MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

BULLETIN
DE L'INSTITUT FRANÇAIS
D'ARCHÉOLOGIE ORIENTALE

en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne

BIFAO 96 (1996), p. 453-487

Pierre Zignani

Monolithisme et élasticité dans la construction égyptienne. Étude architecturale à Dendéra.

Conditions d'utilisation

L'utilisation du contenu de ce site est limitée à un usage personnel et non commercial. Toute autre utilisation du site et de son contenu est soumise à une autorisation préalable de l'éditeur (contact AT ifao.egnet.net). Le copyright est conservé par l'éditeur (Ifao).

Conditions of Use

You may use content in this website only for your personal, noncommercial use. Any further use of this website and its content is forbidden, unless you have obtained prior permission from the publisher (contact AT ifao.egnet.net). The copyright is retained by the publisher (Ifao).

Dernières publications

9782724711448	*Athribis XI*	Marcus Müller (éd.)
9782724711615	*Le temple de Dendara X. Les chapelles osiriennes*	Sylvie Cauville, Oussama Bassiouni, Matjaž Ka?i?nik, Bernard Lenthéric
9782724711707	*????? ?????????? ??????? ???? ?? ??????? ??? ???? ?? ??????? ??????? ?? ???????? ???????? ???????????? ?????????? ????????? ?????? ?????? ?? ??? ??????? ?????:*	Omar Jamal Mohamed Ali, Ali al-Sayyid Abdelatif
9782724711462	*La tombe et le Sab?l oubliés*	Georges Castel, Maha Meebed-Castel, Hamza Abdelaziz Badr
9782724710588	*Les inscriptions rupestres du Ouadi Hammamat I*	Vincent Morel
9782724711523	*Bulletin de liaison de la céramique égyptienne 34*	Sylvie Marchand (éd.)
9782724711400	*Islam and Fraternity: Impact and Prospects of the Abu Dhabi Declaration*	Emmanuel Pisani (éd.), Michel Younès (éd.), Alessandro Ferrari (éd.)
9782724710922	*Athribis X*	Sandra Lippert

© Institut français d'archéologie orientale - Le Caire

Monolithisme et élasticité dans la construction égyptienne
Étude architecturale à Dendera

Pierre ZIGNANI

L'ÉTUDE architecturale du temple d'Hathor à Dendera que nous avons entreprise depuis 1993 requiert au préalable un relevé précis [1], inexistant à ce jour, comme c'est le cas pour tous les grands sanctuaires égyptiens bien conservés de l'époque gréco-romaine, à l'exception de Kalabsha [2]. Les observations faites lors des deux premières saisons de documentation sur le terrain permettent de livrer dans les pages qui suivent quelques remarques sur l'art de bâtir.

Les monuments ptolémaïques et romains de Dendera, comme ceux d'autres sites, ont déjà suscité d'intéressantes études sur les techniques constructives [3] qui ont crédité les bâtisseurs de ces époques d'un grand savoir-faire dans leurs œuvres, et permis d'expliquer – sans avoir à évoquer leur jeunesse relative – que ces temples soient parmi les édifices antiques les mieux préservés de la vallée du Nil.

Deux types d'observations, récemment effectuées, nous autorisent non seulement à abonder dans ce sens, mais aussi à penser que l'évolution de la qualité du grand appareil en grès, que l'on constate depuis la XXX^{e} dynastie [4], s'inscrivait dans une recherche générale d'optimisation des techniques constructives. Ce développement était déjà manifeste dans la minutie apportée à la préparation et à l'exécution des éléments structurels ; il devient encore plus remarquable si l'on observe la faculté que les concepteurs antiques avaient de réfléchir aux contraintes consécutives à l'édification d'un grand bâtiment, contraintes principalement d'origine géotechnique et susceptibles de ruiner tous les efforts d'amélioration de la qualité de l'appareillage. Cette réflexion a amené les architectes à inventer des dispositifs d'élasticité qui permettent à un édifice de subir des mouvements de terrain et d'y réagir sans que son intégrité structurelle et formelle en soit affectée.

1 N. GRIMAL, « Travaux de l'Institut français d'archéologie orientale », *BIFAO* 1994, p. 392.

2 K.G. SIEGLER, *Kalabsha*, *ArchVer* 1, Berlin, 1970 et G.R.H. WRIGHT, *Kalabsha, the Preserving of the Temple*, *ArchVer* 2, Berlin, 1972.

3 J.-Cl. GOLVIN, J. LARONDE, « Étude des procédés de construction dans l'Égypte ancienne I », *ASAE* 68, 1979, p. 165-190 ; J.-Cl. GOLVIN, « Étude des procédés de construction dans l'Égypte ancienne II », *ASAE* 70, 1985, p. 371-381.

4 J.-Cl. GOLVIN, J.-Cl. GOYON, *Les bâtisseurs de Karnak*, Bourges, 1987, p. 111.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani

Maçonnerie des éléments porteurs

Préparation du terrain

Une bonne construction commence au niveau des fondations puisqu'elles sont destinées à répartir le poids de l'ouvrage sur le sol. Pour éviter des tassements différentiels, source de dégâts quelle que soit la qualité des structures porteuses, on doit veiller à ce qu'elles exercent une pression régulière inférieure ou égale à la charge que le terrain peut supporter. Cette résistance dépend naturellement de la composition du sol [5]. Une récente étude au premier pylône du Ramesseum [6] donne des valeurs de résistance à la compression pour les sols limoneux de la vallée du Nil, dont la moyenne est de 1,75 kg par cm^2. Contrairement à l'opinion de H. Chevrier, la résistance de ce terrain est plutôt moyenne sous les charges de la construction massive de l'architecture pharaonique et il faut encore l'imaginer affectée par le phénomène régulier, mais d'intensité très variable, de la crue annuelle du Nil dans l'Antiquité [7]. Cette faible résistance a certainement été, avec le peu de profondeur des fondations et le manque de soin apporté à cet élément peu visible de l'architecture, le plus grand facteur de destruction involontaire, aux périodes plus anciennes, des monuments qui n'étaient pas édifiés sur le sol de dureté moyenne ou supérieure des plateaux et des affleurements rocheux [8].

Selon le rituel de fondation, le chantier commençait réellement, après que l'on avait procédé à l'orientation du temple, par l'excavation de la fosse de fondation sous l'emprise de la construction projetée [9]. Cette fouille atteignait le niveau de la nappe phréatique permettant d'établir une horizontale de référence [10]. L'amplitude des variations d'altitude de l'eau souterraine, corrélative au débit du Nil, pose la question du niveau atteint par les fondations [11].

Une estimation du niveau phréatique au moment de la construction du IX^{e} pylône à Karnak a permis de suggérer que ses substructions ne descendaient pas au-dessous de la cote que l'on estimait à l'époque correspondre au niveau supérieur de la crue [12]. Si cette pratique de rester au-dessus du niveau maximum atteint par la nappe phréatique était générale, elle permettait d'éviter la réaction de la poussée hydraulique sur les fondations des ouvrages [13].

À Dendera, la face sud du mur d'enceinte de pierre du sanctuaire d'Hathor, déchaussée, laisse voir un mur de brique crue qui longe exactement les fondations (fig. 1 et 2). Ce mur a été construit avant même d'entreprendre la maçonnerie en grand appareil de grès. Il appartient

5 Cette force portante du sol s'exprime en kg/cm^2.

6 St. Zantain, H. Helal, M. Aboushouk, « The First Pylon of the Ramesseum », *Memnonia* 4-5, 1994, p. 66 et 68. Cette valeur est similaire à celle retenue dans l'étude par modélisation numérique de la stabilité de l'assemblage du IX^{e} pylône du temple d'Amon à Karnak (cf. T. Verdel, J.P. Piget, H. Helal, T. Abdallah, « Étude de l'évidement du IX^{e} pylône du temple de Karnak par la méthode des éléments distincts - recherche d'une méthodologie », *Revue Française de géotechnique* 65, 1993, p. 60, tabl. 1 : résistance à la compression du limon).

7 H. Chevrier, « Technique de la construction dans l'ancienne Égypte, III : gros œuvre, maçonnerie », *RdE* 23, 1971, p. 73 sq.

8 Voir les hypothèses de destruction liées à la faiblesse des fondations de H. Ricke, *Untersuchungen im Totentempel Amenophis* III., *BÄBA* 11, Wiesbaden, 1981, p. 17 et de L. Gabolde, V. Rondot, « Une catastrophe antique dans le temple de Montou », *BIFAO* 93, 1993, p. 251-253.

9 P. Montet, « Le rituel de fondation des temples égyptiens », *Kêmi* 17, 1964, p. 78-85.

10 *Ibid*., p. 85-87 et voir A. Mariette, *Dendérah, description générale du grand temple de cette ville*, Le Caire, 1875, p. 131-133.

11 Ventre Pacha, « Crues modernes et crues anciennes du Nil », *ZÄS* 34, 1896, p. 102.

12 Cl. Traunecker, « IX^{e} pylône : dégradations et humidité », *Cahiers de Karnak* 8, p. 359 sq.

13 G. Baud, *Le bâtiment*, Vevey, 1980, p. 104.

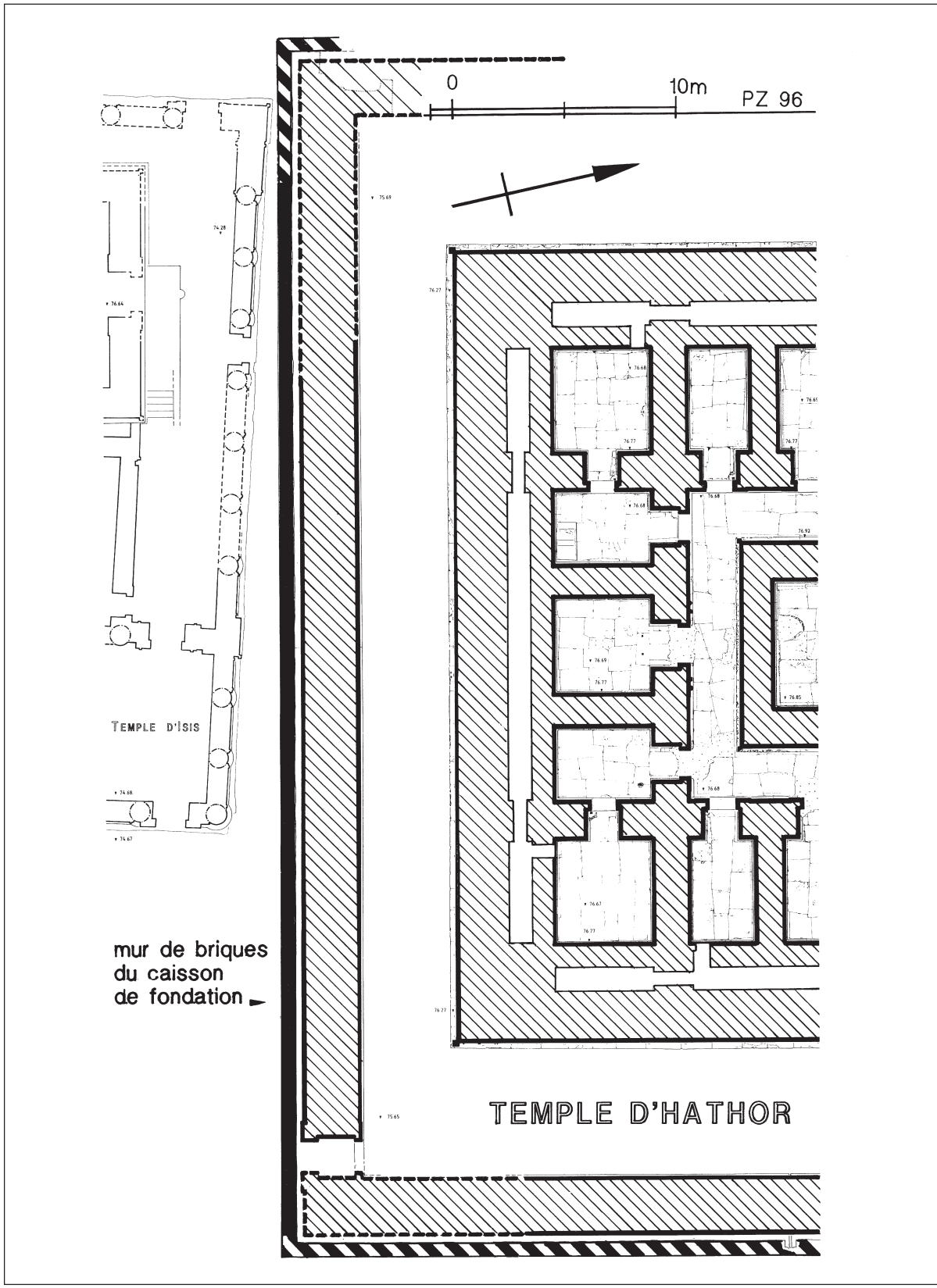


Fig. 1. Plan du côté sud du temple d'Hathor.

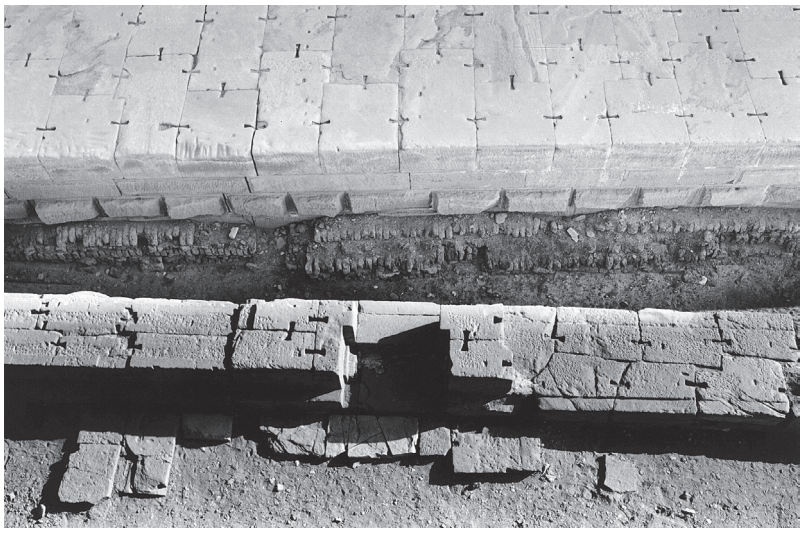


Fig. 2. Dendera, fondation du mur d'enceinte de pierre du temple d'Hathor avec le mur caisson en briques.

à un processus de préparation des substructions qui est devenu systématique à la période ptolémaïque. Après avoir creusé la fosse de fondation, on construisait au fond des murets de briques qui délimitaient, tel un cordeau de maçon, les surfaces linéaires ou ponctuelles des éléments à bâtir. Ensuite, on versait dans ces caissons, comme on peut le voir sur les représentations des rituels de fondation [14], une couche de sable du gebel à grosse granulométrie (fig. 3). Ce matériau, plus résistant que le limon à la compression et ne gonflant pas lorsqu'il est humidifié, offrait des conditions de résistance supérieures et homogènes pour éviter, ou au moins atténuer, les tassements inégaux.

Apparemment développée dès la période saïte [15], la technique du caisson de briques semble être devenue pratique courante à partir de la XXX^{e} dynastie tant dans le Delta (à Tanis par exemple où ils sont parfois les seuls vestiges des sanctuaires [16]), qu'en Moyenne et Haute-Égypte où on les a retrouvés lors des fouilles récentes à Tebtynis, au temple de Ptolémée I^{er} [17], et à Éléphantine, au temple de Khnoum de Nectanébo II [18]. Une étude sur la porte d'Évergète au temple d'Amon à Karnak nous a permis de démontrer que ce qui avait été identifié comme un premier pylône de brique [19] était en réalité le mur d'un grand caisson de briques crues ceinturant la porte et les fondations en grès des môles d'un pylône qui ne fut jamais érigé (fig. 4 et 5) [20].

14 P. MONTET, *op. cit.*, p. 89-91.

15 A.J. SPENCER, *Brick Architecture in Ancient Egypt,* Warminster, 1979, p. 121 et exemples cités en notes en bas de pages.

16 Pour la période de Nectanébo voir : J.-M. FOUGEROUSSE, « Études sur les constructions de Tanis », *Kêmi* 5, 1935-1937, p. 58-60, le mur de calcaire, pl. VII/2 sq. : Fougerousse parle de « mur caisson ». A. LEZINE, « Le temple du nord à Tanis », *Kêmi* 12, 1952, p. 46-58 : Lezine qui identifie le temple comme une construction de Nectanébo, pense que les murs caissons appartiennent à un état antérieur (p. 47 et 52). Il fait observer que les angles pouvant contenir un dépôt de fondation ont été détruits. Dans les constructions de période ptolémaïque, l'emploi du mur caisson avec des niches réservées aux angles pour les dépôts de fondation semble être systématique. Voir pour la porte de Ptolémée I^{er} : J.L. FOUGEROUSSE, *op. cit.*, p. 44-48 et pl. V sq. ; pour la plate-forme de Ptolémée IV Philopator au sud du temple d'Anta : J.L. FOUGEROUSSE dans P. MONTET, *Les nouvelles fouilles de Tanis*, 1933, p. 135-141 et pl. XXXIX ; pour le temple d'Horus de la plaine de Ptolémée X Alexandre : P. MONTET, *Les énigmes de Tanis*, 1952, p. 46-48, P. MONTET, *Kêmi* 10, 1949, p. 81 sq., et A. LEZINE, P. MONTET, *Mélanges Picard*, 1949, p. 752, 754 sq., plan p. 160.

17 Selon la communication présentée par V. RONDOT, « Les cryptes du temple de Tebtynis », le 7 septembre 1992 au 6^{e} congrès international d'égyptologie et discussions avec le conférencier (publication prévue prochainement dans la série *FIFAO*). Voir aussi le rapport de Tebtynis sur le travail mené au temple dans N. GRIMAL, « Travaux de l'Institut français d'archéologie orientale », *BIFAO* 91, 1991, p. 292-293.

18 H. RICKE, *Die Tempel Nektanebos II. in Elephantine*, *BÄBA* 6, 1960, p. 6 sq., et sur pl. 4a remarquer la niche réservée pour un dépôt de fondation ; W. NIEDERBERGER dans W. KAISER *et al.*, « Stadt und Tempel von Elephantine », *MDAIK* 46, 1990, p. 190 et fig. 1 : voir le mur de brique enserrant le sanctuaire.

19 J. LAUFFRAY, R. SAAD, S. SAUNERON, « Rapport sur les travaux de Karnak », *Cahiers de Karnak* 5, 1970-1972, sondages aux abords de la porte d'Evergète, p. 23-26 et fig 11.

20 P. ZIGNANI, « Étude architecturale de la porte d'Évergète », contribution à paraître dans l'étude préparée par Fr. Labrique (mission de l'Institut suisse de recherche architecturale et archéologique auprès du Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak).

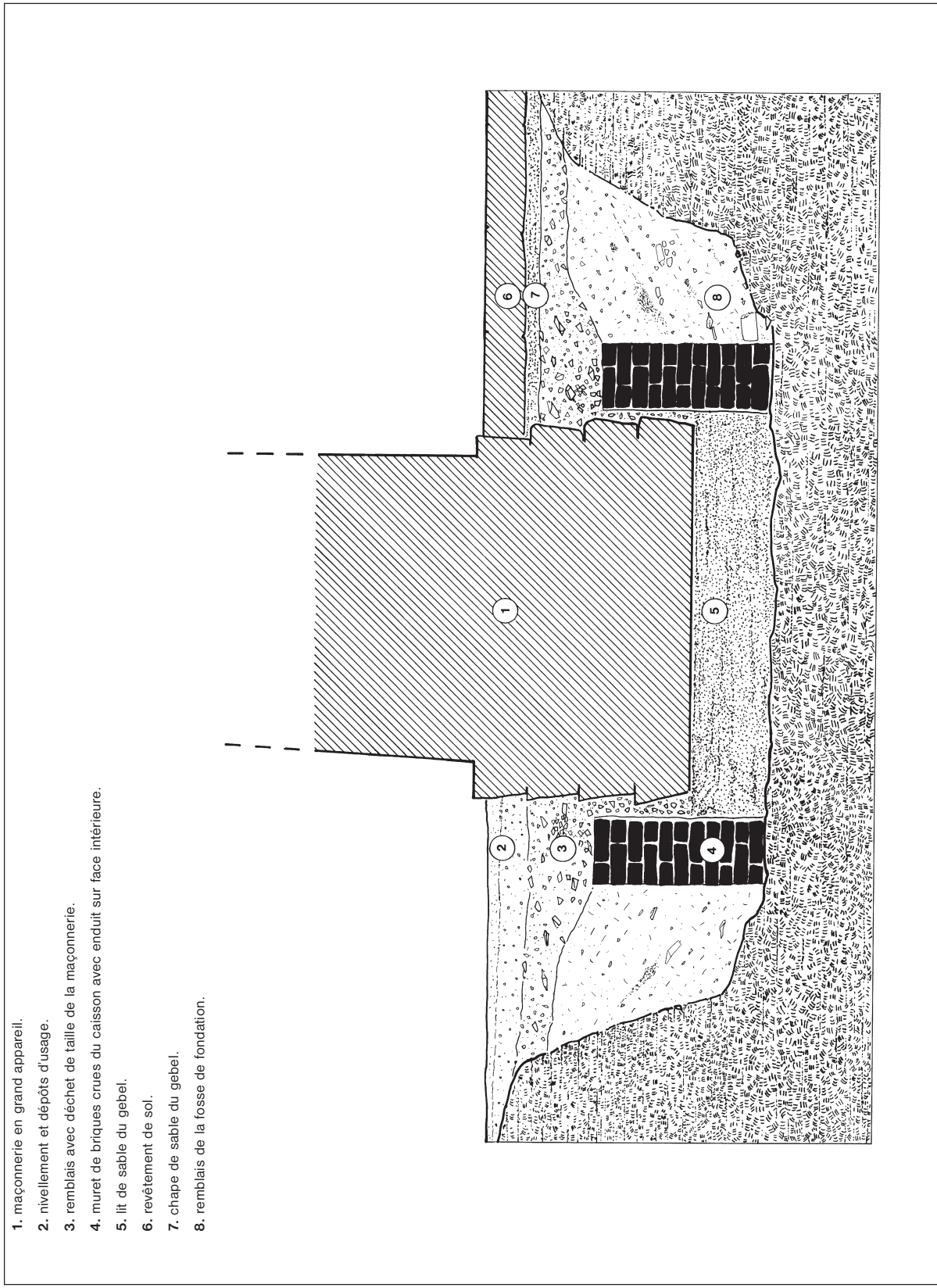


Fig. 3. Croquis de principe des caissons de fondation.

1. maçonnerie en grand appareil.
2. nivellement et dépôts d'usage.
3. remblais avec déchet de taille de la maçonnerie.
4. muret de briques crues du caisson avec enduit sur face intérieure.
5. lit de sable du gebel.
6. revêtement de sol.
7. chape de sable du gebel.
8. remblais de la fosse de fondation.

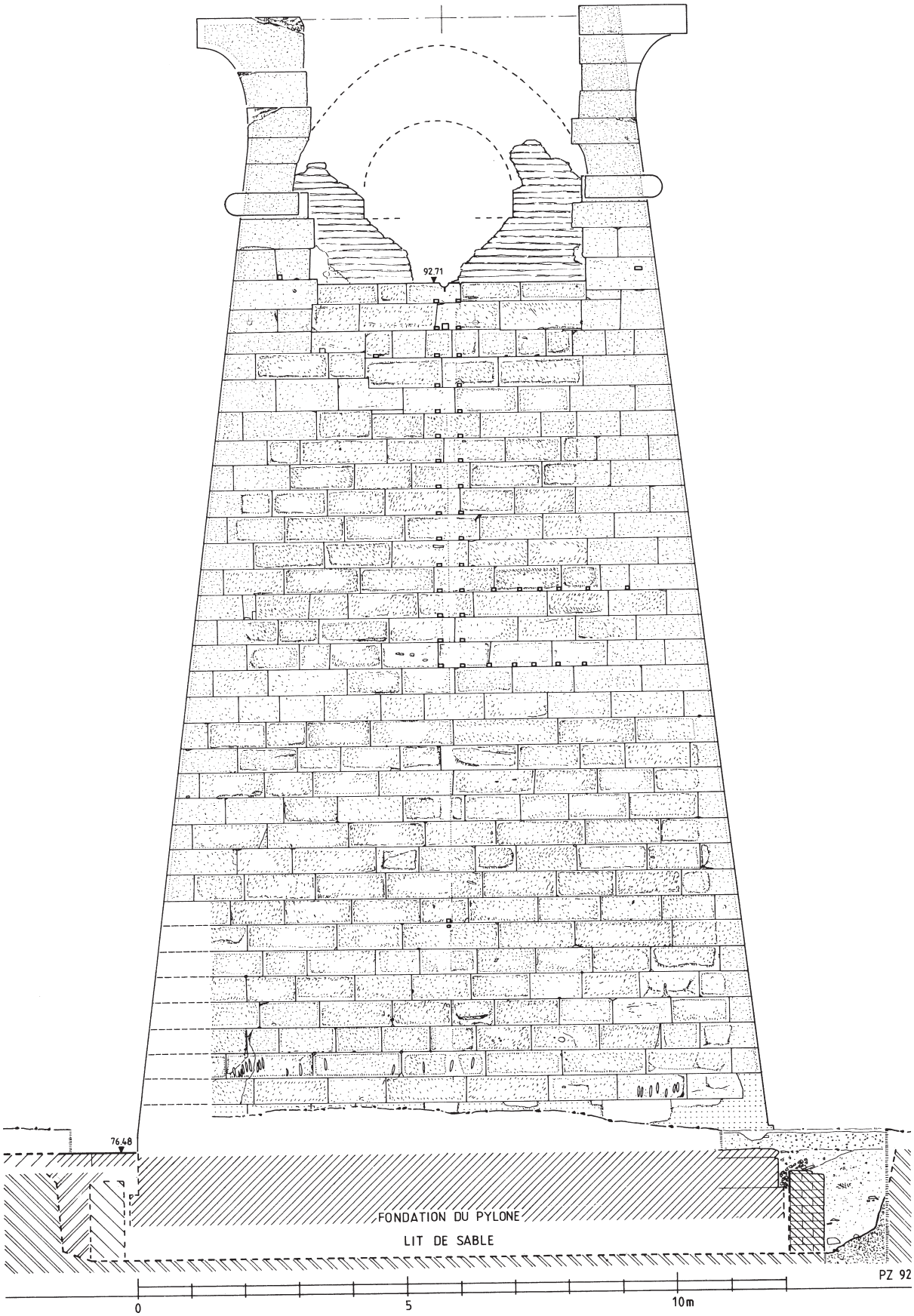


Fig. 4. Temple d'Amon à Karnak : porte d'Évergète, coupe sur les fondations du môle est.

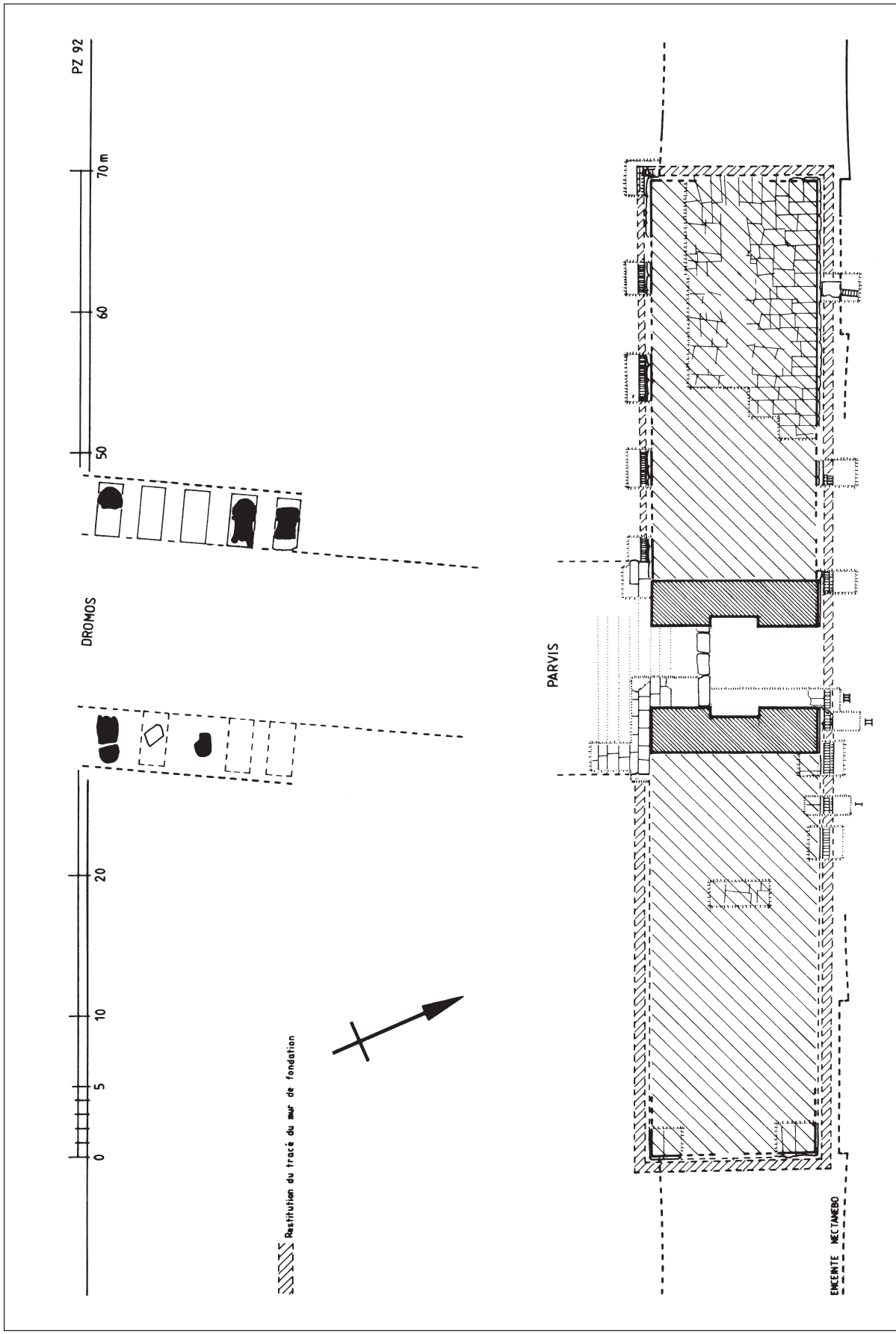


Fig. 5. Temple d'Amon à Karnak, plan de la porte d'Évergète.

Il est intéressant de remarquer que ces caissons de fondation n'étaient pas inconnus à des périodes plus anciennes mais réservés à des situations où la résistance du sol était jugée insuffisante [21]. La généralisation de ce processus n'a pu se faire que par une prise de conscience de l'importance des fondations pour la stabilité des structures implantées dans un terrain limoneux.

Maçonnerie

Les travaux de fondation ainsi préparés, la construction des substructions et des structures hors sol pouvait être entreprise selon des techniques de taille et de liaisonnement rigoureuses qui se développent dès le début de la période ptolémaïque [22]. Les murs, y compris de large section, sont composés uniquement de blocs relativement calibrés, finement taillés et assujettis. Les premières assises sont à plusieurs mètres sous le niveau du sol et exécutées avec le même soin que les murs.

Ce travail assure à lui seul une bonne stabilité à la maçonnerie mais les constructeurs ptolémaïques ont cherché à parfaire le liaisonnement des blocs par la préparation d'évidements, sous forme de canaux, à la surface des lits d'attente et par des cadres d'anathyrose sur les joints montants. Seuls les bandeaux laissés en périphérie sont jointifs avec les pierres voisines, tandis que la partie démaigrie est garnie de mortier de plâtre [23]. Ce mortier a également joué le rôle important de lubrifiant au moment de la pose [24]. Une fine couche, certainement très liquide, permettait de faire glisser le bloc avec une moindre résistance. Cette pellicule avait de surcroît l'avantage d'obturer les micro-cavités subsistant au niveau des contacts des blocs et d'assurer une transmission homogène des charges [25].

Cette maçonnerie de blocs appareillés, dont le mortier augmente non seulement la qualité du liaisonnement mais également la répartition des charges, présente une telle cohésion que l'emploi de scellements avec des crampons en forme de double queue d'aronde peut sembler superflu. Plusieurs auteurs hésitent à reconnaître l'usage systématique de ce dispositif et pensent qu'il n'avait qu'un emploi temporaire au moment du chantier. Leur raisonnement s'appuie sur l'opération de démontage du temple de Kalabsha, où la découverte de ce type de crampons en place fut relativement rare alors que de nombreuses mortaises avaient été préparées [26]. Cette disposition occasionnelle des queues d'aronde n'est pas toutefois le résultat d'un emploi temporaire par les constructeurs antiques : elle est plutôt la conséquence d'une entreprise de récupération des crampons métalliques, dont G.H.R. Wright signale quelques éléments en plomb, retrouvés au niveau de l'assemblage des architraves. L'observation de

21 A.S. SPENCER, *op. cit.,* p. 120. Voir encore les exemples dans le temple de Merenptah (cf. H. JARITZ, « Der Totentempel des Merenptah in Qurnah », *MDAIK* 48, 1992, p. 65-92) où de telles fondations ont été préparées sous les bases de colonnes du palais (p. 71sq.) ou pour délimiter un repentir de construction du premier pylône dans une première phase de la fosse de fondation (p. 81-83). Dans la même région, ce travail de fondation se rencontre, également en terrain difficile, au temple de Ramsès III de Medinet Habou (U. HÖLSCHER, *The Mortuary Temple of Ramses III*, part 2, *OIP* 55, 1951, p. 30 sq.).

22 J.-Cl. GOLVIN, *op. cit.*, p. 375-381.

23 G. MARTINET, *Grès et mortiers du temple d'Amon à Karnak*, Paris, 1992, p. 79-83.

24 G.H.R. WRIGHT, *op. cit.*, p.75.

25 *Ibid.* et J.-CL. GOLVIN, J. LARRONDE, *op. cit.*, p. 182.

26 G.H.R. WRIGHT, *op. cit.*, p. 75 et J.-CL. GOLVIN, J. LARRONDE, *op. cit.*, p. 176-177.

photos prises avant les premières campagnes de restauration du Service des antiquités, pour la consolidation des temples de Nubie, montre indubitablement des trous de pillage aux intersections des joints de la maçonnerie [27].

Au temple d'Hathor de Dendera on connaît déjà un crampon en bois en forme de double queue d'aronde sur la terrasse, à proximité du kiosque de la fête du Nouvel An, dans une lucarne éclairant l'angle sud-ouest du couloir mystérieux [28]. En observant les segments de maçonnerie partiellement démantelés, on constate de prime abord que les mortaises destinées à l'agrafage des blocs sont vides. Dans ces sections, le lit d'attente est souvent assez érodé et le piquetage des canaux de mortier a tendance à s'estomper. Il existe pourtant quelques zones plus circonscrites où le lit d'attente, moins dégradé par le temps, a conservé la masse du mortier non seulement dans les canaux prévus pour sa répartition mais aussi dans les cavités préparées pour recevoir les crampons. Leur nettoyage en différents endroits du temple a à chaque fois permis de retrouver, au fond de son logement, le crampon en bois recouvert par la couche de liant utilisée au moment de la pose des blocs et par un remplissage de sable et d'éclats de grès de la construction (fig. 6, 7 et 8). Toutes nos tentatives de retrouver la pièce de bois dans les différentes parties de la construction du temple d'Hathor ayant été fructueuses, il est manifeste que son emploi était systématique et que la fonction que lui destinaient les bâtisseurs était bien de renforcer la cohésion du liaisonnement.

L'examen de la surface supérieure des corniches montre qu'il existait également à ce niveau des agrafes en forme de double queue d'aronde qui ont toutes disparu. Elles étaient implantées selon des alignements rigoureux, de deux rangées sur la corniche du naos et de une à trois sur celle du pronaos. Il est toutefois curieux que chaque mortaise de ces corniches ait été grossièrement évasée à grands coups de ciseaux désordonnés trahissant un effort intense pour récupérer les queues d'aronde parfaitement scellées au fond de leurs logements (fig. 9). Cette manière de procéder est limitée à la surface des corniches et n'a jamais été entreprise sur les éléments de liaisonnement au cœur de la maçonnerie. En effet, sur les segments des murs démantelés nous avons vu que les crampons en bois sont parfois présents dans les zones où les lits d'attente sont peu détériorés, mais que, s'ils ont disparu, la forme de leur mortaise n'a pas été altérée. Ce constat indique que l'agrafe en bois, qui aujourd'hui se désagrège en poussière au toucher, a peut-être disparu naturellement après avoir été exposée à l'air ou bien qu'il n'était pas nécessaire d'attaquer et de déstructurer la mortaise pour la récupérer. Les crampons des corniches n'ont donc pas été réalisés en bois et seule une pièce métallique bien scellée a pu susciter ce travail de découpe de la pierre autour de la mortaise pour permettre sa récupération [29]. L'assise de couronnement, composée

27 G. MASPERO, *Les temples immergés de la Nubie* I, Le Caire, 1911, p. 33-35 ; *Les temples immergés de la Nubie* II, Le Caire, 1911, pl. 62-64 et H. GAUTHIER, *Le temple de Kalabsha* I, Le Caire, 1911, p. 2 ; *Le temple de Kalabsha* II, Le Caire, 1914 voir les planches photos.

28 J.-CL. GOLVIN, J. LARRONDE, *op. cit.*, p. 176, n. 2.

29 On connaît dans l'architecture hellénistique des exemples de crampons en forme de double queue d'aronde coulés en plomb à l'avance dans un moule puis posés dans leurs mortaises et martelés afin d'assurer une forte adhérence ; cf. J.-P. ADAM, *La construction romaine*, Paris, 1989, p. 57.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani



Fig. 6. Dendera, temple d'Hathor, maçonnerie démantelée de la corniche du naos avec un crampon de bois en place.



Fig. 7. Dendera, temple d'Hathor, crampon en forme de double queue d'aronde de la corniche démantelée.



Fig. 8. Dendera, temple d'Hathor, crampon en forme de double queue d'aronde du mur d'enceinte en pierres.



Fig. 9. Dendera, temple d'Hathor, corniche du pronaos, forme de mortaise déstructurée par l'effort de récupération d'un crampon métallique.

de blocs de largeur identique à la corniche, était plus sensible à des mouvements latéraux, notamment les secousses sismiques [30], puisque sa seule accroche au reste de la maçonnerie était son lit de pose. L'emploi du métal, plus rare et plus difficile à travailler, (donc plus précieux), mais plus résistant que le bois, a été réservé pour réaliser les agrafes à ce niveau de la maçonnerie.

Cette situation nous rappelle qu'au temple de Kalabsha, contemporain du temple d'Hathor de Dendera, G.H.R. Wright a retrouvé, parmi les rares queues d'aronde en place, à la fois des exemplaires en métal et en bois [31]. On peut alors se demander si leur emploi n'était pas réparti selon le même ordonnancement. Les pilleurs, peu au fait de ces raffinements technologiques de l'Antiquité, auraient attaqué toutes les intersections accessibles dans l'espoir de trouver le métal [32].

Cette variation des matières dans lesquelles les queues d'aronde ont été préparées, en bois au cœur de la maçonnerie et en métal pour l'assise de couronnement, témoigne d'une approche très réfléchie des constructeurs qui ont recherché à la fois l'économie des moyens et la résistance des matériaux.

Cryptes

L'examen de la maçonnerie ne peut pas ignorer la présence des cryptes dans le mur extérieur du naos du temple d'Hathor (fig. 10 et 11). Le témoignage le plus ancien de ces cryptes dites d'épaisseur a été aménagé au temple d'Horus à Edfou, dont la construction débuta sous Ptolémée III. Ce type d'agencement est également connu aux temples de Kôm Ombo, Tod, Chenhour et el-Qala [33]. Ces espaces présentent tous la particularité de dissimuler avec grand art leur accès, ce qui leur confère un caractère de cachette destinée à des usages théologiques et cultuels, liés à la conservation ou au remisage de matériel liturgique [34].

Le temple d'Hathor se distingue des autres grands sanctuaires par une systématisation de l'agencement architectonique de ces cryptes. En plan, elles ont été aménagées dans le mur extérieur et se développent de la salle des offrandes vers le sud, derrière les chapelles principales. En coupe, le mur est divisé en trois parties, le mur intérieur, le vide, le mur extérieur. Ce volume qu'occupent les cryptes est à son tour scindé en trois niveaux (dans les fondations, au niveau du sol du temple, dans la partie supérieure des parois), à l'exception du côté est qui est traversé par l'espace incliné de l'escalier. Cette partition du mur permet donc d'intégrer des circulations, de même que les niches et les espaces manifestement secrets,

30 Voir pour la description des forces auxquelles est soumis un monument bâti : Th. VERDEL, *Géotechnique et monuments historiques, méthodes de modélisation appliquées à des cas égyptiens*, thèse de doctorat soutenue à l'Institut national polytechnique de Lorraine, 3 février 1993, p. 48-49. Pierre PICHARD, *Après un seïsme : mesures d'urgence, évaluation des dommages, études et documents sur le patrimoine culturel* ; Unesco 1984, p. 11-13.

31 G.R.H. WRIGHT, *op. cit.*, p. 76, pl. 91 sq. Les crampons en plomb sont justement signalés au niveau de l'assemblage plus délicat des architraves.

32 Ces phénomènes de récupération existent encore sur d'autres édifices qui avaient reçu des crampons métalliques pour le liaisonnement de leurs blocs, voir par exemple le sanctuaire de Philippe Arrhidée au temple d'Amon à Karnak (cf. P. BARGUET, *Le temple d'Amon-Rê à Karnak*, *RAPH* 21, Le Caire, 1962, p. 138, n. 1.

33 Cl. TRAUNECKER, « Krypta », *LÄ* III, 824 et du même auteur, « Cryptes connues et inconnues des temples tardifs », *BSFE* 129, 1994, p. 40.

34 Cl. TRAUNECKER, « Cryptes... », *op. cit.*, p. 23 et 36-39.

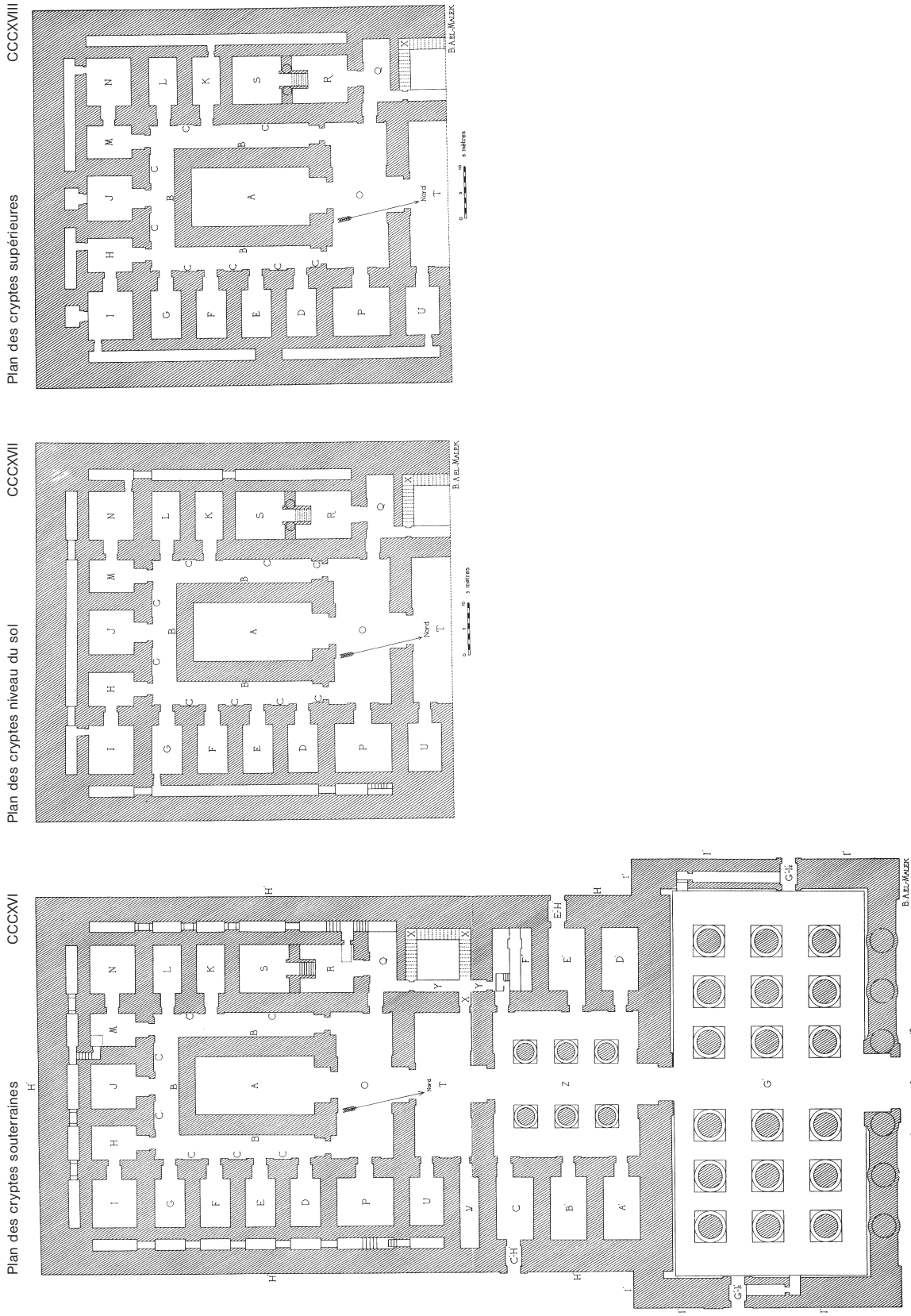
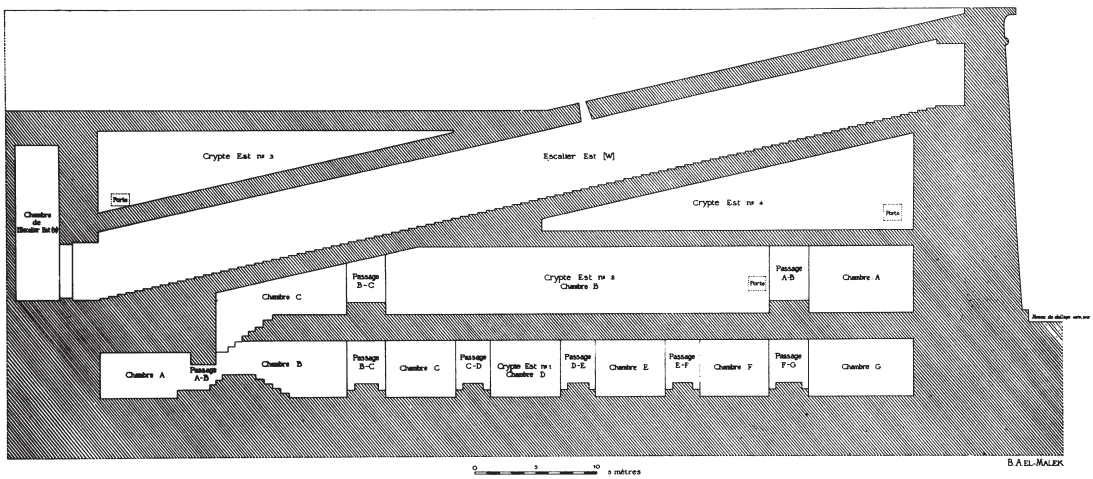
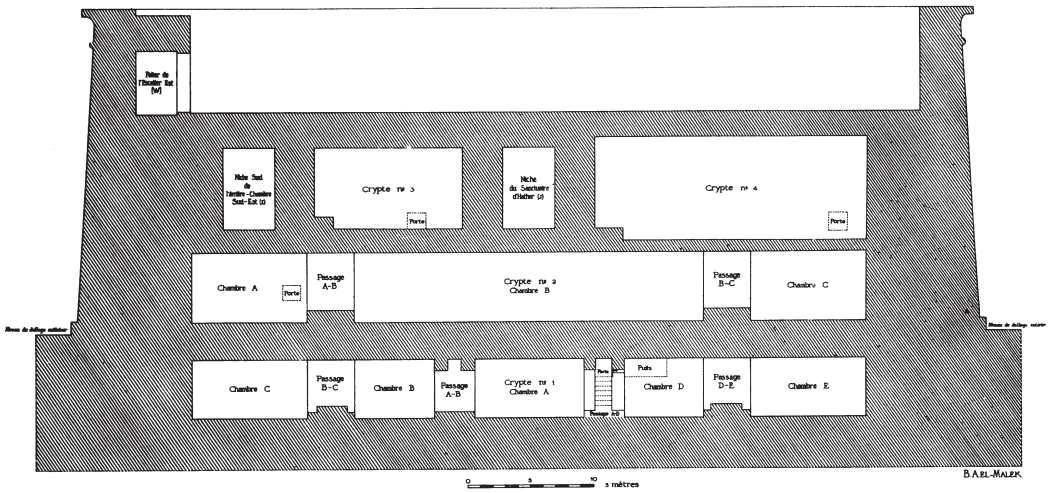


Fig. 10. Dendera, temple d'Hathor, croquis de la disposition des cryptes par niveaux (d'après É. Chassinat, *Le temple de Dendara* V, vol. 2, pl. 316-318, Le Caire, 1947).

Fig. 11. Croquis de la disposition des cryptes en coupe (d'après É. Chassinat, *Le temple de Dendara* V, vol. 2, pl. 319-321, Le Caire, 1947).





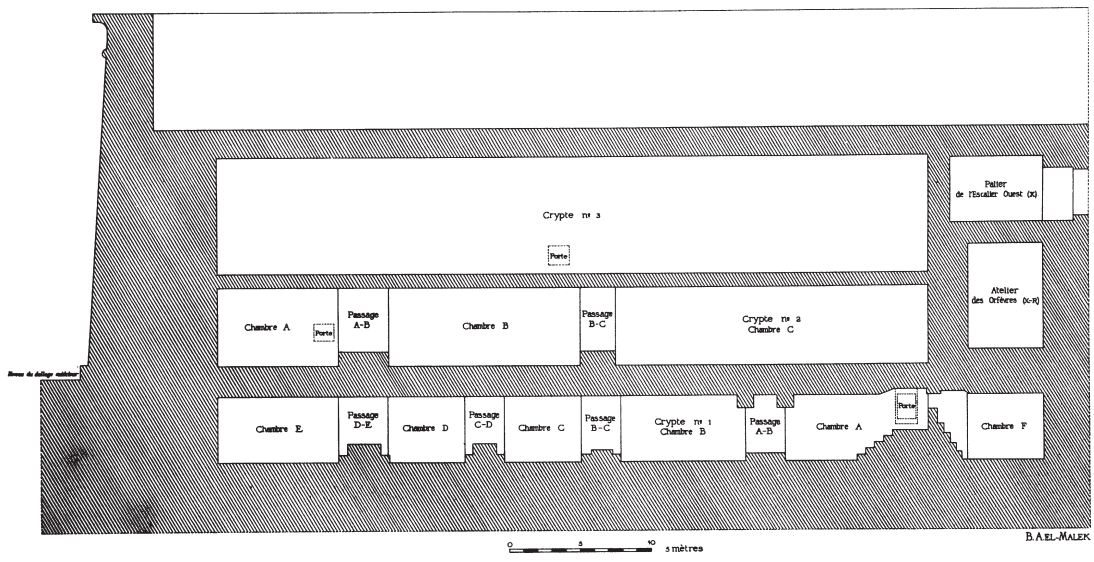
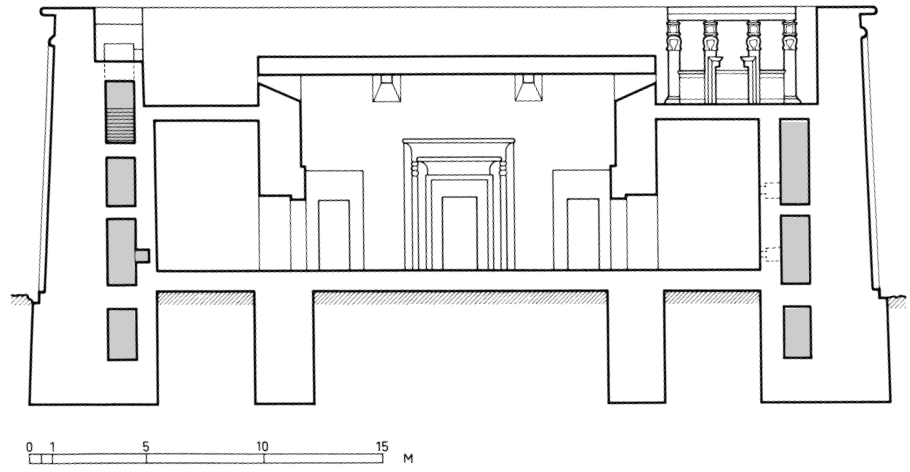


Fig. 12. Coupe schématique en travers du sanctuaire (d'après S. Sauneron, H. Stierlin, *Edfou et Philae*, Lausanne, 1975, fig. p. 57).



requis dans le fonctionnement du temple. La perfection de cette composition spatiale ne peut cependant être fortuite et répond à une programmation architecturale [35].

Cette introduction de vide dans la maçonnerie a de surcroît des avantages au niveau du chantier puisque qu'elle permettait de réduire le volume des matériaux à extraire, à transporter et à mettre en œuvre [36] (fig. 12). D'un point de vue constructif, cette solution a encore d'autres attraits car en augmentant la largeur et en réduisant le poids propre du mur, l'économie de matériau se traduit également par une diminution des charges d'appui au niveau du terrain [37]. Le traitement cloisonné des cryptes du temple, qui donne au mur une structure alvéolaire, permettait en outre de ne pas affecter la résistance même de l'ouvrage [38].

C'est donc vraisemblablement en ayant conscience de ces avantages économiques et constructifs que les concepteurs avaient projeté ces espaces dans la maçonnerie. Ce traitement d'un élément massif de l'architecture n'est d'ailleurs pas sans parallèle, si l'on considère l'évolution contemporaine des pylônes. Ceux-ci, conçus à l'origine comme des éléments architecturaux pleins, traversés parfois par le corridor d'un escalier, s'évidèrent à la période gréco-romaine [39]. Ce changement typologique devint radical avec les derniers exemples

35 *Ibid.*, p. 39, voir pour comparaison, la disposition spatiale des cryptes d'Edfou sur les figures nos 2, 4, 5 et 6. Cette perfection est très visible en comparaison avec le plan du temple d'Edfou où l'on peut observer, par exemple, que le palier bas de l'escalier longitudinal est implanté curieusement sur l'angle de sa chapelle ou que l'articulation des chapelles d'angles ne reprend pas les alignements de celles ouvrant sur le couloir mystérieux.

36 Un rapide calcul nous a permis d'évaluer ce cubage économisé : il est supérieur à 900 m^3, ce qui correspond à une économie de 20 à 25 % par rapport à la même maçonnerie pleine.

37 É. Chassinat avait évoqué cette fonction de décharge dans la maçonnerie pour certaines cryptes, au niveau supérieur, au regard du caractère commun des tableaux représentés (cf. É. Chassinat, Fr. Daumas, *Le temple de Dendara* VI, Le Caire, 1965, p. XIX). En ce qui concerne l'économie de matériaux, le grès du Gebel Silsile ayant un poids moyen de 1,933 tonnes (cf. G. Martinet, *op. cit.*, p. 50 sq.) par 925 m^3, on soulage le sol sous le développement linéaire du mur avec cryptes d'environ 1800 tonnes, soit l'équivalent des deux colosses de Memnon avec leur socle (cf. Th. Verdel, *op. cit.* p. 137).

38 Par cloisonnement nous entendons les dalles horizontales séparant les différents étages et les piliers encastrés ou les parois qui divisent un même niveau de cryptes.

39 Voir le premier pylône de Philae dans A. Giammarusti, A. Roccati, *File*, Novare, 1980, p. 154sq., construit sous Ptolémée VI ; cf. G. Haeny, « A Short Architectural History of Philae », *BIFAO* 85, 1985, p. 212. Le premier pylône d'Edfou, dans S. Sauneron, H. Stierlin, *Edfou et Philae*, Paris, 1975, p. 118 fondé sous Ptolémée VII et achevé d'être décoré sous Ptolémée XII (cf. S. Cauville, D. Devauchelle, « Le temple d'Edfou : étapes de la construction », *RdE* 35, 1984, p. 41-44). Les pylônes de période romaine du temple de Dakka dans *Les temples immergés de la Nubie, documents sur l'état ancien des monuments* I, Le Caire, 1920, pl. 3 sq. et du temple de Kalabsha (cf. PM VII, p. 10-12) dans K.S. Siegler, *op. cit.*, pl. 18 et 22 et G.R.H. Wright, *op. cit.*, pl. 3 et 8.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani

conservés. À Kalabsha en particulier, le plan à la base des môles est structuré par une série d'alvéoles de dimensions modulaires dont l'une est occupée par l'escalier.

S'il est difficile aujourd'hui de savoir comment les architectes antiques percevaient exactement les avantages constructifs de la maçonnerie creuse, son introduction témoigne d'une profonde modification de la perception spatiale, puisque des éléments conçus comme des masses pleines pendant des siècles deviennent des structures construites autour de vides.

Il est également singulier que les cryptes aient été décorées, contrairement à la pratique établie [40], au moment de la construction, avant que ne soit posée leur couverture. En effet, le mortier utilisé au moment de la pose des dalles du plafond a en de maints endroits ruisselé sur les parois et laissé des traces de coulure sur le relief [41] (fig. 13). Les cryptes, ainsi que l'a supposé pour d'autres raisons E. Winter [42], ont été décorées, quels que soient les niveaux, à ciel ouvert. Le niveau des fondations est inscrit au nom de Ptolémée XII, tandis que les niveaux supérieurs ont des cartouches anépigraphes, voire des décors inachevés. Cette organisation des tâches, qui semble également logique du point de vue du confort de travail des sculpteurs, implique que des corps de métier très différents cohabitaient sur le chantier. Cette manière de faire reflète la grande rapidité de l'avancement des travaux [43].

Élasticité

L'architecture égyptienne est une architecture massive qui entraîne sur le terrain de la vallée du Nil des réactions de compression. Celles-ci sont bien sûr pondérées par la mise en charge lente d'une construction dont la durée s'étale sur des années. Si au niveau de cette étude on peut retenir la faible valeur moyenne de compressibilité calculée au Ramesseum comme référence pour le sol limoneux de la vallée du Nil [44], on peut attendre dans le cas des *kôms* archéologiques, en l'absence de mesures, des valeurs légèrement supérieures du fait d'une stratification par compactage de l'occupation humaine. Néanmoins la nature ponctuelle des opérations de démolition et de reconstruction n'autorise pas à envisager une réaction uniforme du sol. Il est évident que dans ce type de situation les grands bâtiments égyptiens étaient confrontés à des mouvements géotechniques que leurs concepteurs ne pouvaient ignorer. L'évolution de la maçonnerie en grand appareil de grès vers un meilleur monolithisme améliorait sa résistance sans pour autant la mettre à l'abri des dégradations conséquentes à un affaissement ponctuel du sol.

40 J-Cl. Golvin, J-Cl. Goyon, *op. cit.*, p. 119.

41 Ce fait a été rapporté à plusieurs endroits dans les publications des textes des cryptes (cf. É. Chassinat, Fr. Daumas, *op. cit.*, p. 43, n. 3 et p. 139, n. 2).

42 E. Winter, « A Reconsideration of the Newly Discovered Building Inscription on the Temple of Denderah », *GöttMisc* 108, 1989, p. 79.

43 Cela impliquait une coordination entre les différents intervenants. Le manque d'homogénéité et les rajouts dans l'exécution de l'épigraphie signalés par Fr. Daumas pourraient être une manifestation d'un travail hâtif pour ne pas ralentir l'avancement du chantier (cf. É Chassinat, Fr. Daumas, *op. cit.*, p. X-XI, p. 105).

44 Voir note 6.

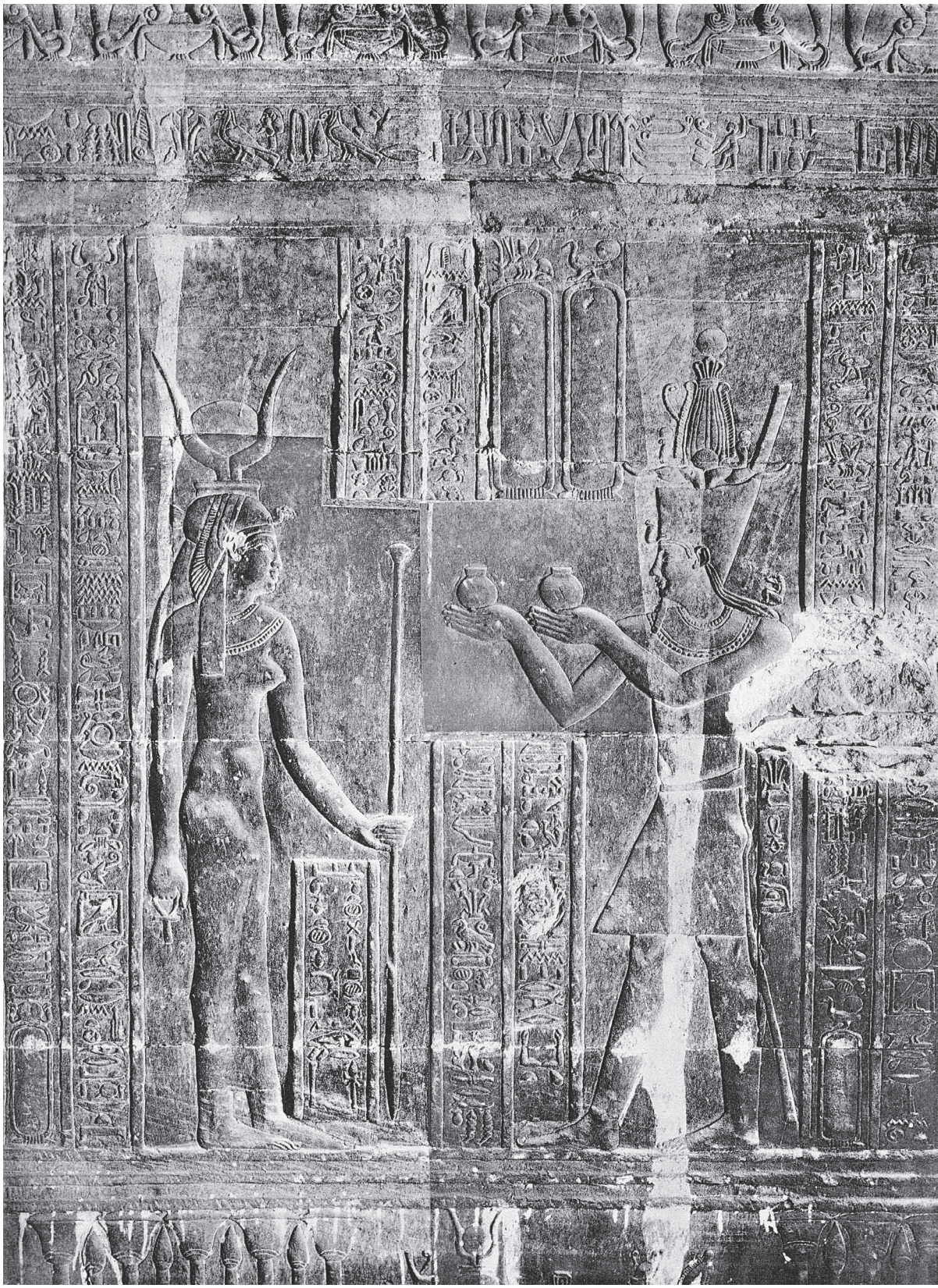


Fig. 13. Dendera, temple d'Hathor, exemple de coulures du mortier de pose des dalles dans la crypte est nº 2 (d'après É. Chassinat, *Le temple de Dendara* V/2, Le Caire, 1947, pl. 387).

Pièces en appui

À Dendera nous avons remarqué sur plusieurs monuments que les linteaux et les éléments de couverture d'espaces ne reposaient pas directement sur leurs appuis mais étaient séparés par un joint épais ou ouvert, à la différence de l'appareillage de maçonnerie où le joint est limité à la ligne de contact entre les blocs.

L'exemple le plus démonstratif et accessible, qui a attiré notre attention, est situé sur le *mammisi* romain. On y voit très clairement que les linteaux de portes des passages de la salle des offrandes qui ouvrent sur le couloir du déambulatoire sont détachés de leurs jambages par un vide d'air de plusieurs centimètres (fig. 14) [45]. Une observation plus attentive permet de voir en arrière, dans l'ouverture de ce joint, des petits parallélépipèdes de bois (fig. 15). Ces pièces ont été disposées au moment de la construction, leurs faces inférieure et supérieure sont en contact direct avec les lits d'attente et de pose des jambages et du linteau de la porte. Quelques traces de mortier adhèrent encore au bois. Le même dispositif se retrouve à l'intérieur une fois le seuil de la porte franchi. En avançant dans ce passage, on constate que les dalles de couverture ne reposent pas directement sur les murs (fig. 16). De nouveau l'examen du vide du joint permet de vérifier, légèrement en retrait, la présence de cales de bois. Côté nord, à l'angle du corridor et de l'escalier d'accès aux terrasses, on peut voir au niveau de la frise que le vide du joint était garni de mortier depuis l'extérieur, mortier sur lequel le décor a été gravé dans la continuité des représentations et textes ornant la paroi (fig. 17).

Cette mise en œuvre particulière explique d'autres curiosités dans l'appareillage comme une fente qui coupe horizontalement la paroi est de la pièce au sud de la salle des offrandes (fig. 18). Ce mur est en fait longé, de l'autre côté, par un couloir dont les blocs de couverture traversent la maçonnerie à peu près à mi-hauteur de l'élévation de la salle contiguë. Il est par conséquent évident que le vide est une composante du procédé du joint écarté par des pièces en appui. Le mortier destiné à le masquer étant tombé, on aperçoit également à l'intérieur de cette ouverture des pièces de bois.

Rendu attentif par ces observations faites sur le *mammisi* romain, on constate alors que ce type de traitement avec un joint épais se retrouve au-dessous des pièces de couverture du temple d'Hathor, sur le naos et le pronaos (fig. 19, 20, 21 et 22). L'écartement du joint est sensiblement moins grand et il a gardé son remplissage de mortier qui rend exceptionnelle l'observation de cales de bois (fig. 23). Ce procédé n'est cependant pas l'apanage de ces deux seuls monuments à Dendera : nous avons pu constater qu'il a aussi été mis en œuvre sur le sanctuaire romain du temple d'Isis (fig. 24), sur les portes de période contemporaine de l'enceinte de briques crues du domaine d'Hathor (fig. 25) et d'Isis (fig. 26), et sur celle ouvrant sur l'autre grand ensemble cultuel aujourd'hui disparu à l'est du site (fig. 27) [46].

45 Cette particularité est présente sur toutes les ouvertures de l'édifice.
46 Vraisemblablement un temple dédié à Horus d'Edfou.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani

Sa diffusion dépasse même la région tentyrite et un premier repérage, sans prétention à l'exhaustivité, a permis de le retrouver au temple d'el-Qala [47] (fig. 28) et au temple d'Opet de Karnak (fig. 29). À Esna, Serge Sauneron signale, à l'intérieur du pronaos, des cales de bois à la jointure entre le mur et les dalles de couverture [48]. Cependant on peut constater que les linteaux des ouvertures reposent directement sur leurs jambages et nous pensons que ces pièces étaient réservées au calage des éléments structurels de la couverture lors de leur pose. À Edfou, un joint épais peut s'observer en deux endroits seulement : dans les petits passages qui traversent les môles du pylône au niveau du sol, d'une part, et d'autre part, sur les portes d'accès à l'intérieur du temple. Il ne semble pas que ce procédé ait été mis en œuvre à la porte principale du pylône où l'écart visible entre les deux linteaux sur l'élévation sud semble résulter de la fracture de l'élément inférieur qui est descendu consécutivement.

Cette mise en œuvre n'a pas été observée, malgré les opérations de démontage et de déplacement, dans les sanctuaires romains de Nubie.

Il est évident que ce traitement du joint est un artifice technique propre au processus de construction puisqu'il était destiné à disparaître dans l'exécution du programme iconographique de la paroi. Un affaissement ponctuel du terrain, en réaction aux forces d'appui d'un bâtiment transmises par les fondations, peut entraîner, malgré tout le soin apporté dans la construction, une rupture dans la continuité d'un élément porteur linéaire qui se manifestera par une fissuration verticale. Les conséquences d'un tassement différentiel deviennent beaucoup plus dangereuses si celui-ci intervient au niveau d'un vide aménagé dans la maçonnerie. L'élément horizontal qui reprend les charges au-dessus d'un vide repose sur au moins deux appuis distincts. Il est également encastré dans la maçonnerie et sa nature (le grès) n'a de surcroît pas de propriété élastique réelle à l'échelle de la mise en œuvre. En cas de réactions différentes entre ses appuis, il se produit un effort de cisaillement qui peut conduire à sa rupture. En écartant les joints d'appui des linteaux ou des dalles de couverture, on introduit une possibilité d'articulation qui permet d'absorber une plus grande amplitude de mouvement différentiel, et de repousser les limites de résistance de la construction.

La visite des temples de périodes plus anciennes montre que les linteaux des baies ont rarement résisté à ce type de sollicitation et que, lorsqu'ils sont encore en place, ils sont fissurés et tiennent par friction (fig. 30). On imagine facilement les conséquences fâcheuses de telles situations sur le fonctionnement des portes. Ce phénomène n'avait pas échappé aux bâtisseurs plus anciens qui modifièrent la typologie du pylône à môle unique, en deux massifs encadrant la porte, pour soulager les linteaux de l'ouverture du poids de la maçonnerie qui les surmontait dans la forme initiale [49].

47 Ce détail a pu être vérifié *in situ* suite à l'aimable invitation de L. Pantalacci et Cl. Traunecker à visiter leurs travaux en cours au temple d'el-Qala.

48 S. SAUNERON, *Quatre campagnes à Esna*, Le Caire, 1959, pl. 19.

49 M. GABOLDE, « Étude sur l'évolution des dénominations et de l'aspect des pylônes du temple d'Amon-Ré à Karnak », *Bulletin du cercle lyonnais d'égyptologie Victor Loret* 6, 1994, p. 33 sq.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani

Fig. 14. Dendera, *mammisi* romain, couloir du portique côté nord, couronnement de l'encadrement de la porte ouvrant vers l'escalier et la salle des offrandes.



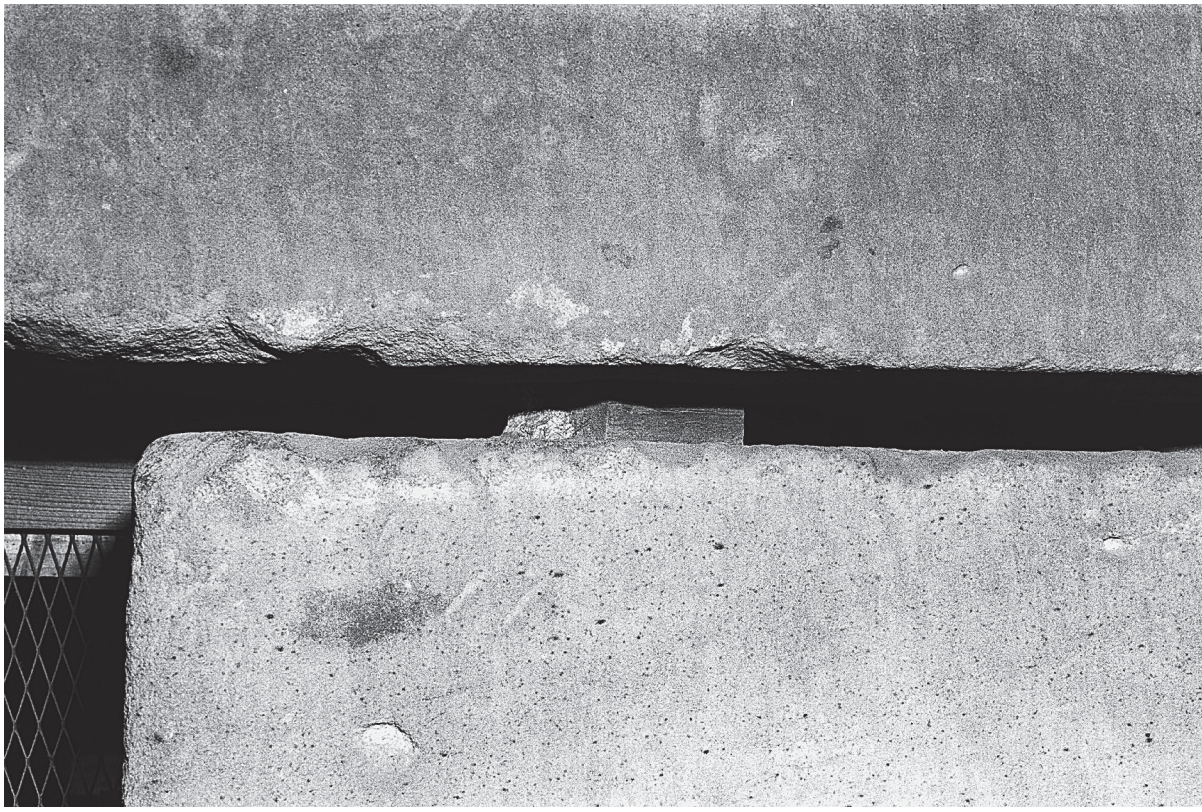


Fig. 15. Détail de la fig. 14, cale de bois entre le linteau et le jambage.

Fig. 16. Dendera, *mammisi* romain, passage entre la salle des offrandes et le couloir au portique nord, détail du joint ouvert entre les dalles de plafond et les murs.

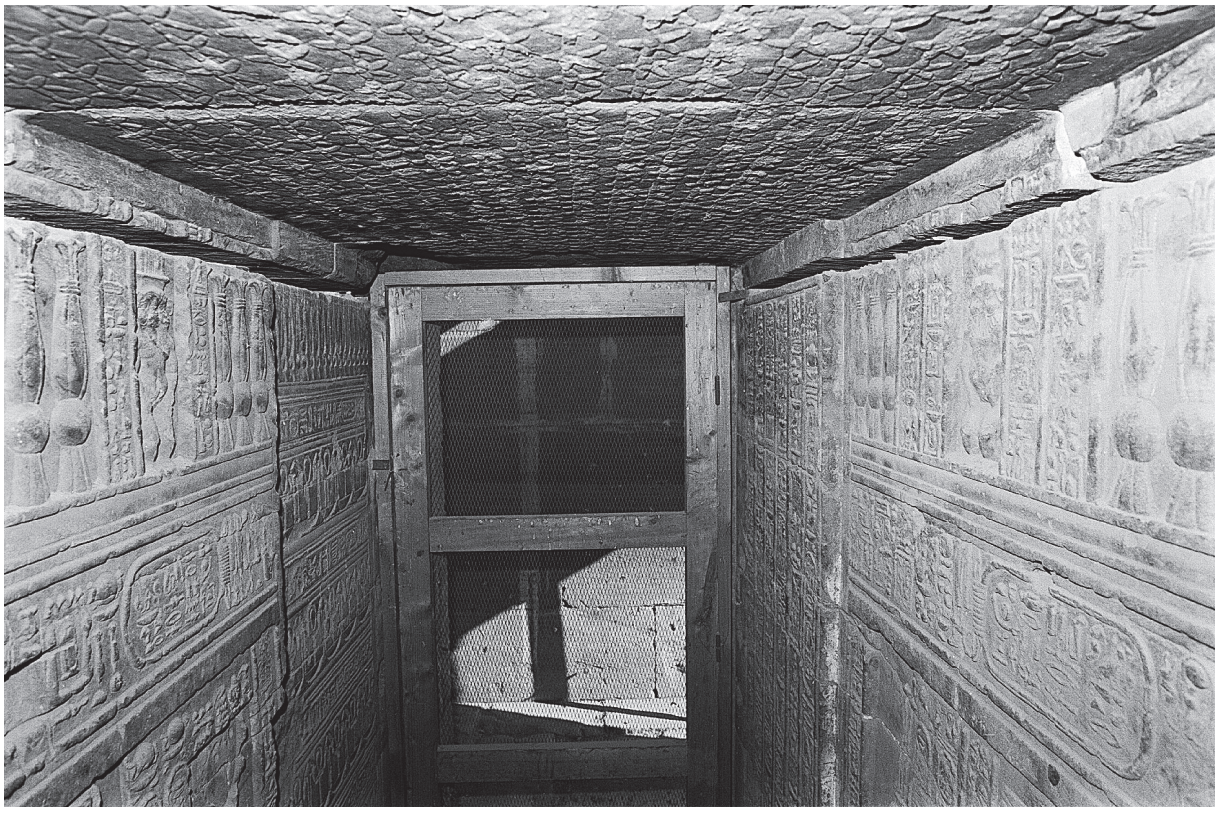




Fig. 17. Détail de la fig. 16 sur le traitement final du joint ouvert masqué par du mortier et décoré.



Fig. 18. Dendera, *mammisi* romain, sud de la salle des offrandes, pièce contiguë au passage vers le couloir péribole.

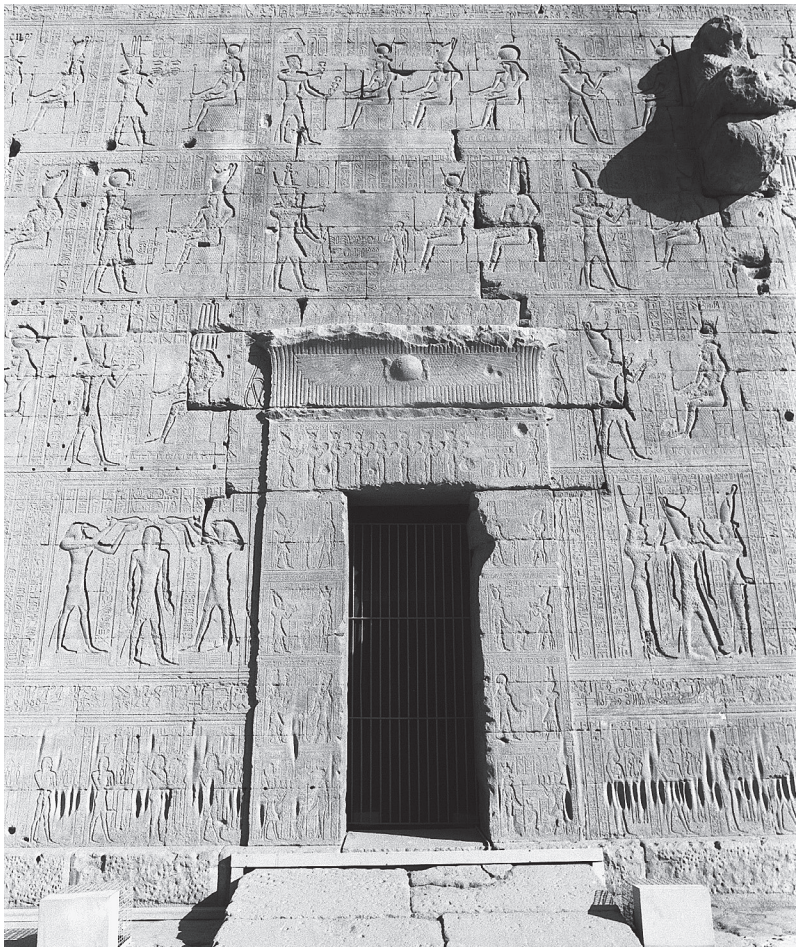


Fig. 19.
Dendera, temple d'Hathor,
porte vers le nilomètre avec fissure
dans la maçonnerie descendant
sur ses linteaux.



Fig. 20. Détail de la fig. 19.



Fig. 21. Dendera, temple d'Hathor, détail des linteaux de la porte latérale est du pronaos.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani



Fig. 22. Dendera, temple d'Hathor, exemple de joint épais entre le linteau et les montants de l'entrée de la crypte est n° 2.
(d'après É. Chassinat, *Le temple de Dendara* V/2, Le Caire, 1947, p. 360).



Fig. 23. Dendera, temple d'Hathor, atelier des orfèvres, détail d'une cale de bois dans le joint sous le linteau.

Fig. 24. Dendera, temple d'Isis, détail du joint entre les linteaux au-dessus de l'entrée dans la chapelle principale.

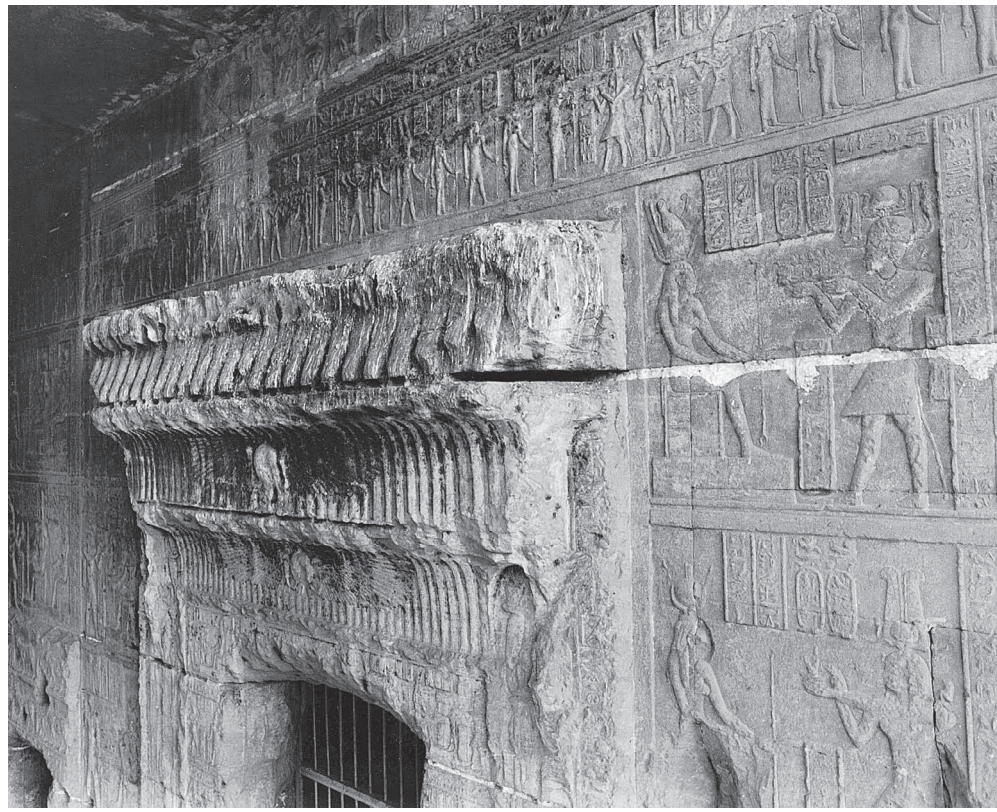




Fig. 25.
Dendera, porte nord d'accès au sanctuaire d'Hathor, élévation sud.

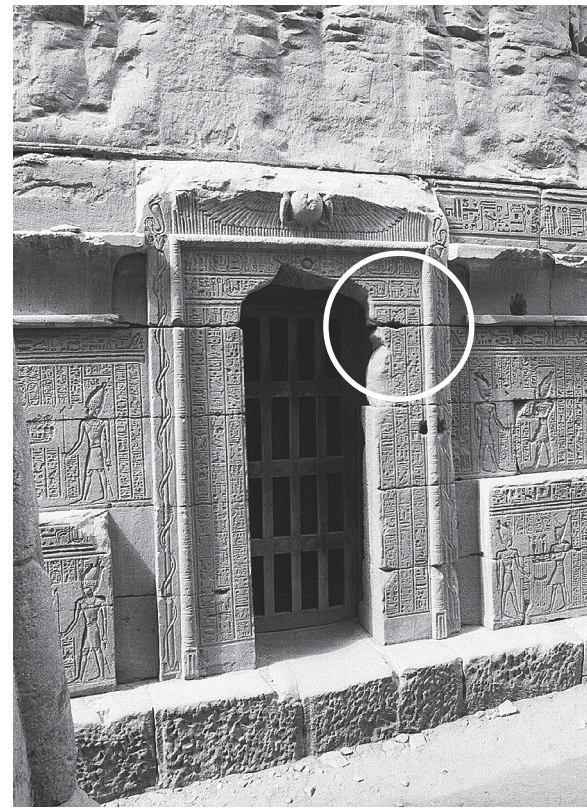


Fig. 26.
Dendera, porte est d'accès au sanctuaire d'Isis, élévation ouest.

Fig. 27. Dendera, grand sanctuaire oriental, porte d'accès, élévation sud.



Fig. 29. Temple d'Opet à Karnak, porte dans le soubassement de la façade est avec un joint ouvert entre le linteau et les jambages.



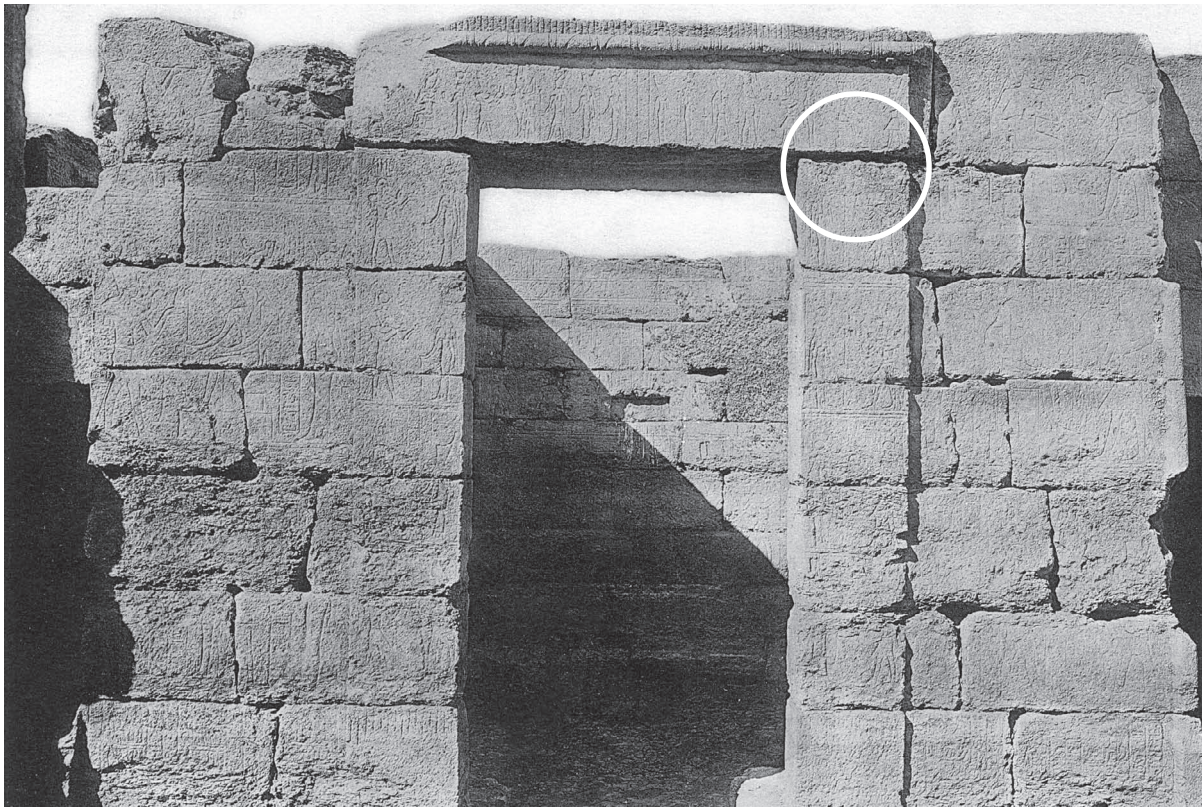


Fig. 28. Temple d'el-Qala, porte du sanctuaire principal montrant un joint. ouvert entre le linteau et les jambages (d'après M.A.J. Reinach, « Le temple d'el-Kala à Koptos », *ASAE* 11, 1911, pl. 4).

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani

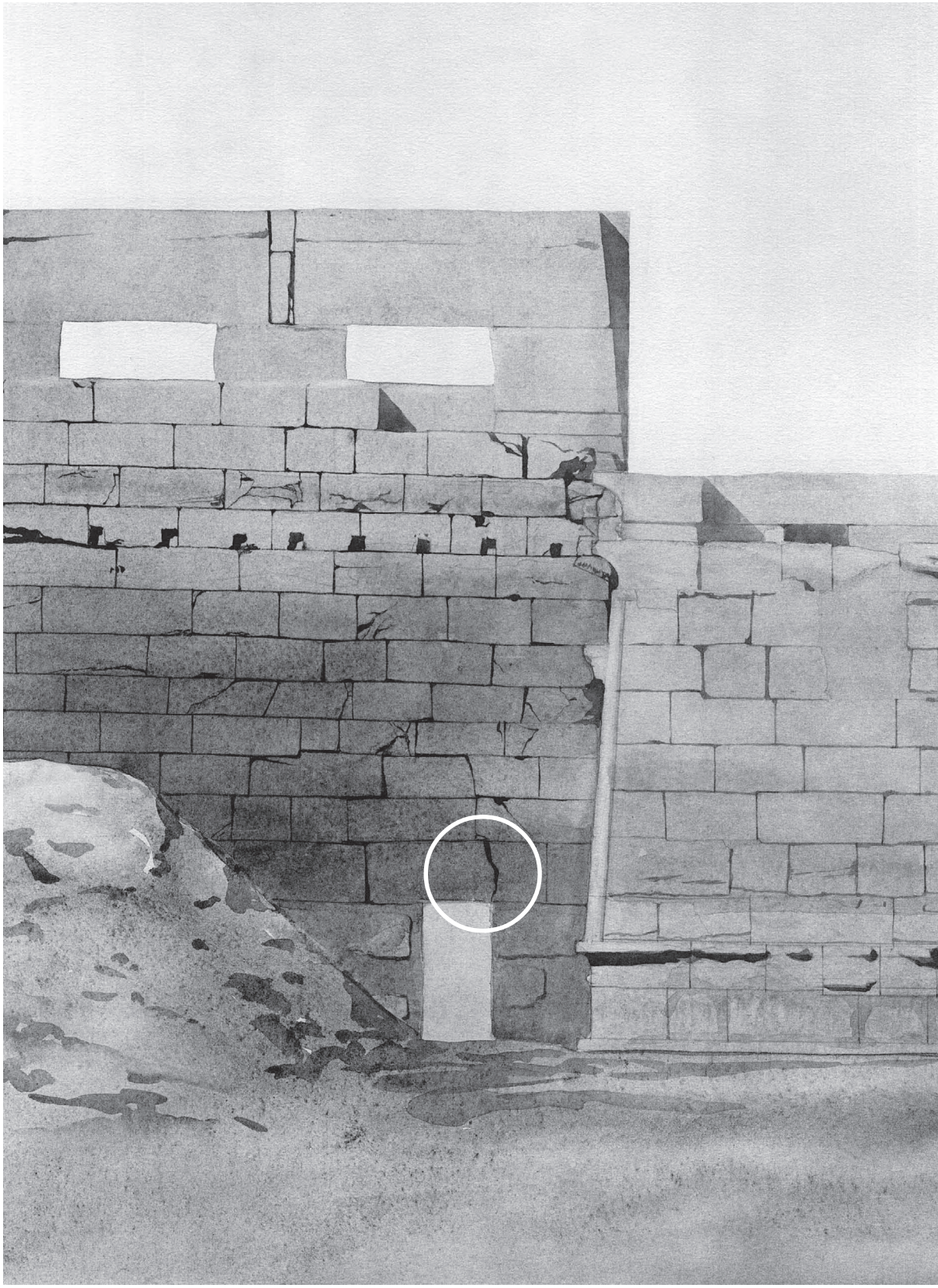


Fig. 30. Karnak, temple d'Amon, dégradation d'un linteau à l'articulation entre le portique de la grande cour et le temple de Ramsès III (d'après H. Chevrier, *Le temple de Ramsès III à Karnak*, Le Caire, 1933, pl. 5).

Ils ont aussi essayé, à un moment, de désolidariser les môles des montants de la porte en cherchant à donner à chaque élément une indépendance face aux réactions du terrain [50]. Cette évolution semble abandonnée avec l'évidement des structures du pylône [51].

Articulation entre deux phases

D'un point de vue constructif, il est possible d'identifier au temple d'Hathor deux phases entre ce que l'on appelle le naos et le pronaos. Le naos a été fondé le 16 juillet 54 av. J-C. La date de fondation du pronaos (consacré par Tibère en 35) est plus tardive [52]. La maçonnerie nouvelle vient à la fois s'accoler de part et d'autre de la façade nord de la construction première et s'appuyer dessus (fig. 31). Il n'y a pas eu de recherche de liaisonnement horizontal du retour du nouveau mur avec celui contre lequel il vient buter. En observant l'appareillage de la face sud du pronaos, on peut remarquer sur les deux retours de mur enserrant le naos un joint vertical que l'on trouve à l'intérieur comme à l'extérieur. Ce joint, « coup de sabre » dans l'appareillage des pierres de taille, débute au-dessus de la sixième assise pour s'achever au tore de la corniche. Il mesure près de 13 m de haut (J1) (fig. 32). Si l'on examine en détail ce joint vertical, on se rend compte que cette interruption dans la progression linéaire des assises horizontales est répété à environ 1 m, vers l'axe du temple, au-dessus de la corniche de la partie ancienne de la construction (J2). Sa hauteur entre le niveau supérieur de la corniche de la terrasse inférieure et le tore de la corniche de la terrasse du pronaos est d'environ 3 m (fig. 31, 33). Ces dispositifs verticaux de discontinuité peuvent paraître incongrus au regard de la recherche d'une cohésion maximale que les concepteurs du temple cherchaient à obtenir lors de la construction de la maçonnerie. L'explication est de nouveau à rechercher dans l'élasticité qu'ils tentaient d'introduire dans les articulations des bâtiments afin qu'ils puissent mieux absorber les mouvements liés aux réactions d'appui au sol sous la charge des édifices. En effet, quand on construit une extension, on est confronté à une réaction d'appui au sol très différente de celle résultant déjà de la pression du bâtiment existant. Les constructeurs avaient compris que l'adjonction d'une salle à colonnes précédant le sanctuaire d'origine pouvait entraîner des dégâts à la jointure entre les deux phases. Il est évident qu'ils avaient envisagé que leur extension, qui reposait à la fois sur la façade nord du sanctuaire et en fondation propre, pouvait être sujette à des tassements différentiels avec des conséquences plus ou moins destructrices selon l'ampleur des mouvements. Leur réflexion les a conduit à concevoir

50 A. CHOISY, *L'art de bâtir chez les Égyptiens*, Paris, 1904, p. 70 sq. : précautions contre les effets de tassement. Cette séparation des éléments a également l'avantage de permettre d'étager la construction dans le temps.

51 Le premier pylône de Philae a bien une porte qui n'est pas liaisonnée avec les môles car elle a été construite sous Nectanébo comme porte d'enceinte puis intégrée entre les môles édifiés à la période ptolémaïque (cf. G. HAENY, *op. cit.*, p. 212).

52 À propos de la datation des temples de Dendera cf. H. I. AMER, B. MORARDET, « Les dates de construction du temple majeur d'Hathor à Dendara à l'époque gréco-romaine », *ASAE* 69, 1983, p. 255-258 ; E. WINTER, *op. cit.*, p. 75-85 ; J. QUAEGEBEUR, « Cléopâtre VII et le temple de Dendara », *GötMisc* 120, 1991, p. 55 ; S. CAUVILLE-COLIN, « Le temple d'Isis à Dendéra », *BSFE* 123, 1992, p. 41 ; É. AUBOURG, « La date de conception du zodiaque du temple d'Hathor à Dendera », *BIFAO* 95, 1995, p. 1 ; T.C. SKEAT, « The Beginning and the End of the καίσαρος κπάτησις Era in Egypt », *CdE* 69, 1994, p. 311.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani

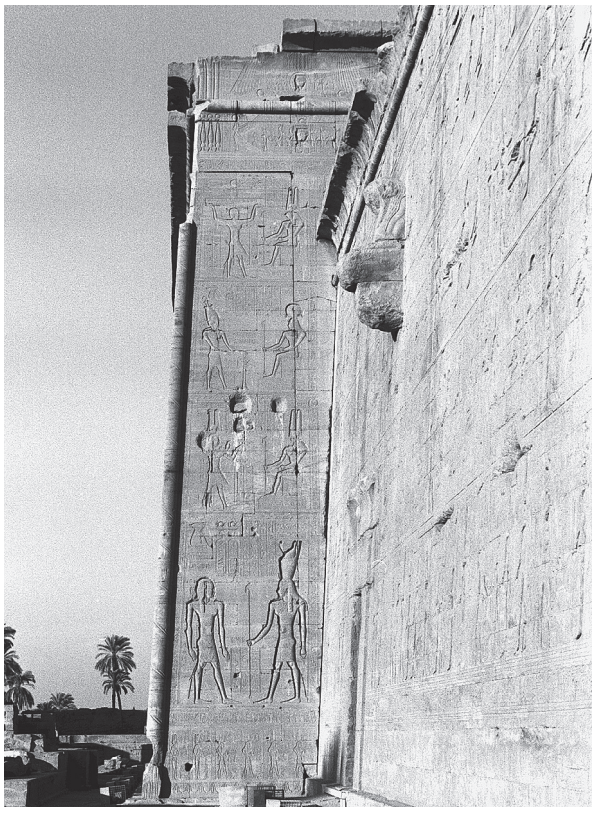


Fig. 31.
Dendera, temple d'Hathor, retour ouest de la maçonnerie du pronaos sur le naos.

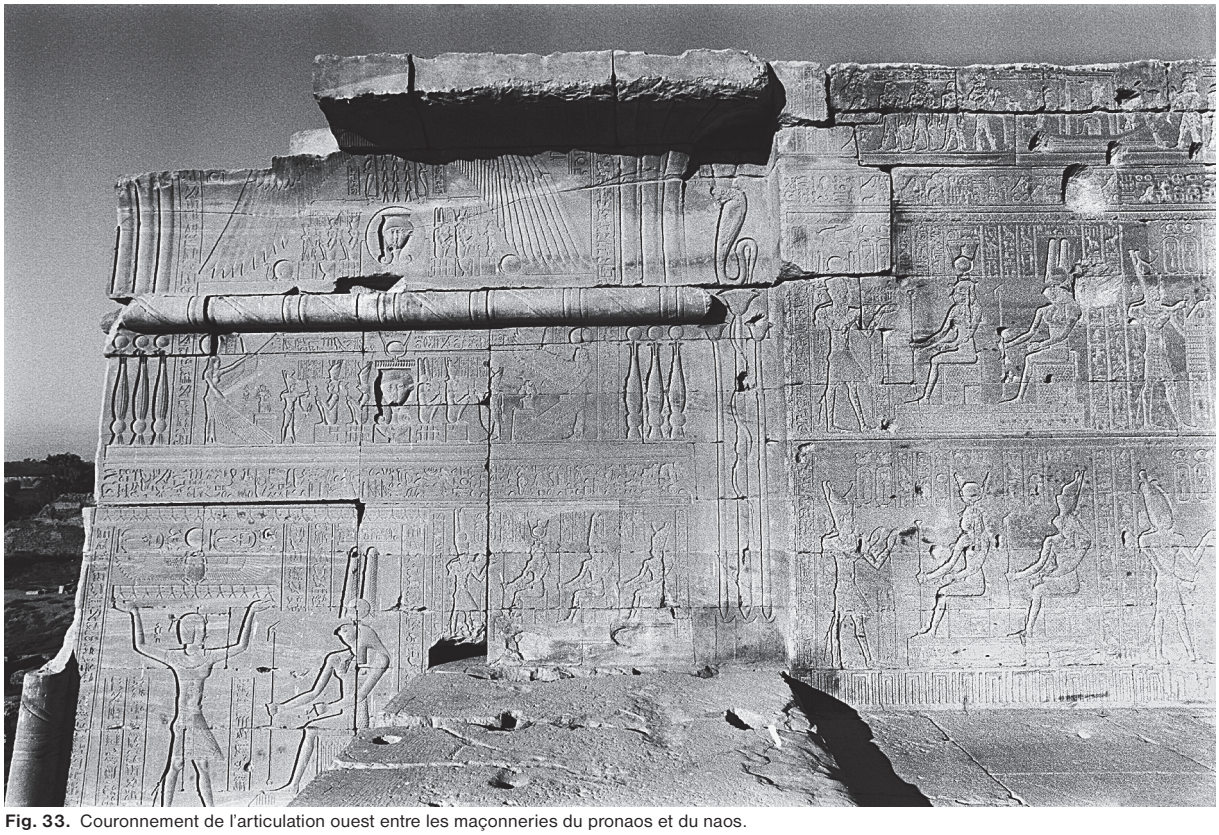
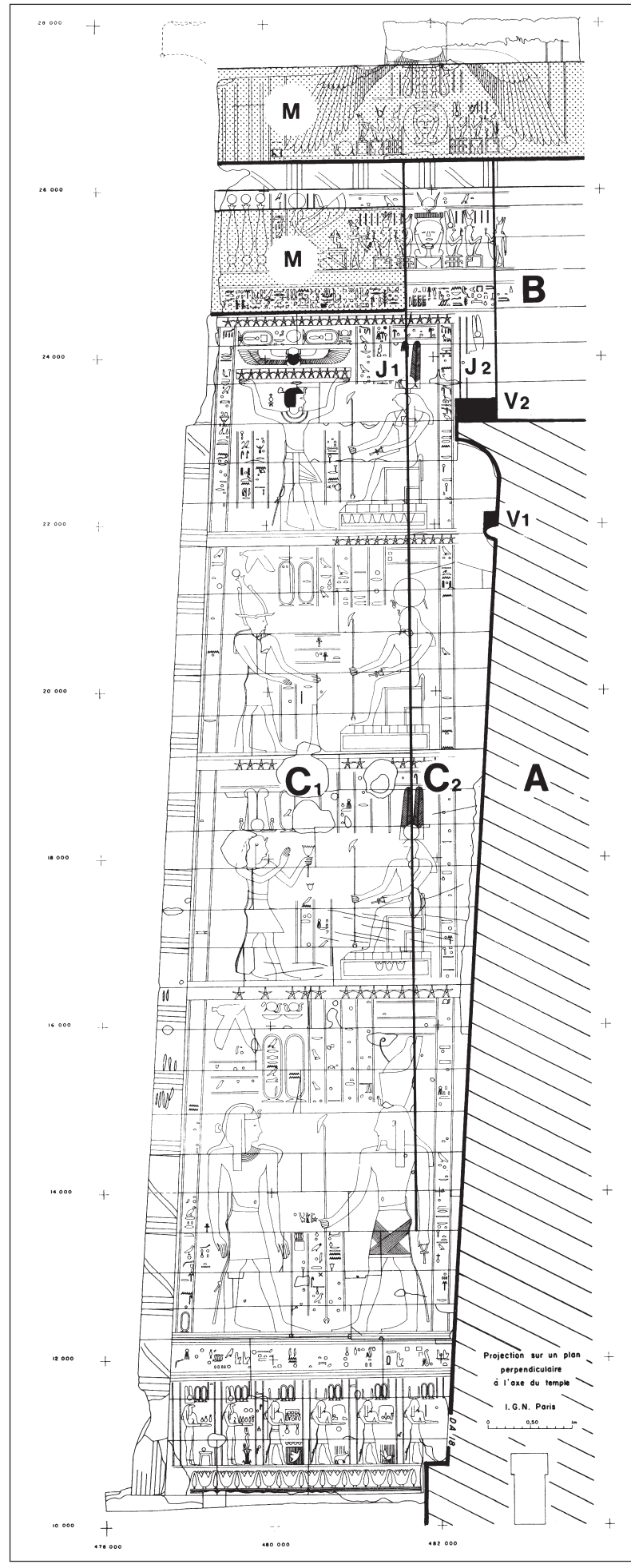


Fig. 33. Couronnement de l'articulation ouest entre les maçonneries du pronaos et du naos.

Fig. 32.
Retour ouest de maçonnerie du pronaos sur le naos (photogrammétrie IGN).



un système articulé offrant une solution aux réactions géotechniques différentiées entre la nouvelle et l'ancienne construction. Les joints verticaux ont été prévus pour permettre à la maçonnerie de coulisser le long de ces axes en cas de mouvements du sol. Le report des charges a été dissocié entre l'ancienne construction et la nouvelle. Ainsi le joint le plus à l'intérieur (J2) sépare la maçonnerie reposant sur la construction d'origine (B), la façade du naos (A), de celle reposant en fondation propre (C1 + C2). Prévoyant un tassement supérieur sous leur extension, les constructe urs avaient réservé, au-dessus du tore horizontal (V1) et de la corniche de l'édifice initial (V2), des vides traversants dans la nouvelle maçonnerie afin de permettre son glissement vers le bas sans pour autant faire pression et arracher les éléments saillants du couronnement déjà existant (fig. 34). Le grand joint, à l'aplomb du pied du mur du naos (J1), divise la maçonnerie en fondation propre en deux parties : l'une où les charges descendent verticalement (C1) et l'autre où le vecteur de descente de charge est modifié par le glissement contre le mur à fruit existant (C2). Ce système de joints verticaux requerrait cependant d'être contenu pour éviter qu'il ne se transforme en point faible accélérant une désolidarisation des différentes sections isolées dans la maçonnerie. Cette fonction a été résolue au point haut par deux monolithes (M) dont le dernier, long de 7 m, ne se justifie pas pour soutenir le rang de couronnement de la corniche. Son rôle est de coiffer à la fois les pans de maçonnerie en fondation propre (C1 et C2) de celui (B) qui est appuyé sur l'ancienne partie (A) (fig. 33). Ces grands blocs sont également posés sur un joint large, identique à celui des pièces en appui, et jouent le rôle d'un chaînage articulé entre les pans de maçonnerie qui peuvent ainsi coulisser de manière indépendante.

L'examen minutieux des deux articulations entre le pronaos et le naos du temple montre que cet artifice était superflu du côté est puisque aucun signe d'affaissement n'est à signaler. À l'ouest ce constat semble similaire et l'on ne décèle pas de dégradations dans la maçonnerie. Pourtant en observant bien le relief au niveau du joint entre la maçonnerie sur fondation propre et celle sur la construction initiale, on remarque un glissement, proche du centimètre, de la partie extérieure (fig. 35, 36). La solution inventée par les constructeurs pour résoudre le problème de géotechnique entre deux phases de construction semble avoir bien répondu à la finalité recherchée. L'extension sur fondation nouvelle est descendue suite à un tassement selon les lignes de joints prévues à cet effet. Cela est resté sans conséquences sur l'intégrité structurelle et l'aspect de la construction.

La performance réelle et les limites de ce découplement permettant à un monument égyptien de réagir aux mouvements du terrain sans dégradations structurelles seraient intéressantes à vérifier et devraient faire l'objet d'une recherche par modélisation numérique [53].

53 Une collaboration scientifique destinée à simuler les mouvements du terrain et les réactions des structures est en cours de préparation avec le Centre d'ingénierie pour l'archéologie de l'université du Caire et de l'École des mines de Nancy. Je remercie M. Nicolas Nilsson, ingénieur civil des Mines, pour les intéressantes discussions que nous avons eues sur la géotechnique et les monuments historiques de la vallée du Nil.

Au temple d'Edfou, un peu plus ancien, la qualité de l'appareillage est similaire à celle du temple d'Hathor de Dendera. Cependant cette solution pour effectuer le raccord d'une nouvelle construction sur une plus ancienne n'y a pas été adoptée. On constate de ce fait, au même endroit du temple, sur le retour est entre le pronaos et le naos, un détachement d'environ 7 cm. Cet écart se manifeste au niveau de la corniche par une dégradation de l'appareillage suite à l'ouverture d'une fissure.

Si les temples s'inscrivent dans une continuité de pensée, l'évolution des techniques constructives témoigne, de la part de leurs concepteurs, d'une recherche pour toujours optimiser l'art de bâtir. Les dispositifs d'élasticité que nous avons constaté à Dendera ne relèvent plus uniquement du grand soin apporté à l'œuvre mais sont le résultat d'une réflexion qui avait compris que, parallèlement à la recherche de monolithisme de la maçonnerie, il fallait introduire de l'élasticité aux endroits où les forces différentielles pouvaient avoir des effets désastreux pour la stabilité et l'intégrité de la construction.

BIFAO 96 (1996), p. 453-487 Pierre Zignani



Fig. 34.
Vue du joint et du vide au-dessus de la corniche (cliché A. Lecler).



Fig. 35. Conséquences des tassements différentiels : décalage dans la continuité horizontale de l'épigraphie (cliché A. Lecler).



Fig. 36. Détail du décalage horizontal de l'épigraphie.