

CENTRE FRANCO-ÉGYPTIEN
D'ÉTUDE DES TEMPLES DE
KARNAK
LOUQSOR (ÉGYPTE)
USR 3172 du Cnrs



المركز المصري الفرنسي
لدراسة معابد الكرنك
الاقصر (مصر)

Extrait des *Cahiers de Karnak* 11, 2003.

*Avec l'aimable autorisation de Éditions Recherche sur les Civilisations (Adpf/MAEE).
Courtesy of Éditions Recherche sur les Civilisations (Adpf/MAEE)*



MATÉRIAUX EMPLOYÉS PAR THOUTMOSIS III POUR UN REPOSOIR DE BARQUE

Daniel LE FUR †

De nombreuses chapelles, statues, éléments architecturaux ont été érigés à Karnak au Nouvel Empire. Il existe souvent une ambiguïté concernant la nature des roches employées. L'une des chapelles, celle d'Amenhotep I^{er}, reconstruite au musée de Plein Air, est couramment dénommée « chapelle d'albâtre ». Lors d'une nouvelle restauration engagée en 1988, l'analyse d'échantillons a montré qu'elle était, en réalité, en calcite¹.

Des prélèvements ont été effectués sur cinq chapelles datées (en cours d'étude), afin de les comparer à un échantillon provenant d'une carrière de la région de Minieh en Moyenne-Égypte (pl. I a-b).

I. IDENTIFICATION DES ROCHES EMPLOYÉES DANS LES CHAPELLES DITES EN ALBÂTRE À KARNAK

1. *Calcite et albâtre : définitions*

La calcite, roche transparente et incolore lorsqu'elle est pure (spath d'Islande), possède une propriété optique remarquable : la double réfraction. Sa couleur varie d'un jaune miel à un jaune brun, alors que celle des variétés massives est d'un blanc laiteux. Ce carbonate de calcium (CaCO_3) cristallise dans le système rhomboédrique (R3C) sous forme prismatique ou en aiguille. Le calcium peut être remplacé par divers éléments, tels le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cobalt (Co), le magnésium (Mg), le fer (Fe), qui donnent alors d'autres compositions possibles² : la magnésite (MgCO_3), la sidérite (FeCO_3), la mossottite (strontium), la nicholsonite (zinc) ou la tarnowitzite (plomb).

1. D. Le Fur, S. Lemoine, « La restauration de la chapelle d'Aménophis I^{er} à Karnak », *Revue de l'ARAFU* 5, 1993, p. 26-30.

2. P. Bariand, F. Cesbron, J. Geffroy, *Les minéraux*, t. 2, Éditions du BRGM, Meung-sur-Loire, 1978, p. 173.

La calcite blanche peut également avoir une légère teinte rose (calcite cobaltifère), mauve ou violette (manganèse), ou parfois bleue à bleu verdâtre et même verte (sels de cuivre, par mélange microscopique avec du cuivre).

Une autre roche apparentée à la calcite, l'aragonite³, s'en différencie par une forme polymorphique du carbonate de calcium. Elle cristallise dans le système rhomboédrique (Pmcn). Contrairement à la calcite, l'aragonite est habituellement assez pure, mais peut aussi contenir jusqu'à 40 % d'oxydes de strontium (SrO). Elle n'est pas attestée en Égypte. Le marbre et le travertin sont également des variétés de calcite.

En revanche, l'albâtre est une roche gypseuse, $\text{Ca}(\text{SO}_4)2\text{H}_2\text{O}$, d'une nature complètement différente de celle de la calcite. Les variétés translucides cristallisées constituent les albâtres, et les variétés fibro-concrétionnées, les onyx. C'est donc une roche qui n'est aucunement apparentée aux carbonates, contrairement à ce qu'affirme G. Jéquier⁴. Dans son étude, A. Lucas précise ce point et fait nettement la distinction entre les sulfates et les carbonates⁵.

2. Prélèvements des échantillons et analyses (pl. I a-b)

Sur chaque chapelle a été prélevé un microfragment de quelques mm³ de roche qui menaçait de se détacher des parois. Les numéros attribués à chaque échantillon sont les suivants :

N°	Provenance	Remarques sur la formation géologique de la calcite
Éch. 1	Chapelle d'Amenhotep I ^{er}	Plissé - cavités
Éch. 2	Chapelle d'Amenhotep II	Plissé - cavités
Éch. 3	Chapelle de Thoutmosis III (blocs épars)	Plissé - cavités
Éch. 4	Chapelle de Thoutmosis III du Lac	Plissé - cavités, échantillon moins translucide que les autres, plus compact, blanc
Éch. 5	Chapelle de Thoutmosis IV	Stratifié - cavités
Éch. 6	Carrière de la région de Minieh	

En fonction des variations de température, la calcite possède la particularité de se dilater selon deux directions, et de se contracter suivant une seule. Grâce à de multiples essais, N. Klimis (1988) a suivi ce phénomène qui se manifeste par des désordres dès 60 °C. À Karnak, pendant l'été, la température dépasse souvent cette valeur sur les parois des monuments⁶. La calcite peut également s'altérer facilement par dissolution par les eaux chargées de gaz carbonique atmosphérique (CO_2), selon la réaction : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$, puis $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{++} + 2\text{HCO}_3^-$. Ce phénomène peut facilement se produire en Haute-Égypte, où des pluies torrentielles sont encore tombées, par exemple, en 1994 et 1995.

3. *Id.*, *op. cit.*, p. 178.

4. G. Jéquier, *Matériaux pour servir à l'établissement d'un dictionnaire d'archéologie égyptienne*, IFAO, Le Caire, 1922, p. 92-93.

5. A. Lucas, *Ancient Egyptian Materials and Industries*, Edward Arnold, Londres, 1962, p. 59-61.

6. G. Martinet, *Grès et mortiers du temple d'Amon à Karnak*, LCPC, Paris, 1992, p. 32.

Un rapide essai qualitatif d'identification a été réalisé sur chaque échantillon à l'aide d'une solution d'acide nitrique (10 % HNO_3); tous ont instantanément réagi par une forte effervescence caractérisant la présence d'une roche carbonatée. À ce stade de l'identification, il s'est avéré indispensable d'effectuer une analyse qualitative et quantitative des éléments présents, afin de pouvoir comparer tous ces échantillons entre eux⁷. La méthode retenue a été l'analyse spectrométrique standard (26 éléments dosés). Chaque échantillon est préalablement mis en fusion avec LiBO_2 et HNO_3 en dissolution. Les éléments majeurs et mineurs ainsi que le scandium (Sc) sont dosés par ICP-émission. Les autres éléments traces sont mis en évidence par ICP-MS. Un géostandard international permet de contrôler l'étalonnage des résultats.

La comparaison des six échantillons de calcite montre que ceux-ci ont tous une composition semblable (pl. I a), caractérisée par CaO associé à des oxydes, dont le pourcentage est donné pour chaque élément. On peut remarquer également un très faible écart entre les valeurs de CaO (de 55,16 % à 55,92 %). La présence de magnésium (Mg) dans tous les échantillons (0,2 % à 1,1 %) met en évidence la présence de magnésite, en très faible quantité. La régularité du taux de l'élément traces scandium (Sc, 4 ppm à 5,2 ppm) serait également un facteur montrant la même origine géologique des six échantillons. L'analyse de nombreux éléments traces (pl. I b) confirme ces résultats, avec une concentration de strontium nettement plus importante pour tous les échantillons (de 102 à 319 ppm).

La calcite proviendrait de Moyenne-Égypte (pl. II) et daterait sans doute de l'ère pliocène⁸. À environ 160 km au sud, se trouvent les anciennes carrières de Hatnoub. À l'est de Tell el-Amarna, on a également identifié des zones d'exploitation, dont certaines possèdent des inscriptions datant de la IV^e dynastie au Nouvel Empire. Dans le but de localiser la provenance des pierres employées dans l'Antiquité, R. et D. Klemm ont collecté, de 1977 à 1981, mille échantillons provenant de plus de 400 carrières, puis ils les ont comparés à la pierre utilisée dans les sculptures et les monuments de l'ancienne Égypte. Deux types de calcite ont été mis en évidence à l'aide d'un microscope électronique à balayage, celle de Minieh et celle de Ma'abda⁹. Les deux échantillons compacts montrent une morphologie des cristaux de calcite très petite, avec une porosité relativement importante (pl. III). Les photographies obtenues l'ont été à fort grandissement ($\times 4590$). Afin de pouvoir comparer nos résultats, la morphologie de nos échantillons a été également étudiée au MEB¹⁰ (pl. IV-V).

On distingue deux groupes d'échantillons. Les premiers présentent des monocristaux avec des plans de clivage non maclés (échantillons 1, 3, 6), dans lesquels apparaissent des figures géométriques montrant des angles droits de rupture. Les échantillons du deuxième groupe (échantillons 2, 4, 5) sont moins cristallisés et plus compacts : mais, néanmoins, des plans préférentiels apparaissent sur certains clichés. Cela confirme que la cristallisation de la calcite dans une carrière peut être différente suivant les filons

7. Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Service d'Analyse des Roches du CNRS, 54501 Nancy. Méthode ICP : torche à plasma, MS : spectrométrie de masse.

8. G. Martinet, *op. cit.*, p. 30.

9. R. Klemm, D. Klemm, *Die Steine der Pharaonen*, Staatliche Sammlung Ägyptischer Kunst, Munich, 1981.

10. Microscope électronique à balayage Jeol-JSM 840 équipé d'un détecteur de rayons X, Edax. Laboratoire de Physique des Plasmas, Orsay, Unité Décharge et Environnement, collaboration, R. Haug, directeur de recherche au CNRS.

analysés, mais que la structure chimique reste la même pour tous les échantillons (CaCO_3). Les cinq chapelles sont en calcite, et cette dernière est apparentée à celle que l'on trouve dans les carrières près de Minieh.

II. ANALYSE DES ÉLÉMENTS D'UNE CONTRE-CRAPAUDINE EN BRONZE DE LA CHAPELLE EN CALCITE DE THOUTMOSIS III

Le linteau d'une des portes de la chapelle possède encore les cavités de contre-crapaudines permettant l'installation des vantaux de porte. L'une d'entre elles est encore pourvue de la bague métallique (épaisseur : 1 cm ; profondeur : 10 cm) dans laquelle venait se loger le gond supérieur de la porte¹¹ (pl. VI).

Quelques prélèvements ont permis d'identifier la nature du métal : la bague est en bronze (pl. VII a), avec, en surface, des produits de corrosion identifiés comme étant des oxydes et des chlorures (pl. VII b). À l'intérieur de la bague, il restait quelques traces d'enduit blanc, un mélange de plâtre, de silice et d'oxydes de fer (pl. VII c). Dans la gorge ne possédant plus de bague, il restait encore l'enduit de scellement, qui s'est avéré être constitué de plâtre, silice, et feldspaths. C'est un enduit très fin et très compact (pl. VII d). Il était vraisemblablement coulé dans les deux petits orifices visibles à la partie supérieure de la gorge. L'utilisation du lait de plâtre était très courante à cette époque.

BIBLIOGRAPHIE

- Jiří KOURIMSKÝ, *Minéraux*, Gründ, Prague, 1977.
 Frederick H. POUGH, *Guide des roches et minéraux*, Delachaux et Niestlé, Paris, 1979.
 Rudolf DUDA, Lubos REJL, *La grande encyclopédie des minéraux*, Gründ, Prague, 1987.
 Gaston BOUVET, *Les minéraux et pierres précieuses*, Éditions du Rocher, Monaco, 1989.
 Thierry DE PUTTER, Christina KARLSHAUSEN, *Les pierres utilisées dans la sculpture et l'architecture de l'Égypte pharaonique, guide pratique illustré*, Connaissance de l'Égypte ancienne, Bruxelles, 1992.
 James A. HARRELL, « Misuse of the the Term "Alabaster" in Egyptology », *GM* 119, 1990, p. 37-42.
 N. KLIMIS, « Étude en laboratoire de l'atténuation des ondes longitudinales. Application à la caractérisation géotechnique des roches », *LCPC, Rapports des Laboratoires, Série Géotechnique*, GT 28, Paris, 1988.

11. E. Arnaudès-Montélimard, « Un reposoir de barque en calcite édifié par Thoutmosis III dans le temple d'Amon-Ré à Karnak », *Karnak XI*, 2003, p. 166-169, fig. 3 b et 4.

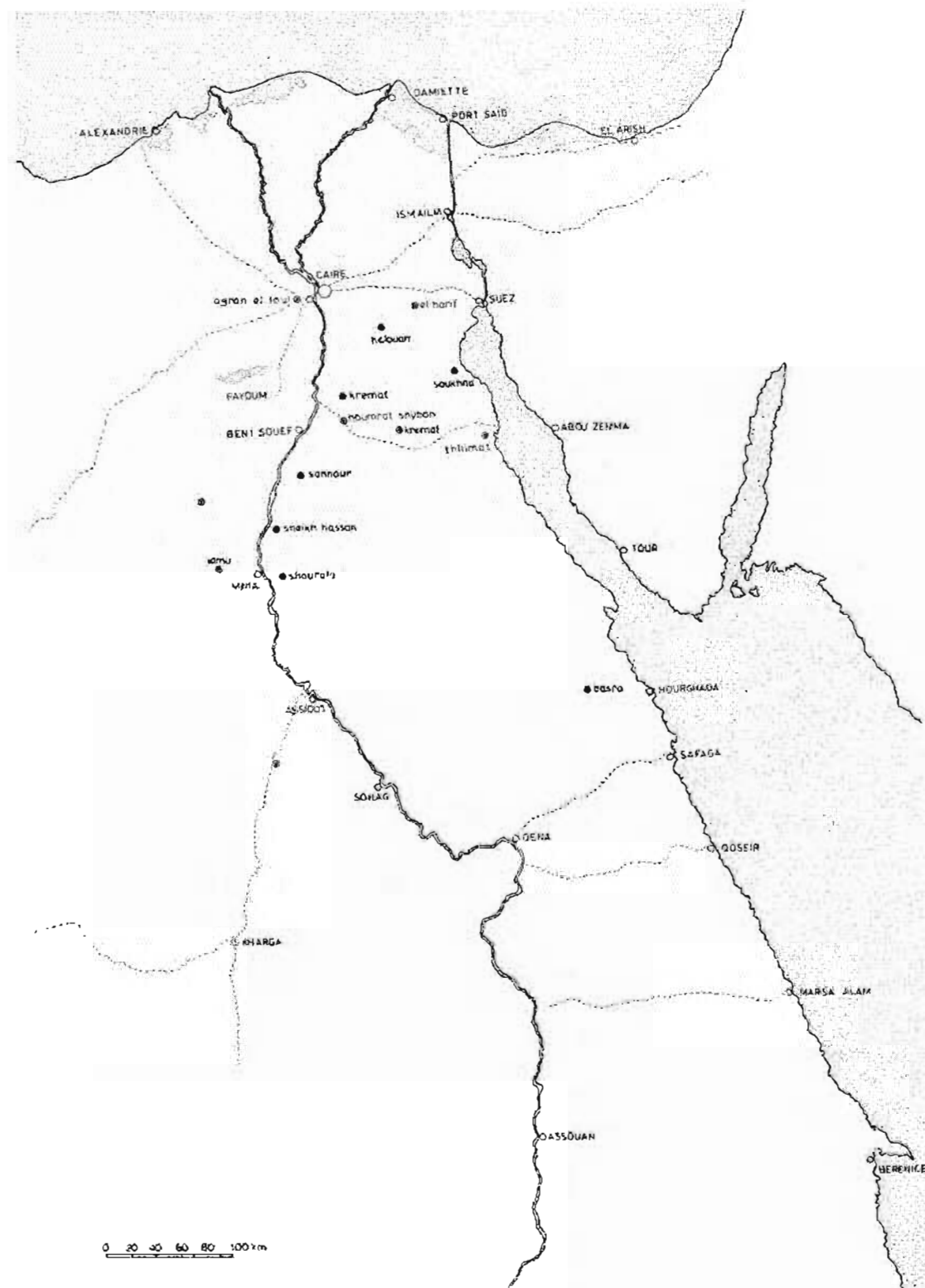
en %	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0,06	traces	traces	traces	traces	traces
Al ₂ O ₃	0,03	traces	0,02	traces	0,02	traces
Fe ₂ O ₃	traces	traces	traces	traces	traces	traces
MnO	traces	traces	traces	traces	traces	traces
MgO	0,73	0,75	0,67	1,1	0,94	0,2
CaO	55,66	55,69	55,16	55,78	55,56	55,92
Na ₂ O	traces	traces	traces	traces	traces	traces
K ₂ O	traces	traces	traces	traces	traces	traces
TiO ₂	traces	traces	traces	traces	traces	traces
P ₂ O ₅	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05
Perte au feu	42,48	42,64	42,58	42,65	42,58	42,91
Total	99,04	99,16	98,5	99,6	99,17	99,08
Se ppm	5	4,1	5,2	4,7	4,3	4

a. Analyse des six échantillons (émission-ICP).

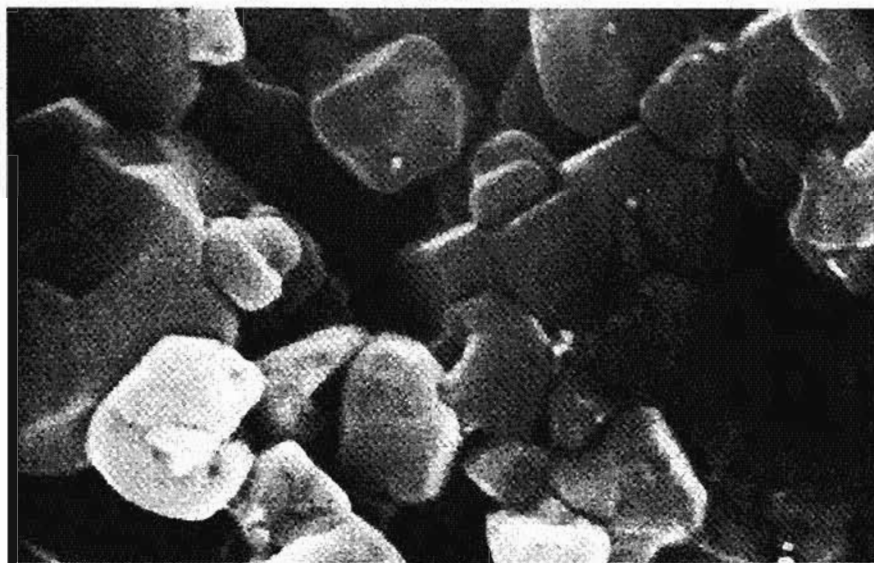
en ppm	1	2	3	4	5	6
Ba	2,07	1,04	1,21	4,55	3,15	9,86
Be	0,0	0,0	0,06	0,06	0,11	0,17
Co	0,25	0,19	0,21	0,19	0,19	0,28
Cr	2,97	2,49	1,93	2,43	2,89	0,0
Cu	6,91	7,4	12,7	7,81	5,18	4,94
Ga	0,07	0,03	0,04	0,06	0,04	0,0
Nb	0,09	0,0	0,0	0,0	0,01	0,03
Ni	10,0	9,85	10,1	11,3	10,2	11,7
Rb	0,59	1,7	0,99	0,84	3,53	0,87
Sr	102	106	105	319	191	241
Th	0,11	0,18	0,29	0,09	0,0	0,04
V	0,92	1,18	1,13	0,85	0,73	0,19
Zn	14,6	13,9	17,8	8,84	7,38	2,15
Zr	0,69	0,28	0,11	0,01	0,04	0,19

b. Analyse des six échantillons (ICP-MS).

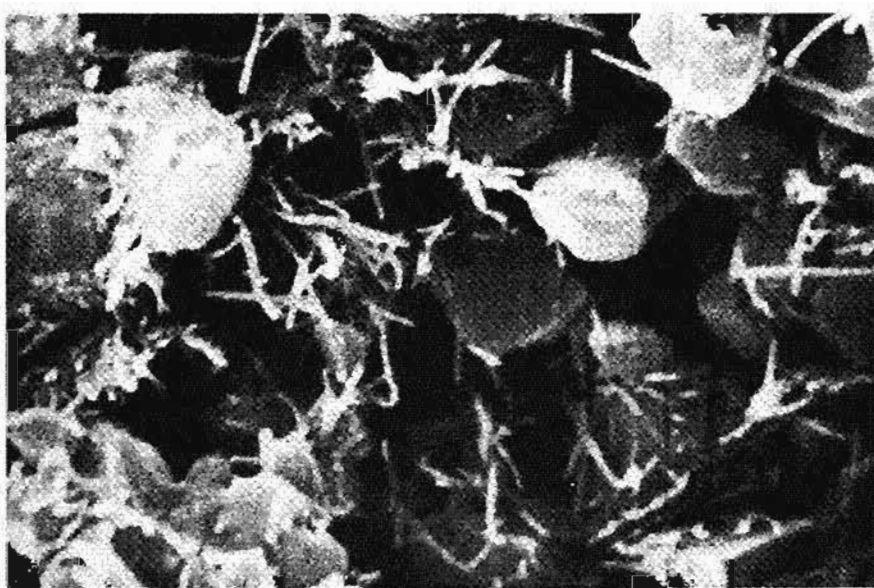
Tableaux d'analyse des six échantillons de calcite prélevés à Karnak.



Les carrières de calcite en Égypte.
D'après Egyptian Geological Survey, *Map and Exploratory List*,
Ministry of Industry and Mineral Wealth, Le Caire, 1979.

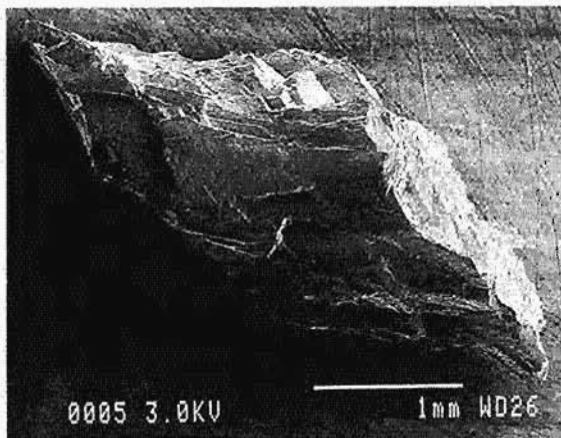


a. Échantillon provenant de la carrière de Minieh (x 3672).

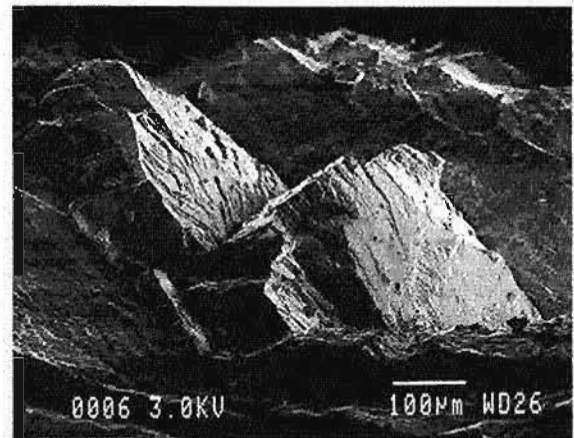


b. Échantillon provenant de la carrière de Ma'abda (x 3672).

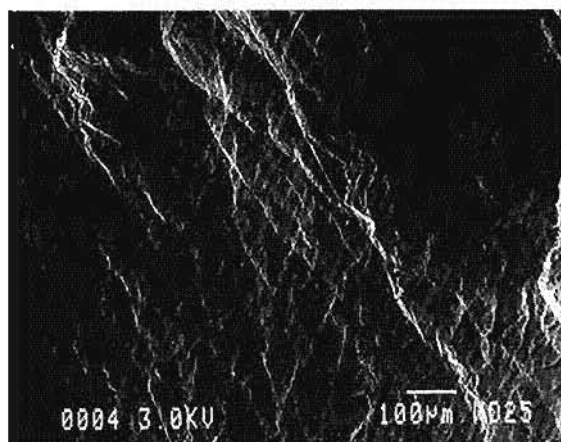
Morphologie et porosité des cristaux de calcite au MEB (*reproduction IFAO*).
Échantillons analysés par R. et D. Klemm.



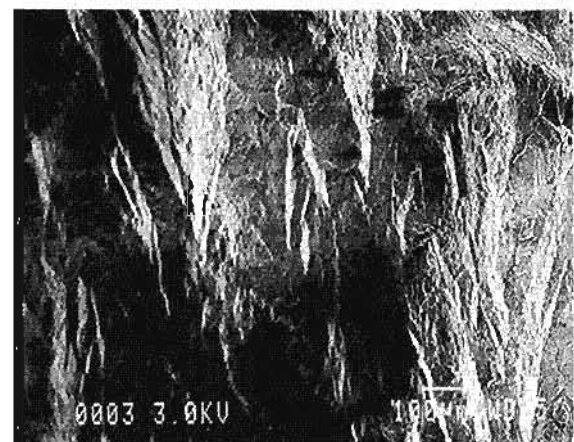
a. Éch. 4, chapelle de Thoutmosis III du Lac (x 20).



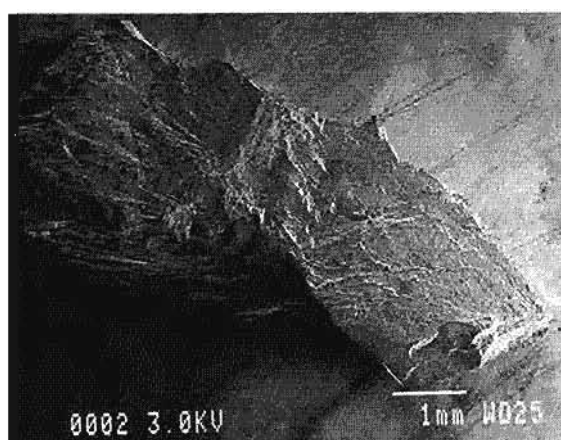
b. Éch. 4, chapelle de Thoutmosis III du Lac (x 100).



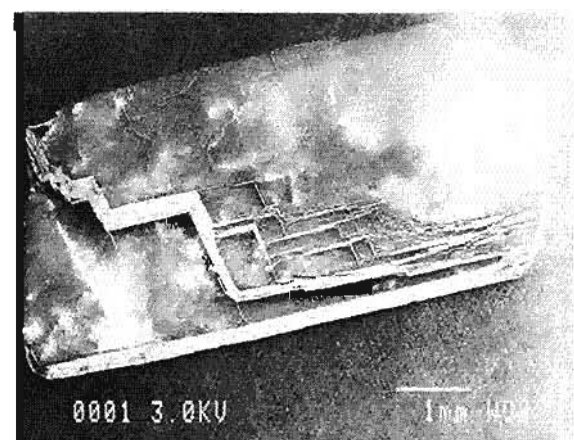
c. Éch. 5, chapelle de Thoutmosis IV (x 66).



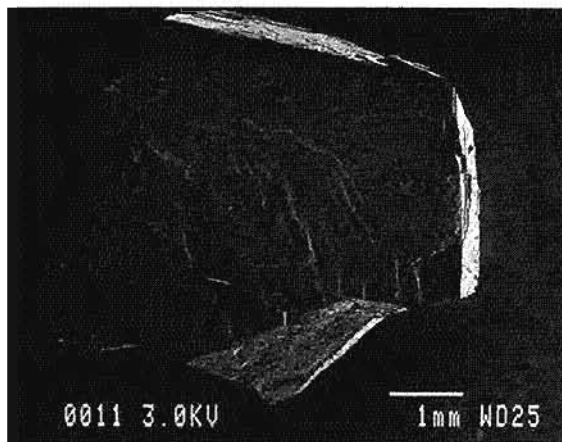
d. Éch. 5, chapelle de Thoutmosis IV (x 66).



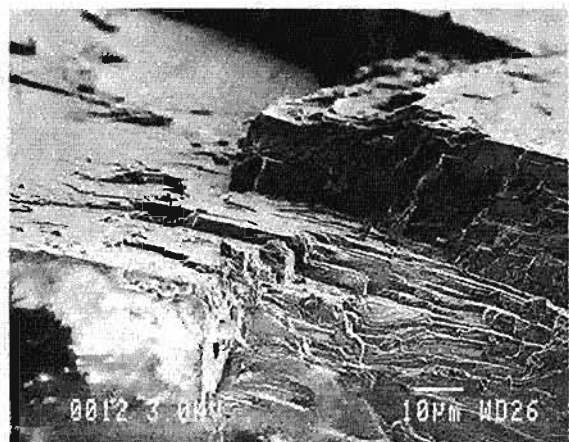
e. Éch. 5, chapelle de Thoutmosis IV (x 10).



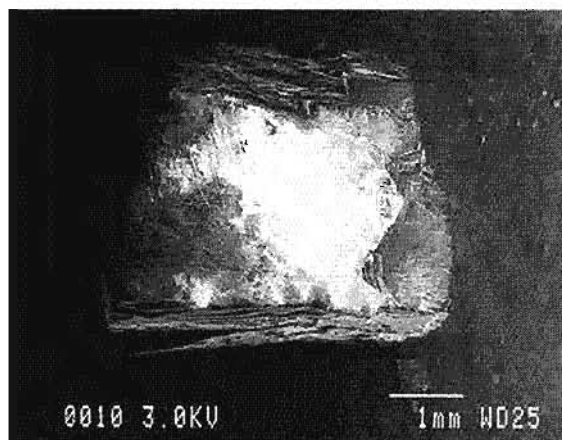
f. Éch. 6, carrière de Minieh (x 10).



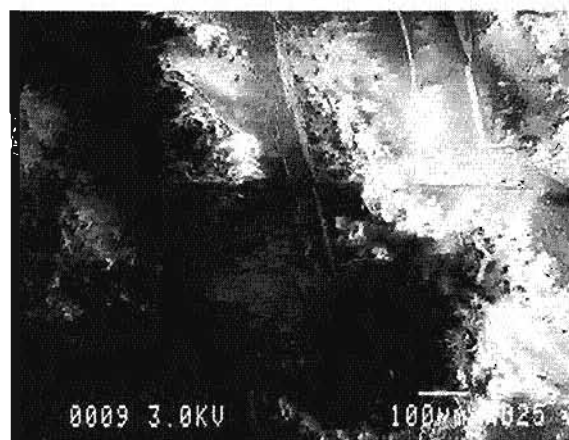
a. Éch. 1, chapelle d'Amenhotep I^{er} (x 10).



b. Éch. 1, chapelle d'Amenhotep I^{er} (x 666).



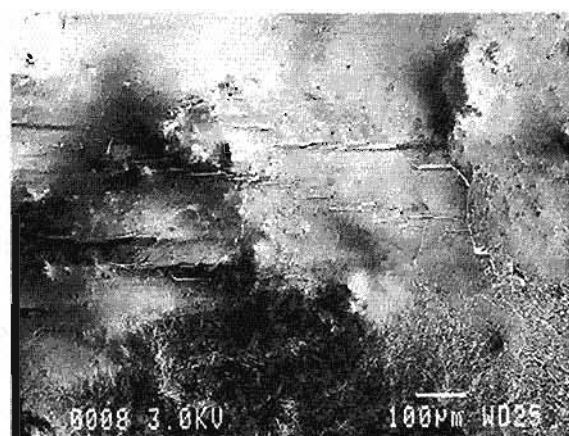
c. Éch. 2, chapelle d'Amenhotep II (x 10).



d. Éch. 2, chapelle d'Amenhotep II (x 66).

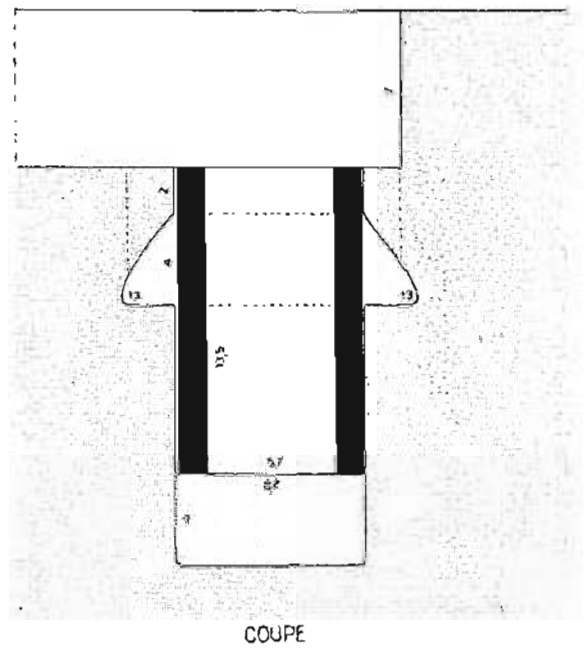
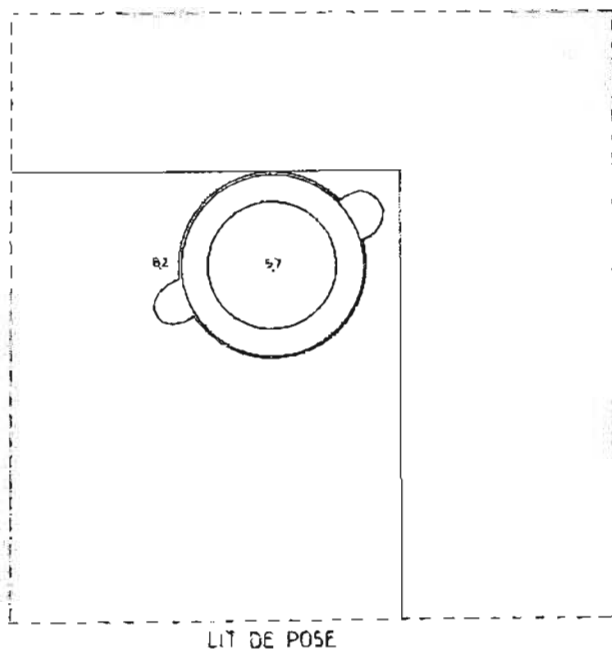


e. Éch. 3, chapelle de Thoutmosis III (x 10).



f. Éch. 3, chapelle de Thoutmosis III (x 66).

Morphologie des cristaux de calcite au Microscope Électronique à Balayage (MEB).



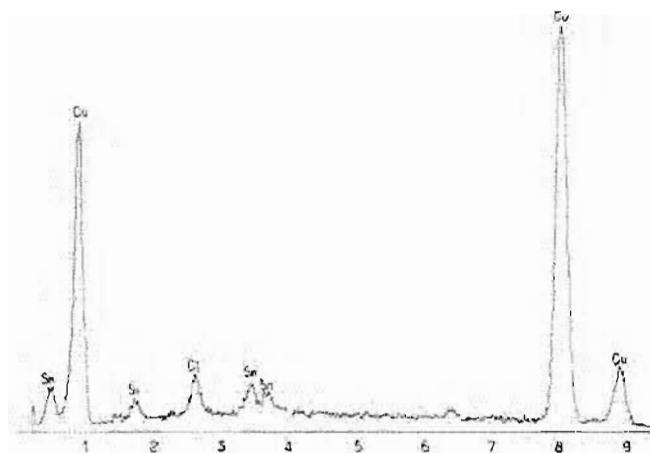
a. Schéma de la mortaise (plan et coupe).



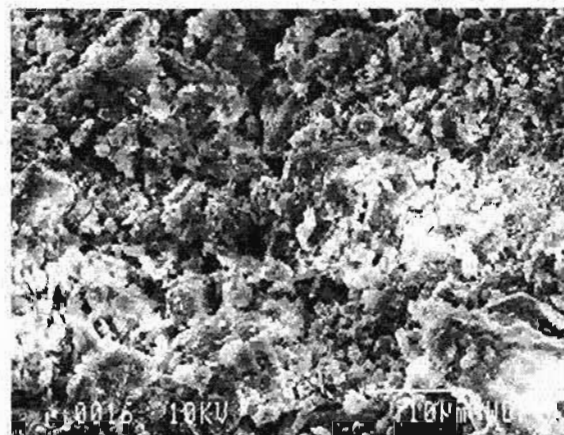
b. Bague en bronze en place (ép. : 1 cm).



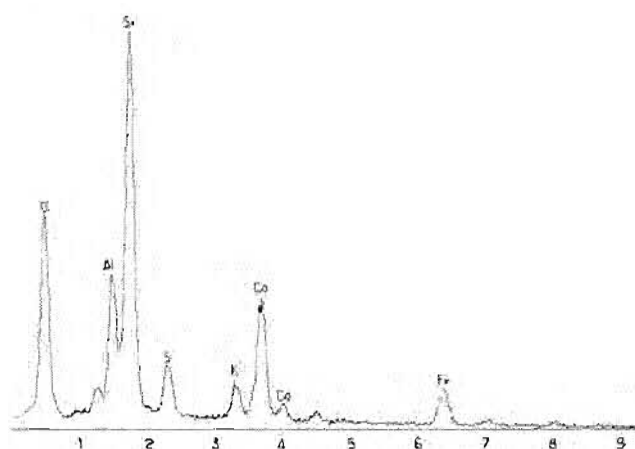
c. Mortaise contenant la bague en bronze.



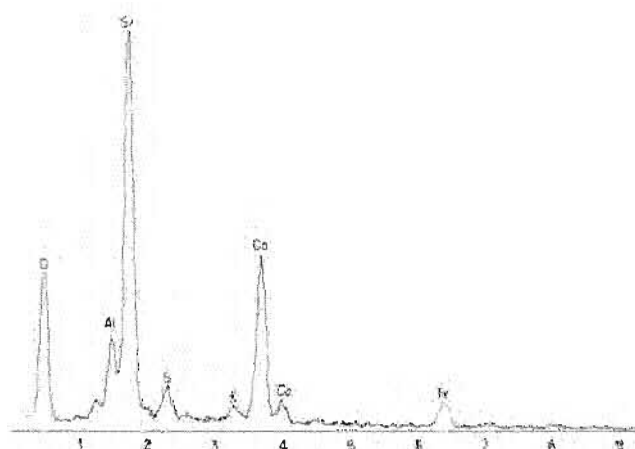
a. Contre-crapaudine en bronze (Cu-Sn).



b. Corrosion active en surface (oxydes et chlorures).



c. Enduit à l'intérieur de la gorge (plâtre, silice).
Présence d'impuretés dans le sable servant de charge inerte (Ca, S, Si, Fe, Al, K).



d. Enduit de scellement (plâtre, silice, feldspaths).
Présence d'impuretés dans le sable servant de charge inerte (Ca, S, Si, Fe, Al, K).

Identification de la nature de la hague et de ses enduits de scellement
(chapelle en calcite de Thoutmosis III).