HAL
open science

Un site métallurgique du Bronze ancien dans le vallon du Longet à Molines-en-Queyras (Hautes-Alpes)

Laurent Carozza, Pierre Rostan, David Bourgarit, Benoit Mille, Y. Coquinot, Albane Burens-Carozza, Nicolau Escanilla Artigas

To cite this version:

Laurent Carozza, Pierre Rostan, David Bourgarit, Benoit Mille, Y. Coquinot, et al.. Un site métallurgique du Bronze ancien dans le vallon du Longet à Molines-en-Queyras (Hautes-Alpes). Archéologie de la Montagne Européenne, 2008, GAP, France. pp.203-230. hal-00913954

HAL Id: hal-00913954

https://hal.science/hal-00913954

Submitted on 4 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

BIBLIOTHÈQUE D'ARCHÉOLOGIE MÉDITERRANÉENNE ET AFRICAINE - 4

Archéologie de la montagne européenne

Actes de la table ronde internationale de Gap
29 septembre-1er octobre 2008

Textes réunis par
Stéfan TZORTZIS et Xavier DELESTRE
avec la collaboration de Jennifer GRECK

2010

Un site métallurgique du Bronze ancien dans le vallon du Longet à Molines-en-Queyras (Hautes-Alpes) : caractérisation du contexte archéologique et des déchets liés aux activités de métallurgie extractive

Laurent CAROZZA*, Pierre ROSTAN**, David BOURGARIT***, Benoît MILLE***, Yvan COQUINOT***, Albane BURENS****, Nicolau ESCANILLA ARTIGAS*****

Résumé. L'Europe occidentale connaît durant la seconde moitié du troisième millénaire un développement important de la production métallurgique. À Saint-Véran, dans le Haut-Queyras (Hautes-Alpes), l'exploitation et la transformation des ressources cuprifères sont attestées entre 2450 et 1950 avant notre ère. La mine de la « tranchée des Anciens » a ainsi permis l'extraction de près de 2 000 tonnes de minerais, la bornite. Le site de la Cabane des Clausis à Saint-Véran constituait jusqu'alors la principale zone de traitement pyrométallurgique associée. La présente communication se propose de rendre compte des sondages récents réalisés dans le vallon du Longet, à Molines-en-Queyras, qui montrent l'existence d'une petite zone métallurgique dont la datation est comprise entre le XXIIIe et le XXe s. avant notre ère et où, pour la première fois au sein du complexe de Saint-Véran, la preuve directe de l'utilisation de fours bâtis a pu être établie. La grande similarité des scories mises au jour sur le site avec celles de la Cabane des Clausis renvoie à des procédés métallurgiques analogues, témoins d'innovations récentes accompagnant la mise en place d'une production de masse dont le complexe minier et métallurgique est alors le siège.

An Early Bronze Age metallurgic site in the longet dale (Molines-en-Queyras, Hautes-Alpes): characterization of the archaeological context and the extractive metallurgy waste

Abstract. The metallurgical production increases dramatically in Western Europe during the second half of the third millenium BC. At Saint Véran in the Haut Queyras, Hautes-Alpes, copper mining and smelting is testified between 2450 et 1950 BC, with some 2000 t of copper ore, namely bornite, having been extracted from the main mine known to date, the "tranchée des Anciens". Until recently, the main smelting workshop associated to the mine was the site called La cabane des Clausis. The present paper aims at reporting the recent excavations carried out in the Vallon du Longet at Molines-en-Queyras, which have put into light a small metallurgical area dated between the 23rd and the 20th century BC. There, a vitrified rock fragment constitutes the first direct evidence of the use of smelting furnace in the district. The unearthed metallurgical slags are very similar to those known so far at Saint Véran, they reveal innovative processes promoting the set up of copper mass-production.

1. Contexte historique, géographique et géologique

C'est dans le Haut Queyras (Hautes-Alpes), que se situe le complexe métallurgique et minier de Saint-Véran, caractérisé, à l'instar de celui de Cabrières, par l'association – dans un petit périmètre – de sites d'extraction du minerai et de zones de traitement métallurgiques (Carozza, Mille 2007). Les recherches initiées par Pierre Rostan (Rostan, Gattiglia, Rossi 2002) au cœur de ce complexe permettent aujourd'hui de disposer d'une abondante documentation sur les travaux miniers et sur l'abri sous roche de Pinilière. Les travaux de Bruno Ancel ont porté sur l'histoire du site minier et ont illustré toute sa complexité (Ancel 1999).

* Géographie de l'Environnement (GEODE), UMR 5602 CNRS - Université de Toulouse II-Le Mirail, 5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse cedex 9.
** Bureau d'Études Géologiques Tethys, 05380 Châteauroux-les-Alpes.
*** Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF), UMR 171 CNRS, Palais du Louvre, 14 quai François Mitterrand, 75001 Paris.
**** Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, UMR 5140 CNRS - Université Paul Valéry Montpellier III, 390 avenue de Pérols, 34970 Lattes.
***** Departament de Prehistoria, Facultat de Filosofia i Lletres - Edifici B, Universitat Autonoma de Barcelona, Bellatera, E08193 Barcelona (Espagne).

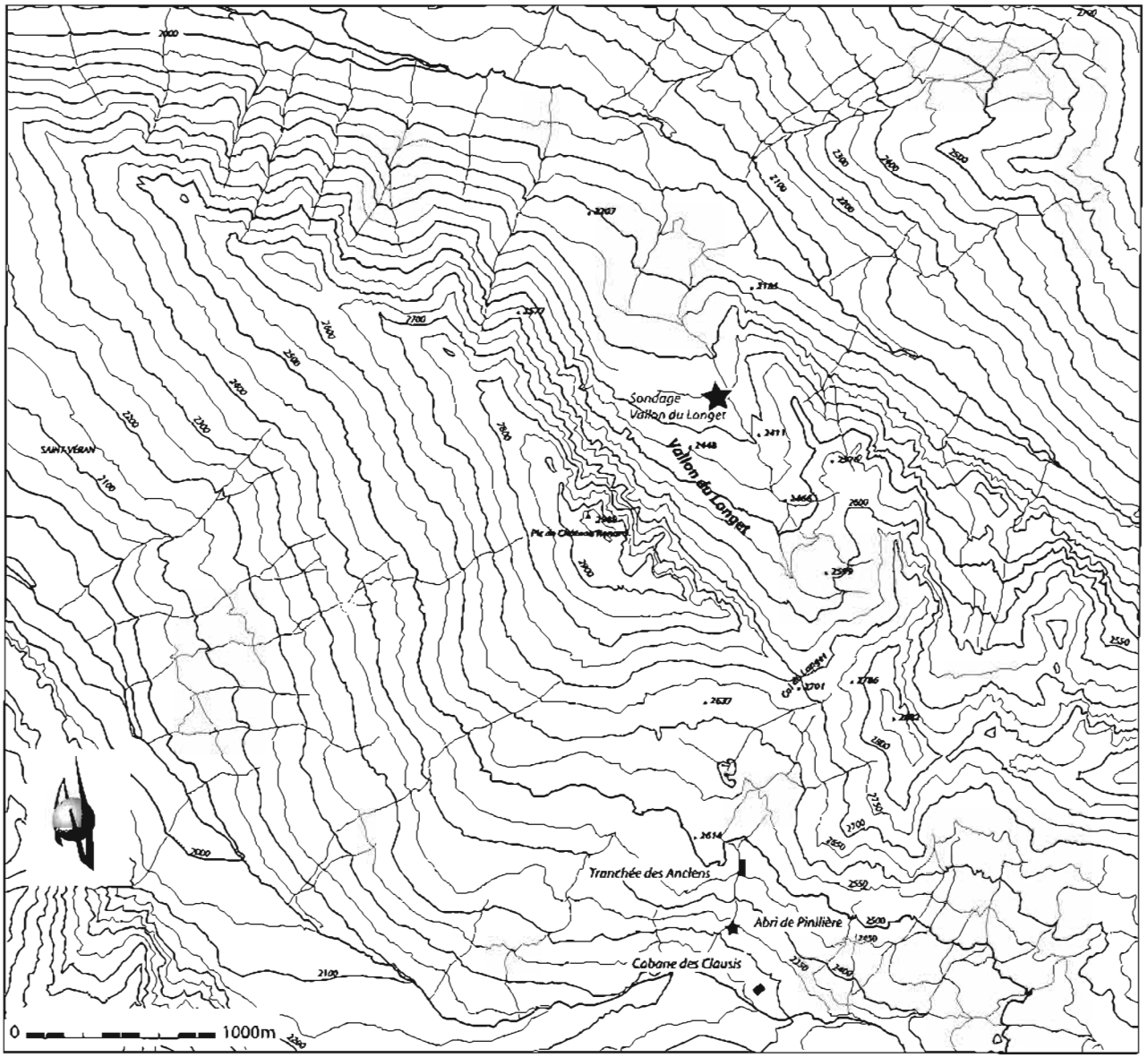


Fig. 1. Carte des principaux sites liés à l'exploitation des ressources cuprifères durant l'âge du Bronze dans la zone de Saint-Véran et de Molines-en-Queyras (Hautes-Alpes) (DAO A. Burens).

Ceux conduits par Hélène Barge sur l'atelier métallurgique de la cabane des Clausis (Barge 1999) fournissent une riche documentation qui éclaire plus largement le contexte de la production métallique protohistorique dans le sud-est de la France (Barge *et al.* 1998 ; pour une synthèse récente de ces travaux, se reporter à Carozza, Mille 2007).

1.1. Circonstances de la découverte du site du vallon du Longet

Le site de traitement métallurgique du vallon du Longet a été découvert lors de prospections autorisées antérieures à 1995, réalisées dans le cadre des travaux de recherche engagés sur le site minier des Clausis. La découverte du site a été signalée dans une publication consacrée à l'exploitation minière protohistorique (Rostan, Gattiglia, Rossi 2002). L'atelier métallurgique du vallon du Longet appartient à un ensemble de sites de traitement que nous avons mis en évidence lors de ces prospections et qui comporte l'important site de la Cabane des Clausis – fouillé par la suite par Hélène Barge – ainsi que deux sites voisins dont l'importance demeure à évaluer et qui ont ponctuellement fourni un petit nombre de scories et de tuyères.

Un des intérêts du site du vallon du Longet réside dans son éloignement relatif d'avec le site d'extraction du minerai (fig. 1) qui est situé plus au nord du site minier au-delà du

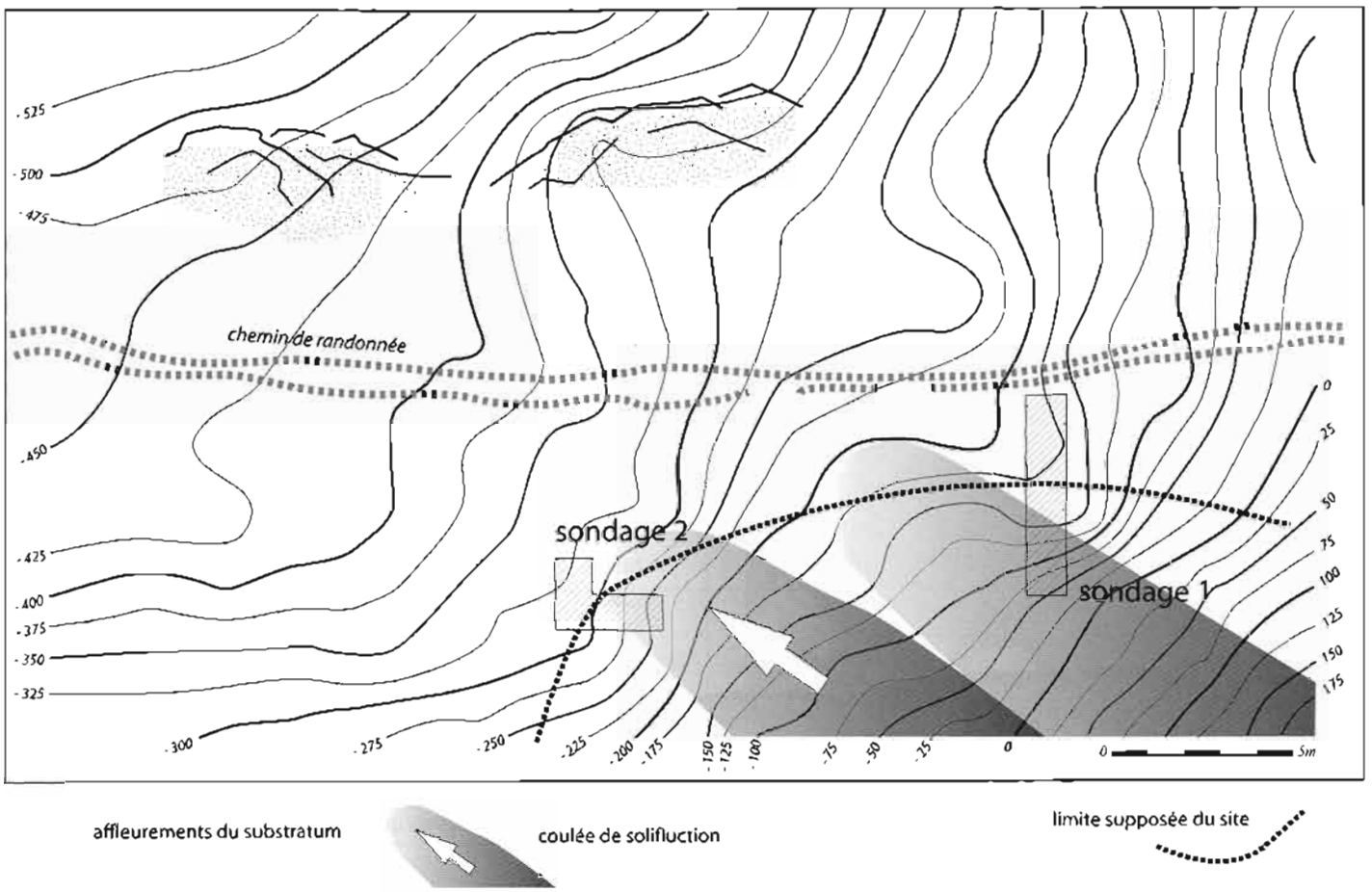


Fig. 2. Topographie et implantation des deux sondages archéologiques (DAO L. Carozza/A. Burens).

col du Longet ; une des problématiques était donc de préciser si le minerai traité ici provenait d'un site d'extraction passé inaperçu jusque-là ou bien du site d'extraction des Clausis. Il se pose alors dans ce dernier cas la problématique du caractère à première vue anti-économique d'un transport lointain du minerai en particulier en raison du franchissement d'un col.

Cet aspect doit être mis en rapport avec le faible volume de minerai traité tel qu'il nous est connu actuellement sur le secteur, appréhendé par les volumes de scories accompagnant ces ateliers de traitement. En effet, ce volume de minerai traité présente un très fort déficit en regard des volumes de minerai extraits de la mine et il se pose dès lors la question du devenir du minerai extrait, dont il semble pouvoir être établi à présent qu'il n'a pas été traité au voisinage immédiat du site minier. Doit-on envisager une possible exportation plus en aval dans la vallée, ou, comme pourrait l'attester le site du vallon du Longet, dans les vallées voisines ? Se soulève alors un champ d'interrogations sur les motivations sociologiques ou techniques d'une telle exportation.

1.2. Géologie, géomorphologie et histoire géologique récente

Le sous-sol du secteur appartient à la zone alpine interne piémontaise occupée ici par l'unité des Schistes Lustrés, très épaisse série de schistes argileux plus ou moins détritiques affectés par un métamorphisme modéré de basse température.

Il s'agit de dépôts fins mis en place sur le fond du socle océanique de la Téthys composé de serpentines, de gabbros et de basaltes en épanchements sous-marins dans un contexte de rift.

C'est sur ce fond océanique que s'est développé un hydrothermalisme sous-marin qui a permis le dépôt de couches de sulfures métalliques principalement cuivreux dont le gisement de Saint-Véran – situé à faible distance plus au sud dans la vallée de l'Aigue Blanche – est le meilleur témoin sur le versant français des Alpes.

Le vallon du Longet est entièrement occupé par ces Schistes Lustrés mais comporte sur son flanc est ou bien en fond de vallon, différents petits massifs de « Roches Vertes » issues

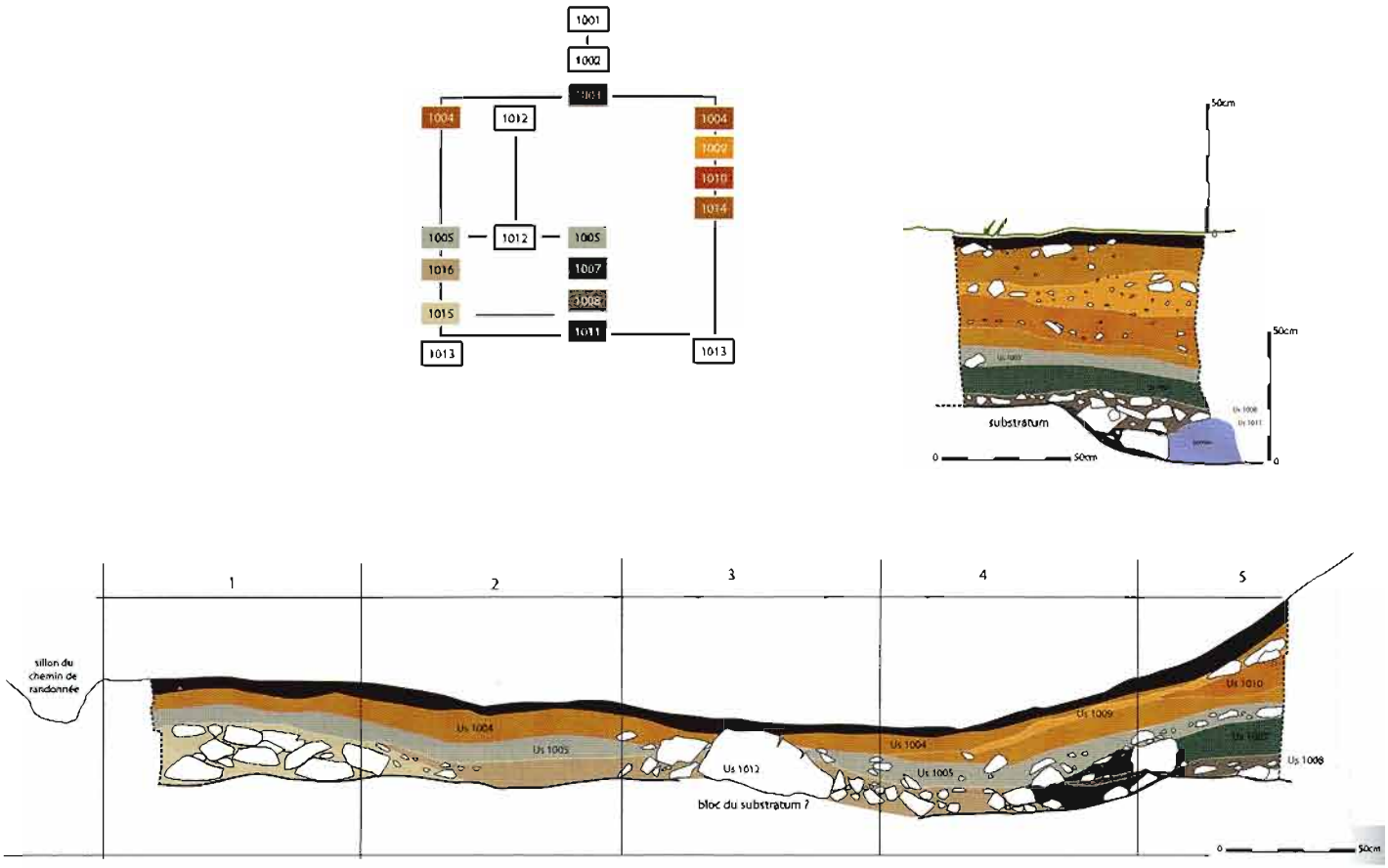


Fig. 3. Coupes longitudinale et frontale du sondage 1 et présentation du diagramme stratigraphique (DAO L. Carozza).

du socle océanique ; les plus proches sont des massifs de gabbros de faibles volumes plus au sud-est en fond de vallon, ainsi qu'un affleurement de serpentinites qui occupe notamment la crête au nord-est du site et qui le sépare du vallon voisin.
D'autres massifs de roches vertes existent plus en amont, vers le col de Longet et sur la crête qui sépare le vallon du Longet de la vallée de l'Aigue Agnelle.

Au droit du site fouillé, le substratum schisteux apparaît peu profond et sub-affleurant en aval du sentier (fig. 2) ; il affleure sur la petite crête à une trentaine de mètres en amont du site avec une schistosité très redressée, grossièrement parallèle à l'axe de cette crête. Il est masqué partout ailleurs par la couverture morainique et colluviale manifestement peu épaisse ici. L'allure du secteur montre qu'il s'agit d'un replat topographique du substratum au droit d'un sentier, localisé en pied d'une pente raide où le substratum est peu profond et qui correspond pratiquement à une surface structurale. Il est possible ici que l'allure du toit du substratum corresponde à un repli des Schistes Lustrés, avec une schistosité peu pentée au droit du replat aval et très redressée dans la pente en amont. Le site se localiserait donc alors dans la charnière de cette structure.
L'allure topographique du site atteste de mouvements de terrains à la morphologie encore très fraîche avec une série de coulées boueuses dont la fouille montrera qu'elles se trouvent composées de limons argileux jaunâtres peu graveleux, manifestement hérités du lessivage des moraines. On y observe notamment une fraction fine au toucher onctueux, caractéristique témoignant de la présence de mica séricite directement hérité de l'altération des Schistes Lustrés. Ces coulées d'épaisseur au plus métrique apparaissent comme le décollement de la couverture colluviale (et peut-être localement morainique) du toit du substratum schisteux depuis les pentes raides en amont du site fouillé. Il s'agit de mouvements de solifluxion qui interviennent ici *a priori* en période de dégel rapide alors que la couche de colluvions superficielles se trouve entièrement saturée et peut passer en phase quasiment liquide. Elle vient en recouvrement direct des horizons archéologiques et ce type de mouvement de sol s'observe en différents points du secteur, en particulier plus au nord-est, sur l'autre flanc du vallon sous la crête de Cuesta Embrencha.

Au droit du site, ces coulées se sont arrêtées sur le replat topographique du sentier où le substratum schisteux est sub-affleurant. Plus au sud-est, immédiatement au-delà de la zone fouillée, les mouvements de terrain se poursuivent jusqu'au pied de versant, à hauteur de la rive gauche du ruisseau du Longet. Toujours avec un caractère cortical, ces mouvements y présentent en ce point un caractère encore manifestement actif en relation avec de petites venues d'eau s'effectuant au toit des moraines sous-jacentes.

Ainsi, l'histoire géologique locale récente s'établit de la façon suivante : l'érosion glaciaire a mis en relief et épousé la structuration du substratum schisteux, le faisant apparaître en surface structurale. Ces éléments apparaissent lors de la décrue glaciaire. S'y ajoute une couverture morainique, ici mince, composée de moraines argilo-graveleuses jaunâtres.

L'érosion météorique de ces moraines conduit à la mise en place d'une couverture colluviale fine, curieusement peu développée sur les zones peu pentées (replat du secteur fouillé) où le substratum rocheux est très peu profond. C'est dans ce contexte qu'intervient l'installation de l'atelier de traitement métallurgique. Lors d'épisodes de fontes précoces du gel hivernal se déclenchent des coulées boueuses solifluées à caractère épidermique affectant les colluvions et sans doute des moraines. Elles viennent se caler en pied de pente en recouvrement des horizons archéologiques.

2. Présentation des données archéologiques

La découverte, dans un terrier de marmotte, de quelques scories et d'un fragment de tuyère, constituait un ensemble d'indices suffisamment explicites pour avérer la présence d'une aire dévolue aux activités métallurgiques (fig. 2). Si la plupart de ces indices se trouvait en position secondaire, dans les matériaux excavés par le mammifère fouisseur d'autres éléments étaient disséminés sur une plus grande zone, formant un replat d'une surface d'environ 25 m². Dans cette zone, les collectes de surface et les premières observations montrèrent rapidement l'absence de sols archéologiques, la pelouse recouvrant seule le substratum. En amont, des coulées de solifluxions très importantes suggéraient l'hypothèse d'un recouvrement des horizons archéologiques, potentiellement préservés du processus érosif des sols ou bien au contraire un remaniement complet de l'horizon archéologique par ces coulées.

2.1. Le contexte morphologique, sédimentaire et microtopographique

L'implantation des sondages et la stratégie de fouille ont été dictées par la paléo-topographie du site. En effet, la

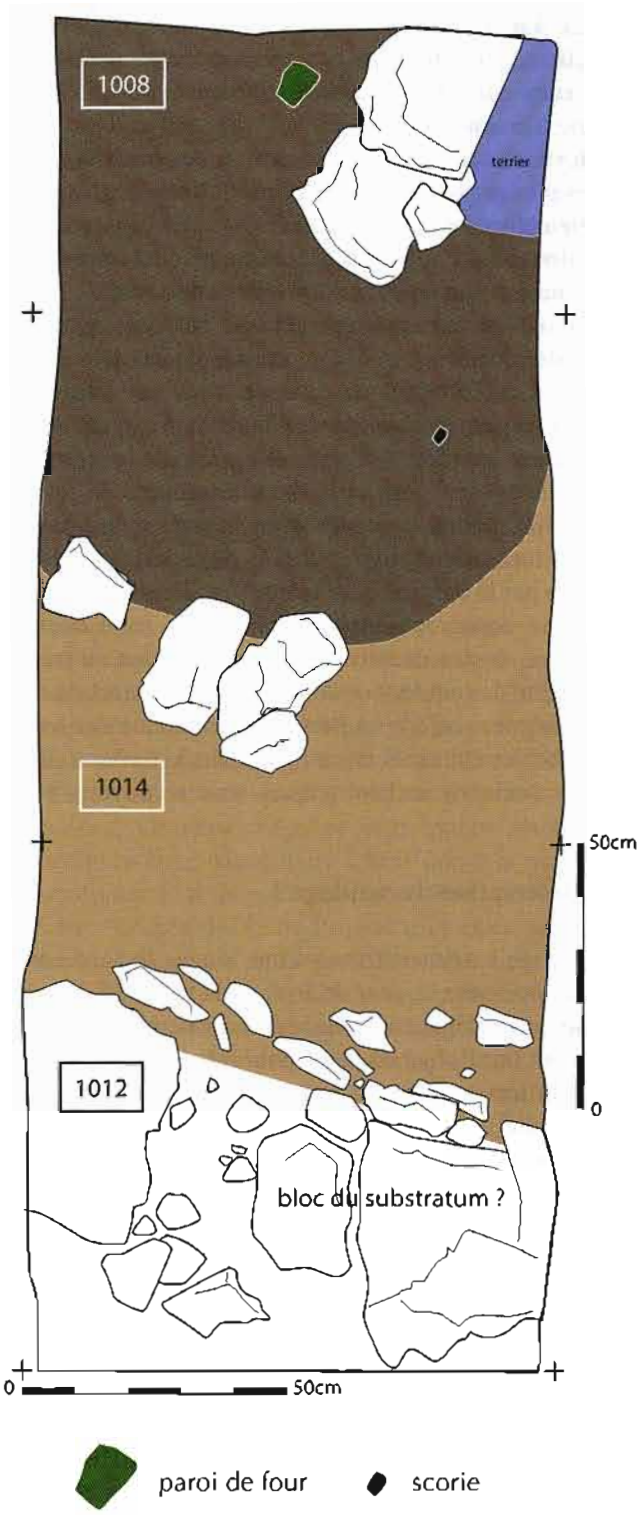


Fig. 4. Sondage, plan et vue du décapage et des unités stratigraphiques où apparaissent les principaux témoignages métallurgiques (Us 1008) (DAO L. Carozza).

première opération a consisté en la réalisation d'un levé microtopographique de manière à circonscrire le site (fig. 2). La zone prise en compte est formée d'un replat partiellement délimité par des affleurements du substratum. Dans cette zone, la couverture sédimentaire est nulle ou se résume à la seule pelouse. Le sol brun, peu profond, repose sur des altérations du substratum ou des horizons morainiques plus graveleux. En aval de cette zone, les formations sédimentaires sont davantage liées aux écoulements souterrains des eaux. Ce secteur chaotique révèle la présence de zones humides et de petites tourbières de pente.

À l'amont, le versant se caractérise par une topographie contrastée formée par une multitude de coulées de solifluxion. Ces dernières descendent jusqu'au niveau de la zone de replat et forment des langues au profil bombé, larges d'environ 3 m. On observe également la présence de blocs glissant par l'influence des phénomènes de gel-dégel le long de pentes, précédés d'un bourrelet de sédiments poussés lors de leur progression. L'avancée de ces blocs est facilitée par la nature du sédiment (fig. 2).

Le relevé topographique montre que la zone dont sont issues les scories découvertes en prospection se trouve à l'extrémité des coulées de solifluxion, au contact du replat, dans des zones offertes à l'érosion mécanique des sols. En revanche, les éléments mis au jour dans le terrier indiquent que les horizons archéologiques sont recouverts par les coulées.

2.2. Description du sondage 1

Le sondage 1 a pris la forme d'une longue tranchée de 6 m de long pour une largeur de 1 m, mais seuls 4,5 m² ont été fouillés après dégagement de la pelouse herbeuse. Les décapages ont fait l'objet de plans pour relever les structures et les mobiliers *in situ*; les coupes frontales et latérales ont toutes 3 été relevées; un diagramme stratigraphique a été établi (fig. 3).

Les deux premières unités stratigraphiques sont formées par les déblais extraits du terrier par la marmotte. L'Us 1001 est formée d'un sédiment brun, fin, incluant de rares charbons de bois et un petit cailloutis; l'Us 1002 correspond à la moraine graveleuse, de teinte jaune. Ces horizons reposaient sur la pelouse (Us 1003). Leur stratification montre que le terrier a atteint en premier lieu les horizons archéologiques, puis le substratum.

Les unités stratigraphiques 1004, 1009, 1010 et 1014 constituent la partie sommitale du remplissage et ne recèlent aucun témoin archéologique en place. L'Us 1004 se développe dans la partie aval du sondage et correspond de toute évidence à un faciès détritique, formé de l'érosion de la coulée de solifluxion. Il s'agit d'un sédiment limoneux gris clair, fin, incluant des blocs pierreux épars. On observe, dans la partie médiane du sondage, l'apparition de blocs rocheux contre lesquels s'appuie l'Us 1004, et sur lesquels les unités sous-jacentes viennent se bloquer.

L'Us 1009 correspond à un épisode de l'horizon de solifluxion. Elle est de texture limoneuse et de teinte beige. On y observe la présence d'un cailloutis dense; l'Us se singularise par une géométrie en biseau.

L'Us 1010, limoneuse de teinte beige/jaune, se singularise par la présence d'un cailloutis formant un horizon homogène à la base.

L'Us 1014, très limoneuse, s'individualise par l'absence de cailloutis et par sa texture très fine.

L'Us 1005 constitue le premier horizon archéologique. Il s'agit d'un cailloutis localement dense enrobé d'un sédiment brun fin, à dominante limoneuse. On observe la présence de petits charbons de bois qui déterminent l'origine anthropique d'une partie du sédiment. Il est probable que l'unité 1005 corresponde, pour partie, à un horizon de démantèlement.

Sous l'Us 1005, se développe l'Unité 1016. Celle-ci épouse le modelé formé par les irrégularités du substratum, ici constitué d'une moraine glaciaire sableuse, de couleur gris-beige clair, englobant un cailloutis et de petits charbons de bois. La couche 1016 se développe de part et d'autre du pointement rocheux 1012 et repose à l'aval sur une unité naturelle, en l'occurrence une moraine sablo-graveleuse beige-jaune (Us 1015). Cette dernière présente une très forte densité de blocs rocheux résultant probablement de l'altération du substratum.

Dans la partie amont du sondage, la séquence stratigraphique est davantage dilatée et la cohérence de la présentation requiert de préciser à la fois l'organisation spatiale et stratigraphique depuis la base du comblement. On observe nettement que l'Us 1016 vient épouser les irrégularités de la moraine glaciaire. Cette unité est recoupée par une petite cuvette de forme circulaire, d'un diamètre de 0,70 m (fig. 11). Profond de 0,15 m, ce creusement présente un profil évasé. Son remplissage est formé de l'Us 1011 dont le sédiment limono-graveleux brun inclut de nombreux charbons de bois.

Cet horizon, qui pourrait matérialiser un niveau de sol – hypothèse à confirmer par une fouille extensive – est surmonté par une couche limono-graveleuse brune, incluant un cailloutis dense (Us 1008). Cette couche repose en partie sur le substratum et comble la dépression formée par les ondulations de ce dernier (fig. 4). Elle recèle une très forte densité de charbons de bois, et a également livré un fragment de paroi de four, ainsi qu'une scorie découverte *in situ*. En outre, un petit fragment de tuyère en céramique et un petit tesson de céramique non tournée ont été mis au jour dans cette couche. La tuyère conique, très fine, s'apparente par sa morphologie aux objets de ce type mis au jour à Saint-Véran. Il est également probable qu'une partie des scories découvertes dans les déblais du terrier provient de

cette unité stratigraphique. Compte tenu de la présence de nombreux blocs, de produits de combustion et de scories, l'Us 1008 pourrait correspondre à un horizon lié au fonctionnement d'installations métallurgiques (four ?).
La nature et la géométrie de l'Us 1007 viennent appuyer cette hypothèse. Cette couche, très puissante dans la partie amont du sondage, s'interrompt au contact de l'Us 1016. Elle est formée d'un sédiment limoneux brun, incluant de nombreux charbons de bois, au sein duquel émergent quelques gros blocs rocheux. Cette couche pourrait, pour partie, correspondre à des rejets anthropiques.
Pour synthétiser les données stratigraphiques et spatiales du sondage 1 nous observons que les premiers horizons archéologiques reposent sur le substratum, formé ici par une moraine argilo-graveleuse jaunâtre. La relative horizontalité des Us qui forment les niveaux archéologiques sous-tend que le site est implanté sur un replat adossé au versant. Le contenu des Us 1011, 1008 et 1007, qui comportent toutes des produits de combustion dans des densités variables, correspond à des apports anthropiques. L'Us 1008 se singularise toutefois par la présence de scories, d'une paroi de four et d'un fragment de tuyère, témoignant de manière indirecte de pratiques métallurgiques. La partie supérieure de la séquence stratigraphique correspond davantage à des horizons de nature détritique (Us 1005) ou érosifs. Nous n'observons pas d'horizons archéologiques dès lors que s'interrompt la coulée de solifluxion.

2.3. Datation des horizons archéologiques

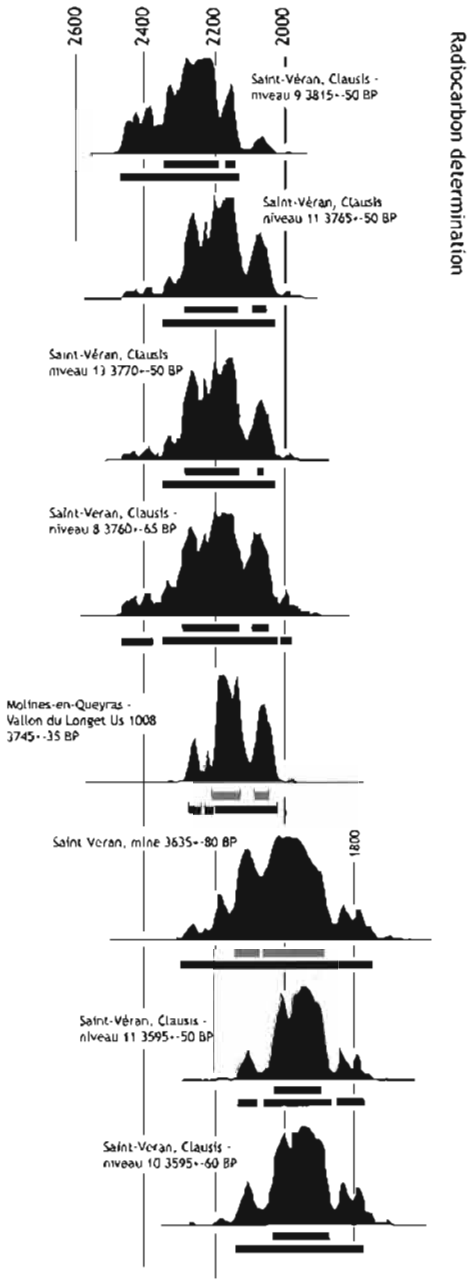
La datation du site, en l'absence de tout mobilier archéologique significatif, repose sur la réalisation d'une datation par AMS sur charbons de l'Us 1008. Le résultat – Poz-22369 3745±35 BP – fournit une fourchette chronologique comprise entre 2280-2030 BC, correspondant au début du Bronze ancien (fig. 5).

Si l'on prend en compte les plus fortes probabilités offertes par la calibration (2 sigma), nous pouvons retenir qu'à 87,9 %, la plage de temps comprise entre 2230 et 2030 retient toute notre attention, soit l'extrême fin du troisième millénaire avant notre ère. Par le truchement des probabilités maximales à 1 sigma (68,2 % de probabilités), le XXIIe s. avant notre ère pourrait être privilégié (2210-2130 bc).
Quoi qu'il en soit, cette datation nous assure que le site du vallon du Longet a été fréquenté au tout début du Bronze ancien, durant une plage de temps que l'on peut supposer post-campaniforme ou très légèrement contemporaine si l'on retient l'ensemble de la plage de probabilités. Cette question importe peu en l'état de nos réflexions mais il faut, en revanche, replacer ce résultat sur le canevas des datations des exploitations minières et métallurgiques de Saint-Véran.
L'exploitation minière de la tranchée des Anciens et la zone métallurgique de la cabane des Clausis ont fait l'objet de nombreuses datations, dont nous ne retiendrons ici que celles se rapportant directement à la période qui nous intéresse (Barge *et al.* 1998). D'autres éléments montrent en effet que le site a pu faire l'objet de tentatives de remise en exploitation durant la phase finale de l'âge du Bronze et au début de l'âge du Fer. La plage de temps couverte par les datations obtenues dans différents horizons du site des Clausis s'étend entre la seconde moitié du XXVIe s.avant notre ère et le XVIIIe s. avant notre ère (fig. 5). La durée statistique représentée englobe l'extrême fin du Néolithique et l'âge du Bronze ancien. Elle recouvre l'ensemble du Campaniforme. Si l'on cumule les dates et leurs plages de probabilité par demi-siècle, la période comprise le XXe et le XXIVe s. avant notre ère est prépondérante. La datation obtenue pour le site du Longet s'inscrit pleinement dans cette plage moyenne, sorte d'optimum de l'exploitation minière et métallurgique à Saint-Véran (si l'on ne retient que les datations).
D'un point de vue culturel, les mobiliers mis au jour sur les différents sites ne permettent ni d'affiner cette perception, ni d'identifier de particularités culturelles. L'importance de la sphère italique a cependant été relevée par Pierre Rostan et Maurizio Rossi (Rostan, Rossi, Gattiglia 1997). La présence de pétroglyphes à proximité de Saint-Véran, représentant un personnage et deux poignards de type Remedello (à lame triangulaire à base droite et pommeau) est à souligner. L'abri des Oullas, situé dans la haute vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence), à environ 6 km de la zone métallurgique de Saint-Véran, témoigne de l'importance culturelle exercée par le complexe italique. Le site minier de Saint-Véran n'est seulement distant que de 3 km de l'actuelle frontière franco-italienne (Rossi, Gattiglia 2005) . Le col du Longet (homonyme de celui voisin du site fouillé mais localisé cette fois-ci dans la Haute-Ubaye) constitue, à une altitude de 2650 m, une porte ouverte sur le Val Varaita (Cuneo, Piémont).

3. Les scories, les déchets et la métallurgie extractive

3.1. Présentation du corpus et caractérisation macroscopique

Les scories
Le corpus étudié est formé de onze fragments de scories liées à de la métallurgie extractive du cuivre, à ajouter aux trois fragments découverts en prospection de surface en 1995-1996 (tabl. I). Parmi les quatorze artefacts, on peut clairement en distinguer sept présentant une morphologie s'apparentant aux *Plattenschlacke* typiques des sites



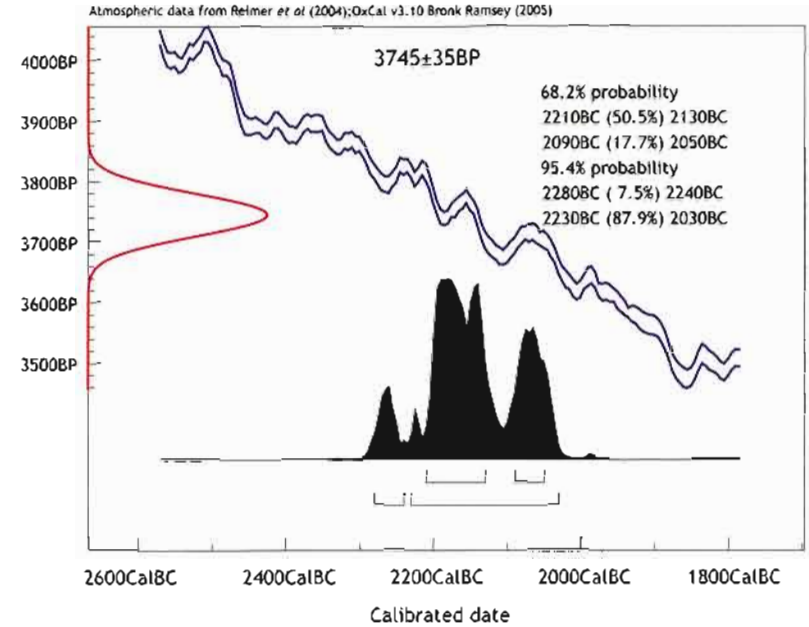


Fig. 5. Datation de l'Us 1008 du sondage 1 du vallon du Longet et compilation des principales datations publiées pour les sites miniers et métallurgiques du secteur de Saint-Véran (Hautes-Alpes) (DAO L. Carozza/A. Burens).

métallurgiques de l'âge du Bronze moyen et final des Alpes autrichiennes et du Trentin italien (Mette 2003), à savoir des scories plates, avec une épaisseur de l'ordre du centimètre (fig. 6). D'une manière générale, les autres dimensions sont centimétriques (1 ou 2), y compris pour les scories informes.

Si la couleur dominante de toutes les scories est brun-ocre, sept des cinq fragments de morphologie de type *Plattenschlacke* présentent une surface noire d'aspect vitreux, faciès que l'on retrouve également sur deux autres scories informes. Cette surface noire est souvent marquée de plis en « peau de lait » (fig. 6) qui marquent clairement la face supérieure de la scorie, comme cela a été observé sur les scories de la cabane des Clausis.

Contrairement aux *Plattenschlacke* de la cabane des Clausis, il est difficile de distinguer clairement sur les tranches des scories plates une morphologie prismatique. En revanche, la scorie 67773 apporte une grande nouveauté sur le complexe métallurgique de Saint-Véran : il s'agit de la première fois à notre connaissance qu'un bord originel de scorie est identifié. Or ce bord se trouve être droit sur toute sa longueur, soit plus de 6 cm, ce qui pourrait laisser envisager que la structure pyrométallurgique dont la scorie est issue présente une section quadrangulaire.

Enfin, remarquons que les 14 artefacts étudiés présentent des densités comprises entre 3 et 3,7 (moyenne de 3,4), valeurs très semblables à celles mesurées sur les *Plattenschlacke* de la cabane des Clausis (moyenne de 3,3 sur 10 scories).

Un fragment de roche vitrifiée

La fouille a également permis de mettre au jour un fragment de schiste présentant une surface vitrifiée et mesurant environ 5 x 4 x 2 cm (fig. 7 et 8). Il correspond à un fragment de quartzophyllade (roche métamorphique formée de feuillets quartzitiques d'épaisseur millimétrique ou centimétrique, alternant avec des feuillets de schiste ou de phyllade). La

date fouilles	US	carré	n° C2RMF	morphologie	poids (g)	volume (cm3)	épaisseur (cm)	densité (g/cm3)	surface supérieure noire	faciès de rupture basaltique
sep-08	1011		67773	plate	134	35,6	1,6	3,8	oui	non
sep-07	1001		66033-1	plate	3,3	0,9	1	3,7	oui	oui?
sep-07	1001		66033-2	plate	2	0,6	1	3,3	oui	oui?
sep-07	1008	4	66034-1	plate	10,2	2,9	?	3,5	non	oui?
sep-07	1008	4	66034-2	informe	10	2,8	-	3,6	non	non
sep-07	hors strati (a)		66035-1	informe	10,3	3,1	-	3,3	oui	non
sep-07	hors strati (a)		66035-2	plate	9,9	3,1	1	3,2	oui	non
sep-07	hors strati (a)		66035-3	plate	12,9	3,9	1	3,3	oui	non
sep-07	hors strati (a)		66035-4	plate	3,3	1,1	1	3,0	oui	non
sep-07	hors strati (a)		66035-5	informe	2,6	0,8	-	3,3	non	non
sep-07	hors strati (a)		66035-6	informe	5,9	1,6	-	3,7	oui	non
1995-96	hors strati (b)		66036-1	plate	19,4	5,9	1	3,3	non	non
1995-96	hors strati (b)		66036-2	informe	4,6	1,4	-	3,3	oui	non
1995-96	hors strati (b)		66036-3	informe	4,3	1,2	-	3,6	non	non

Tabl. I. Inventaire des scories mises au jour autour du site du vallon du Longet.

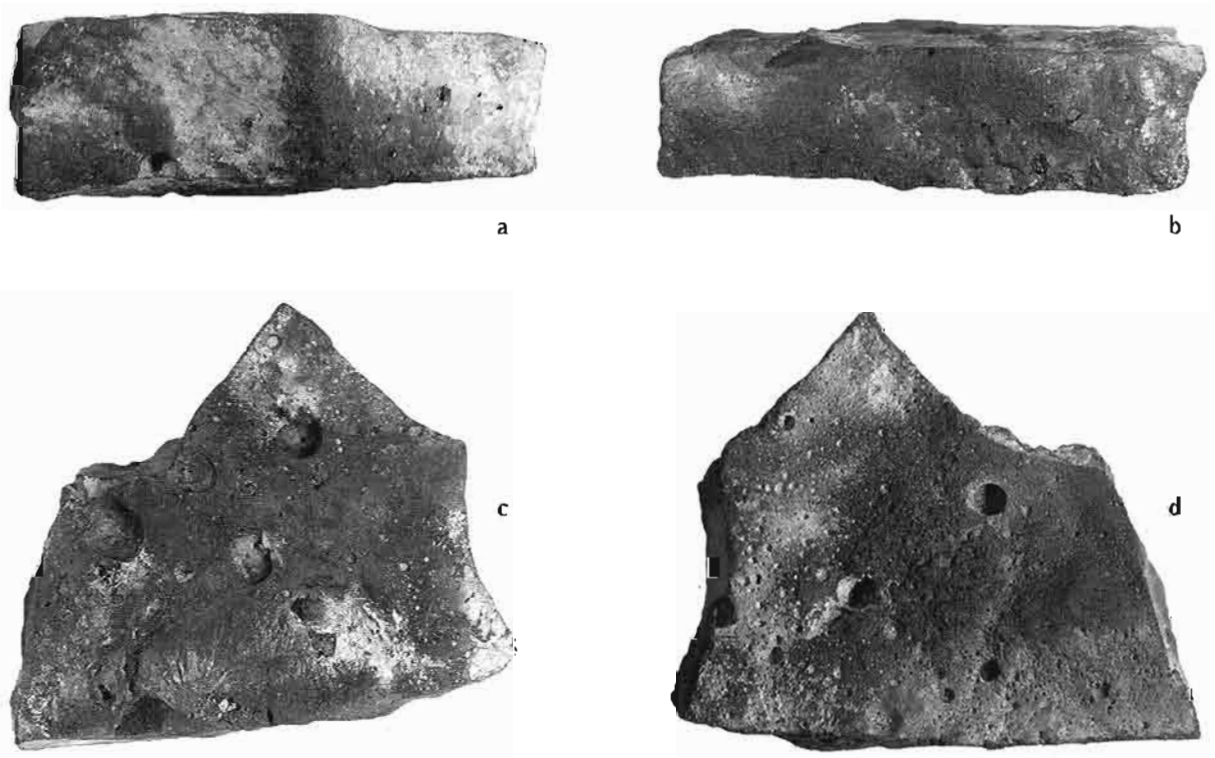


Fig. 6. Vues générales du plus gros fragment de scorie retrouvé sur le site (n° 67773), dont la morphologie est bien représentative du corpus de scories mises au jour : **a)** tranche (zone de fracture, épaisseur 1,6 cm), **b)** tranche (bord, env. 6,5 cm de longueur), **c)** surface supérieure montrant les zones vitrifiées noires, **d)** surface inférieure (photos C2RMF/D. Bagault).

structure de la roche est donc marquée par l'alternance à l'échelle millimétrique de lits clairs, constitués par du quartz, et de lits vert-gris de minéraux phylliteux (fig. 9). Cette roche métamorphique présente une schistosité nette. La structure en feuillets ou lits est due à une déformation ductile qui s'est produite en même temps que le métamorphisme. La couleur dominante de l'échantillon est gris-vert, la couleur verte étant due à la présence de chlorite. Un des côtés de l'échantillon présente une surface noire d'aspect vitreux, faciès qui ressemble à celui que l'on trouve sur les scories étudiées Cette surface noire est légèrement ondulée. Ce matériau noir, dont l'épaisseur est variable mais toujours inférieure à 2 mm, montre clairement des indices de fusion et correspond, comme nous le verrons au cours de l'étude pétrographique, à de la scorie soudée à la roche. Derrière ce matériau noir, on observe un matériau vitreux à structure vacuolaire (fig. 9). Les lits de quarztite viennent s'intercaler dans ce matériau vitreux.

3.2. Caractérisation chimique et minéralogique : conditions expérimentales

Les trois scories 66033-1, -2 et 67773, ainsi que le fragment de roche ont été coupés transversalement à la scie diamantée de précision. Une moitié a été incluse dans de la résine époxy et polie (papier SiC et diamant 3, 1 et ¼ μm) pour observations en microscopies optiques et en microscopie électronique à balayage (MEB). Deux types d'analyses de composition élémentaire ont été réalisés sur les surfaces polies des scories et du fragment de roche :

– des analyses globales par la méthode PIXE pour la scorie 67773 sur l'accélérateur AGLAE (faisceau de protons de 3 MeV d'environ 0,5 mm de diamètre avec un balayage de la surface sur 2 x 2 mm, la profondeur analysée est d'environ 50 μm, voir Calligaro *et al.* 1998 et Dran, Calligaro, Salomon 2000), avec un filtre de 29 μm de Co placé devant le détecteur hautes énergies,
– des analyses locales phase par phase au moyen du système de microanalyse X couplé au MEB (après dépôt de carbone en surface), et des analyses plus globales sur des aires de l'ordre de 2 x 2 mm en plusieurs endroits des scories (notamment sous la surface supérieure, au milieu, au-dessus de la surface inférieure), pour les scories 66033-1 et 67773, ainsi que sur la coupe épaisse du fragment de roche. Le talon poli correspondant au fragment de roche a été repris ensuite pour réaliser deux lames minces polies de 30 μm d'épaisseur et de dimension 60x45 mm. Les lames ont été observées en microscopie optique, en lumière polarisée non analysée (LPNA) et en lumière polarisée et analysée (LPA).
Pour les trois scories 66033-1, -2 et 67773, des mesures en diffraction X des poudres (appareil Siemens D5000) ont été réalisées. Les échantillons ont été obtenus soit en réduisant en poudre la moitié non enrobée de la scorie (scories 66033-1, -2), soit au moyen d'une microfraise diamantée sur une section proche du prélèvement pour la coupe 67773, en prenant bien soin d'une part de dégager la couche de corrosion brune, d'autre part de prélever sur toute l'épaisseur pour une représentativité optimale de l'ensemble de la scorie. Noter que les surfaces noires des deux scories 66033-1, -2 ont également été caractérisées par diffraction X *in situ* avant les découpes.
Enfin, les lames minces correspondant au fragment de roche ont été observées en microspectrométrie Raman pour aider à l'identification de certaines phases.

3.3. Caractérisation chimique et minéralogique : résultats

Les trois scories étudiées présentent un faciès de corrosion sur tout leur pourtour (fig. 10) : durant l'enfouissement, la surface a été corrodée sur les deux premiers millimètres, ne laissant dans cette couche que quelques îlots intacts. Sinon, la zone préservée au centre montre une grande homogénéité structurale à l'échelle macroscopique, signe que la scorie est passée par l'état liquide dans son intégralité.
Les scories apparaissent à la diffraction comme très cristallines, avec pour phase majoritaire la fayalite Fe_2SiO_4. Cette prédominance de la fayalite apparaît nettement sur les micrographies électroniques (fig. 9), qui révèlent une texture morphologique variable suivant la position dans la scorie : dans la zone supérieure, la fayalite cristallise en aiguilles et polyèdres (en gros polyèdres et en très petites aiguilles d'aspect dendritique), tandis qu'à partir d'environ 2 mm en dessous et sur presque l'ensemble de la scorie, la morphologie s'épaissit pour donner une texture mixte constituée de gros polyèdres et de chaînes. Les analyses locales montrent pour les scories 66033-1 et 67773 une fayalite très riche en Mg (plus de 4 % en masse). Un zonage plus ou moins important est détecté, avec un centre du polyèdre plus riche n Mg (entre 6 et 9 % en masse) et un bord plus pauvre (autour de 3 %).
La seule autre phase cristalline détectée par diffraction X est la magnétite, qui montre également une texture morphologique variable suivant la position dans la scorie. Ainsi, si dans la majeure partie des deux scories étudiées au MEB elle cristallise en polyèdres plus ou moins massifs, dans la zone supérieure de la scorie 67773 la magnétite n'est présente que sous forme de fines dendrites qui semblent en certains endroits constituer des solutions de continuité avec la fayalite ; en extrême surface de la scorie 66033-1, la magnétite constitue une mince couche homogène, qui apparaît également très clairement sur les diffactogrammes obtenus en diffraction rasante faite sur la surface supérieure. La magnétite massive en polyèdres montre des

teneurs en Ti particulièrement élevées (6 %), avec également des traces de Al, Cr, et V, voire de Zn (jusqu'à 2 % en masse).

À fort grossissement, on parvient à distinguer dans toute la scorie une troisième phase cristalline qui s'apparente à un pyroxène type hédenbergite $CaFeSi_2O_8$ (fig. 11), que la diffraction parvient difficilement à déceler (limite de détection de l'ordre de 5 % moléculaire). Autour de ces cristallites, l'analyse de la phase s'apparentant visuellement à un verre montre une composition identique à celle des pyroxènes. Il est cependant difficile de déterminer si cette phase est effectivement amorphe ou constituée de microcristaux de pyroxènes non visibles au MEB. Néanmoins, la diffraction n'ayant pu détecter de phase amorphe, il est probable qu'une grande partie de cette phase est cristallisée.

Enfin, la structure est émaillée de nodules de sulfures de cuivre (majoritairement de type chalcocite Cu2S) et de cuivre métallique plus ou moins riches en fer (autour de 1 %).

À noter que la corrosion semble avoir été sélective en préservant uniquement les polyèdres de fayalite (fig. 10).

Les analyses élémentaires globales montrent une grande homogénéité de la composition au sein d'une même scorie, sans que l'on puisse notamment différencier les zones de surface (tabl. II). Il s'agit d'une composition de type fayalitique Fe2SiO4 avec des teneurs importantes en Mg, Al et Ca (de l'ordre de 3 à 5 % en oxydes), et dans une moindre mesure P, K et Ti. On remarque également les teneurs importantes en CuO et ZnO (de l'ordre de 3 à 4 %). Il est enfin intéressant de souligner la forte proportion de Na.

Un fragment de roche partiellement vitrifiée

Comme déjà observé sur les vues macroscopiques sur coupe épaisse (fig. 9), deux types de matériau peuvent être distingués en pétrographie, de la roche partiellement vitrifiée et un matériau s'apparentant à de la scorie métallurgique. Nous verrons ci-après que les analyses des verres montrent que ces deux systèmes chimiques et minéralogiques sont « soudés », avec une zone de transition entre les deux.

La zone de roche partiellement vitrifiée évolue graduellement du point de vue structural et minéralogique depuis la scorie vers le bord opposé à la scorie (fig. 12). On peut distinguer une partie de roche partiellement fondue et vitrifiée, et une partie non vitrifiée.

Dans la partie non vitrifiée de l'échantillon, deux schistosités sont visibles en microscopie optique (fig. 13), une schistosité parallèle aux lits minéraux (S0 ?) et une schistosité de crénulation (S1) qui recoupe les lits minéraux. La roche apparaît formée de lits de quartz (quartzite) et de lits discontinus de minéraux phylliteux correspondant à une variété de mica blanc riche en fer (phengite ?) et à une variété de chlorite, également riche en fer. Les brins de mica et de chlorite sont interpénétrés. La chlorite et une apatite riche en terres rares (variété de monazite) sont présents en faible proportion dans les lits de quartz. Les lits de quartzite, constitués de grains de quartz de 50 à 300 μm, ne semblent pas avoir été affectés par les hautes températures. Contrairement aux minéraux phylliteux, ils sont encore visibles dans la partie fondue et notamment dans la scorie.

Quant à la partie vitrifiée, l'échantillon montre des indices de fusion sur plus de la moitié de son épaisseur (environ 1,9 cm). La limite entre la scorie et la roche vitrifiée n'est pas nette. Le passage de l'une à l'autre est continu sur un ou deux millimètres. Les zones partiellement ou totalement vitrifiées de la roche correspondent aux anciens lits de minéraux phylliteux, le quartz ayant relativement bien résisté aux températures élevées atteintes. La zone de roche partiellement vitrifiée avec peu ou sans magnétite et olivine montre une structure vacuolaire (fig. 9 et fig. 12). Les vacuoles, dont les parois sont constituées par un verre relativement hétérogène en composition, ont un diamètre qui diminue de la zone à scorie vers le côté non fondu de l'échantillon. Leur diamètre est compris entre 50 μm et 1 mm. Ces vacuoles ont renfermé des gaz qui se sont échappés au cours de la vitrification.

Concernant l'autre type de matériau mis en évidence sur le fragment de roche, la « scorie », cette zone apparaît opaque en microscopie optique (fig. 9 et fig. 12). Son épaisseur varie entre 200 μm et 2 mm. En lumière convergente, il est toutefois possible de distinguer des petits cristaux opaques. Certains sont réfléchissants avec un reflet métallique cuivré. Ces cristaux sont entourés d'une phase légèrement translucide. En lumière réfléchie, deux types de cristaux opaques peuvent être distingués mais ne sont pas identifiables. Les observations et analyses en microscopie électronique (fig. 13) ont permis de caractériser plusieurs phases, qui sont présentées ci-après dans l'ordre décroissant de leur importance dans la scorie.

Une olivine en cristaux allongés et dendritiques montre une composition proche du pôle fayalite (47-49 % en masse de Fe_2O_3 et 4-8 % en masse de MgO). Cette olivine contient également un peu de zinc (1-3 % en masse de ZnO). Elle varie légèrement entre la surface externe de la scorie et la zone interne ainsi que d'une zone à l'autre. Sa composition chimique semble varier en fonction des phases associées. Le zinc est aisément piégé dans sa structure en remplaçant le fer divalent (Chaudhuri, Newesely 1993). Elle est présente uniquement dans la phase vitreuse. Elle forme des cristaux fins en plume, en baguettes ou en dendrites. Elle présente majoritairement une texture dite « en peigne » ou spinifex, avec baguettes et cristaux harristiques. Sa structure change depuis la surface externe de la scorie (de l'échantillon) vers l'intérieur. Au niveau de la surface externe, les cristaux d'olivine sont allongés et de grande taille (100-150 μm). Ils sont par ailleurs peu dendritiques. En allant vers l'intérieur de la scorie, la taille et la texture

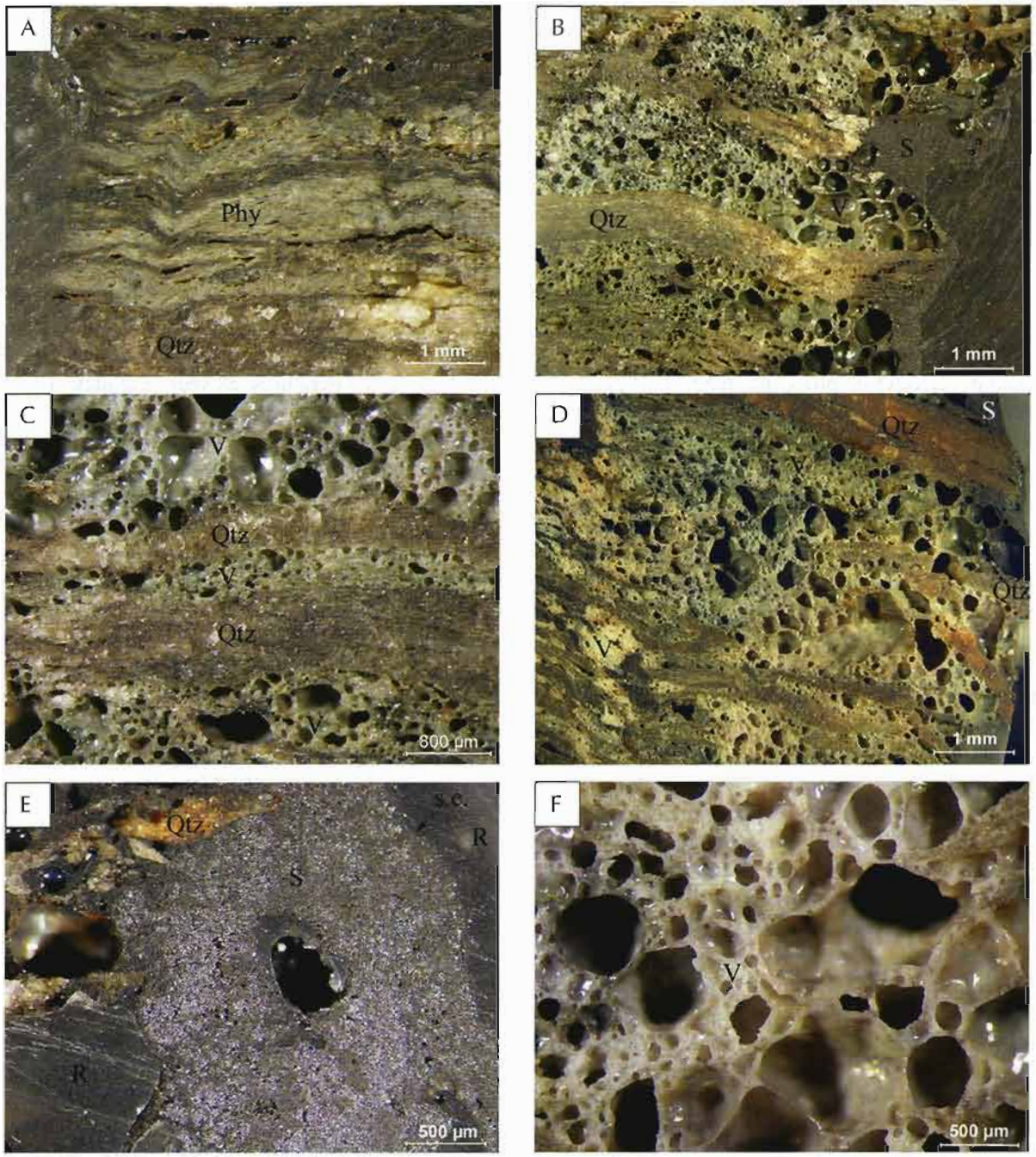


Fig. 7. Vues en coupe épaisse sous loupe binoculaire du fragment de roche: **A)** zone non vitrifiée de la roche montrant l'alternance de lits de quartzite et de lits de phyllosilicates; **B)** roche partiellement vitrifiée et scorie; **C** et **D)** vues de la zone de roche partiellement vitrifiée; **E)** scorie; **F)** verre a structure vacuolaire (photos C2RMF/Y. Coquinot).

des cristaux changent rapidement. Les cristaux d'olivines sont de plus en plus découpés, dendritiques et de plus en plus petits. Par endroits, leur taille est inférieure à 1 µm.

Les cristaux de magnétite présentent majoritairement une forme polyédrique, mais apparaissent également en cristaux dendritiques. Ils montrent de petits golfes de corrosions. Leur taille est comprise entre 2 et 50 µm. Cette variété de magnétite contient un peu d'aluminium (2-6 % en masse) et de magnésium (0,5-1,5 %).

Des « gouttelettes » de cuivre métallique sont localisées dans certaines zones, sans être présentes dans toute la scorie. Deux types de particules peuvent être distingués, des

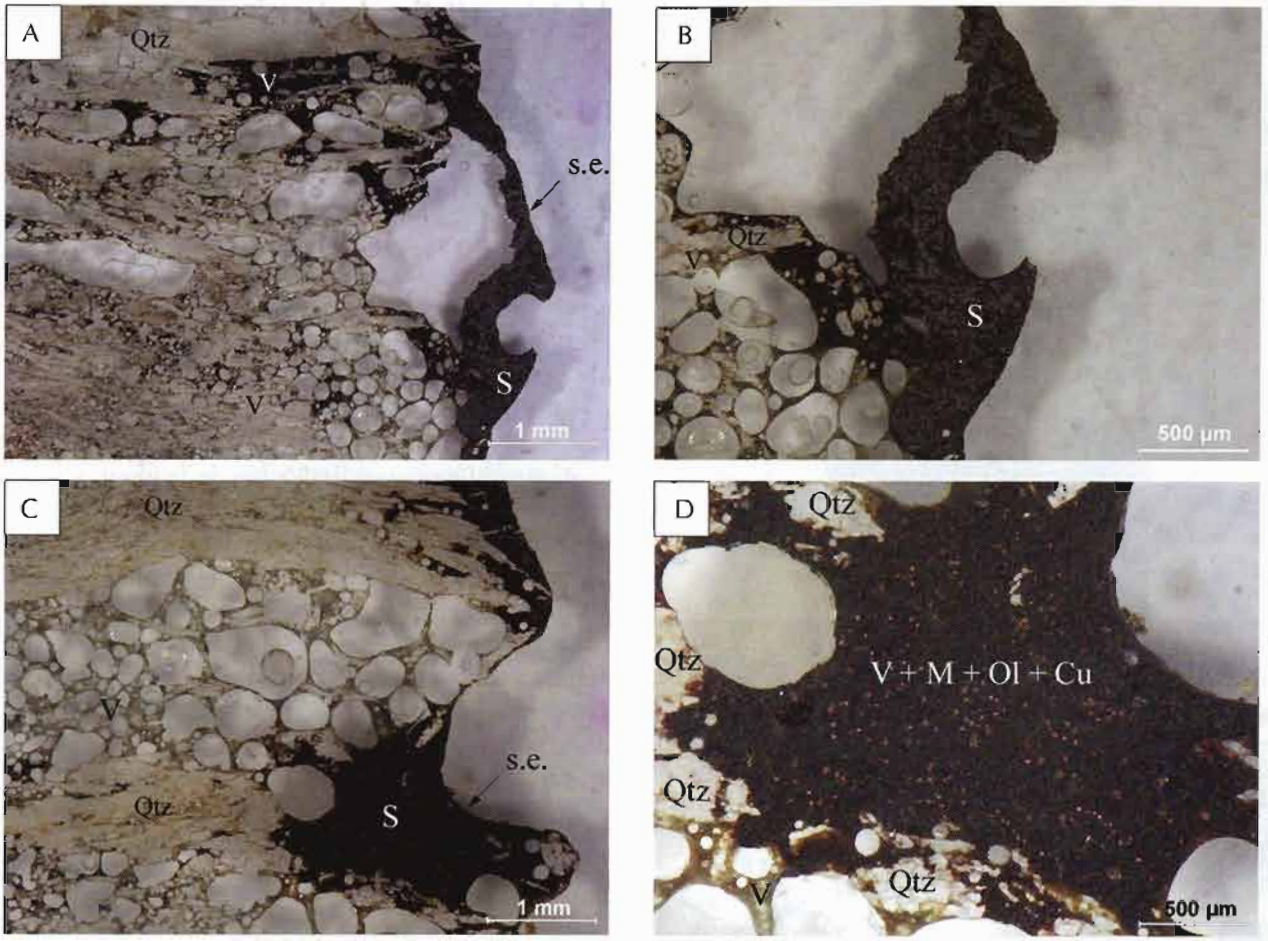


Fig. 8. Vues macroscopiques du fragment de roche mesurant environ 5 x 4 x 2 cm (photos C2RMF/D. Bagault).

particules subarrondies dont la taille est comprise entre 10 et 50 μm, et des particules sphériques de très petite taille (<1 μm à 2 μm). De plus, des sulfures de cuivre forment de petits « nodules » de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres de diamètre. Ils sont localisés dans des plages de la scorie riches en magnétite polyédrique. Ils contiennent un peu de fer et ont été identifiés au MEB et en microspectrométrie Raman comme étant de la chalcocite Cu2S.

De très petits cristaux s'apparentent à une variété de spinelle, mais ils n'ont pas été identifiés de façon certaine en raison de leur très petite taille (planche 4, photo E). Toutefois, la composition élémentaire obtenue par analyse EDX se rapproche de celle de la ferriceylanite. Ces spinelles représentent une phase mineure dans la scorie. En général, les spinelles répondent à une composition de type $(Zn, Mn, Mg, Ni, Fe^{2+}, Fe^{3+})(Fe^{3+}, Fe^{2+}, Al, Cr, Ti, Si)_2O_4$ (Deer *et al.* 1992).

Enfin, une variété de clinopyroxène semble pouvoir être identifiée. Tous ces minéraux ne sont pas présents ensemble dans une même zone de la scorie. Plusieurs zones caractérisées par des assemblages minéralogiques différents peuvent être distinguées (fig. 13) :

Assemblage 1 : olivine, magnétite, chalcocite, particules de cuivre, phase vitreuse,

Assemblage 2 : olivine dans une phase vitreuse,

Assemblage 3 : olivine, particules de cuivre, phase vitreuse,

Assemblage 4 : spinelle ? Olivine, phase vitreuse,

Assemblage 5 : clinopyroxène, (magnétite), phase vitreuse,

Une phase vitreuse englobe tous les minéraux. Ce verre interstitiel est plus ou moins translucide selon les endroits (fig. 11 et fig. 12). Sa couleur est variable, noire à brun au niveau de la zone à scorie, beige à vert en arrière, au niveau de la roche fondue (fig. 13). Sa composition est très différente de celle de la phase interstitielle observée dans les scories métallurgiques décrite plus haut, qui affichait une composition type hédenbergite (riche en fer, calcium et silicium). Les analyses EDX montrent en effet un verre relativement pauvre en silicium (43-48 % en masse de SiO_2) et riche en fer et en aluminium (23-30 % en masse

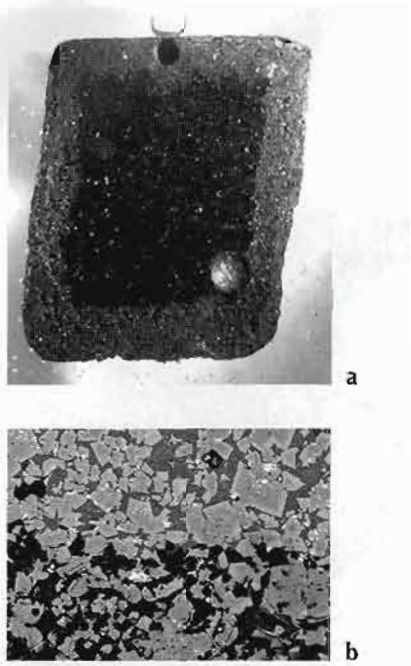


Fig. 9. a) Vue en coupe sous loupe binoculaire de la scorie 66033-2 montrant la corrosion affectant tout le pourtour de la scorie sur une profondeur pouvant atteindre 2 mm. **b)** Micrographie électronique en électrons retrodiffusés montrant un détail de la couche corrodée (en bas de l'image), qui révèle que seule la fayalite (en gris) a été épargnée (photos C2RMF/D. Bourgarit).

de Fe_2O_3 et 11-17 % en masse de Al_2O_3), contenant un peu de potassium, de sodium et de calcium. De telles teneurs en aluminium sont très surprenantes pour un verre. Des petits cristaux de spinelle mesurant moins de 2μm ont été observés dans le verre. Il pourrait s'agir de hercynite ($FeAl_2O_4$). Leur présence pourrait expliquer les teneurs élevées en aluminium. Ce verre interstitiel pourrait contenir également d'autres inclusions microscopiques de silicates, des microcristallites inférieures à 1 μm correspondant probablement à de l'olivine. Mais la résolution latérale du MEB n'est pas suffisante pour identifier ces microcristallites. Il pourrait également s'agir, mais avec une plus faible probabilité, d'un mélange d'une variété de mélilite et de verre. Selon Deer (Deer *et al.* 1986), la composition générale des mélilites peut être exprimée comme : $(Ca, Na, K)_2(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al, Si)_3O_7$. Tous les éléments de cette formule structurale générale sont présents dans la phase vitreuse. Quelle que soit la nature de ces microinclusions, elles peuvent significativement influencer les analyses EDX.

La phase vitreuse est partiellement ou totalement dissoute (lixiviée) dans certaines zones de la scorie ou de la roche vitrifiée. La dissolution du verre fait apparaître en relief les cristaux d'olivine qui n'ont pas subi d'altération (fig. 12).

3.4. Interprétation des témoins métallurgiques

Quelques grands traits peuvent être esquissés quant à l'activité anthropique dont sont issus ces témoins, en gardant à l'esprit que les observations et analyses n'ont ici porté que sur un nombre restreint d'échantillons et ne peuvent donc en aucun cas conduire à des interprétations définitives.

En premier lieu, le fragment de roche vitrifiée appartient très certainement à la paroi d'un four métallurgique ayant servi à la réduction de minerais de cuivre. En effet, la scorie soudée à la roche vitrifiée apparaît très similaire du point de vue de la microstructure et de la composition minéralogique aux scories de type *Plattenschlacke* découvertes sur le même site. D'ailleurs, on retrouve un faciès d'altération similaire avec lixiviation de la phase vitreuse qui n'épargne que les cristaux d'olivine. La roche a été partiellement vitrifiée au cours du fonctionnement du four. Ce sont les lits de phyllosilicates qui ont été préférentiellement vitrifiés, cela en raison de leur point de fusion relativement bas par rapport au quartz. D'après le diagramme de phase température-composition dans le système binaire Fayalite-Forstérite et à partir de la composition de l'olivine présente dans la scorie, il est possible d'estimer la température de cristallisation entre 1200 et 1300°C. La température maximum a été estimée en reportant la composition du verre de la scorie dans les diagrammes d'équilibre ternaires SiO_2-Al_2O_3-CaO et SiO_2-Al_2O_3-FeO. Celle-ci est de 1400°C. Mais cette estimation est sujette à discussion car la composition du verre de la scorie est probablement dépendante de la composition de la roche qui a partiellement fondu.

Deuxièmement, les compositions élémentaires riches en fer, comportant des traces importantes de Mg, Ca, Zn sont similaires à ce qui a été vu aux Clausis. De plus, on retrouve les sulfures de cuivre plus ou moins riches en fer. Il n'est donc pas invraisemblable qu'un minerai similaire type bornite Cu5FeS4 ait été exploité. Signalons également que des quantités importantes de sodium ont été relevées dans la scorie analysée par PIXE, qui pourrait laisser penser comme aux Clausis l'incorporation dans la charge d'un fondant type riébeckite.

Troisièmement, les scories retrouvées sont très similaires à celles retrouvées sur le site voisin de la Cabane des Clausis (Ploquin 1997 ; Bourgarit *et al.* 2008). D'abord au niveau typologique, on retrouve les modules centimétriques des scories et les fortes densités, avec des morphologies similaires de *Plattenschlacke* pour la majorité des artefacts étudiés comportant une zone supérieure en « peau de lait ». On retrouve également la grande homogénéité de structure à l'échelle macroscopique, témoin d'un passage total à l'état liquide et d'une viscosité suffisamment faible pour permettre une séparation satisfaisante entre le stérile et le métal recherché. En l'occurrence, la teneur en Cu résiduelle (de 1 à 4 % en masse d'oxyde CuO) se situe dans

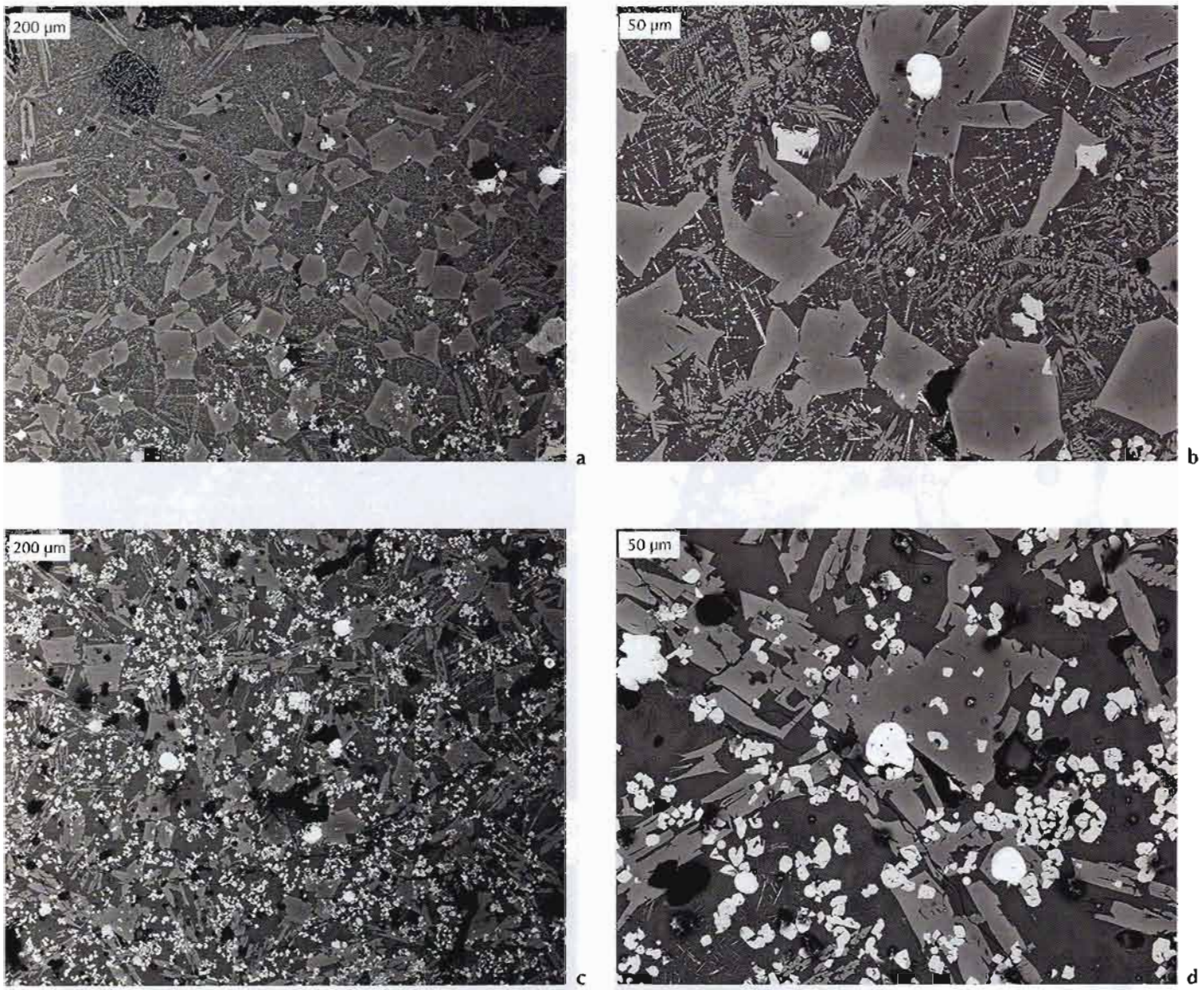


Fig. 10. Micrographies électroniques en électrons retrodiffusés montrant les trois phases cristallines principales dans les scories, à savoir la fayalite (en gris), la magnétite (en gris clair) et le cuivre métallique ou sous forme de sulfure (en blanc). Les morphologies des deux premières phases évoluent suivant leur localisation dans la scorie: **a)** zone sous la surface supérieure, **b)** détail de l'image précédente, **c)** microstructure typique dans le reste de la scorie, **d)** détail de l'image précédente montrant des cristaux de clinopyroxènes type hédenbergite (en gris foncé).

la moyenne des Clausis, qui constitue une nette amélioration par rapport à ce que l'on connaît des métallurgies des périodes antérieures (Bourgarit *et al.* 2003 ; Bourgarit 2007). De même, la nature très cristallisée et fayalitique des scories étudiées est très similaire à ce qui a été vu aux Clausis. La présence de magnétite confirme la similarité, tout comme d'ailleurs la présence-absence de pyroxène (aux Clausis certaines scories sont très riches en pyroxène, alors que d'autres en sont quasiment dépourvues). Tous ces indices renvoient à un procédé métallurgique très similaire à celui mis en évidence à la Cabane des Clausis (Bourgarit *et al.* 2008), témoin d'un saut technologique majeur lié notamment au besoin d'accroissement de la cadence de production.

Néanmoins, il convient de signaler un certain nombre de différences par rapport aux scories des Clausis. D'abord, on signalera la corrosion externe des scories, qui n'avait pas été observée aux Clausis, témoin d'un milieu d'enfouissement très différent. Ensuite, les faciès de fracture des fragments de scories des Clausis développent systématiquement une

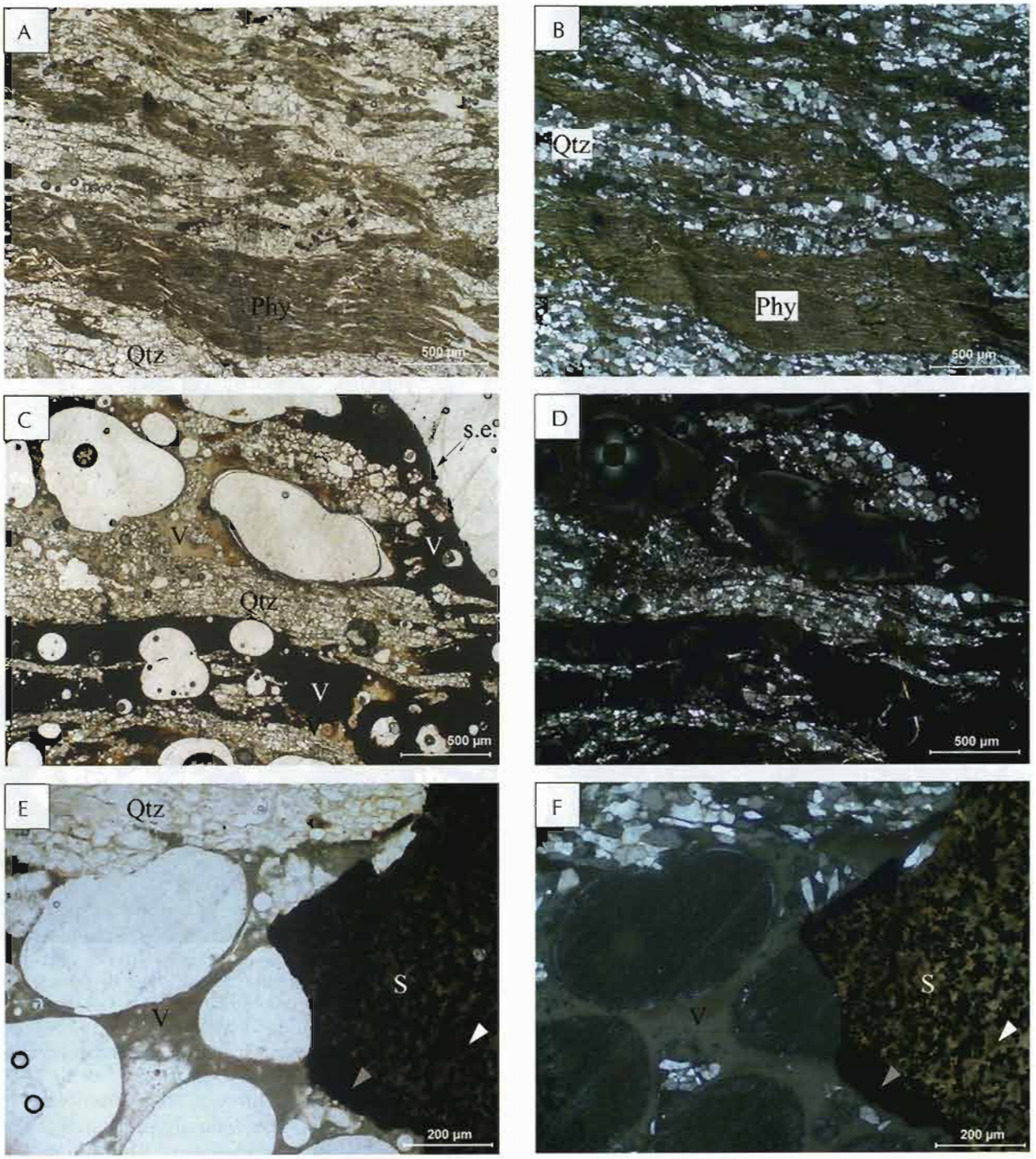


Fig. 11. Vues d'une lame mince du fragment de roche en microscopie optique. **A** (LPNA) et **B** (LPA): zone non vitrifiée de la roche montrant l'alternance de lits de quartzite et de lits de phyllosilicates; **C** (LPNA) et **D** (LPA): portion de la roche partiellement vitrifiée et scorie constituée principalement de verre opaque; **E** (LPNA) et **F** (LPA): zoom sur la zone de soudure entre la scorie et la roche vitrifiée. Flèche blanche = verre + olivine dendritique; flèche grise: magnétite + verre (photos C2RMF/Y. Coquinot).

structure type basaltique sur les premiers millimètres à partir de la surface supérieure, provoquée par un refroidissement rapide de type trempe à l'eau. De tels faciès n'ont quasiment pas été observés au vallon du Longet, bien qu'on ne puisse pas exclure que la corrosion ait érodé ces reliefs. De plus, si aux Clausis la microstructure des scories étudiées est apparue comme homogène du haut en bas de la scorie, au Longet on observe une microstructure

technique	n° C2RMF	localisation	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	CuO	ZnO	PbO	CoO	NiO	As2O5	SeO2	ZrO2	MoO3	Ag2O	CdO	In2O3	SnO2	Sb2O5	TeO2
PIXE	67773	milieu	3,6	3,0	3,8	29	1,1	0,5	0,3	7,0	1,5	0,2	43	3,9	3,3	<0,8	<0,1	<0,04	<0,01	<0,03	0,04	0,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02	<0,02
MEB			nd	2,8	3,6	32	1,2	0,5	0,5	9,1	1,7	nd	43	2,3	3,7	<0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
		haut	nd	2,9	4,0	31	1,4	0,5	0,5	8,8	2,0	nd	43	1,9	3,5	<0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
		bas	nd	2,3	3,4	27	0,9	0,6	0,4	7,7	1,6	nd	47	4,9	4,4	<0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	66033-1	poudre	nd	0,7	2,7	27	nd	0,9	0,4	5,4	1,1	nd	68	1,1	2,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Tabl. II. Composition élémentaire globale de deux scories du Vallon du Longet.
En gras sont indiqués les éléments majeurs (en % pondéral d'oxydes, nd=non détecté soit environ moins de 0,5 %).

particulière dans les premiers millimètres à partir de la surface supérieure, marquée par des textures morphologiques de fayalite et de magnétite bien plus fines, voire la présence d'une couche de surface très riche en magnétite. Ceci, combiné à la possible absence de zone basaltique sur les faciès de rupture, pourrait signer des conditions de refroidissement différentes et donc des modes opératoires légèrement modifiés. L'origine de ces légères variations reste à déterminer : rendent-elles compte d'un décalage chronologique, de pratiques issues de traditions et/ou savoirs ou savoir-faire différents, d'adaptations aux contraintes particulières du milieu, etc. ?

4. Synthèse et perspectives

Les premiers sondages réalisés sur le site du vallon du Longet, à Molines-en-Queyras, ont permis de mettre en évidence un site daté de la fin du IIIe millénaire avant notre ère (2280-2030 BC). La présence de scories, découvertes lors de prospections mais également lors de la fouille, démontre que ce site est lié au complexe d'exploitation et de traitement des ressources métallurgiques de la zone de Saint-Véran. La typologie des scories mises au jour sur le site du Longet, mais également leur composition minéralogique et chimique, démontre une grande analogie avec celles mises au jour sur les sites des Clausis, de l'abri de Pinilière et en d'autres points du territoire minier et métallurgique. Ces scories attestent de la nature du procédé de métallurgie extractive mis en œuvre, qui marque un saut technologique très net par rapport à ce que l'on connaît des procédés en usage dans des contextes antérieurs de production à petite échelle (Bourgarit 2007).

La découverte, dans le sondage 1, d'un petit fragment de tuyère vient appuyer cet argumentaire et renforcer les liens chronologiques et technologiques qui unissent les sites de la zone minière et métallurgique. La découverte d'un fragment de paroi de four sous-tend grandement l'hypothèse selon laquelle des opérations de métallurgie extractive ont été pratiquées sur le gisement durant le Bronze ancien. Cet indice nous renseigne de manière indirecte sur l'existence de structures bâties dévolues aux activités pyrométallurgiques. Bien que cette hypothèse ait été présentée par Pierre Rostan dès la découverte du site de la cabane des Clausis à Saint-Véran, les fouilles successives n'ont pas permis d'en démontrer l'existence. La mise en évidence sur une des scories d'un bord droit appuie l'hypothèse de structures pyrométallurgiques quadrangulaires, qui ne seraient pas sans rappeler les fours de l'âge du Bronze connus pour les alpes autrichiennes et le Trentin italien (Goldenberg 1998 ; Cierny *et al.* 2004).

D'un point de vue archéologique, l'intérêt du site du vallon du Longet réside par son éloignement de la mine contemporaine de la tranchée des Anciens, située sur le versant opposé du massif de Château-Renard. Pour l'heure, les analyses tendent à privilégier l'hypothèse d'un transfert des minerais vers une aire de traitement éloignée, à près d'une heure de marche. Dans cette perspective, les raisons de l'implantation d'un atelier dans le vallon du Longet doivent être précisées. Au moins deux hypothèses peuvent être évoquées :

– la première se réfère à un déterminisme environnemental très souvent mis en avant lors de l'étude des sites miniers et métallurgiques, impliquant un déplacement des zones de traitement du minerai en raison de l'épuisement des ressources végétales (cycles de régénération forestière) ;

– la seconde implique davantage les dynamiques sociales et économiques et impliquerait que le site minier ne fasse pas l'objet d'une exploitation par un seul groupe, selon un modèle proto-industriel inscrit dans la relation mine/atelier, l'éclatement des zones de traitement du minerai sur le territoire pouvant alors être le produit de cette multiplicité d'acteurs.

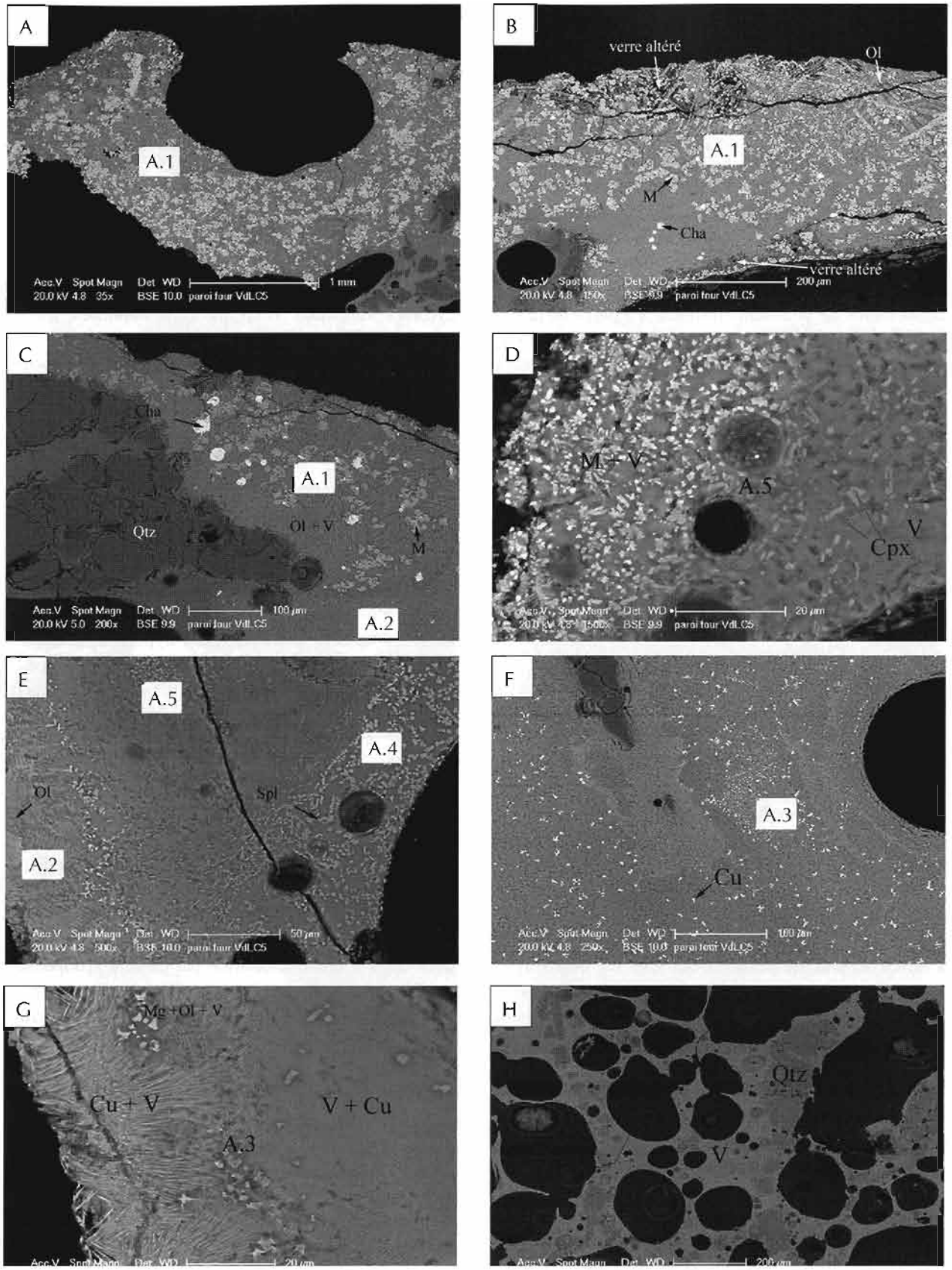


Fig. 12. Vues d'une lame mince sous loupe binoculaire du fragment de roche. **A)** scorie, roche partiellement vitrifiée et zone intermédiaire; **B et C)** zoom sur la scorie et la zone de soudure avec la roche vitrifiée; **D)** zoom sur une zone de la scorie contenant des particules de cuivre, visibles par leur reflet métallique cuivré (photos C2RMF/Y. Coquinot).

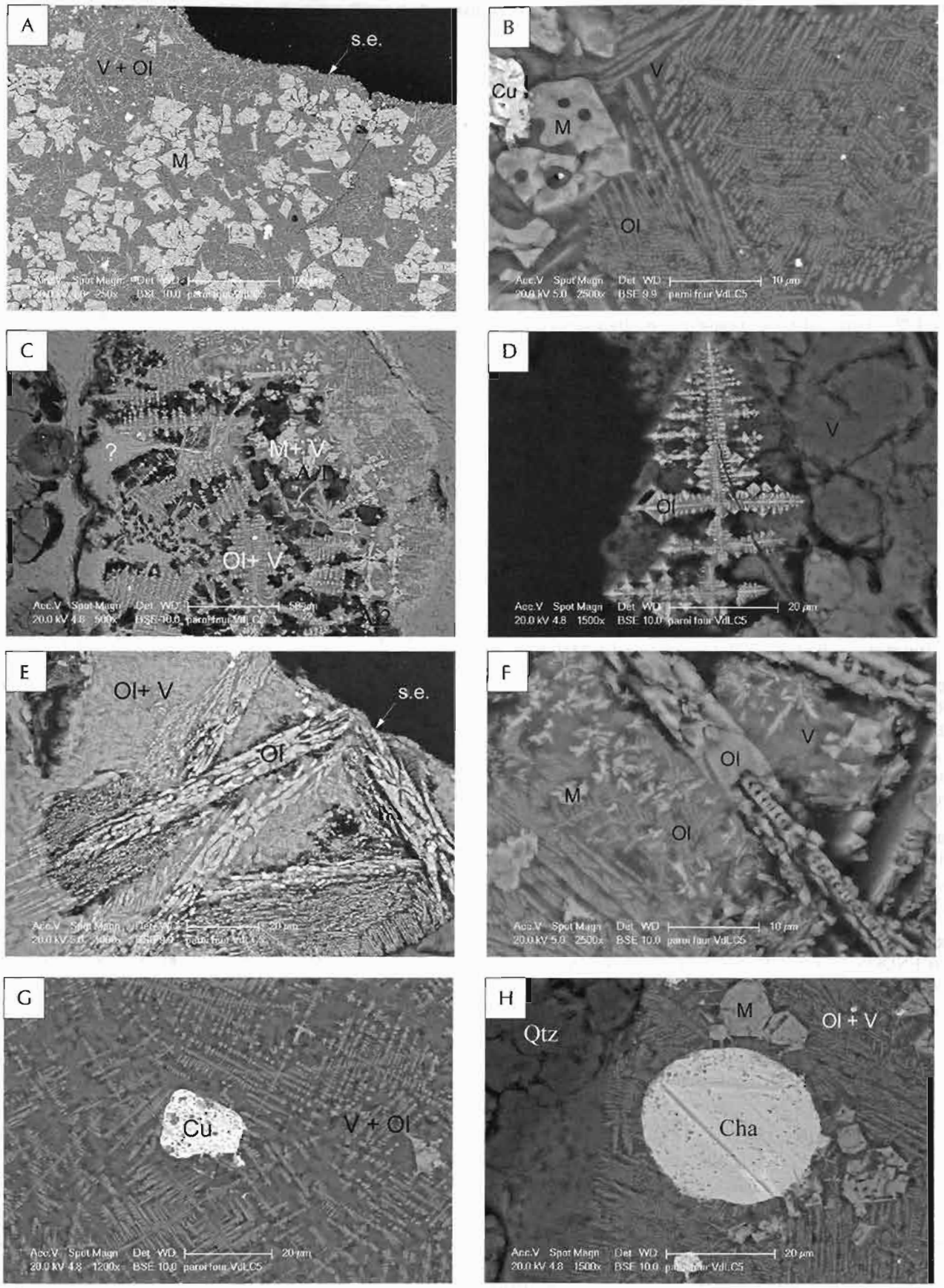


Fig. 13. Micrographies électroniques en électrons retrodiffusés du fragment de roche montrant les différents assemblages minéralogiques rencontrés dans la zone de scorie (notés A.n). Les abréviations utilisées dans les planches sont les suivantes : **A.n** assemblage minéralogique n / **Cha** chalcocite / **Cu** particule de cuivre / **M** magnétite / **Ol** olivine / **Phy** phyllosilicates / **Qtz** quartz / **R** résine / **S** scorie / **s.e.** surface externe / **Spl** spinelle / **V** verre.

protohistoriques souterrains. *Archéologie en Languedoc*, n° 21, 1999, p. 121-128.

Barge-mahieu 1995: BARGE-MAHIEU (H.) – Les premiers objets métalliques du Chalcolithique provençal. *In*: *L'Homme méditerranéen. Mélanges offerts à Gabriel Camps*. Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 1995, p. 359-373.

Bard 1990: BARD (J.-P.) – *Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques*. Paris, Masson, 208 p.

Barge 1997: Barge (H.) – L'installation métallurgique préhistorique de la cabane des Clausis à Saint-Véran (Hautes-Alpes), *in*: AMBERT (P.) dir., *Actes du Colloque « Mines et métallurgie de la Préhistoire au Moyen Âge en Languedoc-Roussillon et régions périphériques »*, Lattes, Fédération archéologique de l'Hérault, 1997, p. 99-110 (Archéologie en Languedoc, 21).

Barge 1999: BARGE (H.) – L'installation métallurgique préhistorique de la cabane des Clausis à Saint-Véran (Hautes-Alpes). *Archéologie en Languedoc*, n° 21, 1999, p. 99-110.

Barge 2003: BARGE (H.) – *Saint-Véran, la montagne, le cuivre et l'homme. I, Mine et métallurgie préhistoriques dans les Hautes-Alpes*; étude géologique, Johann Tuduri, Alain Chauvet et Luc Barbanson. Actilia multimédia 2003, 83 p.

Barge, Bourhis, Rostan 1998: BARGE (H.), BOURHIS (J.-R.), ROSTAN (P.) – Métallurgie préhistorique et gîtes cuprifères dans le sud-est de la France : premiers résultats. In : D'ANNA (A.), BINDER (D.), *Production et identité culturelle*, actes des 2e Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, Arles APDCA éd., 1996, p. 65-79.

Barge, Ancel 1997: BARGE (H.), ANCEL (B.) – Exploitation d'une mine de cuivre préhistorique: Les Clausis à saint-Véran, *in*: *L'énigmatique civilisation campaniforme*, Dijon, Faton, 1997, p. 46-49 (Archéologia - hors-série, 9).

Barge *et al.* 1998: BARGE (H.), ANCEL (B.), ROSTAN (P.), GUENDON (J.-L.) – La mine des Clausis à Saint-Véran (Hautes-Alpes): exploitation et aire de réduction du minerai de cuivre d'époque préhistorique. *In*: MORDANT (C.), PERNOT (M.), RYCHNER (V.), *L'atelier du bronzier en Europe du XXe au VIIIe s. avant notre ère*. Actes du colloque international Bronze'96, Neuchatel et Dijon, Paris, CTHS, 1998, p. 71-82.

Bourgarit 2007: BOURGARIT (D.) – Chacolithic copper smelting'. *In*: LA NIECE (S.), HOOK (D.), CRADDOCK (P. T.) ed., *Metals and mines*. London: Archetype Publications Ltd, 2007, p. 3-14.

Bourgarit *et al.* 2003: BOURGARIT (D.,) MILLE (B.), CAROZZA (L.), BURENS (A.) – L'évolution des premières métallurgies extractives du cuivre. *Techné*, n° 18, Paris, Ministère de la Culture, RMN, 2003, p. 7-13.

Bourgarit *et al.* 2008: BOURGARIT (D.), ROSTAN (P.), BURGER (E.), CAROZZA (L.), ARTIOLI (G.) – The beginning of copper mass production in the western Alps: the Saint Véran mining area reconsidered. *Historical Metallurgy*, 42, 2008, p. 1-11.

Calligaro *et al.* 1998: CALLIGARO (T.), DRAN (J. C.), HAMON (H.), MOIGNARD (B.), SALOMON (J.) – An external milli-beam for archaeometric applications on the AGLAE IBA facility of the Louvre museum. *Nuclear Instruments and Methods B*, 1998, p. 136-138, 339-343.

Carozza, Mille 2007: CAROZZA (L.), MILLE (B.) – Chalcolithique et complexification sociale: quelle place pour le métal dans la définition du processus de mutation des sociétés de la fin du Néolithique en France ? *In*: GUILAINE (J.) dir., *Publication du séminaire du Collège de France Le Chalcolithique et la construction des inégalités, t. 1-Le continent européen*, Paris, Errance, 2007, p. 153-189.

Chaudhuri, Newesley 1993: CHAUDHURI (J.N.B.), NEWESELEY (H.) – Mineralogical characterization of old Harz Mountain slags. *Can. Metall. Quart.*, 32, 1993, p. 1-12.

Cierny *et al.* 2004: CIERNY (J.), MARZATICO (F.), PERINI (R.), WEISGERBER (G.) – Der spätbronzezeitliche Verhüttungsplatz Acqua Fredda am Passo Redebus (Trentino). *In*: WEISGERBER (G.), GOLDENBERG (G.) ed., *Alpenkupfer - Rame delle Alpi*. Bochum, Deutsches Bergbau Museum, 2004.

Deer, Howie, Zussman 1986: DEER (W.A.), HOWIE (R.A.), ZUSSMAN (J.) – *Rock forming minerals: Disilicates and Ring Silicates* (2nd edition), New York, John Wiley & Sons, 1986, 629 p.

Deer, Howie, Zussman 1992: DEER (W.A.), HOWIE (R.A.), ZUSSMAN (J.) – *An introduction to the rock-forming minerals*. Longmans publishing, 1992, 528 p.

Dran, Calligaro, Salomon 2000: DRAN (J.-C.), CALLIGARO (T.), SALOMON (J). – Particle-induced X-ray emission. *In*: CILIBERTO (E.), SPOTO (G.) ed., *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, Chichester, John Wile, 2000, p. 135-166.

Parneroff, Pomeroi, Tourenq 1970: PARNEROFF (A.), POMEROI (C.), TOURENQ (J.) – *Les Minéraux en Grains, Méthodes d'Étude et Détermination*. Paris, Masson édit., 1970, 578 p.

Goldenberg 1998: GOLDENBERG (G.) – L'exploitation du cuivre dans les Alpes Autrichiennes à l'Age du Bronze. *In*: MORDANT (C.), PERNOT (M.), RYCHNER (V.), *L'atelier du bronzier en Europe du XXe au VIIIe s. avant notre ère, Vol. 2, Du minerai au métal, du métal à l'objet*. Paris, CTHS, 1998, p. 9-24.

Ploquin 1997: PLOQUIN (A.) – Scories archéologiques et reconstitution expérimentale de réduction de sulfure de cuivre (minerai de Saint-Véran, Hautes-Alpes: prémices d'une approche pétrographique), *Archéologie en Languedoc*, n° 21, 1997, p. 111-120.

Ploquin *et al.* 1997 : PLOQUIN (A.), HAPP (J.), BARGE (H.), BOURHIS (J.-R.) – Scories archéologiques et reconstitution expérimentale de réduction du sulfure de cuivre (minerai de Saint-Véran, Hautes-Alpes) : prémices d'une approche pétrographique. *In* : AMBERT (P.) dir., *Actes du Colloque « Mines et métallurgie de la Préhistoire au Moyen-Age en Languedoc-Roussillon et régions périphériques »*, Lattes, Fédération archéologique de l'Hérault, 1997, p. 111-120 (Archéologie en Languedoc, 21).

Ploquin *et al.* 1997 : PLOQUIN (A.), HAPP (J.), BARGE (H.), GUENDON (J.-L.) – Expérimentation sur la bornite de Saint-Véran (Hautes-Alpes). *In* : FRÈRE-SAUTOT (M.-C.) dir., *Actes du Colloque « Paléométallurgie des cuivres », Bourg-en-Bresse et Beaune, 17-18 octobre 1997*, Monographies Instrumentum, 5, 1997, p. 37-43, 6 fig.

Rossi, Gattiglia 2005 : ROSSI (M.), GATTIGLIA (A.) – Les poignards de Remedello hors d'Italie : révision des données. *In* : AMBERT (P.), VAQUER (J.) dir., *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes, actes du colloque international de Carcassonne, septembre 2002*, Mémoire de la Société Préhistorique Française, XXXVII, 2005, p. 265-271.

Rostan, Rossi, Gattiglia 1997 : ROSTAN (P.), ROSSI (M.), GATTIGLIA (A.) – Richerche sulle miniere et sulla metallurgia dell'età del bronzo nel Briançonnais (Hautes-Alpes, Francia). *In* : *La Valle d'Aosta nel quadro della preistoria et protoistoria dell'arco alpino centro-occidentale.* Atti delle XXXI Riunione Scientifica IIPP, Courmayeur, Firenze, 1994, 1997, p. 499-512.

Rostan, Gattiglia, Rossi 2002 : ROSTAN (P.), GATTIGLIA (A.), ROSSI (M.) – Approche économique et industrielle du complexe minier de Saint-Véran (Hautes-Alpes) dans le contexte de l'âge du Bronze des Alpes du Sud. *In* : *Bulletin d'Études Préhistoriques et Archéologiques Alpines*, actes du IXe colloque sur les Alpes dans l'Antiquité, Tende, 2000, 2002, p. 77-96.

Dans la lignée des anciens *Travaux de Centre Camille Jullian*, la *Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine* (BiAMA) regroupe des travaux (monographie, actes de colloques, ouvrages collectifs) en relation avec les programmes scientifiques du Centre Camille Julian, sur l'histoire et l'archéologie de la Gaule méridionale, de l'Afrique du Nord et du bassin méditerranéen. La BiAMA peut comprendre des sous-séries, comme la collection *Études massaliètes* (EtMassa).

Responsable légal :
Dominique Garcia, Directeur du CCJ
Directeur de la publication :
Henri Tréziny
Comité de pilotage :
Xavier Delestre, Dominique Garcia, Henri Tréziny
Conception graphique et mise en page :
Virginie Teillet

Comité de lecture :
Ph. Borgard (CCJ, CNRS), M.-Br. Carre (CCJ, CNRS), X. Delestre (DRAC PACA), D. Garcia (CCJ, Université de Provence), M. Griesheimer (CCJ, Université de Provence), A. Hermary (CCJ, Université de Provence), Ph. Jockey (CCJ, Université de Provence), M. Lombardo (Professeur à l'Université de Lecce), T. S. Loseby (Professeur à l'Université de Sheffield), J.-M. Mignon (Service archéologique départemental du Vaucluse), P. Pomey (CCJ, CNRS), L. Rivet (CCJ, CNRS), J. Sanmarti (professeur à l'Université de Barcelone), H. Tréziny (CCJ, CNRS), C. Virlouvet (CCJ, Université de Provence), E. Voutiras (Professeur à l'Université de Thessalonique).

© 2010 pour tous pays,
Édition Errance, éditeur du groupe Actes Sud,
7, rue Jean Du Bellay 75004 Paris
Tél. : 04 43 26 85 82
Fax : 01 43 29 34 88
Courriel : contact@editions-errance.fr
http://www.librairie-epona.fr

Centre Camille Jullian
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme
5 rue du Château de l'Horloge. BP 647, 13094 Aix-en-Provence Cedex 2

ISBN : 978-2-87772-423-4

Illustration de couverture : La haute vallée de la Durance et le massif des Écrins, au premier plan, la citadelle de Montdauphin (cliché Christian Hussy, DRAC SRA de Provence Alpes-Côte d'Azur).
Illustration 4ème de couverture : Gravures rupestres du val de Fontanalba, Alpes-Maritimes (cliché Michel Olive, DRAC SRA de Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Publications du Centre Camille-Jullian

Ouvrage financé par le
Ministère de la Culture et de la Communication

DIRECTION RÉGIONALE DES AFFAIRES CULTURELLES DE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Envoyer les manuscrits à :
Henri Tréziny
Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine

Centre Camille Jullian
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme
5 rue du Château de l'Horloge. BP 647,
13094 Aix-en-Provence Cedex 2