

L'OR DANS L'ANTIQUITÉ

DE LA MINE À L'OBJET

Sous la direction de Béatrice Cauuet

AQUITANIA
Supplément 9

CET OUVRAGE A ÉTÉ PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS FINANCIER
du Ministère de la Culture et de la Communication,
Direction du Patrimoine, Sous-Direction de l'Archéologie
de la Région Limousin,
de la Région Midi-Pyrénées,
de la COGEMA,
de la Communauté Européenne PDZR,
de l'Unité Toulousaine d'Archéologie et d'Histoire (UMR 5608)

COUVERTURE

PHOTO DU HAUT : *Détail de la maquette de la mine d'or des Fouilloux
(Jumilhac, Dordogne, France), exploitée à la Tène finale.*

Conception B. Cauuet, réalisation P. Maillard de MAD Entreprise (cliché : Studio 77).

PHOTO DU BAS : *Extrémité d'un collier d'or datant du Bronze final, Gleninsheen, Co. Clare, Irlande
(cliché National Museum of Ireland).*

DOS DE COUVERTURE

PHOTO DU HAUT : *Bouloun-Djounga (Niger) : mine d'or ouverte dans la latérite (cliché G. Jobkes).*

PHOTO DU BAS : *Femme Fulbe (Mali) parée de boucles d'oreilles massives à lobes effilés (cliché B. Armbruster).*

La publication de cet ouvrage
a été préparée par Béatrice Cauuet,

assistée de

Claude Domergue,
Martine Fabioux,
Jean-Michel Lassure,
Maurice Montabrut et
Jean-Marie Pailler

qui ont assuré les relectures, des traductions pour certains
et parfois quelques remaniements des textes,

ainsi que de

Patrice Arcelin
pour les cartes informatisées.

MAQUETTE

Teddy Bélier (Toulouse)

IMPRESSION

Achever d'imprimer en octobre 1999

Imprimerie Lienhart à Aubenas d'Arèche

Dépôt légal octobre 1999 - N° d'imprimeur : 1716

Printed in France

ISBN : 2-910763-03-X

A Richard Boudet,

Sommaire

page 9 Robert SAVY, *Président du Conseil Régional du Limousin*,
Préface

page 10 Martine FABIoux,
Avant - propos

page 11 Béatrice CAUuET,
Introduction

Aux origines de l'or : géologie - aires - techniques

page 17 Marie-Christine BOIRON et Michel CATHELInEAU,
Les gisements aurifères, théories anciennes et nouvelles, or visible et invisible : exemples des gisements d'Europe de l'Ouest

page 31 Béatrice CAUuET,
avec des annexes de Béatrice SZEPERTYSKI et Marie-Françoise DIOT,
L'exploitation de l'or en Gaule à l'Age du Fer

page 87 Filippo GAMBARI,
Premières données sur les *aurifodinae* (mines d'or) protohistoriques du Piémont (Italie)

page 93 Claude DOMERGUE et Gérard HERAIL,
Conditions de gisement et exploitation antique à Las Médulas (León, Espagne)

page 117 Volker WOLLMANN,
Contribution à la connaissance de la topographie archéologique d'*Alburnus Maior* (Roşia Montană) et à l'histoire des techniques d'exploitation romaine en Dacie

page 131 Georges CASTEL et Georges POUIT,
Les exploitations pharaoniques, romaines et arabes de cuivre, fer et or. L'exemple du ouadi Dara (désert oriental d'Egypte)

Ethno-archéologie comparative

page 147 Georg JOBKES,
La production artisanale de l'or au Niger dans son contexte socio-économique

page 163 Barbara ARMBRUSTER,
Production traditionnelle de l'or au Mali

Traitement des minerais, techniques métallurgiques

page 185 Béatrice CAUJET et Francis TOLLON,
Problèmes posés par le traitement des minerais et la récupération de l'or dans les mines gauloises du Limousin

page 199 Jiri WALDHAUSER,
Des objets celtes en or très pur à l'affinage de l'or en Bohême en relation avec la technique minière dite "soft-mining"

page 205 Bernard GRATUZE et Jean-Noël BARRANDON,
Apports des analyses dans l'étude de creusets liés à la métallurgie de l'or : étude d'un creuset et de quatre fragments de creusets provenant du site de Cros Gallet (Le Chalard, Haute-Vienne)

page 213 Jean-Noël BARRANDON,
Du minerai aux monnaies gauloises en or de l'ouest : purification et altération

page 217 Rupert GEBHARD, Gerhard LEHRBERGER, Giulio MORTEANI, Ch. RAUB,
Ute STEFFGEN, Ute WAGNER,
Production techniques of Celtic Gold Coins in Central Europe

Fabrication et diffusion de la joaillerie

page 237 Barbara ARMBRUSTER,
Techniques d'orfèvrerie préhistorique des tôles d'or en Europe atlantique des origines à l'introduction du fer

page 251 Peter NORTHOVER,
Bronze Age gold in Britain

page 267 Mary CAHILL,
Later Bronze Age Goldwork from Ireland - Form and Function

page 277 Gilbert KAENEL,
L'or à l'Age du Fer sur le Plateau suisse : parure-insigne

page 291 Giovanna BERGONZI et Paola PIANA AGOSTINETTI,
L'or dans la Protohistoire italienne

page 307 Alicia PEREA,
L'archéologie de l'or en Espagne : tendances et perspectives

page 315 Hélène GUIRAUD,
Bijoux d'or de l'époque romaine en France

Or, économie et symbolique dans les sociétés celtiques

page 331 Christian GOUDINEAU,
Les Celtes, les Gaulois et l'or d'après les auteurs anciens

page 337 José GOMEZ DE SOTO,
Habitats et nécropoles des âges des métaux en Centre-Ouest et en Aquitaine : la question de l'or absent

Jean-Michel BEAUSOLEIL,
Mobilier funéraire et identification du pouvoir territorial à l'Age du Fer sur la bordure occidentale du Massif Central

page 357 Serge LEWUILLON,
En attendant la monnaie. Torques d'or en Gaule

Production et circulation des monnayages d'or

page 401 Kamen DIMITROV,
Monnaies et objets d'or sur le territoire d'un Etat en Thrace du Nord-Est pendant la période haute-hellénistique

page 409 Gérard AUBIN,
Le monnayage de l'or en Armorique : territoires, peuples, problèmes d'attribution

page 417 Richard BOUDET, Katherine GRUEL, Vincent GUICHARD, Fernand MALACHER,
L'or monnayé en Gaule à l'Age du Fer. Essai de cartographie quantitative

Or, économie et symbolique dans le monde antique

page 429 Raymond DESCAT,
Approche d'une histoire économique de l'or dans le monde grec aux époques archaïque et classique

page 441 Michel CHRISTOL,
L'or de Rome en Gaule. Réflexions sur les origines du phénomène

page 449 Jean-Marie PAILLER,
De l'or pour le Capitole (Tacite, Histoires, IV, 53-54)

page 457 Claire FEUVRIER-PREVOTAT,
L'or à la fin de la République Romaine. Représentations, valeur symbolique, valeur

page 470 Claude DOMERGUE,
Conclusion

page 474 Glossaire

page 482 Index

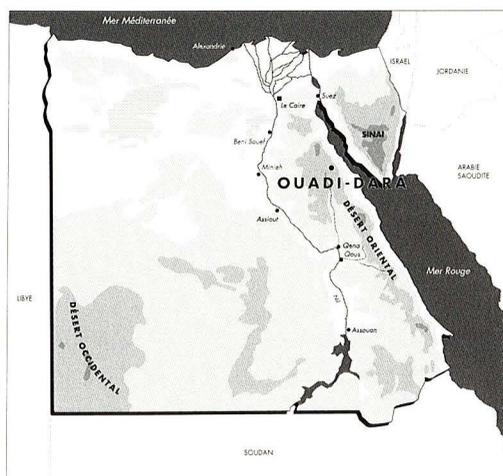
Georges POUIT¹ et Georges CASTEL²

1. B.R.G.M et C.N.R.S.

France

2. I.F.A.O.,

Le Caire, Egypte

Localisation
du site de
ouadi-Dara (Egypte).

Les exploitations pharaoniques, romaines et arabes de cuivre, fer et or. L'exemple de ouadi Dara (désert oriental d'Égypte)

Résumé

Parmi les anciennes mines pharaoniques du précambrien du désert nord oriental d'Égypte, celles de ouadi Dara montrent les vestiges d'une importante exploitation pour cuivre à l'époque thinite et à l'Ancien Empire (III^e millénaire av. J.-C.), tandis que le fer et l'or n'ont fait l'objet que de quelques prospections, le premier à l'époque romaine (III^e siècle ap. J.-C.) et le second à l'époque arabe (vers le IX^e siècle). Les filons à cuivre ont été intensément exploités bien que le minerai soit pauvre. Ce dernier était réduit sur place dans une quarantaine de fours en pierre à ventilation naturelle, produisant des scories à billes de cuivre. La séparation et l'enrichissement du cuivre étaient effectués dans les ateliers des camps de mineurs par broyage des scories puis lavage et refusion. Ultérieurement, l'abondance de l'hématite dans les déblais a incité le développement d'une métallurgie du fer dans un atelier d'un camp romain montrant des restes de bas-fourneau, d'une forge et d'un bac de trempe. Enfin les traces d'or associées au quartz-hématite et au cuivre ont fait l'objet d'essais de récupération à l'époque arabe avec concassage et broyage puis lavage sur des tables inclinées.

Abstract

Among the ancient Precambrian Pharaonic mines of the north oriental Egyptian desert, the ouadi Dara ones show the remains of an important copper working at the time of the Thinite and Ancient Empire (3rd millennium BC), while prospection for iron and gold was given only fitful attention, in Roman days (3rd c. AD) for the first-mentioned metal and under Arab rule (circa 9th c. AD) for the second. The copper veins were intensively worked, though the ore was poor. This one was reduced on site in about forty furnaces, made of stone, naturally ventilated and producing copper ball slags. The copper separation and enrichment were carried out in the workshops set up in the miners' camps by crushing, then washing and remelting the slags. Later, the high amount of hematite in the dumps brought about the development of an iron metallurgy in a workshop of a Roman camp showing remains of a low-furnace, a forge and a tempering tub. Eventually under Arab rule there were attempts at retrieving the traces of gold associated with quartz hematite and copper by crushing and grinding, then washing on sloping tables.

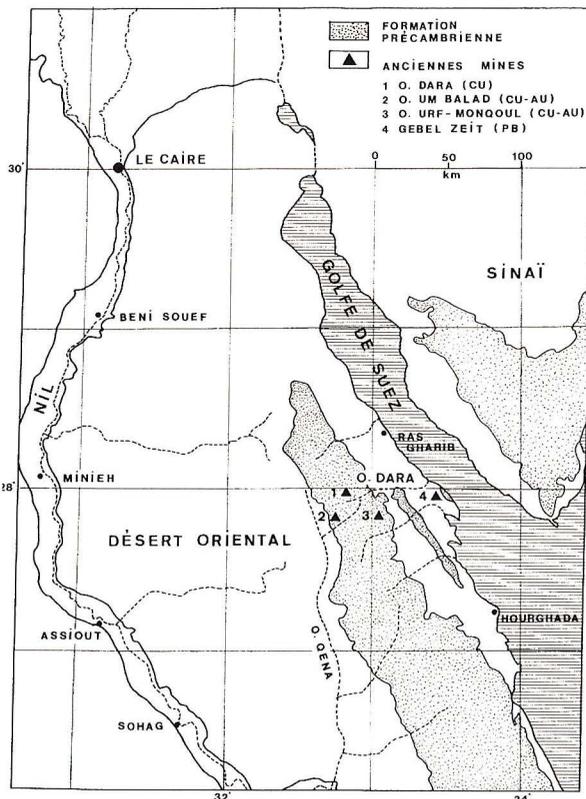
Cette étude a été réalisée par l'Institut français d'archéologie orientale du Caire ¹ avec la participation de l'*Engineering Center for Archaeology, Faculty of Engineering, Le Caire* ², de l'*Egyptian Geological Survey and Mining Authority* ³ et de l'Organisme des Antiquités de l'Égypte ⁴, grâce au support logistique et financier de la compagnie Total Proche-Orient et de l'Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS, France).

Le ouadi Dara est situé dans la partie nord du désert oriental d'Égypte. Il se jette dans le golfe de Suez au nord du massif du Gebel Zeit, à une cinquantaine de kilomètres au sud de la ville de Ras-Gharib (fig. 1). Perpendiculaire à la côte il traverse une chaîne montagneuse, désertique et aride, de formations précambriennes, dans laquelle sont localisées les anciennes mines de cuivre, d'or et de fer. La distance de ces mines par rapport au littoral est d'une cinquantaine de kilomètres.

1 | 2

Fig. 1

Carte de la partie nord du désert oriental d'Égypte avec les anciennes mines de la région de ouadi Dara.

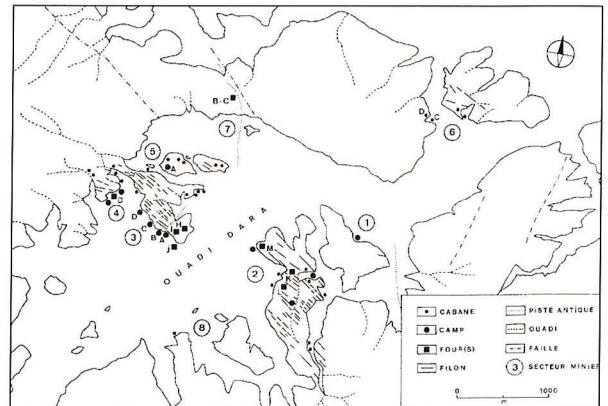
**Fig. 2**

Plan des mines de ouadi Dara indiquant les filons, les camps de mineurs et les fours de réduction du cuivre.

secteurs : 1, 2 et 8 pour la zone sud-est, et 3, 4, 5, 6 et 7 pour la zone nord-ouest.

Les vestiges des anciens travaux comprennent :

- une centaine de galeries généralement à ciel ouvert, quelquefois souterraines, avec des piliers pour maintenir les épontes, des aires de triage et de concassage pour l'enrichissement du minerai ;
- une quarantaine de fours à ventilation naturelle pour la réduction du cuivre ;
- dix camps de mineurs avec leurs ateliers de broyage et leurs espaces d'habitation ;
- une vingtaine de cabanes à proximité des filons ;
- un matériel abondant et relativement bien conservé : outils d'abattage et d'enrichissement du minerai, céramique, lames de silex et débris d'habitat.



L'isolement du site, sa difficulté d'accès et la pauvreté de ses minéralisations expliquent, sans doute, son bon état de conservation.

La datation des exploitations a été établie à partir de la céramique et de leurs marques incisées. Le cuivre a été exploité intensivement dès l'époque thinite jusqu'à la fin de l'Ancien Empire (III^e millénaire av. J.-C.), tandis que le fer et l'or n'ont fait l'objet que de quelques prospections : le premier à l'époque romaine (III^e s. ap. J.-C.) et le second à l'époque arabe (vers le IX^e s.).

Les mines occupent deux zones d'une surface de 0,5 km² chacune, séparées par le ouadi Dara ; la première est située au sud-est du ouadi et la deuxième, au nord-ouest (fig. 2). Pour des raisons topographiques, ces zones ont été subdivisées en différents

1. I.F.A.O., 37, cheikh Aly Youssef (Mounira) P.O.B. 11562 Kasr el-Eini, Le Caire, Égypte ; directeur : Pr. N. Grimal ; membres de la mission de ouadi Dara : G. Castel, archéologue ; B. Mathieu, égyptologue.
2. E.C.A., Faculty of Engineering, Le Caire ; participation : dr. Hany Helal, dr. Taha Abdallah, C. Messein, ingénieur de l'Ecole des mines de Nancy.
3. E.G.S.M.A. ; président : Ahmed Abdel Halim ; participation : dr. Mohamed el-Hawari et Gamal Shaaban.
4. O.A.E. Président : dr. Nur El-Din.

Deux missions en 1989 et 1990 ont été consacrées à l'exploration des mines de ouadi Dara et des régions limitrophes (ouadis El Urf et Um Balad). Trois missions en 1991, 92 et 93 ont permis d'étudier de façon plus détaillée les principaux types de mines du ouadi Dara (secteurs 3, 4 et 5), les installations de réduction du minerai et deux camps de mineurs 3B et 5A.

Le présent exposé, après une brève présentation de la géologie du site, de ses minéralisations et de l'exploitation du cuivre à l'Ancien Empire, décrira de façon plus détaillée les techniques utilisées pour le traitement et la réduction des différents minerais.

Milieu géologique, minéralisations et exploitations

Le massif qui contient les minéralisations est éruptif et comporte des gabbros mais surtout des diorites et des granodiorites, l'ensemble étant recoupé de *dykes* de diabases. Il est probablement limité par de grandes failles WNW/ESE et recouvert, avec jeu ou rejou de ces dernières failles, par des formations volcano-sédimentaires subtabulaires à léger pendage ouest. Ces formations contiennent des coulées (andésites et rhyolites), des pyroclastites et des sédiments détritiques volcaniques. Elles sont recoupées de *dykes* de rhyolites noires et d'andésites.

Les minéralisations se localisent dans un champ de filons parallèles subverticaux orientés N 110° à 130° avec des puissances de quelques décimètres à moins d'1 m (fig. 3). Les filons sont parfois décalés transversalement par des fractures à rejet de quelques mètres à plus de 10 m, à remplissage stérile de calcite. Ils peuvent avoir plusieurs centaines de mètres de long avec des ouvertures de 0,5 m et se relaient latéralement en se digitant. Ils sont à quartz-calcite avec une forte chloritisation et parfois séricitisation ; à noter également des *boxworks* de sulfures avec des résidus de pyrite et de chalcoppyrite ainsi que des oxydes de cuivre abondants (malachite et chrysocolle verts, mais souvent aussi ténorite noire). Ce minerai est pauvre en or et contient parfois de l'hématite spéculaire assez abondante.

L'exploitation du cuivre à l'Ancien Empire s'est faite par des attaques en échelon à flanc de coteau le long des filons, d'abord en surface, puis avec de petites galeries ; celles qui ont été visitées ne s'en-

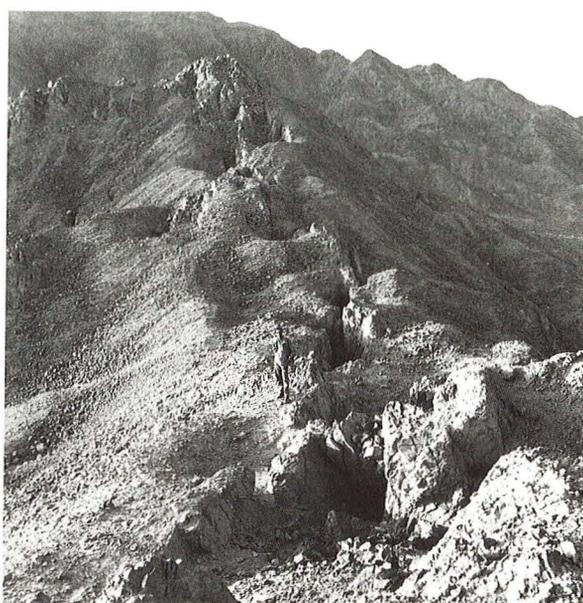


Fig. 3
Vue SE-NW d'un filon suivant la ligne de crête de la montagne dans le secteur 3 de ouadi Dara ; le filon est jalonné d'anciens travaux : entrées de mine verticales et haldes.

foncent pas à plus d'une quinzaine de mètres. Dans ces galeries, des piliers étaient ménagés pour maintenir les épontes. Sur les filons plus larges, dans les dépressions (près du village 3D), l'exploitation s'est faite en carrières allongées le long du filon, ce travail étant facilité par l'altération superficielle de la roche qui se désagrège facilement. Certains filons montrent des attaques plus larges, jusqu'à 1 m. Les oxydes de cuivre, en effet, imprègnent la roche altérée ou constituent des plaquages d'épaisseur millimétrique dans les fractures parallèles au filon. Près des zones d'exploitation, on observe aussi des aires planes de concassage et de traitement du minerai. Les habitations et les haldes de déblais possèdent des outils d'abattage et de concassage : pics à gorge de pierre dure (fig. 4) et tables incurvées pour le concassage.

L'exploitation du fer à l'époque romaine s'est faite par la récupération de l'hématite très abondante dans les déblais de mine. De même l'explo-



Fig. 4
Pic à gorge pour l'abattage de la roche, dolérite (L. : 22 cm ; poids : 1,22 kg).

tation de l'or, à l'époque arabe, s'est faite par la récupération du quartz et de l'hématite spéculaire.

L'exploitation du cuivre (Ancien Empire, IIIe millénaire av. J.-C.)

L'exploitation du cuivre dans les mines de ouadi Dara s'est perpétuée de l'époque thinite à la fin de l'Ancien Empire et représente la majeure partie des travaux miniers visibles sur le terrain. Les études, archéologique et métallurgique, ont fait apparaître deux étapes dans le traitement du minerai :

Etape 1. Dans des fours à parois verticales situés au passage des cols pour capter les vents dominants : fusion réductrice du minerai, avec probablement de l'hématite comme fondant. Une scorie visqueuse est recueillie dans laquelle la majeure partie, voire la totalité du cuivre, reste emprisonnée sous forme de billes.

Etape 2. Dans les camps, broyage de cette scorie pour récupérer les billes de cuivre et fusion de ces billes dans des fours creusés dans le sol avec soufflage par chalumeau pour obtenir un lingotin.

Nous étudierons successivement les installations où s'effectuaient ces deux opérations : les fours de réduction et les ateliers de broyage et de fusion.

Fig. 5

Four 7C à ventilation naturelle pour la réduction du cuivre. Le four est ouvert au nord-est ; dans l'angle sud-est de la cuve : fragment du creuset. La paroi intérieure de la cuve était revêtue d'un réfractaire. Les parties antérieure et supérieure du four étaient fermées pour retenir la chaleur. Seules des ouvertures permettaient à l'air de circuler pour activer la combustion du charbon de bois tout en maintenant un milieu réducteur.



Les fours de réduction à ventilation naturelle

Isolés ou groupés en batteries, les fours à ventilation naturelle sont situés dans des endroits ventés, cols ou arêtes rocheuses, sur des versants en pente ou au bord de falaises abruptes ; ils sont toujours orientés face au nord-est ou au sud-ouest, d'où viennent les vents dominants. L'exploration des

secteurs miniers a montré que chaque camp possédait généralement une ou deux batteries de fours. Actuellement six batteries ont été retrouvées, ce qui porte à une quarantaine le nombre total de fours découverts au ouadi Dara. Tous ont la même disposition et comprennent une cuve et un creuset ; la cuve était sans doute en partie fermée pour retenir la chaleur. Le four 7C nous servira d'exemple (fig. 5) ; les dimensions des autres fours étudiés ont été regroupées dans un tableau.

La cuve

Construite en blocs de granodiorite, la cuve comporte trois montants de hauteur égale disposés en U : deux montants latéraux, parallèles, correspondant aux deux branches du U et un montant arrière correspondant à la barre horizontale du U. Les montants latéraux, selon la hauteur de la cuve, sont constitués d'un seul bloc ou de plusieurs blocs superposés, tandis que le montant arrière est formé d'une seule dalle dressée. Ces montants délimitent un espace rectangulaire, fermé sur trois côtés, le quatrième étant ouvert ; ils sont toujours entourés d'un massif de pierres ou de terre qui en assure la solidité ; de ce fait il sont généralement bien conservés (dimensions intérieures de la cuve, l. : 40 cm ; prof. : 40 cm ; h. des montants : 40 cm).

Ces montants comportent des fragments de réfractaire (*lining*) vitrifié auxquels adhèrent des morceaux de scories, de la malachite non réduite ou même du cuivre. La hauteur de ces fragments par rapport à la base des montants varie de 10 à 20 cm et leur épaisseur est comprise entre 0,1 cm et 0,5 cm.

Pour contenir la charge et retenir la chaleur, le quatrième côté qui formait la partie antérieure de la cuve devait être également fermé par un montant équipé d'une prise d'air. Ce montant, moins résistant que les trois autres du fait de la prise d'air et de son emplacement face à la pente du terrain, n'a jamais été retrouvé *in situ* ; les blocs qui le constituaient ont toujours été entraînés en contrebas dans le lit des ouadis.

Les déblais et débris divers qui remplissent la cuve sont, de bas en haut, en partant du rocher : a) des fragments de creuset ; b) des cendres et des morceaux de réfractaire empilés les uns sur les autres ; c) des coulées d'argile et de graviers dues aux intempéries ; d) des pierres éclatées provenant des montants du four. L'examen des fragments de

réfractaire a montré qu'ils avaient appartenu aux parois de la cuve ou à des creusets. Certains de ces fragments présentent plusieurs épaisseurs de réfractaire (jusqu'à quatre), collées les unes sur les autres. Ils peuvent avoir deux aspects : vitrifiés, leur surface ayant une glaçure verdâtre et leur cassure montrant des microbulles, ou cuits par la chaleur, la température n'ayant pas été assez élevée pour les vitrifier. Ce réfractaire est composé d'argile, de paille et peut-être de sable.

Le creuset

Le creuset du four 3J (A) a pu être en partie reconstitué à partir de ses morceaux dispersés. Deux fragments de creusets, par ailleurs, ont été retrouvés *in situ* dans les fours 2M et 7C. Il s'agit de petites cuvettes ellipsoïdales, peu profondes, en réfractaire, placées entre les montants en pierre de la cuve. Le creuset de 3J (A) montre le départ d'une ouverture antérieure tapissée de matières vitrifiées et de scories (dimensions des deux axes de la cuvette : 20 et 35 cm). Celui de 7C mesure 30 cm de long par 20 cm de large et 25 à 30 cm de haut.

Les parois du creuset ont à la base une épaisseur de 6 à 7 cm ; elles s'amincissent en s'élevant dans la cuve et deviennent millimétriques à sa mi-hauteur.

La couverture du four

La cuve était, sans doute, recouverte de dalles de pierre pour conserver la chaleur. Une ouverture entre les dalles (gueulard) permettait le tirage du four et son chargement en combustible et en minerai durant

la réduction. Aucune de ces parties n'ayant été retrouvée *in situ*, seule une étude expérimentale permettra d'en proposer une reconstitution.

Les scories

La chaleur était fournie par le charbon de bois, dont la combustion était activée par le vent. Cependant (cf. *supra*) on ne sait pas comment l'air était canalisé et circulait à l'avant et au-dessus du four afin d'élever la température en maintenant un milieu réducteur.

L'utilisation d'hématite comme flux pour un minerai très silicaté, était probablement connue. En effet, l'hématite, toujours abondante dans les déblais de la mine, se trouve aussi en abondance autour des fours, même loin des mines. Enfin, dans le village 5A (début Ancien Empire), une jarre contenait de l'hématite concassée avec des traces de malachite.

Les scories, peu abondantes et parfois rares autour des fours, sont caractéristiques du type "scories primitives de fours à spinelles" ⁵. Elles sont cassées en morceaux de quelques centimètres, sans trace d'écoulement net (*tapping*). Elles contiennent (études au microscope et au MEB) des résidus de charge, des spinelles (magnétite Fe₃O₄ et fayalite FeSiO₄), des pyroxènes Fe, CaSi₂O₈, enfin des billes de cuivre (fig. 6). Ces billes, dans les scories étudiées, ont un diamètre de 1 mm à une fraction de μ ; au MEB, ces dernières forment une poussière dans le verre entre des cristaux de pyroxène enchevêtrés.

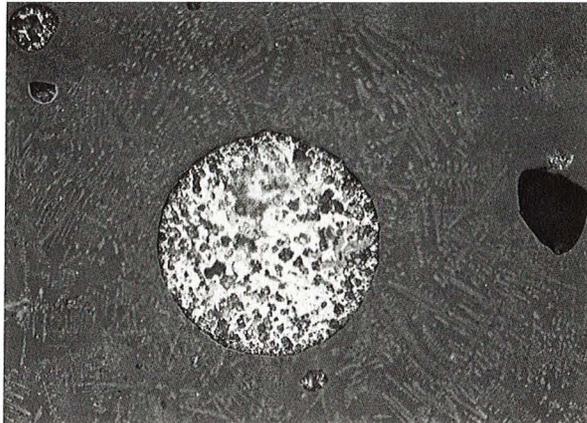
5. Bachman, 1980, p.109-164.

Four	Orient.	l. (cm)	p (cm)	h (cm)	Creuset (dim. en cm)	Remarques
2K (A)	NE	36	32 ?	37 ?		batterie
2K (B)	NE	39	32 ?	37 ?		batterie
2K (C)	NE	43	32 ?	37 ?		batterie
2K (D)	NE	42	32 ?	37 ?		batterie
2K (E)	NE	41	32 ?	37 ?		batterie
2K (F)	NE	42	32 ?	37 ?		batterie
2L (A)	NE	40	22	47		batterie
2L (B)	NE	42		55		
2M	NE	42	45	45 env.	l. 26 ; p. min. 20 ; h. 30	isolé
3H (A)	NE	40	26/ 35	45/ 50		batterie
3H (B)	NE	36	35	47		batterie
3I	SW	50	40	55		batterie
3J (A)	SW	50	40	60/ 65	l. 35 ; p.20 ; h.30	batterie
3J (B)	SW	50	40/ 50	60/ 65	l. 40 ; p. 20 ; h.30	batterie
4D	E				l. 40 ; p. 26 ; h. cons. 30	isolé
7B	NE	43	39	39		isolé
7C	NE	40	40	40	l. 30 ; p. 20 ; h. 25/ 30	isolé

Tableau récapitulatif de l'orientation des fours, des dimensions intérieures de leurs cuves et de leurs creusets (l. : largeur ; p. : profondeur ; h. : hauteur).

Fig. 6

Bille de cuivre, structure squelettique d'oxydes de fer, pâte à pyroxène et microbilles de cuivre.



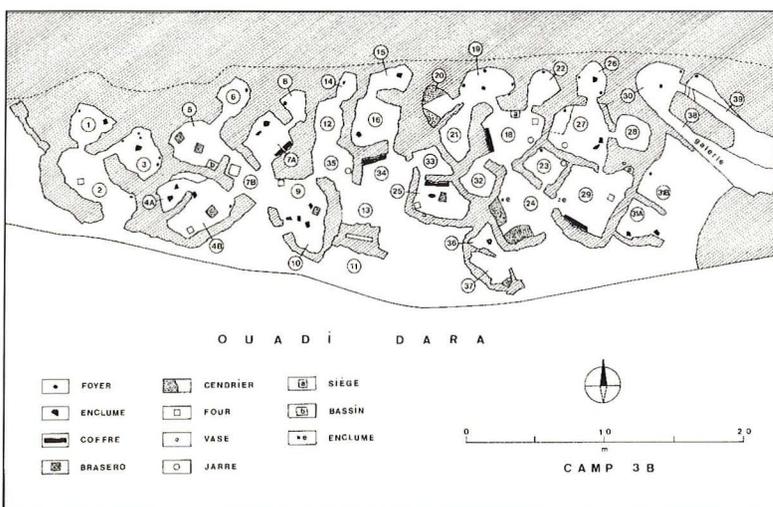
Ces observations montrent que le dosage des produits et la ventilation des fours étaient mal maîtrisés. En particulier, la température des fours était suffisante pour réduire les minerais mais pas assez élevée (1150°) pour obtenir un liquide d'où pouvait se séparer un lingot de cuivre d'une scorie plus légère s'écoulant à l'extérieur. Le cuivre métal restant piégé dans les scories, ces dernières nécessitaient un traitement complémentaire pour l'en extraire : le broyage dans des ateliers conçus à cet effet.

Les ateliers de broyage et de fusion du camp 3B

Ce camp est situé en bordure du ouadi, sur sa rive gauche, dans un renforcement de la montagne au pied des mines (fig. 7). Il occupe une terrasse étroite et allongée, orientée est-ouest dans le sens de la longueur, constituée d'alluvions et de déblais de mines. Cette terrasse est inclinée nord-sud vers le lit du ouadi. Le camp mesure 40 m de long par 10 à 18 m de large et comporte une quarantaine de salles circulaires, en pierre sèche, serrées les unes contre les autres ; les salles adossées à la montagne sont en partie enterrées dans les déblais de mine,

Fig. 7

Camp 3B : plan schématique indiquant les ateliers de broyage avec leurs enclumes et les ateliers de refusion des billes de cuivre avec leurs fours.



tandis que celles qui sont situées du côté du ouadi sont construites au-dessus des déblais. La hauteur conservée des murs varie de 0,2 à 1,5 m. La fonction de ces salles a pu être établie grâce aux installations et au matériel qu'elles contenaient : ateliers de broyage des scories et de refusion du cuivre, réserves, cuisines et salles de repos.

L'étude stratigraphique du camp a montré :

- sous les salles nord, la présence d'une galerie de mine orientée est/ouest, antérieure à l'Ancien Empire ;
- dans le camp même (Ancien Empire), deux périodes d'occupation séparées par une phase d'abandon.

Ateliers de broyage

Le camp 3B possède au moins onze ateliers pour le broyage des scories (3, 4A, 7A, 10, 24, 25, 26, 27, 29, 31A et 36) qui contiennent, selon leur espace disponible, une ou deux enclumes avec leurs broyeurs. Les enclumes sont profondément enfoncées dans le sol, leur face supérieure, le dormant plan concave, étant au ras du sol ; leurs dimensions permettent de les classer en deux groupes : les petites et les grandes.

Les petites enclumes, en basalte généralement, sont situées à une distance du mur comprise entre 0,1 m et 0,5 m (ateliers 24 et 29). Leur poids varie de 0,5 à 1 kg et leur plus grande dimension est inférieure à 20 cm. De forme parallélépipédique, l'une de leurs faces, carrée ou polygonale, constitue le dormant et possède au centre une cupule creusée par le broyage des petites scories (diam. inf. à 0,8 cm). Le sol autour de ces enclumes est jonché de fines particules de scories broyées.

Les grandes enclumes, en granodiorite généralement, occupent le milieu de l'atelier lorsqu'il est exigü (ateliers 3, 4A, 10, 25, 26, 36) ou les côtés, pour dégager l'espace central (ateliers 7A, 27 et 31A). Elles pèsent de 10 à 20 kg et leur plus grande dimension est inférieure à 34 cm. De forme carrée ou polygonale, leur dormant, dont la surface est supérieure à 900 cm^2 , présente une zone d'usure concave en forme d'ellipse. Le sol de l'atelier est jonché de fragments de scories broyées. Ces enclumes étaient utilisées pour broyer les grosses scories dont le diamètre est supérieur à 1 cm (fig. 8).

Atelier	Dimensions (m)	Petites enclumes (nb. et dim. en cm)	Grandes enclumes (nb. et dim. en cm)
3	3 x 2,5		1 (32 x 28 x 20)
4A	3 x 1,7		2 (30 x 20 x 17)
7A	2,5 x 2		2 (33 x 29 x 15)
10	3 x 3		2 (28 x 21 x 14)
24	4 x 5	2 (8 x 8 x 10)	
25	2,5 x 4		1 (46 x 26 x 15)
26	2 x 2,5		1 (28 x 25 x 15)
27	4 x 4,5		2 (34 x 25 x 6)
29	4 x 5	2	
31A	2 x 3		2 (30x30x15 et 34x30x20)
36	2 x 2		1 (28 x 17/25 x 16)

Les broyeurs, en diorite, basalte ou gabbro, sont généralement sphériques (diam. 6 à 8 cm) ou parallélépipédiques (L. inf. à 14 cm). Dans ce dernier cas, une face plane sert à écraser les scories et les coins arrondis, à les broyer.

Après le broyage des scories, les plus grosses billes de cuivre pouvaient être récupérées manuellement (on en trouve quelques-unes autour des enclumes) mais les plus fines nécessitaient un lavage. Cette opération était probablement réalisée dans des écuelles à bec verseur en poterie rustique dont on retrouve quelques débris dans les ateliers et dont le fond est piqueté de trous pour retenir les billes de cuivre.

Certains ateliers de broyage possèdent également des fours de refusion (atelier 25 et 29) et des fosses à cendres (atelier 24).

Les objets retrouvés dans les couches d'habitation sont de la céramique (vases à bec verseur, *medium bowls* et jarres de stockage), des outils de mineurs (broyeurs sphériques et cylindriques, petites enclumes et pics à gorge), des lames de silex, des éclats de silex et de quartz, des ossements d'animaux, des coquillages (nérites) et des scories. Tous ces objets suggèrent que dans ces ateliers se déroulaient également d'autres activités : cuisine, repas, entretien des outils et repos.

Ateliers de refusion

Le camp 3B possède également huit ateliers de refusion (2, 4B, 7B, 9, 18, 25, 29, 31B et 37). Ces ateliers comportent : des fours à chalumeaux pour la fusion des billes de cuivre provenant des ateliers de broyage et de petites fosses revêtues de pierres plates pour le rangement du matériel (fig. 8). Les fours des ateliers 2, 31B et 37 étant détruits, seuls ceux des ateliers 4B, 7B, 18, 25 et 29 ont retenu notre attention.

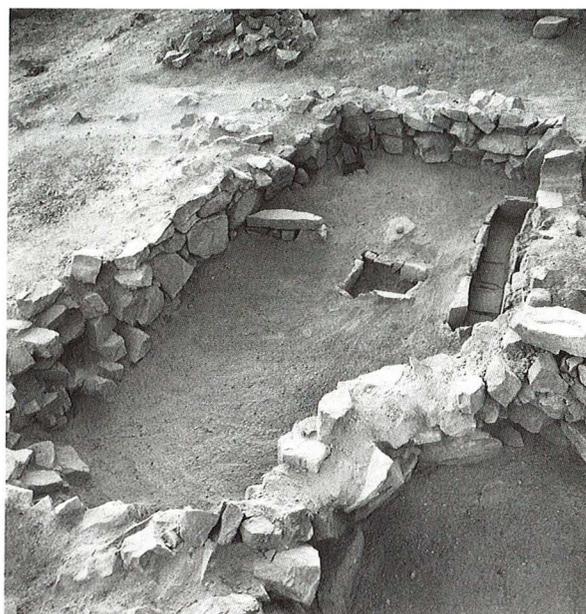


Fig. 8

Camp 3B : vue NE-SW de l'atelier 25. Cet atelier est réservé au broyage des scories et à la refusion des billes de cuivre. L'enclume avec son broyeur sphérique adossée à un braséro occupe le centre de l'atelier, tandis que le four de refusion est situé dans son angle sud-ouest. Noter le banc de pierre pour les souffleurs de chalumeau et le vase (I^{ve} dyn.) retourné dans l'épaisseur du mur. Le long du mur nord : coffre en pierre pour les outils.

Les fours à chalumeaux sont placés à proximité d'un mur (fig. 9) ou adossés au mur. Enfoncés dans le sol, ils sont construits avec des blocs de granodiorite ou de basalte ; leur forme rappelle celle d'un bassin trapézoïdal, évasé vers le haut. Trois côtés sont fermés par des montants presque verticaux et de même hauteur, tandis que le quatrième, qui correspond à l'ouverture du four, est incliné à 45° vers l'intérieur. Le sol et les montants n'ont pas d'enduit réfractaire (*lining*) et présentent, par endroit, des traces de chaleur très forte : surfaces désagrégées et taches de couleur brun-rouge. Le tableau ci-contre résume leurs dimensions :

Aucun fragment de tuyère ou de chalumeau n'a été retrouvé dans les ateliers. On note seulement, à proximité des fours, la présence d'une dalle, allon-

Atelier	Dimensions (m)	Four (dim. en cm)	Fosse (dim. en cm)
2	4,5 x 3	détruit	
4B	4,5 x 2,4	53 x 25/30 x pr. 20/30	
7B	2 x 2,5	50 x 20/28 x pr. 20/30	160 x 22 x pr. 20
18	4 x 4	40 x 20 x pr. 20	155 x 20 x pr. 20
25	2,5 x 3,3	30 x 12/25 x pr. 8/12	162 x 17 x pr. 17
29	4 x 4,5	55 x 25/30 x pr. 20/30	170 x 23 x pr. 23
31B	2 x 2,5	détruit	
37	1,5 x 3,5	détruit	

née et étroite, qui aurait pu être utilisée par les souffleurs de chalumeaux pour s'asseoir. Dans l'atelier 25, l'une d'elles *in situ* (dim. : 73 cm x 23 cm x 15 cm) était placée horizontalement à 1,20 m de la partie antérieure du four, face à son ouverture et était supportée par trois blocs de pierre.

Fig. 9

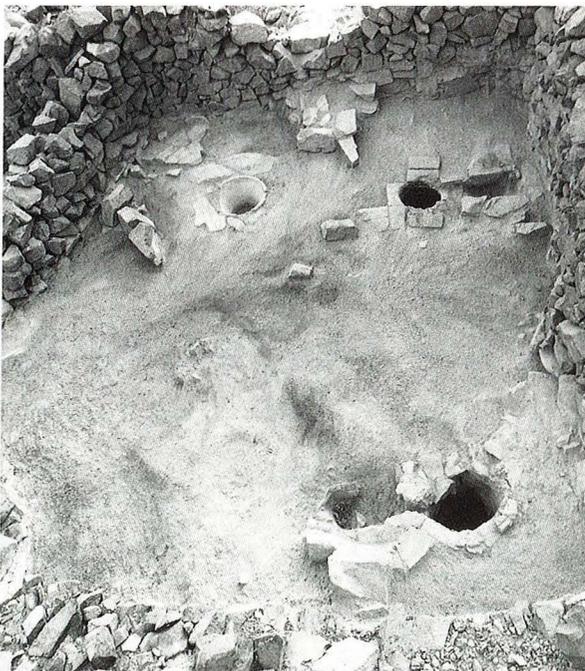
Camp 3B : four de l'atelier 29 pour la refusion des billes de cuivre, vue NW-SE.

**Fig. 10**

Camp 3C : vue générale NW-SE ; au second plan, les entrées de mines et le ouadi Dara. L'atelier de réduction du fer est situé à l'arrière-plan en bordure du ouadi.

**Fig. 11**

Camp 3C : atelier de réduction du fer, vue N-S. L'entrée de l'atelier est à gauche. En bas du document : le bas-fourneau de réduction et la niche avec sa banquette pour les préposés aux soufflets. En haut, à droite : le fourneau de la forge et ses deux enclumes. A gauche : le bassin de trempé entouré d'un dallage.



Les seuls indices, par conséquent, qui montrent que ces fours devaient fonctionner avec des chalumeaux sont : a) leur géométrie étudiée pour recevoir un creuset de fusion et plusieurs chalumeaux (au minimum deux), ces derniers se positionnant juste au-dessus du creuset ; b) le charbon de bois dans le foyer ; c) la présence, à proximité des fours, de fragments de creusets et de céramiques avec gouttes de cuivre ; d) enfin, les bancs de pierre près des fours pour souffler dans une position adéquate.

Un four expérimental construit sur le modèle du four de l'atelier 29 a permis de réaliser un début de fusion ; sa partie supérieure avait été fermée par des dalles de pierre pour éviter les déperditions de chaleur et en augmenter la réfraction.

Les petites fosses sont situées le long d'un mur et ont une forme rectangulaire, allongée et étroite. Leurs quatre côtés sont constitués de pierres plates dressées, et leur fond est fait de dalles horizontales jointives. Leur ouverture est placée au niveau du sol. Étant donnée la position de cette ouverture par rapport au mur (atelier 29), elle ne pouvait être fermée par des pierres. Au moment de la fouille, ces fosses contenaient des déblais sans rapport avec leur fonction initiale. Le soin particulier avec lequel elles sont faites suggère que leur contenu était précieux. La dimension de ces fosses est indiquée dans le tableau ci-joint (cf. *supra*).

Le matériel de ces ateliers de fusion, mis à part les rares outils de pierre dure, est comparable à celui des ateliers de broyage. Il traduit également des activités secondaires liées au travail de la mine et à la vie quotidienne. La céramique présente, en outre, des tessons vitrifiés et des fragments de creusets. La surface du sol est recouverte de cendres et de poussière de charbon de bois (ép. 2 cm environ).

Certaines des caractéristiques de cette métallurgie du cuivre sont communes avec Timna dans le ouadi Arabah en Israël, approximativement du même âge, où l'on trouve le même type de scories primitives⁶. Cependant les fours de réduction de Timna étaient plus rudimentaires, simples trous dans le sol entourés de quelques pierres et fonctionnant avec des chalumeaux pour le chauffage, alors qu'à ouadi Dara, les fours sont construits en pierre selon une géométrie rigoureuse et utilisaient les vents dominants.

6. Rothenberg, 1990.

L'atelier de réduction du fer du camp 3C (époque romaine, IIIe s. ap. J.-C.)

Dans les mines de ouadi Dara, un seul camp (3C) d'époque romaine était destiné à l'exploitation du fer (fig. 10). Le minerai utilisé était l'hématite spéculaire que l'on trouve en abondance dans les déblais de mine si bien qu'il n'était pas nécessaire de reprendre les travaux miniers. Le camp est situé à proximité des mines dans un renforcement que forme la montagne en bordure du ouadi. Il comprend deux blocs, est et ouest, de salles d'habitations et d'ateliers, séparés par une ruelle centrale orientée nord/sud. L'atelier de réduction, objet de cette étude, est placé à l'entrée du bloc ouest, contre le ouadi. Lui seul a été fouillé ; dimensions du camp : 20 m x 25 m ; nombre de salles : dix-neuf ; nombre d'ateliers : deux.

L'atelier de réduction du fer

De forme rectangulaire, construit en pierre sèche, l'atelier mesure 6 m de long (direction nord-sud) par 4,5 m de large (direction est-ouest) (fig. 11). Son entrée, à l'est, mesure 0,56 m de large. Il comporte au nord-ouest une niche profonde (l. : 1,4 m ; prof. : 0,7 m) occupée par une banquette. Une porte murée (l. : 0,8 m), au nord-est, ouvrait jadis sur un réduit utilisé, sans doute, pour stocker le matériel. La hauteur conservée des murs de l'atelier est de 1,50 m environ.

A l'intérieur de l'atelier, les installations se répartissent ainsi :

- 1) dans l'angle nord-ouest, en avant de la niche, un bas-fourneau de réduction avec une goulotte pour l'écoulement de la scorie ;
- 2) dans l'angle sud-ouest, à 2,50 m du bas-fourneau, une forge avec un fourneau et deux enclumes ;
- 3) dans l'angle sud-est, enfin, à 1 m des enclumes et protégé de l'entrée par un muret, un bassin pour la trempe du fer.

La forge et le bassin de trempe occupent toute la partie sud de l'atelier, tandis que le four de réduction en occupe l'angle nord-ouest. Ils dégagent ainsi au centre de l'atelier un espace assez large (16 m² minimum) qui était utilisé pour entreposer le minerai et le combustible.

Au moment de la fouille, l'atelier contenait des scories de fer, du charbon de bois et, au centre devant l'entrée du bas-fourneau, un tas de minerai d'hématite préparé pour la réduction. Des briques cuites et des tessons provenant de la démolition du bas-fourneau et de la forge (dallage et bassin de trempe) occupaient l'emplacement des fours. Ces éléments seront examinés, à présent, séparément.

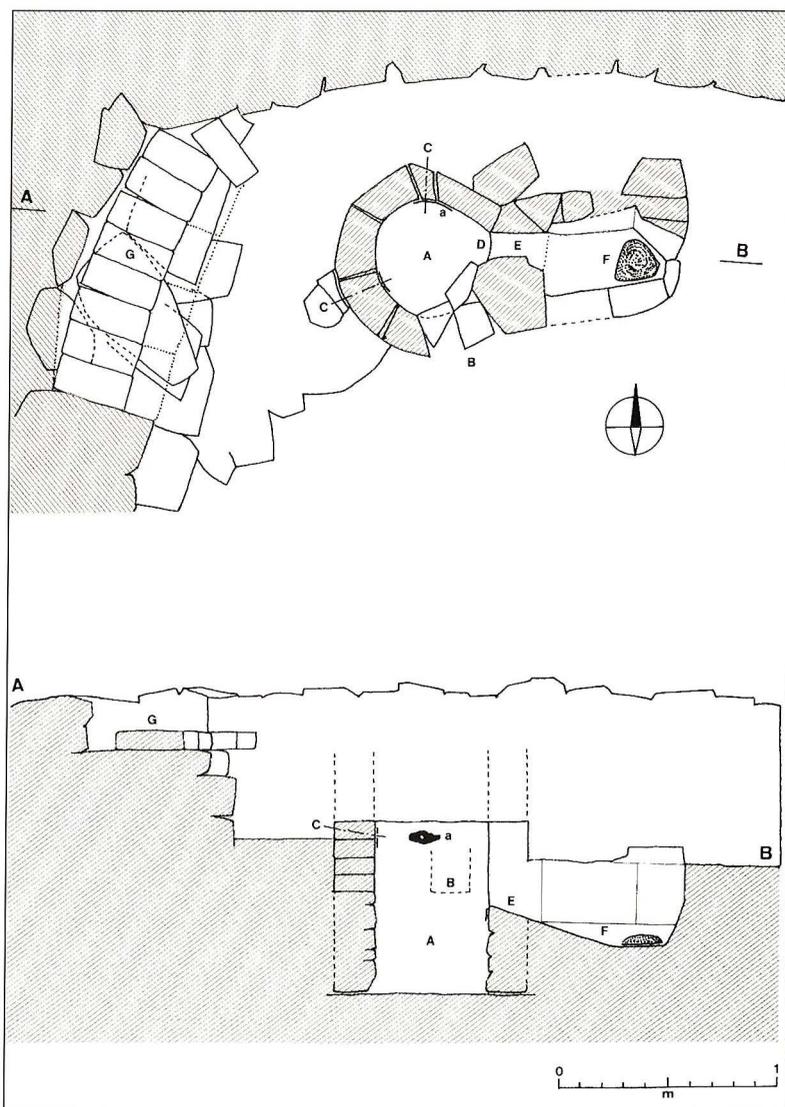
Le bas-fourneau de réduction du fer

Le bas-fourneau comprend (fig. 12) :

- à 0,40 m du mur nord de l'atelier et à 0,50 m de son mur ouest, une cuve (A) cylindrique ;
- à l'est de cette cuve et le long du mur nord de l'atelier, une goulotte (E) avec bassin (F) de récupération de la scorie ;
- à l'ouest, enfin, de la cuve, une banquette dans

Fig. 12

Camp 3C : plan et coupe du bas-fourneau de réduction du fer.
 A - cuve ;
 B - porte d'accès au creuset ;
 C - tuyères ;
 D - ouverture pour l'écoulement de la scorie ;
 E - goulotte ;
 F - bassin de récupération de la scorie avec coulée *in situ* ;
 G - niche avec banquette.



une niche, sans doute destinée au préposé du soufflet ; un terre-plein occupe l'espace compris entre l'arrière de la cuve et la banquette.

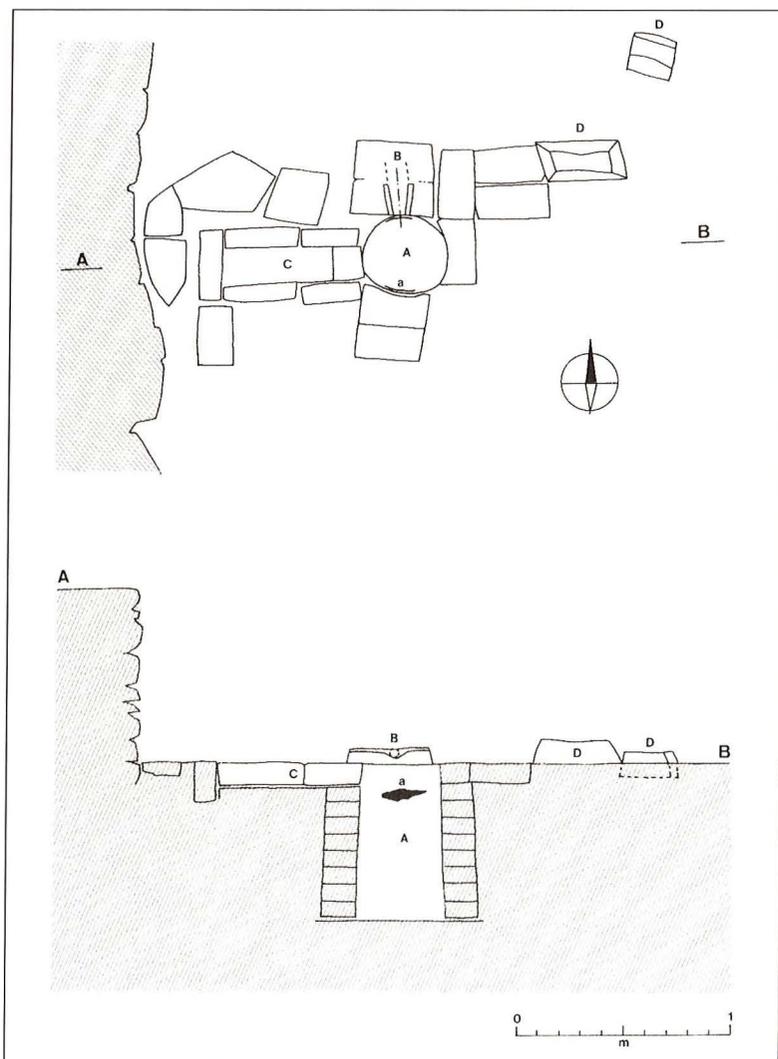
La cuve cylindrique (A) est conservée sur une hauteur de 80 cm ; son diamètre intérieur est de 50 cm ; ép. de sa paroi : 18 cm. Elle est revêtue intérieurement d'un réfractaire (a) qui s'est vitrifié au niveau des tuyères et du creuset. Elle contenait à sa partie inférieure des restes de charbon de bois et des déchets métalliques scorifiés.

La cuve est faite de deux parties superposées :

- une partie basse en blocs de granodiorite, enterrée de 45 cm ;
- une partie haute en briques cuites, construite au-dessus de la partie en pierre, à l'air libre. Les briques cuites paillées (33 x 16 x 8 cm) ont été taillées pour permettre une meilleure circonférence de la cuve.

Fig. 13

Camp 3C : plan et coupe du fourneau de la forge.
A - cuve ;
B - empreinte de tuyère ;
C - bassin rempli de cendres ;
D - enclumes.



Cette partie comporte les ouvertures techniques nécessaires au fonctionnement du four :

- au sud-est de la cuve, une porte (B) d'accès au creuset pour retirer la loupe de fer à la fin de la réduction ; cette porte dont il ne reste que la partie inférieure mesure 28 cm de large ; sa hauteur est indéterminée ; le seuil de cette porte est à 7 cm au-dessus du seuil de l'ouverture (D) destinée à l'écoulement de la scorie ;
- au nord et au sud-ouest de la partie arrière de la cuve, à 10 cm au-dessus du terre plein, deux ouvertures (C) de tuyère pour activer la combustion du charbon de bois sur le creuset ; des fragments de tuyères retrouvés dans les débris de la cuve ont une ouverture intérieure de 2 cm de diamètre ; h. des tuyères au-dessus du seuil de la porte (B) : 24 cm ;
- du côté est, une ouverture probablement rectangulaire (D) (sa partie supérieure est détruite) destinée à l'écoulement de la scorie ; elle mesure 10 cm de large par 10 cm de haut (h. conservée) et se trouve à 45 cm de la partie inférieure de la cuve ;

Le creuset, à l'intérieur de la cuve, était détruit ; néanmoins sa hauteur nous est donnée par le seuil de l'ouverture d'écoulement de la scorie.

La goulotte (E) et le bassin (F) de récupération de la scorie sont situés à l'est de la cuve dans le prolongement de son ouverture (D) ; construits en pierres liées avec de l'argile, ils sont bien conservés. La goulotte s'élargit au sortir de la cuve avant de se raccorder au bassin ; elle mesure 26 cm de long par 10 à 14 cm de large et est inclinée de 15°.

Le bassin, plus large que la goulotte et de forme rectangulaire, mesure 54 cm de long par 28 cm de large ; l'inclinaison de son fond, ouest-est, fait un angle de 15° avec le niveau horizontal ; sa profondeur est de 17 à 27 cm ; une coulée de scorie était encore *in situ* dans sa partie inférieure.

La niche (G), de forme semi-circulaire, s'ouvre à 0,5 m de la partie arrière de la cuve ; une banquette de pierres recouverte de briques cuites en occupe tout l'espace intérieur et mesure 1,30 m de long par 0,50 m de profondeur ; sa hauteur au-dessus du terre-plein est de 0,50 m environ. Les seuls éléments qui permettent d'associer cette banquette à l'emplacement de la soufflerie sont : la situation des tuyères par rapport à la niche et au terre-plein, la disposition de la niche et l'écartement des tuyères. Une étude comparative avec des fours de même époque permettra, peut-être, d'en préciser les dispositions.

La forge

La forge comprend un fourneau et deux enclumes. L'ouverture circulaire du fourneau au niveau du sol est placée à 1 m des murs ouest et sud de l'atelier. Les deux enclumes sont situées au nord-est de l'ouverture du fourneau, l'une à 0,50 m et l'autre à 1,10 m. Elles sont distantes l'une de l'autre de 0,30 m.

Le fourneau comporte (fig. 13) :

- une cuve (A) presque cylindrique enterrée,
- au nord de la cuve et dans son axe, l'empreinte (B) d'une tuyère de soufflet,
- entre la cuve et le mur ouest de l'atelier, enfin, un bassin (C) rectangulaire allongé et étroit.

La cuve (A) est construite en briques cuites retailées pour que sa paroi ait une circonférence régulière. Ces briques sont paillées, mesurent 33 x 16 x 8 cm et sont liées au mortier d'argile et de paille. Le diamètre intérieur de la cuve est de 42 cm à la base et de 37 cm à sa partie supérieure ; sa hauteur est de 70 cm ; intérieurement elle est revêtue d'un réfractaire, composé d'argile, de quartz pilé et de paille, qui s'est vitrifié (a) au niveau du courant d'air envoyé par la tuyère. A l'ouest de la cuve, à sa partie supérieure, une ouverture rectangulaire de 16 cm de large par 8 cm de haut communique avec le bassin (C). La cuve était remplie de fragments de briques cuites, de *silt*, de scories à fer vermiculées, de déchets de fer et de charbon de bois. L'espace entourant l'ouverture de la cuve est dallé de briques cuites.

L'empreinte (B) de la tuyère du soufflet est imprimée sur une petite plate-forme rectangulaire constituée de deux briques cuites assemblées ; de forme semi-conique, elle est inclinée vers le centre de la cuve et présente un diamètre de 6 cm dans sa partie la plus étroite. La plate-forme mesure 34 cm de large par 38 cm de long et son élévation au-dessus de l'ouverture de la cuve est de 12 cm.

Le bassin rectangulaire (C) est situé dans le prolongement de l'ouverture supérieure de la cuve ; son côté nord, bien que détruit, peut être reconstitué entièrement. Le bassin est construit avec des briques cuites disposées verticalement ; ses dimensions intérieures sont : L. (en partant de l'intérieur de la cuve) 66 cm, l. 16 cm et prof. 10 cm environ. Il était entouré d'un dallage de pierre, au nord, et de briques cuites, au sud, et contenait des fragments de charbon de bois et des cendres.

Les deux enclumes (D) sont en basalte et mesurent respectivement 40 cm x 20 cm x 16 cm de h. pour la plus grande et 20 cm x 18 cm x 12 cm de h. pour la plus petite. L'absence d'outil de pierre dans l'atelier suggère que les marteaux utilisés pour marteler le métal étaient en fer. La grande enclume, par sa proximité du fourneau (0,50 m) et du bassin (0,70 m), appartenait à la forge. La plus petite, en revanche, éloignée du fourneau (1,20 m) et du bassin, (1 m) servait sans doute au concassage du minerai

Le bassin de trempe et ses installations d'écoulement de l'eau

Cet ensemble appartient à la forge par sa proximité (cf. *supra*). Il comporte :

- dans l'angle sud-est de l'atelier, à 1 m des murs, un bassin circulaire enterré dans le sol ; ce bassin est entouré d'un dallage de pierre ;
- entre le bassin et l'angle des murs, une aire triangulaire en dalles de pierre, inclinée nord-ouest/sud-est pour l'écoulement des eaux. Cet ensemble est protégé au nord par un muret, fait de trois blocs dressés, derrière lesquels on pouvait entreposer les réserves d'eau.

Le bassin est une céramique de terre cuite enterrée dans le sol. La forme de cette céramique est tronconique ; son ouverture est entourée d'un boudin ; son fond est plat et comporte une bonde rapportée ; son diamètre intérieur est : à la base, 34 cm, et à la partie supérieure, 54 cm ; sa profondeur est de 37 cm ; sa contenance était environ de 225 litres.

L'aire triangulaire mesure 1 m de large par 1 m de long ; faite de dalles de pierre jointives, sa surface générale se décompose en deux plans inclinés ramenant les eaux dans l'angle sud-est de la salle, où une canalisation les évacuait vers l'extérieur.

Traitement de l'or (époque arabe, IXe s.)

Des installations de traitement de l'or, une dizaine en tout, ont été inventoriées dans les différents secteurs de ouadi Dara et sont contemporaines les unes des autres. Toutes sont dissimulées dans des creux de terrain à proximité des mines. Il s'agit d'un ou plusieurs cercles de pierre abritant des tables de concassage et des moulins de broyage (atelier 6C, fig. 14).

L'or était associé au quartz et à l'hématite spéculaire, car tous les résidus de lavage (*tailings*) sont rouges. Le minerai était sans doute récupéré dans les déblais et ne provenait pas d'une reprise des travaux miniers. La technique et les outils utilisés sont toujours les mêmes : concassage du minerai sur des enclumes à plan concave avec des blocs parallélépipédiques, broyage dans des moulins en pierre, enfin lavage sur des tables inclinées avec des bacs de décantation et recyclage des eaux par un circuit de petits canaux en pierre.

Table de concassage et moulin de broyage

La table de concassage, en granodiorite, située au centre de l'atelier est enfoncée dans le sol (fig. 15). La roche minéralisée est écrasée à l'aide d'un concasseur, en basalte, de forme parallélépipédique. Les faces actives de ce concasseur comportent plusieurs cupules causées par l'usure. Une fois concassée, la roche est réduite à l'état de gravillon.

Dim. de la table : L. 50 cm, l. 45 cm, ép. 15 cm.
Dim. du concasseur : côté 10 cm ; diam. des cupules : env. 3 cm.

Fig. 14

Atelier 6D pour le traitement de l'or, vue SW-NE.

Au premier plan : cercle de pierre abritant la table de concassage et le moulin de broyage ; les murs de l'atelier sont en partie détruits. Au second plan : les *tailings* et la table de lavage ruinée. À l'arrière-plan : les abris des ouvriers creusés dans la falaise.

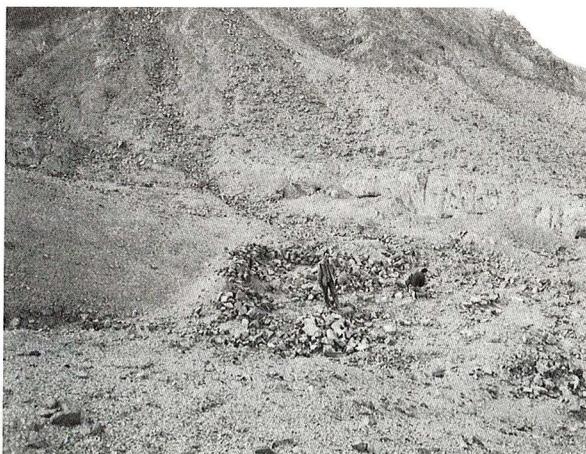
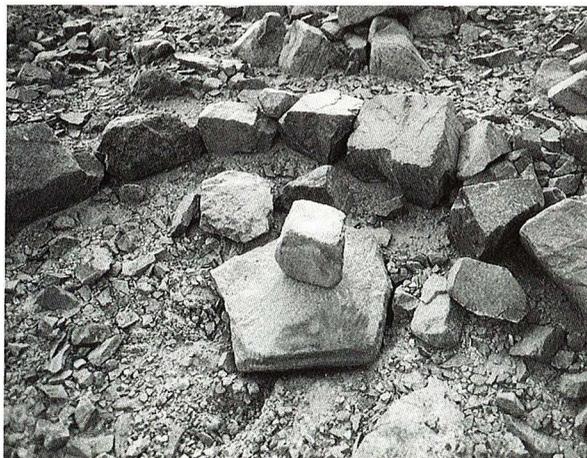


Fig. 15

Enclume en granodiorite et concasseur parallélépipédique en gabbro situés dans un cercle de pierre. Dimensions de l'enclume : 50 cm x 45 cm x 15 cm (h.) ; dimensions du concasseur : 10 cm de côté.



Le moulin, situé à proximité de la table de concassage, sert à moudre les gravillons pour les réduire en poudre (fig. 16). Il se compose d'un dormant en basalte et d'une meule rotative en granite.

Dim. du dormant : L. 76 cm, l. 60 cm, ép. 21 cm ; dim. du logement de la meule : diam. 40 cm, prof. 10 cm. Dim. de la meule : diam. 39 cm, ép. 13 cm.

Table de lavage

Le principe de la table de lavage est d'utiliser l'eau pour séparer par gravitation les particules aurifères lourdes des impuretés plus légères contenues dans la roche broyée. Construite en pierre et en argile, sa face supérieure, inclinée de 30° environ, était revêtue de planches ou de pierres plates rainurées, ou de peaux de mouton, pour retenir les particules aurifères. Au cours de cette opération, l'eau entraînait les impuretés dans un bassin de décantation puis, de là, une canalisation lui permettait de revenir à son point de départ. Cette disposition ingénieuse permettait à l'eau de tourner en circuit fermé tout en se recyclant. Le bassin et les canalisations étaient creusés dans le sol.

Un ouvrier placé à la tête de la table (sa partie la plus haute) versait un mélange pâteux d'eau et de roche broyée sur le plan incliné tandis qu'un autre le long de la table triait les résidus et récupérait la poussière d'or. L'ouvrier qui versait l'eau utilisait sans doute un appareil à balancier (*chadouf*) pour puiser l'eau dans le bassin et l'élever jusqu'au niveau de la table de lavage. La teneur en or de la roche minéralisée étant inférieure à 5 g/t, ce travail n'était pas rentable et a été abandonné.

Description d'une table de lavage, relevée à Um Balad (fig. 17) :

A : plate-forme dallée pour entreposer le minerai ; réemploi de deux enclumes dans le dallage. Dim. 1,3 m x 3,2 m.

B : aire de stockage du minerai broyé avant lavage ; surface triangulaire délimitée à l'est par une bordure de pierres plates (dim. des pierres : 23 cm x 15 cm x 6/8 cm) ; contiguë au bassin K et à la table de lavage E. Dim. 2,8 m x 2,8 m.

C : cercle de pierre contenant un stock de minerai recouvert de gravier. Dim. du stock : L. 1,5 m, l. 1,1 m, h. 0,55 m. À l'ouest du cercle : plate-forme surélevée. Dim. : 0,7 m x 0,7 m, h. 0,3 m.

D : réservoir d'eau de plan carré, enterré ; ses parois sont faites de pierres plates verticales. Dim.

intér. : côté 0,67 m, prof. indéterminée ; ép. pierres verticales : 8 cm.

E : table de lavage (avec plan de lavage en pente) constituée d'une masse de terre et de gravier prise entre deux murs de soutènement en pierre sèche ; chaque mur est fait de plusieurs assises de pierres plates ; l'épaisseur de ces assises décroît de bas en haut. Dim. des pierres de fondation : L. 50 cm ; l. 30/40 cm ; h. 25 cm. Le dessus de la table est détruit mais devait comporter des rigoles transversales (cf. *supra*). Dim. de la table : L. conservée : 4,3 m ; l. à la base : 1,15 et 1,33 cm ; h. : 0,5 m (4 assises conservées).

F : plate-forme du laveur permettant de placer la roche broyée sur la table et de verser l'eau. Dim. : 0,53 m x 0,17 m.

G et H : plates-formes latérales permettant de recueillir la poudre d'or déposée dans les rigoles de la table.

I : bassin servant à récupérer l'eau de lavage et à la faire décanter ; forme ovale ; parois faites de pierres verticales. Dim. : L. 2,1 m ; l. 1,6 m ; prof. : indéterminée.

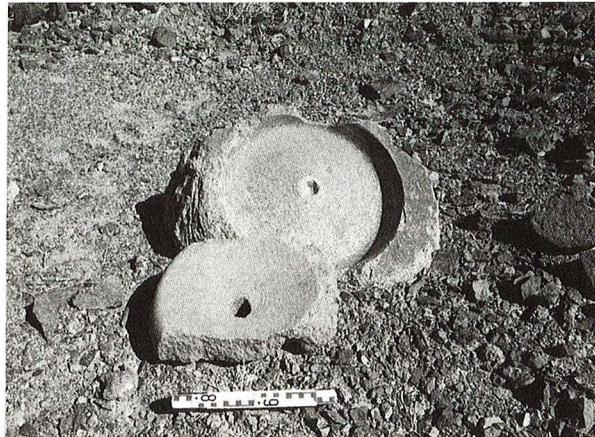


Fig. 16

Moulin de broyage : dormant en basalte et meule rotative en granite.

J : canalisation en pente ramenant l'eau du bassin I vers le bassin K. Les parois de la canalisation sont constituées de pierres plates verticales. Dim. de la canalisation : L. 5 m ; l. 0,20/0,25 m ; prof. indéterminée. Ouverture de la canalisation sur K : 0,12 m de large.

K : bassin de récupération de l'eau ; forme semi-circulaire ; parois faites de pierres verticales (dim. : 32 cm x 40 cm x 6 cm) ; fragment de moulin réemployé dans la bordure. Dim. du bassin : L. 1,70 m ; l. 1 m ; prof. 0,32 m.

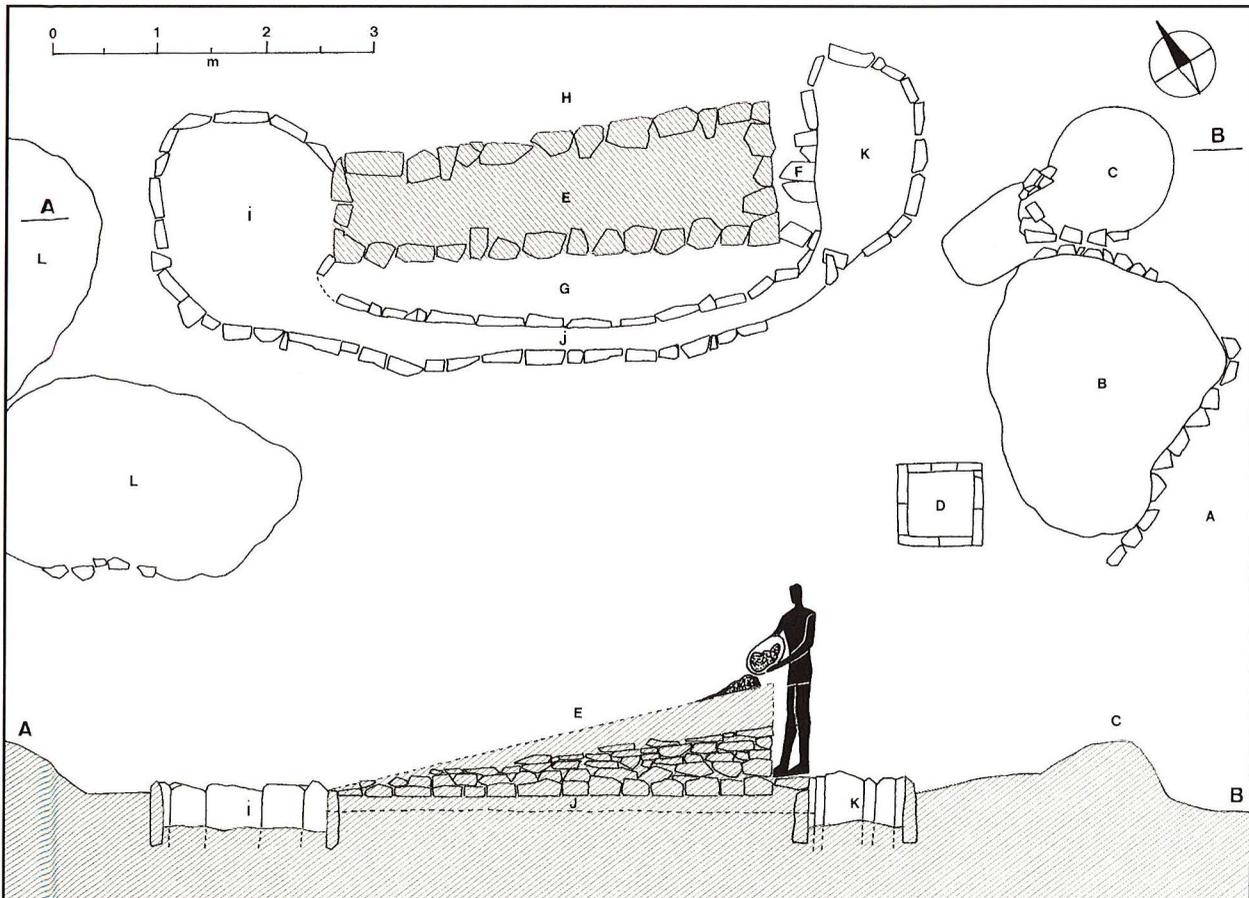


Fig. 17

Table de lavage ; plan et coupe (exemple emprunté aux mines de ouadi Um Balad). A - plate-forme de déchargement du minéral concassé ; B - aire de stockage du minéral ; C - stock de minéral ; D - réservoir d'eau ; E - table de lavage ; F - plate-forme du laveur ; G-H - plates-formes de manœuvre ; I - bassin de récupération et de décanter de l'eau ; J - canalisation ; K - bassin de récupération ; L-M - tailings. L'ouvrier qui était chargé de verser l'eau et le minéral concassé sur la table de lavage utilisait sans doute un appareil à balancier (chadouf) pour puiser l'eau dans le bassin K et la monter au niveau de la table.

L : *tailing* recouvert de 17 pierres plates et de gravier. Dim. : 2 m x 2 m.

M : *tailing* recouvert de gravier.

On peut toutefois se demander si la présence de l'or dans ces mines était connue à l'époque pharaonique et s'il était exploité. Actuellement, aucun vestige ne permet d'étayer cette hypothèse mais des *tailings* très anciens ont pu ne pas résister à l'action érosive du temps.

Conclusion

Cette étude des mines de ouadi Dara conduit à deux considérations : l'importance que représentaient les métaux pour les anciens Egyptiens et le souci qu'ils avaient de la rentabilité de leurs exploitations.

Les minéralisations de ouadi Dara, en effet, sont éloignées de plus de 200 km de la vallée du Nil. Situées au centre d'une région montagneuse, désertique, aride et hostile, elles sont difficiles d'accès. Elles occupent, par ailleurs, une surface réduite (moins d'un km²) et leur présence se devine difficilement dans les formations tourmentées de la montagne. Or les Egyptiens dès l'époque thinite ont su les voir et organiser des expéditions lointaines pour les exploiter. Enfin, ils ont imaginé des méthodes astucieuses de réduction et de traitement pour récupérer le minerai sur place.

Les minéralisations, ensuite, sont pauvres et leur exploitation se faisait au prix d'un effort considérable. Pour le cuivre, par exemple, on estime à 50 000 t le tonnage de roche excavée, mais en comparaison la quantité de minerai trié devait être très faible. Or, le cuivre à l'Ancien Empire a mérité cet effort considérable, ce qui n'a pas été le cas du fer à l'époque romaine, ni de l'or à l'époque arabe. Cet effort cependant ne s'est pas poursuivi après l'Ancien Empire, en raison sans doute de la concurrence de mines plus rentables relativement proches comme Timna.

De ces considérations il ressort que l'Égypte utilisait au mieux ses ressources minérales propres, surtout à l'époque prépharaonique et au début de l'Ancien Empire. Les mineurs et métallurgistes de l'époque pharaonique, même si les échanges d'idées et de techniques avec les pays voisins étaient courants, ont su faire preuve d'imagination originale. Ils ont ainsi participé, comme dans tant d'autres domaines, au développement technologique d'une activité fondamentale dans l'histoire de l'humanité.

Bibliographie

- Bachman, 1980 : Bachman H.G., Early copper smelting techniques in Sinai and in the Negev as deduced from slags investigations, *Scientific studies in early mining and metallurgy*, Craddock P.T. éd., British Museum, Londres, 20, 1980, p.109-164.
- Castel et al., 1984 : Castel G., Gout J.F., Soukiassian G., Découverte de mines pharaoniques au bord de la mer Rouge, *Archéologia*, 192-193, 1984, p.43-57.
- Castel et al., 1988 : Castel G., Pouit G., Soukiassian G., Les mines pharaoniques de Gebel Zeit (Égypte) dans le Miocène du rift de la mer Rouge, *Chron. rech. min.*, 492, 1988, p.19-32.
- Castel, Mathieu, 1992 : Castel G., Mathieu B., Les mines de cuivre de ouadi Dara, *Bull. Inst. français d'archéo. orientale*, 92, 1992, p.51-65.
- Castel, Soukiassian, 1990 : Castel G., Soukiassian G., *Gebel Zeit ; I : les mines de galène*, Institut français d'archéologie Orientale du Caire, 1990, 140 p. (vol. II à paraître).
- El Aref, Amstutz, 1983 : El Aref M.M., Amstutz G.C., Lead-zinc deposits in Egypt, Symposium sur les gisements de Pb-Zn en Afrique, *Annales des Mines et de la Géologie*, 23, Serv. géol. Tunisie, 1983, p.245-275.
- Pouit, Castel, 1994 : Pouit G., Castel G., Les anciennes mines et la paléoméallurgie du cuivre, du fer, de l'or, dans le désert oriental d'Égypte, *Géologues, revue de l'Union française des géologues*, 104, 1994, p.39-45.
- Rothenberg, 1990 : Rothenberg B., *The ancient metallurgy of copper*, Research in the Arabah, Thames et Hudson éd., Londres, 2, 1990.
- Stole-Gale, Gale, 1981 : Stole-Gale Z.A., Gale N.M., Sources of galena, lead and silver in predynastic Egypt, *Radiometric Review*, E, 1981, p.285-295.
- Tawab et al., 1990 : Tawab M.A., Castel G., Pouit G., Archéogéologie des anciennes mines de cuivre et d'or des régions El Urf-Mongul-sud et Dara-ouest, *Bull. Inst. français d'archéo. orientale*, 90, 1990, p.359-376.