

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* 10, 1995.

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



CONSERVATION D'UNE SEMELLE DE MÂT À ORIFLAMMES DU IX^e PYLÔNE

Daniel LE FUR, Pascal MARITAUX

Cet objet a été découvert en décembre 1978 au cours de la fouille qui a précédé le démontage des assises inférieures du IX^e pylône¹ (fig. 1). Il se trouvait dans la niche ouest de mât du môle occidental. Cette plaque métallique de forme semi-circulaire et de quelques millimètres d'épaisseur est la moitié subsistante de la semelle d'un mât à oriflammes d'un diamètre originel d'environ 150 cm. Depuis sa découverte, elle était entreposée au laboratoire de restauration du CFEETK.



Fig. 1. — La semelle en place lors de sa découverte en 1978.

1. Rapport de fouille et étude : C. Traunecker, M. Azim, « Un mât du IX^e pylône au nom d'Horemheb », *Karnak VII*, 1982, p. 75-92.

Trois types d'éléments la constituent :

a. La partie conservée de la semelle, gravée au centre de la face inférieure de deux cartouches d'Horemheb (fig. 2) surmontés des doubles plumes royales et placés sur les signes de l'or. Elle conserve encore partiellement un bord rabattu à angle droit (environ 1 cm) qui venait ceindre la base du mât.

b. Les têtes et partiellement les tiges des clous qui la fixaient au mât, répartis irrégulièrement sur sa périphérie et en encadrement des cartouches.

c. Des fragments encore en place de la partie inférieure du collier, cloué en superposition de la semelle et du manchon inférieur du mât et qui rendait solidaires ces deux pièces (fig. 3).

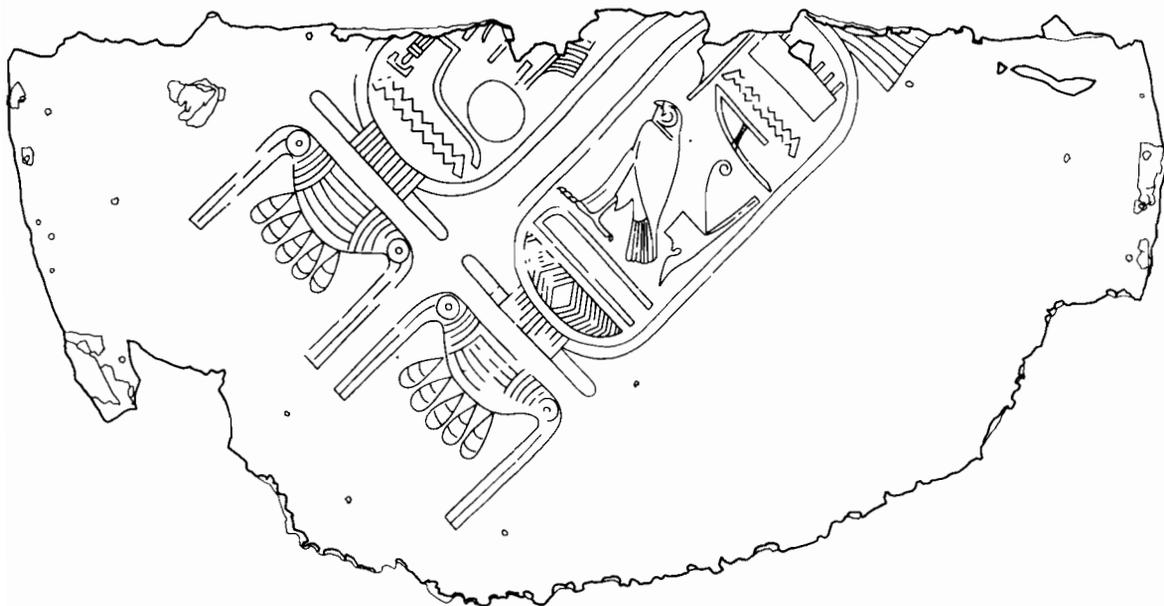


Fig. 2. — Face inférieure de la semelle portant le double cartouche d'Horemheb.

NATURE DU MÉTAL

Le rapport de C. Traunecker et M. Azim² indique qu'il s'agissait d'un alliage de cuivre et d'étain, comportant des traces d'antimoine et d'arsenic, c'est-à-dire du bronze. L'analyse d'un échantillon en spectrométrie X dispersive³ a récemment démontré que la semelle était constituée en réalité de cuivre presque pur, sans trace des autres éléments.

I. ÉTAT DE CONSERVATION

La semelle présentait en 1990 des altérations de nature et d'origine très différentes. Celles-ci étaient principalement de deux types.

2. *Karnak VII*, 1982, p. 84.

3. Analyse réalisée en 1986 par les laboratoires d'Études et de Recherches d'EDF.

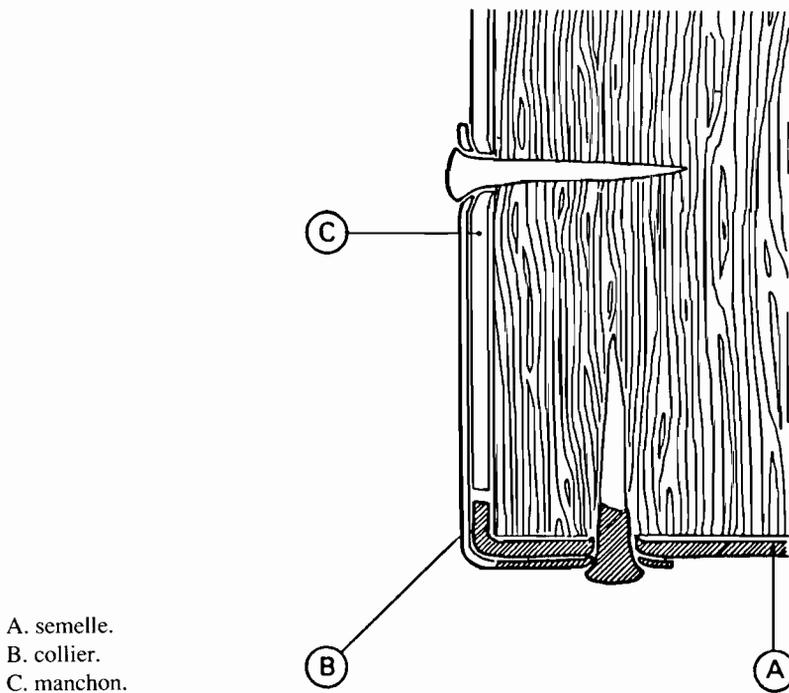


Fig. 3. — Coupe restituée à travers le placage de l'embout (échelle 1/1).

LA CORROSION

Principe de la corrosion des métaux

Les métaux existent rarement à l'état natif. Ils sont la plupart du temps extraits de minerais par divers procédés métallurgiques (réduction en présence de carbone dans le passé, par électrolyse plus récemment). Si le minerai constitue un état stable ou du moins une étape vers la stabilité dans le milieu ambiant, le métal est en rupture avec celui-ci. Il est le site privilégié de réactions, par lesquelles il tend à retourner vers un état stable, c'est-à-dire sa forme minérale. On nomme donc corrosion les processus chimiques et électrochimiques qui séparent un objet conservé et le même objet complètement minéralisé.

Corrosion du cuivre

Bien qu'existant à l'état natif, le cuivre est plus répandu sous la forme de minerais oxydés tels que la cuprite, la malachite et l'azurite. Suivant le principe précédemment énoncé, ces mêmes matériaux se retrouvent comme produits de transformation dans le processus de corrosion : le cuivre commence par se recouvrir d'une couche d'oxydes, qui s'épaissit avec le temps jusqu'à former une masse compacte rouge pourpre, la cuprite. Cette couche peut parfois présenter des incrustations de carbonates basiques, de couleur verte ou bleue, répondant aux formules de la malachite et de l'azurite. Ces produits d'oxydation sont stables en l'absence de chlore, qui constitue l'agent actif de la corrosion du cuivre. En effet, en présence d'humidité et d'oxygène, le chlore se transforme en chlorure basique de cuivre et se développe, en surface, sous forme de taches poudreuses vertes, et, sous la couche de cuprite, en plaques dures et compactes et parfois jusque dans le noyau métallique, sous une forme granulaire.

La corrosion est essentiellement une réaction du métal à son milieu ambiant. Cependant, cette réaction n'est pas continue. Après un certain temps, dans un milieu de conservation stable, le processus ralentit et s'arrête quand les deux parties sont en équilibre. Mais si cet état est modifié, à l'occasion d'une fouille par exemple, le processus de minéralisation reprend son cours.

Observation des matériaux de corrosion

Examen de surface

La face ciselée de la semelle présentait des matériaux de corrosion d'aspect et de nature très divers (fig. 4).



Fig. 4. — Aspect en 1987 des divers matériaux de corrosion sur la face gravée de la semelle.

Nous avons observé :

- 1 — Une matière d'aspect pulvérulent formant des marbrures blanc-vert clair.
- 2 — Une matière verte, dure et compacte, qui couvre uniformément la surface de la semelle, sauf dans les zones du cartouche où apparaît, en couche sous-jacente, un matériau de couleur brune et d'aspect poreux. Le même produit de corrosion est alors présent, en moins grande quantité, sous forme granulaire.
- 3 — Des plaques noires, lisses, dures et compactes comportant quelques zones de boursoflures, plus rarement de desquamation, faisant apparaître un matériau de corrosion d'aspect identique à celui décrit précédemment.
- 4 — Une matière rouge brigue, lisse, dure et compacte.
- 5 — Un matériau, déjà signalé, brun granuleux et poreux, visible à l'emplacement des cartouches et qui semblerait être le noyau métallique.

Au moment de la découverte, la face ciselée de la semelle a été dégagée de sa gangue de terre, alors que le revers la conserve toujours. La suppression de cette couche qui la conservait depuis plus de deux mille ans et les conditions auxquelles elle a été soumise depuis ont pu entraîner une reprise du processus de corrosion de cette face et donc une

aggravation de son altération. Cependant les clichés noir et blanc faits en 1979 ne permettent pas de répondre avec exactitude à cette question ; on ne peut reconnaître par leur couleur ni les produits de corrosion que nous avons signalés, ni leur étendue en superficie. Seul un cliché réalisé au cours du dégagement (fig. 5) montre une ouverture de quelques cm² à la surface du métal, qui apparaît bien plus lisse et régulier qu'il n'est aujourd'hui au même endroit.

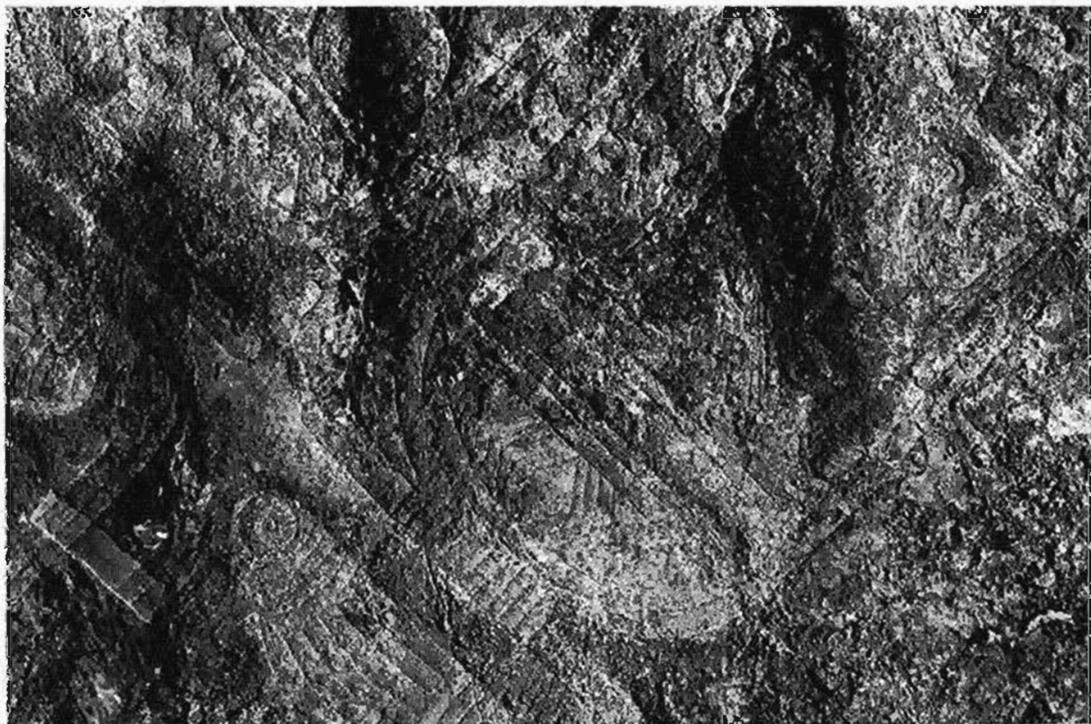


Fig. 5. — Le cartouche en cours de dégagement en 1979.
Une fenêtre de quelques cm² sur le niveau du métal est visible dans l'angle inférieur gauche.

Examen stratigraphique

Des fragments provenant de diverses zones de la semelle ont été placés sous binoculaire pour en étudier la tranche. Des observations intéressantes ont été faites sur le métal et les matériaux de corrosion.

La stratigraphie des matériaux de corrosion est essentiellement composée des matériaux 1, 2 et 4 observés en surface. Ils sont superposés de l'extérieur vers l'intérieur suivant le sens de cette numérotation. La stratigraphie du revers est identique à celle de la face, à l'exception de la couche 1 qui est remplacée par une couche gris-noir, granuleuse et irrégulière, correspondant certainement à la gangue de terre présente sur cette face. Par ailleurs, nous avons parfois constaté au revers un doublement des couches 2 et 4 entre les couches 1 et 5. La stratigraphie est alors la suivante (fig. 6) : 1-2-4-2-4-5. La couche 2, la plus proche du noyau, paraît également plus épaisse que la couche identique qui la précède ; elle atteint sur certains fragments une épaisseur de 3 mm environ.

La couche brune et poreuse localement visible en surface forme dans le plan de la stratigraphie la couche médiane entre la face et le revers (C5). Elle constitue le noyau métallique de la semelle et présente une structure feuilletée à grains polygonaux assez régulière et relativement serrée. On y distingue des particules vertes dont la matière semble identique

	TYPE 1	TYPE 2
	<i>Face</i>	<i>Face</i>
	1	1
	2	2
	4	4
	5	5
	4	4
	2	2
	G	4
	<i>Revers</i>	2
		G
		<i>Revers</i>
1		
2		
4		
5		
G		

1 couche blanc-vert
2 couche verte
4 couche rouge brique
5 noyau métallique
G gangue de terre

Fig. 6. — La stratigraphie de type 1 est la plus fréquente.
La stratigraphie de type 2 comporte un doublement des couches 2 et 4 au revers.

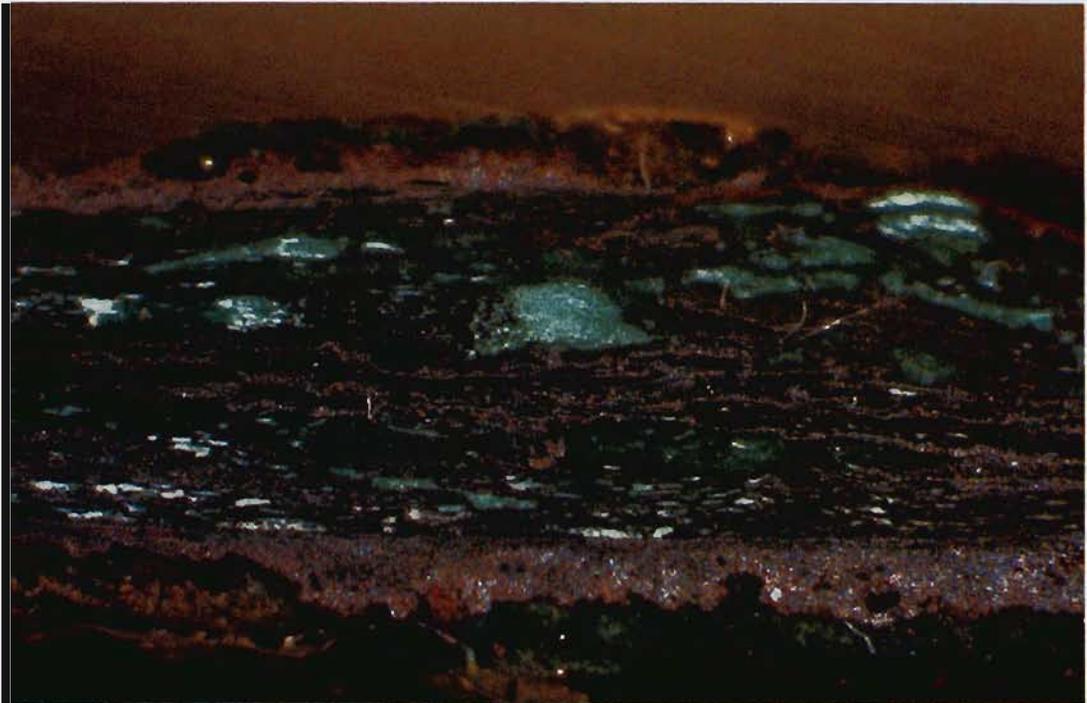


Fig. 7. — Coupe transversale. La contamination interne par le chlorure est visible sous la forme de grains clairs (verts).

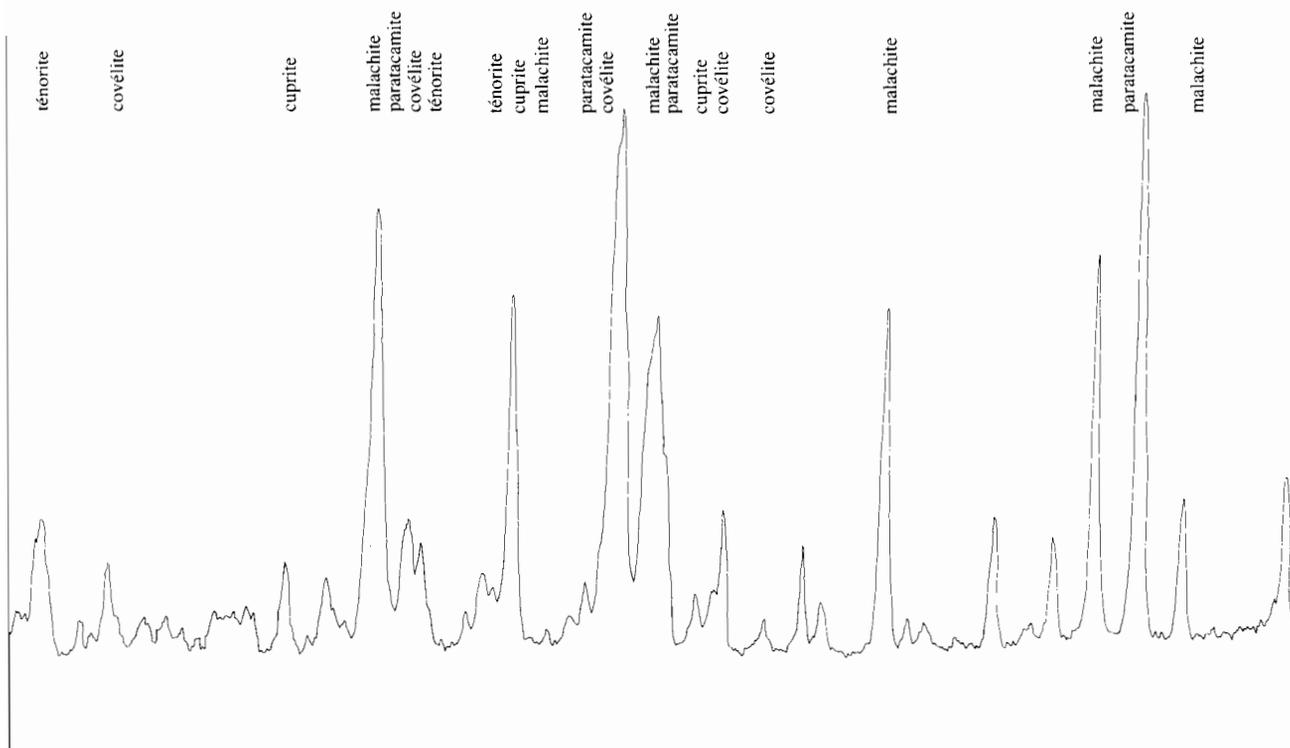


Fig. 8. — Diagramme de diffraction des rayons X (méthode des poudres).

à celle que nous avons signalée en numéro un de l'examen de surface (fig. 7). Cette contamination interne du métal est inégale selon les fragments.

Analyses par diffraction des rayons X et en spectrométrie X dispersive en énergie⁴ : elles corroborent la nature des différentes couches de corrosion (fig. 8).

1 — La couche de surface blanc-vert clair est essentiellement composée de sulfure de cuivre, CuS (covérite). L'analyse en spectrométrie a en plus révélé des traces de gangue silico-alumineuse, de carbonate hydraté de cuivre, de fer, de phosphore et de chlorure de cuivre (fig. 9 a).

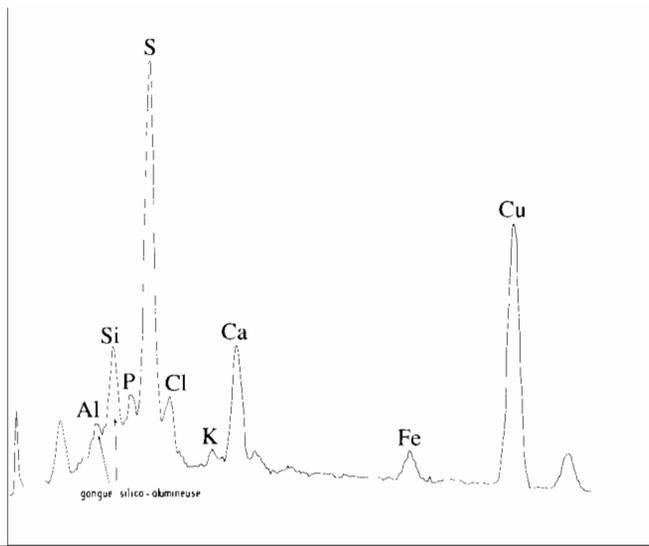
2 — La couche verte concentre le chlorure de cuivre, Cu₂(OH)₃Cl (paratacamite) (fig. 9 b).

3 — Les plaques noires sont composées d'oxyde cuivrique, CuO (ténorite).

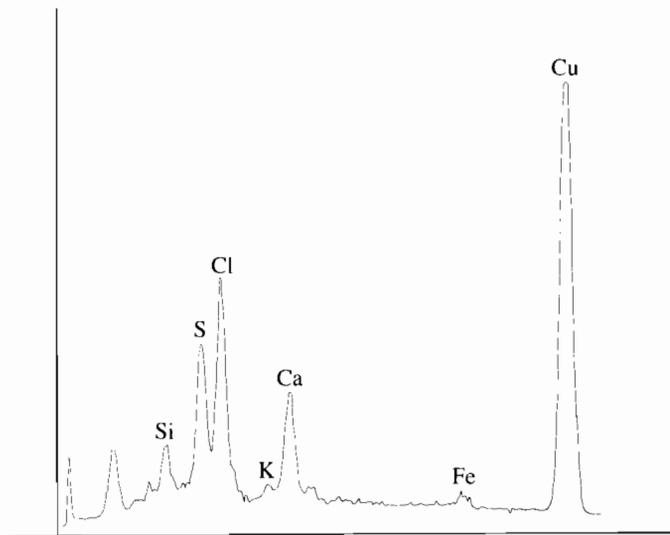
4 — La couche rouge brique est composée d'oxyde cuivreux, Cu₂O (cuprite) (fig. 9 c).

5 — La couche brune constituant le noyau métallique est composée de cuivre presque pur. La seule impureté détectée est le chlore qui constitue un risque permanent de corrosion active.

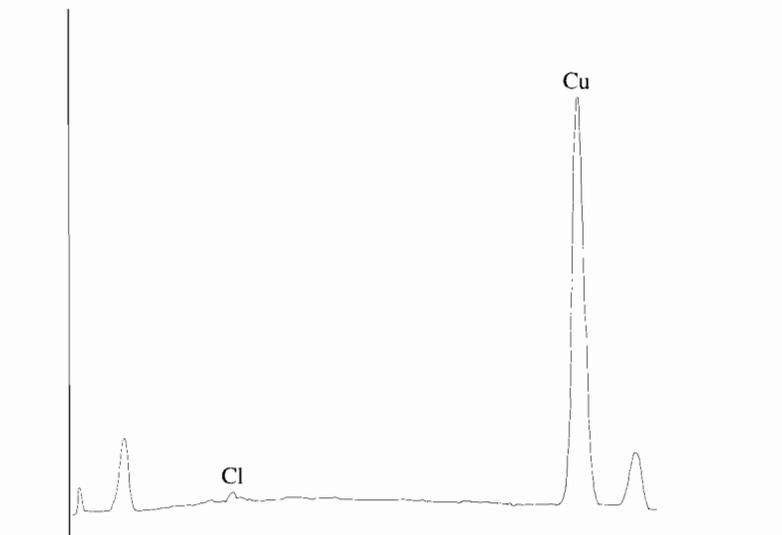
4. Analyses pratiquées, l'une par le laboratoire de l'IFROA, l'autre par le laboratoire d'Études et de Recherches d'EDF.



a. Couche blanche et verte.



b. Couche interne, sous-couche verte.



c. Couche interne rouge.

Fig. 9. — Diagramme en spectrométrie X dispersive en énergie des couches de corrosion.

LES ALTÉRATIONS MÉCANIQUES

Dégradations à caractère historique

La destruction partielle de la plaque

« Les bases de mât du IX^e pylône, dans leur construction d'origine, ne présentaient pas de saillie par rapport à sa façade, ce qui est encore visible au môle est. Par contre, au massif ouest, les deux bases ont été complétées vers l'extérieur par un avant-corps constitué de blocs de grès identiques à ceux qui furent employés pour la restauration du pylône dans l'antiquité⁵. »

La « plaque incomplète n'a pas été retrouvée exactement à son emplacement d'origine⁶ ». « Elle est coupée (...) selon l'alignement de la façade du pylône. L'avant-corps formé par les blocs de restauration est séparé de cette façade par un joint dans lequel le bord cassé de la plaque est rabattu, indiquant par là que son glissement vers le sud est antérieur à la réfection du pylône. On est donc amené à considérer que le mât lui-même, dès l'antiquité, a glissé sur sa base vers le sud ; il s'y est alors trouvé en porte-à-faux et la partie visible de la plaque de bronze⁷ a dû ensuite disparaître, sans doute déclouée, pliée vers le bas et découpée, ce qui explique le bord rabattu⁸ de la partie subsistante. Et ce mouvement s'est produit avant la campagne de restauration du monument où l'on a construit un massif de blocs de grès contre la façade pour soutenir la partie saillante du mât et l'englober à l'est, au sud et à l'ouest⁹ » (fig. 10).

Les altérations dues à un feu dans l'encoche du mât

La semelle a été découverte sous une couche de cendres contenant des scories et du charbon de bois. L'aspect éclaté des pierres de parement de l'encoche pourrait laisser supposer un incendie du mât. Cependant la comparaison avec d'autres encoches de mâts portant des traces d'incendie à Karnak et de leur matériel montre que « ce foyer semble plutôt une réutilisation tardive de l'endroit abrité que constitue l'encoche¹⁰ ».

Quelle que soit l'origine de ce foyer, il est vraisemblable que la chaleur et les refroidissements répétés ont entraîné des déformations de la semelle. Une réutilisation tardive du foyer a pu en outre provoquer des fissures ou des fractures dans un métal ayant perdu de sa ductilité avec le temps.

Dégradation postérieure à 1978 : la fragmentation

La partie pliée mise à part, les clichés faits au moment de la découverte (fig. 11) ne montrent pas autant de fractures qu'aujourd'hui. Celles-ci existaient sans doute à l'état de fissures, mais l'état de fragmentation actuel de la semelle (fig. 12) est dû à douze années de stockage sans traitement particulier.

5. M. Azim, *Karnak VII*, 1982, p. 75.

6. M. Azim, *Karnak VII*, 1982, p. 76.

7. De cuivre.

8. Il s'agit ici du bord plié délimitant la partie de la semelle subsistant de la partie disparue et non de la bordure originelle, en circonférence, que nous avons mentionnée dans la description.

9. M. Azim, *Karnak VII*, 1982, p. 77.

10. M. Azim, *Karnak VII*, 1982, p. 75.

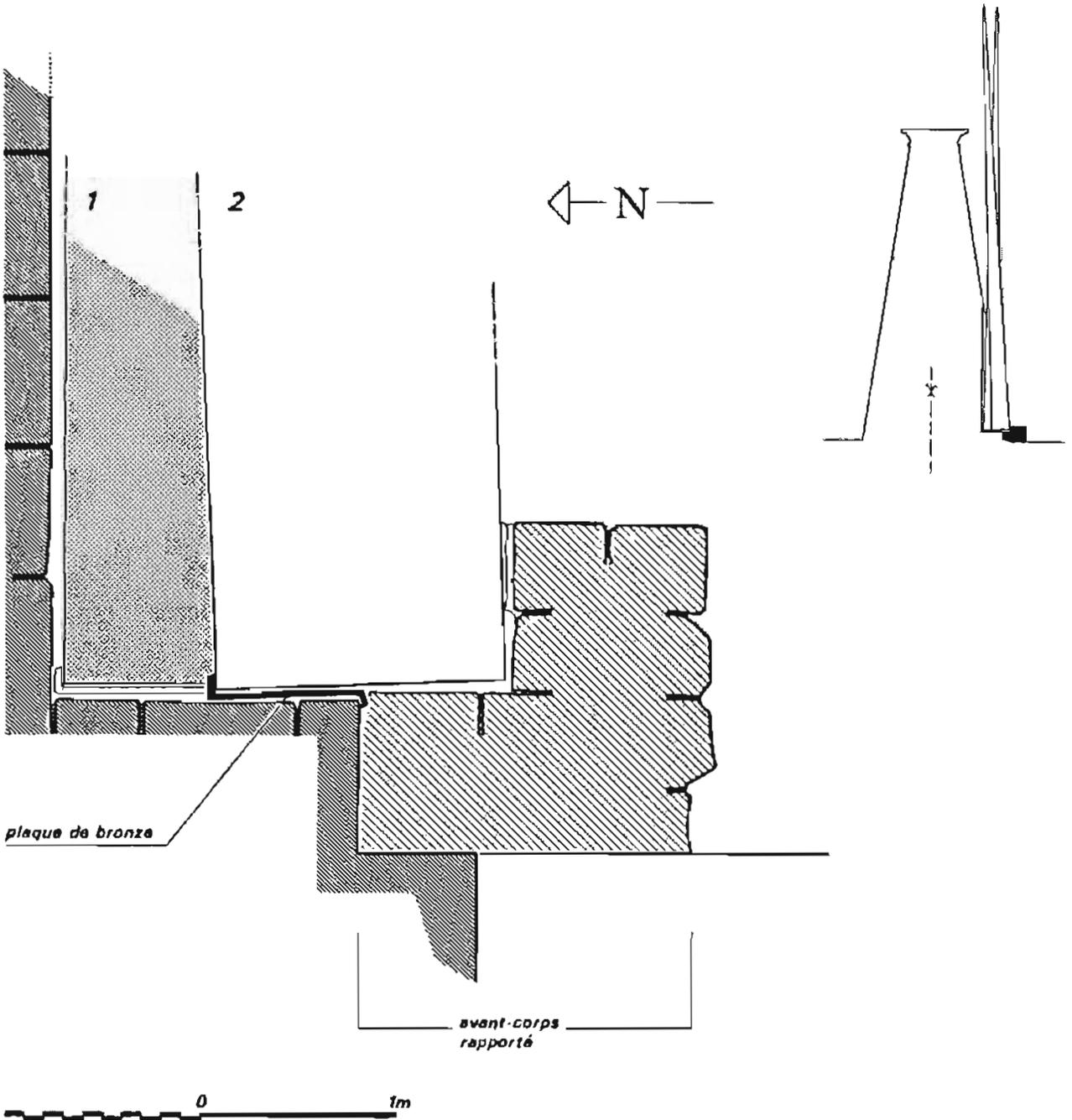


Fig. 10. — Le mât s'est déplacé de la position 1 à la position 2, la partie de la plaque devenue visible a été arrachée, puis un avant-corps est venu soutenir le mât. Relevé/dessin : M. Azim - G. Charpentier.

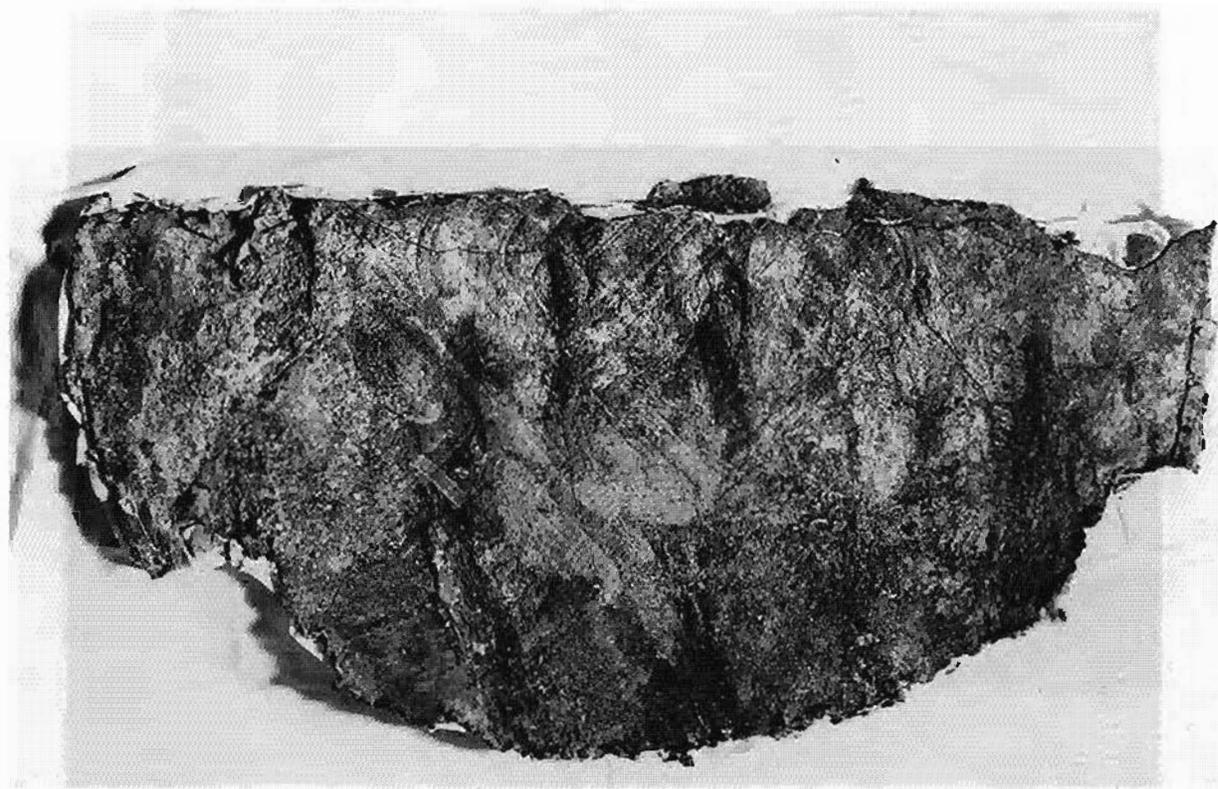


Fig. 11. — État de la semelle en 1978 (*ché A. Bellod*).

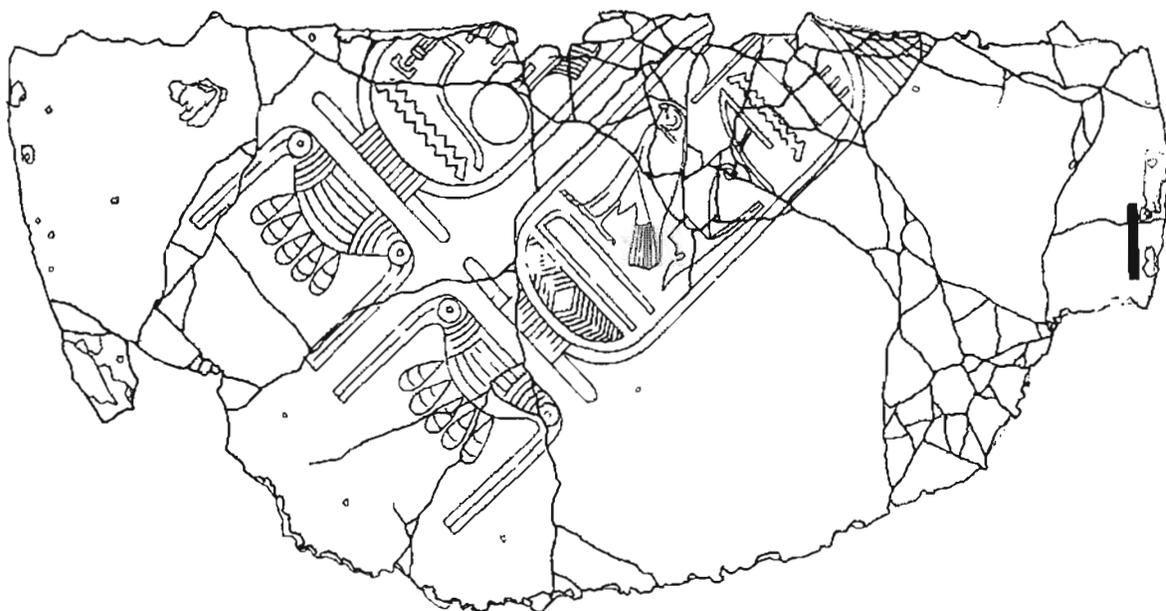


Fig. 12. — État de la semelle en 1990.



Fig. 13. — Le renfort de toile collé au revers de la semelle.

En 1979, l'étude épigraphique nécessitait le dégagement de la face ciselée ; le revers ne l'a pas été. L'ensemble a été renforcé par une toile fixée au revers au moyen d'acétate de polyvinyle (fig. 13), puis déposé dans une caisse, sur un matelas hétérogène et instable composé d'isorel, de copeaux de bois et de coton hydrophile. Les conséquences de cette situation sont les suivantes :

1 — La face dégagée n'a pas été protégée du milieu ambiant, et la corrosion a repris.
 2 — La toile et l'adhésif utilisé pour sa pose forment maintenant un renfort rigide et cassant.

3 — Lors de sa mise en œuvre, l'adhésif a imprégné la gangue de terre restée au revers. Celle-ci, devenue aussi dure que de la pierre, ne peut plus être dégagée mécaniquement. En général amollissable à l'eau, l'acétate de polyvinyle ne l'est plus après une dizaine d'années.

4 — Du fait de son hétérogénéité, le matelas s'est tassé de façon inégale, créant des vides sous la semelle. Ces porte-à-faux expliquent certainement la fragmentation actuelle. Le renfort étant cassant, certains fragments se sont séparés de l'ensemble et quelques-uns ont été perdus.

Les fragments se distinguent par leurs dimensions et leurs fractures. Sur environ 110 fragments, une dizaine font plus d'un dm² et une centaine moins d'un dm². L'état des fractures confirme une fragmentation plus ou moins récente. Certains ont des bords rongés ou amincis par la corrosion et ne s'ajustent pas exactement entre eux. Leurs fractures sont visiblement plus anciennes que celles d'autres fragments qui s'assemblent parfaitement. Globalement, la fragmentation de petite taille apparaît plus récente que celle de grande taille.

II. TRAITEMENTS

TRAITEMENTS DE CONSERVATION

Élimination de la toile de renfort et de la gangue imprégnée

L'acétate de polyvinyle a été ramolli par immersion des fragments dans une solution eau-acétone (1 : 1). Ensuite, la toile a pu être pelée et la gangue de terre facilement éliminée par brossage dans le bain. L'eau étant susceptible d'activer le processus de corrosion, les fragments n'ont séjourné dans le bain que le temps nécessaire à leur dégagement, pour être immédiatement séchés en étuve.

Élimination des produits de corrosion active : chlorures et sulfures

Les oxydes sont des produits stables qui constituent la couche protectrice du métal et qui, contrairement aux précédents, ne gênent pas la lecture de la face ciselée.

Un traitement par électrolyse ou au moyen de solutions décapantes aurait été difficilement contrôlable. L'épaisseur des couches de chlorures et de sulfures pouvant être très variable sur un même fragment (de 0 à 5 mm), un nettoyage uniforme, sans risque d'endommager les zones vierges, paraissait délicat. La contamination interne par les chlorures nous a incités à encore plus de réserve.

Le danger d'une perte de cohésion de la structure feuilletée du métal nous a fait choisir un procédé de dégagement mécanique, par microabrasion. Celui-ci garantit un contrôle permanent de la qualité du nettoyage et permet un travail local, modulable en intensité, pouvant être arrêté à tout instant et sans risque de réaction secondaire. Les produits de la corrosion active, essentiellement concentrés en surface, ont été ainsi éliminés. Les produits de corrosion internes au métal n'ayant pu être traités par ce procédé auraient pu l'être par les moyens signalés ci-dessus, mais non sans risques. Ne gênant pas l'aspect extérieur de la semelle, le traitement n'a pas été poussé au-delà de cette limite.

Imprégnation

La présence de chlore dans le noyau métallique constitue un risque de corrosion active en présence d'oxygène et d'humidité. La déchloruration par électrolyse ayant été écartée, la seule solution consistait à isoler le métal du milieu ambiant. L'affaiblissement de la cohésion du métal favorisait aussi localement des desquamations. En conséquence, le traitement d'imperméabilisation devait être accompagné d'une consolidation. Les deux interventions ont pu être réalisées simultanément avec un produit répondant aux exigences de chacune d'elles. Le choix de ce produit a été déterminé par les critères de sélection suivants :

- imperméabilité au gaz et à l'humidité ;
- grande cohésion ;
- stabilité chimique ;
- résistance au vieillissement.

La résine synthétique choisie, le Paraloid B72 (copolymère d'acrylate de méthyle et de méthacrylate d'éthyle), a été très largement éprouvée pour la conservation des métaux archéo-

logiques¹¹. L'imprégnation a été réalisée par l'application d'une dizaine de couches de Paraloid B72 en solution dans du xylène, selon une concentration croissante (de 2,5 à 7,5 %) et à des intervalles de plus en plus longs, jusqu'à saturation en surface.

TRAITEMENT DE RESTAURATION : ASSEMBLAGE DES FRAGMENTS

Les problèmes de surface, d'épaisseur, de masse, de fragilité structurelle de la plaque d'une part, et de réversibilité de l'assemblage d'autre part, rendaient un collage fort, du type Epoxyde, impossible. Les joints de colle doivent absorber les contraintes mécaniques auxquelles les fragments peuvent être soumis après assemblage et éventuellement céder si celles-ci deviennent dangereuses pour la tenue du métal. L'adhésif utilisé, la Béva 371¹², a été choisi en raison de :

- sa souplesse ;
- sa grande cohésion ;
- sa bonne adhérence au support dans la limite des contraintes mécaniques tolérables par le métal ;
- sa stabilité chimique ;
- sa réversibilité par la chaleur ;
- sa facilité de mise en œuvre¹³.

La grande surface de la semelle (0,80 m² pour une épaisseur moyenne de 3 à 4 mm) rendait irréalisable un collage de tous les fragments en un seul tenant. Les fragments ont donc été collés pour former une dizaine d'éléments qui seront ensuite réunis à joints vifs sur un support rigide.

III. PRÉSENTATION ET CONDITIONS DE CONSERVATION

Des empreintes faites en plâtre et au moyen de bandes plâtrées en couches alternées, ont été prises sur le revers de chaque groupe de fragments. Amovibles, elles leur assurent un soutien stable et permettent de les manipuler sans danger (fig. 13). Réunis à joints vifs, l'ensemble des éléments et de leurs supports a été déposé sur une seconde empreinte en plâtre qui lui sert de présentoir dans un caisson en bois.

La conservation future de la semelle dépend des conditions dans lesquelles elle sera exposée, particulièrement des conditions d'hygrométrie et de manipulation.

En dépit du traitement d'imprégnation, la présence de chlore au sein du métal constitue toujours un risque de corrosion active en présence d'humidité. Pour préserver la semelle de toute reprise de la corrosion, une atmosphère sèche est nécessaire.

11. De nombreux exemples d'applications ont été présentés au X^e Congrès International de l'IIC, *Adhésifs et consolidants*, Paris, 1984.

12. Résine synthétique thermoplastique à base d'acétate de vinyle/éthylène, polyéthylène, résine cétone N et paraffine. Conçue par A. Berger. C'est un des rares produits mis au point pour des travaux de conservation.

13. Cet adhésif réactivable par la chaleur (point de fusion 68° C) permet un ajustage de précision tandis qu'un collage du type Araldite n'autorise aucune rectification.

Le choix de l'adhésif repose, entre autres raisons, sur la nécessité d'un collage suffisamment résistant pour maintenir les fragments ensemble mais aussi, suffisamment fragile pour céder dans des conditions de contrainte mécanique anormale. Toute manipulation exige de ce fait un minimum de précaution.

Ces recommandations pourront être respectées puisque la semelle devrait bientôt entrer dans les collections du musée de Louqsor. On pourra comparer l'état actuel de la plaque en décembre 1993 (fig. 14) et lors de sa découverte (fig. 11).



Fig. 14. — La plaque restaurée (décembre 1993).