

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* 8, 1985.

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



OBSERVATIONS FAITES AU IX^e PYLÔNE : DÉGRADATIONS INTERNES ET HUMIDITÉ

Claude TRAUNECKER

1. Au cours de la campagne 1973-1974, les travaux de démontage et de vidage du X^e pylône atteignirent les 16^e et 17^e couches de *talâtât*. Alors que les pierres des couches précédentes étaient parfaitement conservées, le grès des *talâtât* des 16^e et 17^e couches avait perdu toute cohésion et s'était transformé en sable ; les parements externes, eux, étaient en bon état. Cette situation, ainsi que des impératifs extérieurs, ralentirent considérablement les travaux.

En 1977, un sondage fut pratiqué au cœur de cette masse sableuse et l'on put constater qu'à partir des couches 24 et 25, les *talâtât* étaient à nouveau parfaitement conservées¹ (fig. 1).

Il fut alors décidé de reprendre les travaux de vidage sans démonter les assises de parement. En 1978, les couches en bon état furent atteintes et M. Azim, chargé de ces travaux, pratiqua trois sondages le long des fondations extérieures du pylône jusqu'au niveau des eaux phréatiques². Profitant de l'accessibilité des fondations ainsi que des coupes pratiquées dans les terres en contact avec la construction, j'effectuais alors divers prélèvements, mesures et analyses dans le double but d'étudier *in situ* les processus de dégradations externes courants à Karnak et de rechercher les causes du mal interne qui a entraîné la destruction de plusieurs couches de *talâtât*.

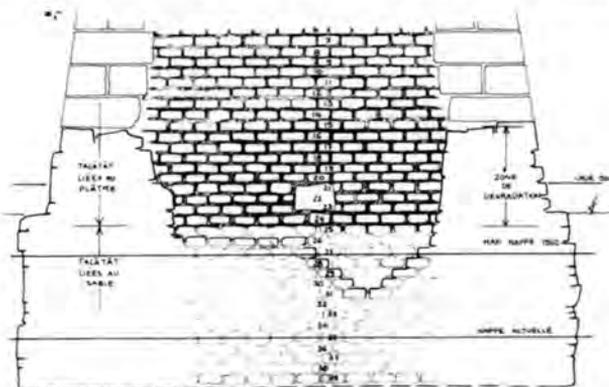


Fig. 1. Coupe du môle
ou est-ouest du IX^e pylône.

1. Sur ce sondage et l'historique des travaux au IX^e pylône entre 1973 et 1977 voir *Karnak VI* (1973-77), 34 à 37.
2. Sur ces travaux voir *Karnak VII* (1978-1981), 19 à 65.

Les résultats obtenus furent exposés à l'été 1978 au Colloque de La Rochelle (Colloque sur la dégradation des pierres en œuvre, organisé par le Professeur Romanovski)³.

2. Avant d'exposer les résultats de cette étude, il n'est pas inutile de rappeler dans ses grandes lignes la situation hydrogéologique du site de Karnak⁴.

L'ensemble monumental des temples de Karnak est édifié dans la plaine alluvionnaire du Nil, à quelques centaines de mètres du cours actuel du fleuve. Les alluvions sableuses sont recouvertes de dépôts argileux souvent remaniés par l'homme et atteignant sur l'ensemble du site une puissance de 6 à 8 m. La plupart des processus de dégradation sont liés à la présence d'une nappe phréatique. Avant le développement de l'irrigation pérenne, à la suite de la mise en eau du lac Nasser, cette nappe était soumise à des variations de niveau très importantes (fig. 2). Pendant la crue, lorsque le Nil se répandait dans les cultures entourant le temple protégé par une série de digues, la nappe phréatique s'élevait de 4,85 m avec un décalage dans le temps de deux mois par rapport au maximum de la crue. Aussi en octobre-novembre, le niveau d'eau libre était-il situé aux alentours de 74,50 m au-dessus du niveau de la mer, c'est-à-dire 50 cm au-dessus du dallage de la grande salle hypostyle. On imagine combien la proximité de la nappe des surfaces d'évaporation constituées par les parois chauffées au soleil pouvait être néfaste pour la conservation des monuments. En effet, à cette saison de l'année, les températures moyennes sont de 34 °C (max.) et 14 °C (min.).

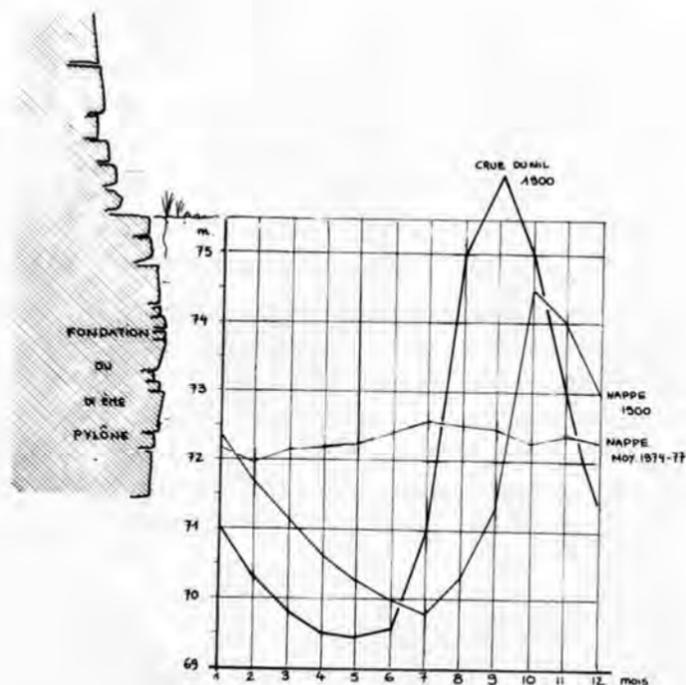


Fig. 2. Mouvements relatifs du Nil et des nappes phréatiques.

3. Les actes de ce colloque devaient être publiés dans une revue spécialisée qui malheureusement a cessé de paraître. Il nous a donc paru utile de publier cette étude dans les Cahiers de Karnak. (Pour un résumé des conclusions, voir *Karnak VII*, 32, n. 37).

4. Pour un exposé détaillé, voir Cl. Traunecker, dans *Kêmi* 20 (1970) (= *Karnak III*), 195-228 ; *Kêmi* 21, (1971), 177-215 ; *Actes du I^{er} Colloque International sur la détérioration des pierres en œuvre* (1972, La Rochelle), 65 à 71 ; *Karnak V* (1970-1972), 119 à 140 ; *Prospection et sauvegarde des Antiquités d'Égypte*, Le Caire, IFAO. *Actes de la table ronde* (8-12 janvier 1981), p. 57 à 70 ; en collaboration avec M. Wuttmann : *Dossiers de l'Archéologie* 61 (mars 1982), 96 à 103.

La plupart des dégradations du bas des parois date de l'ancien régime du fleuve et de la nappe phréatique d'alors.

Actuellement le Nil est entièrement régularisé, de sorte que le niveau de ses eaux est toujours plus bas que celui de la nappe phréatique. La nappe est alimentée par l'irrigation assurée régulièrement et pendant toute l'année. En amont des barrages situés sur son cours moyen (Esna, Nag-Hammadi, etc.) le Nil joue le rôle de bassin d'alimentation des canaux d'irrigation desservant les terres situées en aval. Ainsi, dans la majorité des cas, le fleuve joue par rapport à la nappe phréatique le rôle d'un drain. Il résulte de ce régime d'alimentation et de drainage régulier une stabilisation de la nappe autour d'un niveau moyen de 72,30 m avec des variations n'excédant pas 50 cm. La pente générale de la nappe est toujours dirigée vers le Nil et, contrairement à l'ancien régime des eaux, on ne peut observer aucune inversion de sens d'écoulement pendant un cycle annuel.

A cette nappe phréatique est associée une frange capillaire dont la hauteur est très variable selon les points du site. C'est elle qu'il faut rendre responsable des dégradations actuellement actives que l'on peut observer sur le site.

L'eau phréatique, que l'on peut classer parmi les eaux mixtes à tendance chlorurée, accuse un résidu sec d'environ 1200 mg/lit. Son évaporation à la surface des grès entraîne une rapide détérioration de la roche.

3. Le IX^e pylône, comme la plupart des constructions de Karnak, n'a pas échappé à l'action pernicieuse des eaux souterraines rongant la base de ses parois.

Les dégradations externes ne se distinguent guère de celles que l'on peut observer sur bien d'autres monuments de Karnak. Apparemment, les parements sont relativement bien conservés. Mais les assises inférieures ont beaucoup souffert de la charge des assises supérieures, aussi ces blocs sont-ils très fracturés⁵. Autre facteur de détérioration, les incendies, en particulier des portes et des mâts décoratifs de façade, ont entraîné l'éclatement de nombreux blocs⁶. Les attaques des bases des parois par les concrétions salines sont relativement discrètes. Ce fait tient à deux raisons : 1. - dès le III^e siècle avant notre ère, semble-t-il, la base du pylône, sans doute considérablement affouillée par l'arénisation des grès touchés par les sels, a fait l'objet d'une vaste campagne de restauration (reprise en sous-œuvre) et les blocs formant actuellement les dernières assises de parement sont bien plus récents que les autres⁷ ; 2. - les cours ont été assez rapidement envahies par les décombres et ceux-ci, s'accumulant à la base des parois, faisaient office de couche de protection, retardant la dégradation des blocs des assises inférieures. Mais si ce phénomène a joué un rôle bénéfique pour le soubassement, il est responsable de l'apparition de taches brunes plus haut, au niveau supérieur des décombres.

5. Pour la structure des pylônes d'Horemheb (base en remplissage de pierre surmontée de caissons comblés par des débris) voir M. Azim, *Karnak VII* (1978-1981), 127 à 166.

6. M. Azim et Cl. Traunecker, *Un mât du IX^e pylône au nom d'Horemheb*, dans *Karnak VII* (1978-1981), 75 à 92.

7. M. Azim dans *Karnak VII* (1978-1981), 24 et 23, fig. 2 ; 34, fig. 6 ; 49, fig. 11.

4. Ces taches brunes résultent de l'absorption par le grès de divers déchets de décomposition organique en milieu salin⁸. Ces sels ont des propriétés hygroscopiques remarquables. Une étude encore inédite nous a permis d'identifier les sels responsables de certaines de ces taches brunes. Parmi ceux-ci, les sels de magnésium semblent jouer un rôle primordial. Les sols magnésiens ne sont pas rares à Karnak.

La forte hygroscopicité de ces corps provoque une importante absorption d'eau lorsque l'humidité relative de l'air ambiant atteint des valeurs élevées (80% à 6 heures du matin en hiver). Le phénomène est fréquent à Karnak, mais dans la majorité des cas, et autant que nous avons pu l'observer, il n'entraîne pour le bloc en place, pris dans la maçonnerie, qu'une altération très superficielle : la couleur devient plus foncée et la surface humide a tendance à fixer les poussières en suspension dans l'air⁹. Parfois, le tapis de poussières collées atteint une épaisseur de près d'un centimètre.

Le démontage de l'assise de parement 30, en partie atteinte par ces taches brunes, nous a permis d'observer la dépendance de la dynamique de l'altération par rapport à l'environnement immédiat. Le bloc atteint, une fois isolé de la masse du pylône et déposé dans l'aire de stockage, est plus sensible aux changements de température pendant un cycle diurne. Le minimum de sa température de surface est plus bas que lorsqu'il était encore en place. De plus, la surface exposée à l'air libre est plus grande. Enfin par sa position, proche du sol, il est plus sensible à l'apport de poussières par les vents. Ainsi la rupture d'équilibre provoquée par sa dépose entraîne un développement en profondeur de la dégradation et peut aboutir, dans le cas de bancs à forte teneur d'argile, à une arénisation spectaculaire du grès. Mais ce phénomène, pour intéressant qu'il puisse être à observer, n'occupe qu'une place secondaire parmi les dégradations du IX^e pylône.

L'altération la plus spectaculaire et aussi la moins connue est cachée au cœur du monument et sans son démontage il était impossible de se douter de son ampleur.

Quelles sont les causes de cette altération interne, quels facteurs faut-il incriminer, peut-elle se retrouver ailleurs ? Pour tenter de trouver une réponse à ces questions nous avons effectué une série de mesures et d'observations sur le terrain et en laboratoire.

5. A la fin de la saison 1978, le chantier de démontage du môle ouest du IX^e pylône se présentait ainsi : le parement était démonté jusqu'à l'assise 31 incluse, soit environ 2,20 m au-dessus du niveau des cours. A l'intérieur, le vidage des *talâtât*, effectué sur les 2/3 de la longueur du môle, a atteint la couche 26, laissée en place, soit environ à 0,60 m sous le niveau des cours. L'ensemble évoquait l'aspect d'une gigantesque dent creuse. Pour préparer le projet de remontage il était indispensable de connaître avec précision la nature et les dimensions de la fondation ainsi que le nombre de couches de *talâtât* encore présentes dans le pylône. A cet effet quatre sondages ont été effectués : trois à l'extérieur du pylône, le long des fondations, et l'un au cœur du monument dans les couches de *talâtât* (jusqu'à la couche 30).

Profitant de ces différents sondages nous avons étudié :

- 1 – les mouvements relatifs des niveaux phréatiques par rapport aux fondations ;
- 2 – la frange capillaire dans les terres et la fondation ;
- 3 – la répartition de l'humidité et des sels solubles dans la masse des *talâtât*.

8. Sur les taches brunes voir Cl. Traunecker, *Karnak V (1970-1972)*, 37 ; *Actes du I^{er} Colloque International sur la détérioration des pierres en œuvre*, 72, 74 ; *Karnak V (1970-1972)*, 127-128 ; *Prospection et sauvegarde des Antiquités d'Égypte*, p. 59-60 ; en collaboration avec Michel Wuttmann, *o.c.*, 101, 103.

9. Dans le cas de pierres comportant des strates très riches en argile, il peut se produire une altération de l'épiderme.

6. En appliquant les chiffres moyens du régime hydrogéologique actuel aux cotes des fondations (fig. 2), nous constatons qu'une partie de celles-ci est toujours immergée. Au cours de 1977, les hauteurs de fondation touchées par l'eau ont été les suivantes : 58 cm (comptés à partir du bas) ont été constamment immergés, les 68 cm suivants l'ont été par intermittence, soit au total 1,25 m touchés par l'eau et séparés des surfaces d'évaporation par 3,05 m de maçonnerie.

Vers 1900, les fondations étaient au-dessus du niveau des eaux libres pendant près de six mois et demi par an, mais, pendant les cinq mois et demi restants, 315 cm des 430 cm que comptent les fondations étaient atteintes par l'eau libre. Au maximum de la montée des eaux le niveau de la nappe se trouvait à 100 cm à peine sous les surfaces d'évaporation (fig. 2/3). C'est probablement de cette période que date la plupart des dégradations salines constatées.

Nous croyons pouvoir affirmer que, dans ce cas précis, la stabilisation de la nappe, conséquence du système d'irrigation rendu possible par le Haut Barrage, a eu une influence bénéfique sur la conservation du monument.

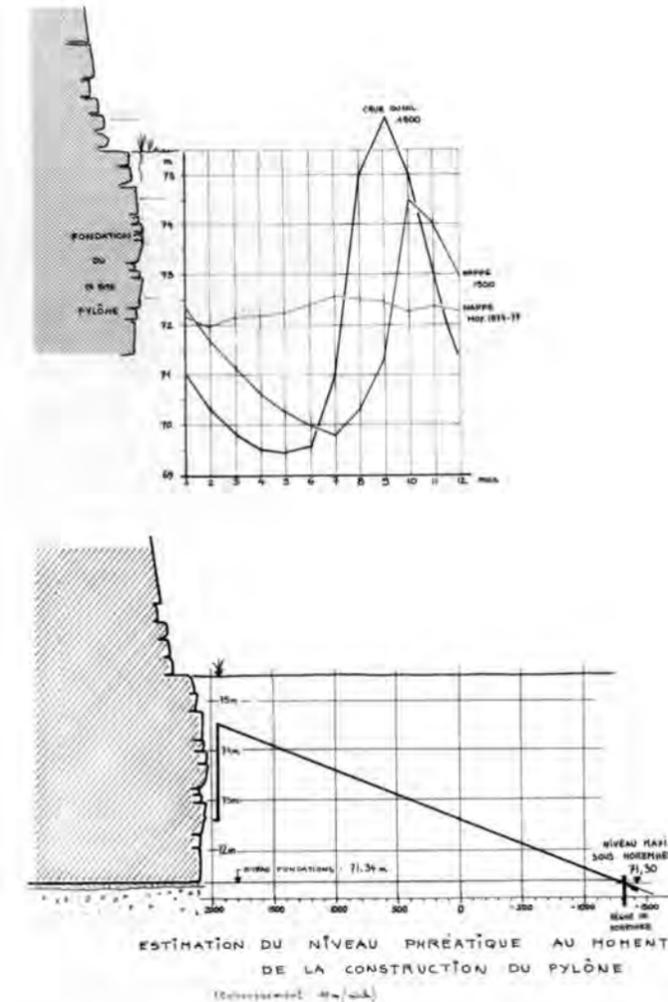
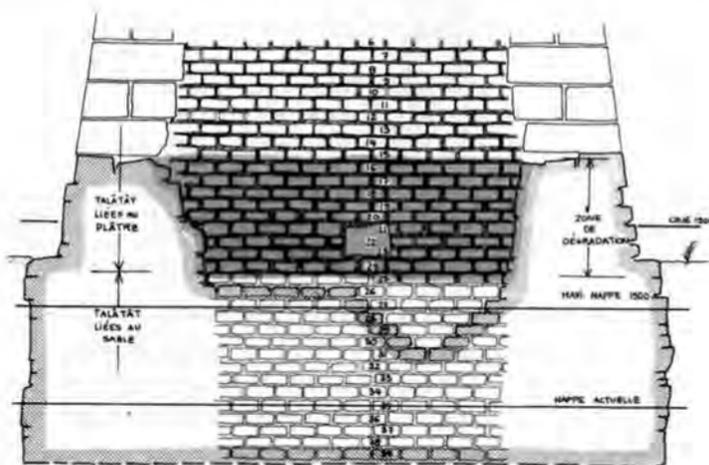
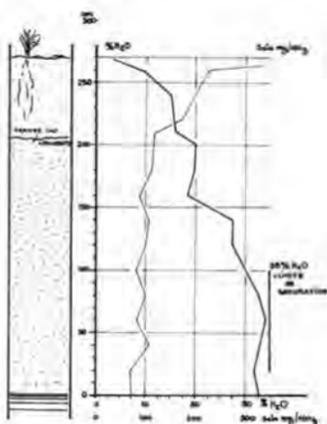


Fig. 3 : Estimation du niveau phréatique au moment de la construction du IX^e pylône.

Quel pouvait être le niveau de la nappe phréatique au moment de la construction du pylône ? L'estimation de cette donnée est rendue possible par l'existence d'inscriptions nilométriques datées de différents souverains du début du I^{er} millénaire avant notre ère. L'étude de ces niveaux permet de se faire une idée de l'exhaussement de la vallée jusqu'à nos jours. D'après nos calculs, celui-ci est de l'ordre de 10 cm par siècle environ, résultat très proche des valeurs déjà proposées¹⁰. Si, par extrapolation, nous calculons le niveau moyen des maximums de la nappe pendant le règne d'Horemheb (1315 avant notre ère) nous trouvons une valeur (71,30 m au-dessus du niveau de la mer) très proche de celle du niveau bas des fondations du pylône (71,35 m)¹¹ (fig. 3). Ce fait paraît illustrer les prescriptions du rituel de fondation. D'après ce texte, les tranchées de fondation devaient être creusées "jusqu'à l'eau"¹². Il est normal que les Egyptiens, qui n'ignoraient sans doute rien des mouvements de la nappe, préférèrent établir le niveau des fondations au moment du maximum de la nappe afin d'éviter que l'eau n'atteigne la maçonnerie pendant le reste du cycle annuel¹³.

7. Les parois latérales des sondages nous ont permis d'observer *in situ* l'aspect de la frange capillaire dans les sols surmontant le plan d'eau libre. Sa hauteur est très variable : sondage sud-ouest 2,00 à 2,10 m ; sondage sud-est : 2,00 m à 2,40 m ; sondage nord-est : 1,60 m à 1,90 m. Sur une de ces parois (sondage sud-ouest, paroi est) nous avons mesuré la répartition de l'humidité et des sels solubles dans le profil (fig. 4). Les caractéristiques du terrain (prélèvement à 1,15 m du niveau phréatique) sont les suivantes :

Fig. 4. Variation d'humidité et de salinité des sols.



Porosité volumique : P 48 %
 Densité apparente : D 1,367 %
 Poids spécifique : d 2,635
 Porosité pondérale : P Pondé. 35,1 %.

10. Voir, par exemple Ventre Pacha, *Crues modernes et crues anciennes du Nil* dans ZÄS 34 (1896), 95.

11. Il s'agit bien évidemment de valeurs moyennes. De plus, une vérification effectuée par M. Azim laisse supposer l'existence d'une assise de fondation sous le niveau atteint en 1978.

12. P. Montet, *Kēmi* 17 (1964), 85 à 87.

13. Voir aussi dans *Kēmi* 21 (1971), 210-211.

Le tableau suivant donne les caractéristiques des grès des fondations, des parements et des *talâtât*.

	D	d	P	P. Pondé.	% H	Taux Saturat.
Sud-ouest. Bloc fondat.	1.873	2.507	25.29	13.50	3.32	24.6
Sud-ouest. Bloc fondat.	1.938	2.460	21.22	11.10	0,16	2.4
Sud-est. Bloc fondat.	1.910	2.485	23.14	12.11	3.32	27.4
Sud-est. Bloc parement	1.893	2.486	23.85	12.45	0.17	1.3
Nord-est. Bloc fondat.	1.862	2.496	25.40	13.64	2.68	19.6
Sud-ouest. <i>Talâtât</i> fondat.	1.928	2.452	21.37	11.09	9,73	87.7
Môle est. <i>Talâtât</i>	1.862	2.454	24.12	12.95		
Couche 12 <i>Talâtât</i>	1.918	2.477	22.57	11.76		
Couche 12 <i>Talâtât</i>	1.850	2.526	26.77	14.47		

La comparaison des chiffres concernant les blocs d'Horemheb avec ceux des *talâtât* est révélatrice de l'origine commune de ces matériaux ; moyenne des porosités volumiques du grès des blocs : 23,78 % et 23,71 % pour les *talâtât* ; moyenne des porosités pondérales 12,56 % pour les grès et 12,57 % pour les *talâtât*.

8. La hauteur apparente de la frange capillaire sur les surfaces extérieures des fondations varie entre 0,95 m (sondage nord-est) et 1,60 m (sondage sud-est). Sur les photographies des planches II et III nous avons reporté les résultats des mesures d'humidité et de salinité. Comme dans le profil du sol, les grès accusent une décroissance progressive de leur teneur en eau. Dans l'assise du bas, le grès est très proche de la saturation, 9,73 % d'humidité soit une saturation de 87,7 %. (L'échantillon accusant 17,17 % est prélevé juste au-dessus de la nappe). Dans les parties hautes de cette frange capillaire, la teneur moyenne en eau du grès est de 3,07 % et les taux de saturation (24,6 %, 27,4 %, 19,6 % moyenne 23,86 %) sont relativement faibles. Au-dessus de cette frange apparente, les taux d'humidité et les taux de saturation sont très bas : 0,15 à 0,17 % d'humidité, saturation 1,3 %.

Dans les joints, l'humidité des sables et poussières de remplissage est nettement plus élevée (30 à 14 % pour les joints compris dans la frange, 14 à 7 % plus haut). Les joints du parement accusent des valeurs plus faibles : 2 à 5 %. Pour compléter ce survol de la répartition de l'humidité dans les fondations, signalons la teneur élevée en eau des terres collées à la surface de la pierre (24 %, saturation estimée de 68 %).

9. La salinité des matériaux est plus irrégulière. La concentration dans les grès situés dans la frange est très faible (28 à 170 mg/100 g) à faible (268 à 369 mg/100 g) ou moyenne (543 mg/100 g). Sur un des blocs du parement au-dessus du sondage sud-est, la très forte concentration saline est le témoin d'une ancienne zone de formation de croûtes salines par évaporation.

Le même processus est sensible dans la répartition des sels dans les joints. Plus ceux-ci sont proches des surfaces d'évaporation, plus leur salinité est élevée. Dans le sondage sud-ouest, elle passe d'une cinquantaine de mg/100 g à 463 mg/100 g dans un joint horizontal et à 1611 mg/100 g dans un joint vertical. Les joints verticaux ont tendance à collecter les sels formés sur les parois. Se détachant de leur surface de formation, ils s'accumulent à la base du joint. Ainsi dans le sondage sud-est, dans le bas d'un joint vertical de l'ancienne zone de dégradation saline, les poussières accumulées contiennent 37,5 % de sels solubles. Dans l'ensemble la salinité des joints horizontaux est moins élevée.

La concentration des sels sur les surfaces d'évaporation est particulièrement spectaculaire dans le cas des formations récentes sur la terre restée collée à la surface d'un bloc du sondage sud-ouest. La couche superficielle (environ 1 mm) contient 5709 mg/100 g alors que la couche directement sous-jacente ne contient que 158 mg/100 g.

Cette étude des répartitions de l'humidité et des sels dans les fondations et le sol nous a permis de reconnaître les valeurs absolues des diverses concentrations courantes. Il est temps à présent de nous pencher sur les résultats des mesures effectuées dans le remplissage du pylône sur les *talâtât* saines et altérées.

10. L'altération des grès des *talâtât* du remplissage se manifeste par une perte de cohésion de la roche, qui se transforme pratiquement en sable. Il est impossible d'extraire un bloc intact et souvent le mortier au plâtre des joints est bien plus résistant que la roche (Pl. I).

Avant d'exposer les résultats des mesures signalons quelques faits importants quant à l'étendue de l'altération.

La dégradation n'est pas limitée aux grès des *talâtât*. La pierre des contre-parements jouxtant la zone d'altération ainsi que les quelques blocs de refend noyés dans la maçonnerie sont également atteints (Pl. I b). Le facteur responsable de cette dégradation paraît réellement provenir du cœur du monument.

La dégradation paraît être indépendante de la qualité des bancs d'extraction. En effet, deux *talâtât* de la couche 20 ont été posées en délit (strates placées verticalement). La moitié inférieure de ces pierres est entièrement arénisée, tandis que la moitié supérieure, bien qu'atteinte, est bien mieux conservée. Or la limite séparant ces deux zones est approximativement horizontale et se prolonge d'une pierre à l'autre, perpendiculairement à la stratification. Cette morphologie suggère que l'élément responsable de la dégradation peut être véhiculé par l'humidité, la limite horizontale paraissant être la trace d'une ancienne limite de frange capillaire.

Enfin, comme il apparaît sur la figure 1, la limite inférieure de l'altération correspond approximativement à celle de la maçonnerie liée au plâtre.

11. Comme pour les fondations nous avons mesuré l'humidité et la salinité des grès et des joints. En plus, nous avons dosé les proportions de sulfates par rapport à l'ensemble des sels solubles.

Les résultats de ces mesures sont exprimés par les graphiques des figures 5 et 6. Les mesures d'humidité sont peu significatives, les valeurs étant toutes très faibles. Par contre, les résultats des dosages des sels sont éloquentes : ils font apparaître une nette relation entre l'altération des grès et la présence de l'ion SO_4^{2-} .

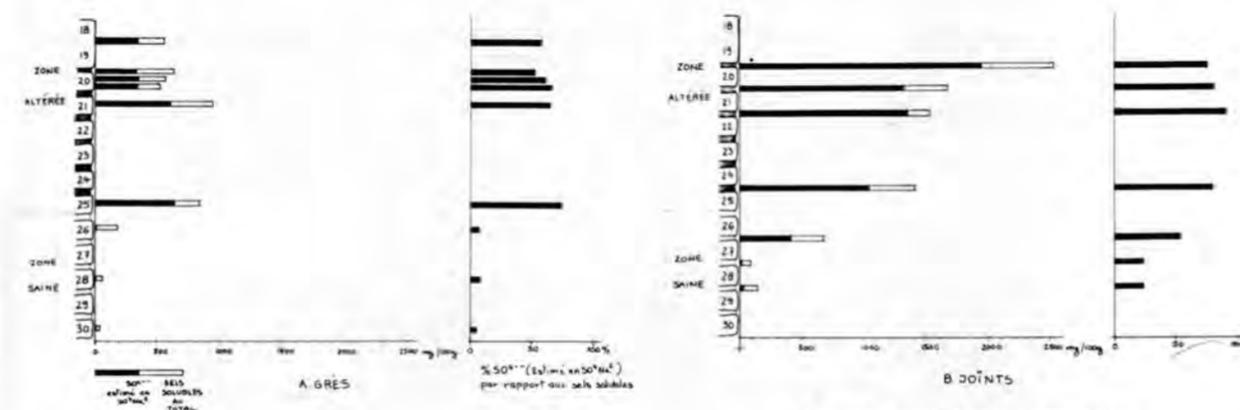
Les calculs des moyennes par zone montrent que l'accroissement de salinité constatée dans les parties altérées est essentiellement dû à un enrichissement en SO_4^{2-} .

	Salinité totale	SO_4^{2-} (mg $\text{SO}_4 \text{Na}_2$)	% Sulfate
Grès altérés	672 mg/100 g	424 mg/100 g	64,2 %
Grès sains	95 mg/100 mg	6 mg/100 g	6,7 %

Les mesures effectuées sur les liants des joints ont donné des résultats analogues avec des valeurs absolues plus élevées (fig. 6). Comme dans les joints des fondations, la teneur en eau est un

peu plus élevée. La haute concentration en SO_4^{2-} est due alors à la nature même du liant employé dans la zone altérée.

Fig. 5 et 6



Les sels solubles des grès de la zone altérée et de la zone saine.

Les sels solubles des joints de la zone altérée et de la zone saine.

En manière de contrôle, nous avons effectué quelques mesures sur les *talâtât* provenant des couches supérieures en bon état. Nous avons obtenu des résultats tout à fait comparables à ceux des *talâtât* saines des assises inférieures.

12. Il paraît donc raisonnable d'attribuer la responsabilité de l'altération à la nature des liants des joints du remplissage au niveau des couches 15 à 24. L'eau de la frange capillaire chargée en sulfates au contact du plâtre des joints a transporté ceux-ci au cœur des pierres, *talâtât* ou blocs de parement, jouxtant le remplissage posé au plâtre¹⁴. Puis, à chaque baisse annuelle du niveau d'eau libre, le lent séchage de la zone de frange capillaire chargée en sulfates (décembre-janvier) a entraîné un affaiblissement du grès. La fréquence des cycles annuels a conduit à une désagrégation grave de la structure. Nous avons effectué des lames minces des parties très altérées et peu altérées des *talâtât* posées en délit déjà évoquées. On distingue nettement dans l'échantillon altéré une désorganisation du matériau par rapport à la partie mieux conservée. Etant donné l'extrême fragilité de ce matériau pauvre en liant, de faibles pressions de cristallisation peuvent conduire à de spectaculaires pertes de cohésion¹⁵.

Cette hypothèse sur les causes de l'altération rend bien compte de l'état des couches profondes simplement liées au sable et bien conservées.

14. Nous avons constaté un phénomène analogue dans la composition de croûtes de sel formées sur des *talâtât* ayant conservé une partie de leur liant au plâtre (*Kémi* 21 (1971), 212). La salinité des eaux phréatiques favorise la mise en solution du plâtre.

15. A. Lucas, *The Disintegration of building stones in Egypt*, Le Caire, 1902; I. Herrero, *Altération des calcaires et des grès utilisés dans la construction*, p. 31, 123.

En conclusion, cette impressionnante altération interne résulte de la conjonction d'une particularité de construction (remplissage en superstructure lié au plâtre) avec l'exhaussement progressif au cours des siècles de la nappe phréatique. Sans la présence du plâtre dans le remplissage de superstructure, les *talâtât* auraient bien supporté le contact de la frange capillaire ; sans la montée progressive dans le temps du niveau maximum de celle-ci, les *talâtât* liés au plâtre se seraient bien conservés.

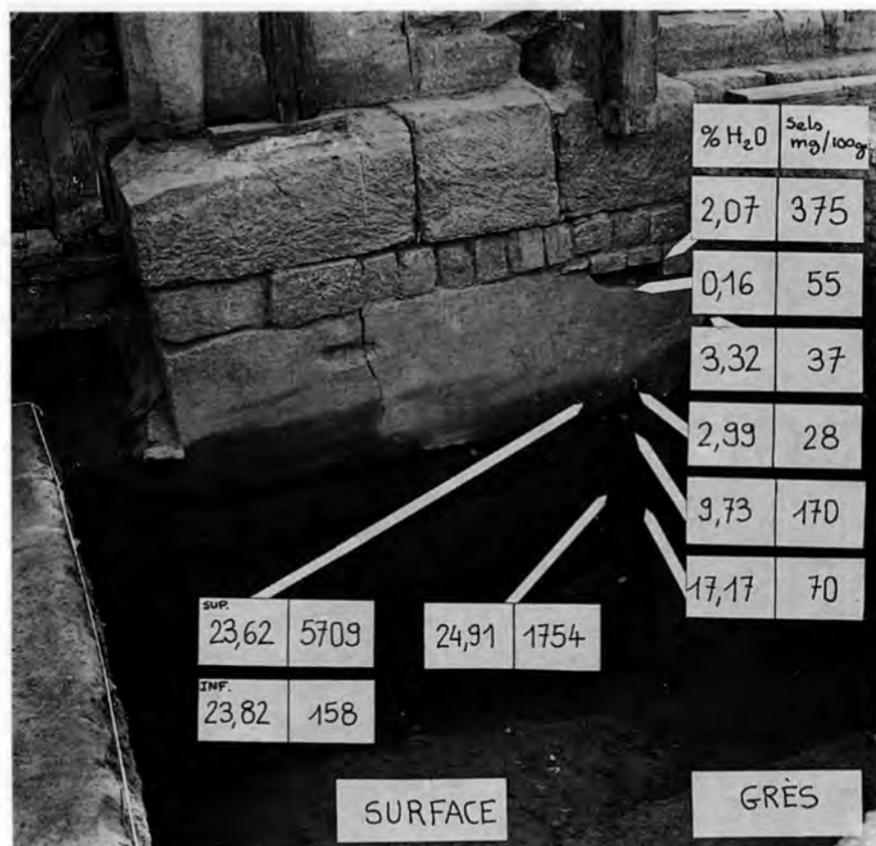
Les résultats de cette analyse en profondeur des matériaux d'un monument datant de plus de trois millénaires illustrent la grande diversité des facteurs pouvant intervenir dans un processus d'altération d'un matériau.

RÉSUMÉ

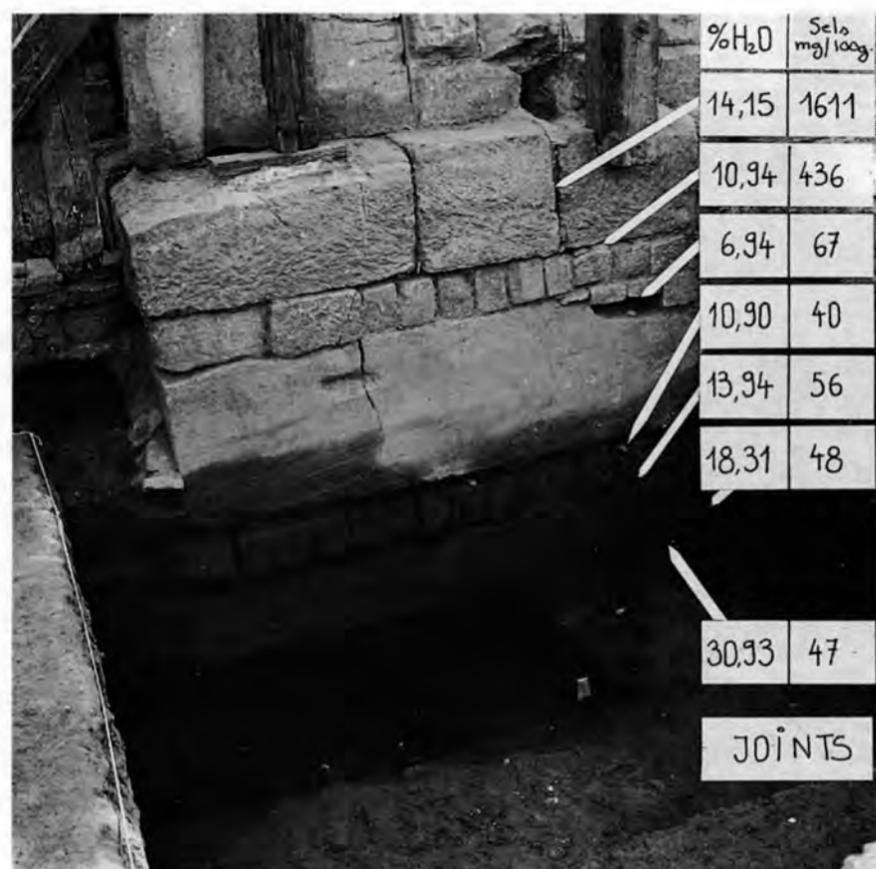
Lorsque fut vidé le bourrage interne de *talâtât* du môle ouest du IX^e pylône, il apparut curieusement que, sous quinze lits bien conservés, deux autres, les seizième et dix-septième, présentaient des grès sans cohésion et transformés en sable. Dans les couches inférieures, en revanche, les *talâtât* étaient à nouveau en bon état. Ceci s'avéra, après étude, être le résultat de phénomènes hydro-géologiques propres au site de Karnak où les dégradations constatées sont le fait de l'action de la nappe phréatique et du régime du Nil avant la régularisation résultant de la construction des différents barrages depuis le XIX^e siècle. Les dégradations subies par les *talâtât* à l'intérieur du môle ouest construit sous Horemheb (fin XVIII^e dynastie) ont la même origine, les effets ayant été aggravés par l'utilisation, pour les couches 15 à 24, lors de leur mise en place, d'un remplissage des parties supérieures et des joints avec un plâtre fortement chargé de sel. Les couches concernées correspondant à la zone de contact des fondations du pylône avec la frange capillaire, l'exhaussement progressif de celle-ci avec la nappe phréatique a entraîné ces importants dégâts. Les sels des grès humides combinés avec les éléments contenus dans le liant au plâtre imbibé d'eau ont, par leur action, provoqué la mise en solution du plâtre puis l'arénisation du grès lui-même.



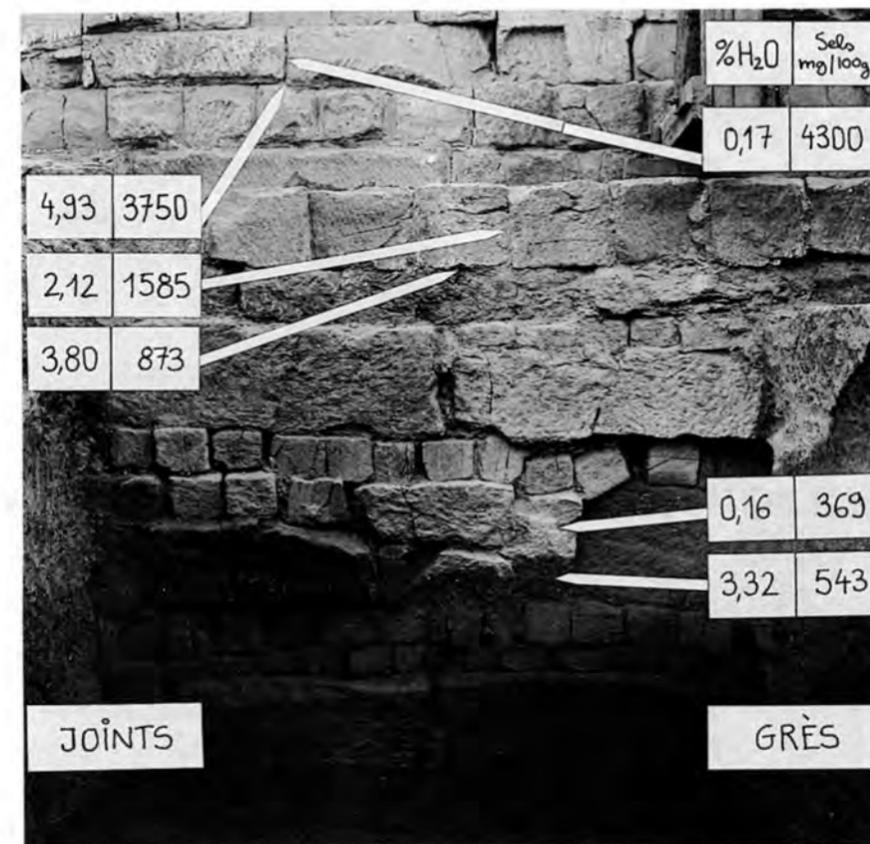
Pl. I a et b. Vue des dernières couches altérées et des premières couches saines.



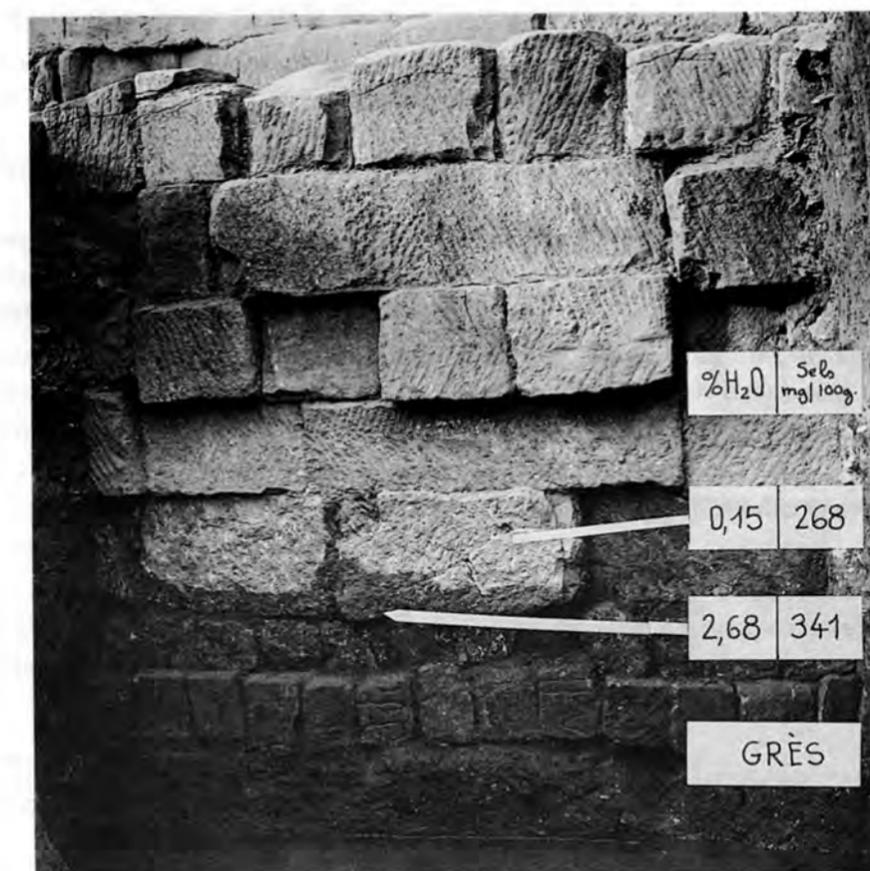
Pl. II a. Sondage sud-ouest. Résultats des mesures d'humidité et de salinité des grès.



Pl. II b. Sondage sud-ouest. Résultats des mesures d'humidité et de salinité des joints.



Pl. III a. Sondage sud-est. Résultats des mesures d'humidité et de salinité des grès et des joints.



Pl. III b. Sondage nord. Résultats des mesures d'humidité et de salinité des grès.