LA MINE DE CUIVRE DE SAINT-VÉRAN (Hautes-Alpes, France)
Exploitation et métallurgie de l'Age du Bronze au XX^{e} siècle

GÉNÉRALITES

REMERCIEMENTS - INTRODUCTION

Introduction

1. Localisation du site minier
2. Bref historique de l'exploitation minière
3. Les recherches préliminaires sur le site minier (1990-1994)
4. Le déroulement des opérations archéologiques et les questions de sécurité (1995-2004)
5. La démarche méthodologique

GÉOLOGIE

Géologie et minéralogie du gîte de cuivre

1. La formation et la géométrie de la minéralisation
2. Le minerai
3. Les analyses du minerai de Saint-Véran
4. Les autres indices de cuivre des alentours

MISE EN SÉCURITÉ DES SITES MINIERS

Le statut des sites miniers, la procédure d'arrêt des travaux et de mise en sécurité. L'opération pilote menée en région Provence Alpes-Côte d'Azur (1997-2001) par H. Barge et R. Beaudoin

BIBLIOGRAPHIE

PRÉHISTOIRE

ÉTUDE ARCHÉOLOGIQUE

Étude archéologique du site minier

1. L'exploitation minière préhistorique
   - 1.1 Les travaux de surface
   - 1.2. Les travaux souterrains
   - 1.3. Géomorphologie et formations superficielles du bassin versant de Pinilière et de la Tranchée des Anciens au niveau du travers-banc 2
2. L'atelier métallurgique de la Cabane des Clausis
   - 2.1. La découverte du site
   - 2.2. La topographie des lieux
   - 2.3. Les techniques de fouilles
   - 2.4. Étude structurelle et fonctionnelle de l'atelier
   - 2.5. Prospections géophysiques et sondages
   - 2.6. Les résidus d'opérations métallurgiques
   - 2.7. L'archéométallurgie à partir du minerai de Saint-Véran
   - 2.8. La composition du minerai, des scories et du métal issus des résidus archéologiques et des produits de reconstitution
   - 2.9. Le mobilier archéologique
3. Les espèces animales du temps de l'exploitation préhistorique
   - 3.1 La répartition des restes fauniques sur l'ensemble du site
   - 3.2 L'étude des vestiges osseux
4. Les espèces végétales du temps de l'exploitation préhistorique
5. L'abri sous-roche de Pinilière

BILAN DES RECHERCHES

Bilan des recherches sur la mine pré et protohistorique de Saint-Véran

1. La datation du complexe minier et métallurgique de Saint-Véran
2. La première fréquentation du site minier
3. L'influence du climat sur l'activité minière dans le massif alpin
4. Le complexe minier et métallurgique : synthèse des résultats
5. La question du tonnage de minerai extrait par les Préhistoriques
6. Le minerai était-il transformé sur place ou commercialisé ?
7. Les autres traces d'activité métallurgique dans le Queyras

PRODUCTION MÉTALLIQUE

La production métallique régionale du Chalcolithique au premier Age du fer. Composition du métal et provenance des minerais

1. L'environnement immédiat de la mine de Saint-Véran. Des objets isolés du Bronze moyen au premier Age du fer
2. La composition métallique des bronzes découverts à Saint-Véran
3. La production métallique pré et protohistorique dans le sud-est de la France
4. Les minéralisations cuprifères et leur composition dans le sud-est de la France
5. La relation minerai / objet

CONTEXTE EUROPÉEN

La mine de Saint-Véran dans le contexte européen de la fin du III^{e} millénaire av. J.-C.

1. En France
2. En Italie
3. Dans les Îles Britanniques
4. Dans la Péninsule ibérique
5. En Autriche
6. Autres exemples (Russie, Israël, Egypte)

ÉPOQUE MODERNE

HISTOIRE MINE MODERNE

Histoire de l'exploitation moderne (1849-1970)

1. Après plusieurs siècles d'oubli, un regain d'intérêt en 1843
2. Une mise en route difficile avec le C^{dt} Mazué (1900-1913)
3. Un temps d'arrêt lors de la première guerre mondiale (1914-1919)
4. La première grande période d'exploitation Vincent (1920-1931), vers une meilleure rentabilité
5. Un long répit s'instaure de 1932 à 1937
6. Les années de guerre (1938-1945), les débuts de la Société Industrielle et Minière avec Maurice Vendel
7. L'après guerre (1946-1953), des années difficiles pour l'avenir de la mine
8. A la recherche d'un nouveau filon durant la période Maire (1953-1960)
9. Le déclin de l'exploitation (1961-1970)
10. La reconversion du site minier (1993-2011). Après un passé glorieux, ... un avenir incertain

LA MISE EN SÉCURITÉ DU SITE MINIER EN 2001
1. L'exploitation souterraine
2. Les installations de surface du XX^{e} siècle

CARRIÈRE DE MARBRE
L'ancienne carrière de marbre vert de Saint-Véran

TÉMOIGNAGES DE MINEURS
Le témoignage des anciens mineurs

PRODUCTION

La production de cuivre
1. L'exploitation s'adapte à la géométrie de la minéralisation
2. Les teneurs en cuivre et la production

USINES MÉTALLURGIQUES
Les usines métallurgiques

EFFECTIFS
Les effectifs de la mine de Saint-Véran de 1902 à 1956

COMMANDES - FOURNISSEURS
Commandes et fournisseurs de la mine de Saint-Véran de 1912 à 1944

SYNTHÈSE
Synthèse des recherches sur la mine moderne de Saint-Véran
Chronologie des grandes périodes d'exploitation et des sociétés minières
Chronologie des installations de surface
Visite de surface du site minier
Visite souterraine du site minier

VISITE VIRTUELLE

VISITE VIRTUELLE - SOUTERRAIN
Les différents niveaux d'exploitation
Le Travers-banc n°1
Le travers-banc n°2
Le travers-banc n°2bis
Le travers-banc n°3
Le montage entre les TB4 et TB3
Le travers-banc n°4
La descenderie entre les TB4 et 5
Le travers-banc 5
La poudrière

VISITE VIRTUELLE - SURFACE
Panoramas
Vue générale du site minier
Des affleurements au TB2bis
Du TB3 au TB4
Du TB4 au TB5
Du TB4 à l'atelier de flottation
La laverie
L'atelier de flottation
Les installations électriques
Carrière de marbre et atelier des Clausis

ETUDES COMPLEMENTAIRES

INSCRIPTIONS - GRAVURES

Inscriptions et gravures rupestres près du site minier de Saint-Véran
1. Le site de la Cabane des Clausis
2. Le col de Saint-Véran
3. La Tranchée des Anciens
4. L'affleurement rocheux près de la laverie moderne

TECHNIQUES

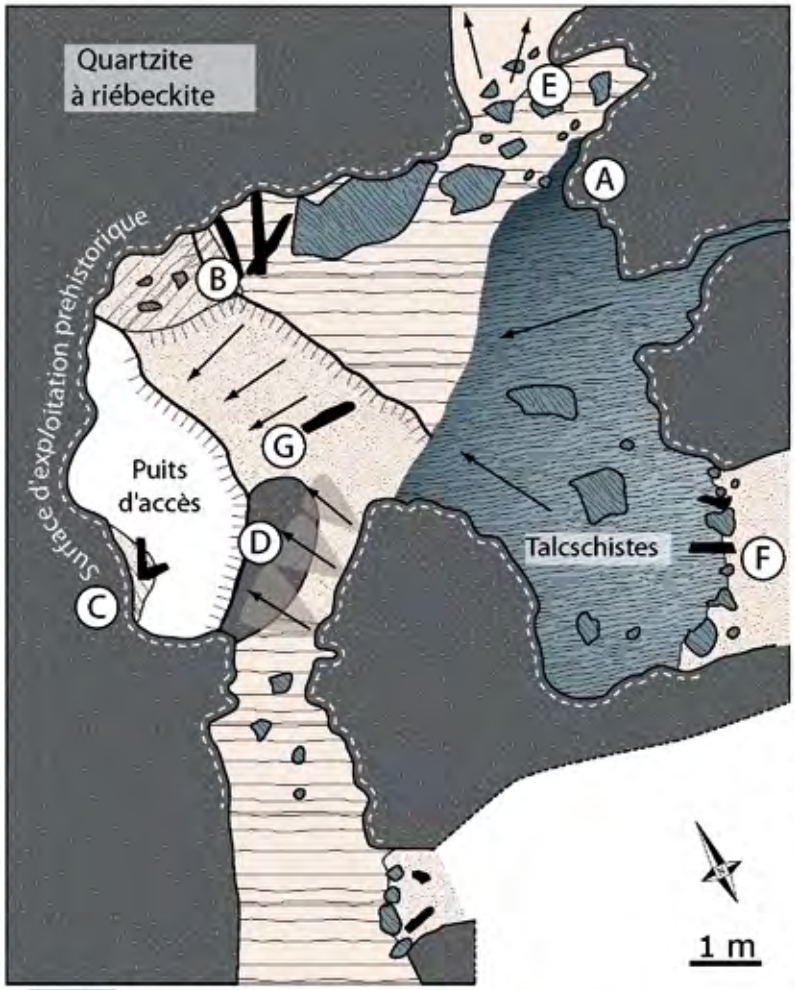
Les techniques minières et métallurgiques au XX^{e} siècle
1. Les explosifs
2. Les marteaux perforateurs
3. Les compresseurs et les moteurs
4. Les treuils
5. Les courroies
6. Les appareils de concassage et de broyage
7. Les appareils tamiseurs et classeurs
8. Les appareils auxiliaires
9. La flottation
10. Les procédés métallurgiques

MINERAIS DE CUIVRE
Des minerais de cuivre très variés

AUTRES MINES DE CUIVRE

Inventaire des mines et indices de cuivre dans le sud-est de la France
1. Le Var
2. Les Alpes-de-Haute-Provence
3. Les Hautes-Alpes
4. Les Alpes-Maritimes

LA MINE DE CUIVRE DE LA RONZE À CHESSY-LES-MINES, RHÔNE (XV^{E}-XX^{E} SIÈCLES)
1. Introduction
2. Le site minier
3. Le gîte de cuivre
4. Historique de l'exploitation minière
5. Le diagnostic archéologique
6. Conclusion
7. Documents d'archives sur la mine de la Ronze à Chessy-les-Mines, Rhône



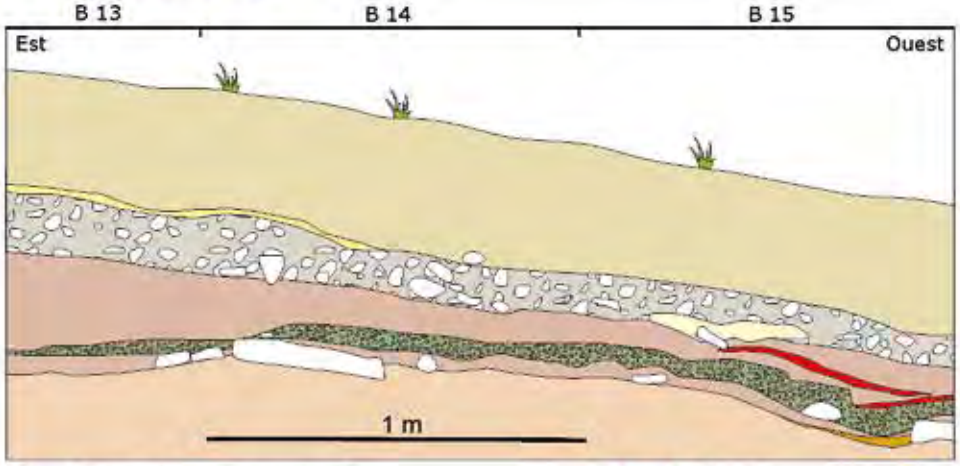
Plan schématique des chantiers d'exploitation préhistorique au niveau du TB2 bis (d'après relevé JLG, © EM).

On peut toutefois constater qu'il devait être plus facile de drainer les eaux dans la partie supérieure de l'exploitation, c'est-à-dire de la Tranchée des Anciens jusqu'au niveau du travers-banc 2, que dans la partie basse. En effet, la base des travaux (niveau TB2) se trouve approximativement au même niveau que la surface à environ 50 m de distance sur le plan horizontal. Ce secteur, situé plus bas que le fontis actuel, a très bien pu être aménagé par le creusement d'une galerie d'écoulement des eaux en légère pente. On peut également envisager la mise en place d'une gouttière en bois comme cela était le cas dans la tranchée (40 m de long sur 5 à 10 m de large et 10 m de profondeur) de la mine de Copa Hill à Cwmystwyth, Grande Bretagne, pour cette même période du Bronze ancien (Timberlake, 2009).

Pour les travaux plus profonds situés au niveau du travers-banc 2bis, les problèmes d'évacuation ont dû être plus sérieux. La distance à parcourir pour rejoindre la surface était nettement plus longue (près de 100 m) et de surcroît les terrains à traverser, constitués de schistes et de moraines, étaient particulièrement instables. L'échec de la tentative de réouverture du TB2bis en 2001 nous a d'ailleurs permis de le constater. C'est certainement cette difficulté qui a causé l'abandon de l'exploitation et non l'épuisement du gîte car, comme l'ont montré les travaux modernes, la lentille de bornite associée au mur de chloritoschistes se prolongeait de plus de 100 m en profondeur.

Travers-banc 2bis.
En haut : lentille de bornite de 20 cm d'épaisseur conservée au plafond des anciens travaux montrant que le dépilage a nécessité à cet endroit un élargissement d'environ un mètre de large (© JLG).
Au milieu : plafond des travaux préhistoriques où les surfaces mamelonnées et sinueuses correspondent à l'empreinte en négatif du minerai (© HB).
En bas : découverte d'un maillet dans les remblais accumulés sur un replat, à l'endroit du pilier en colimaçon (© AG).

La coupe n°10

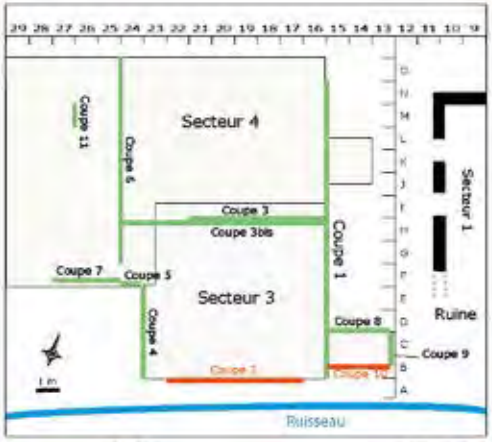


Niveau de surface remanié
Limon jaune
Limon gris caillouteux
Limon gris à passées de sables rouilles + charbons
Paléosol
Couche noire à scories
Sables jaunes et rouilles
Cailloutis rouge instable

Cabane des Clausis. Secteur 3, décharge n°1, zone sud-est (© HB).

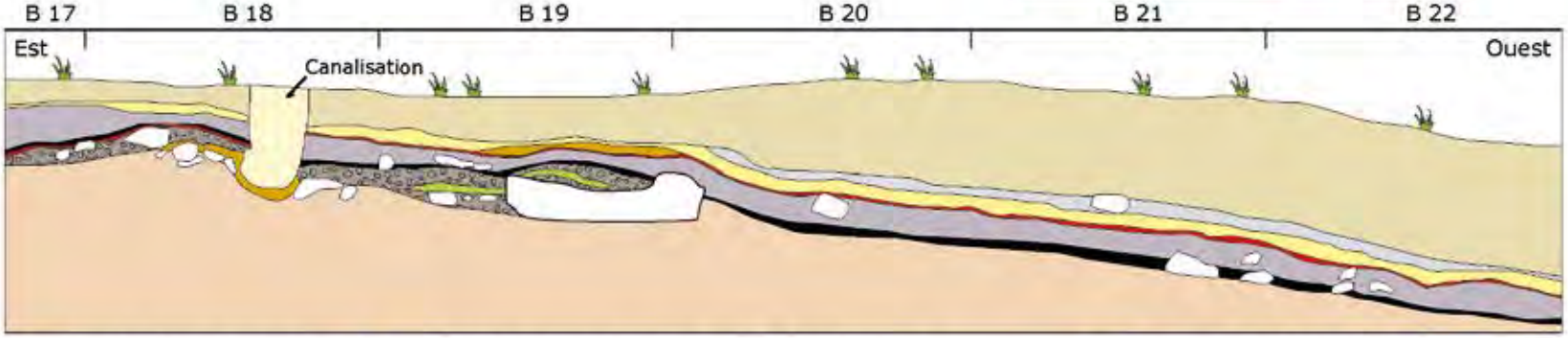
A gauche : coupe n°10, est-ouest (carré B / 13-15) (DAO HB).

A droite : vue de la coupe n°10, est-ouest (côté sud).



Cabane des Clausis, secteur 3. Localisation des coupes n°s2 et 10 (DAO HB).

La coupe n°2



Niveau de surface remanié
Limon gris
Limon jaune
Sables jaunes et rouilles
Paléosol
Limon gris-noir et rouille
Couche noire
Sables verts fins
Cailloutis noir à scories
Cailloutis rouge instable
1 m

Cabane des Clausis. Secteur 3, décharge n°2, zone sud (© HB). Coupe n°2, est-ouest (carrés AB / 17-22) (DAO HB).

Vues de la coupe n°2.

Saint-Véran 1998. Grillage du minerai dans un récipient en terre cuite (© HB).

Saint-Véran 1998. Cuisson du minerai et des tuyères dans le four de grillage (© HB).

Cinq expérimentations ont été réalisées dans quatre types de fours différents. La dimension intérieure du four a été choisie en fonction du diamètre de la galette scoriacée reconstituée avec les fragments de scories archéologiques (soit 12 à 20 cm).

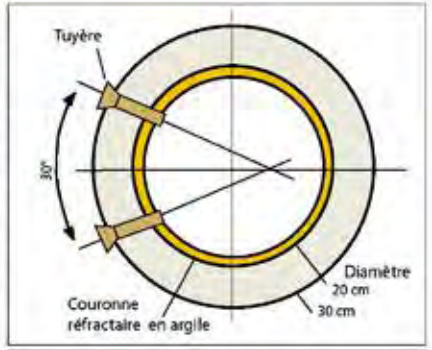
1. Une simple fosse, cuvette de 20 cm de diamètre sur 15 cm de profondeur creusée dans le substrat limoneux avec une ceinture réfractaire constituée de blocs scellés par du limon, dans laquelle sont placées deux tuyères en céramique proches l'une de l'autre et dirigées vers le centre de la fosse.

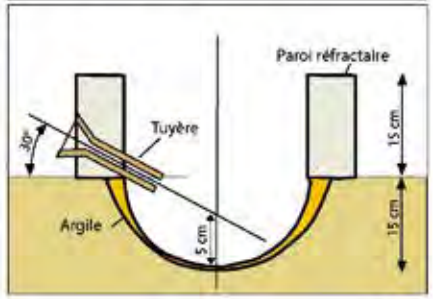
Après préchauffage du four, la soufflerie est actionnée par deux soufflets en cuir, munis d'embouts (ou buses) en céramique enchâssés dans les tuyères. D'une contenance de cinq litres, chaque soufflet insuffle de façon simultanée un volume d'air permanent et régulier selon le rythme de trente coups/minute. La ventilation dure environ deux heures et demi ce qui équivaut à 54 m³ d'air au maximum.

Une charge de minerai de 1,4 kg plus 200 g de schiste à riébeckite a permis d'obtenir une galette de 820 g composée pour les 2/3 d'une couche de matte (1,5 cm d'épaisseur) surmontée par une couche de scorie fayalitique de 1 cm d'épaisseur. Le cuivre était présent sous forme de billes incluses dans la matte et de bouquets de fils piégés dans les fissures de la matte et entre la matte et la scorie (*wiskers*).

Le résultat ne fut pas parfait (scorie grumeleuse) du fait de la mauvaise ventilation.

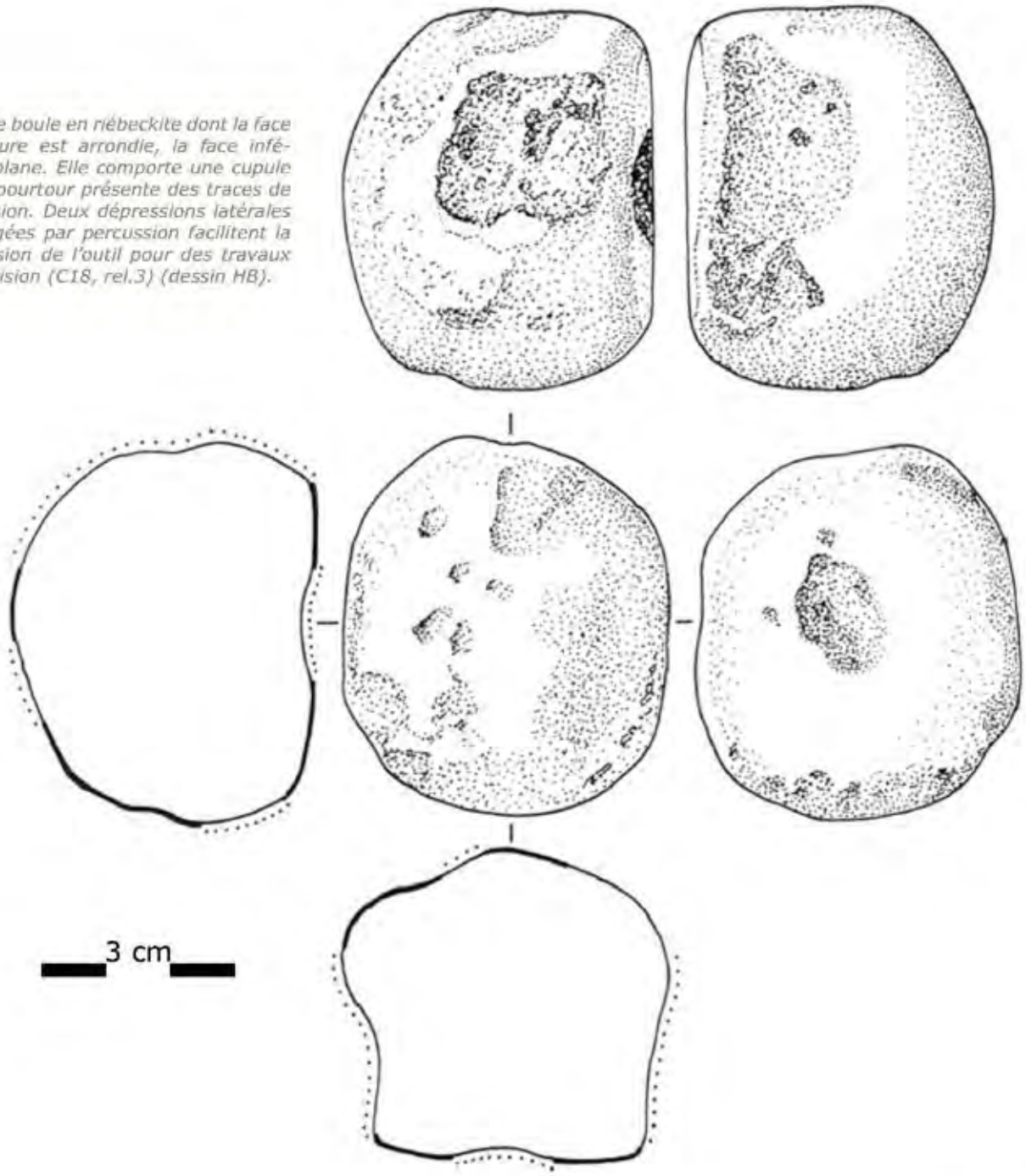
Saint-Véran, 1997. A gauche : construction d'un four de réduction de forme circulaire par J. Happ. En bas, à gauche : Saint-Véran, 1998. Four de réduction avec une seule tuyère (four n°1). En bas, à droite : vue de l'endroit où arrive le système de soufflerie après le démontage du four de réduction. L'embout des tuyères est plus ou moins recouvert d'une couche de scorie (© HB).





Saint-Véran 1997. Plan et profil du four circulaire utilisé pour les essais de réduction (d'après Happ et al., 1997b, DAO HB).

2. Petite boule en riébeckite dont la face supérieure est arrondie, la face inférieure plane. Elle comporte une cupule et son pourtour présente des traces de percussion. Deux dépressions latérales aménagées par percussion facilitent la préhension de l'outil pour des travaux de précision (C18, rel.3) (dessin HB).



Cabane des Clausis, céramiques reconstituées (HB ; © EM).

d'évaluer le diamètre à l'ouverture[1] des vases qui est compris entre 50 et 240 mm. On compte parmi eux 16 vases de différents diamètres : quatre vases (Ø 90 mm), cinq vases (Ø 100 à 110 mm), six vases (Ø 120 mm) et un vase (Ø 160 mm).

Les fonds plats dominent avec un diamètre compris entre 90 et 115 mm. Ils présentent parfois un épaississement annulaire. Les carènes sont rares.

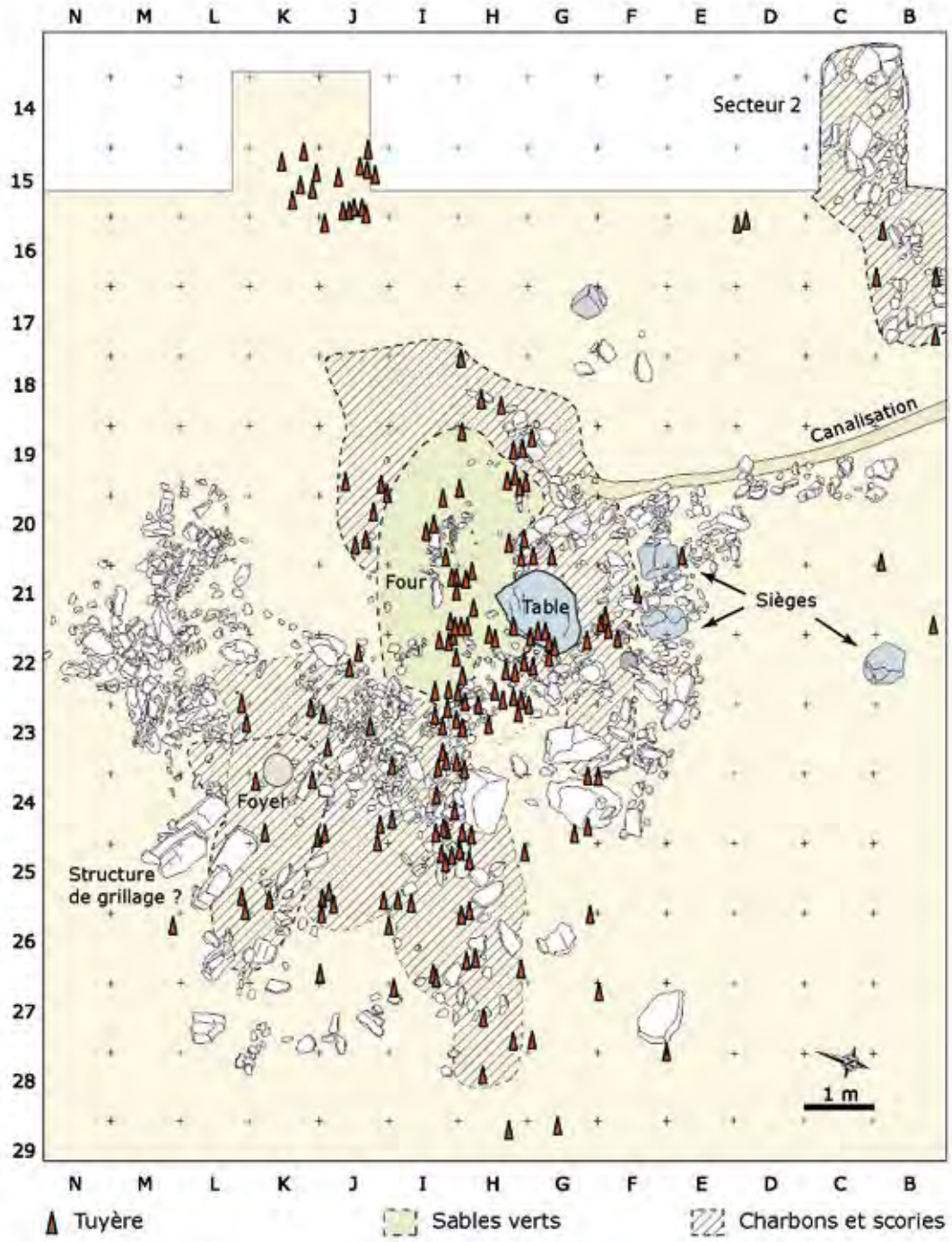
Les préhensions sont bien représentées. Elles comprennent surtout des anses en ruban dont la largeur varie entre 12 et 35 mm (avec une moyenne autour de 25 mm), mais aussi des languettes horizontales, des mamelons dont un est percé, une anse en boudin. Les cordons rapportés sont nombreux et pour la plupart ornés.

Les décors les plus courants sont des successions d'empreintes linéaires exécutées le plus souvent avec un doigt ayant parfois laissé l'empreinte de l'ongle et plus rarement avec une tige de végétal[2]. Les impressions sont lâches ou serrées, plus ou moins profondes, parfois marquées par un léger bourrelet. Elles sont situées sur le bord des vases, sur un cordon horizontal placé près du bord ou sur la panse du vase, voire sur une oreille horizontale.

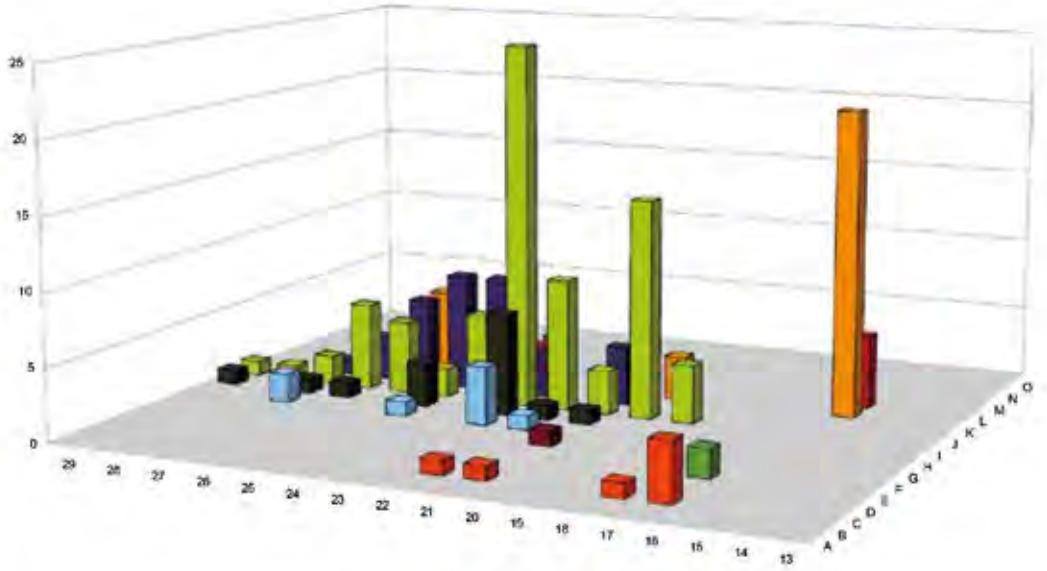
Les récipients de la Cabane des Clausis sont de petites dimensions. Les modèles les plus courants sont de petits pichets à fond plat avec anse en ruban, et des vases à panse galbée de type gobelet dont un, avec bord arrondi et légèrement éversé, mesure 120 mm de diamètre. On trouve encore un petit bol (Ø 50 mm, profondeur 34 mm, épaisseur 6 mm), un petit vase globulaire à col rétréci (Ø 80 mm) et un fragment de jatte à bord rentrant avec une anse en ruban au dessus de la carène.

1 *diamètre à l'ouverture = Ø*

2 *Un tesson a été décrit par A. Gattiglia comme portant un traitement à "besenstrich", technique laissant des empreintes de façonnage à la surface des vases, très employée dans certaines cultures du Néolithique jusqu'au Bronze ancien (Pays-Bas, Roumanie, etc.). Mais, comme le reconnaît l'auteur, il s'agit plutôt d'une convergence technique que d'une véritable caractéristique culturelle.*

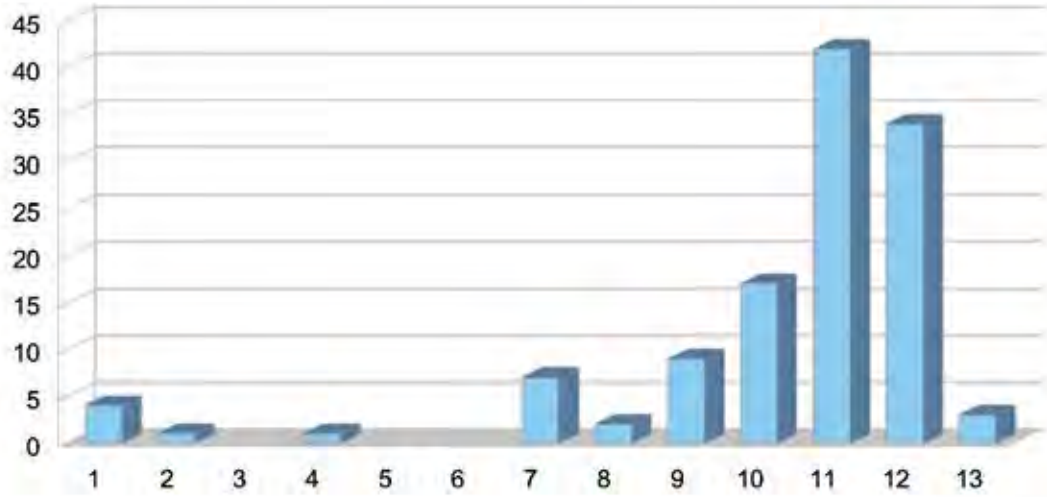


Cabane des Clausis, secteurs 3 et 4. Plan de répartition des tuyères.



Cabane des Clausis, secteurs 3 et 4. Tuyères. Nombre de tuyères par carrés.

Cabane des Clausis, secteurs 3 et 4. Tuyères. Nombre de tuyères par relevés.

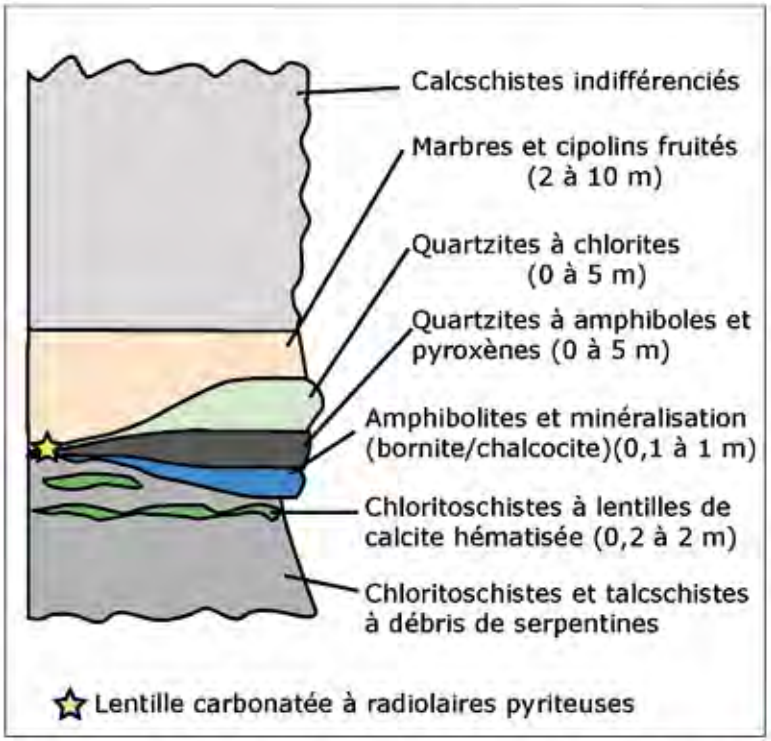


ophiolites du fond océanique. La minéralisation cuprifère est d'origine syntectonique. Formée au Crétacé à la suite d'une phase de déformation à haute pression/basse température, elle a été remobilisée lors d'une seconde phase de déformation entraînant un phénomène de serrage, des fentes de tensions et des failles.

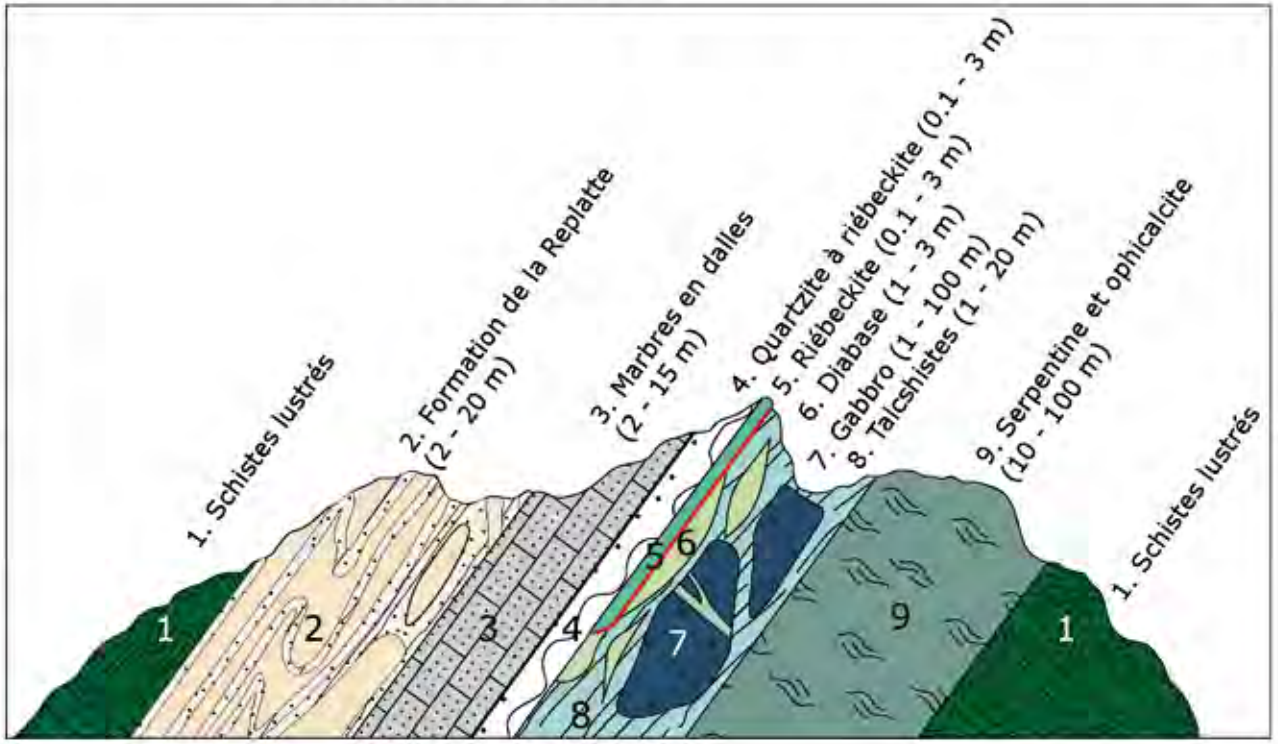
Le minerai est intercalé entre deux niveaux : au mur[1] un substratum océanique (ophiolites broyées) à serpentinites et talcschistes/chloritoschistes et au toit[2] une couverture sédimentaire de quartzites et de marbres parsemés de petites taches rouges (hématite) dits *fruités*, vestiges de l'océan jurassique de la Téthys. Selon les endroits, les quartzites sont associés à une gangue d'amphiboles bleues de type riébeckite et à des minéraux tels que le quartz, la calcite, l'albite, l'aégyrine, la chlorite, l'hématite, l'ilménite et des sulfures.

De nos jours, la géométrie du corps minéralisé affecte un pendage d'environ 50° ouest sur 250 m de hauteur. Le pli affleure en surface au niveau des TB0 et 1 et s'amortit en profondeur aux TB2bis et TB3.

Le synclinal tronqué où se trouve la minéralisation forme deux branches subverticales d'orientation générale nord-sud et espacées de 10 à 30 m, dont l'une se prolonge sur environ 1 km pour réapparaître dans le vallon du Longet plus au nord.



Travers-banc 3. Emplacement de la minéralisation entre les ophiolites et les sédiments (quartzites / marbres et cipolins / calcschistes) (d'après J. Tuduri, 2001, DAO HB).



Coupe de l'affleurement minéralisé (DAO EM).

Seule la branche occidentale était à l'origine visible en surface et son exploitation (Tranchée des Anciens) a montré qu'elle s'étendait sur 90 m de long et 50 m de profondeur. Elle est en continuité avec le travers-banc 2. La branche orientale part du travers-banc 0 mais n'a été reconnue qu'en souterrain, au niveau du travers-banc 2, endroit où elle croise la branche occidentale. Son exploitation moderne a montré qu'elle s'étendait sur 50 m de

1 Mur : éponte située au-dessous du minerai ou (en géologie) de formation plus ancienne que le minerai.
2 Toit : éponte située au-dessus du minerai ou (en géologie) de formation plus récente que le minerai.

Carte de répartition des poignards en cuivre de type Remedello (d'après Rossi et Gattiglia, DAO HB).

Carte de répartition des gravures et des stèles et localisation du site des Oullas à Saint-Paul-sur-Ubaye (d'après Rossi et Gattiglia, DAO HB).

Cette influence italienne a pénétré en Provence par la vallée de la Durance. On la retrouve à Orgon dans le mobilier du dolmen des Gavots sous la forme d'une lame de poignard en cuivre de type Remedello, le seul connu à ce jour dans le sud-est de la France (Courtin, Sauzade et Bourhis,1975). Plus au nord, elle a atteint la vallée de la Drôme par l'intermédiaire de la vallée du Buëch, où des gravures figurant au moins quatre de ces poignards ont été découvertes au hameau des Auberts, sur la commune de Chastel-Arnaud (Morin et Picavet, 2005).

Vu l'énorme potentiel du gîte des Clausis, tant au point de vu de la quantité du minerai que sa qualité, la poursuite de son exploitation minière est tout à fait envisageable au-delà du Bronze ancien.

Certes, des vestiges archéologiques de ces périodes ont été signalés sur le site en particulier dans l'abri de Pinilière sous la forme de quelques tessons attribués à l'Age du fer et au premier siècle ap. J.-C. De même, sur l'atelier de la Cabane des Clausis, une datation ^{14}C issue du secteur n°1 (proche de deux structures en pierres) a donné -128 av. J.-C./+87 ap. J.-C. (Tucson/AA.19717). Enfin, une pièce de monnaie en bronze datée de 138-161 ap. J.-C. a été découverte en surface dans la partie haute de la mine.

Dolmen des Gavots à Orgon (Bouches-du-Rhône). Lame de poignard en cuivre de type Remedello (© EM).

Cependant, si ces vestiges rares et diffus signalent la fréquentation du site ils ne permettent pas confirmer l'hypothèse d'une exploitation massive du gîte à ces époques là (*cf. infra*).

5. La question du tonnage de minerai extrait par les Préhistoriques

Pour ce qui est de la production de cuivre, il reste difficile de faire une estimation exacte du volume de minerai extrait par les hommes préhistoriques ainsi que du tonnage de cuivre métal obtenu. Ce qu'il y a de sûr c'est qu'il a été très important pour l'époque.

Selon l'étude récente des géologues du BRGM, la production préhistorique a été estimée à quelques centaines de tonnes de minerai soit environ 200 t de cuivre (Féraud, Blès et Vigier, 1997). Pour d'autres, elle serait d'environ 1000 t de cuivre métal (Ancel, 1996, 1997). Pour d'autres encore,

Saint-Véran. Haches à talon de type normand (nos 7977 et 7978). Fin du Bronze moyen (MAN Saint-Germain-en-Laye, inédit, © HB).

valente. Leur longueur varie de 150 à 153 mm, la largeur du tranchant oscille entre 40 et 48 mm et leur poids varie de 318,43 g à 367,29 g environ. La quatrième (n°7979) est d'un poids supérieur (451,11 g), plus longue (163 mm) et son tranchant est plus évasé (66 mm).

Ces quatre haches montrent à la base de la butée une cavité plus ou moins marquée résultant d'un manque de coulée, caractéristique du type normand (Briard et Verron, 1976 ; Gabillot, 2003). Ces pièces assez corrodées ont vraisemblablement dû constituer un dépôt ou en faire partie.

Un autre exemplaire de hache normande a été trouvée sur la commune de Châteauroux-sur-Durance (Hautes-Alpes). Sans anneau, il possède un léger renflement médian sous la butée et mesure 160 mm de long. Ce modèle est plus fréquent en Auvergne (Chardenoux, 1981).

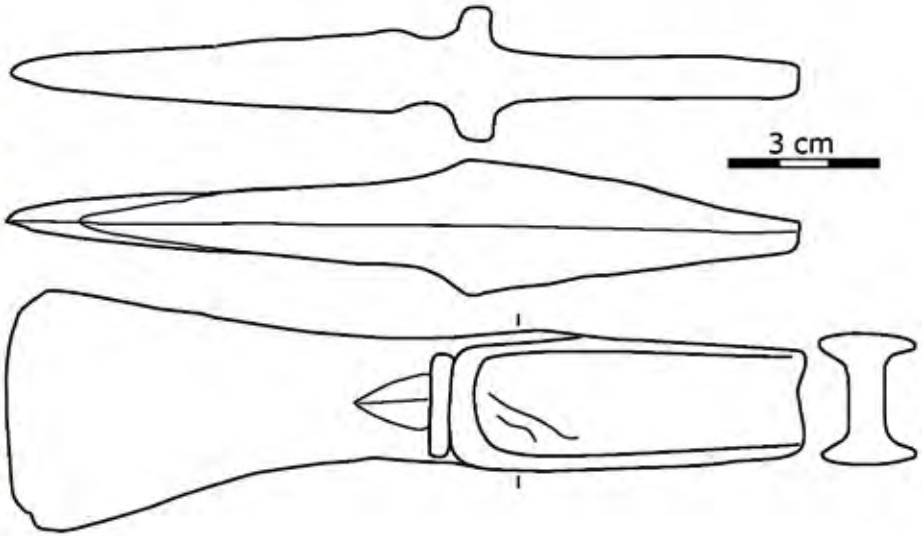
Hache	L/totale	L/talon	l/tranchant	ép/max.	ép/talon	l/anneau	diam/orif.	Poids/g
N°7977	150	55	48	30	8	20	5	318.43
N°7978	153	60	43	27	8	24	3	339.74
N°7979	163	65	66	30	10	27	10	451.11
N°7980	153	55	40	29	7	27	5	367.29

Saint-Véran. Haches à talon, dimensions (MAN Saint-Germain-en-Laye).
Abréviations : longueur (L), largeur (l), épaisseur (ép), diamètre (diam), orifice (orif.), maximum (max.), gramme (g) – Mesures en mm.

Les haches à talon sont très rares dans le sud-est de la France. Sous l'appellation de haches atlantiques, elles apparaissent à la fin du Bronze moyen et au début du Bronze final I et sont pour la plupart originaires de l'ouest et du nord-ouest de la France. Plusieurs types de haches ont été distingués : le type breton spécifique à la Bretagne, le type normand concentré dans la moyenne et basse vallée de la Seine, le type du Centre Ouest de la France, le type anglais (Verney, 1988). Elles constituent souvent des dépôts importants, tel celui de Jossais à Saffré (Loire-Atlantique) qui comportait 36 haches à tranchant étroit avec ou sans nervure médiane, ou celui de Carimel à Languenan (Côtes-d'Armor) constitué de haches avec nervure médiane et anneau latéral. Quelques exemplaires ont été découverts en Gironde ou en Isère à Vernaison (Chardenoux, 1981).

Les analyses spectrographiques réalisées sur d'importantes séries de haches à talon ont mis en évidence la composition spécifique des exemplaires localisés dans l'ouest de la France, en particulier en Bretagne. Ce groupe original possède généralement une forte teneur en étain (de l'ordre de 13 à 15 %), une très faible teneur en plomb (0,2 à 0,01 %) et quelques impuretés de type arsenic, nickel, argent ou bismuth (Bourhis *et al.*, 1964-1965 ; Giot *et al.*, 1970). En Bourgogne et en Franche Comté, les analyses typologiques et chimiques ont démontré que les haches atlantiques (de types breton, normand, anglais, à écusson), en particulier ceux du dépôt de Sermizelles, ont été fabriqués sur place à partir de modèles importés depuis la vallée de la Seine (Gabillot *et al.*, 2009).

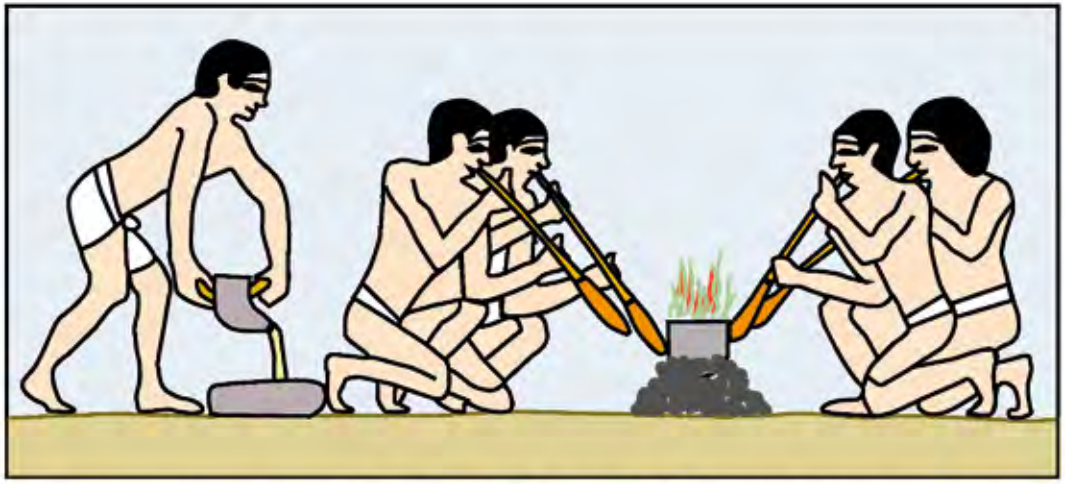
Châteauroux-sur-Durance. Hache à talon de type normand (musée de Gap, © EM, DAO HB).



6.3. Le site d'Ayn Soukhna en Egypte. Paléométallurgie expérimentale

Le site métallurgique se trouve dans la région du Caire, sur la côte occidentale de la mer Rouge, au débouché du canal de Suez. Il a fonctionné dès l'Ancien Empire (2700-2200 BC) durant les IVe et Ve dynasties et au Moyen Empire (2000 et 1800 BC). Les fouilles ont mis au jour plusieurs ateliers de métallurgistes qui traitaient le minerai de cuivre en provenance du Sinaï pour l'expédier ensuite dans la vallée du Nil (fouilles IFAO, Abd-el-Razig *et al.*, 2004, 2007).

Une série de galeries parallèles creusées dans la montagne servaient d'entrepôts pour les embarcations en bois utilisées pour traverser la Mer Rouge lors des expéditions minières dans le massif du Sinaï situé sur la rive opposée.



Fresque illustrant la fonte du métal à l'aide de cannes munies d'embouts en céramique. Tombe égyptienne de Wapemnofret (Gizeh), IIe-IIIe millénaire av. J.-C. (d'après Hassan, Excavations at Giza, II, fig.291 in Garenne-Marot, 1985 - DAO HB).

Expérimentation de fours et de types de soufflerie différents. A droite, fosse entourée de pierres et utilisation de cannes avec embouts en argile ; à gauche, four plus élaboré (fosse délimitée par un muret construit) et emploi de soufflets en peau (© HB).

Détail de la buse en céramique qui protège l'embout de la canne (© HB).

Cuisson des buses en argile près du foyer (© HB).

Le minerai de cuivre (malachite et hématite) était réduit dans des bas fourneaux construits avec des blocs de grès. Ces fours avaient un diamètre de 23 cm et une hauteur totale de 1,10 m. Ils possédaient une ouverture sur le devant d'environ 45 cm de haut et une ouverture plus réduite sur le dessus pour enfourner le minerai et le charbon de bois. Les fouilles ont permis de constater que l'intérieur du four était recouvert d'un enduit argileux réfractaire de 2 à 5 cm d'épaisseur et que la paroi du fond était scoriacée sur 20 cm de hauteur.

Le produit obtenu à la réduction était ensuite broyé sur des mortiers avec des outils en pierre afin de récupérer les billes de cuivre piégées à l'intérieur de la scorie.

Le cuivre était dans un second temps fondu dans un petit four à l'intérieur d'un creuset comme on peut le voir sur les représentations de l'époque (Garenne-Marot, 1985).

Des expérimentations conduites sur le site en janvier 2006 (H. Barge, A. Ploquin et P. Fluzin) ont permis de comprendre les différentes étapes de la chaîne opératoire depuis la réduction du minerai de cuivre jusqu'à l'obtention du cuivre métal.

(surtout le long de la vallée Tawe) ont prospéré. Les établissements Vivian furent fondés en 1808. En 1824, les fabricants de cuivre britanniques se groupèrent par la fusion des deux grandes entreprises de fonderie de cuivre à Swansea, celles de MM. Vivian and Sons, et MM. Williams Foster and Company et Pascoe Grenfell and Sons Limited. En 1927, le travail du cuivre a été pris en charge par Copper Works Morfa puis repris par Yorkshire Imperial Metals L[td], une société commune de métaux Yorkshire et Imperial Chemical Industries Limited, jusqu'en 1957. Au cours du XX[e] siècle, les usines ont aussi traité l'arsenic, le zinc et l'étain et le fer blanc.

L'usine de MM. Vivian est la plus célèbre et le plus importante des Iles Britanniques. En 1862, elle emploie plus de 800 ouvriers et compte jusqu'à 80 fours à réverbère sans cesse en activité. On y pratique le grillage et la fusion du minerai, des mattes et des scories, et on procède à l'affinage au raffinage et au réchauffage du métal.

Chaque four a sa cheminée, une colonne pyramidale qui surmonte les toits de l'usine. Quand tous les fours sont allumés, ces colonnes dégagent dans l'air une épaisse fumée, tantôt noire, tantôt blanchâtre, qui obscurcit l'atmosphère ; souvent la flamme elle-même sort par l'orifice des cheminée. Comme toutes les usines sont à peu près concentrées au même point, dans un vallon stérile qui longe un canal navigable, rien de plus saisissant à voir

Swansea : usine à cuivre de M. Vivian (gravure Durand-Brager, 1862).

Vue générale des usines de cuivre de Swansea (gravure Durand-Brager, 1862).

Vue de l'usine Vivian depuis le canal (gravure Durand-Brager, 1862).

4.8. Année 1927

4.8.1 Histoire de la concession

En 1925-26, Maurice Vendel marié à Aurélie Cauquil, débute à la mine comme ingénieur chimiste (étude de lavabilité dans le bâtiment à côté du TB3). Il a débuté en Tunisie, puis a travaillé aux mines de charbon à Mailhac, ensuite au Vénézuela comme ingénieur chimiste (mine d'or *del Calveo)*.

4.8.2 Travaux miniers - Laverie

Visite du 14 décembre 1927 de l'ingénieur Raymond Maillet de Marseille accompagné de M. Niewenglowski (PV du 20 décembre).

Au fond les avancements sont peu développés, l'extraction faible. Ils se sont limités à la reconnaissance de la lentille et à l'exploitation de la partie située en amont du niveau 3 qui vient buter au bout de 8 m dans les vieux travaux. On prévoit l'ouverture d'un nouveau travers-banc au voisinage de la laverie pour connaître l'aval pendage du gîte.

Les matériaux ne pouvaient plus arriver à la mine en raison de l'épaisseur de la neige qui par endroits dépassait 2 m. Pour atteindre la mine il fallait utiliser successivement l'automobile, les traîneaux et les skis.

M. Dubreuil de Grenoble, ingénieur de Vocançon en mécanique et électricité, a monté les scellements, a acheté les machines.

Les efforts de l'exploitant se sont portés sur les aménagements au jour : installation d'un va-et-vient aérien entre les galeries et la laverie, le montage et le réglage de la laverie.

En 1927, sont achevées une centrale de 200 ch avec moteurs semi-diesel entraînant des dynamos et une ligne de transport de force de 10 000 volts amenant le courant de la centrale

Maurice Vendel et ses enfants Georges et Noëlle devant la laverie vers 1930 (© coll. privée).

Sortie d'un bloc de glace du TB3 par deux mineurs italiens (© coll. privée).

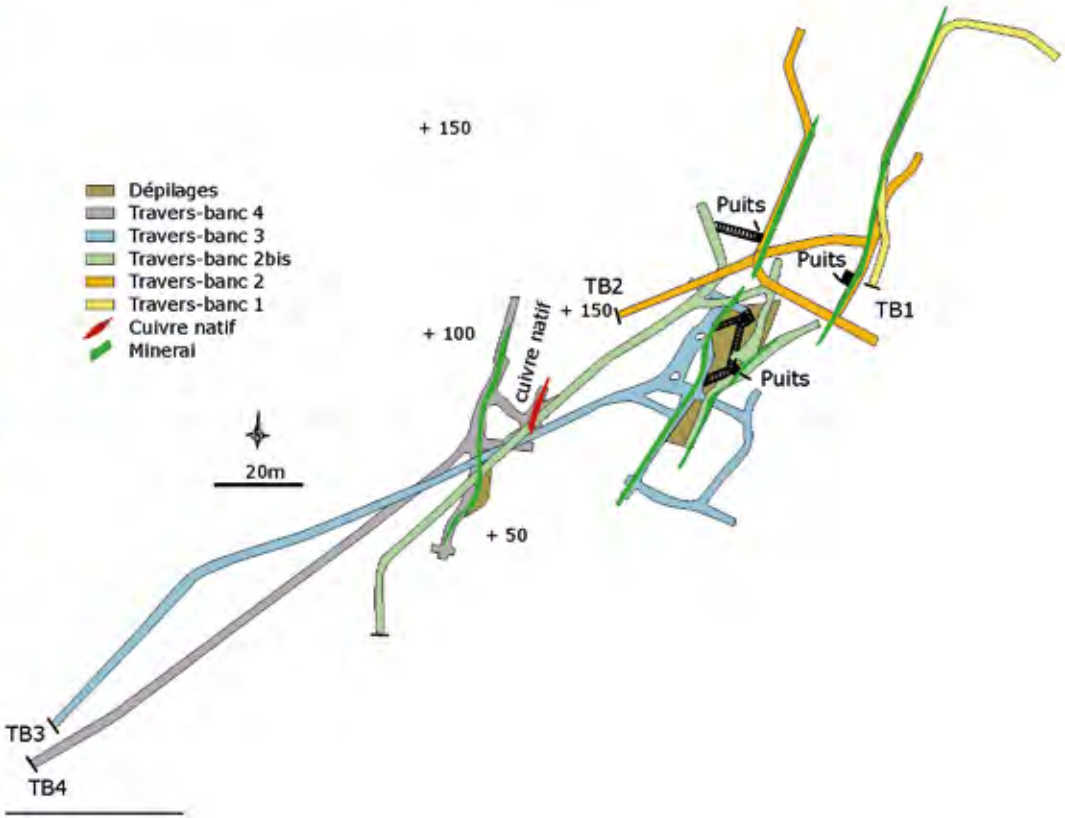
Mise en place de la tête du câble aérien au TB3 par le chef-mineur Jean Marrou (© coll. privée).

L'arrivée du câble transporteur au niveau 4 en 1927 (© coll. privée).

Au jour, la centrale comporte deux moteurs diesel, l'un de 110 ch de type Rabatel-Buffaud/Suisse, l'autre de 80 ch de type Bachtold/Niort (puissance à basse altitude et non puissance effective sur le carreau). Ils entraînent des dynamos 125 volts qui fournissent le courant à un compresseur électrique Worthington de 40 ch. Il existe aussi un ancien compresseur de 22 ch entraîné par un moteur à explosion.

Une ligne de transport de force 10 000 volts triphasés sera achevée prochainement. Un transformateur abaissera la tension à 220 volts et le courant alternatif sera employé dans les travaux souterrains. Au contraire la laverie restera équipée en continu et la centrale sera dès lors modifiée. Les diesel entraîneront des alternateurs et des dynamos, ils seront accouplés à des moteurs asynchrones alimentés par le secteur et exceptionnellement par les groupes diesel alternateurs.

A gauche : entrée actuelle du TB4 (© HB).



Plan des travaux miniers en 1929 (archives DRIRE, DAO HB).

4.10.3 Effectifs - Production

Dix hommes travaillent au fond. Ils sont payés à 4 F/ h en régie, mais lorsqu'ils sont sur un chantier d'abatage normal ils travaillent aux pièces.

Au jour, la mine emploie 15 hommes sans compter le personnel des entreprises qui travaillent aux constructions. Les salaires sont de 3,5 à 4 F/h. Le personnel est assuré contre les accidents par la société L'Abeille.

La laverie a été développée suivant le programme que j'avais indiqué dans mon PV du 20 décembre 1927. Elle a produit, depuis le début de la campagne de 1929, 120 t de minerai marchand à 40 % de cuivre rejetant des stériles à 0,4 % de cuivre. Ce tonnage a été expédié vers l'Amérique, aucune fonderie européenne ne l'ayant acheté. Il y aura trois autres expéditions identiques avant l'hiver.

Le cours du cuivre début septembre est de 17,775 F. Ainsi, 248 354,70 t de minerai à 42,725 % de cuivre représentent une valeur de 16 132,48 dollars (PV. J. De Maistre 10 septembre 1929).

Commande de matériel

1. Le carreau du TB4 et l'atelier de forgeage des fleurets en 1941-1942 ; 2. Roulage des wagonnets sur la voie à la sortie du TB4 en 1942 ; 3. Carreau du TB4 en 1942. Déchargement des wagonnets dans la pente à l'arrivée du câble transporteur. A droite, un wagonnet devant le départ de la trémie ; 4. Tête du câble aérien au niveau 4 en 1942 ; 5. Groupe de mineurs sur le carreau du TB4 près de la forge en 1942 (© coll. privée).

Le 6 août, il est débuté une galerie en direction vers le nord (cote +80) dans le *filon* en partant du montage entre les TB4 et 3. Un traçage remontant à 30° se dirige vers le sud. Le boisage est revu dans le TB3.

A l'automne 1941, Romain Isnel commence à travailler à la mine. Il raconte : *Mon père avait demandé au directeur de la mine, Maurice Vendel, de m'embaucher parce que j'avais besoin de gagner ma vie. L'été je travaillais à la ferme. J'étais manoeuvre, je poussais les wagonnets. Je travaillais en galerie et je sortais les volées quand on minait au télescopique. On allait avec la sape pour faire couler le remblai. Le minerai ne sortait pas l'hiver ; on le mettait dans des grilles et on ne sortait que le remblai que l'on jetait dans la pente. Cette décharge ne passait pas à la laverie. La grille était un gros entonnoir, haut, sous lequel on plaçait un wagonnet ; il servait à stocker le minerai. J'ai miné une fois au TB5 en remplacement de l'espagnol Caretta qui était absent. C'est Berge qui travaillait avec Caretta qui m'a demandé de le remplacer (Romain Isnel).*

A partir d'octobre, au niveau du TB4, un avancement est poursuivi en direction du sud, dans le *filon*. Ce dernier s'arrête brusquement par suite d'un rejet vers le mur. On oblique alors vers le mur à 90° et on fonce 18 m dans les calcaires lustrés contenant 5 à 6 m de veinules de quartz et un peu de chalcopyrite. Au niveau intermédiaire, à +80 m au-dessus du TB4, un montage dans l'extrémité nord du *filon* est commencé. Il devra rejoindre le TB3 et servira de couloir pour le minerai abattu.

En décembre, on effectue des recherches au TB4 dans la zone sud. La galerie atteint 30 m dans les schistes lustrés. L'abattage est poursuivi entre les TB3 et 4 avec une reprise des traçages dans les niveaux intermédiaires (vers le sud) pour permettre l'abattage du minerai au sud du montage.

Laverie

Le 5 avril 1941, un compte-rendu sur l'électrification du Queyras fait état de la mine de Saint-Véran : *Le manque de puissance électrique limite la production, qui pourrait atteindre 8 000 à 9 000 t*

I. Le Var

Dans le Var, une dizaine de gîtes présentent un réel intérêt. Ils sont localisés en dans la partie occidentale du massif des Maures.

Certains ont été exploités essentiellement pour le cuivre. Il s'agit d'imprégnations de carbonates et de sulfates de cuivre, sous forme de mouchetures disséminées, de veinules ou de strates, dans les conglomérats à la base du Trias, au contact du Permien (Le Pradet, Le Luc, Le Cannet).

D'autres ont surtout été exploités pour le zinc et le plomb, parfois pour l'antimoine. Ce sont des filons de quartz polymétalliques d'origine hydrothermale, d'orientation est-ouest, encaissés dans le socle cristallophyllien (quartzites du Loli et phyllades). La minéralisation principale est la blende associée à la galène et à l'antimoine et de façon plus sporadique au cuivre (chalcopyrite, cuivres gris-bournonite, malachite). Du nord au sud, se trouvent une zone à barytine (Peirol, Maraval), puis une zone à sidérite avec bournonite (La Rieille) et au sud une zone à blende dominante (Les Bormettes).

Il existe également de nombreux petits indices très faiblement minéralisés en cuivre qui n'ont fait l'objet d'aucuns travaux. La plupart sont peu accessibles ou bien ont disparu.

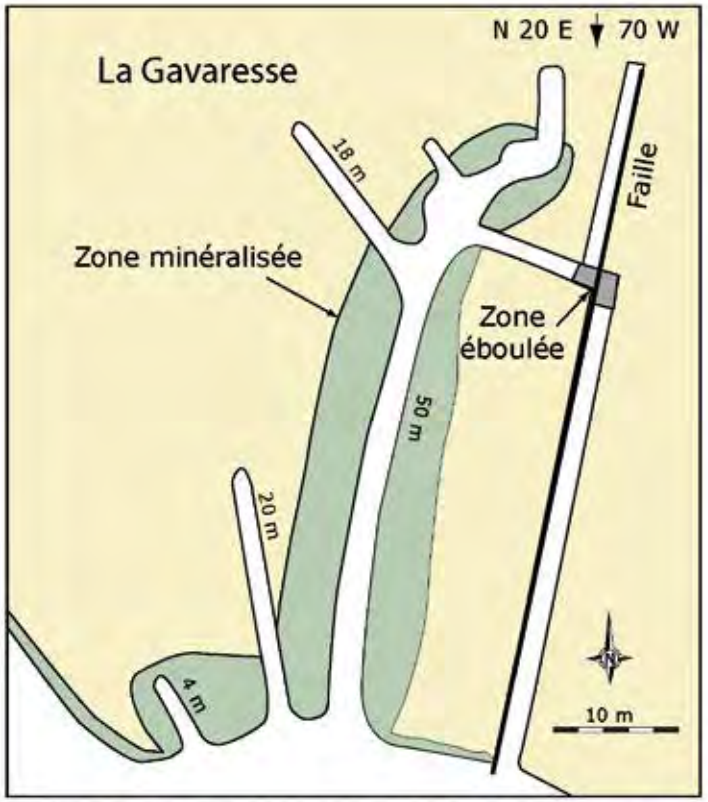
Les principales concessions minières du Var ayant fourni du cuivre : 1, Le Pradet - 2, Les Bormettes – 3, La Londe-les-Maures – 4, Collobrières – 5, Le Peirol (Archives Drire, DAO HB).

Var. Carte de répartition des mines et des principaux indices de cuivre.

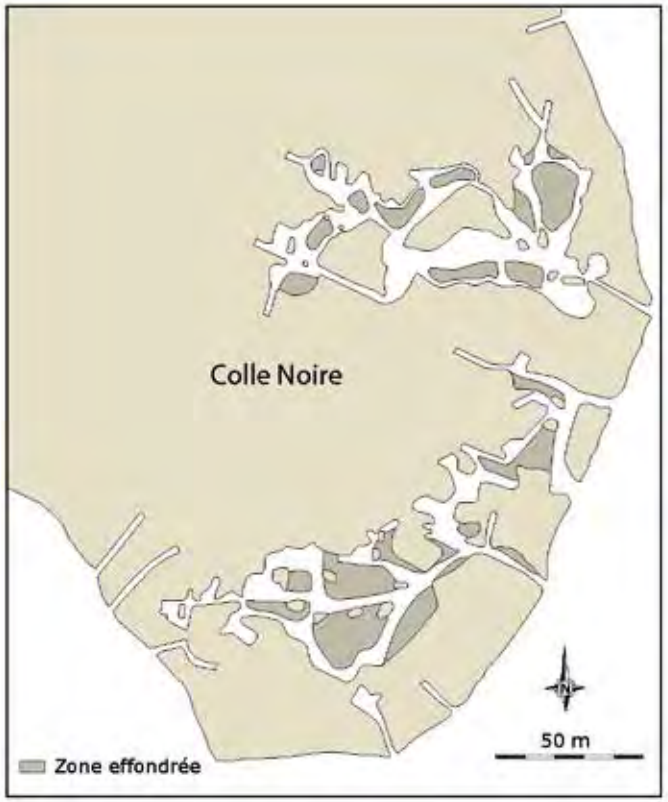
Les minerais les plus intéressants sont ceux de Cap Garonne (présence d'arsenic, plomb, antimoine, zinc) et de Château Rouge à La Londe-les-Maures. Les gîtes de Collobrières (Malaval, Le Peirol) et du Luc-en-Provence ne sont pas arseniés.

Ne sont présentés ici que les exploitations pour le cuivre. Les travaux pour la galène/blende ayant parfois traversé de petits filons cuivreux ne sont pas mentionnés, comme les filons des Bormettes (Le Trapan, Le Verger, Le Ravin, L'Embranchement) à La Londe-les-Maures ou de la Rieille (Camp Bourjas, Le Prignon, La Fe, Maucouar) à Collobrières.

Quelques références : Lacroix, 1893-1913 ; Girard, 1919 ; Mignon, 1961 ; Mari, 1979 ; Barge *et al.*, 1996 ; Barge, 2006a ; Lanza-Berthet, 2006 ; Archives, Drire.



Mine de Cap Garonne. Galeries du secteur (B) de la Gavaresse réalisées au début de l'exploitation entre 1864 et 1884 (Burnol, 1954 - DAO HB).

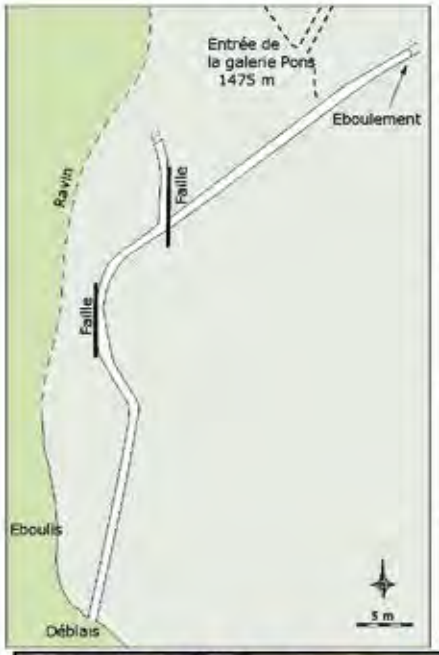


Mine de Cap Garonne. Plan de l'exploitation au 31 décembre 1877 sur la Colle Noire (d'après Guillemin, 1951 - DAO HB).

Mine de Cap Garonne. Plan de l'exploitation en 1960 (d'après Guillemin, 1951 - DAO HB).

Mine de Cap Garonne : percuteurs en pierre trouvés dans le secteur de la mine attestant d'une exploitation ancienne (© EM).

Mine de Cap Garonne : ancienne usine métallurgique près de la mine et wagonnets (© EM).



La Bolline, Alpes-Maritimes. Mine de Cluchelier : plan de la galerie cote 1440 (d'après Féraud, Picot et Vernet, 1977 - DAO HB).

La Bolline, Alpes-Maritimes. Mine de Cluchelier. Etat des lieux de la galerie Pons visitée en août 2003 : 1, vue de l'entrée et du fond de la galerie - 2, front de taille - 3, boyau : éboulement et traces de pic sur la roche - 4, début de la galerie – 5, suite de la galerie - 6, anciens travaux murés - 7, fin de la galerie - 8, cloche et puits - 9, galerie éboulée (relevé d'après Féraud et al., 1977 modifié - DAO HB, © EM).

2. niveau 1375 m, une galerie de 1 m 70 de haut sur 1 m 50 de large sur une trentaine de mètres de long donnant accès à un petit réseau.

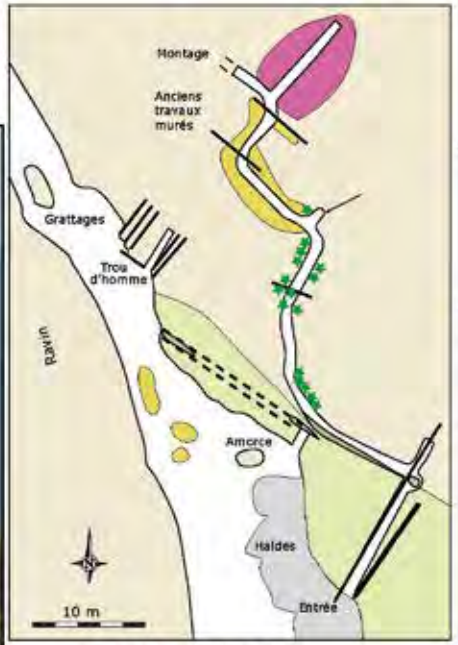
3. niveau 1440 m, un travers-banc de 65 m et une amorce de galerie.

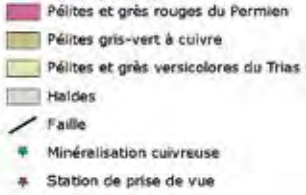
4. niveau 1475 m, galerie Pons longue de 124 m avec recoupes et galerie de 2 m de long.

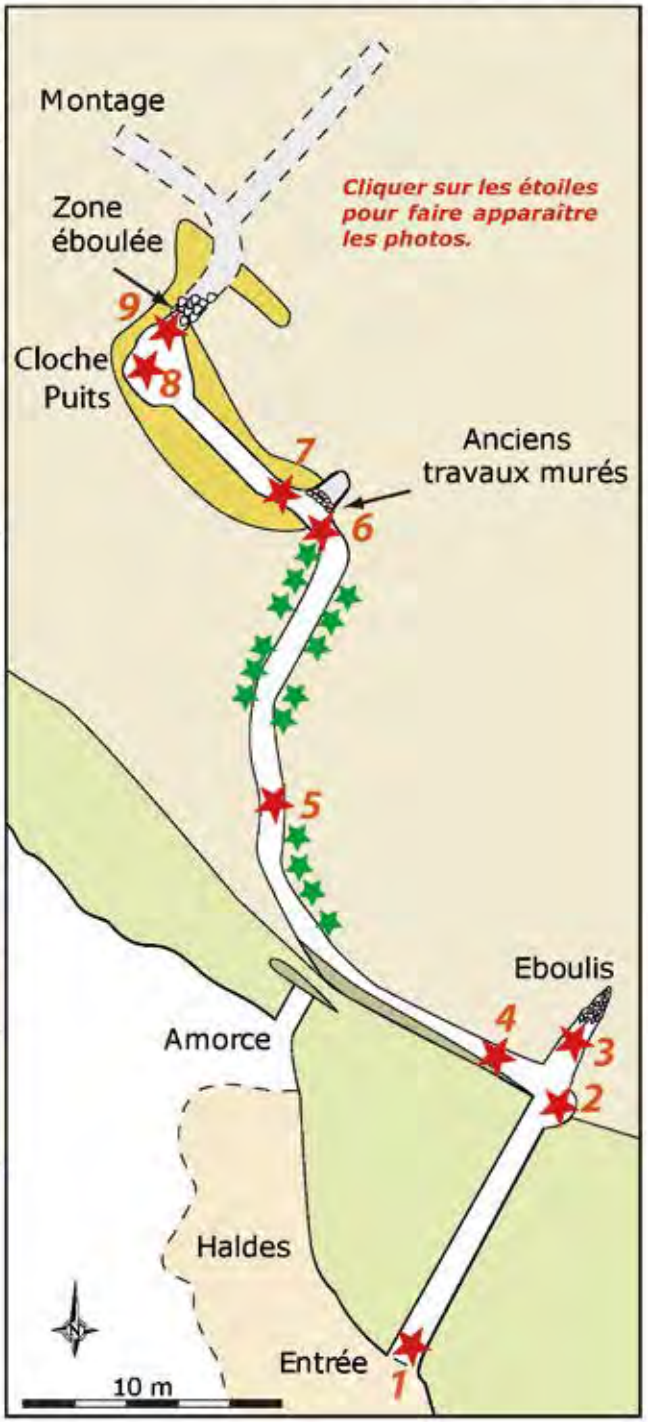
5. niveau 1490 m, grattages et trou d'homme de 4 m de long.

Tous ces travaux sont aujourd'hui inaccessibles suite à leur mise en sécurité.

La Bolline, Alpes-Maritimes. Mine de Cluchelier : plan de la galerie Pons à la cote 1475 (d'après Féraud, Picot et Vernet, 1977 - DAO HB).







3. Le gîte de cuivre

Le gîte de Chessy/Sain-Bel est un gisement d'origine hydrothermale qui s'est formé il y a 360 millions d'années. Il fait partie de la *série de la Brévenne*, longue de 40 km sur 20 km de large, dirigée nord-est/sud-ouest et de pendage vertical. Cette formation volcano-sédimentaire sous-marine, appartenant à l'étage Dévonien, est constituée de roches cristallines diverses. La série la plus importante est celle des schistes à chlorites et séricites dans lesquels s'intercalent des roches éruptives (serpentinites, gneiss). Les minéralisations se sont formées à l'endroit de failles et se présentent sous la forme d'amas sulfurés, l'un cuivreux à Chessy (pyrites et chalcopyrites), l'autre ferreux à Sain-Bel (Raby, 1833 ; Misseri, 1989 ; Lardeau, 1989).

La tectonique particulière du site de Chessy, favorisant les contacts entre les masses minéralisées et les roches sédimentaires, est à l'origine de la formation de minéraux supergènes originaux.

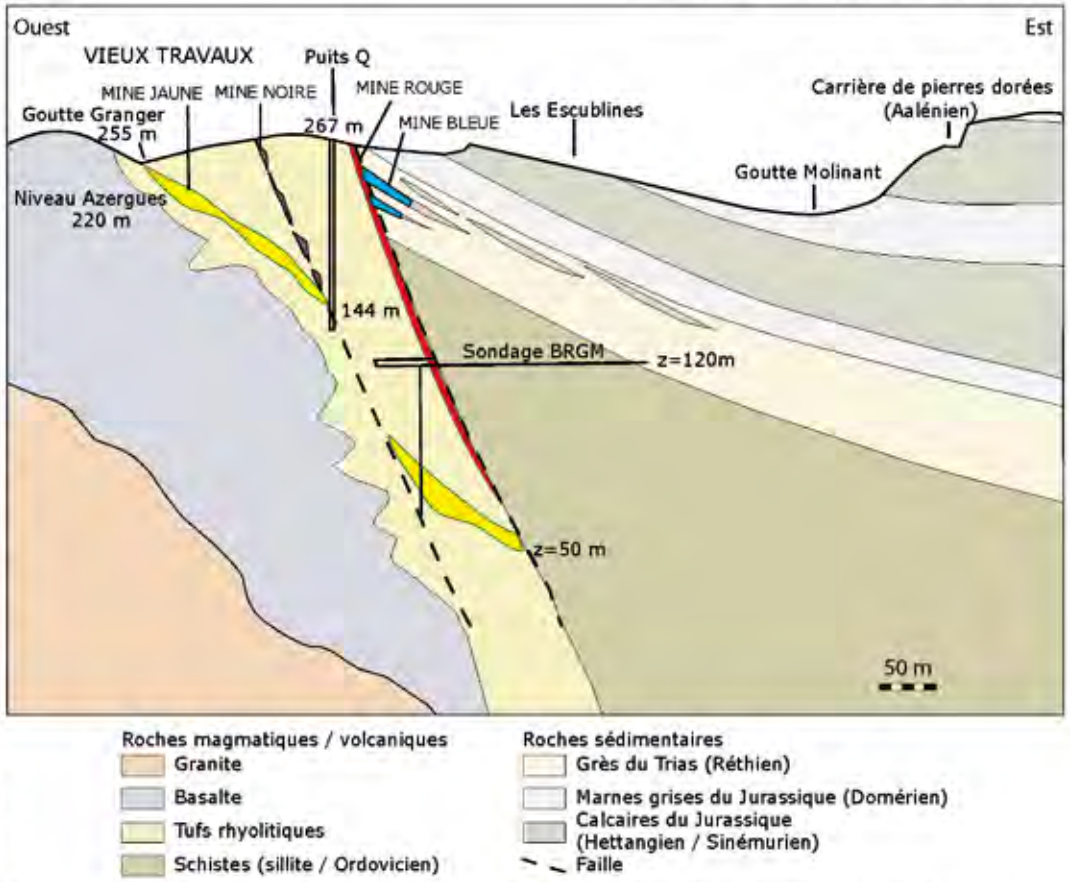
Les zones superficielles des masses pyriteuses au contact des roches sédimentaires ont été oxydées sous l'action de l'air et des eaux d'infiltration, entraînant une transformation des minerais primitifs en oxydes (cuprite, mélaconite) et en carbonates (azurite et malachite). Plusieurs secteurs caractérisés par l'altération différentielle des sulfures de cuivre ont été distingués (Chermette, 1977).

1. Au sud du filon, la **Mine jaune** est constituée d'un amas pyriteux originel formé de pyrites à 6 % de cuivre et de chalcopyrite à 15-20 % de cuivre. Cet amas sulfuré et oxydé mesurait 15 m de large sur 120 m de long et 200 m de profondeur.

2. Près d'une faille, la **Mine noire** est une zone de décomposition contenant des rognons formés de cuprite avec pyrites de cuivre et de fer à teneur de 6 à 15 % de cuivre et du cuivre natif.

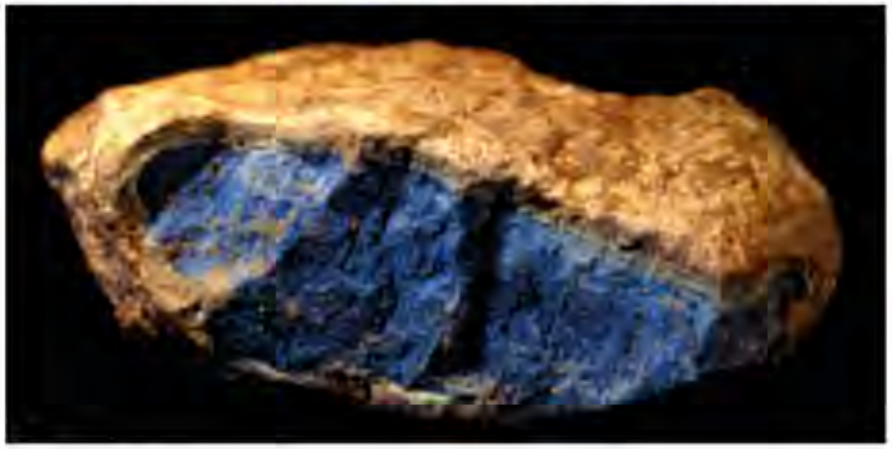
3. Au contact d'une faille, la **Mine rouge** forme une couche verticale d'argile rouge de 2 à 4 m d'épaisseur constituée de cristaux de cuprite et d'un peu de cuivre natif.

4. Au nord du filon, la **Mine bleue** est une grande zone de minerai d'altération contenant des carbonates de cuivre sous forme de veinules, de rognons et de géodes. L'amas mesurait 40 m de large, 20 m d'épaisseur et 400 m de long (De Launay, 1913). La richesse minéralogique de la Mine bleue a fait la célébrité internationale du gîte. On y rencontre des cristaux d'azurite dite *chessylite*, accompagnés de malachite fibreuse, de cuprite, de smithsonite. La chessylite est un hydroxycarbonate de cuivre ($Cu_3 (OH)_2 (CO_3)^2$).



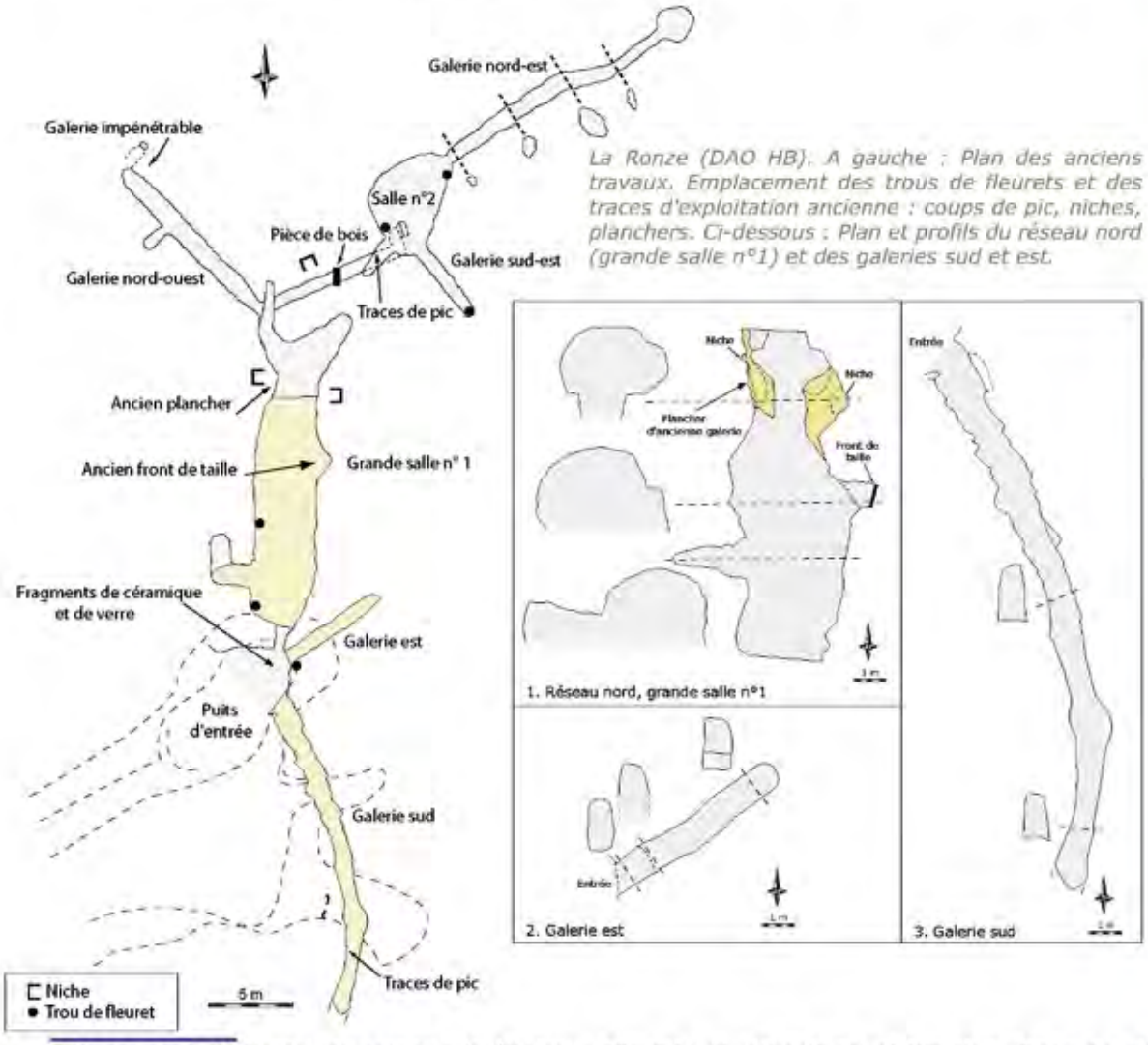
Coupe géologique schématique du gîte de cuivre de Chessy-les-Mines (archives DRIRE, Lyon. - DAO HB).

Nodule de chessylite provenant des remblais de la Mine bleue (© EM/HB).

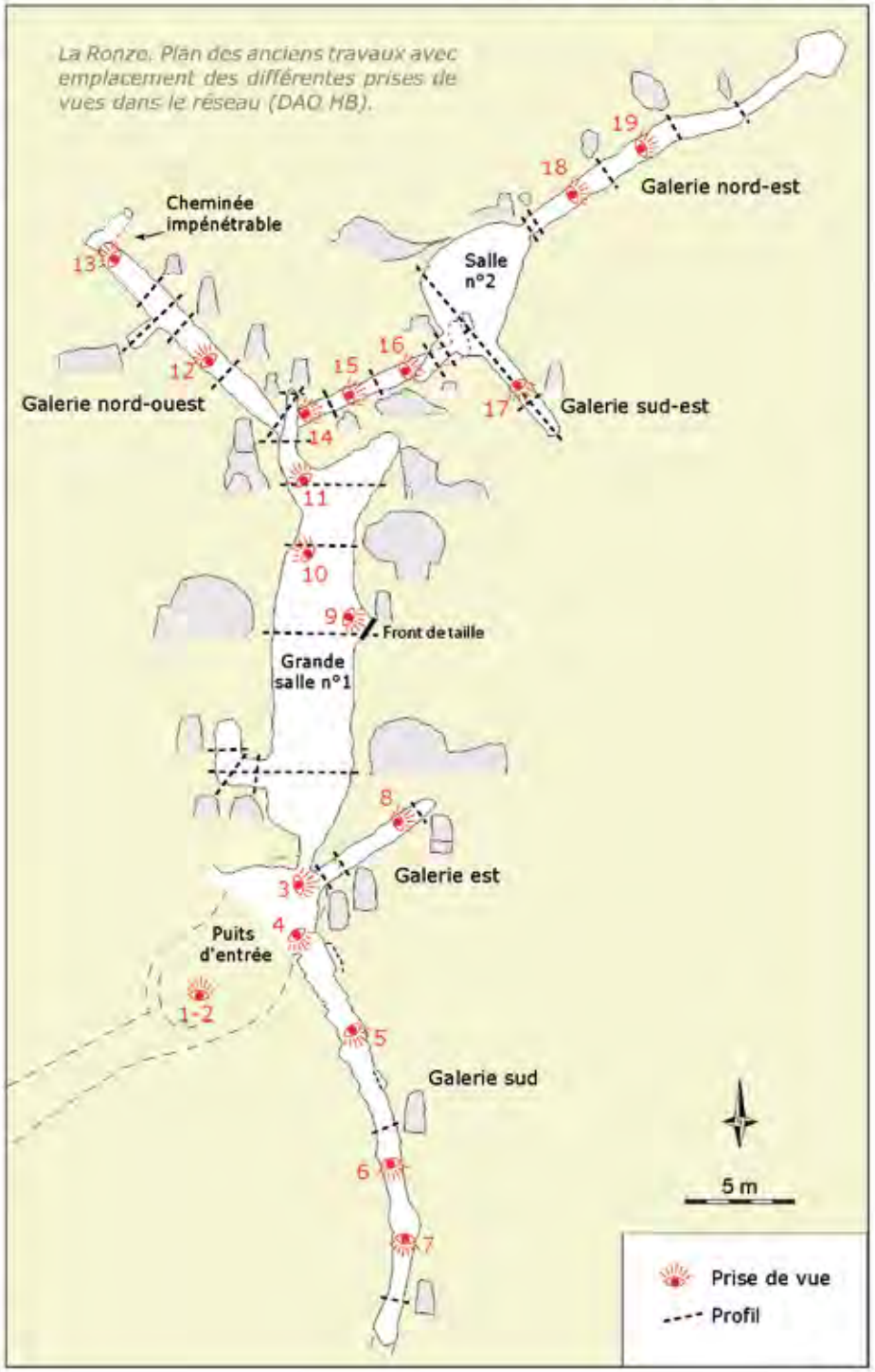


Aucune étude archéologique n'avait été menée sur ce site antérieurement. Seule existait une topographie des galeries réalisée en 1996 par les spéléologues de Villeurbanne et la fréquentation régulière du site ne faisait aucun doute vu la présence de bouteilles vides et de piles usagées.

Il fut donc procédé à une mise à jour de la topographie existante (J. Camaret, SC Villeurbanne, 1996) complétée par des observations sur les techniques de creusement[1] afin de préciser la chronologie de l'exploitation et son intérêt patrimonial.



La Ronze (DAO HB). A gauche : Plan des anciens travaux. Emplacement des trous de fleurets et des traces d'exploitation ancienne : coups de pic, niches, planchers. Ci-dessous : Plan et profils du réseau nord (grande salle n°1) et des galeries sud et est.



1 Je remercie M. Marcel Meyssonnier (spéléologue FRAPNA), M. Alain Canal et M^me^ Marie-Pierre Feuillet (SRA, Rhône-Alpes) pour leur aide lors du relevé topographique du site.

- la récupération du locotracteur gisant, à moitié enterré, dans le torrent de Pinilière a nécessité un important travail de nettoyage à l'endroit du petit canal. A cette occasion, la conduite métallique amenant l'eau à la laverie a été mise au jour mais n'a pas pu être remise en place. L'enlèvement du locotracteur a demandé plus de deux heures d'efforts : d'abord dégagé à la pioche, il a ensuite été tracté et descendu à l'aide d'un câble jusqu'à la route.

Saint-Véran. Mise en sécurité de la forge sur le carreau du TB4. Montée des bouteilles à oxygène et découpe au chalumeau des ferrailles dangereuses dépassant des murs ou des socles de machines (© HB/EM).

Saint-Véran. Dégagement du locotracteur dans le ravin de Pinilière au niveau du TB4 (© HB/EM).

Saint-Véran. Mise en sécurité de la partie supérieure de la trémie : 1 à 3, arasement du mur – 4, enlèvement d'un aiguillage (© HB/EM).

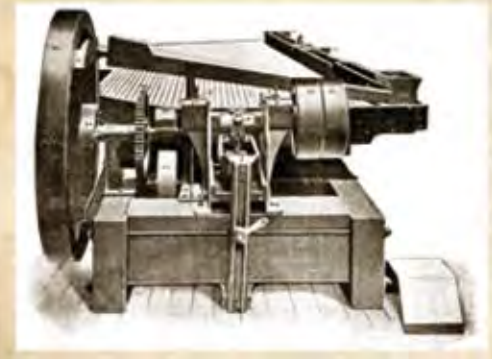
Locotracteur Decauville de Saint-Véran restauré dans le cadre du projet Interreg, actuellement exposé devant la gare de L'Argentière-la-Bessée (© EM).

Carnet de commande de la société MOREL pour la mine de Saint-Véran (1928)

Le 18 janvier 1928, Morel demande à la C^ie^ Ingersoll-Rand à Paris le prix d'une table à secousses prévue pour le tassage des fûts de carbure, chaux, ciment, etc. Il est proposé une table avec graisseur à placer sur la canalisation d'arrivée d'air et robinet de mise en marche instantané (plan n°11 832) au prix de 15 000 F.

Le 21 janvier 1928, Morel prend acte de la commande du 17 janvier concernant un vibroclasseur de 4 m de long, avec une largeur de toile de 770 à 800 mm, avec perforations de 4 et 10 mm au prix de 7 250 F. Morel dit être en pourparlers très avancés et en option avec une mine pour la rétrocession de cribles. Il propose 3 modèles de tables à secousses de genre *Wilfrey* (tablier de 1800 mm / 1550 m x 4800 mm), de genre *Ferraris* (tablier de 1300 mm / 700 x 300 mm) et de système *Fossati* tablier de 1300 x 300 mm).

Table à secousses de type Wilfrey (Ratel, 1908).



Le 24 janvier 1928, Morel adresse les bleus des plans de tables à secousses Wilfrey n°3175 valant 12 000 F, Ferraris n°4484 valant 8 400 F et Fossati n°8181 valant 18 000 F. Le délai de livraison est de 2 à 3 mois après commande.

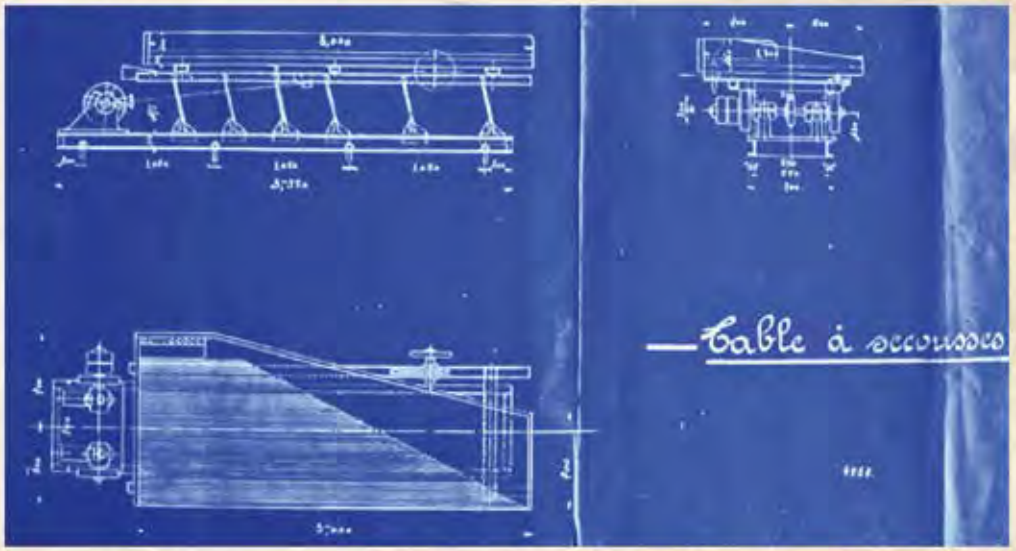


Table à secousses Ferraris de Morel (bleu original n°4484, archives Morel).

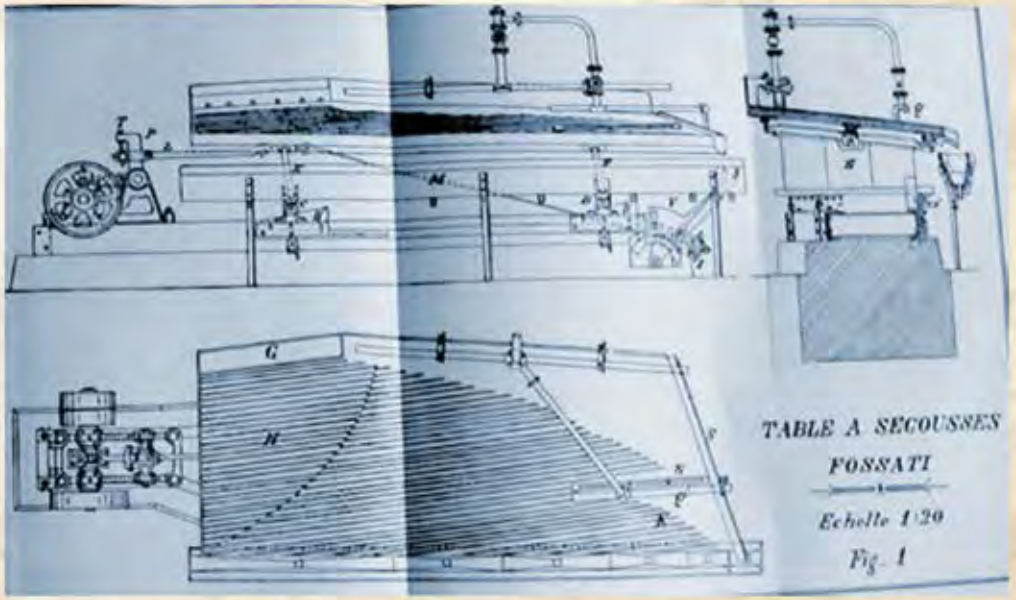
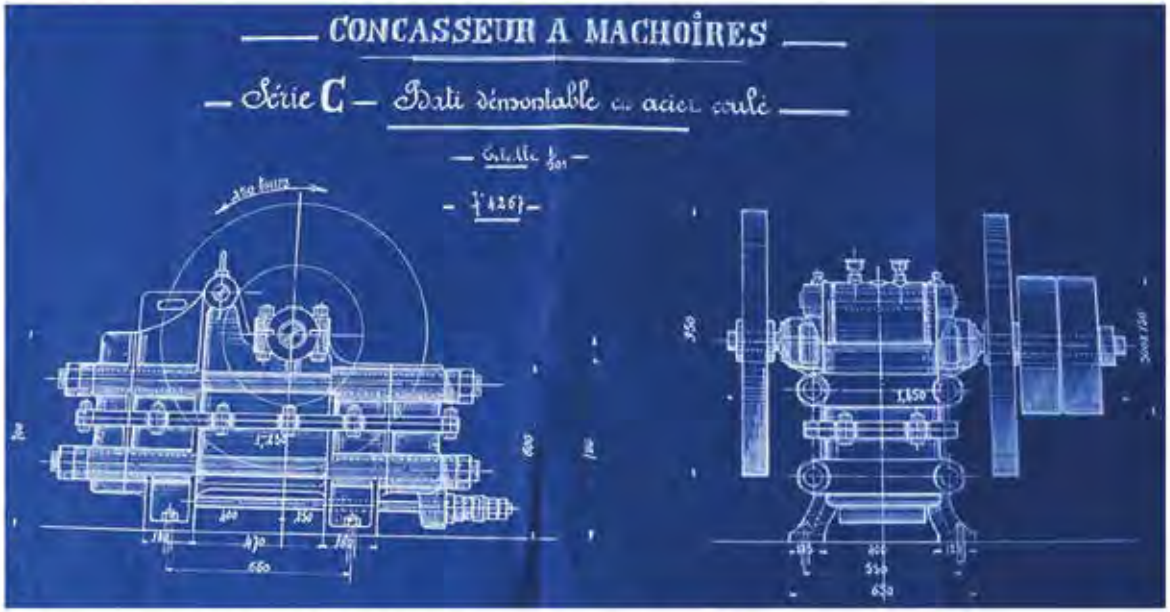
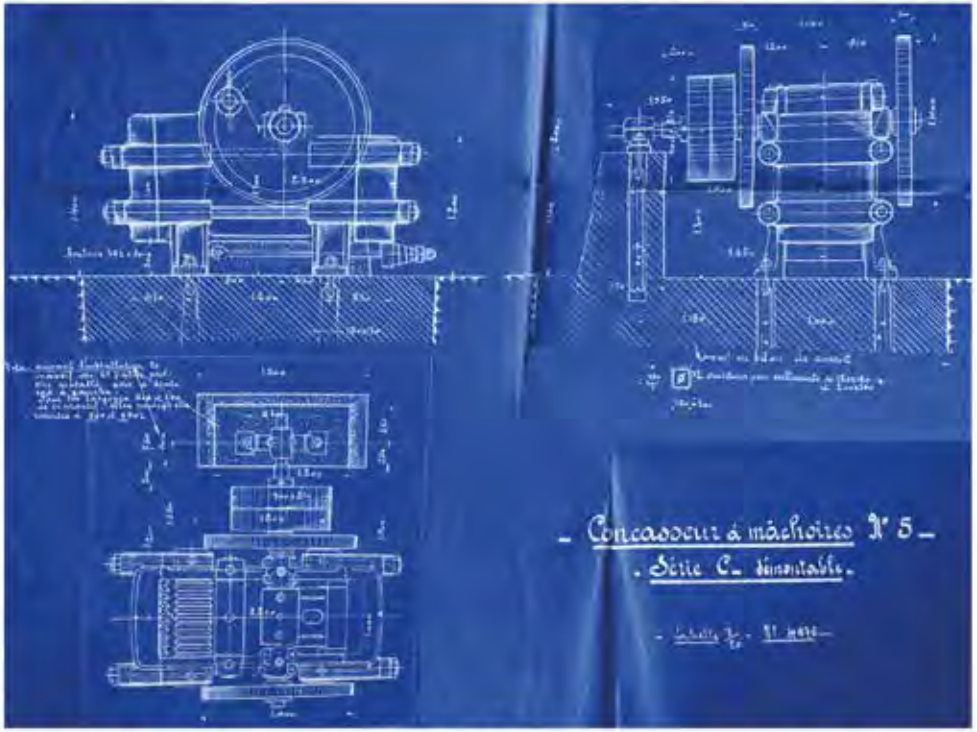


Table à secousses de type Fossati et son schéma de fonctionnement (archives Morel).

suite →



Concasseur à mâchoires Morel C bâti démontable (bleu original n°4267, archives Morel).



Concasseur à mâchoires Morel n°5 série C démontable (bleu original n°4676 (2), archives Morel).

L'entreprise Morel propose aussi des concasseurs à cylindres, des concasseurs-broyeurs à cylindres, des concasseurs à cylindres finisseurs, cannelés ou dentés.

LISTE

Concasseur à cylindres gros modèle (bleu original n°1948, archives Morel).

Concasseur à cylindres Morel (bleu original n°1920, archives Morel).

Concasseur à cylindres Morel (bleu original n°1921, archives Morel).

Concasseur à cylindres petit modèle Morel (bleu original n°1404, archives Morel).

Concasseur broyeur à cylindres Morel de 250 sur 500 mm (bleu original n°4694, archives Morel).

Concasseur broyeur à cylindres et à mâchoires Morel (bleu original n°4695, archives Morel).

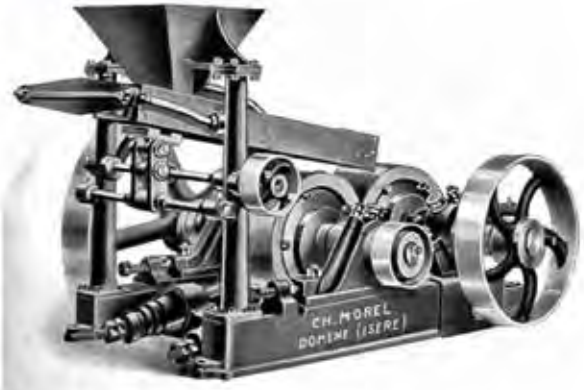
Concasseur à cylindres finisseurs (bleu original, archives Morel).

Concasseur à cylindres cannelés (archives Morel).

Concasseur à cylindres dentés pour charbons, cokes, chaux, argile, terres, os, produits chimiques (archives Morel).

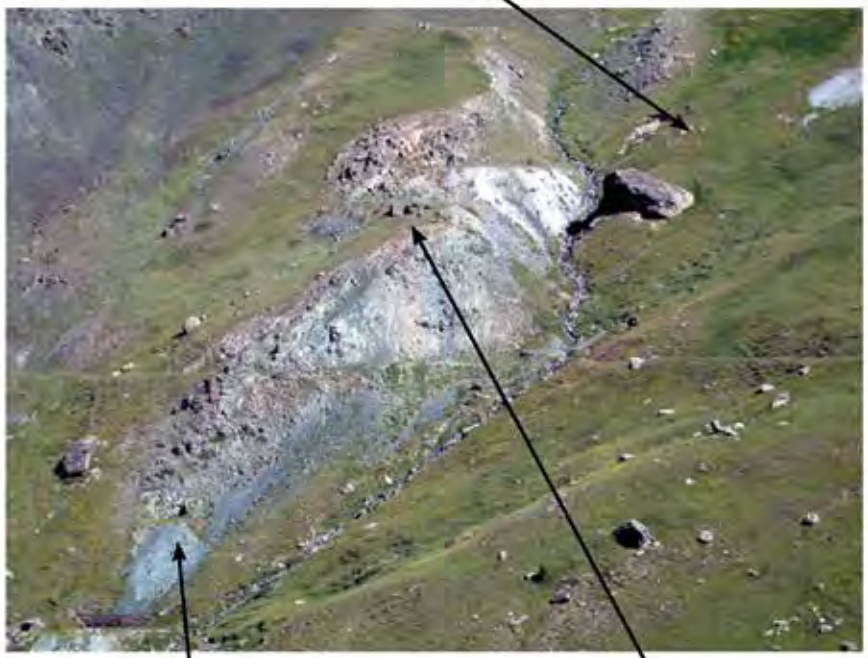
Le concasseur encore en place à **Saint-Véran** a été fabriqué en Suisse chez U. AMMANN-Maschinenfabrik-LANGENTHAL. Il est entraîné par des courroies reliées à un moteur électrique (© EM).

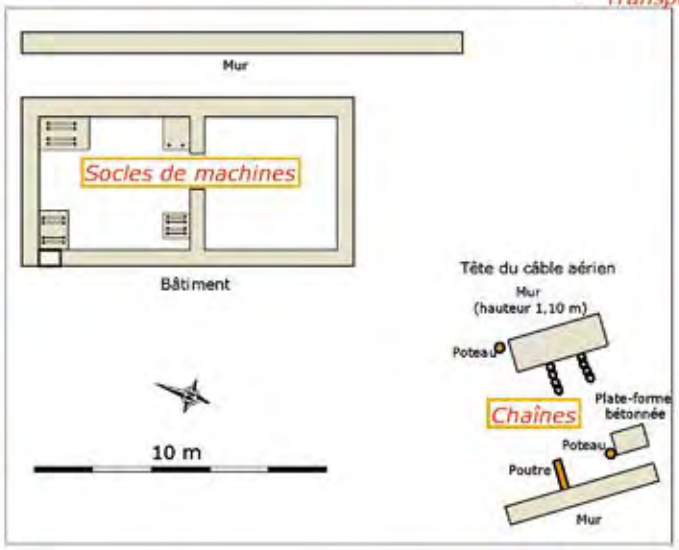
Le **broyeur à cylindres** est constitué de deux cylindres C et C' tournant en sens inverse. On peut actionner les deux cylindres ou un seul cylindre, celui-ci étant alors mû par l'arbre de transmission, l'autre étant simplement entraîné par l'adhérence due au minerai. Pour éviter le blocage de la machine par un bloc trop dur, l'axe du cylindre entraîné est logé sur un chariot qui se meut dans une glissière et ainsi les deux cylindres peuvent se trouver écartés l'un de l'autre.



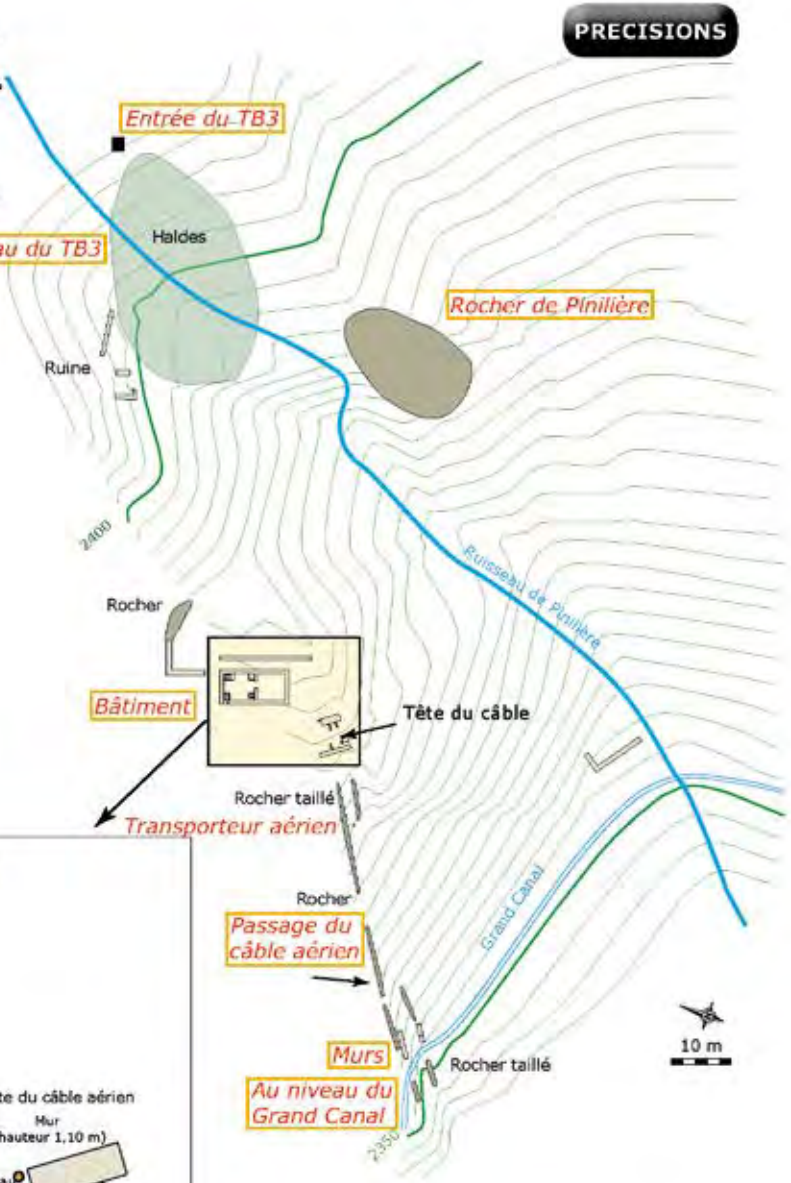
Broyeur à cylindres pour minerais - Morel 108

DU TB3 AU TB4





PRECISIONS



1

2

3

4

5-6

7

8

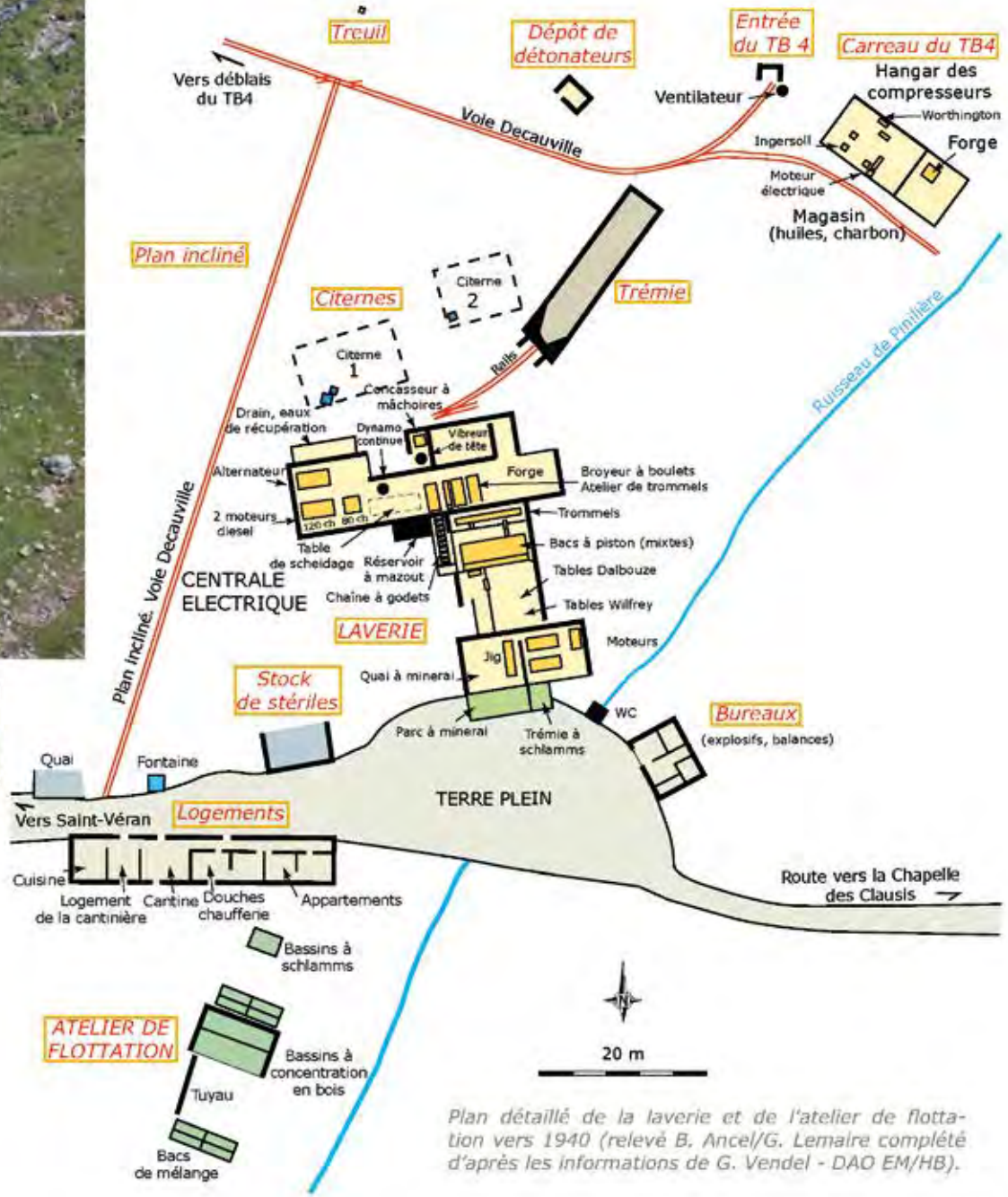
9-10

11

12

DU TB4 À L'ATELIER DE FLOTTATION

PRECISIONS



Plan détaillé de la laverie et de l'atelier de flottation vers 1940 (relevé B. Ancel/G. Lemaire complété d'après les informations de G. Vendel - DAO EM/HB).

LE TRAVERS-BANC N°2

Il a été ouvert à la côte 2453 m, en juillet 1902, sous la direction du C^dt Mazué qui y effectue des recherches jusqu'en octobre 1904.

En 1903, on poursuit l'allongement nord sur 28 m. Vers l'est, une nouvelle galerie rencontre au bout de 15 m puis de 7 m deux colonnes d'anciens travaux qui plongent en profondeur et où sont découverts des vestiges ligneux préhistoriques. On exploite le filon du gîte de la Remontée.

En avril 1904, le TB2 est poursuivi sans résultats. On fonce un puits de 18 m et une recoupe vers l'ouest qui retrouve à nouveau deux colonnes d'anciens travaux sur 20 m. Les travaux sont repris en 1912 avec le creusement d'un puits, puis stoppés en 1913.

L'entrée du TB2 a été condamnée lors de la mise en sécurité.

Les travaux modernes recoupent la première colonne de minerai (**branche occidentale** de la minéralisation) à 35 m de l'entrée, puis suivent le **gîte de la Remontée** par un montage qui perce la base de la **Tranchée des Anciens**[1] située entre les côtes 2503 et 2480. Une colonne de beau minerai y est exploitée sur 40 à 60 cm d'épaisseur et 8 à 10 m de long. Le minerai était sorti dans des wagonnets en bois et en fer poussés à la main.

De là, une **descenderie** est creusée dans le rocher pour rejoindre le TB 2bis.

Deux allongements sont poursuivis, l'un vers le nord, l'autre vers le sud :

- vers le nord, la galerie est foncée dans le stérile ; elle est accessible par une corniche qui passe au-dessus de la descenderie creusée dans la roche et comblée de blocs rejoignant le TB2bis. Une échelle en bois et un chapeau de feutre se trouvent sur le passage. Puis la galerie oblique vers le nord-est jusqu'au contact des serpentines à 60 m du carrefour.

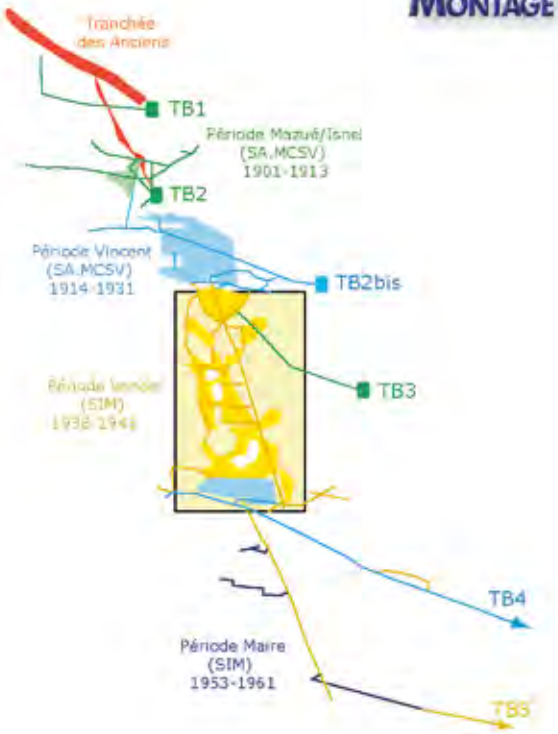
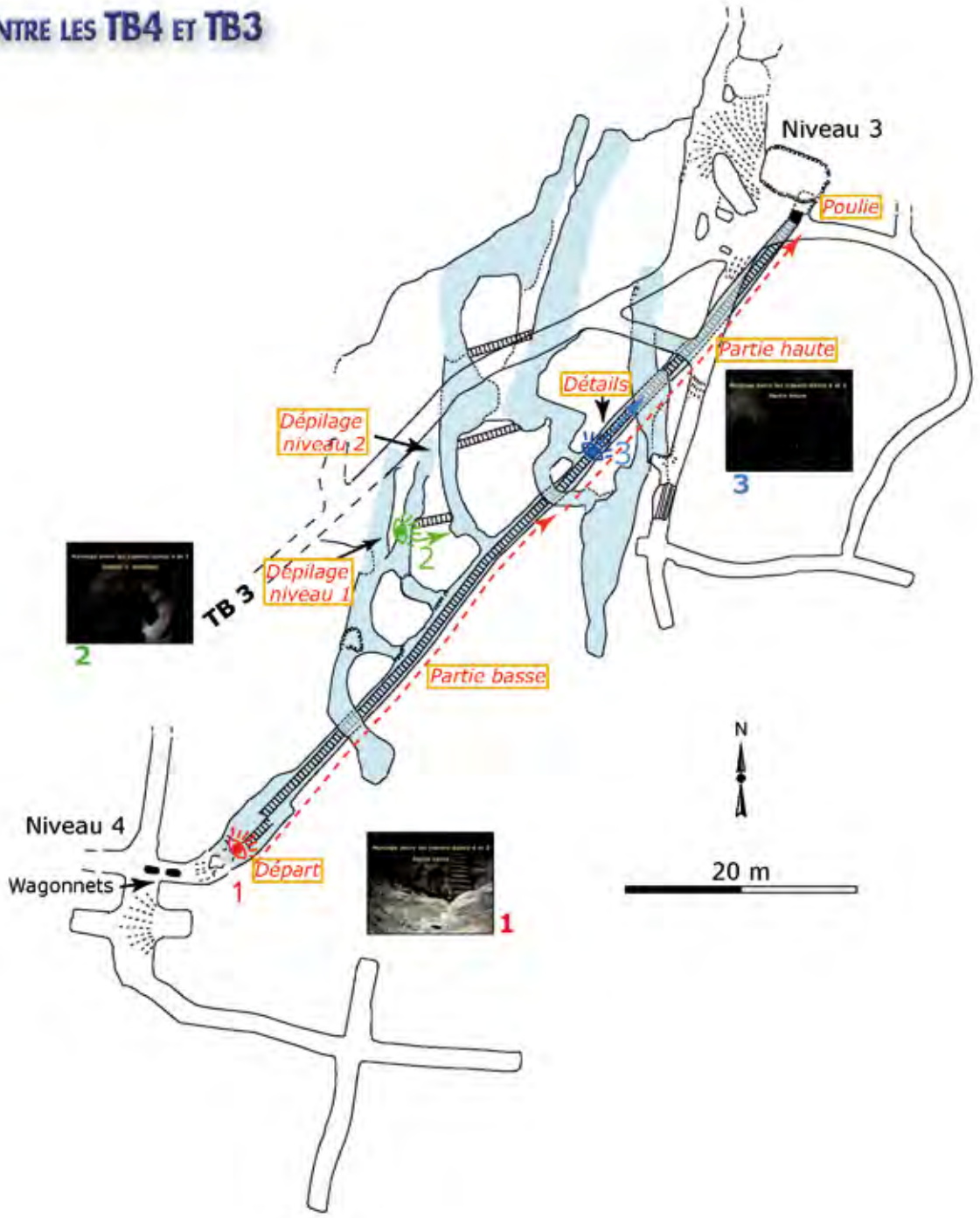
- vers le sud, après le passage d'une porte, on rencontre au bout de 15 m d'anciens travaux très dangereux. Il s'agit d'une 3e colonne de travaux qui rejoint en hauteur la **branche orientale** de la minéralisation. Ils sont éboulés et particulièrement instables.

La galerie principale se poursuit vers l'est sur 27 m puis après une porte deux recherches sont poussées vers le nord et le sud-est :

- vers le nord, il s'agit d'un **boyau** entièrement taillé dans la roche stérile.

- vers le sud-est, la galerie se prolonge d'une vingtaine de mètres et débouche dans une petite salle où se trouve un **puits carré de 18 m** cuvelé en bois qui rejoint le TB2bis. Puis la galerie traverse les **anciens travaux de la branche occidentale**. Là, le passage encore boisé se trouve à l'aplomb de l'ancienne tranchée. Il débouche sur d'anciens travaux situés sur la branche orientale de la minéralisation (colonne est) qui affleure entre 2700 m et 2556 m d'altitude et se prolonge 200 plus bas. Ces anciens travaux se retrouvent 10 m en-dessous au niveau du TB2bis. A cet endroit, la tranchée est comblée de gros blocs. Un peu plus loin vers le sud les travaux sont complètement effondrés.

- vers l'est, après une porte, une galerie de recherche de 30 m où la circulation de l'eau a formé au sol des gours contenant des perles des cavernes.

PRECISIONS

MONTAGE ENTRE LES TB4 ET TB3