SCORIES ARCHEOLOGIQUES ET RECONSTITUTION EXPERIMENTALE DE REDUCTION DE SULFURE DE CUIVRE (MINERAI DE SAINT-VERAN, HAUTES-ALPES) : prémices d'une approche pétrographique

Alain PLOQUIN*, Jacques HAPP**, Hélène BARGE***
et Jean-Roger BOURHIS****

Cette étude a été menée à la suite des recherches entreprises depuis 1995 sur l'installation métallurgique de la Cabane des Clausis près de la mine de cuivre du même nom, située dans le parc régional du Queyras, sur la commune de Saint-Véran (cf. contributions B. Ancel et de H. Barge dans ce même volume). Des journées de paléométallurgie expérimentale ont été organisées en 1994 et 1995 à l'Archéodrome de Beaune[1], puis en 1997 sur le site de la Cabane des Clausis[2]. Les résultats de ces expérimentations ont été analysés par le laboratoire de Rennes (J.-R. Bourhis) et le CRPG de Nancy (A. Ploquin) en parallèle avec les vestiges découverts en cours de fouille.

I. Les donnees archeologiques

I. 1. L'activité minière et minéralurgique

L'exploitation préhistorique se trouve entre 2600 et 2400 mètres d'altitude. Elle se présente sous forme de grattages et d'une tranchée à ciel ouvert, aujourd'hui comblée. La minéralisation est intercalée entre le substratum océanique à serpentinites et la couverture sédimentaire à quartzites et riébeckite. Les anciens mineurs ont procédé par abattage systématique du minerai en suivant la direction et le pendage de la minéralisation (40 à 70%). A partir de l'affleurement riche en oxydations, les mineurs ont creusé dans les schistes chloriteux tendres au contact direct avec le minerai jusqu'à la paroi de quartzites. Les travaux, dont la largeur varie de 60 cm à 3 mètres, ont des contours irréguliers et arrondis et les parois ont conservé des traces (fines rainures, impacts de percussion ou cannelures) laissées par les outils rencontrés dans les remblais anciens (Ancel, 1996). Ce sont des chevilles osseuses de cornes de chèvre probablement utilisées comme pics ou leviers ou des fragments de maillets et de pics en roches vertes munis d'une gorge pour l'emmanchement et employés comme percuteurs. Le travail au feu n'a pas été mis en évidence pour l'instant, faute d'investigations plus poussées suivies d'expérimentations. Les nombreuses baguettes brûlées en bout sont certainement des éléments de torches servant à l'éclairage.

L'aire de traitement du minerai de la Cabane des Clausis se trouve sur une petite plate-forme bien aérée jouxtant un ruisseau. Les fouilles ont mis en évidence un atelier de préparation et de " réduction " du minerai extrait de la mine située 250 m plus haut. Plusieurs datations C14 font de cette installation, qui a fonctionné à la fin du 3ème millénaire (Chalcolithique/ Bronze ancien), une des plus anciennes du Midi de la France.

L'atelier de concassage/broyage du minerai et des scories, aire ovale d'environ 60 m² délimitée par quelques blocs de pierres, contient des structures semblables à celles découvertes sur le site métallurgique Bronze ancien du Mont Gabriel en Irlande (O, Brien, 1994). On y voit une table de broyage en serpentinite placée dans une cuvette creusée dans le substrat molassique, d'autres blocs de taille plus modeste, et à proximité immédiate de la cuvette une nappe de sables verts et rouille, calibrés et imprégnés de sulfate hydraté de cuivre et de fer (fig. 1).

Deux zones de vidange de résidus métallurgiques contenaient des scories, des fragments de minerai, des charbons de bois (mélèze et pin cembro),

* Unités de rattachement des auteurs en fin d'article.

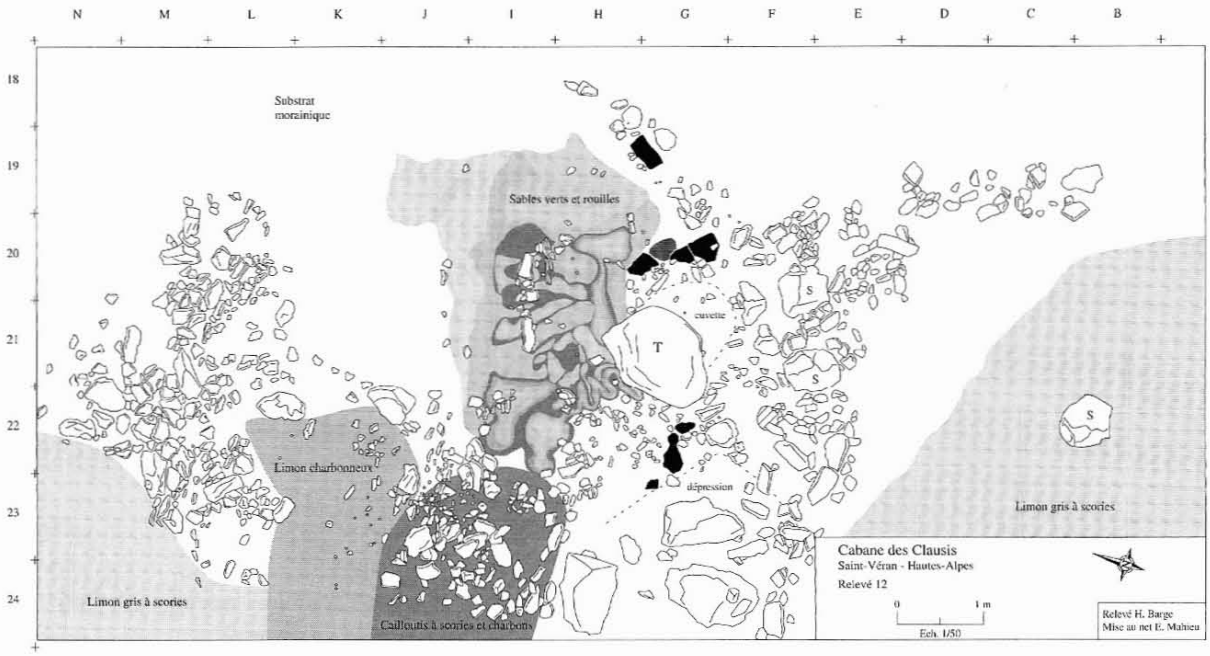


Fig. 1 : cabane des Clausis, Saint-Véran. Atelier de traitement du minerai. T : table de broyage ; S : serpentinite.

des cendres et des agglomérats cendreux présentant des traces de fusion et d'enduits métalliques, pouvant correspondre à des fragments de fours ou de creusets. Parmi les déchets scorifiés, se trouvaient des restes d'outils de métallurgiste, mortier, percuteurs, pierres à cupule en pierre ou fragments de tuyères en céramique. La taille modeste et la fragilité de ces tuyères plaide en faveur d'un four de faibles dimensions en relation avec le volume d'air insufflé (fig. 2). Pour l'instant, aucun four de réduction n'a été découvert sur la zone explorée. La seule structure de combustion découverte s'apparenterait plutôt à un four de grillage du minerai ou de refonte comme peut le laisser penser la présence d'un fragment de récipient en pierre réfractaire découvert à proximité, ayant pu servir de creuset ou de moule pour fabriquer des lingots de cuivre. Une autre structure, faite de deux dalles verticales, parallèles, mais passablement remaniée, se trouvait au-dessus de la nappe de sables verts (Barge *et al.*, sous presse).

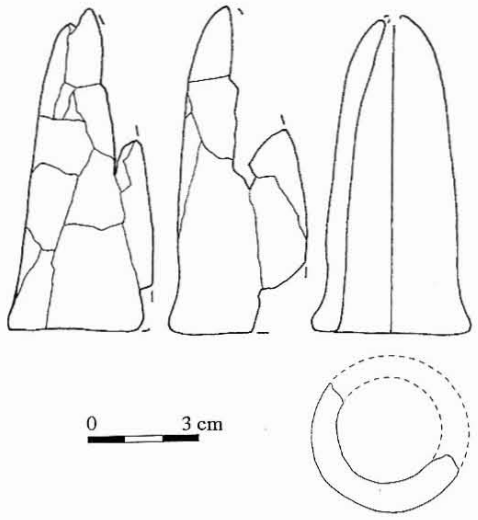


Fig. 2 : les Clausis (Pinilière), Saint-Véran. tuyère en céramique (dessin H. Barge).

I. 2. Les résidus scorifiés

Le minerai exploité est, vraisemblablement, essentiellement de la bornite massive (Cu_5 Fe S4), le sulfure le plus abondant du gisement proche. L'étude de la paragénèse minéralisée (Ayoub, 1984) a montré également la *"présence de chalcosine, digénite, blende, avec accessoirement hématite, magnétite, chalcopyrite, covellite, pyrite, linnéïte, tellurures et galène... On a affaire à deux niveaux minéralisés, situés l'un au-dessus de l'autre : on observe tout d'abord la minéralisation sulfurée à bornite et chalcosine principalement, reposant sur les chlorito-schistes et surmontée par des quartzites. Puis vient la minéralisation à magnétite - hématite et silicates sodiques qui repose directement au toit de l'horizon sulfuré mais qui n'est pas continue sur l'ensemble du gîte"*. D'après les analyses spectrographiques du minerai (Bourhis, Rennes), il faut souligner la faible teneur en arsenic et antimoine (seuil analytique : 0.001% soit 10 ppm) mais des traces d'argent, de

Niveau	6	7	8	9	10	11	12	13
Nombre	1,05 %	14,3 %	1,9 %	12,6 %	16,4 %	31 %	18,2 %	3,78 %
Poids	2,4 %	12,5 %	2,1 %	14,9 %	19,5 %	29,4 %	15,8 %	3,1 %

Taille	1 (0,1 à 0,9 cm)	2 (1 à < 2 cm)	3 (2 à < 4 cm)	4 (> 4 cm)
Total scories	82,71 %	16,17 %	0,99 %	0,11 %
Dont scories plates	99,15 %	81,30 %	77,60 %	80,76 %

nickel, de manganèse ont été décelées ainsi que des teneurs en Zn pouvant être importantes (fig. 9). Remarque : des teneurs en As de 40 à 900 ppm ont été mesurées à la microsonde dans des phases sulfurées ou métalliques de scorie (CRPG).

Plus de 100 kg de scories (fouilles 1995/1996) ont été ramassés sur l'installation métallurgique fouillée à la Cabane des Clausis. Dans la zone de décharge n°2 (carrés F à K / 17 à 24) la plus forte concentration de scories et de tuyères se rencontre dans le secteur central (carrés H19 à H23, G19 à G22) là où se situait le cailloutis charbonneux à scories (fig.4).

Plusieurs types de fragments de scories ont été identifiés et interprétés comme fragments de scories en galette selon le schéma suivant (fig. 3). Les "scories plates " représentent la partie centrale de la galette de scorie fayalitique, composée d'une face supérieure lisse, parfois ridée, parfois avec quelques bulles, et une surface inférieure rugueuse mais régulière qui serait le contact avec un autre "liquide ", métal ou matte en fusion ; elle contient des billes de cuivre et/ou de sulfures. Le "bord " constitue la périphérie arrondie de la galette de scorie. " La bordure " désigne la partie formant le bourrelet encerclant l'empreinte de la matte ou de la masse de cuivre au milieu et au-dessous de la galette.

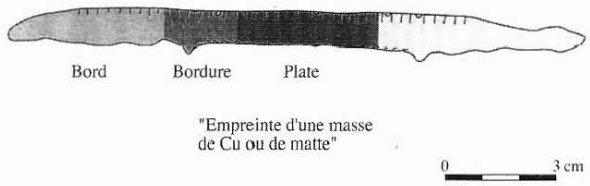


Fig. 3 : reconstitution de la galette scorifiée à partir des fragments découverts en cours de fouille.

De plus, certaines scories sont entièrement bulleuses et moins denses ; d'autres sont des petits nodules cuivreux, d'autres, centimétriques à millimétriques, sont des coulures ou des gouttes de scorie dites scories " écoulée ".

Hormis quelques " billes ", aucun résidu de type matte (assemblage de sulfures avec ou sans cuivre métallique) n'a été trouvé.

Les scories plates sont de loin les plus nombreuses (97,27 %) et leur répartition est générale. Les bords et les bordures de scories (1,41 %) se trouvent dans les mêmes secteurs que les scories plates (GHI/19 à 23) mais sont moins répandues vers le nord (JK). Notons également que cette proportion, si l'on se réfère à la morphologie reconstituée, sous représente très (trop) fortement ces bords et bordures ; les petits fragments ont probablement été trop souvent classés comme " scories plates " mais cette dérive ne suffirait pas à expliquer cette discordance...

Quoiqu'il en soit la grande homogénéité de ces scories est remarquable.

Les scories bulleuses (0,28 %) et les scories écoulées (0,49 %) sont aussi présentes dans le secteur GHI /19 à 23. Les nodules cuivreux (0,52 %) sont principalement représentés dans la travée H (surtout H19 et H20). Les scories bulleuses, les scories écoulées et les nodules cuivreux sont concentrés dans les carrés H19 et H20, avec pour les scories écoulées une présence aussi en H21 et G22 ce qui pourrait laisser envisager la présence d'une structure de fusion à proximité de ce secteur - peut-être les deux dalles verticales, parallèles en I20 ? (fig. 4 à 7).

La taille des fragments de scories varie entre 0,3 cm et 6 cm. Ces fragments sont généralement de petite taille, les exemplaires supérieurs à 4 cm restant exceptionnels.

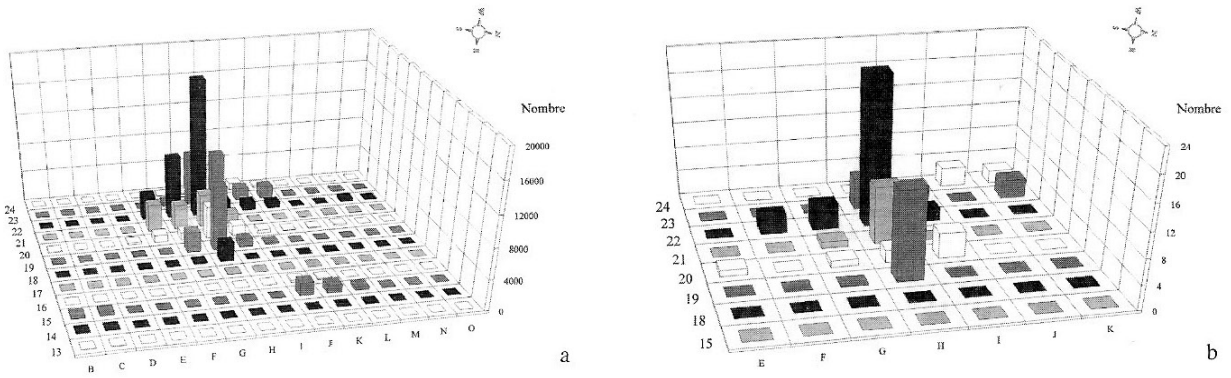


Fig. 4 : cabane des Clausis, Saint-Véran. Diagrammes de répartition. a : répartition des scories par poids en g ; b : répartition des tuyères.

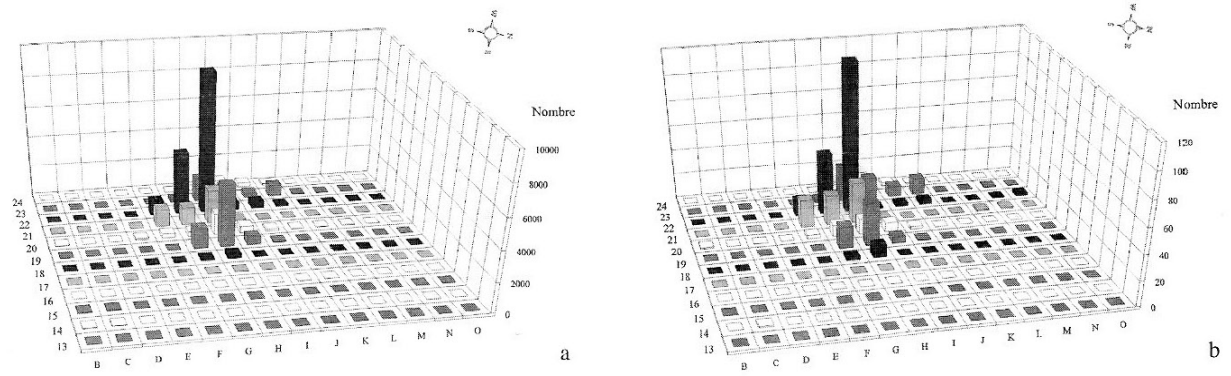


Fig. 5 : cabane des Clausis, Saint-Véran. Diagrammes de répartition. a : répartition des scories plates ; b : répartition des bords de scories.

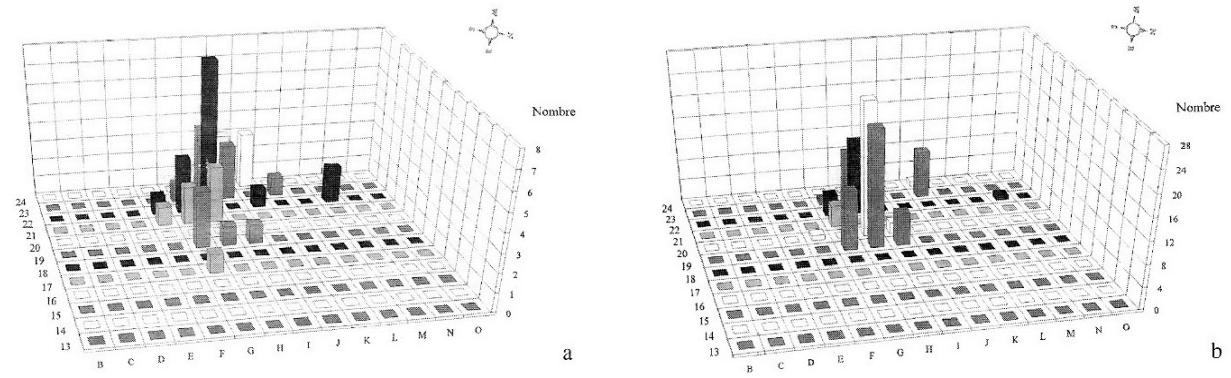


Fig. 6 : cabane des Clausis, Saint-Véran. Diagrammes de répartition. a : répartition des bordures de scories ; b : répartition des scories bulleuses.

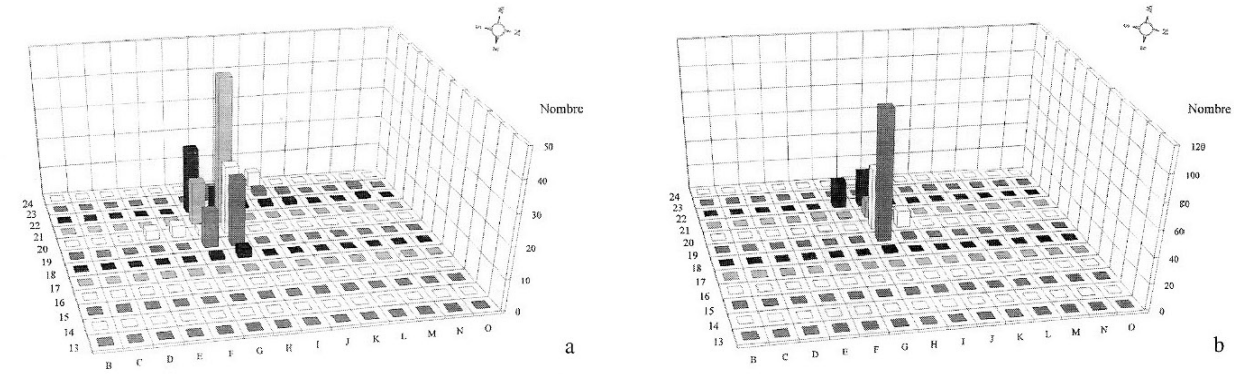


Fig. 7 : cabane des Clausis, Saint-Véran. Diagrammes de répartition. a : répartition des scories de coulée ; b : répartition des nodules cuivreux.

Certains bords de scories de taille plus importante peuvent donner une indication sur le diamètre de la galette de scorie. Ce diamètre correspondant à peu près au diamètre utile du four pourrait être compris entre 10 et 12 cm, voire 20 cm. Les épaisseurs des galettes de scories ainsi reconstituées varient de 0,5 à 3,5 cm, mais le plus souvent 1,5 à 2,5 cm.

II. Reconstitution experimentale de reduction à partir du minerai de Saint-Veran

A l'occasion de journées de paléométallurgie, organisées en 1994 et 1995 à l'Archéodrome de Beaune par l'APAB, certaines reconstitutions expérimentales, menées par J.Happ, ont utilisé du minerai de Saint -Véran.

A ce moment là les données archéologiques et archéométriques issues de la fouille du site de la Cabane des Clausis étaient encore trop limitées pour réellement contraindre les conditions expérimentales ; il fallait retenir : l'usage de schiste à riébéckite comme ajout probable au minerai à dominante bornite, le type de scorie et probablement une ou des tuyères de faible diamètre et courtes. De fait il s'agissait principalement de tester le comportement du minerai de Saint-Véran mélangé à du schiste à riébéckite.

Chaîne opératoire :

1. Préparation du minerai : le minerai, sélectionné *in situ* ou sur halde du siècle dernier, était pratiquement pur ; il a été concassé à une maille d'environ 5-10 mm, les fines ont été gardées à part.

2. Grillage : une aire empierrée de 30 x 50 cm, délimitée par quelques pierres disjointes, a supporté le foyer alimenté en bois ; le minerai concassé a été réparti sur ces braises et laissé là pendant une douzaine d'heures.

3. " Réduction " : Le four a été construit suivant le principe du modèle du Mitterberg (Eibner, 1984) : hauteur totale 45 cm sur une base, interne, carrée de 20 cm de côté, le fond étant creusé à 15 cm sous le niveau du sol (fig. 8). Du fait de la capacité du soufflet utilisé, la tuyère avait un diamètre interne légèrement supérieur (18 mm au bec) à celui indiqué par les rares vestiges archéologiques ; placée dans le plan médian, elle était inclinée à 30 degrés vers le centre et débouchait à 5 cm au dessus du fond.

Pour chacun des deux essais, après un préchauffage, la charge a été introduite par petites quantités, environ 200 g, au total 2 kg de minerai grillé auquel était mélangé 600 g de schiste à riébéckite, en

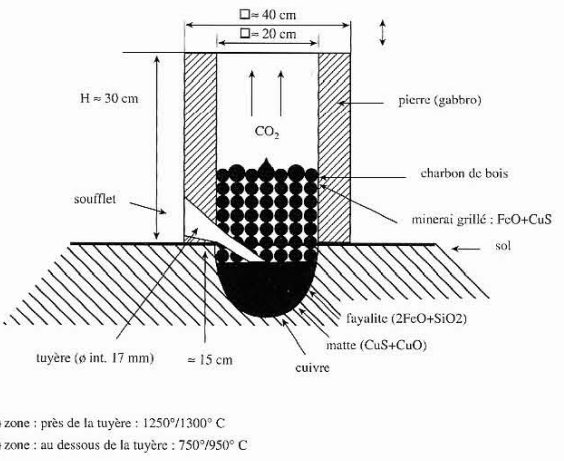


Fig. 8 : reconstitution de l'appareil de fusion «Saint-Véran» utilisé à Beaune 95.

deux heures. Le vent a été maintenu encore une heure ; le perchage intervient pendant cette phase (perchage : introduction de bois vert dans le bain fondu ; cette opération favoriserait l'oxydation des sulfures en excédent).

Les produits obtenus, scories et mattes, sont nettement séparés mais la scorie contient des gros nodules ou masses de matte ; le cuivre ne forme pas de masse importante mais des billes soit incluses dans la matte, soit plus petites et plus rares dans la scorie ; des bouquets de fibres millimétriques de cuivre apparaissent dans des cavités. Localement le cuivre formé, billes ou fibres, est plus jaune, jaune laiton. La scorie est de forme irrégulière, plutôt massive mais avec des diverticules écoulés importants. Avec la masse de matte il y a une empreinte à surface régulière et rugueuse, en léger creux et délimitée par un bourrelet millimétrique.

Après concassage et tri manuel, éventuellement complété par un lavage à l'eau (*cf.* battée), le métal récupéré est refondu dans un creuset ; à chaque essai, environ 200 g de métal a ainsi été récupéré, soit de l'ordre de 20%. Remarque, un lingot a été coulé dans un moule en bois, simple creux dans une bûche fendue : le bois résiste parfaitement et le grain de la surface contre le bois est très fin avec un bel aspect patiné.

La morphologie des scories " reconstituées " est différente de celle des scories " archéologiques " ; elles étaient plus irrégulières et plus épaisses, dépourvues du bord mince et larges. Lorsque la galette de matte est régulière, la scorie à son contact montre une empreinte tout à fait analogue à celle observée sur (sous) les scories " archéologiques " de Saint Véran, y compris son bourrelet en " bordure ". Ce type

d'empreinte avec rebord a également été décrit lors de reconstitution expérimentale de réduction de minerai oxydé entre la scorie et son lingot de cuivre plano-convexe sous-jacent (Rothenberg,1990, p.133).

Ces scories " reconstituées " sont certes fayalitiques et pyroxéniques (infra) mais elles sont associées à d'importantes masses de matte et il y a peu de billes de Cu dans la scorie. Nous avons une présence fréquente dans des fissures de la matte, dans des bulles et aux contacts entre matte et scorie, ou entre matte et fond de four, de bouquets de filaments qui évoquent des " wiskers ".

III. Archeometrie

Sur quelques spécimens de matériaux associés à cette métallurgie, archéologique ou reconstituée, quelques examens et analyses ont été réalisés ; ceci, rappelons le, après les journées de 1995 :

- analyses spectrographiques sur petits spécimens (J.R.Bourhis, CAA, UMR CNRS-Univ.de Rennes),

- RX, lames minces et sections polies, analyses ponctuelles à la microsonde électronique, analyses globales (dites "roches totales") par ICP ES/MS (A.Ploquin, CRPG, CNRS).

Ces diffractogrammes RX et analyses spectrographiques (bien que le S n'ait pas été dosé) ont confirmé la dominance de la bornite dans des spécimens de minerai recueillis sur les haldes ou dans la mine (et donc dans le minerai utilisé lors de la reconstitution). Par contre ce qui a été prélevé en fouille comme "grains de minerai" riche en malachite (secondaire ou non) paraît, à l'analyse, plus proche des billes de mattes (association de sulfures, plus ou moins altérés en malachite), figure 9.

Un diffractogramme RX a confirmé la richesse en riébéckite des broyats de schistes trouvés sur le site et leur parenté avec les schistes à riébéckite prélevés en haldes et analysés par ICP et observés au microscope. Le caractère sodique de ces schistes se retrouve dans les analyses des spécimens de scories archéologiques (analyses globales par ICP, analyses ponctuelles de verre interstitiel) : si l'on considère que toute la soude de ces scories vient d'un ajout de tels schistes dans la charge du four, un simple bilan montre que cela est possible et que cet "ajout " représentait 25 à 40% de la charge. Lors de la reconstitution, l'ajout avait été de l'ordre de 25 %.

Les analyses ponctuelles sur les billes et masses de sulfures ou de Cu montrent une bonne similitude entre les spécimens archéologiques et

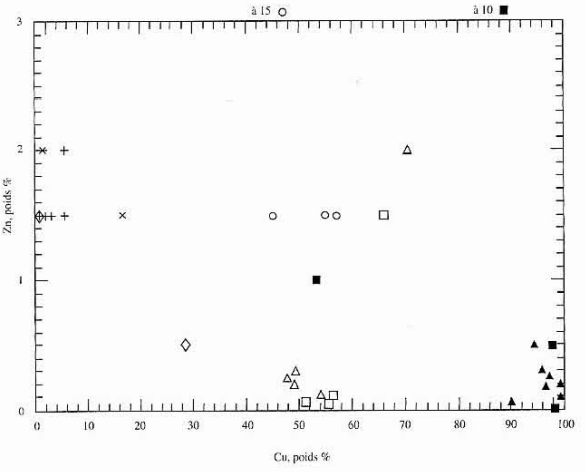


Fig. 9 : représentation graphique à partir des données spectrographiques ; diagramme Zn/Cu.

Ces données, exprimées en poids % d'élément, ont été déterminées par spectrographie, sauf le cuivre qui a été dosé par électrolyse ; le résidu de l'attaque nitrique est porté comme " Si ". Les valeurs Zn " hors gamme de dosage " ont été normalisées à 1.5, 10 et 15 %.

Symboles : fragments de scories archéologiques (croix) et reconstituées (losange vide), nodules ou billes de matte (triangles vides), nodules dits de minerai (carrés vides), minerais pris en haldes ou en mine (cercles vides), prélèvements sur métal archéologique (carrés pleins) ou reconstitué (triangles pleins).

"reconstitués " : les deux modes opératoires relèvent du même système, fig. 10. Mais le système S-Fe-Cu permet peu de liberté quant aux compositions possibles après fusion et cette similitude n'apporte qu'un cadre général : nous sommes bien en présence d'un usage de minerai sulfuré (plus riche en cuivre que la chalcopyrite) et non pas d'un usage d'un minerai de type oxyde ou carbonate. Les teneurs en fer des spécimens de cuivre archéologique permettent également d'affirmer que les réactions qui ont produit le cuivre ont fait intervenir des phases autres que de simples oxydes ou carbonates de Cu.

Par contre, il ressort des analyses ponctuelles sur les silicates, spinelles et verres que ces phases "archéologiques " ont plus piégé le Zn que leurs équivalentes "reconstituées " (fig.11) ; cette différence ne semble pas aussi probante en ce qui concerne les sulfures et métaux (fig. 10 c).

Actuellement aucune explication satisfaisante n'est proposée (si ce n'est le recours facile à une hypothétique hétérogénéité du minerai) ; il faudrait rechercher des données sur les facteurs influençant les coefficients de partage du Zn lors des opérations successives... Il apparaît aussi que les olivines " archéologiques" sont globalement plus magnésiennes que

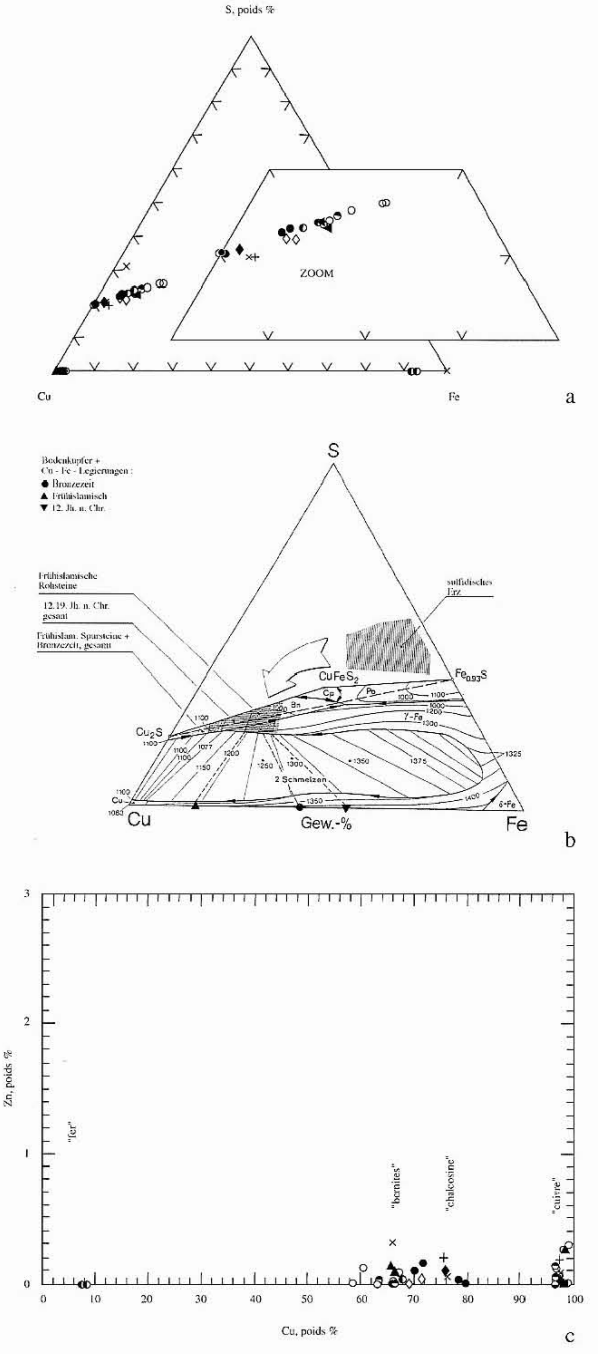


Fig. 10 - a : report des données analytiques ponctuelles (microsonde) sur les phases sulfurées, oxydées et métalliques dans le triangle S-Cu-Fe. Le " zoom " est un agrandissement de la zone chalcosine-bornite ; - b : système S-Cu-Fe (d'après Hauptmann, 1985, p.87) ; - c : cf. a, diagramme Zn-Cu.

Légende commune a et c : ces données sont exprimées en poids % d'élément ont été obtenues sur sections polies avec un programme " sulfures " ; les divers cercles, d'une part, et les divers triangles et losanges, d'autre part, correspondent à deux spécimens de scories (avec matte associée) " reconstitués ", alors que les croix correspondent à un spécimen archéologique.
Commentaire commun a et b : à Saint Véran le minerai est de composition proche de la bornite (Bn) ; le fait d'ajouter du schiste à riébéckite (Fe_2O_3t= 18 à 33%) déplace la composition de la charge dans le domaine à " deux phases liquides ", d'où la formation d'une matte sulfurée localisée entre la bornite et la chalcosine (Cu_2S) d'une part et d'autre part un liquide métallique qui cristallisera en cuivre (avec un peu de Fe) et, selon la quantité de fer disponible, en fer contenant du Cu.

les olivines " reconstituées " ; la seule explication actuellement envisageable pourrait être trouvée dans les variations de composition du schiste à riébéckite ajouté (fig. 11).

Il est évident que ces données sont issues de trop peu de spécimens, et que les " reconstitutions " sont encore assez éloignées de leurs " modèles " archéologiques ; cependant ces données sont plutôt bien convergentes et constituent des prémices encourageantes.

Ces données analytiques sont disponibles sur simple demande à l'un des auteurs (A. P.).

Conclusions

La grande homogénéité des scories évoque fortement une bonne maîtrise des opérations, une technique fonctionnant correctement " en routine " et nous paraît indiquer la présence d'une seule opération produisant des déchets scoriacés. Cette dernière remarque (un seul type de scorie) est importante ; si on l'associe à l'absence de résidu de matte massive, nous sommes amenés à proposer que la "réduction" était réalisée en un seul temps, c'est à dire sans reprise de matte ; ceci implique que le grillage était suffisamment intense pour que la réaction des sulfures sur les oxydes soit pratiquement complète, sans résidu important de matte qu'il aurait fallu soit reprendre, soit jeter (cf. tableau).

Lors des essais de reconstitution, la matte obtenue était trop importante par rapport au métal produit : le grillage préliminaire devra donc être amélioré. Cependant les phases minérales obtenues sont semblables, à quelques nuances près, à celles des scories et métaux du site. La morphologie globale de la scorie obtenue n'est pas conforme au modèle archéologique : le four et sa charge, voire sa conduite, sont donc à modifier. Mais l'ajout de schiste à riébéckite, déduit des observations archéologiques et des données archéométriques, s'est révélé réaliste. Il est vrai que l'ajout d'oxydes de fer a été prouvé sur d'autres sites et utilisé lors de reconstitutions et que l'ajout de potasse est fréquent puisque quasiment inhérent à l'usage du charbon de bois ; mais à notre connaissance ce cas est le seul connu d'ajout volontaire de silicate sodique.

Il semblerait que cet usage d'une technique avec production de scorie, et a fortiori de minerai sulfuré, soit relativement rare à l'Âge du Bronze (Craddock, 1990).

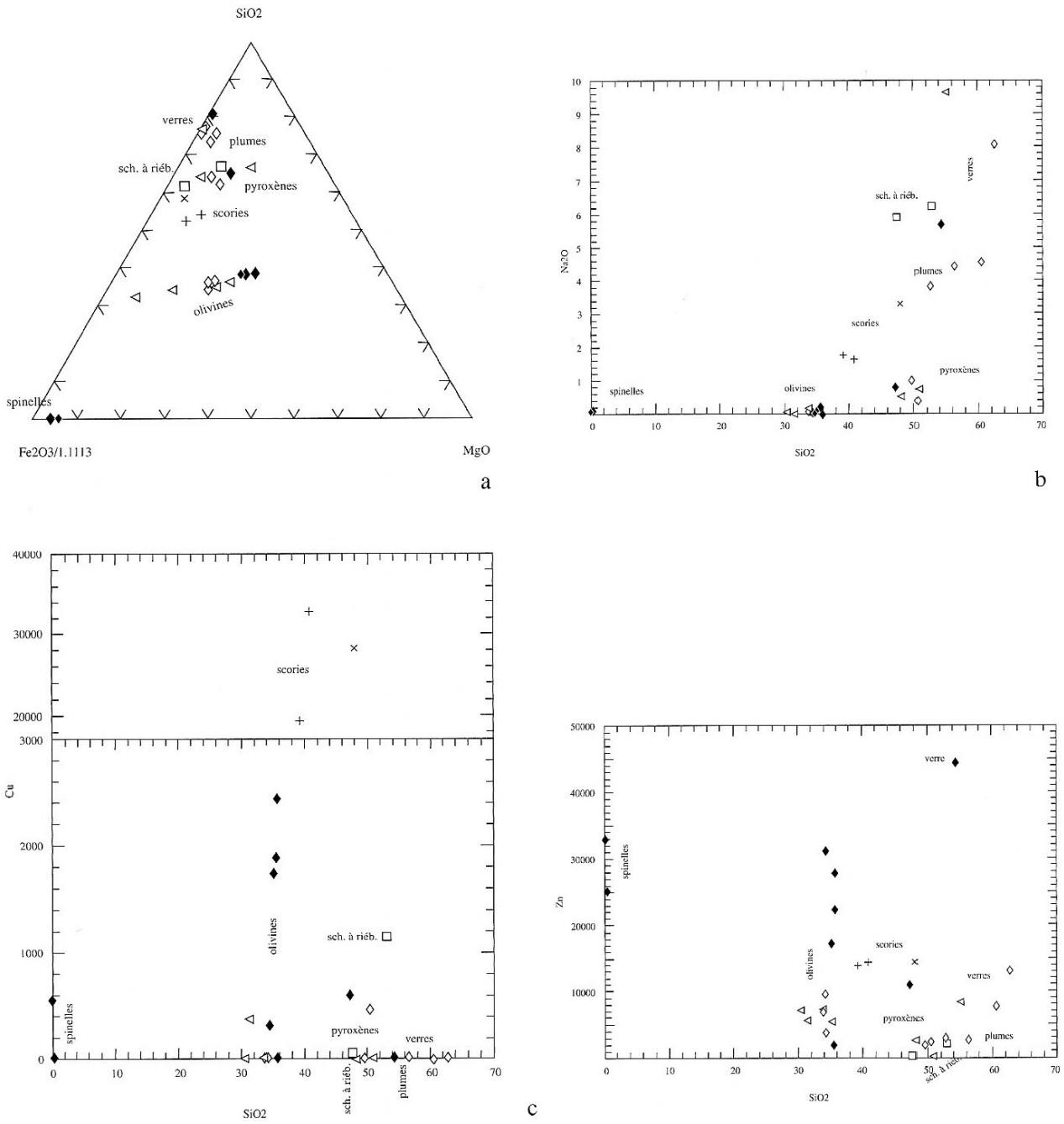


Fig. 11 : report des données analytiques ponctuelles (microsonde) sur les silicates, spinelles et verres et des données analytiques globales (ICP) sur quelques scories archéologiques et schistes à riébéckite.

Ces données sont exprimées en poids d'oxyde % pour les éléments dits majeurs et en ppm pour les éléments dits en traces, 1% = 10 000 ppm.

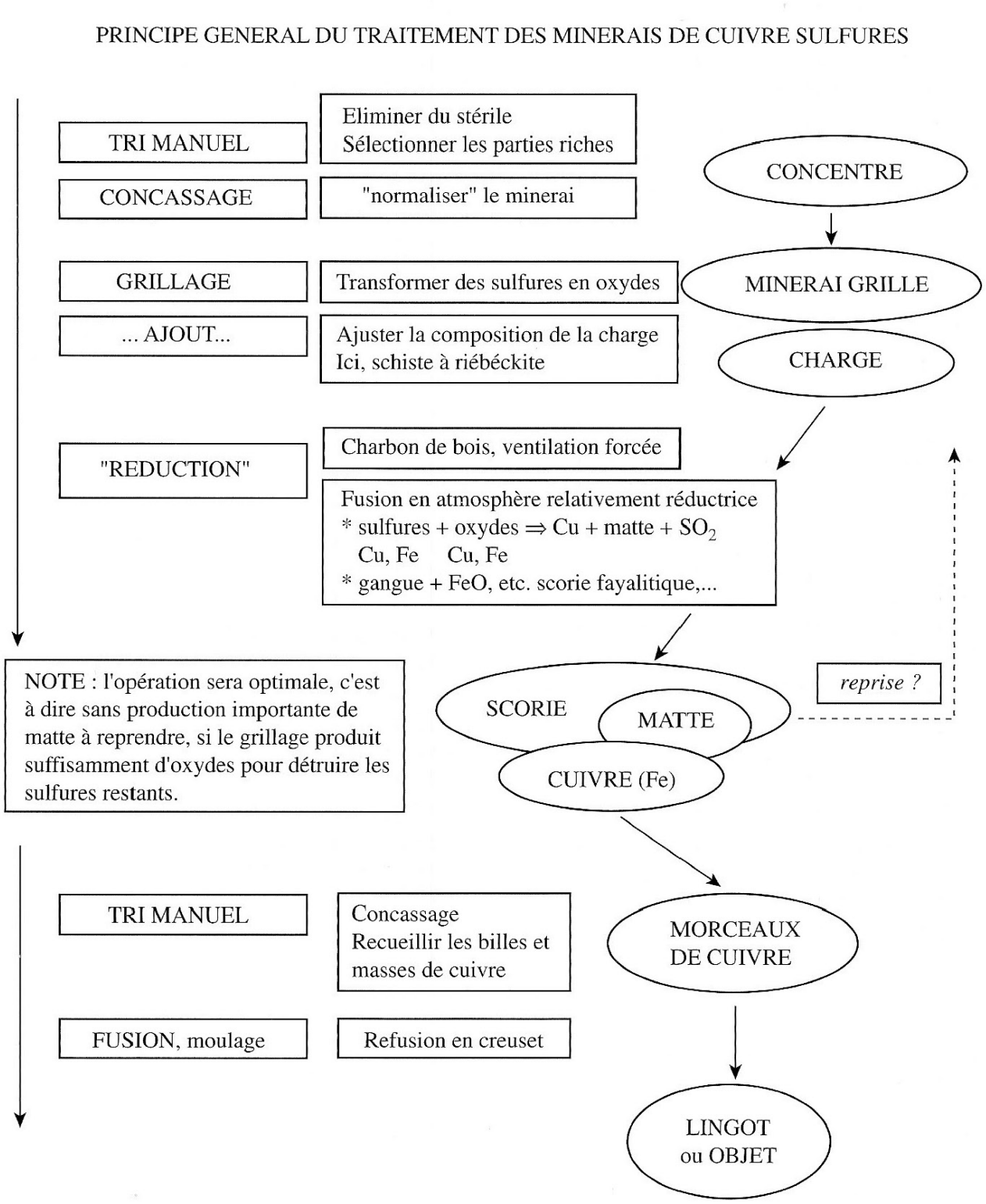
Analyses globales : schistes à riébéckite (carrés vides) et scories archéologiques (croix).
Analyses ponctuelles, sur sections polies cf. fig. 11, avec programme silicates et oxydes : scorie archéologique (losanges pleins) et scories " reconstituées " (losanges et triangles vides, deux spécimens).

a – diagramme SiO_2-MgO-FeO.

b – diagramme Na_2O-SiO_2.

c – diagrammes Cu-SiO_2 et Zn-SiO_2.

Note b et c, repères : les spinelles (série magnétite-hercynite) ont des valeurs de SiO_2 presque nulles, les olivines (fayalite, Fe > forstérite, Mg >> roeppérite, Zn) de l'ordre de 30 à 36 %, les pyroxènes de l'ordre de 46 à 52 % (mais les faciès très dendritiques, dits " en plumes ", de 52 à 57) ; les points sur la phase vitreuse ont donné 54 à 63 % SiO_2.



Principe général du traitement des minerais de cuivre sulfurés, reconstitution de la chaîne opératoire à partir des observations relatives au site de Saint Véran, Cabane des Clausis, Age du Bronze. A gauche, les opérations (rectangles), à droite (ellipses), les produits obtenus.

NOTES

1. Les expérimentations ont été menées par J. Happ. Nous remercions chaleureusement Mme Marie-Chantal Frère-Sautot et la SAPRR qui ont organisé et financé ces journées.

2. Ces trois journées, financées par le Ministère de la Culture, ont été animées par J. Happ, A. Ploquin, J.-L. Guendon et H. Barge, elles feront l'objet d'un prochain article.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANCEL B. (1996) - La mine de cuivre des Clausis à Saint-Véran. Synthèse historique, relevés topographiques. *Rapport INTERREG I*, doc. CCSTI, 35 p.

AYOUB C. (1984) - *Un exemple de minéralisation associée aux ophiolites mézozoïques des Alpes cottiennes : le gîte de Saint-Véran (Hautes-Alpes, France). Etude pétrographique, structurale et métallogénique.* Thèse, Univ. de Grenoble, 207 p.

BARGE H., ANCEL B., ROSTAN P. et GUENDON J.-L. (sous presse) - La mine des Clausis à Saint Véran (Hautes-Alpes) : exploitation et aire de réduction du minerai de cuivre d'époque préhistorique, *Colloque international Bronze '96*, Neuchâtel-Dijon, 1996.

CRADDOCK P.T. (1990) – Copper smelting in Bronze Age Britain : problems and possibilities, *in* Crew P.& S . 1990, pp. 69-71 et p.74.

CREW P. & CREW S., Ed. (1990) – Early Mining in the British Isles, *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper n°1, 80 p.*

HAPP J., BRIARD J., BOURHIS J.R. et AMBERT P. (à paraître) – Archéodrome de Bourgogne. Bilan des recherches de métallurgie expérimentale concernant la production du cuivre durant la protohistoire en Europe de l'Ouest. *Colloque international Bronze '96,* Neufchâtel-Dijon 1996.

HAUPTMANN A. (1985) – 5000 Jahre Kupfer in Oman, Bd 1, Die Entwicklung der Kupfermetallurgie vom 3. Jahrtausend bis zur Neuzeit, *Der Anschnitt, Beiheft 4, 139 S.,* Bochum.

O'BRIEN W. (1994) - *Mount Gabriel. Bronze Age Mining in Ireland.* Galway University Press, Belfast, 371 p.

ROTHENBERG B., Ed. (1990) – *The ancient metallurgy of copper, Researches in the Arabah* 1959-1984, vol.2, 191 p., IAMS Monograph.

N.D.A. : Les références concernant le site de Saint Véran sont disponibles à la suite de l'article B. Ancel et H. Barge, ce volume.

* CNRS, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CNRS, 15 rue N.-D. des Pauvres, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex.

** Association pour la Promotion de l'Archéologie en Bourgogne, Archéodrome de Beaune, SAPRR.

*** DRAC de PACA, Service Régional de l'Archéologie, 21/23, bd du Roi René, 13617 Aix-en-Provence, cedex principal et LAPMO, MMSH, Aix-en-Provence.

**** CNRS, UMR 153, Civilisations Atlantiques et Archéosciences, Université de Rennes I, Laboratoire d'Anthropologie, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex.