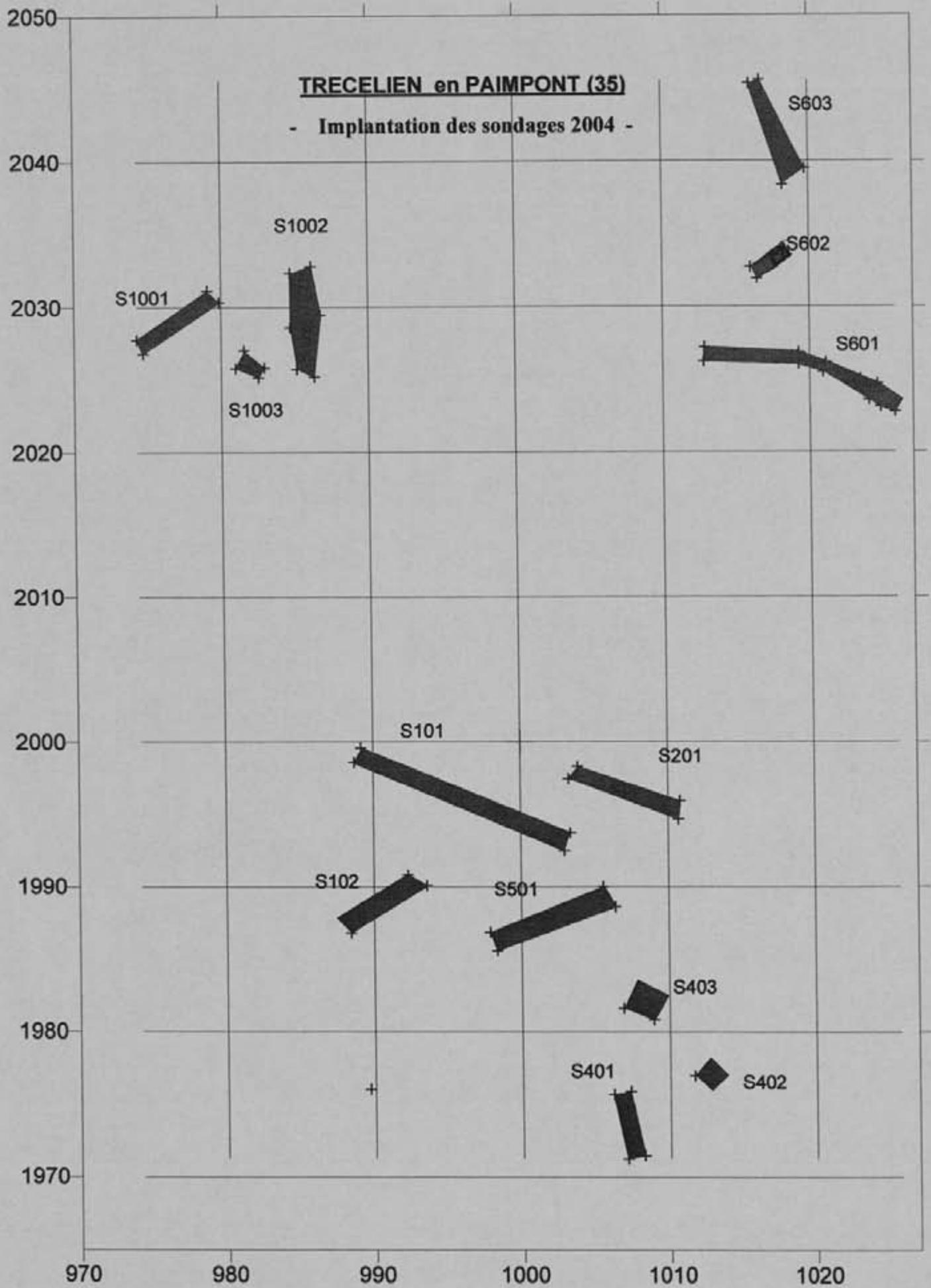


Fig.13

3. SONDAGES ARCHEOLOGIQUES

Les sondages à la mini-pelle mécanique dont la description suit, ont été effectués aux emplacements qui ont fourni les anomalies magnétiques les plus nettes, à l'exception d'un test sur le chemin qui partage le site en une zone supérieure et inférieure, et des sondages S101, S403, S201 ; une douzaine de sondages en tranchées a ainsi été réalisée (relevé fig. 10, et implantation fig. 13, en grisé).

3.1 Amas A1

Le sondage S101 a été ouvert en travers et au-delà de la limite de la zone circulaire générée par un prélèvement massif de scories à une époque indéterminée (Pl.5). Il permet d'observer l'état du sol sous l'amas de scories au cœur de celui-ci. La vue en plan nord-sud ci-jointe (fig. 14) montre les dernières couches, en contact avec le substrat naturel. Aucune structure majeure ni trou de poteau n'y a été recensée. On note surtout, au centre, la présence d'une couche de sédiment rouge et de sédiment charbonneux, dans une zone montrant une légère dépression. Elles reposent sur un très gros bloc de grès de surface plane, incrusté dans le sol jaunâtre, qui n'a pas pu être totalement dégagé, du fait de ses dimensions, et de sa position, débordant sous la coupe ouest du sondage. Aucune trace spécifique n'a été enregistrée dans la partie observable. On notera seulement la présence de couches semblables aux précédentes, à l'extrémité nord du sondage, à la limite externe de l'amas de scories proprement dit.

Le revers des amas n'ayant été que peu exploré, un sondage S102 a été pratiqué en partie aval du ferrier A1, à partir de la zone de plus forte élévation (Pl.5). Les coupes AB et AD (fig. 15) permettent d'évaluer la hauteur de scories accumulées de façon pratiquement continue, qui s'élève à 1,05 m, un peu avant le sommet.

Un tesson de céramique a été découvert au sein d'une poche de scories individualisée, se déversant dans une petite fosse au deux tiers ouest du sondage.

3.2 Amas A2

La distribution assez circulaire des amas de la partie inférieure du site, invite naturellement à rechercher des témoins d'occupation vers le centre de cet espace. C'est dans cette optique que le sondage S101 a été prolongé dans cette direction, et qu'a été ouvert S201, qui entame légèrement l'amas A2 par le nord.

La présence de trois trous de poteaux de faible diamètre, avec calages de pierres, constitue un fait nouveau sur le site. Elle semble donner raison à cette hypothèse de zone de plus forte affluence (fig. 16).

La coupe stratigraphique montre, sous l'humus brun, des niveaux limoneux non tassés, marron et jaune, totalisant au maximum une trentaine de centimètres.

Aucun indice direct ne permet cependant de dater ces structures. Les opérations précédentes ont livré de nombreux tessons autour et sur rebords de l'amas A2, attribuable à la période du XIV-XVI^{ème} siècle. Certains éléments orientent sans doute même vers des productions du début XVII^{ème}. Deux cruches des XIII^{ème}-XIV^{ème} siècle avaient également été trouvées à quelques mètres plus au nord de l'extrémité de S201, pratiquement sous un abri, sans doute de charbonnier, ultérieur aux années 1920. Plusieurs fragments d'une marmite en fonte, ont également été découverts dans les niveaux supérieurs de coupe est, presque en vis-à-vis du plus important trou de poteau de S201.

Ceci montre en tous cas, toute l'animation et la vie qui existait en forêt à des périodes reculées, dans un endroit aujourd'hui très retiré, accentuée, sans aucun doute aussi, du fait même de l'existence de l'activité métallurgique.

La présence des arbres a protégé ces témoins, mais rend extrêmement difficile une quelconque vision spatiale du secteur, à moins d'un décapage sur une surface plus conséquente. Ces observations, dont l'attribution est rendue



Photo n°20 : Trécélien en Paimpont (35)
Amas A1- sondage S101



Photo n°21 et 22 : Sondage S101 vue vers
l'ouest et vue de détail.

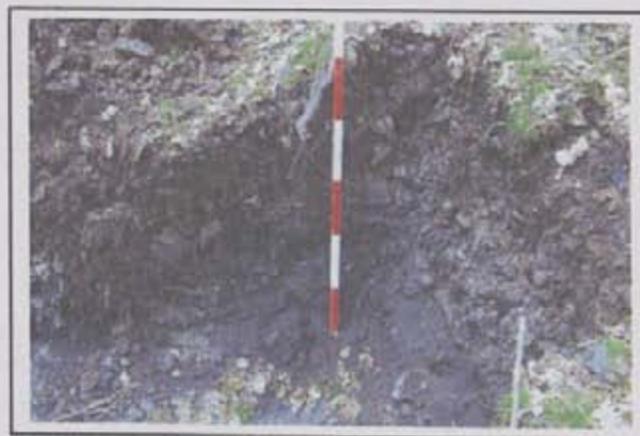
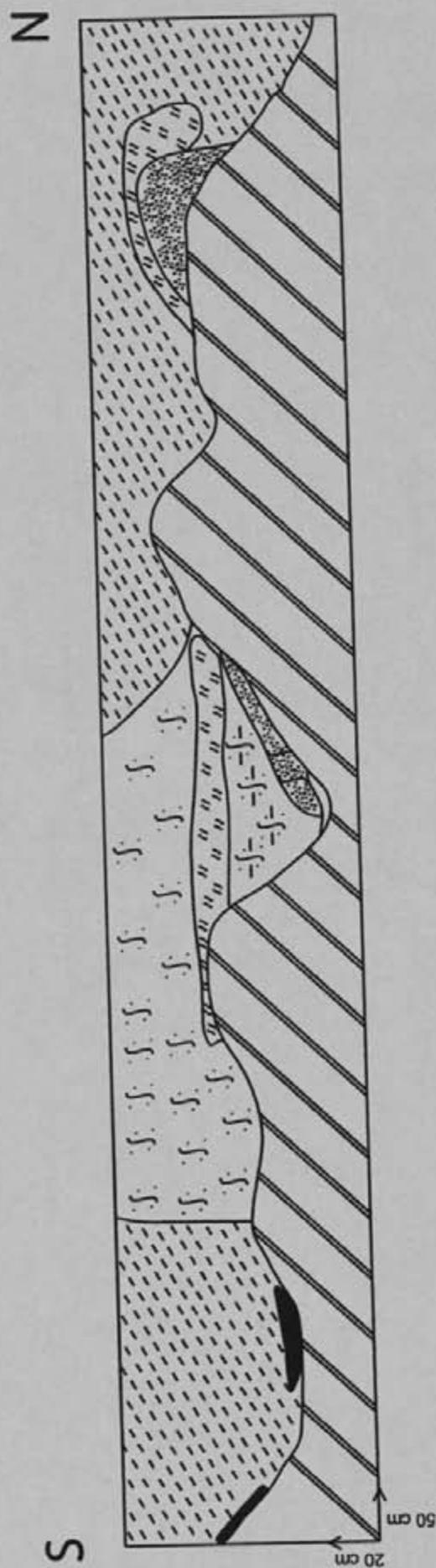


Photo n°23 et 24 : Amas A1 - Sondage S102 :vue
générale et vue de détail de la coupe.frontale.

PLANCHE 5



Trécélien-Paimpont S101
Vue en plan

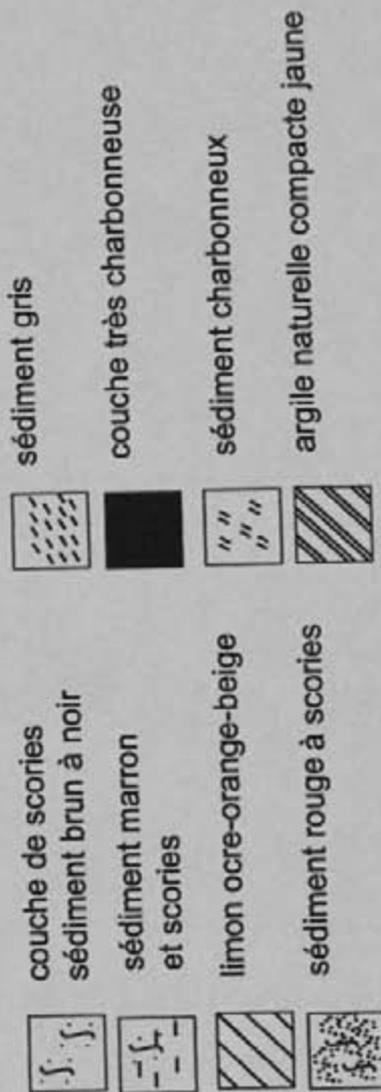
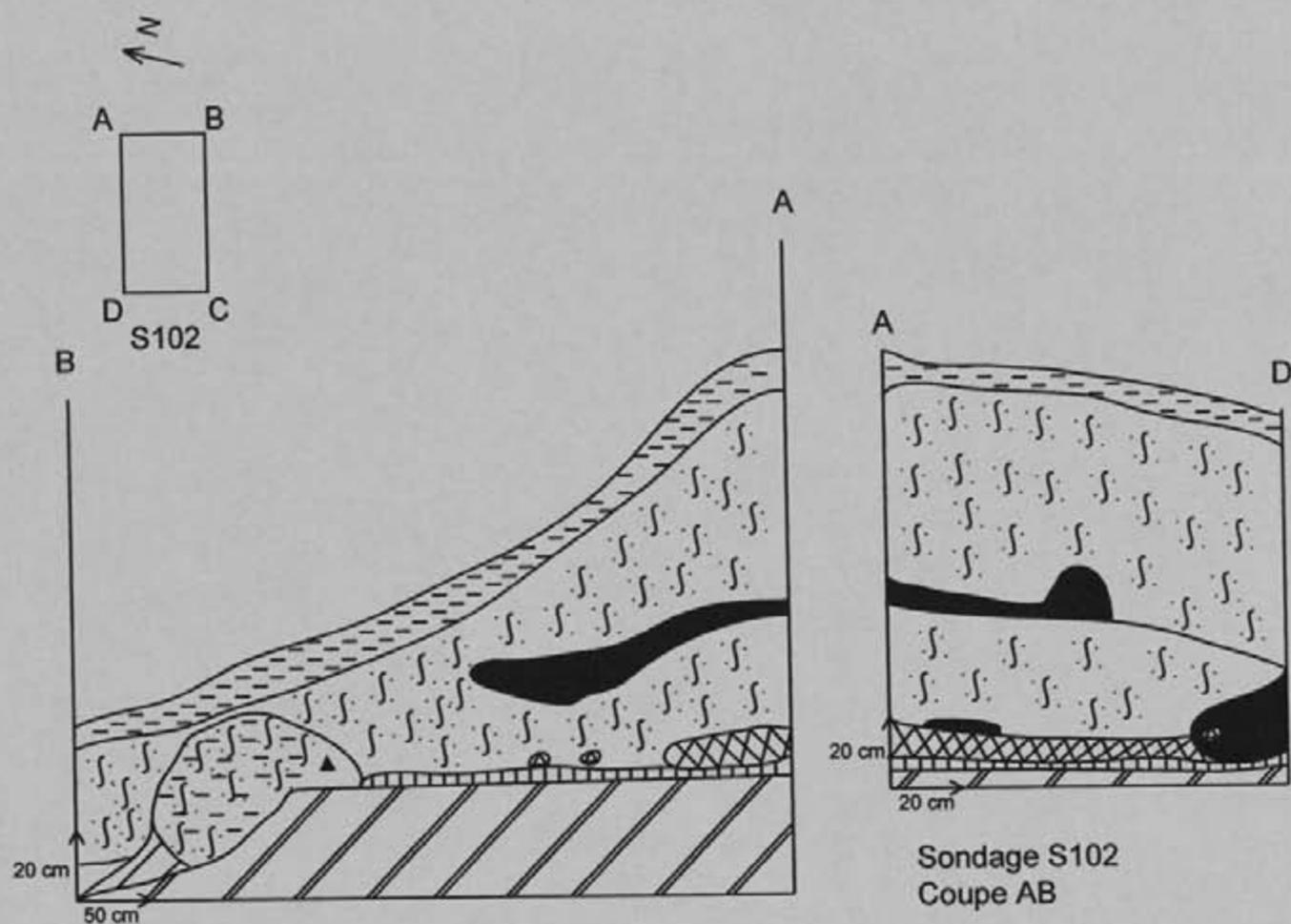
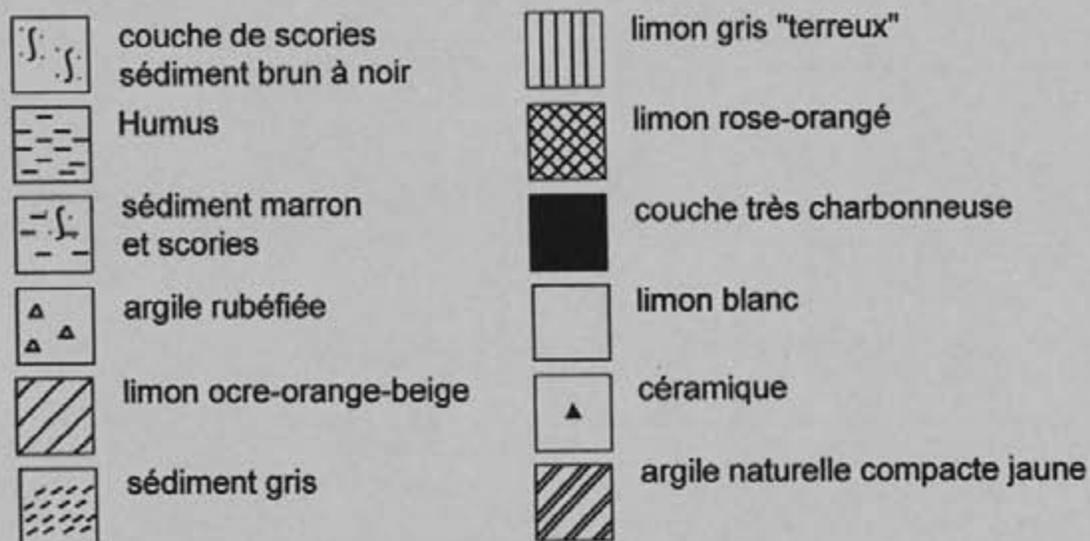


Fig.14

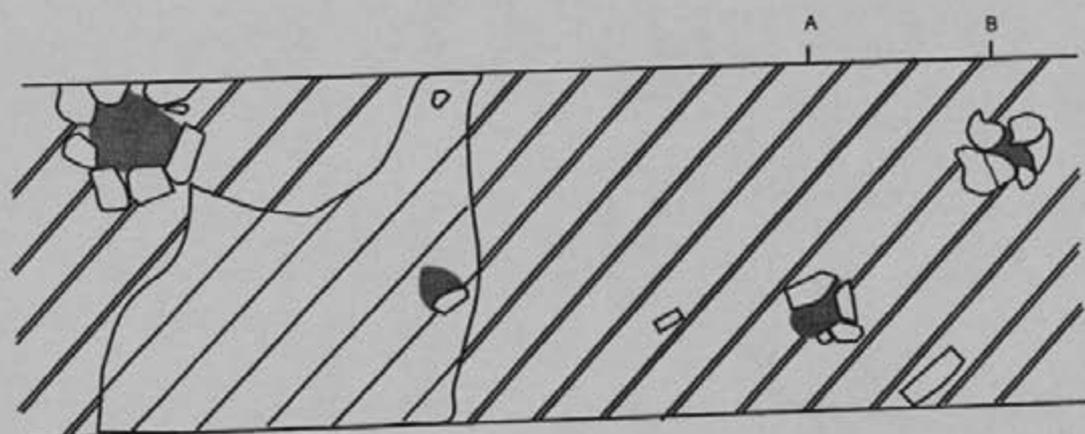
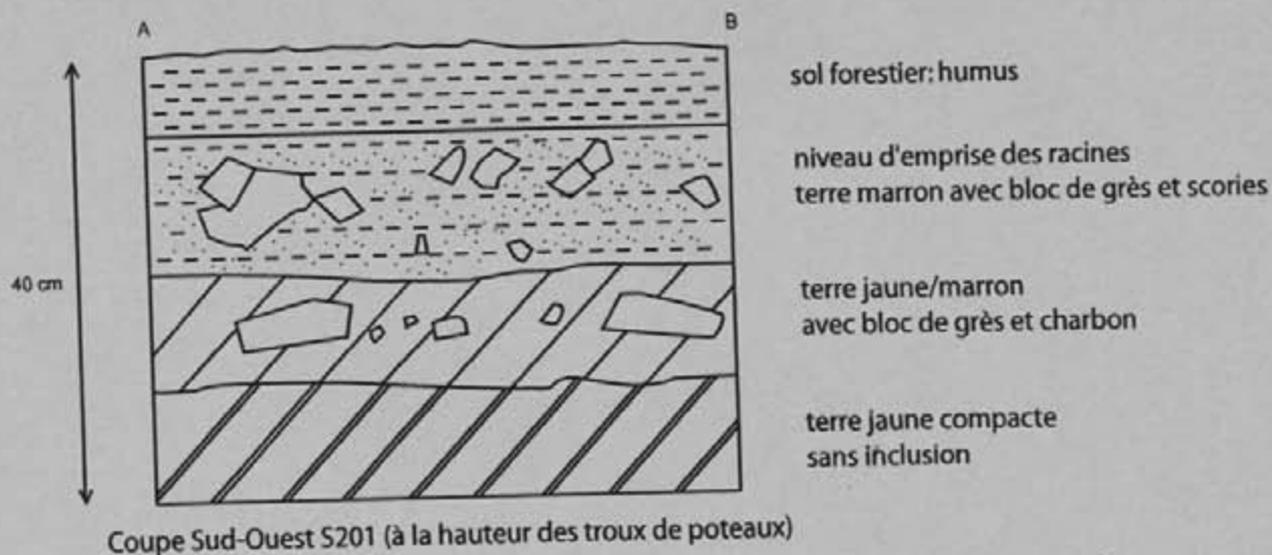


Trécélien-Paimpont Ferrier A1
Sondage S102
Coupe AD



dessin: Nicolas GIRAULT

Fig.15



Trécélin-Paimpont Sondage S201
Trous de poteaux

1/20e

Fig.16

dessin : Nicolas GIRAULT



Photos n°25 et 26 : Extrémité nord de l'amas A2
- calages de poteau. Sondage S201.

PLANCHE 6



Photos 27 et 28 : Amas A4 - sondage S401. vue générale et vue de détail.



Photos 29 et 30 : Amas A4 - sondage S402.



Photo 31 : Amas A5 - sondage S501

encore plus difficile du fait de l'omniprésence des racines, restent très modestes et dispersées et ne justifient pas, en l'état, une telle opération.

3.3 Amas A4

Les sondages réalisés au sein de cet amas aussi bien en amont qu'en aval, révèlent essentiellement la puissance des couches de scories, jointives, qui atteignent une hauteur de 1,10 m, à une distance d'environ 1,50 m du sommet de l'amas en contrebas du ferrier. Celle-ci est de presque 1,30 m, à 50 cm en amont de ce même sommet (Pl.6).

3.4 Amas A5

Une prospection magnétique conduite en 2001, avait conclu à l'existence d'une nette anomalie au niveau de ce secteur situé entre les amas bien marqués A1 et A4. Le niveau des valeurs obtenues n'était alors pas interprétable. De fait, un petit sondage ouvert à cet endroit avait montré l'existence en réalité d'un petit ferrier peu bombé, disposé sur la rupture de pente du terrain. La valeur, en réalité assez forte, atteinte (70 nT), et la configuration par rapport au relief incita à reprendre un sondage à cet emplacement.

Le ferrier décroît de fait rapidement en direction du ruisseau, à partir de son niveau oriental, de près d'1 m. Le nettoyage du sol a fait apparaître un trou circulaire, vraisemblablement de poteau, d'une vingtaine de centimètres de diamètre et de profondeur, au bord de la coupe nord et à 1,50 m de l'extrémité est du sondage. Creusé verticalement dans le substrat, son comblement est fait du même limon noir et scories, que la couche d'environ 40 cm, constitutive de l'amas, qui le recouvre. Il ne recèle pas de pierre de calage.

La zone fouillée ne montre aucun indice direct de présence d'un bas fourneau à proximité immédiate.

A l'ouest, la zone basse du sondage livre, au sein d'une couche de limon jaune-rosé située dans les niveaux inférieurs, une série de tessons de céramique, rappelant les cruches situées autour du XV^e siècle, déjà décrites en 2002 et 2003.

3.6 Amas A6

Cet amas est le plus gros de tous ceux qui constituent le ferrier de Trécélien. Une très grosse partie a été prélevée à une époque non déterminée, rendue visible par l'aspect très circulaire des déchets résiduels, dans la partie sud-ouest du ferrier. La partie restante est très fournie en ifs, notamment toute la crête sommitale, et en arbres au moins cinquantenaires, au nord (Pl.7).

Un sondage a néanmoins été mené dans cette dernière zone (S603), dans un petit intervalle entre les feuillus, en tentant d'atteindre la ligne de rupture de pente du terrain. L'étroit passage montre l'existence d'une très importante couche de sédiment rouge dans la partie inférieure de l'épaisseur des scories accumulées. Cette dernière atteint 1,50 m, sans que l'on rejoigne encore la très forte déclivité du terrain escomptée.

Le sondage S603 a été pratiqué à partir de la zone de prélèvement circulaire, en direction du cœur de l'amas. Sur la coupe E - W relevée, on atteint une hauteur de rejets de 1,40 m. Le fond de la tranchée, assez proche du sommet, montre une puissance de scories accumulées voisine de 2 m. Le sol sous-jacent est en pente régulière, croissante dans cette direction. La stratigraphie révèle la succession des couches de rejets (fig. 17). Au contact du substrat apparaît un niveau très charbonneux, qui a été recouvert par une importante couche de sédiment rouge contenant des scories. Les quatre couches de scories qui suivent, viennent s'appuyer sur le sommet de ce dépôt rouge. A noter la présence de limon blanc à l'aspect 'cendreux' dans la deuxième couche de scories. La disposition de l'ensemble de ces dépôts successifs paraît bien indiquer qu'ils proviennent d'un secteur situé en amont du sondage.

Le long sondage S601 n'a pas fourni d'information particulière dans la zone de prélèvement circulaire, si ce n'est la très faible épaisseur de scories résiduelle. Son prolongement au travers du chemin a permis de vérifier la forte et épaisse concentration de pierres, existant à son emplacement. Le bord nord est du chemin est fait d'une



Photos n° 32 et 33 : Trécélien en Paimpont (35) – Amas A6 – sondage S601 et S602



Photos n°35 et 36 :
Amas A6 – Sondage
S603



Photo n° 34 : Amas A6 – sondage S602

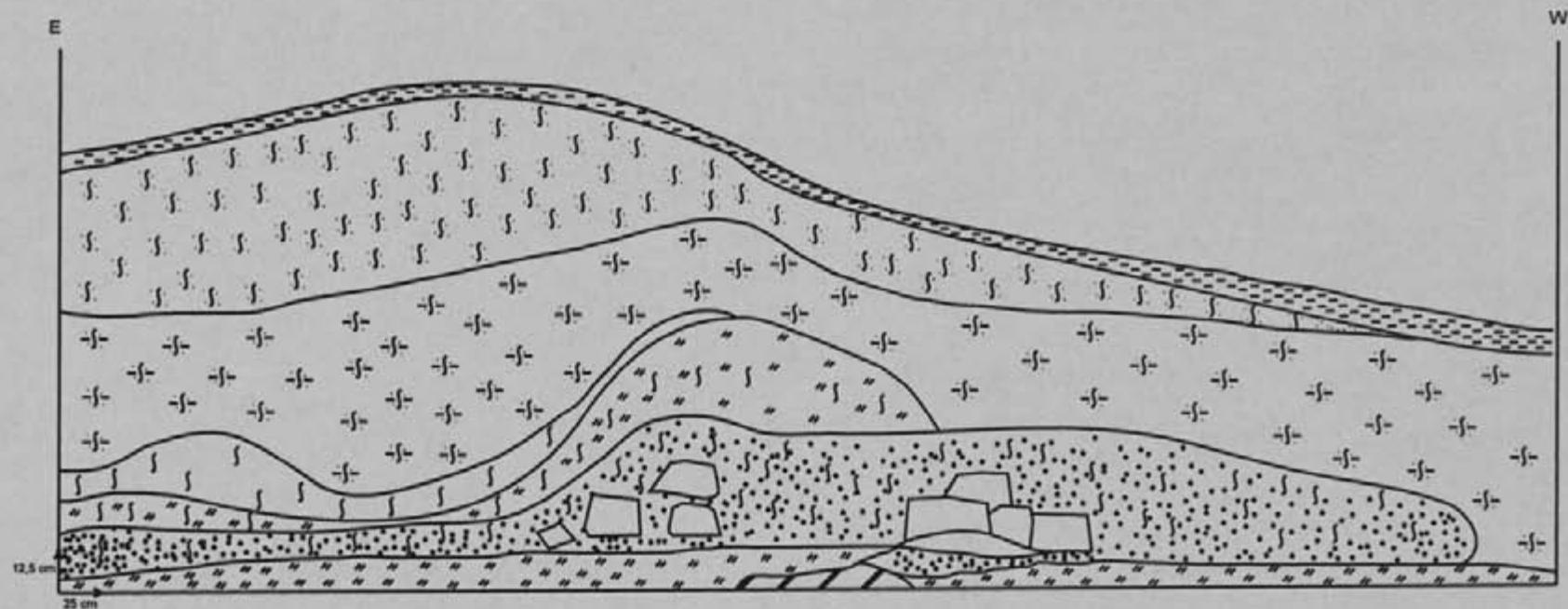
PLANCHE 7

Photos n° 38 et
39 : jonction A9
et A10. vue
générale et base
de la coupe
frontale



Photo n° 37 : Amas A10- sondage S1001





Trécélien-Paimpont
 Ferrier A6
 sondage S603

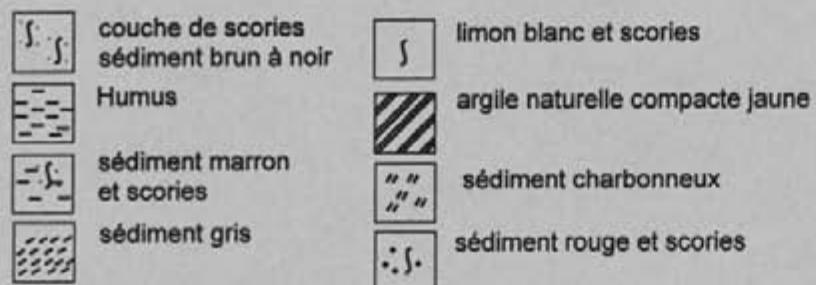


Fig. 17

dessin : Nicolas GIRAULT

IV. LE VERT PIGNON II

Dans les années 90, trois ferriers à scories spongieuses, seulement éloignés de quelques centaines de mètres ont été localisés par l'équipe de Guy LARCHER, dans le secteur du Vert Pignon (fig. 18), au nord du hameau de Telhouët, lui-même localisé à environ 3 km au nord de la commune de Paimpont (Larcher, 1990).

Celui qui est situé le plus à l'ouest se présente plutôt comme un talus, qui s'étale en partie en scories non jointives dans la parcelle cultivée se trouvant immédiatement au-dessus. De ce fait, on peut se demander s'il ne résulte pas du transfert et stockage des matériaux scoriacés. La parcelle située en dessous n'est pas observable. C'est pourquoi, il n'a pas été retenu, pour le moment, dans les opérations de prospection et sondage de 2004.

Le ferrier central, se présentant sous forme d'une butte coiffée d'un bosquet, en pleine prairie, est celui enregistré sous la dénomination « Vert Pignon III ». Il a fait l'objet principal des sondages détaillés dans le chapitre suivant.

« Le Vert Pignon II » est donc le ferrier le plus oriental, positionné en hauteur par rapport aux précédents, à proximité immédiate du groupe de maison du Vert Pignon, un peu au dessus de point de résurgence d'une petite source. La parcelle protégée des labours récents par sa fonction de verger et de pacage des moutons, présente de ce fait un intérêt majeur. Le ferrier ne montre pas, par contre, d'élévation très visible à l'œil et ne livre, du fait du couvert végétal, des scories spongieuses qu'au niveau d'un trou quelque peu en forme de baignoire dans la partie nord est de la parcelle (Pl.8). Son bombement est à peine perceptible à un œil attentif. La terre qui émerge par le fait des animaux fouisseurs est extrêmement noire et contient des scories. Ce type de sol apparaît sur une grande surface dans la partie nord du verger. Il se prolonge sur une quinzaine de mètres dans la parcelle cultivée voisine, situé au nord-est. C'est à ce niveau qu'ont été recueillis des blocs de minerai cru et grillé, dont l'analyse chimique a été réalisée (Vivet, 2002).

Les mesures géophysiques ont été entreprises dans le même cadre que précédemment. Elles permettent de préciser, notamment par le biais des profils électriques, l'emprise du ferrier, étalé sur un grand périmètre, qui occupe pratiquement toute la moitié nord de la parcelle (Pl.8). Le talus est, en ronces, n'est pas directement accessible à l'observation, mais la forte déclivité enregistrée à son niveau de l'est vers l'ouest, n'est sans doute pas sans rapport avec le ferrier lui-même.

La carte magnétique montre l'existence d'une très forte anomalie magnétique dans le secteur nord-est du terrain. Une mesure resserrée sur un carré de 10 m de côté permet d'affiner sa localisation, qui s'avère être bien au centre du périmètre choisi (fig. 20).

De ce fait cette emprise a été retenue pour la mise en place d'un sondage. Une autre anomalie, un peu moins marquée, située à quelques mètres au nord-ouest, a fait l'objet d'une petite tranchée de reconnaissance, qui montre l'existence de couche de sédiment peu tassés, gris et oranges, au sein de l'accumulation de scories, très fortement attirables à l'aimant.

C'est également ce type de sédiments qu'a fourni la fouille du secteur carré dont la réponse est prépondérante (sondage S1), à cette nuance près, cependant, que la nature des matériaux pouvant fournir une perturbation du champ magnétique terrestre est plus diverse (Pl.8).



Fig.18

Carte IGN 1/25 000 e : Site du Vert pignon en Paimpont (35)

PAIMPONT
VERT PIGNON
cadastre 2003
section ZE
Echelle 1/2000
Mairie de Paimpont
(remembrement
1977)

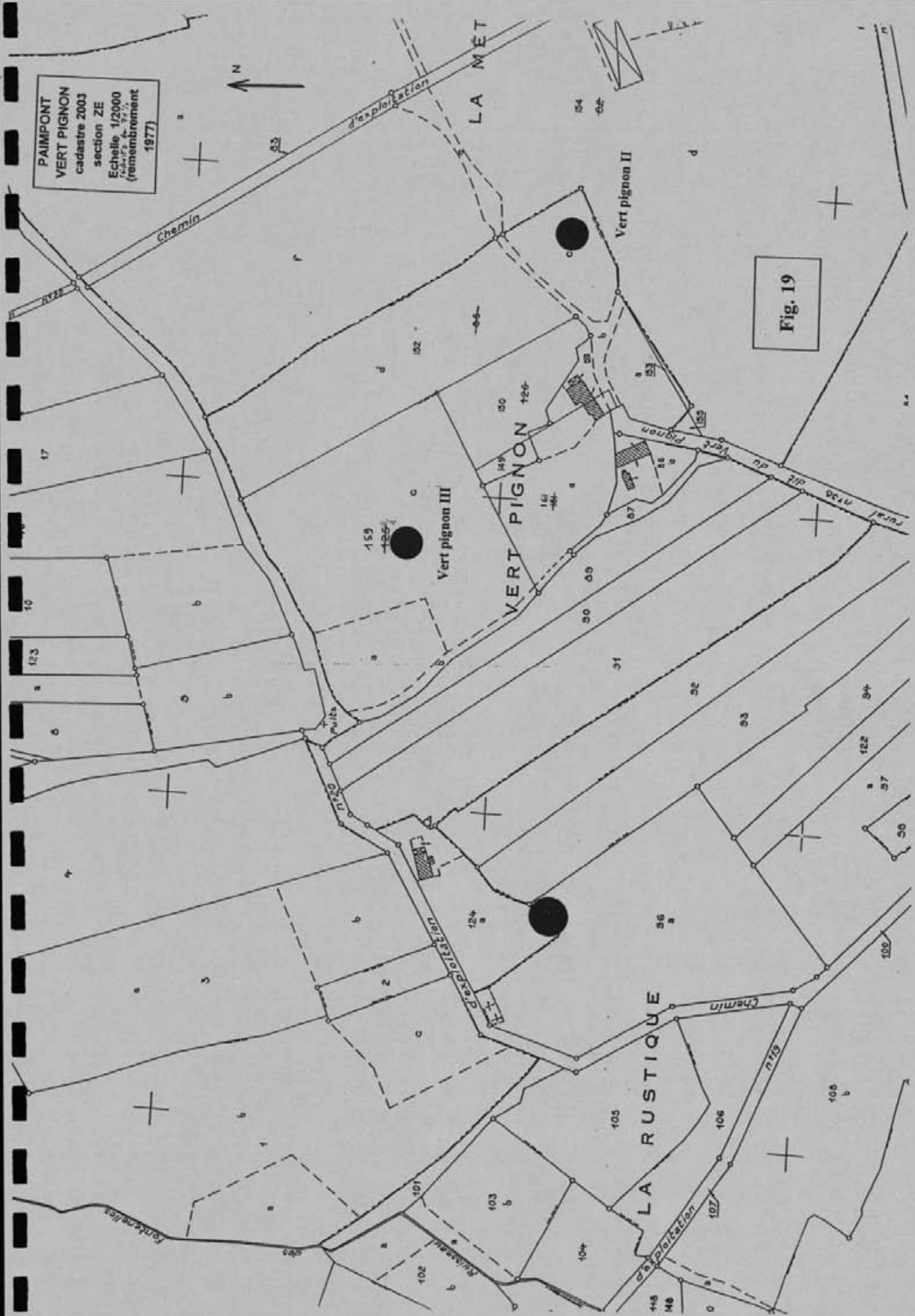
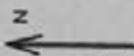
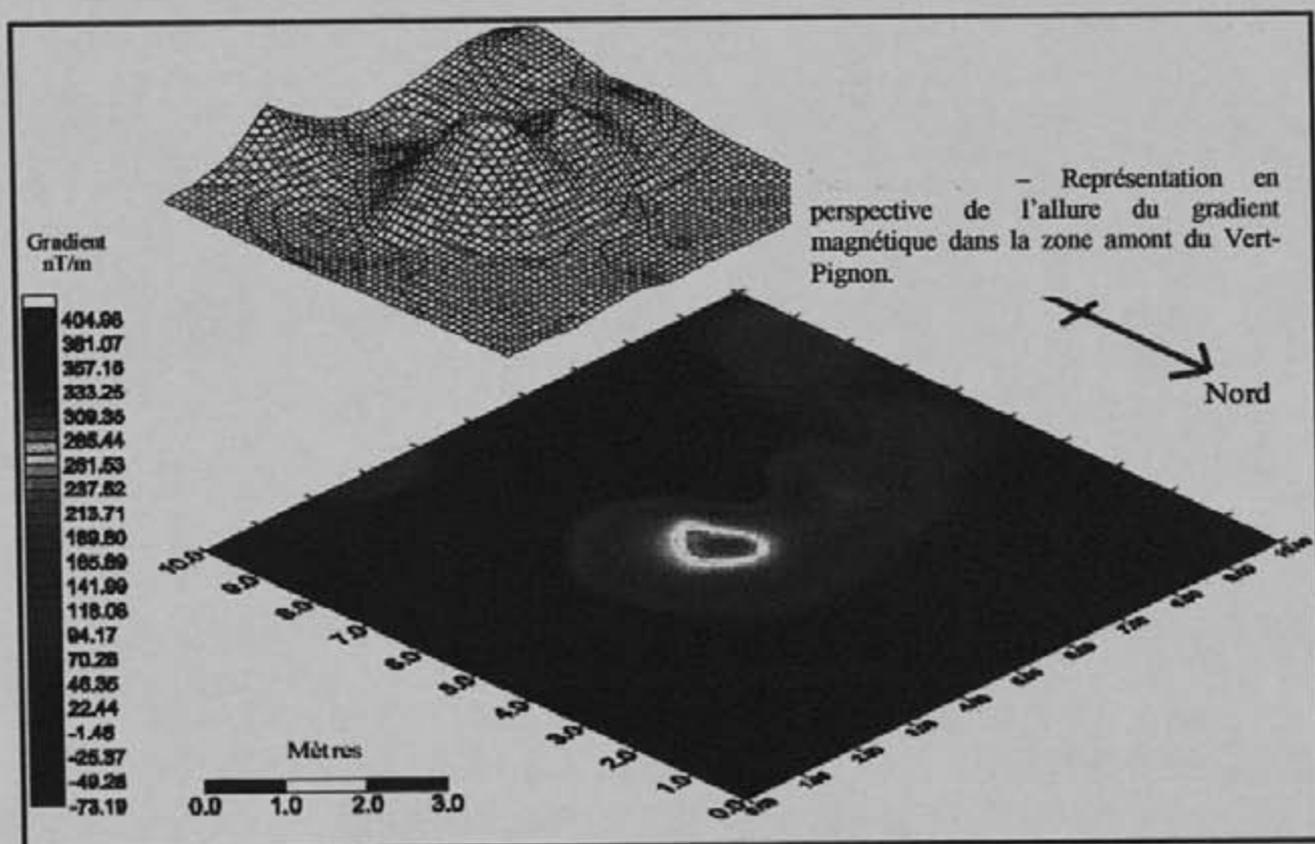
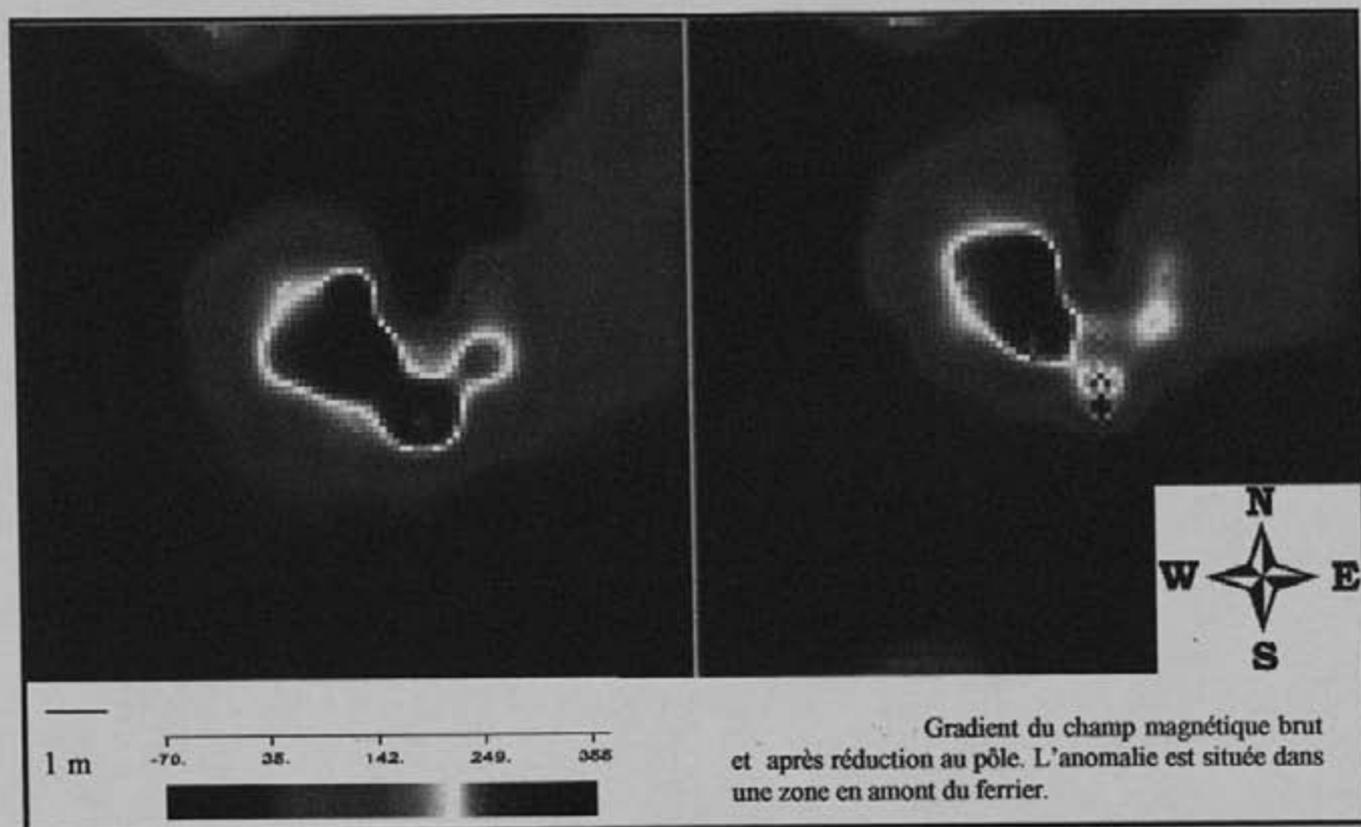


Fig. 19

Fig.20



Vert pignon II - commune de PAIMPONT (35)

On y rencontre dans les premiers niveaux, des blocs souvent décimétriques de minerai plus ou moins grillés, des couches de sédiment granuleux rouge, des niveaux de sédiment gris et poussiéreux, riches en battitures, mêlés de façon très hétérogène, aux scories. Cet ensemble est donc susceptible d'engendrer l'anomalie magnétique marquée, qui a été relevée.

La fouille manuelle montre également l'existence de matériaux non magnétiques qui viennent s'ajouter à cet inventaire. On y rencontre, en effet, la présence assez majoritaire d'un sédiment limoneux brun-noir, de poches noires de charbons de bois souvent bien conservés, de fragments de paroi de four en nombre limité, et d'une argile rose-orangé formant une sorte de disque circulaire au centre du carré, de 2,50 m environ de diamètre. C'est à ce niveau qu'a été stoppé le travail de décapage mécanique.

L'observation en fouille, ne montre malgré tout, qu'une imprégnation superficielle des rejets métallurgiques, par cette argile mi-cuite abondante. Son origine n'a pas été identifiée. Une petite tranchée de sondage test a été opérée en partie basse (ouest) de S1. Elle indique l'épaisseur du ferrier dans ce secteur, qui s'élève à une quarantaine de centimètres.

Le sondage a livré une série conséquente de fragments de poteries, essentiellement dispersés dans les masses de matériaux. Elles fournissent des éléments de datation, notamment sous la forme de cruches blanches à glaçures au plomb vertes, et de pots en argile marron à biotite, muscovite et spicules, très similaires à ceux étudiés sur les sites de Trécélien et du Cannée (Vivet, 2002 et 2003). Ces terres cuites renvoient à nouveau essentiellement à une période située entre le XIV^{ème} siècle et le XVI^{ème} siècle.

Outre cette information très précieuse concernant la période d'activité, on note que le ferrier est constitué d'une accumulation de rejets métallurgiques de toutes sortes, faisant appel aux différentes étapes de la chaîne opératoire. Cette grande diversité, plus marquée que sur les autres sites sondés, est importante à constater pour la compréhension globale des ferriers à scories spongieuses du massif de Paimpont. La fouille n'a pas été poursuivie très avant dans le secteur exploré du fait de l'absence d'indice direct de structure de chauffe et du manque de cohérence apparente des rejets. Il est certain cependant que le site du Vert Pignon II, possède un fort potentiel, à la fois sur le plan de l'existence d'appareils métallurgiques, et sur le plan de leur conservation. L'exploration nécessiterait, pour ce faire, un décapage en grande surface ou une intervention un peu plus limitée, précédée par une campagne de mesures électriques très rapprochées les unes des autres.

V. LE VERT PIGNON III

1. problématique

Les sondages réalisés en 2002 et 2003 sur le site de Trécélien en Paimpont (35), ont permis en premier lieu de dater l'activité métallurgique (XIV-XVI^{ème}) qui est à l'origine des volumineux ferriers à scories extrêmement bulleuses, qualifiées de ce fait de « spongieuses », du massif (une douzaine). La mise au jour d'une structure de chauffe, inédite à la période considérée, renvoie probablement, dans l'état actuel de l'investigation, à une forge d'épuration du métal produit. Si l'hypothèse proposée à Trécélien pour le four mis au jour est la bonne, les appareils de réduction du minerai de fer (bas fourneaux) n'ont donc pas encore été reconnus. La recherche de telles structures en contexte forestier présente une réelle difficulté.

L'interprétation, des 'forges grossières' fonctionnant autour du XV^{ème} siècle, si mal documentées sur les plans technique et humain, constitue une question suffisamment prégnante, à l'aube du passage au procédé indirect, pour que la prospection thématique ait été, à nouveau, consacrée, en 2005, à ces ferriers à scories spongieuses de Paimpont.

C'est ainsi qu'il a été décidé d'explorer le site du Vert Pignon III, comportant un ferrier situé hors de la forêt, plus facile d'accès et permettant une meilleure lisibilité. Celui-ci se trouve au milieu d'une parcelle actuellement en prairie, servant de pâturage à des moutons. Le bosquet d'arbres, malgré tout présent, a permis sans nul doute sa conservation, en élévation. Un autre argument, tout aussi important, qui a orienté la mise en œuvre d'un sondage à cet endroit, repose sur le fait que le ferrier est formé une accumulation de rejets métallurgiques globalement circulaire, bien circonscrite, d'une cinquantaine de mètres de diamètre. Cet aspect se trouve notamment confirmé par les vues aériennes prises dans les années 1990 par Maurice Gauthier, sur l'ensemble du lot parcellaire, alors labouré (Pl.10).

2. présentation du site

Le monticule de déchets sidérurgiques a été constitué sur un secteur de la parcelle présentant une nette inclinaison. Ainsi qu'il a pu être constaté lors des sondages opérés, sa partie inférieure (au nord) aboutit au bord d'une zone humide, alimentée par une source dont le point de résurgence se situe près des maisons du Vert Pignon. Si ce ru, très intermittent, est actuellement canalisé, on peut penser que son cours a pu fluctuer au fil du temps.

Malgré la difficulté liée à cette situation sur le flanc d'un relief irrégulier, une estimation du volume du ferrier a été tentée à partir des données topographiques. On doit ces précieux résultats à l'obligeance de Louis MARTEL, du département de Génie Civil de l'IUT de Rennes I et de Marie-José LE GARREC, et l'aide des étudiants

précédemment cités (fig. 21). Pour ne pas fausser l'appréciation, le volume en surélévation de la zone sud ouest, se présentant sous la forme d'un remblais de gros blocs de grès et de tas de terre modernes, en élévation par rapport au niveau des scories apparentes, n'a pas été pris en compte. Les premières évaluations qui ont été menées conduisent à un volume dont l'ordre de grandeur se situe autour de 800 à 900 m³. L'utilisation des données de fouilles, livrant les altitudes vraies du sol naturel situé sous les scories, devrait permettre de mieux préciser ce résultat, dont l'ordre de grandeur pourrait approcher les 1000 m³.

Du point de vue massif, on rappelle que les mesures effectuées sur le ferrier de Trécélien, fournissent une masse de scories par m³ de ferrier, voisine de 900 kg / m³. Du fait de l'existence de certaines accumulations un peu moins denses en scories, mais aussi de couches accumulées dans des zones en creux, la masse du ferrier du Vert Pignon III, pourrait se situer autour de 700 tonnes.

3. prospection géophysique

Une première prospection géophysique a été effectuée en 2003, au cours d'une semaine de stage des étudiants en maîtrise de Géosciences, sous la conduite de Florence Nicollin. Le secteur exploré se situe au sud du monticule, sur la partie haute du terrain jouxtant l'amas de résidus scoriacés en élévation visible (fig. 22). Elle montre des anomalies magnétiques à une vingtaine de mètres de l'amas en élévation. On y observe la présence de trois dipôles. La présence de ces anomalies magnétique a été confirmée par une nouvelle série de mesures exécutées en 2004. Ces premiers résultats, bien que d'intensité moyenne, paraissent en bon accord avec l'observation des vues aériennes de 1990, et incitent à voir un prolongement du ferrier dans cette zone, en direction du chemin d'accès.

Par contre, les valeurs obtenues, pourtant loin d'être négligeables, sont sans commune mesure avec celle d'une très forte anomalie magnétique située sur le flanc sud-est du ferrier, fournissant une variation entre - 250 nT/m, pour les plus basses valeurs, et + 211 nT/m, pour les plus fortes, dans la carte du gradient magnétique obtenue (fig. 23). Ramenées à la même échelle les premières anomalies enregistrées disparaissent presque. Tout le secteur situé au nord, au nord est, à l'ouest, et dans un secteur sud-est en amont du ferrier, est exempt de perturbation du champ magnétique terrestre.

La carte magnétique levée sur un grand rectangle positionné sur toute la partie est du ferrier, montre également une réponse assez prononcée au nord de la zone prospectée, au niveau d'un amas bien visible en surface. Pour des questions de relief et de végétation, ces cartes ont été complétées par deux profils magnétiques (N-S et E-W), qui ont fourni une réponse importante au niveau de leur croisement, un peu au sud du centre géométrique du ferrier (fig. 23).

Une prospection magnétique plus serrée et une prospection électrique ont été menées au niveau de la plus importante anomalie, mentionnée précédemment (fig. 24). Les cartes et coupes obtenues confirme bien l'existence des perturbations physiques, engendrées dans ce secteur, qui s'avèrent tout à fait majeures. Leur interprétation par rapport aux données de terrain, est relatée dans la description du sondage S201, ci-après.

PLANCHE 9.



Vert Pignon en Paimpont (35) - Vue aérienne du ferrier central dans les années 90, vu de l'ouest (photo Maurice Gauthier).



Vert Pignon en Paimpont (35) - Photo aérienne du ferrier central dans les années 90, vu du nord (photo Maurice Gauthier).

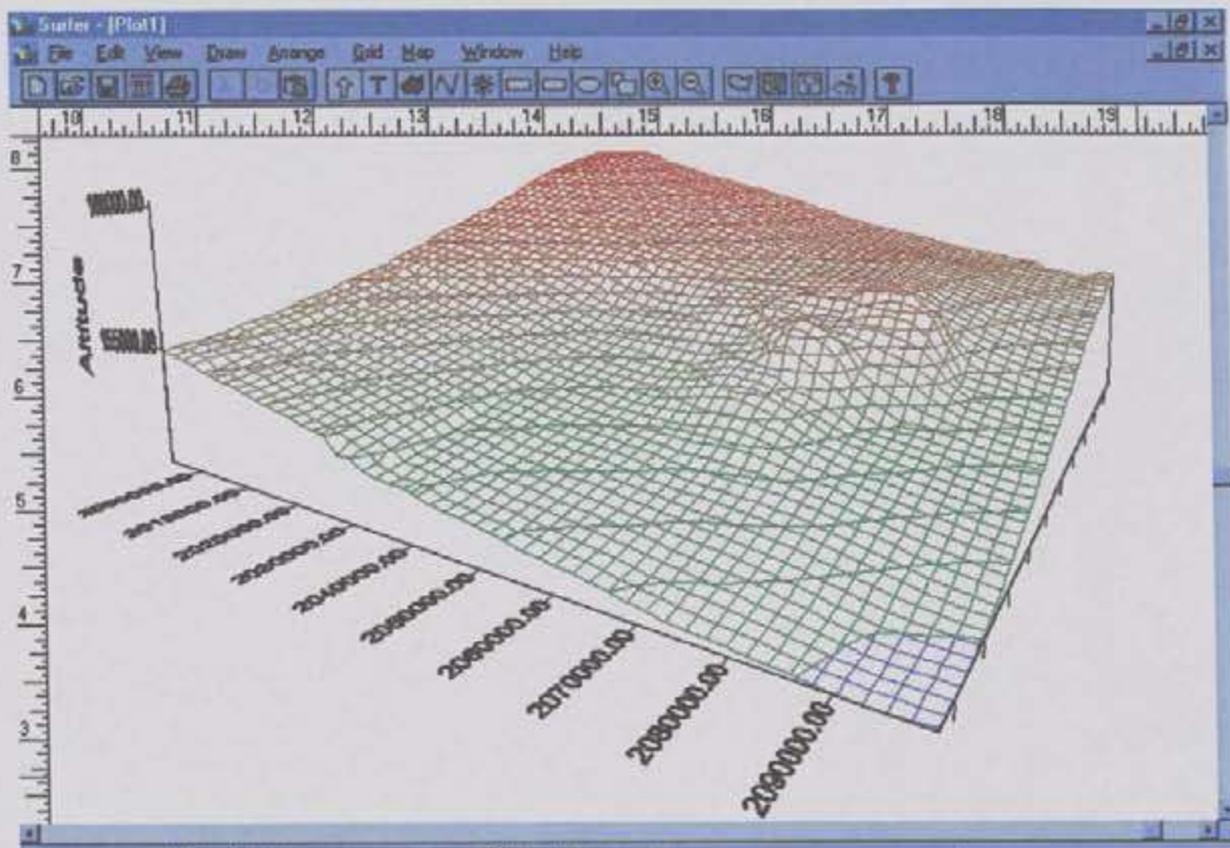
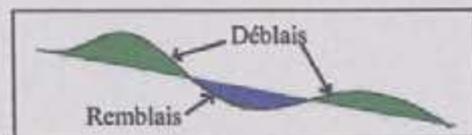
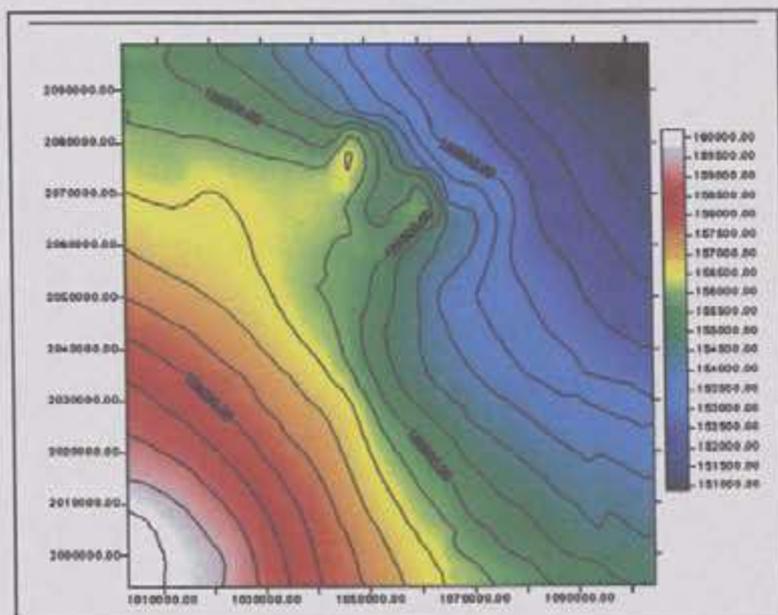
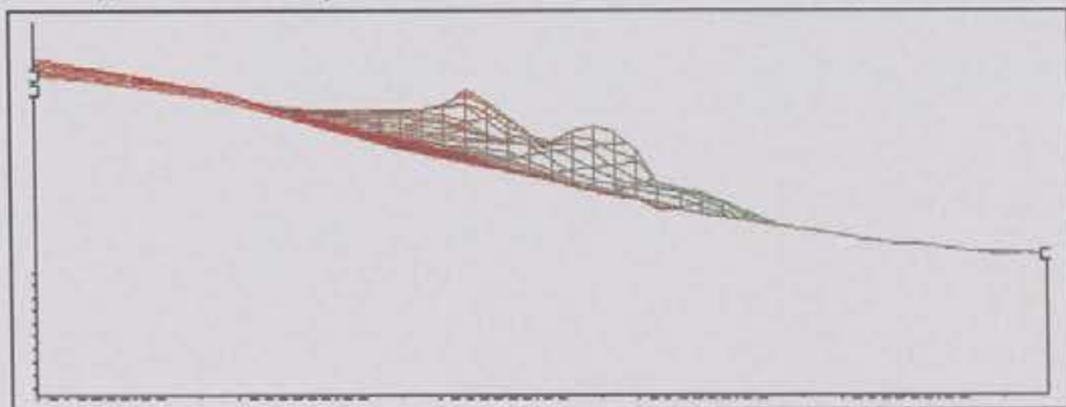


Fig. 21 : Vert Pignon III en Paimpont (35) . Topographie générale du ferrier (ci-dessus et en bas), profil S-N (ci-dessous), et illustration du problème d'évaluation du volume du ferrier (en bas à droite).



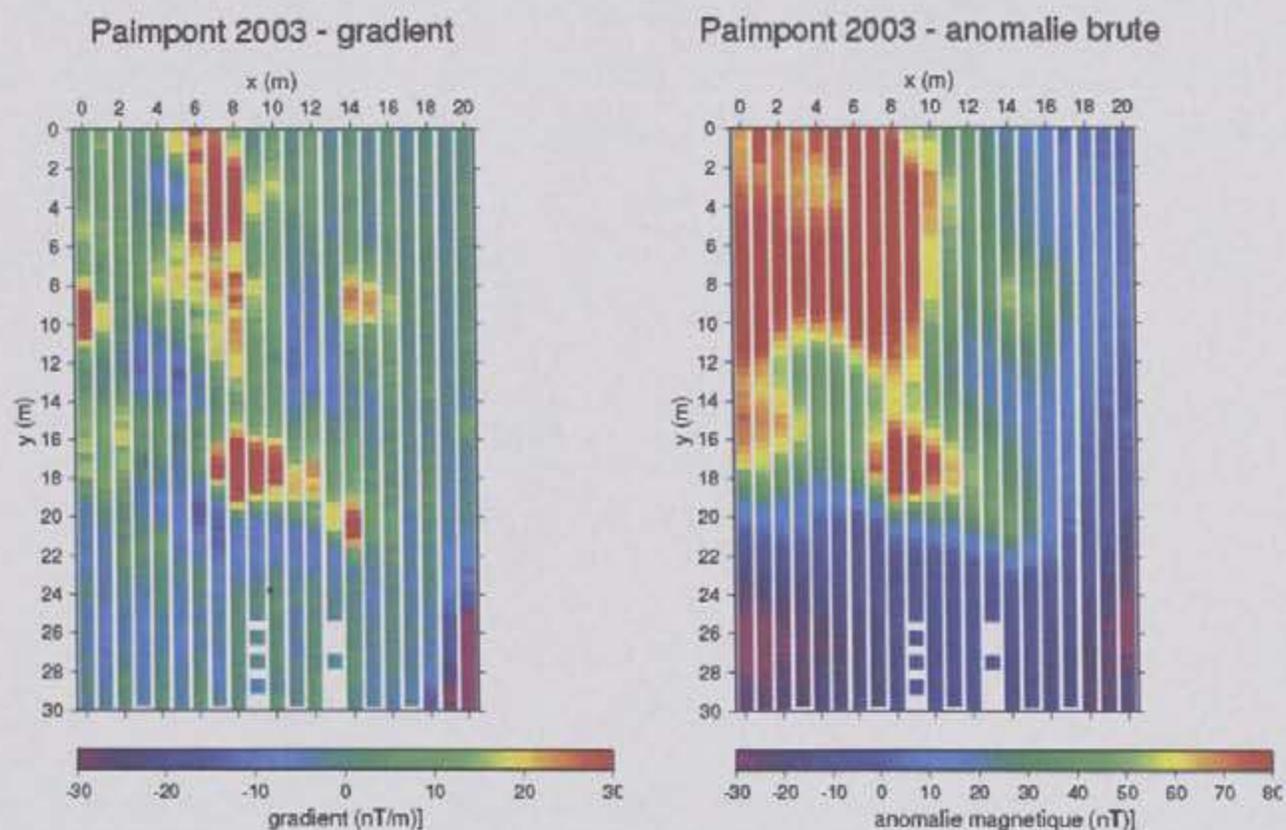
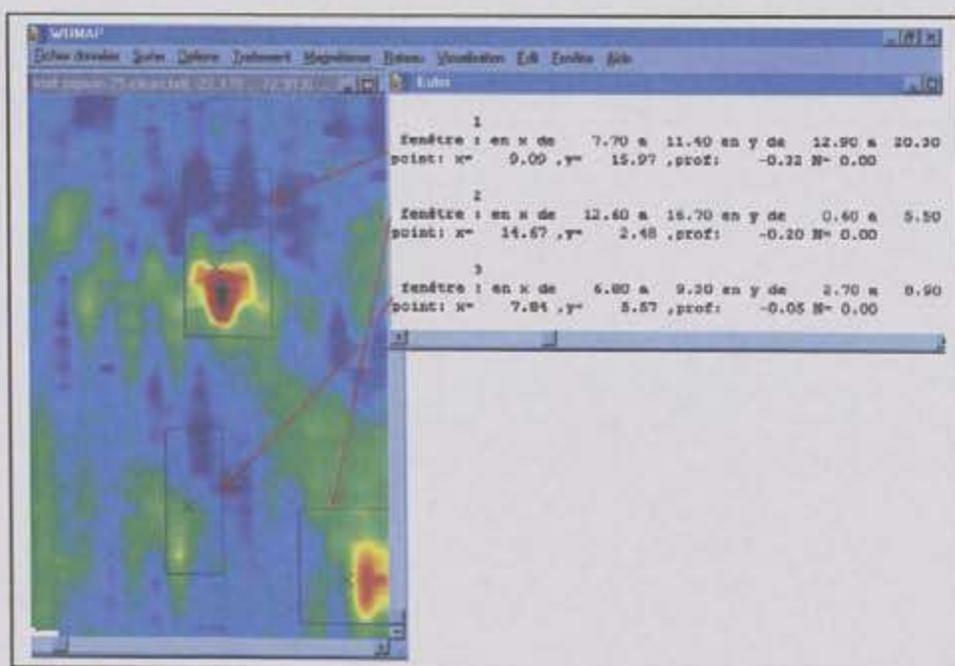
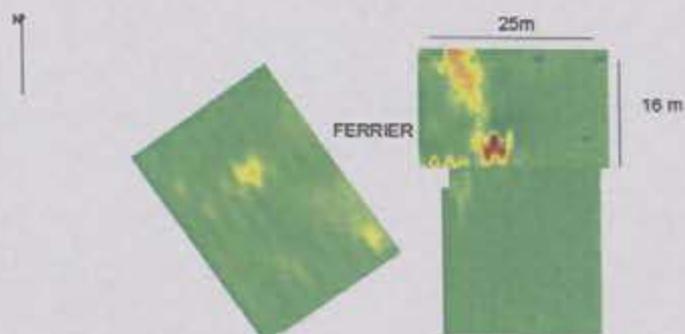
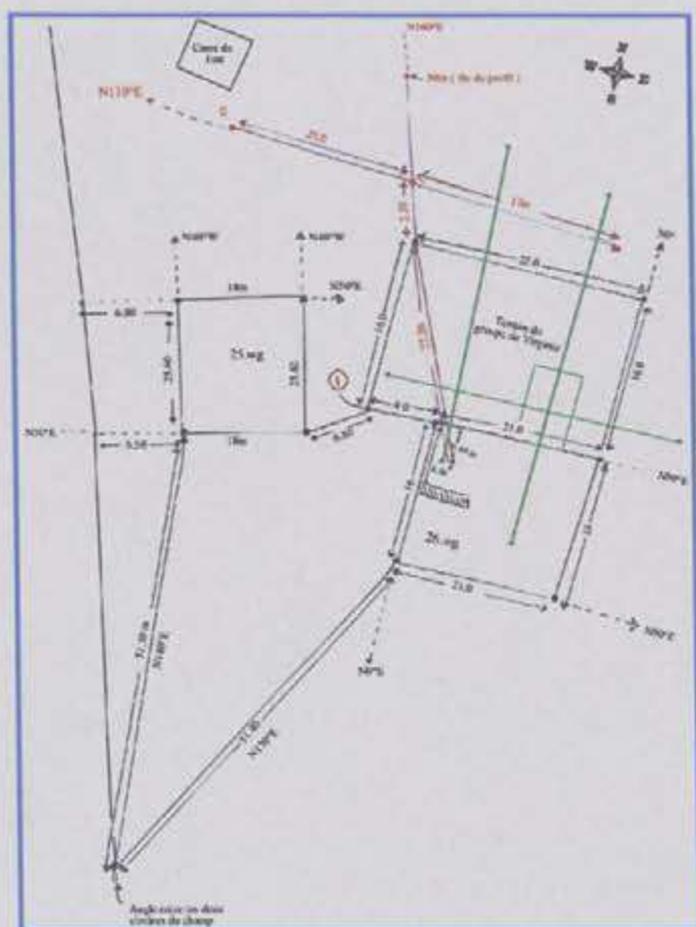


fig. 22 : LE VERT PIGNON III en Paimpont (35) – carte magnétique levée au sud du ferrier, à l'emplacement des futurs sondages S101 et S102, en croix ; le nord est dirigé vers le bas de la figure (Florence Nicollin et étudiants de Géosciences, Université de Rennes I). En bas, même secteur levé en 2004 (le nord est en haut).





Echelle de gradient : de -260 à +210 nT.

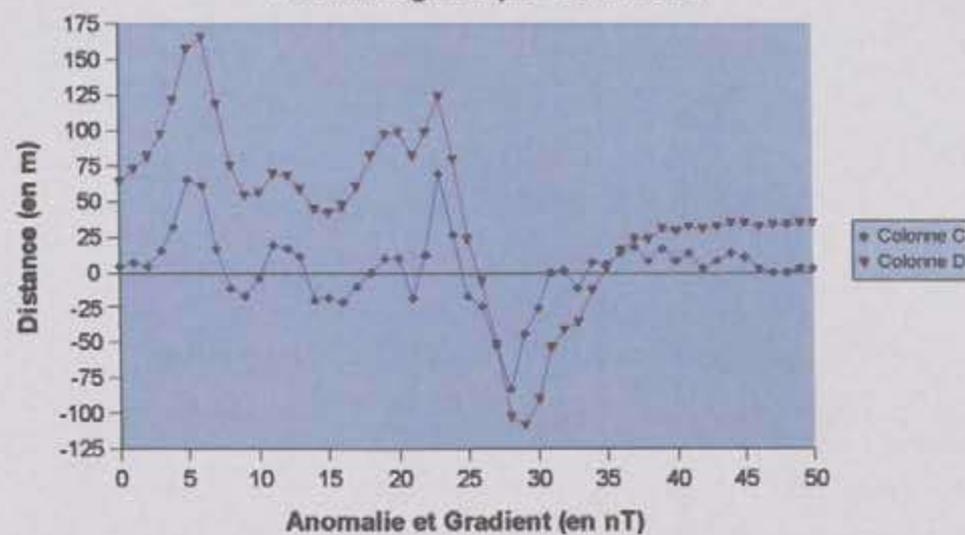
Figure n° 23 - Ensemble des terrains levés en prospection magnétique et électrique sur le site de Vert-Pignon III en Paimpont (35).

En noir, figure les rectangles des cartes magnétiques.

En vert, le tracé des panneaux électriques et du rectangle où a été réalisé le bloc 3D en résistivité.

En rouge, le tracé des profils magnétiques.

Profil magnétique Sud-Nord





Photos 47, 48, 49 : Ferrier du Vert Pignon III en Paimpont (35), vu de l'est (ci-dessus) et clichés aériens des sondages (M. Gauthier).

PLANCHE 10.

Photo 50 : Le Vert Pignon III - Sondage S101.



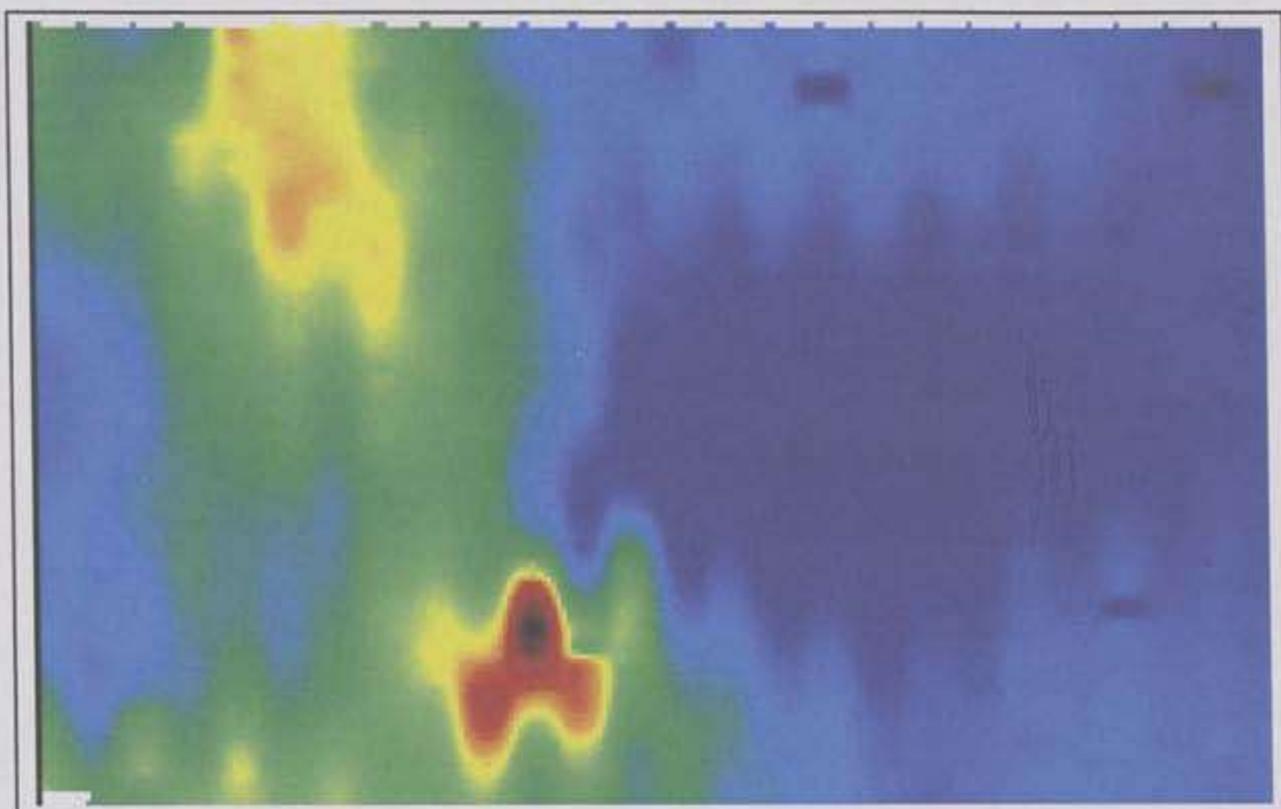


Fig . 24 : Vert Pignon III en Paimpont (35) – Levé serré sur l'anomalie magnétique principale.

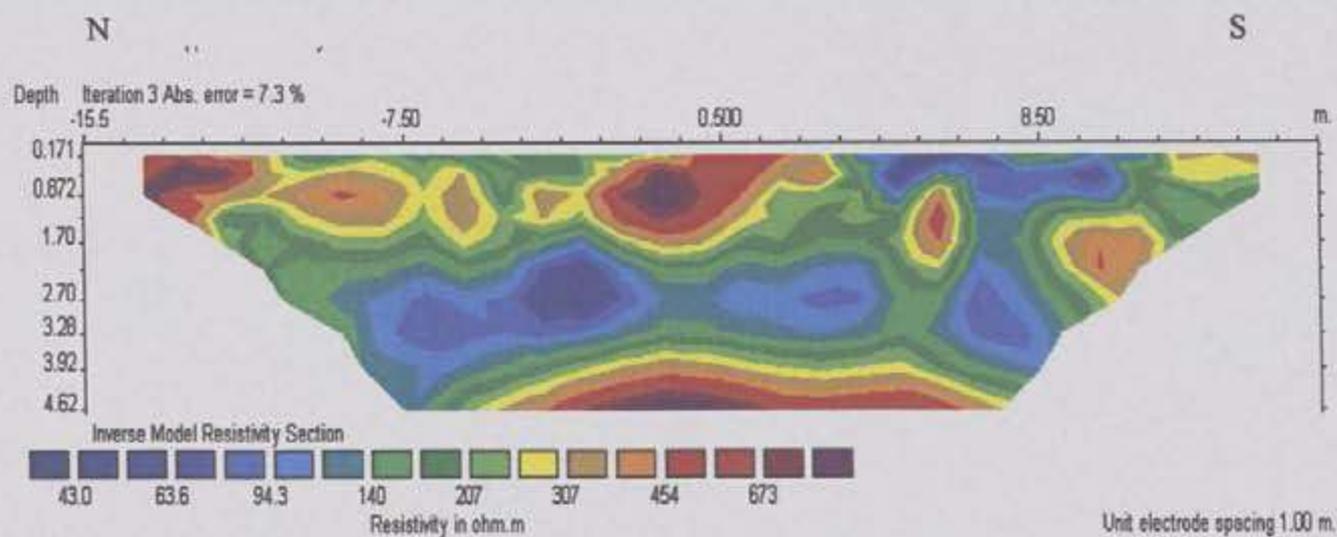
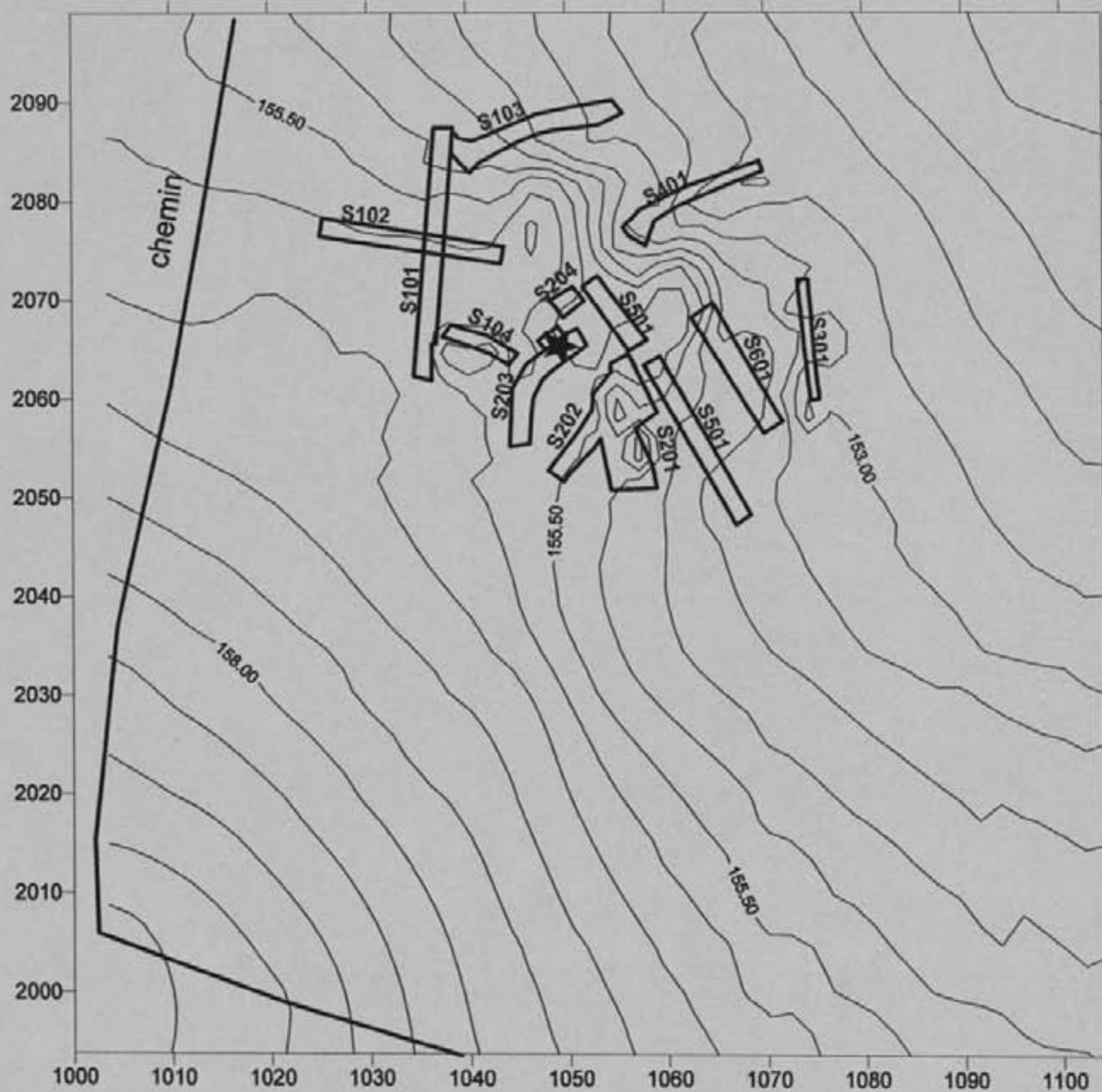


Fig . 24 bis : Vert Pignon III en Paimpont (35) – profil électrique sur l'anomalie magnétique principale.

★ Fourneaux ou foyers métallurgiques F1, F2 et F3



Le Vert Pignon III - PAIMPONT (35)

Topographie générale et implantation des sondages

Fig.25

4. sondages

A partir de ces données, des sondages, dans un premier temps d'estimation, ont été réalisés à l'emplacement des anomalies magnétiques et électriques constatées. En l'absence de structure de combustion dûment constatée, ils ont été suivis d'opérations plus conséquentes. Une douzaine de sondages pour la plupart en tranchée, ont été ouverts et relevés de façon systématique, afin de tenter de reconnaître, dans leur contexte, l'existence de bas fourneaux pour la production de métal, ou de bas foyers propres à mettre en forme et travailler le métal (fig. 25 et Pl. 9).

4.1 Sondages du secteur sud du ferrier (S101, S102, S103, S104)

4.1.1 Sondage S101.

Ce sont à la fois les anomalies magnétiques enregistrées (fig. 22), la position de cette zone, surplombant le ferrier, de même que les traces de continuité apparente de ce dernier sur les photographies aériennes, qui ont incité à ouvrir le premier sondage à cet emplacement. On peut supposer en effet que les rejets volumineux se font plutôt en aval des appareils. Il s'agissait notamment de vérifier si la zone d'activité se poursuivait ou non dans ce secteur ne montrant qu'un modeste bombement. La proximité de la voie en cailloux de schistes rouge, qui longe la parcelle, créée à l'emplacement d'un chemin creux, est susceptible de fournir une voie d'accès ancienne au site.

L'enlèvement de la semelle de labour a tout de suite livré une épaisse couche de scories bulleuses, attestant par là même, la réalité de cette occupation industrielle (Pl.9 et 10). Le décapage a révélé également la présence de couches rouges granuleuses, fortement attirables à l'aimant, à l'origine des anomalies magnétiques enregistrées.

L'apparition, du côté est du sondage, d'une petite aire de moellons d'argile orange et d'argile blanche au sein de ces couches de scories, a incité à stopper l'exploration mécanique à un niveau situé à environ 20 cm de profondeur, sous la sol de la prairie. La fouille manuelle a montré que ce rejet particulier était simplement noyé dans la masse de scories. Il s'accompagnait d'un sédiment grisâtre, dilué dans le sédiment orange, qui recèle des battitures, qui expliquent également les anomalies magnétiques.

Des sondages test ont été effectués manuellement pour reconnaître la nature des couches accumulées et estimer leur épaisseur. Ainsi entre les abscisses 9 et 10 m prises à partir de l'extrémité est, on atteint le sol de limon blanc sous les couches de rejets métallurgiques à une profondeur de 80 cm.

Les vues en coupe montrent que les couches de sédiment rouge, inclinées et bombées, soulignent la superposition des rejets successifs, pratiquement impossible à discerner lorsque les amoncellements ne sont constitués que de scories (photo §). Cette disposition montre bien la succession des tas, qui viennent chevaucher les amas précédents tout en progressant. Les enregistrements qui en ont été faits sont susceptibles de permettre une reconstitution dans l'évolution, il faut dire assez complexe, des rejets. S'agissant assez souvent de juxtaposition d'amas s'appuyant les uns sur les autres, sans toutefois se recouvrir parfaitement les uns les autres, leur chronologie relative est problématique.

Concernant ce sondage, on notera dans un premier temps, que l'évacuation des déchets métallurgiques progresse du sud-est vers le nord-ouest, notamment dans cette deuxième moitié du secteur, qui présente une déclivité précisément vers le nord-ouest.

L'extrémité du sondage, toujours dans cette direction, a livré une butte de terre, recouverte par les rejets, et sur laquelle vient mourir les couches de scories. Cette occurrence laissait espérer l'existence d'un talus qui aurait permis une orientation générale du secteur d'activité métallurgique.



Photos 51 et 52 : Vert Pignon III – sondage S101. vu vers le nord ouest et coupe au centre.



Photos 53, 54 : Sondage S102 – poste de broyage du minerai grillé (à gauche), enclume probable (ci-dessus). Photo 55 : sondage S103 (ci-dessous)

PLANCHE 11.



Afin de vérifier cet aspect un sondage a été entrepris à ce niveau dans la direction perpendiculaire, en direction du nord (sondage S103). Le dégagement qui a été réalisé de ce relief argileux ne confirme pas la fonction de talus envisagée.

4.1.2. Sondage S102 – extension du ferrier - table de broyage - témoins d'opérations de post réduction.

Afin de reconnaître l'étendue du ferrier vers le sud, un sondage a été pratiqué perpendiculairement à S101 (Pl. 10). Il a été poursuivi vers le nord, vers le cœur du ferrier de manière à tenter de rencontrer des structures de combustion. L'ouverture vers le sud confirme l'existence d'un prolongement du ferrier dans cette direction bien au-delà de ce que l'on pouvait imaginer au premier abord. Ainsi les couches de scories sont présentes jusqu'à 12,50 m de l'extrémité nord du sondage, en quantité notable, soit à une distance de simplement 16,5 m du chemin qui jouxte la parcelle.

Concernant l'aile nord du sondage, on observe une très forte épaisseur de rejets, qui atteignent 2 m de hauteur. Les couches supérieures de l'extrémité nord de l'ouverture sont globalement horizontales. Elles viennent s'appuyer et recouvrir un gros amas constitué presque exclusivement de scories, dont le sommet (1,26 m au dessus du niveau du substrat) se situe à 4,20 m de cette extrémité. Cette disposition indique un rejet réalisé au moins en deux temps. La première phase s'est traduite par la création d'un premier monticule, un peu à l'écart à priori de la zone centrale, tandis que les dernières phases de rejet paraissent provenir logiquement d'un lieu situé vers le centre du ferrier.

Un très gros bloc de pierre, pseudo cubique, d'une quarantaine de centimètres de côté, inséré dans ces niveaux de rejets, porte de multiples petites traces d'impact, imprégnées d'oxydes de fer. Il y a tout lieu de penser qu'il ait pu servir d'enclume.

Par ailleurs, une petite poche située dans une couche sous-jacente, 2,20 m plus au sud du bloc, livre de petites scories en gouttelettes et petits cordons, très différentes des scories bulleuses constitutives du ferrier. Elles se rapportent presque certainement à des phases de travail de postérieures à la réduction du minerai de fer.

Sur presque toute la surface du sondage on rencontre un niveau de sédiment rouge qui recouvre une légère couche de charbon de bois, elle-même disposée à la surface du substrat. Un prélèvement a été effectué dans cette dernière couche ainsi que dans une autre couche charbonneuse appartenant à la même coupe et localisé au sein des couches de rejets supérieures, repérées 96 cm plus haut, à des fins d'analyses anthracologiques, dendrologiques et dendrochronologiques. Il s'agit en particulier de tenter d'identifier des charbons pouvant se prêter à cette dernière technique afin de fournir une datation précise de ces deux stades de constitution du ferrier, ou à défaut d'obtenir une datation relative, permettant de préciser en combien de temps ce type d'amas a pu se constituer.

La découverte d'un bloc de grès quadrangulaire disposé à plat, à même le sol, dans ce premier niveau, fournit un élément d'interprétation majeur concernant le travail de préparation du minerai et la présence récurrente de ces couches de sédiment rouge. En effet le bloc en question se trouvait parfaitement inséré au milieu d'une couche granuleuse rouge carmin. Ce dépôt, d'emprise bien délimitée, forme un petit monticule s'appuyant de toutes parts sur la pierre en grès. Ses dimensions est-ouest sont de 1 m, et de 30 cm dans l'axe perpendiculaire. Un petit niveau de charbon de bois apparaît par endroits entre le sédiment rouge et le sol, notamment à son extrémité ouest. Etiré vers l'ouest et vers le sud par rapport à la position de la pierre, le petit tas prend une allure quelque peu en arc de cercle. L'espace libre dans la direction centripète pourrait suggérer la position d'un ou deux opérateurs (tel qu'on le perçoit, chez les tailleurs de matériaux lithiques, à des périodes bien plus reculées). Les coupes stratigraphiques réalisées montrent que la pierre ne repose pas sur le sédiment rouge, hormis une faible infiltration, mais se trouve au contraire bien incrustée dans le sol sous-jacent.

La surface supérieure de cette dernière, globalement plane, présente deux légères dépressions, montrant très nettement un piquetage et une abrasion. La pierre a pour dimensions extrêmes : 38 x 29 x 13 cm. La surface utile de la table, tournée vers le ciel dans sa position de découverte, est de 27 x 22 cm. Seule une zone pseudo-circulaire de 17 cm de diamètre a été utilisée. On compte quatre zones dépressionnaires ovales plus marquées. Leurs dimensions sont approximativement de 6 x 4 cm pour deux d'entre elles, et 4 x 3 cm pour les deux

autres. Leur profondeur est de l'ordre du demi-centimètre. Les deux plus grandes et une troisième, plus petite et jointive, sont imprégnées d'une pellicule adhérente rouge similaire à celle du minerai grillé. Ces différents éléments renvoient à un travail de broyage par percussion et écrasement.

Deux blocs de ce type avaient été découverts sur l'amas A11 du site de Trécélien (Vivet, 2003), en position secondaire de rejet à la surface du ferrier. Ils comportent de façon répétitive des cupules (1 à 3 par face) sur plusieurs faces. On note également sur ces derniers un effet de piquetage marqué. On peut dès lors envisager une même fonction dans les deux cas, consistant à broyer le minerai grillé, de manière à le ramener à un faible module. On a déjà évoqué l'intérêt d'un tel traitement, permettant une attaque à cœur du minerai dans le bas fourneau, en augmentant la surface de contact et la pénétration des gaz réducteurs dans la roche.

4.1.3 sondage S103

Ainsi qu'il a été précisé, le sondage visait en premier lieu l'identification d'un talus éventuel, qui, de ce fait ne s'est pas trouvé confirmée. Son prolongement vers le nord-est a été réalisé en vue de s'avancer vers le centre du ferrier en profitant d'un dégagement du à un prélèvement moderne, matérialisé par une coupe franche, formant une sorte de micro-falaise. A sa surface avaient été identifiés plusieurs parois de four, d'une masse individuelle voisine de 5 kg environ.

Aucune structure particulière n'a été notée. L'observation en coupe du ferrier, montre à nouveau la présence de couches rouges et oranges dans sa constitution. Un nettoyage soigné du fond du sondage n'indique l'existence d'aucun trou de poteau dans ce secteur.

4.1.4 sondage S104

La disposition des dernières couches de rejet décrite précédemment dans l'aile nord du sondage S102 a incité à orienter l'ouverture d'un nouveau sondage vers le cœur du ferrier, dans la limite de l'espace disponible entre les arbres (Pl.12).

Ce sondage montre à nouveau une forte accumulation de scories, dont la puissance atteint 1,40 m. La topographie montre un dénivelé du sud vers le nord de 26 cm, également visible en coupe sous la forme d'une sorte de marche émoisée. Sur la face nord du sondage (extrémité), une épaisse couche de sédiment rouge, soulignée par des niveaux de charbon, apparaît à mi-hauteur, avec une inclinaison ouest - est. A partir de cet angle, sur la face est, elle s'arrête au bout de 90 cm. Une autre couche recouvrant un niveau de charbon de bois directement posé sur le sol, reprend 1,10 m plus loin, tout en suivant le dénivelé du sol. Sur la face opposée, une couche de même nature est observable par contre juste en face dans les niveaux supérieurs.

Cette conformation en dénivelé du relief a incité par la suite à ouvrir dans cette direction un nouveau secteur, dans l'hypothèse où, comme à Trécélien, les appareils ont pu être installés en rupture de pente du terrain.

4.2 Sondages du secteur sud-est du ferrier (S201, S202, S203, S204).

4.2.1. Sondage S201 – anomalies magnétiques et électriques – couches de sédiment attirable à l'aimant - four vraisemblablement domestique - caniveau.

Le sondage approximativement rectangulaire au départ (S201) a été étendu dans un deuxième temps vers le nord (échancrure de S201 dans cette direction), et sous la forme d'une tranchée sondage vers le sud (S202), compte tenu des structures rencontrées (fig. 26).

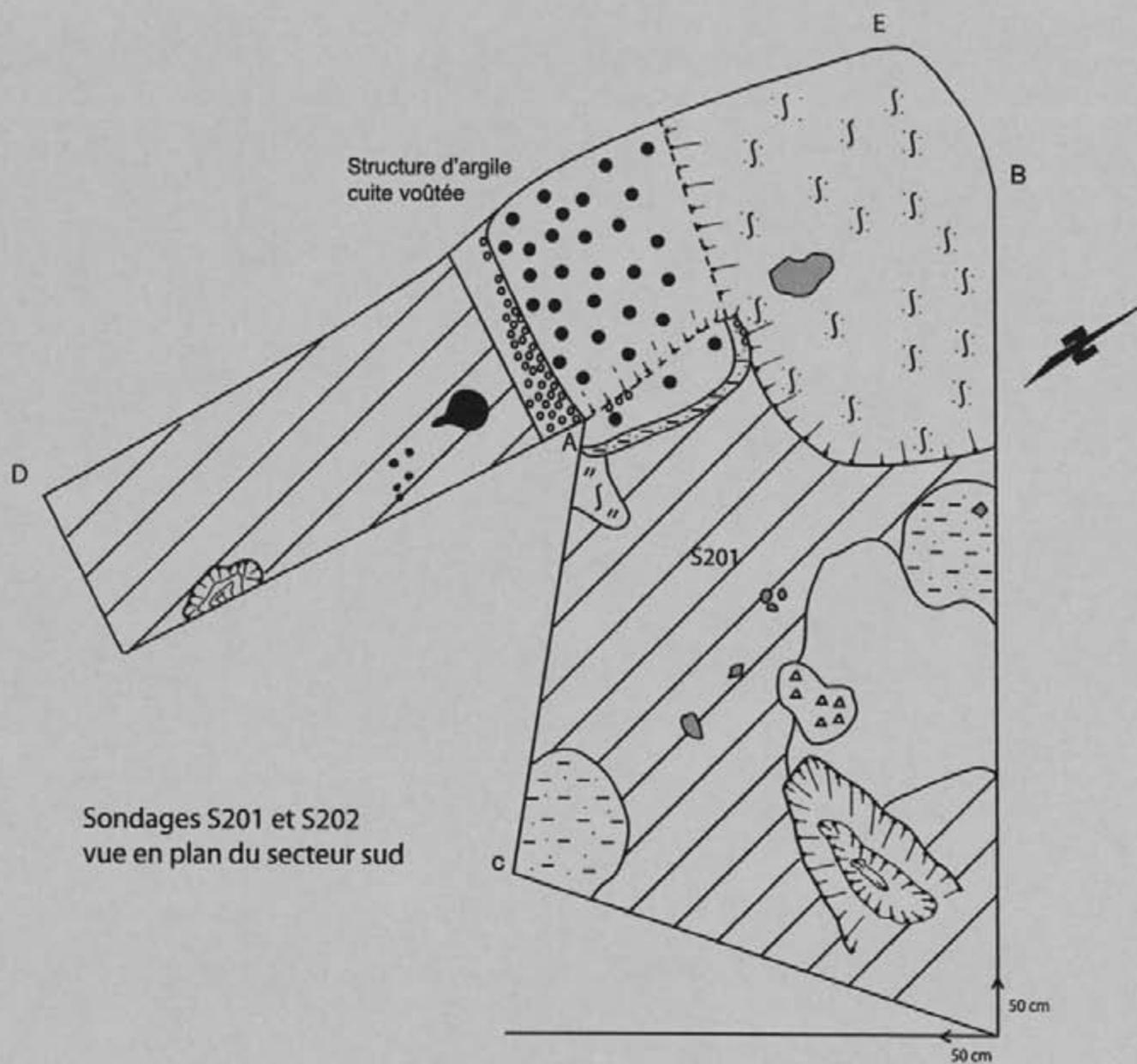
Le sol du sondage primitif, à la limite des couches de scories du ferrier et des labours, est relativement plat avec une légère pente vers le nord-est, conforme au relief général du terrain. Par contre, son extrémité ouest présente une brusque chute de niveau, livrant un espace très en contrebas du sol précédent, avec une zone plus particulièrement profonde, sorte de fosse, située dans l'angle nord-ouest. Ce secteur est entièrement recouvert par une couche de scories spongieuses.



Photos 56 à 62 : sondage S201 et S02
- structure voûtée.

PLANCHE 12.





Sondages S201 et S202
vue en plan du secteur sud

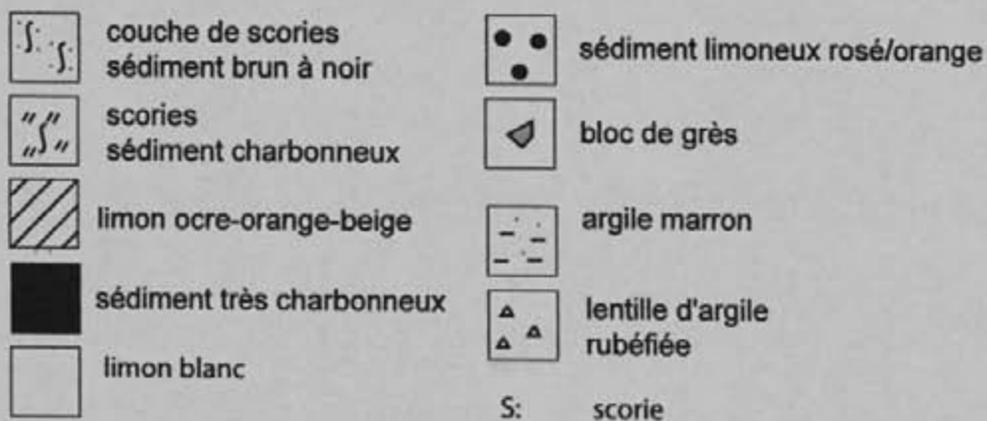
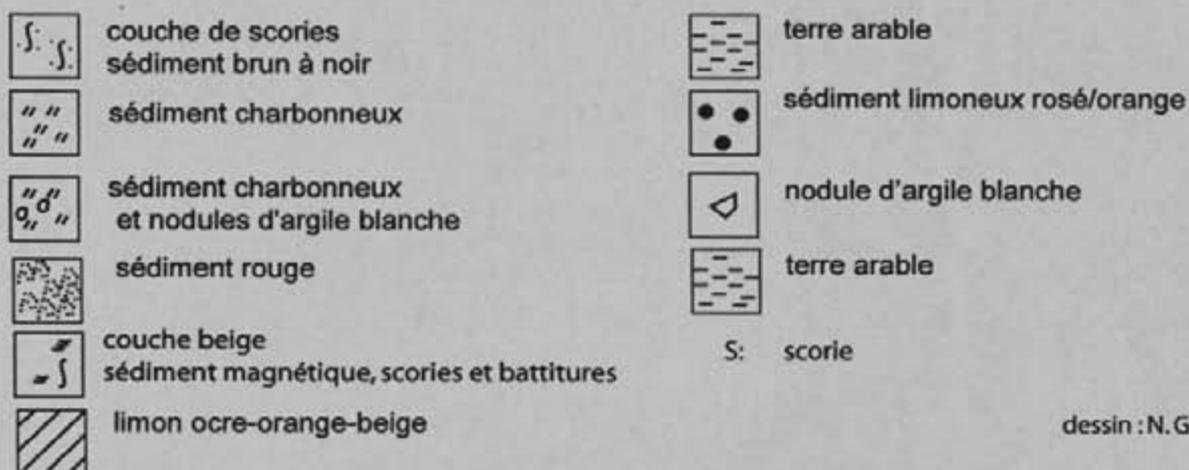
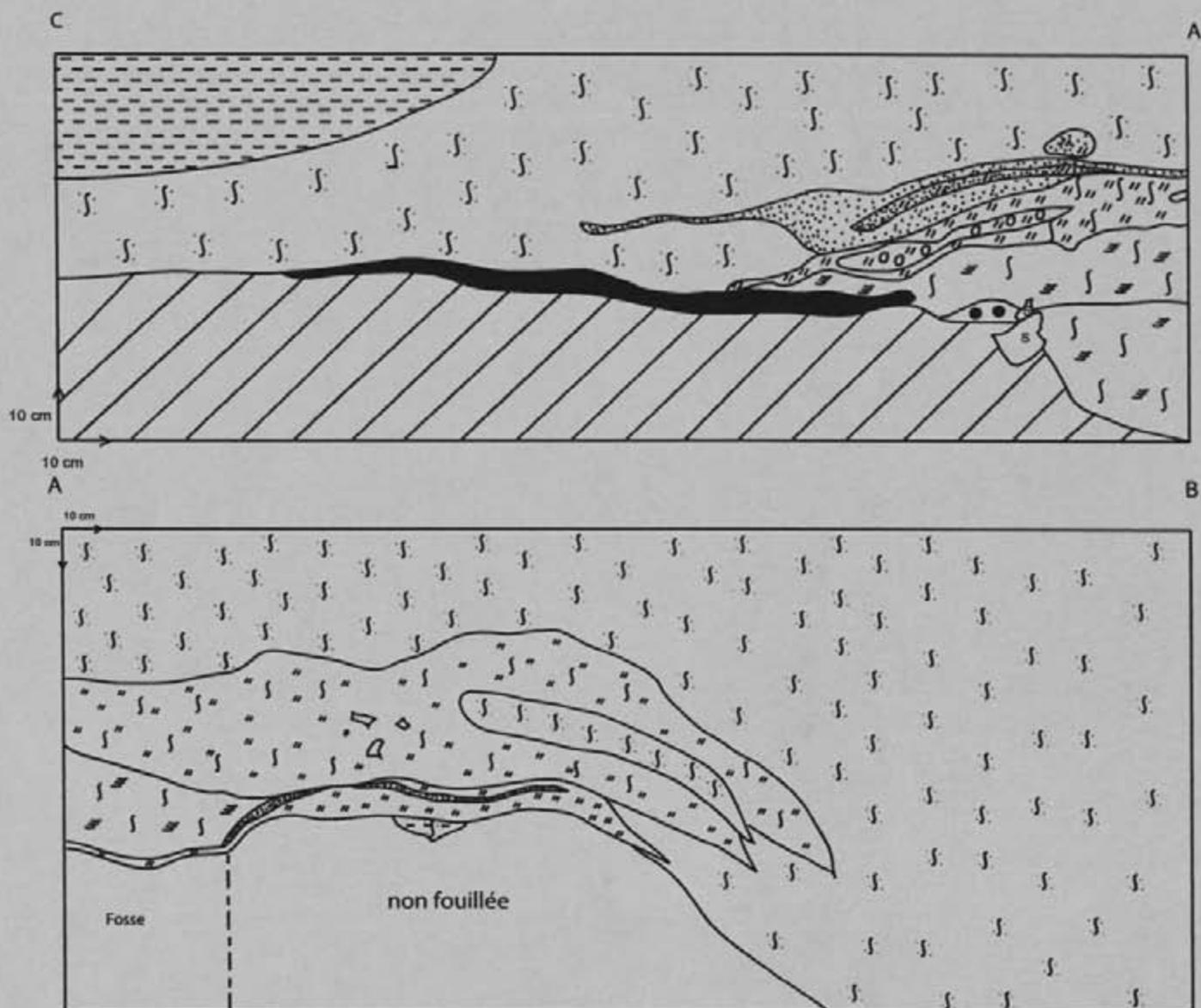


Fig.26

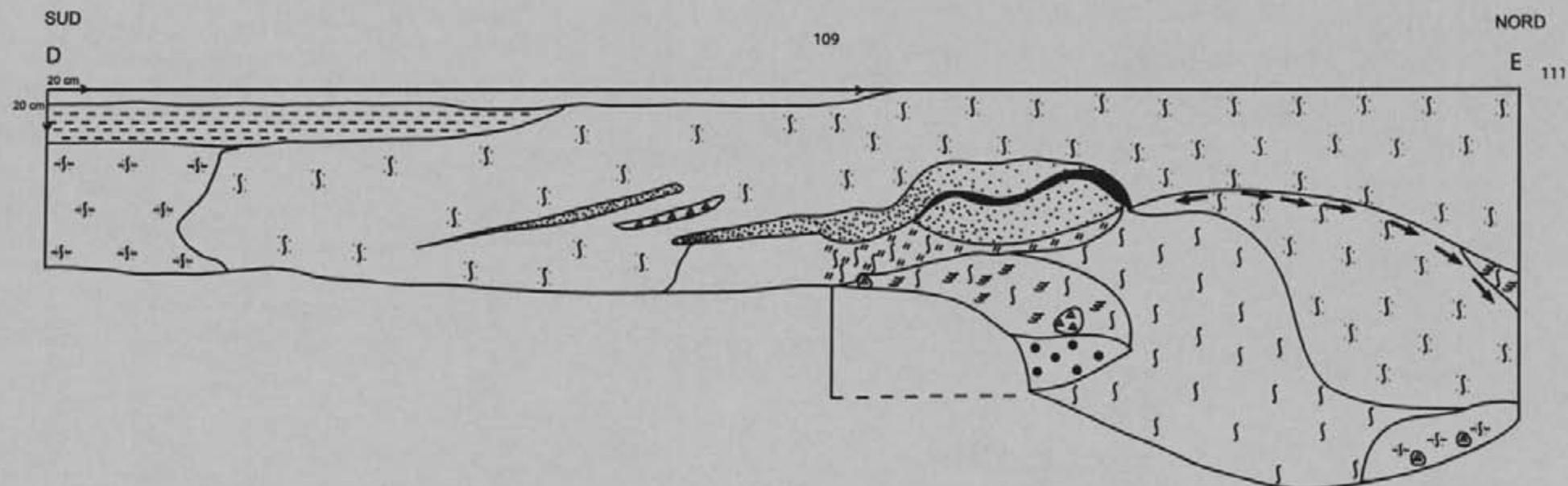
dessin : N. GIRAULT et J-B.VIVET



dessin : N. GIRAULT

Sondages S202 et S201 secteur sud
coupe sud-nord : A - B
coupe est-ouest : C - A

Fig.27



- | | | | |
|--|---|--|--|
| | scories
sédiment marron | | argile rubéfiée |
| | couche de scories
sédiment brun à noir | | sédiment limoneux rosé/orange |
| | sédiment carbonneux
et scories | | scories
dans argile blanche |
| | sédiment rouge | | couche beige
sédiment magnétique, scories et battitures |
| | argile blanche | | terre arable |

Fig.28

Sondage S202 et S201 secteur sud
coupe sud - nord : D - E

dessin : Nicolas GIRAULT

a) anomalies magnétiques et électriques – couches de sédiment attirable à l'aimant

La prospection magnétique a révélé à cet emplacement l'anomalie du magnétisme terrestre tout à fait prépondérante, et bien localisée, déjà citée. Par suite, toujours dans le cadre méthodologique, un enregistrement faisant appel à des mesures électriques a également été conduit au même endroit, afin de comparer les deux approches géophysiques. Le relevé électrique correspond à un profil traversant du sud au nord l'anomalie magnétique précédente en passant par son centre. La vue en coupe de ce profil montre également une très forte anomalie électrique à l'emplacement même de l'anomalie électrique (fig. 25). Tout portait donc à croire à la présence d'une structure importante à cet endroit.

La fouille de cette zone n'a pas livré les bas fourneaux escomptés, mais a fourni des structures tout à fait intéressantes. La présence d'une couche de sédiment rouge, de niveaux gris et beiges, extrêmement attirables à l'aimant, paraît bien devoir expliquer l'anomalie magnétique enregistrée.

Les coupes AB, AC, et DE ci-jointes rend compte de la superposition des différentes catégories de rejets (fig. 27 et fig. 28). Des prélèvements systématiques ont été opérés dans ces divers niveaux afin de mieux identifier leur nature. Une première observation montre déjà la présence de battitures en grand nombre dans le niveau gris très sec et très peu tassé.

Une couche de sédiment rose saumon, non attirable à l'aimant, extrêmement friable et poussiéreuse, apparaît entre ces dernières couches et un nouveau niveau de scories.

Ces différentes présences expliquent, moins bien le très fort contraste de résistivité électrique observé. Cependant une importante fosse, remplie de scories est apparue dans le substrat. Ce creusement s'est avéré humide contrairement à l'ensemble du rejet de scories, qui draine très bien l'eau. La conductivité est, de ce fait, bien plus forte dans cette zone. A cela s'ajoute l'impact du creusement très important qui a été ménagé à cet endroit, situé au niveau d'une rupture de pente prononcée du terrain.

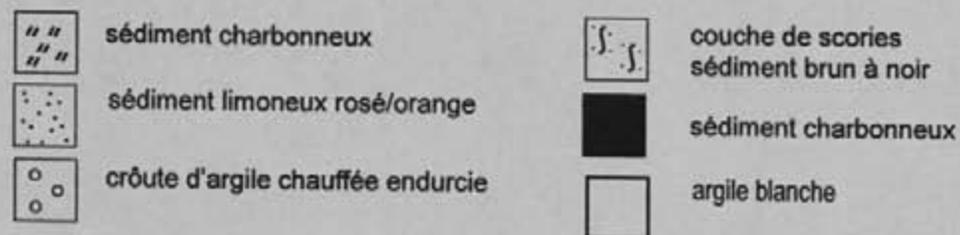
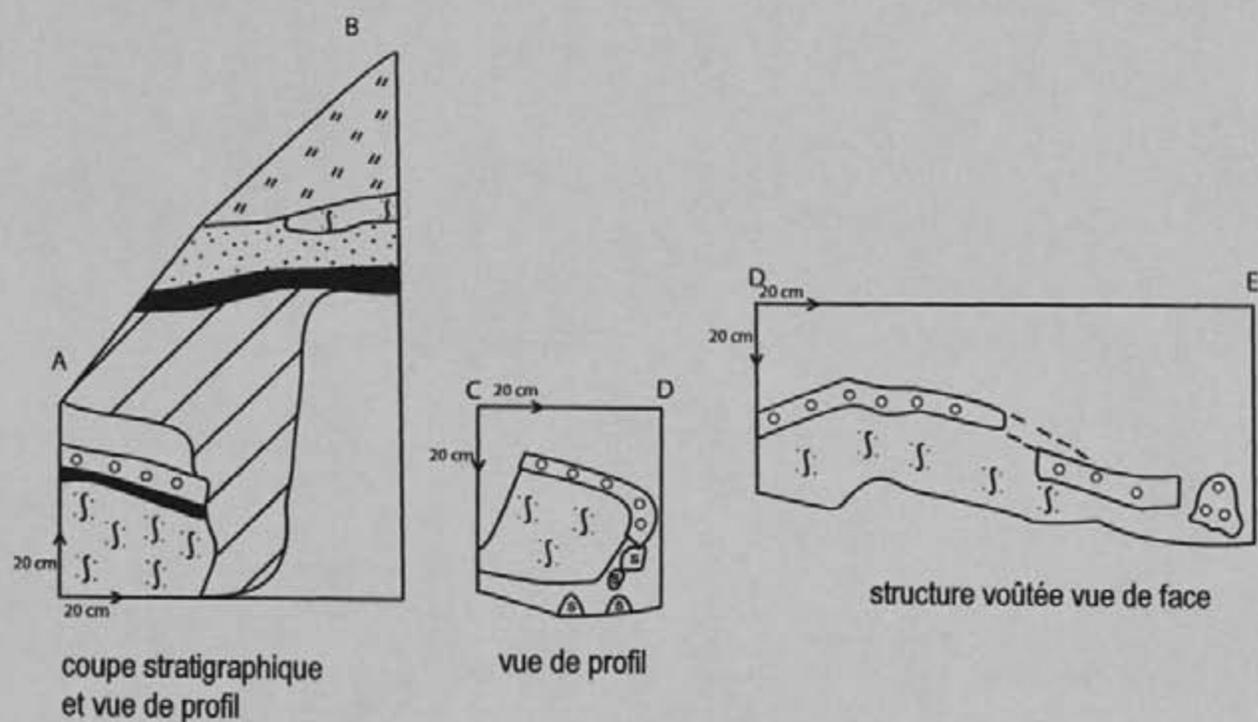
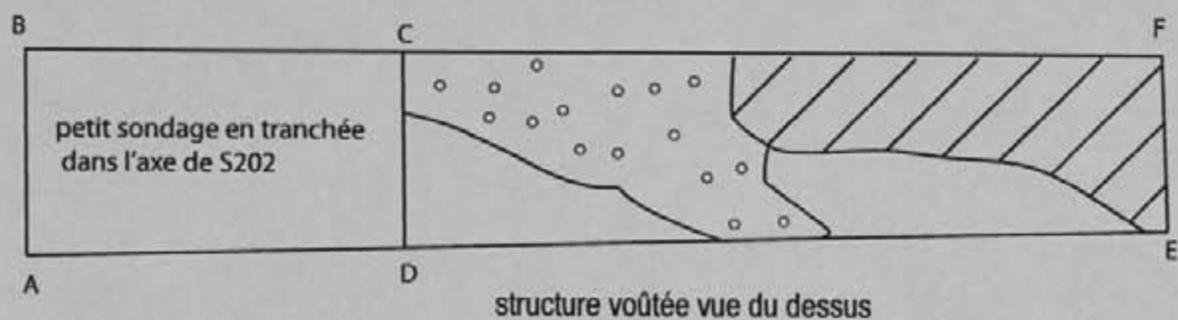
Un protocole de prélèvement a été mis en place de manière à échantillonner de façon systématique les couches en place directement dans la coupe, de manière à identifier plus précisément leur nature ultérieurement.

La fouille des niveaux les plus profonds a livré en réalité deux structures particulières. L'une présente l'aspect d'un four en dôme, et l'autre est un canal, vraisemblablement de drainage, rencontré dans le prolongement de la fouille en direction du nord (sondage S202).

b) Structure voûtée en blocs d'argile cuite – hypothèse d'un four domestique.

Bien qu'entièrement colmatée à l'intérieur et à l'extérieur par des scories spongieuses, la première structure n'est pas obligatoirement liée à l'activité métallurgique. Elle se présente essentiellement sous la forme d'un espace surmonté d'une voûte, qui pourrait avoir été aménagé partiellement en sape dans la pente naturelle du terrain. Elle présente, à l'intérieur, un revêtement réalisé en moellons d'argile orange (Pl.12). La partie conservée en forme, sur le flanc sud, a pour dimensions 2,35 m en largeur, 48 cm en profondeur, et 44 cm en hauteur sous la voûte (fig. 29). En coupe transversale, celle-ci se referme vers le sud, et montre le début d'un retour de la paroi vers l'intérieur en extrémité. La partie centrale de la structure semble s'être complètement désagrégée. Seule apparaissait à cet endroit, dans le niveau supérieur, une couche très conséquente d'argile pulvérulente rose saumon. Celle-ci s'arrêtant juste à la limite de l'emprise du sondage, elle n'apparaît que faiblement des coupes stratigraphiques enregistrées. Les reliquats de moellons oranges soudés sont observables en coupe, en périphérie de la structure, ce qui pourrait porter ses dimensions hors tout, vues en plan, autour de 2 m de côté.

Les blocs de façonnage interne n'ont subi qu'une chauffe modeste, et ne présentent aucune surface scoriacée. L'aspect plan de certains d'entre eux, et l'absence de gradient de rubéfaction, semblent indiquer qu'ils ont dû subir une première cuisson, et qu'ils constituent de ce fait plutôt des matériaux de récupération déjà stabilisés, que l'on a agencés et assemblés de manière assez approximative. On se demande, de fait, comment la construction pouvait tenir. Quoiqu'il en soit, la structure pourrait s'apparenter à un four domestique, tel un four



structure d'argile cuite voûtée
sondage S201

Fig. 29

mise au net du dessin : N. GIRAULT

à pain. La couche en place à l'intérieur, et ne montre pas de niveau cendreux ou charbonneux. Constituée de scories bulleuses en partie imprégnées d'argile jaunâtre-beige, elle ne paraît être très logiquement liée à son fonctionnement, mais résulter d'un comblement qui serait postérieur à son utilisation.

D'autres hypothèses sont envisageables, faisant intervenir un déplacement des matériaux du sol ancien. L'argile sus-jacente a pu venir recouvrir la frange sud et sud-est de la structure par solifluxion. Cet effet pourrait expliquer le contact intime du sédiment d'argile blanchâtre avec les blocs d'argile cuite orange de la structure voûtée, et l'absence de rubéfaction. Elle expliquerait également la poursuite du niveau de scories retenu par la structure, en dehors de celle-ci, dans tout le secteur est, également sous une masse d'argile blanc-jaunâtre d'au moins 40 cm, jusqu'à une distance latérale de 50 cm des bords plus tangibles de la fosse.

On peut considérer dans tous les cas de figure que ces parties de la structure ont été préservées des détériorations ultérieures par la masse du sédiment argileux. La couche d'argile pulvérulente saumon mentionnée précédemment résulterait au contraire des actions anthropiques et météorologiques sur la partie centrale. Le comblement compact de la structure par des scories et l'aspect particulier de cette couche, pourrait alors s'expliquer par la nécessité de pouvoir circuler en sécurité dans ce secteur, en évitant une chute par effondrement de la structure. Un basculement d'un bâti d'argile cuite dans cette zone surcreusée peut également être évoqué. Il expliquerait cependant mal la coïncidence entre le bord sud de la structure et la limite de l'accumulation de scories sous-jacente.

Il n'est pas aisé, pour le moment, de préciser la destination de cette structure, qui nécessite en particulier une étude comparative avec les éléments fournis par des opérations de fouille ayant livré des fours domestiques contemporains, voire éventuellement aussi avec l'iconographie.

On note enfin la présence unique d'un trou possiblement de poteau, sur le rebord est du canal décrit ci-après, ne montrant aucun calage particulier, de forme un peu oblong, de 15 x 20 cm de section. Son comblement est constitué de sédiment très charbonneux.

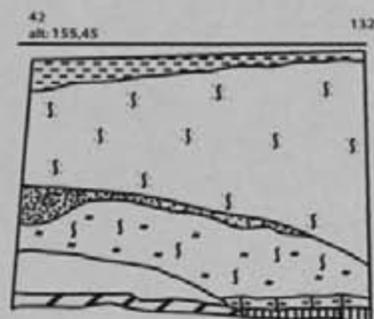
On peut envisager que l'ensemble de ce secteur puisse se prêter à un espace de restauration et de protection des métallurgistes. Cependant l'absence de mobilier céramique dans cette zone ne plaide pas vraiment en faveur de cette hypothèse. Il est donc actuellement difficile de définir son rôle vis-à-vis de l'activité essentielle du site. Reste que cet espace a fini par être définitivement clos par un remplissage massif de scories spongieuses.

c) canal.

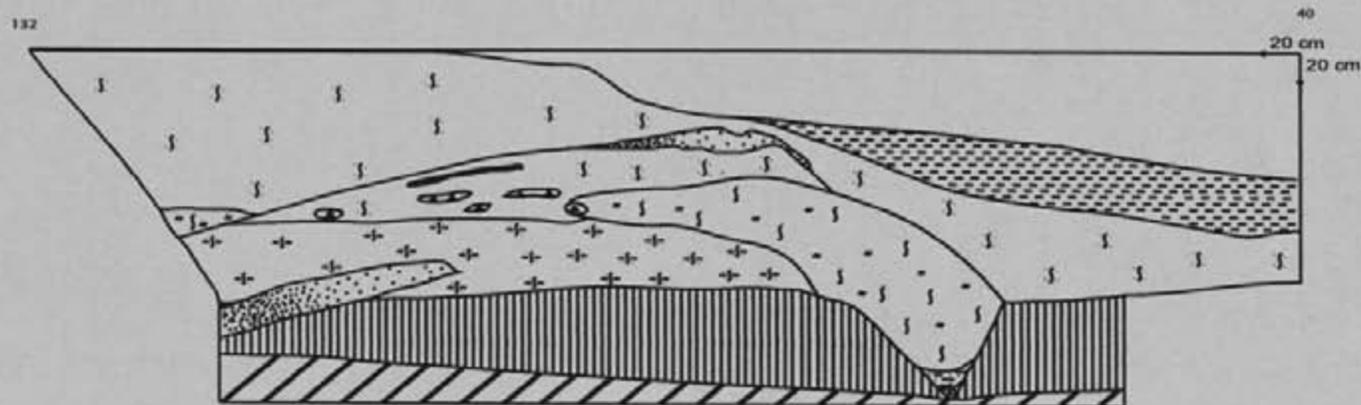
La deuxième structure présente l'allure d'un canal ou caniveau creusé dans le substrat. Il se trouve lui aussi essentiellement comblé par des scories. Celles-ci se sont en partie incrustées dans les parois, perturbant de ce fait quelque peu les limites de creusement originelles. Le tronçon observable dans ce sondage est de 3,40 m. Sa largeur s'établit en moyenne entre 70 et 80 cm (Pl. 14). Son profil est assez proche d'une forme en « V ». Ceci en limite la section efficace, contrairement à celle d'un fossé à fond plat, mais préserve mieux les parois. Sa profondeur s'établit entre 40 et 60 cm. L'observation des différentes coupes montre qu'il a été comblé lors de la formation des amas de scories situés en amont, comportant par endroits des zones très charbonneuses. Le comblement n'apparaît donc pas comme particulièrement volontaire. Aucune couche argileuse n'est venue colmater à son niveau supérieur. Par contre la qualité de l'argile plastique qui en occupe les derniers 20 cm, montre qu'il a fonctionné en milieu plutôt réducteur et n'a donc pas été récuré, pendant un certain temps. Les scories qui existent dans ces couches et les inclusions charbonneuses, semblent attester qu'il a été ouvert pendant l'activité métallurgique.

Côté amont, le canal se dirige vers le sud - sud ouest. Bien que la fosse du sondage S201 n'ait pas été entièrement fouillée, le tracé du caniveau n'aboutit pas dans l'axe de la partie la plus profonde que l'on a pu reconnaître. Il n'est pas impossible malgré tout qu'il l'aide à s'assécher.

Ce caniveau est susceptible de participer au drainage des appareils de réduction, et sa présence a incité à poursuivre l'exploration dans cette direction, en arrière d'un châtaignier qui surplombe la zone, aboutissant finalement à la découverte des fours métallurgiques, décrits un peu plus loin. La connexion directe de ce canal avec la zone des fours n'a cependant pas pu être vérifiée, en partie du fait de l'emprise trop limitée disponible.

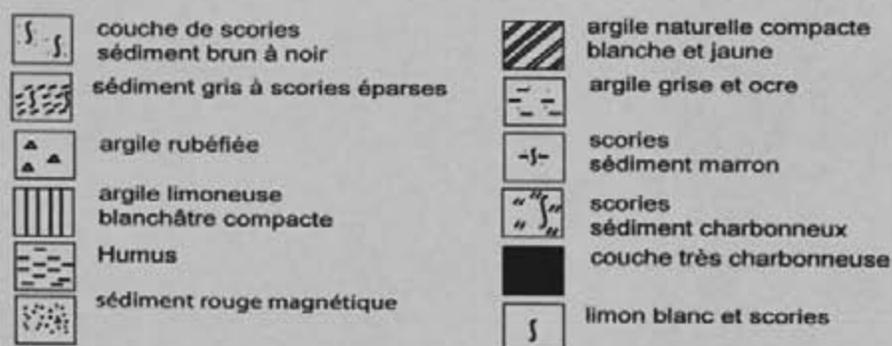


coupe sud - nord



coupe ouest - est

petit canal



Vert Pignon III en Paimpont
secteur nord du sondage S201

Fig. 30

mise au net du dessin : Nicolas GIRAULT

Côté aval, le canal prend la direction de l'est, nord-est. Il est observable dans la tranchée sondage qui jouxte immédiatement le sondage S201. On ne le retrouve plus dans le sondage S601 réalisé parallèlement à ce dernier, ce qui indique qu'il s'infléchit encore plus vers l'est ou qu'il s'interrompt.

4.2.1. Sondage S202.

Cette petite tranchée latérale a été pratiquée de manière à comprendre la structure voûtée précédemment décrite et la topographie du sol local dissimulé par l'accumulation de scories.

L'observation en coupe montre qu'une couche d'argile jaune et blanche, d'une puissance de 45 à 50 cm, ne montrant aucune perturbation et dénuée de mobilier hormis quelques très rares petits charbons de bois, sans doute infiltrés, surplombe la voûte de moellons orange. Rien ne permet de penser que cette argile est pu être rapportée ou bien ait pu glisser à partir de cette zone amont, ce qui paraît bien indiquer que le four voûté a bien été aménagé directement, dans ou contre, l'argile du substrat au niveau d'une très forte rupture de pente.

Des forages à la tarière forestière ont été réalisés dans cette argile en partant de la structure en voûte et en progressant vers le sud-est dans l'axe du sondage. Aucun niveau anthropique n'a été rencontré, confortant l'attribution de cette couche au substrat naturel.

Le ferrier, sus-jacent, disparaît assez rapidement dans cette même direction (au bout de 3,15 m en partant de l'extrémité nord de la tranchée, qui correspond aussi à la jonction avec le sondage S201). La couche de rejets métallurgiques s'interrompt brutalement, pour être remplacée par une couche d'argile plus marron, recouverte d'une couche plus végétale d'une quarantaine de centimètres, attribuable aux labours. Les couches intercalaires de sédiment rouge et de petits moellons oranges, issues de la coupe ouest du sondage S201, s'inclinent vers le bas toujours selon ce même axe.

On note seulement quelques petites perturbations dans le niveau du sol ancien (rubéfaction, charbons de bois, scories), dont une petite fosse peu profonde de 35 cm de diamètre recelant un groupe de trois pierres chauffées, recouvrant une scorie.

4.2.3 Sondage S203 – fours / foyers métallurgiques

Le sondage, en partie en arc de cercle, montre une forte accumulation de sédiments et rejets métallurgiques, constituée de scories spongieuses, et de limon noir comportant moins de scories.

Dans le secteur sud-est du sondage, l'épaisseur des rejets est de 1,10 m. Une couche de scories compacte apparaît sous une épaisse couche de déblais faite de limon noir et de scories. Elle débute à un mètre de l'extrémité est du sondage. Son épaisseur moyenne est de 30 cm, selon une pente croissante vers le nord-est. Elle recouvre une couche très épaisse constituée d'une série de rejets de sédiments rouges, orangés, et charbonneux, selon la même inclinaison. L'ensemble remplaçant la couche de déblais précédente.

A cette hauteur (entre 2 et 3 mètres à partir de l'extrémité est), et sous ce niveau, le sondage a livré une structure creusée dans le substrat, qui n'a été que partiellement reconnue (Pl.13). Un profil rectiligne apparaît, suggérant un petit fossé du type du canal ou caniveau déjà évoqué pour le sondage S201, orienté nord est – sud ouest (fig. 31). Compte tenu de la masse de scories à déplacer, la localisation et la forme de la paroi opposée n'est pas assurée. Son comblement, en partie colmaté par une petite couche d'argile blanche, est extrêmement charbonneux. Il a fait l'objet un prélèvement de charbon de bois. Il comporte en outre des moellons d'argile cuite orange et blanche en assez grand nombre. Le fond de la structure est fait d'argile jaune et grise. Sa profondeur atteint 56 cm. Compte tenu de la teneur de ce remplissage, l'exploration de cette structure en fosse ou fossé, demande à être poursuivie.

Pour des raisons d'encombrement, seuls les premiers niveaux de la partie médiane du sondage, ont été dégagés. Ils montrent une continuité des couches de scories et limon noir.

Celles-ci atteignent une hauteur de 1,80 m dans la zone nord de S203. C'est à cette extrémité qu'a été reconnu un premier four (F1), dont la partie supérieure était noyée au sein d'une couche de sédiment rouge-orange, à une profondeur de 1,10 m sous le niveau supérieur du ferrier (fig. 32). Un premier décapage manuel a montré que cette zone de travail se prolongeait en direction de l'ouest. Un petit sondage rectangulaire de 1,60 x 1 m, a été dégagé à la main, latéralement à l'emprise ouverte par le tracto-pelle. Il a révélé l'existence d'éléments de parois scoriacés en partie disjoints, disposés verticalement, et de façon circulaire, correspondant aux vestiges d'un deuxième four (F2). Le dégagement du secteur situé à l'est du premier four a révélé la présence d'une couronne continue de parois cuites blanches et oranges, débordant du niveau de sol des deux structures précédentes, révélant l'existence d'un troisième four (F3), sous-jacent, intégré à un niveau de sol rouge-orangé, 17 cm sous le niveau supérieur du four F1.

Le four F1 est pratiquement circulaire. Son diamètre externe est de 50 cm. La paroi est faite d'argile cuite par la chaleur et très compacte. La surface interne du four est très lisse, sans crevasse marquée, et semble de ce fait avoir bien résisté à la chauffe. Elle est pratiquement verticale sur les quinze centimètres supérieurs, puis se referme sur les onze centimètres suivants, à mesure que l'on se rapproche du fond du creuset, à priori reconnu à ce stade de la fouille.

L'examen en section du comblement du four montre qu'il est essentiellement constitué dans sa partie centrale d'une argile limoneuse blanchâtre hétérogène, comportant des inclusions de charbons de bois et peu de scories, sur une quinzaine de centimètres. La couche sous-jacente, grisâtre et également très hétérogène, contient un plus grand nombre de scories. Une épaisseur d'argile plus marron, d'une épaisseur de 3 à 4 cm, semble se différencier en partie de ces deux couches, au contact des parois internes du four.

Un long bloc de grès (58 x 18 cm) se trouve placé, selon la pente, tangentiellement au four, 20 cm en contrebas de celui-ci. Il était surmonté à son extrémité d'un autre bloc de même nature, quadrangulaire, mais sans doute déplacé ou postérieur. Cette disposition n'est pas sans rappeler l'agencement du foyer de post-réduction SF1



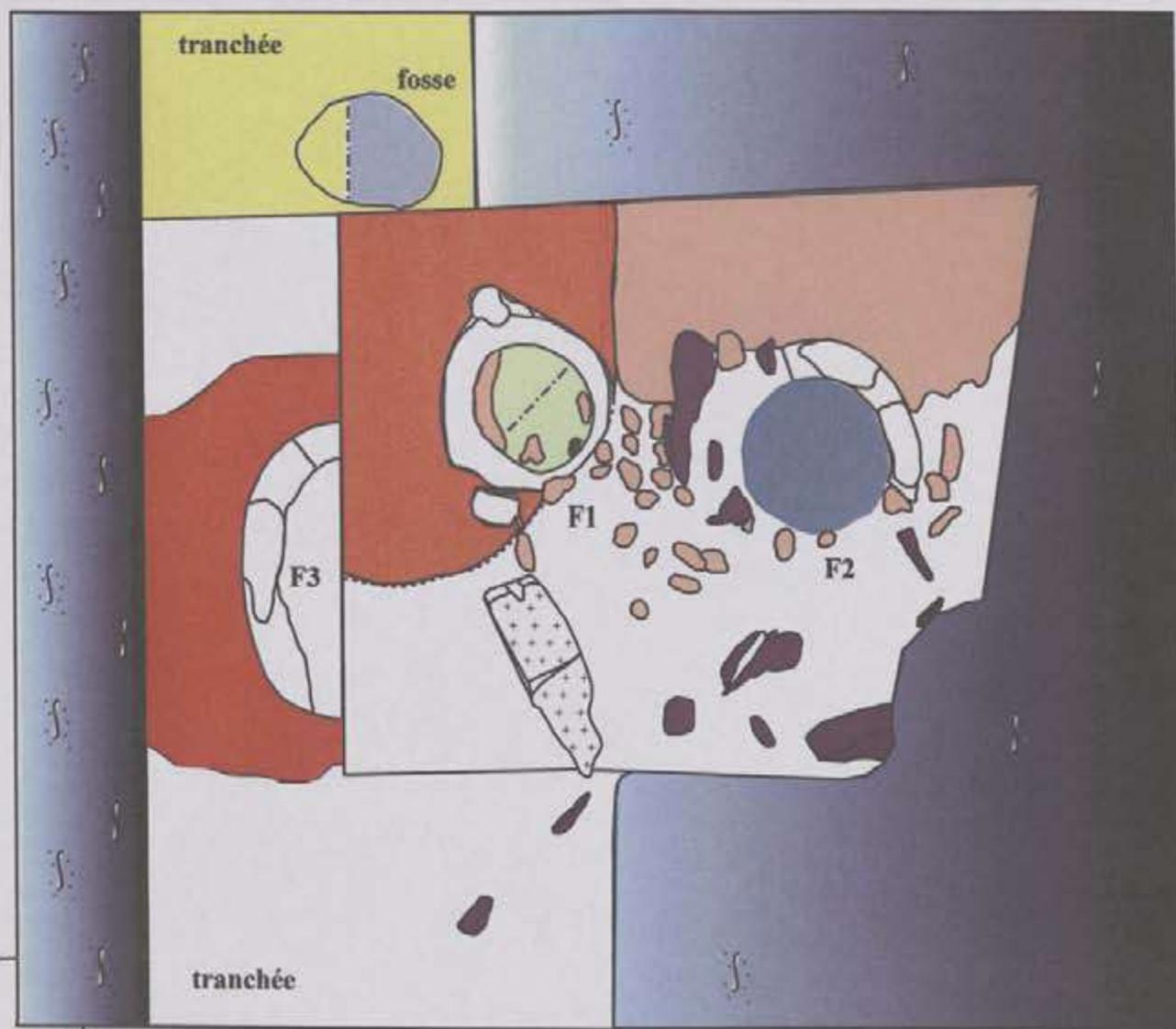
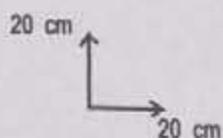
Photos 63 et 64 : sondage S203 – structure en fosse ou canal et découverte des fours (à droite)

PLANCHE 13.



Photos 65 à 68 : Le Vert Pignon III en Paimpont (35)- sondage S203. Foyers / fourneaux métallurgiques F1, F2, F3.





 couches de limon noir et scories supérieures

 limon blanc à jaune clair du substrat

 couche de petits moellons oranges et blancs

 sédiment rouge - orangé

 sédiment hétérogène gris-noir du dernier état de fouille

 paroi de four

 bloc de grès

 scories spongieuses

 schiste rouge

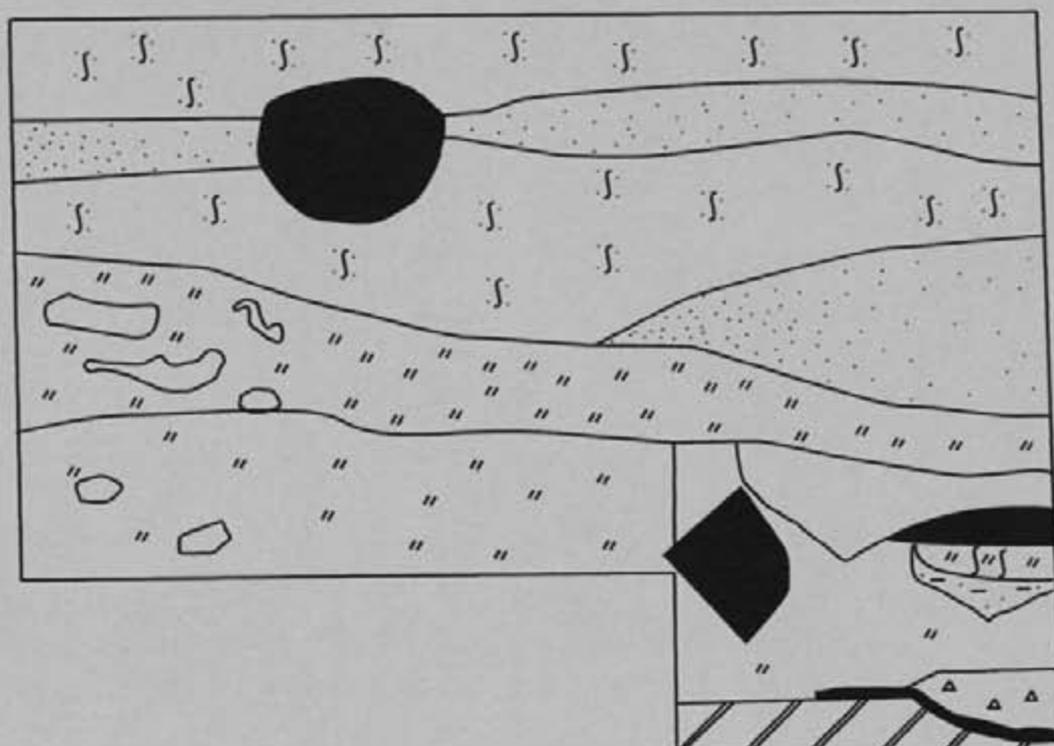
**Le Vert Pignon III en Paimpont (35)
Fours / foyers métallurgiques
(sondage S203) - année 2004.**

Fig. 32

Jean-Bernard VIVET

Ouest

Est



- | | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  | couche très charbonneuse |  | moellons d'argile cuite |
|  | couche de scories sédiment brun à noir |  | sédiment marron |
|  | argile naturelle compacte jaune |  | sédiment rouge et orange |
|  | scories sédiment charbonneux |  | argile blanche |
|  | couche de charbon de bois |  | poche d'argile blanche |

Structure en fosse ou caniveau

Le Vert-Pignon III
S203 - secteur sud du sondage
coupe transversale

Echelle : 1 / 10 e

Fig. 31

mise au net du dessin : N. Girault

reconnu à Trécélien (Vivet, 2004). On notera que la paroi du four dans cet axe, bien qu'affaiblie est cependant continue, contrairement à SF1, où elle n'apparaissait pas. Ces comparaisons, encore limitées du fait du stade de fouille et de l'état de conservation des structures, pose la question de la fonction du four F1.

Le four F2, de dimensions sensiblement équivalentes à celles de F1, se présente de manière assez semblable à ce dernier, mais a été beaucoup plus démantelé. La paroi du four encore en place, qui délimite un espace interne d'allure circulaire, est conservée sur environ un tiers du périmètre que l'on pourrait reconstituer. Assez curieusement, sur le côté est des plaques de schiste rouges très fortement inclinées, prennent en quelque sorte la place des parties manquantes. L'exemple de la structure SF1 (foyer de post réduction) de Trécélien montre une utilisation de ces plaquettes pour obturer l'espace entre les pierres structurantes. Une autre, fortement chauffée a été trouvée collée à l'arrière d'une parois de four scoriacée. Il est donc possible qu'elles aient pu servir à ce type d'usage. Quoiqu'il en soit elles ont basculé dans l'espace libéré par l'arrachage des parois.

Lors de la découverte, la structure se trouvait totalement recouverte d'une couche de moellons d'argile cuite orange ou blanche, très arrondis, faisant transition avec l'épais déblais de limon noir contenant des scories en nombre assez limité. Sa surface interne est fortement scoriacée, à la limite de la vitrification. Elle est en partie fracturée au milieu de sa partie supérieure, et l'échancrure laisse pénétrer la couche de moellons oranges sus-jacente. Son allure générale rappelle totalement les fragments de parois arqués, de quelques kilos, que l'on rencontre de façon récurrente, au sein des amas de scories bulleuses. C'est le cas du site du Vert Pignon, et plus encore celui de Trécélien, pour lequel elles ont été décrites de façon détaillée (Vivet, 2002).

Le diamètre interne, reconstitué à partir de la forme de la paroi conservée et de la limite des couches de comblement qui se différencient, s'établit autour de 40-45 cm.

On ne perçoit pas la base des parois dégagées, qui présentent une discontinuité semblant indiquer, au niveau de fouille atteint, que la base du creuset a dû, elle aussi, être démontée.

La couche supérieure du comblement, faite comme on l'a vu, d'une multitude de moellons d'argile cuite, se poursuit, en pente positive, sur près de 50 cm, vers le sud. Cette disposition porte à croire qu'il s'agit de l'effondrement et dissolution partielle des parties supérieures du four, bien moins cuites que la base. Ceci amène à supposer que son bâti possédait une certaine élévation, plus conséquente que ce que l'on peut observer actuellement. Le comblement sous-jacent est essentiellement constitué de limon gris-noir assez homogène. Des prélèvements systématiques ont été réalisés afin d'analyser plus avant, la nature des couches reconnues au voisinage et à l'intérieur des appareils.

Le diamètre externe du four F3 est plus conséquent que ceux des deux fours précédents. Il pourrait s'établir à l'intérieur d'une fourchette de 80 à 90 cm. Le diamètre interne n'est pas accessible. Ces dimensions très différentes de celles de F1 et F2, posent d'ores et déjà la question de la fonctionnalité de l'appareil vis-à-vis des deux autres, ou bien de l'évolution des fours, s'ils ont tous fonctionné en bas fourneau. Quoiqu'il en soit, il est possible, que malgré la superposition de la structure F1, un peu décalée et plus petite, la base du four F3 ait été bien préservée. Un travail de post-réduction dans les structures F1 et F2, pourrait avoir succédé, dans la logique de la stratigraphie, à la production de métal dans un four sous-jacent plus grand, qui serait F3. Ce schéma hypothétique sans doute trop simple, demande, bien entendu, à être étudié soigneusement, à la faveur d'analyses du contenu des couches associées aux appareils et d'éléments apportés par une poursuite de la fouille. Il n'est pas cohérent de démolir un bas fourneau à écoulement, fonctionnant vraisemblablement sur une durée assez longue, au vu des quantités de scories engendrées, pour, au même endroit, épurer ou travailler une quantité finie de métal, à moins qu'on ait résolu de fermer le site d'activité. On peut donc s'attendre, selon toutes vraisemblances, à l'existence d'un autre bas fourneau à proximité.

La coupe réalisée dans la largeur du sondage, juste en amont des fours, montre l'existence d'une couche d'argile jaune clair intercalaire entre ce qui semble être le sol, charbonneux dans cette direction, de F3 et celui de F2. Ceci pourrait témoigner de phases distinctes dans cette zone de travail, et par suite, d'une évolution dans l'activité générale du site.

Le sol de la partie basse du sondage, côté nord, n'a pas été atteint. Les appareils se trouvent à l'emplacement d'une forte rupture de pente. De ce fait, la puissance potentielle des couches situées en aval, et latéralement, sur le côté ouest, semble encore très conséquente. Elles sont donc susceptibles de fournir des informations importantes sur le fonctionnement des fours, voire même livrer d'autres appareils.

4.2.3 Sondage S204 – zone dépotier moderne et vertébré.

Compte tenu des découvertes précédentes, un sondage test a été réalisé juste au nord-ouest de S203, afin d'évaluer la nature et la puissance des couches présentes. Le dégagement de cet espace livre presque immédiatement un niveau limoneux noir, contenant des grès et des schistes, nettement moins riche en scories que les vrais amas observés dans les sondages périphériques, sans stratification très différenciée. A 75 cm de profondeur par rapport à la coupe est, sont apparus des éléments osseux appartenant à un vertébré, probablement une vachette (Pl.15). En l'absence d'élément datant directement associé à la découverte, un dégagement soigneux du squelette a été effectué, celui-ci pouvant être éventuellement relié à l'activité sidérurgique ancienne. L'animal en question est quasiment intégralement conservé, en connexion anatomique. Il semble que la queue soit manquante. Il a été disposé pratiquement à plat sur son flanc gauche. La tête est tournée vers le haut, et surélevée. Lors du prélèvement de la dernière cote de l'animal, sous cette dernière, un tessou de céramique glaçurée marron, rappelant les productions de Rouen des 18 – 19^{ème} siècles, ou même plus récentes, a été découvert, montrant, par là même, l'origine récente, de cette épaisse couche. Aucune trace de fosse n'est décelable dans l'emprise du sondage, ni de différence stratigraphique si ce n'est le fait que le sédiment limoneux noir, était extrêmement peu tassé, au niveau de l'animal. On note par ailleurs la présence dans l'ensemble de la couche située au dessus de la découverte, de mobiliers très divers (fragments de verre récent, pierre à aiguiser, bloc de pierre granitique travaillé, fracturé, avec oreille de préhension, rappelant la forme d'un creuset). Il y a tout lieu de croire que la bête en question a été jetée là, à l'écart, (pour des raisons par exemple de contagion), et progressivement recouverte de sédiments. Ceci pourrait signifier que ce secteur était encore en creux au cours des siècles précédents. Les apports de limon, soit naturels, soit anthropiques, ou encore résultant du lessivage de dépôts accumulés dans la zone supérieure du ferrier ont pu, joints à l'activité humique du bosquet, constituer ce sédiment noir, et combler progressivement cet espace au point qu'il ne se distingue pas très sensiblement de l'ensemble des amas de scories avoisinants.

4.3 Sondages du secteur nord et nord-est du ferrier (S301, S401, S501, S601)

La description du secteur qui suit se fait en suivant l'ordre des sondages de l'est vers le nord.

4.3.1 Sondage S501 – centre du ferrier et jonction avec la zone de dépression humide – caniveau

Ce sondage se décompose en réalité en deux secteurs l'un, situé pratiquement au centre géométrique du ferrier (S501 a) et l'autre (S501 b), dans le prolongement du précédent, mène, vers l'est, en contrebas du ferrier, dans une zone humide. L'intervalle entre ces deux secteurs est apparu comme un amas continu de scories, si volumineux, que l'on a dû renoncer à le démonter pour des questions d'encombrement et de manœuvre de l'engin de décapage.

a) Sondage S501 a - zone de grillage du minerai possible

La stratigraphie se développe sur une hauteur de 2,20 m au niveau de l'angle nord-est, 1 m à l'angle nord-ouest, 1,90 m à l'angle sud-est, et 1,20 m à l'angle sud-ouest, par rapport au sol sous-jacent (Pl. 14). Elle montre de ce fait une forte inclinaison du ferrier vers le centre (côté ouest) et un dévers très prononcé vers le nord. Les couches supérieures décroissent d'est en ouest, alors que le niveau de sol ancien présente une déclivité contraire, proche de 50 cm selon cet axe.

Une couche noire et humique superficielle, d'une quinzaine de centimètre, contient de nombreuses scories et comporte, du côté nord, une forte quantité de pierres (schistes rouge majoritairement, et grès armoricain), des débris végétaux provenant de branches ou arbres morts, correspondant à des apports modernes. Les niveaux

sous-jacents sont constitués très majoritairement de scories, qu'accompagne un sédiment limoneux noir. La proportion s'inverse lorsqu'on progresse vers l'angle sud-ouest, en direction des fours présentés précédemment, ce qui tend à prouver à nouveau que cette zone de travail, en fin d'activité, était moins encombrée de scories, et sans doute en dépression relative par rapport aux amas de scories périphériques. Le secteur oriental du sondage, par contre, est pratiquement uniquement constitué d'un puissant amas de scories.

Sur la coupe septentrionale apparaissent à mi-hauteur d'épaisses couches de sédiment rouge, qui alternent avec des niveaux de charbons de bois. La puissance totale de ce dépôt rouge atteint 70 cm. Seul un reliquat de cette couche apparaît à la même hauteur sur la face opposée du sondage sur une dizaine de centimètres d'épaisseur.

Un sol de limon blanc affecté par l'activité anthropique apparaît sous le ferrier. Le sol ancien est plus particulièrement marqué par une zone dépressionnaire allongée de 1,60 m sur 1 m, d'un peu moins de 10 cm de profondeur, en secteur nord-est du sondage. Elle retient une masse de sédiment rouge associée par endroit à une couche ou une poche de charbons de bois. Le limon blanc du sol présente par endroits sur ses contours des colorations rose-orangé.

L'hypothèse de grillage du minerai de fer à cet emplacement est très plausible, malgré la rubéfaction seulement modeste observée.

b) Sondage S501 b

L'observation des coupes montre que l'épaisseur de scories, côté ouest, d'une valeur de 1,85 m (photo §), est sensiblement équivalente à celle relevée sur la partie orientale du sondage précédent. Celle-ci décroît progressivement vers l'est, jusqu'à une distance de 9,75 m, qui correspond à la limite du ferrier dans cette direction. Des traces de labour apparaissent dans les couches supérieures jusqu'à 2 - 3 m de l'extrémité ouest. On rencontre à nouveau une insertion de couches rouges et de couches charbonneuses au sein des masses de scories.

Le canal ou caniveau décrit en S201, traverse le sondage obliquement, à 2,75 m de l'extrémité ouest sur la coupe sud, et à 3,70 m de cette même extrémité sur la coupe nord (photo §). Sa largeur est assez constante, voisine de 70 cm et donc quasiment identique à celle du tronçon situé en amont, dans le sondage S201. Sa profondeur se situe au maximum entre 40 et 45 cm, donc à nouveau dans un ordre de grandeur similaire à celui de S201. Son comblement est à nouveau fait d'une couche noire contenant de nombreuses scories, surmontant dans la pointe du « V » une couche argileuse grisâtre recelant des inclusions d'oxydes marron et quelques scories. On note la présence de petits morceaux d'argile cuite orange au sein du comblement charbonneux principal. Aucun autre mobilier particulier n'y a été découvert.

On ne rencontre que très peu d'autres perturbations du sol ancien. On note, à 10,50 m de l'extrémité ouest, une fosse de 2,25 m de long, visible sur 40 cm de large, disparaissant sous la coupe nord. Son remplissage, essentiellement charbonneux, comportait quelques pierres et scories, ainsi que des tessons de poterie.

Une bande d'argile gris-beige, d'une largeur de 1,25 m, en contraste avec le sol de limon blanc, traverse le sondage orthogonalement à 14 m de l'extrémité ouest du sondage. Sa profondeur atteint 35 cm en deux marches arrondies, dont l'une supporte un bloc de grès quadrangulaire, d'une quinzaine de centimètres de côté. Le fond est pratiquement plat. La fouille n'a révélé rien de très spécifique, hormis la nature du sédiment qu'il renferme, déjà précisée. Il pourrait témoigner de la présence d'un paléochenal à cet endroit, à une époque, que l'on ne peut préciser en l'absence de mobilier fournissant un élément de datation.

Il n'est donc pas impossible que ce bras fossile du ru évoqué précédemment ait pu exister pratiquement au pied du ferrier.

4.3.2. Sondage S601.

Ce sondage visait à reconnaître le secteur nord est du ferrier, montrant encore de façon tangible l'élévation d'un amas de scories spongieuses, fournissant par ailleurs une anomalie magnétique d'un niveau bien appréciable en prospection géophysique. Il s'agissait également de vérifier le tracé du petit canal et l'existence éventuelle d'une structure de réduction.

Le sondage confirme bien l'existence d'un amas assez volumineux, de pente prononcée. Il est possible qu'il ait en partie disparu côté nord suite à des prélèvements aux époques modernes. Il est remplacé en partie par un tas de pierres (grès) vraisemblablement moderne dans ce secteur. A l'extrémité ouest du sondage son élévation atteint encore aujourd'hui une hauteur de 1,60 m par rapport au niveau du sol sous-jacent. Celle-ci décroît assez rapidement vers l'est, de même que la proportion en scories bulleuses. L'observation en coupe montre les limites de l'amas de scories occidental, qui finit à 5,65 m de l'extrémité de cette même extrémité du sondage. Les couches reprennent avec une inclinaison contraire et plus de sédiment vers l'est. La limite orientale du ferrier proprement dit se situe à 10,5 m dans cette direction. A partir de cette cote, on observe encore ensuite une grande poche charbonneuse de 2,5 m de long, toujours vers l'est. La partie supérieure du ferrier est entamée par les labours à partir de 5 m selon ce même axe. Les couches de sédiment rouge intercalaires, toujours accompagnées de niveaux de charbon de bois, sont essentiellement présentes dans les niveaux inférieurs, en particulier à la jonction de l'amas de scories individualisé et de la poursuite du ferrier vers l'est. Le sédiment encaissant est très noir, du fait de l'omniprésence des charbons de bois dans ce secteur.

Dans le secteur occidental du sondage, on enregistre l'existence de deux fosses irrégulières dans le niveau de sol sur lequel repose le ferrier, disparaissant en partie sous la coupe nord du sondage.

La première se prolonge également sous la coupe occidentale. Elle a un diamètre de 1,25 m environ, une profondeur de 30 cm, et livre deux tessons de céramique, au sein d'une couche de sédiment noir et de scories, recouverte d'un épais niveau de charbon de bois et d'une couche de sédiment rouge. On y enregistre également la présence de 4 petits morceaux d'ardoise dans le niveau charbonneux supérieur.

La seconde débute à 2,5 m de la face ouest du sondage. La partie visible a pour dimensions extrêmes 1,75 m x 1,25 m. Son comblement est à nouveau très charbonneux et comporte également un niveau de sédiment rouge. On note la présence dans ses niveaux charbonneux d'un éclat d'ardoise approximativement rond, portant la gravure d'une croix sous forme de simples traits orthogonaux réitérés. Deux autres fragments d'ardoise d'aspect quelconque ont également été trouvés à proximité. Bien que découverts apparemment en place dans les niveaux inférieurs, au cours de la fouille de la fosse, cette présence un peu étonnante pour la période considérée, doit être prise avec une certaine réserve, du fait que la partie supérieure de la zone de découverte a été partiellement entamée par l'engin de décapage. Malgré tout, et dans l'attente d'une étude plus approfondie, il n'est pas impossible qu'il puisse s'agir d'un jeton. Cette présence sur un tel lieu, en contexte de travail métallurgique, n'aurait bien sûr, rien d'anodin et mérite une recherche documentaire complémentaire.

4.3.3. Sondage S301.

Dans le relief général du site, ce secteur, positionné en contrebas du ferrier, forme un bombement ou épaulement visible, un peu à l'écart des amas de scories proprement dits. Les photographies aériennes des années 90, sur labour, montrent une zone noire en contraste très net avec le sol environnant, qui évoque une zone très charbonneuse. Cette particularité a, de fait, suscité l'ouverture d'un sondage à cet endroit, qui se révèle en accord avec l'hypothèse formulée.

Il semblerait que le terrain n'ait été labouré qu'une seule fois au cours de ces trente dernières années, précisément l'année où les photos aériennes ont été prises. Les traces de labour très visibles dans ce sondage, ainsi que dans d'autres tranchées de fouille, résultent très certainement de ce labour récent.

Sous la semelle de labours, d'une trentaine de centimètres d'épaisseur, on rencontre une couche brun-noir constituée de couches alternées riches et moins fournies en scories, d'une épaisseur de 65 cm (photo §). Les dix à quinze derniers centimètres sont faits d'une couche extrêmement noire et charbonneuse, venant au contact du sol ancien. On y observe quelques petits nodules d'argile cuite. Trois prélèvements de charbon de bois ont été effectués à différents niveaux. Le substrat de limon très blanc est perturbé à quelques endroits par de petites poches contenant du charbon de bois, des scories, des pierres et un bloc de minerai.

L'ensemble de ces éléments amène à interpréter ce secteur comme une importante zone de stockage du charbon de bois, requis notamment par les opérations de réduction, très gourmandes en combustible.

4.3.4 Sondage S401

Ce secteur présentant une sorte de vallon ou petit cirque au sein même du ferrier, présente cet aspect particulier depuis plusieurs dizaines d'années selon les témoignages locaux. Il constitue une entrée possible au cœur du ferrier, et en tout cas, un accès à l'engin de terrassement utilisé. Une forte anomalie magnétique avait été enregistrée à son extrémité sud, à la croisée des profils magnétiques Nord-Sud et Est-Ouest réalisés (fig. 29).

Les couches de scories accumulées suivent globalement le profil en pente du sol sous-jacent, avec une diminution régulière de l'épaisseur des rejets vers le nord. L'épaisseur maximale de départ se monte à 1,30 m sur la coupe sud-nord. Le ferrier s'achève à 4,20 m dans cette direction, avec une épaisseur de 35 cm, pour être remplacé par une couche de labour.

Le secteur est marqué par une forte déclivité sud - nord du terrain, qui perd 58 cm sur les 20 m de longueur du sondage. Celle-ci est plus particulièrement marquée dans le tiers sud de la zone sondée. Le décapage manuel du fond du sondage ne montre aucune perturbation notable, hormis l'incrustation de scories dans le substrat au niveau des deux tiers sud du sondage.

La zone d'anomalie magnétique coïncide bien avec la présence d'une très épaisse couche de sédiment rouge - orangé, très attirable à l'aimant. Une petite extension latérale a été ménagée vers l'est à cette extrémité sud du sondage, afin de mieux l'observer. La couche orangée en question a une puissance d'au moins 65 cm, à partir du sol, dans la partie qui a été dégagée. Elle est surmontée d'un petit niveau de charbon de bois (8 cm), puis d'une couche de sédiment rouge plus foncé. Vient enfin une couche compacte de scories, sur 65 cm d'épaisseur, ce qui porte l'ensemble de la stratigraphie observée à 1,50 m dans ce petit diverticule est du sondage. L'élévation de hauteur des couches dans cette direction est sans doute attribuable à l'important amas observé en extrémité ouest du sondage S601. Les couches inférieures de cette extrémité sud du sondage, à quelques centimètres du sol ancien, livrent une série de tessons de céramique toujours de la même période.



Photos 69 et 70 : sondage S201 – canal.



Photo 71 : sondage S301.

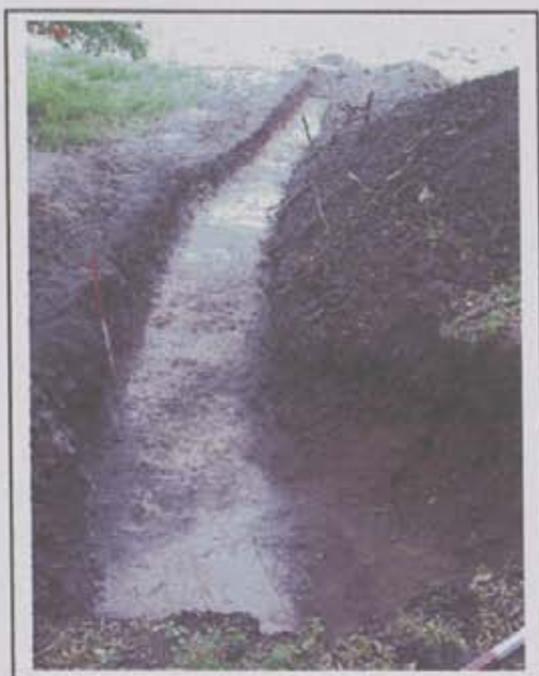


Photo 72 : sondage S401.



Photo 73 et 74 : sondage S501 – ouest. Zone de grillage probable.

PLANCHE 14.



Photos 75 et 76 : sondage S501 est - vue général et canal.



Photo 77 : Sondage S601

PLANCHE 15.



Photo 78 : Sondage S204.

Conclusion Vert Pignon

La mise au jour de structures métallurgiques intéressant la réduction du minerai de fer et remontant à une période située autour du XV^{ème} siècle constitue un jalon très important pour la compréhension des techniques utilisant encore le procédé direct pour la production de fer. Leur description et leur interprétation demandent de plus amples développements. Les étapes de post-réduction qui sont apparemment bien présentes, peut-être jusqu'au forgeage, méritent également d'être reconnues plus précisément.

La découverte en place d'une table de broyage fournit un élément d'interprétation essentiel pour la compréhension des phases de travail à priori liée à la préparation du minerai, qui laissent beaucoup de question en suspens dans les sondages réalisés à Trécélien. Notamment les pierres à cupules découvertes sur ce dernier site sont très probablement à rapprocher de ces phases opératoires. Les couches de sédiment rouge, malgré la faible teneur obtenue lors d'une unique analyse, résultent presque sûrement du tri et broyage de minerai grillé.

Il pourrait s'agir dans un certain nombre de cas de résidus de stockage de minerai grillé, qui suite à leur pénétration dans le sol ou dans les scories sous-jacentes ne sont pas récupérables, car trop mêlées avec ces derniers éléments. On peut éventuellement envisager aussi qu'ils puissent résulter de rejets en masse d'un procédé de séparation par densité, par exemple de type hydraulique, du minerai déjà grillé, ce qui pourrait expliquer la faible teneur en oxyde de fer enregistrée pour un échantillon du site de Trécélien. L'association récurrente de niveau de charbon de bois directement associés aux couches de sédiment rouge, ne plaide en faveur de cette version, ce dernier se séparant naturellement par flottation lors de l'emploi de l'eau. Ces différentes hypothèses méritent, en tout état de cause, d'être confrontées aux résultats d'analyses minéralogiques et chimiques complémentaires.

Dans la typologie des rejets, dans l'aspect des couches résultant de l'activité métallurgique, et dans la nature du mobilier céramique mis au jour, le site du Vert Pignon rappelle fortement celui de Trécélien, précédemment fouillé. Il pourrait cependant s'en distinguer en partie, par la présence de niveaux et de quelques témoins pouvant se rapporter à du forgeage. Ces aspects demandent également une étude morphologique et minéralogique spécifique.

L'ensemble des sondages réalisés permet d'ores et déjà de dresser une première répartition des zones de travail, avec très schématiquement, les fours en position presque centrale, une zone de broyage de minerai en amont, côté sud, de forgeage côté sud, un secteur sans doute domestique à l'est et une zone de stockage du charbon de bois en contrebas, au nord. Les amas de scories se sont constitués en cercle, tout autour des fours.

Le secteur centre-ouest du ferrier du Vert Pignon, à l'ouest des fours mis au jour, n'a pas été exploré, en raison de la difficulté d'accès et du fait qu'il est surmonté de remblais de gros blocs de grès et de tas de terre visiblement modernes. Compte tenu des découvertes des structures de chauffe, cet espace, également situé sur la ligne de rupture de pente du terrain, demande à être exploré plus avant, pour comprendre d'une part, l'environnement immédiat des fours, et d'autre part vérifier l'existence ou non d'autres appareils métallurgiques.

Des prélèvements de charbons de bois ont été opérés dans les nombreuses coupes relevées. Il s'agit de savoir quel bois a été employé pour cette métallurgie, sans doute plus en marge de la forêt, et surtout de comprendre en combien de temps ces ferriers se sont constitués, afin de préciser leur chronologie par rapport à la construction des premiers hauts-fourneaux bretons (début 16^{ème} siècle). Des analyses anthracologiques, dendrochronologiques et radiocarbones sont donc prévues en ce sens. Il est également indispensable d'aborder les aspects géologiques, minéralogiques et chimiques des matériaux extraits et transformés, dans la suite des travaux en cours (DEA précédemment mentionné).

VI. CONCLUSION GENERALE - PERSPECTIVES

Les sondages réalisés en 2002 et 2003 sur le site de Trécélien en Paimpont (35), ont permis de situer globalement l'activité métallurgique à l'origine d'une série (une dizaine) de volumineux ferriers à scories spongieuses du massif autour du XV^{ème} siècle (XIV-XVI^{ème}). Ces sites sont à mettre en relation avec les textes mentionnant une demi-douzaine de 'forges grossières' en forêt en 1419, mais aussi avec l'écoulement, entre 1465 et 1527, de produits ferreux manufacturés par les forgerons de la forêt de 'Brécélien' (carreaux d'arbalètes, picques, hallebardes...), vers les villes de Rennes, Nantes, Vitre et l'armée ducale.

Les opérations ont également conduit à la mise au jour d'une structure de chauffe inédite qui renvoie, en principe, à une forge d'épuration de la loupe de fer. Cependant les bas fourneaux qui ont produit celle-ci, n'ont pu, jusqu'ici, être mis au jour, compte tenu en partie des difficultés inhérentes aux sondages au cœur du milieu forestier.

La prospection géophysique, utilisant et comparant différentes techniques (anomalies du champ magnétique terrestre, résistivité électrique du sol...), menée pendant deux mois par trois étudiants en maîtrise de Géosciences sur les sites métallurgiques du Vert Pignon, du Pas du Houx et de la Croix du Houx, fournit des données méthodologiques importantes sur les méthodes d'investigation des ferriers. D'une manière générale, les sondages réalisés à l'emplacement des anomalies les plus nettes sur les grands ferriers révèlent surtout la présence de poches de sédiments rouge, grises ou oranges, très riches en matériaux magnétiques (minerai grillé et battitures), qui dissimulent le signal produit par les bas fourneaux, plus particulièrement recherchés. Ainsi qu'on a pu le voir sur les sites du La Ville Pierre en TADEN (22), près de Dinan, la prospection magnétique reste, par contre, bien adaptée à la recherche des fours plus modestes n'occasionnant qu'une accumulation limitée de scories (Age du Fer et une partie des sites de la période gallo-romaine par exemple). La prospection électrique semble fournir quant à elle, une méthode assez convaincante pour l'exploration de petites surfaces, dans ce type de contexte, au relief accentué et planté d'arbres.

La stratégie de recherche consistant à porter plus particulièrement les efforts sur le site du Vert Pignon, situé en milieu ouvert, et se présentant sous la forme d'un seul et unique amas de scories, s'est révélée, en définitive, payante.

C'est aussi grâce à la persévérance dans la conduite des sondages, qu'il a été possible de mettre au jour, au cours de la dernière semaine d'opération, vers le centre du ferrier, les vestiges de trois fours, s'inscrivant dans un secteur très exigü. Cette faible emprise de la zone de travail principale, explique sans doute que seuls quelques fours aient pu être observés, et qu'aucun n'ait été décrit avec précision.

En l'absence d'autre élément d'appréciation, on peut retenir que les structures de chauffe sont bien dissimulées dans ce type de ferriers par la masse de scories accumulées lors des rejets proches, dont les tas tendent à s'affaisser au cours du temps et à recouvrir les outils de travail. Un comblement anthropique ou naturel ultérieur peut s'ajouter à cette première évolution du ferrier. De plus les fours et foyers, ont été construits à la limite de la rupture de pente naturelle du terrain. C'était le cas du foyer de post-réduction de Trécélien en Paimpont, c'est à nouveau le cas au Vert Pignon pour les trois fours métallurgiques ainsi que pour le four, à priori domestique, mis au jour.

A ce stade de l'observation et en l'absence de tout point de comparaison au niveau national, on est frappé, par le faible diamètre interne des appareils (autour de 40 cm, pour ceux qui sont accessibles), et peut-être 60 cm-70 cm

pour le four sous-jacent). Leur fonction demande à être mieux précisée. Si l'hypothèse, de l'existence d'au moins un bas fourneau (très probable), venait à être confirmée, cela couperait court, au moins dans notre région, à toute théorie évolutionniste, qui consisterait, par exemple, de partir de bas fourneaux dont les dimensions et la température de fonctionnement s'élèvent progressivement, pour aboutir finalement aux hauts-fourneaux. Les données archéologiques du Vert Pignon semblent montrer au contraire un basculement total de technologie, résultant par suite de techniques, mais vraisemblablement aussi, d'acteurs, venus de l'extérieur.

La poursuite de l'exploration du site du Vert Pignon III est susceptible d'ouvrir une page tout à fait prégnante de l'évolution des techniques métallurgiques, en fournissant un éclairage précieux sur cette période charnière, qui voit l'apparition du procédé indirect avec production massive de fonte en hauts-fourneaux.

A ce stade de l'étude, on manque de précision quant à la chronologie des sites de Trécélien et du Vert Pignon. Par suite, il est difficile de préciser s'il a ou non coexistence et possibilité de concurrence entre les productions participant de l'un et l'autre procédé.

En attendant, quand on regarde le volume de rejets métallurgiques accumulés, force est de constater la grande maîtrise avec laquelle les métallurgistes conduisent les opérations. On souhaite, bien évidemment, s'attacher à comprendre ce qui apparaît comme une remarquable efficacité, compte tenu de la modestie des moyens. Une poursuite du sondage sur le site du Vert Pignon III, permettant un examen soigné de ces appareils inédits, s'impose en quelque sorte naturellement, pour l'investigation de cette métallurgie méconnue.

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 XIIe-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., PLOQUIN A., GUILLOT I, FLUZIN PH., 1989, - *Forges ou réduction, étude analytique de fonds de fours, The Archacometaallurgy 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, 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, *Étude minéralogique préliminaire du mobilier paléosidérurgique dans le Nord de la Haute-Bretagne*, *Les dossiers du Ce.R.A.A.*, 27, p. 87-100.

- CHAUVÉL 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.
- COURSON Aurélien de, 1863, - Usements et coutumes de la forêt de Brécélien (1467), in *Eclaircissements*, cartulaire de Redon, Paris.
- 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., - 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. 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 procediment 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 TRECELIEN, - 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.
- HERBAUT Claudie, 1991, - A propos de certaines dotations de monastères, aux XII^e et XIII^e 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'Edition et la Diffusion des Etudes 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.
- LANGOUET L., 1987, Les coriosolites, un peuple armoricain. De la période gauloise à l'époque gallo-romaine, Supplément au Dossiers du Ce.R.A.A. 1988, p.93-94.
- LANGOUET Loïc et Marie-Yvane DAIRE, 1989, - La civitas gallo-romaine des coriosolites, Le milieu rural, Patrimoine archéologique de Bretagne, ed. Institut Culturel de Bretagne-Centre Régional d'Archologie d'Alet, 81 p.
- 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, BRULE (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.

MENEZ Y., VIVET J.-B. et CHANSON Karine, 2005, - La forge de Paule, actes du colloque de l'A.F.E.A.F., Toulouse - mai 2004 (en cours de publication).

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.), 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. 71-86.

PINCEMIN J.P., 1985, - Une voie ancienne méconnue entre Corseul et Saint-Jouan-de-L'Isle, segment probable de la liaison transpéninsulaire Corseul-Rieux, *Dossiers du Ce.R.A.A.*, N°13, p.17-36.

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 Thiriot 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.

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

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.

VIVET J.-B., CHAUVEL J.-J., NICOLLIN F., 2003, - Productions de fer à la Tène ancienne en vallée de Rance : La Ville Pierre II en Quévert (22), *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 31, p. 77-99.

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

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

VIVET J.-B., 2005, - Pratiques sidérurgiques de l'âge du Fer en Armorique, actes du colloque de l'A.F.E.A.F., Toulouse - mai 2004 (en cours de publication).

ANNEXES

ANNEXE N° 2

FORMULAIRE D'AUTORISATION DELIVREE PAR LE(S) PROPRIETAIRE(S)

Je, soussigné(e), ...Monsieur BRICON, ...maire de la commune de PAIMPONT.....,
propriétaire du terrain cadastré (année, section(s), parcelle(s)) ..2003, ..section AX, ..parcelle 554...
commune de ...PAIMPONT.....
autorise ...Jean-Bernard MINET..... à effectuer une opération archéologique
sur ☉ terrain du 21-06/2004 au 31-07/2004.....2004.

Le chercheur s'engage à la fin de l'opération à remettre le terrain en état.

Le propriétaire abandonne à l'Etat la partie du mobilier découvert en métaux non précieux dont la plupart nécessitent des frais de restauration et de conservation importants.

Le propriétaire se réserve la propriété des objets en or ou en argent et des gemmes qui seraient découverts. Les restaurations et frais de conservation de ces objets sont à sa charge.

Fait à Paimpont....., le 10 juin 2004.....

signature

D. B.



FORMULAIRE D'AUTORISATION DELIVREE PAR LE(S) PROPRIETAIRE(S)

Je, soussigné(e), ...*Monsieur Alain LE GUALÈS*.....
 propriétaire du terrain cadastré (année, section(s), parcelle(s)) ...*1983 - RR - 38*.....
 sur la commune de ...*Paimpont*.....
 autorise *M. Jean Bernard VIVET*..... à effectuer une opération archéologique
 sur mon terrain du *12 Juillet* au ...*8 Août*.....2004.

Le chercheur s'engage à la fin de l'opération à remettre le terrain en état.

Le propriétaire abandonne à l'Etat la partie du mobilier découvert en métaux non précieux dont la plupart nécessitent des frais de restauration et de conservation importants.

Le propriétaire se réserve la propriété des objets en or ou en argent et des gemmes qui seraient découverts. Les restaurations et frais de conservation de ces objets sont à sa charge.

Le chercheur s'engage pour donner des consignes afin de ne pas fumer et de ne pas allumer du feu en forêt.

Fait à ...*Paimpont*....., le ...*17.11.2003*.....

signature



FORMULAIRE D'AUTORISATION DELIVREE PAR LE(S) PROPRIETAIRE(S)

Je, soussigné(e), *M^r GUERIN CLIVIER*
 propriétaire du terrain cadastré (année, section(s), parcelle(s)) *2003 ZE 159*
 sur la commune de *PAINDOULT*
 autorise *M^r VELET Jean Bernard* à effectuer une opération archéologique
 sur mon terrain du *Bois* au *S. A. M. T.* 2004.

Le chercheur s'engage à la fin de l'opération à remettre le terrain en état.

Le propriétaire abandonne à l'Etat la partie du mobilier découvert en métaux non précieux dont la plupart nécessitent des frais de restauration et de conservation importants.

Le propriétaire se réserve la propriété des objets en or ou en argent et des gemmes qui seraient découverts. Les restaurations et frais de conservation de ces objets sont à sa charge.

Je Demande la conservation des pièces de la Butte de Seories

Fait à *Guerr* le *22/12/2003*

signature

FORMULAIRE D'AUTORISATION DELIVREE PAR LE(S) PROPRIETAIRE(S)

Je, soussigné(e), ... MR. BOSCHERIE VITAL,
 propriétaire du terrain cadastré (année, section(s), parcelle(s)) ... 2003, (remembrement) ZE 152,
 sur la commune de ... Quimpont,
 autorise MR. Viret Jean Bernard : à effectuer une opération archéologique
 sur mon terrain du 01/06 au 31/10/ 2004.

Le chercheur s'engage à la fin de l'opération à remettre le terrain en état, "Celle orable au dessus"
 et la mise en place des clôtures existantes, de ne pas abattre d'arbres, et de remettre les dimensions

Le propriétaire abandonne à l'Etat la partie du mobilier découvert en métaux non précieux dont la plupart nécessitent des frais de restauration et de conservation importants.

Le propriétaire souhaite que ces fouilles soient bien à l'auscultation la journée pour éviter tout trouble de voisinage
 Le propriétaire se réserve la propriété des objets en or ou en argent et des gemmes qui seraient découverts. Les restaurations et frais de conservation de ces objets sont à sa charge.

Fait à ... Chalahoff, le ... 18/12/2005

signature



TRECELIEN

Fouille 2003

Analyse du minerai
et des scories

Jean-Jacques Chauvel
Janvier 2004

20466

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-A10	scorie
JBV 148	310266	Trécélien-A10	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'enseignement 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.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	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	4,488	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

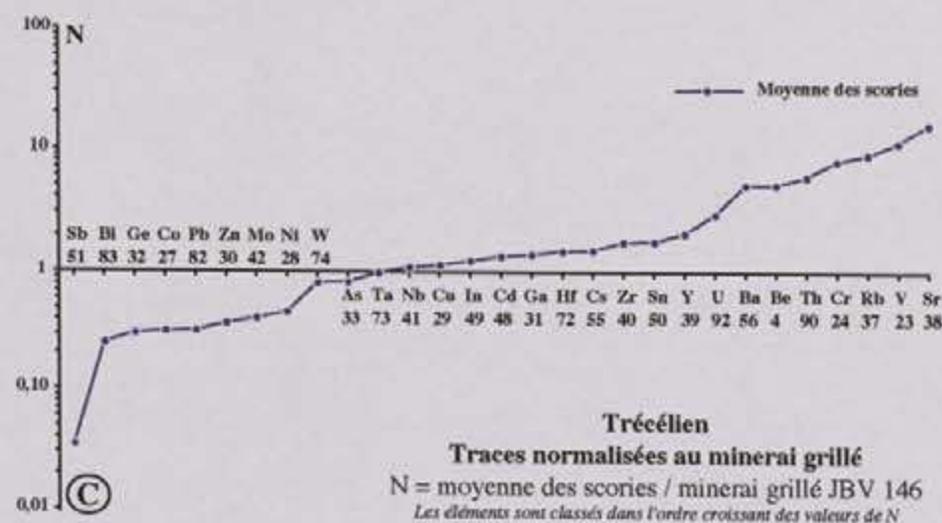
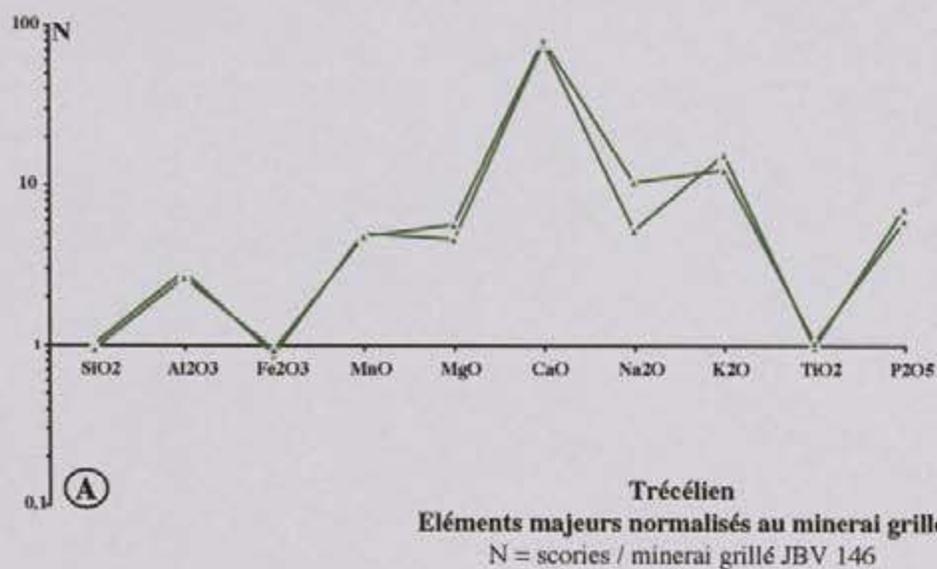


Figure 1
TRECELIEN - Éléments majeurs et en traces

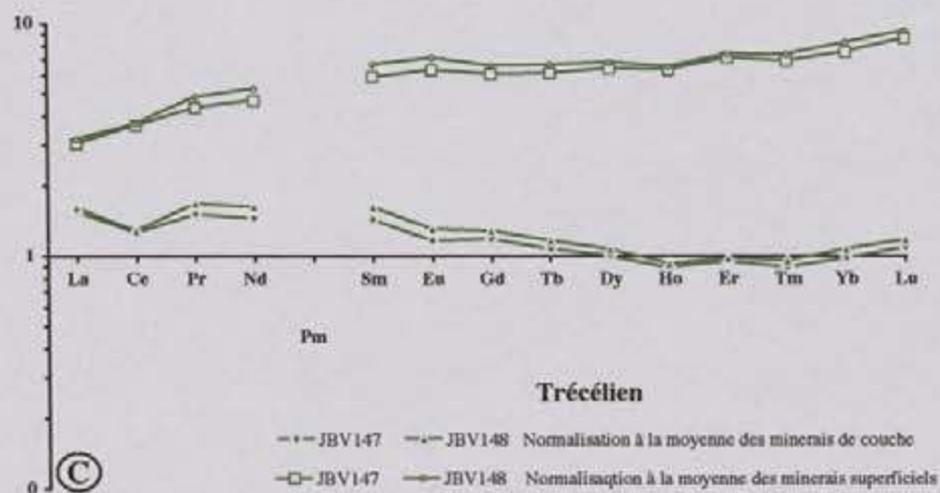
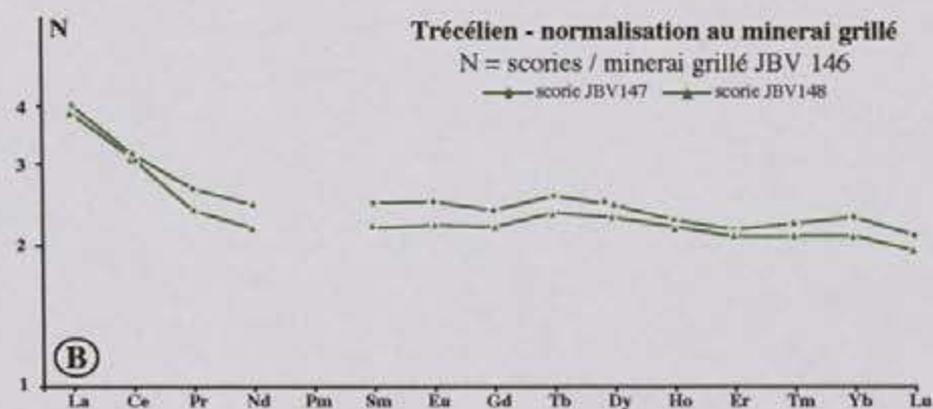
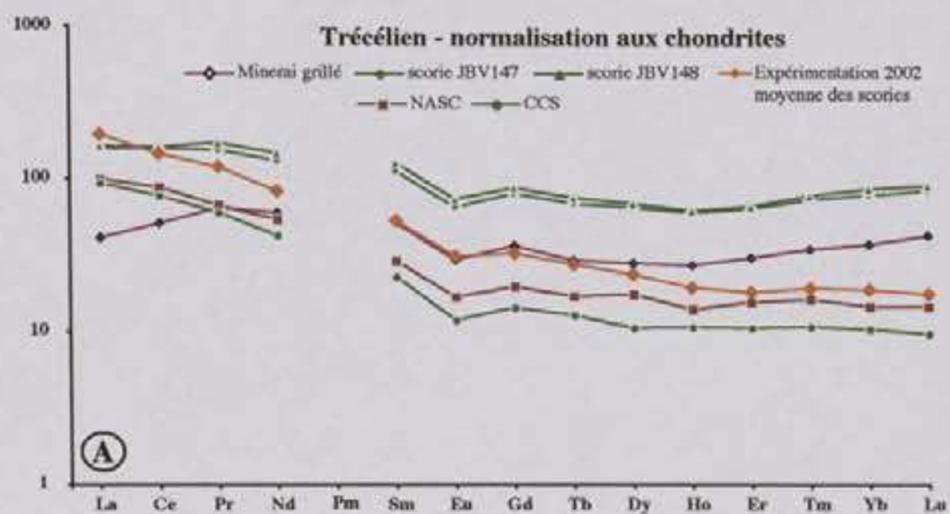


Figure 2
TRECELIEN - Terres rares

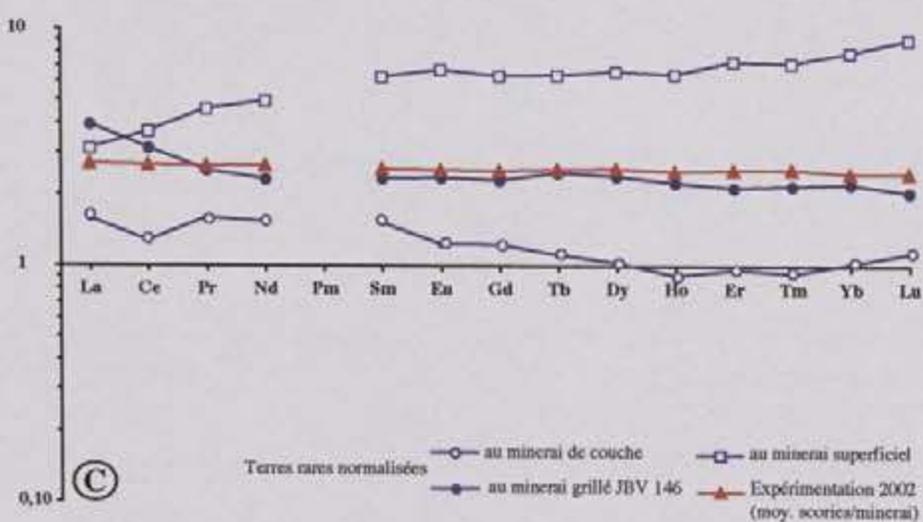
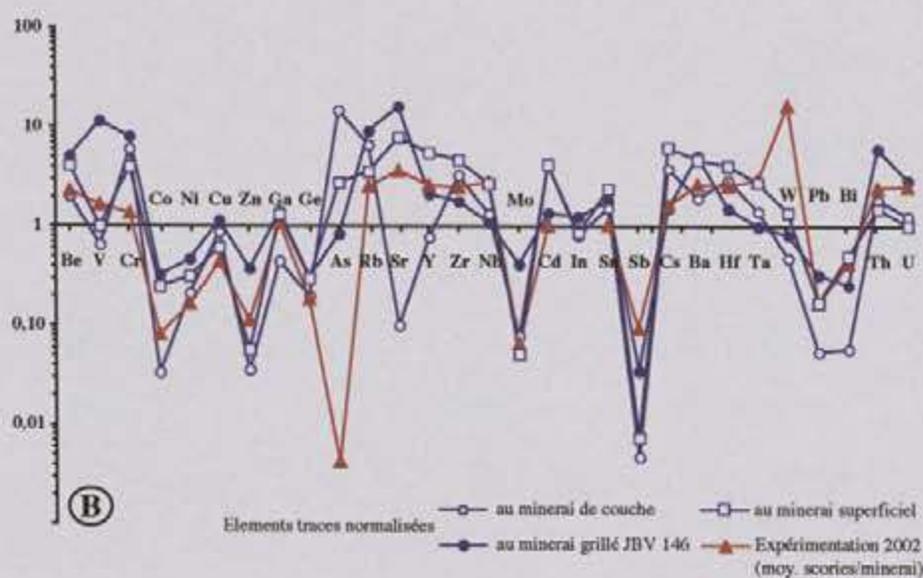
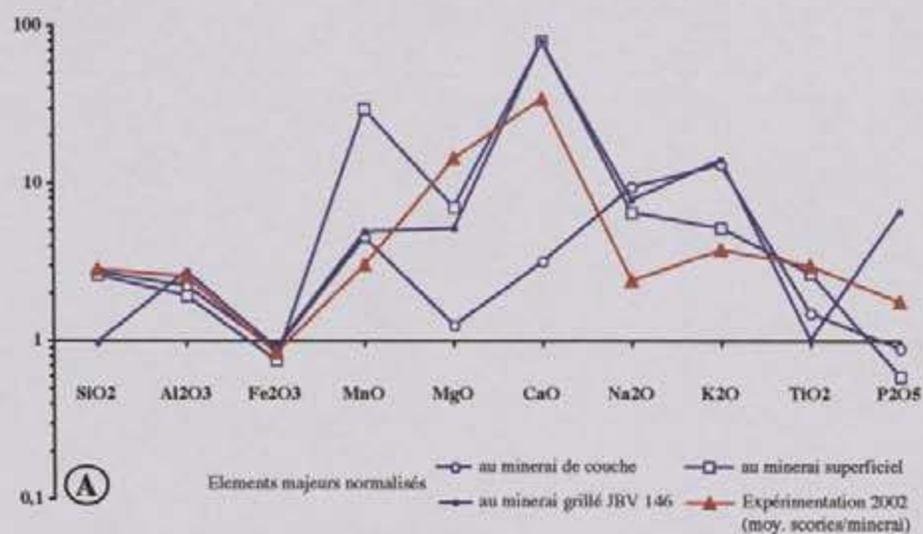
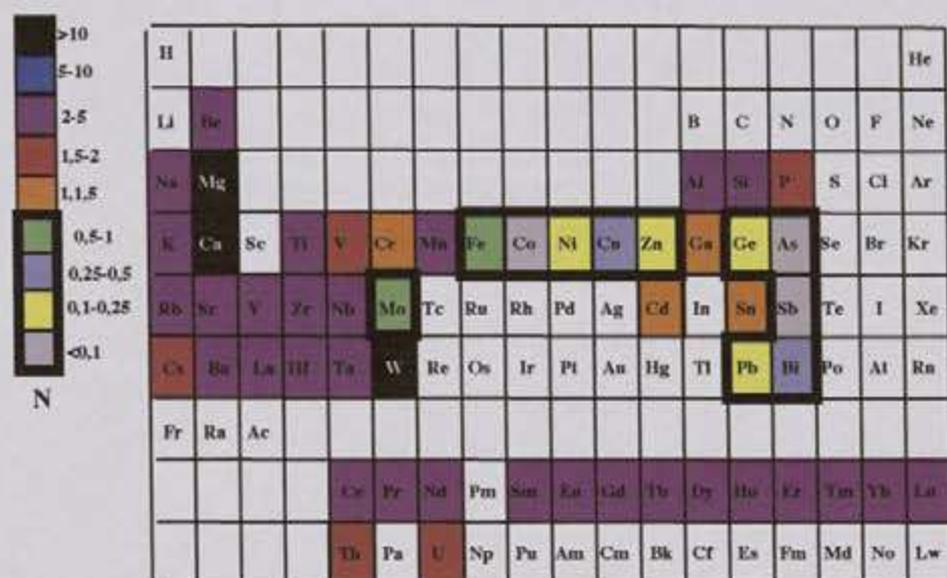
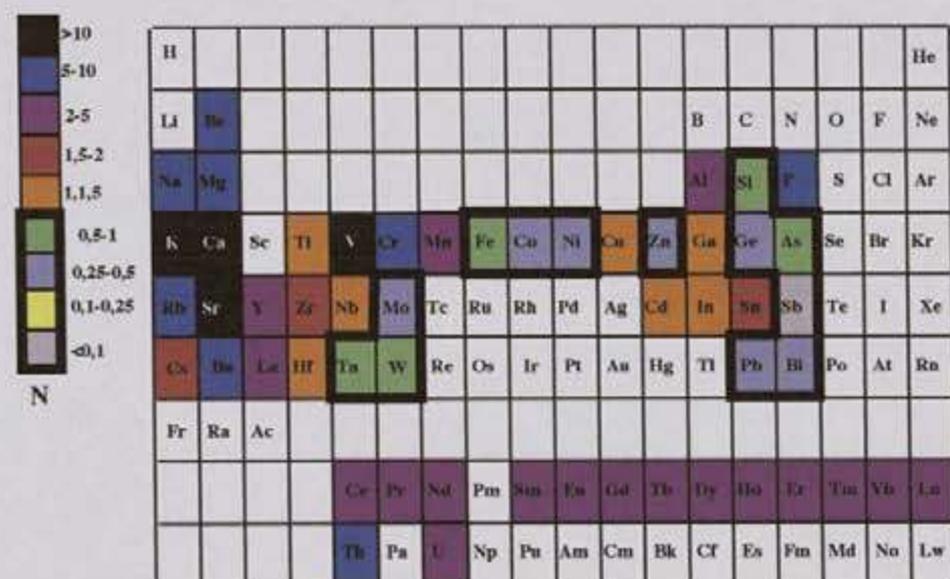


Figure 3
Trécélien - Composition moyenne des scories
Comparaison avec l'expérimentation 2002

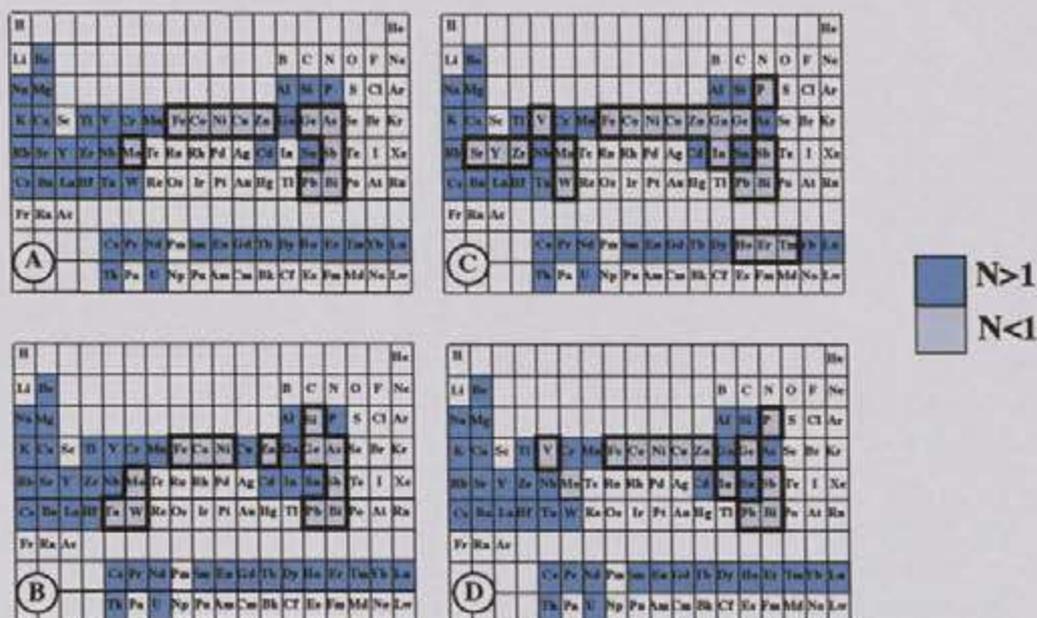


Expérimentation 2002



Trécélien

Figure 4
Répartition des éléments en fonction des valeurs de N = moyenne scories / minerai grillé



A: Expérimentation 2002

N = moyenne des scores/moyenne du minéral cru

B, C & D: Trécélien

B: N = moyenne des scores/moyenne du minéral grillé

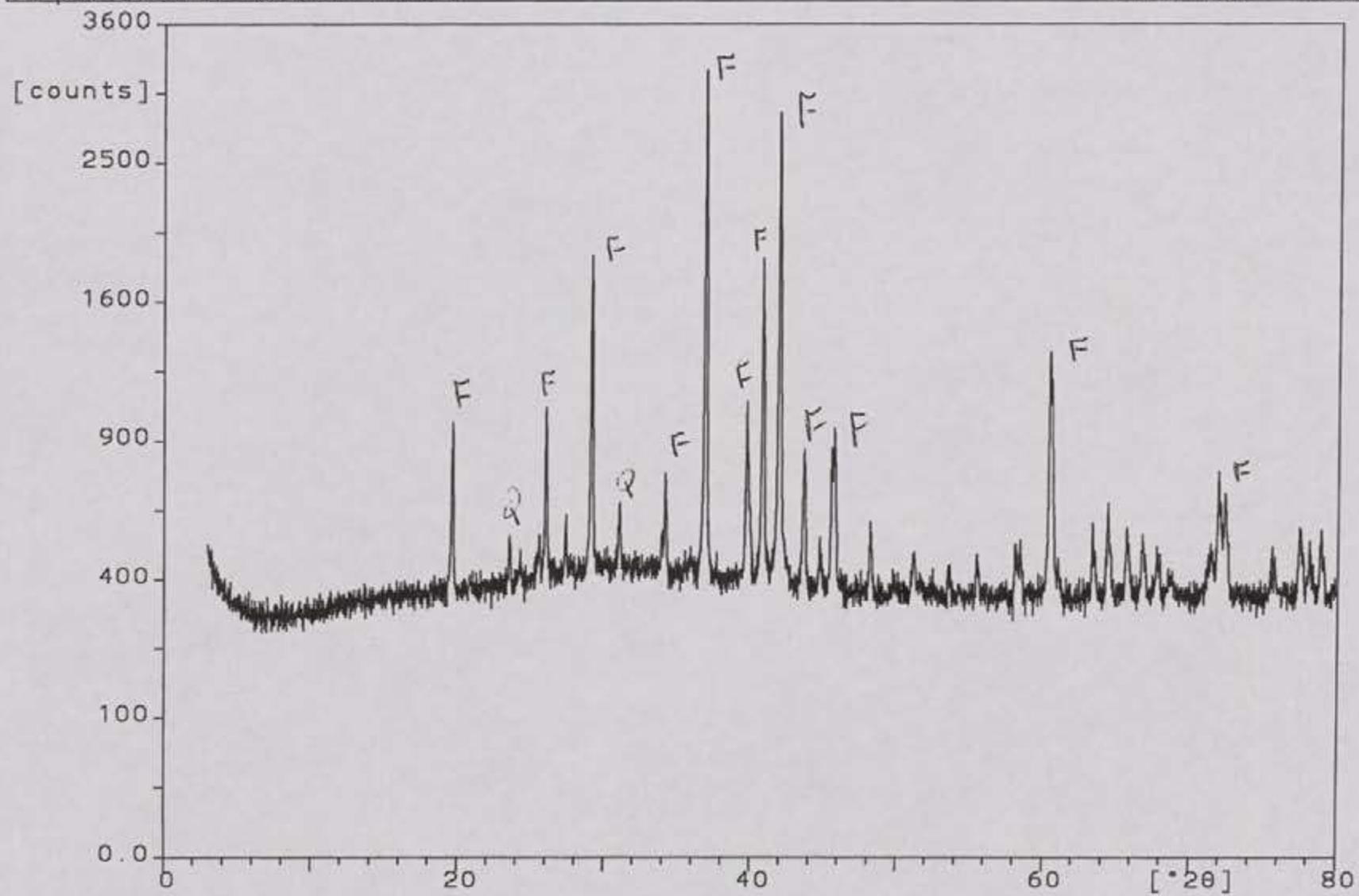
C: N = moyenne des scores/moyenne des minerais ordoviciens de Bretagne centrale

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

Figure 6
Répartitions des valeurs de N

Sample identification: JBV147

15-Jan-2004 16:58

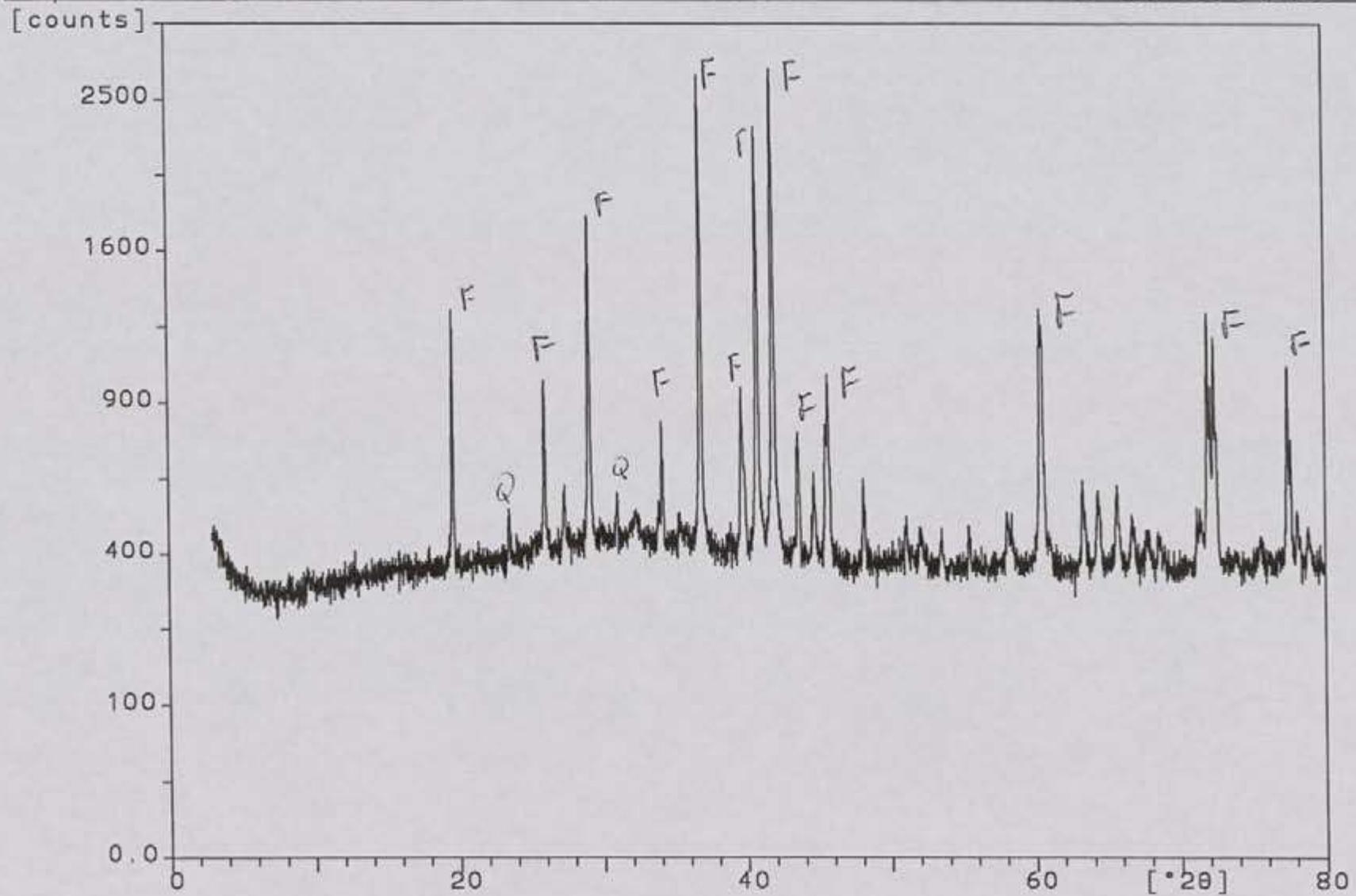


JBV147.RD

Fig. 7

Sample identification: JBV148

15-Jan-2004 16:59



JBV148.RD

Fig 8