

TECHNIQUES D'ARCHITECTURE NAVALE DANS LA CONSTRUCTION DES CAISSONS EN BOIS DU PORT DU ROI HÉRODE À CESARÉE

par Christopher Brandon

Césarée est aujourd'hui située à mi-chemin entre Tel Aviv et Haïfa sur la côte méditerranéenne d'Israël (fig. 1). C'est ici que Hérode le Grand a bâti la ville de Césarée sur Mer avec son énorme complexe portuaire de Sébastos. Bien qu'Hérode ait choisi la ville alors en ruines de Tour Stratos comme centre de sa nouvelle ville et de son port, cette dernière n'avait aucune

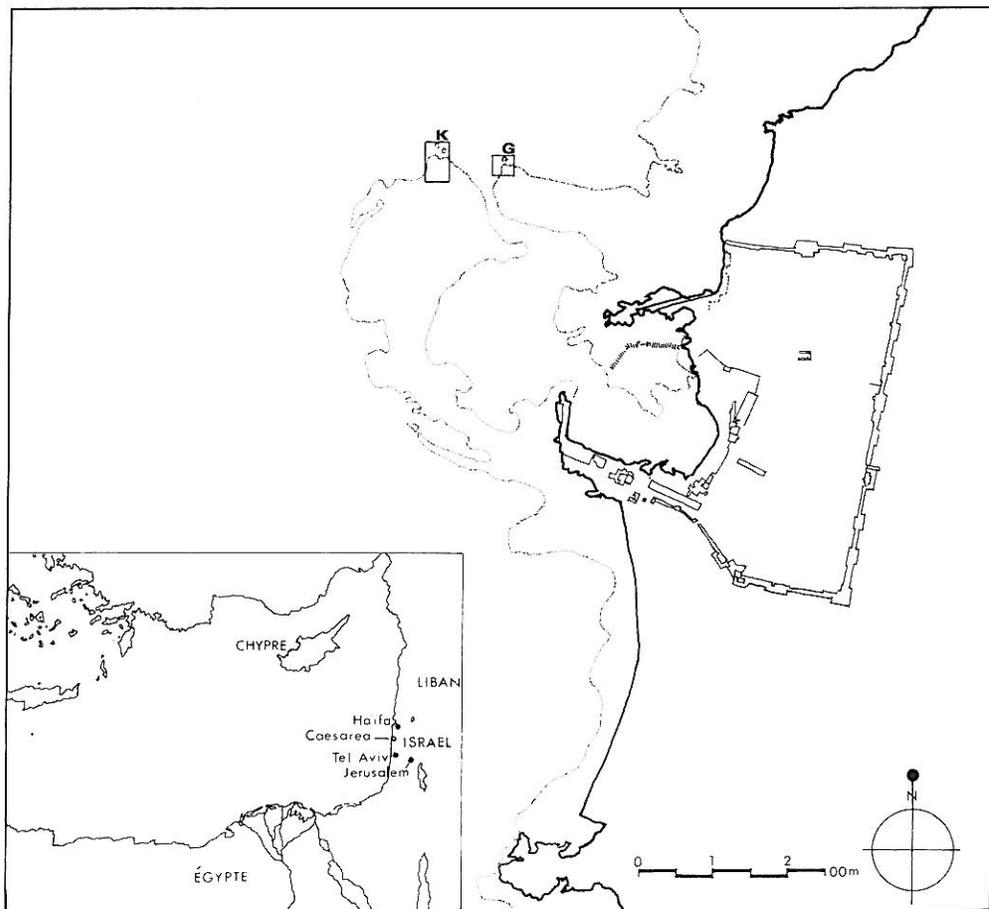


Fig. 1.

caractéristique naturelle en faveur de la création d'un grand port, un fait relaté de manière frappante par Flavius Josephus (1). Celui-ci a, en effet, noté l'absence de tout point d'ancrage adéquat le long de la côte allant de Dor à Jaffa, et, même par beau temps, le mauvais état permanent de la mer. Les problèmes associés au site ne gênèrent pas Hérode et ses ingénieurs et il créa un port presque entièrement artificiel en utilisant des talents, du matériel et sûrement même de la main-d'oeuvre importée pour la plupart, en un temps incroyablement court.

Il ne fait pratiquement aucun doute que les spécialistes romains furent appelés pour aider Hérode sur ce projet, car afin de construire ce port de plus de 200,000 m² en un peu plus de dix ans, (de 21 à 10 avant J.C.), toute l'ingéniosité des techniques d'ingénierie romaines furent employées, y compris l'usage intensif de béton hydraulique fabriqué à base de pouzzolane.

Afin de pouvoir respecter les délais imposés par Hérode, il fut nécessaire de travailler sur plusieurs fronts à la fois. Il a été suggéré par le Professeur A. Raban que des « îles de construction » furent établies dès le début du projet, à des points clés autour du site prévu du port, îles à partir desquelles les sections de remplissage pouvaient être étendues (2). Des plates-formes en béton formaient la base de ces « îles » et différentes techniques furent utilisées pour leur construction, les variations conceptuelles étant principalement dues à des contraintes imposées par le site, bien qu'une évolution des techniques de conception puisse également en être la cause.

En 1982, dans la zone G (fig. 2), la mise à jour des coffrages en bois de plusieurs blocs de béton rectangulaires à l'extrémité de la digue nord a permis de mieux comprendre la façon dont une des versions de ces bases fut construite (3). Les formes en bois ou caissons avaient une dimension de 15 m x 11,5 m et 2 m de haut ; elles étaient formées d'une double paroi de madriers espacés de 23 cm entre eux, montée sur une poutre de traverse de 29 x 29 cm. L'intérieur de la forme était rigidifié par des traverses et des supports en bois, mais le caisson en lui-même ne possédait pas de fond ou de plancher. La double paroi procurait la flottabilité nécessaire pour le déplacer du rivage vers le site. Il pouvait alors être immergé en position en le remplissant d'un béton à base de pouzzolane. Les murs bétonnés et solidifiés offraient alors un confinement permanent pour le remplissage de béton hydraulique, pour aboutir à des blocs encore visibles, pour la plupart, sur le site. Ces caissons sont une combinaison et une adaptation de techniques décrites par Vitruvius (4).

(1) Josephus décrit les conditions de la mer et des côtes sur cette rive dans ses deux textes sur la cité : H. St Thackeray, *Josephus, The Jewish War, books I-III* (Cambridge, MA 1927) 192-94, et R. Marcus, *Josephus, Jewish Antiquities, books XV - XVII* (Cambridge, MA 1963) 160-62. Traduit par J.-P. Oleson, dans A. Raban, 1989, *The Harbour of Caesarea Maritima. Results of the Caesarea Ancient Harbour Excavation Project, 1980 - 1985, 1 : The Site and the Excavations. BAR International Series, 491, Oxford.*

(2) Raban émet la supposition que la première structure construite par les ingénieurs fut une île artificielle située à l'endroit où se trouverait plus tard le sommet de la digue, quelque 500m au nord, nord ouest du sommet du promontoire sud et environ 350m à l'ouest de la tige de la digue nord. Une autre fut installée à mi-chemin de la ligne courbe de la digue principale, là où elle passe d'une direction ouest à une direction nord, et aussi une autre à la pointe de la digue nord : A. Raban, *Sebastos, The Herodian Harbor of Caesarea : how it was Built and Operated CMS News, Report No.19. Haifa.*

(3) J.-P. Oleson, *Area G : Northwest Tip of Northern Breakwater and adjacent tower*, dans A. Raban, 1989, *The Harbours of Caesarea Maritima, Results of the Caesarea Ancient Harbour Excavation Project, 1980-1985, 1 : The site and the Excavations. BAR International series, 491, Oxford, p. 127-130.*

(4) Oleson pense que la conception du caisson de la zone G est un mélange de deux types importants de coffrage décrits par Vitruvius, dans une adaptation des principes de base pour une troisième sorte de situation. « L'ingénieur savait dès le départ qu'il travaillait avec un béton hydraulique qui pouvait être versé directement dans l'eau de mer, mais le caractère sablonneux du fond marin et celui de la fondation de la digue de blocage rendait difficile la mise en place des formes préfabriquées en place à l'aide de pieux.

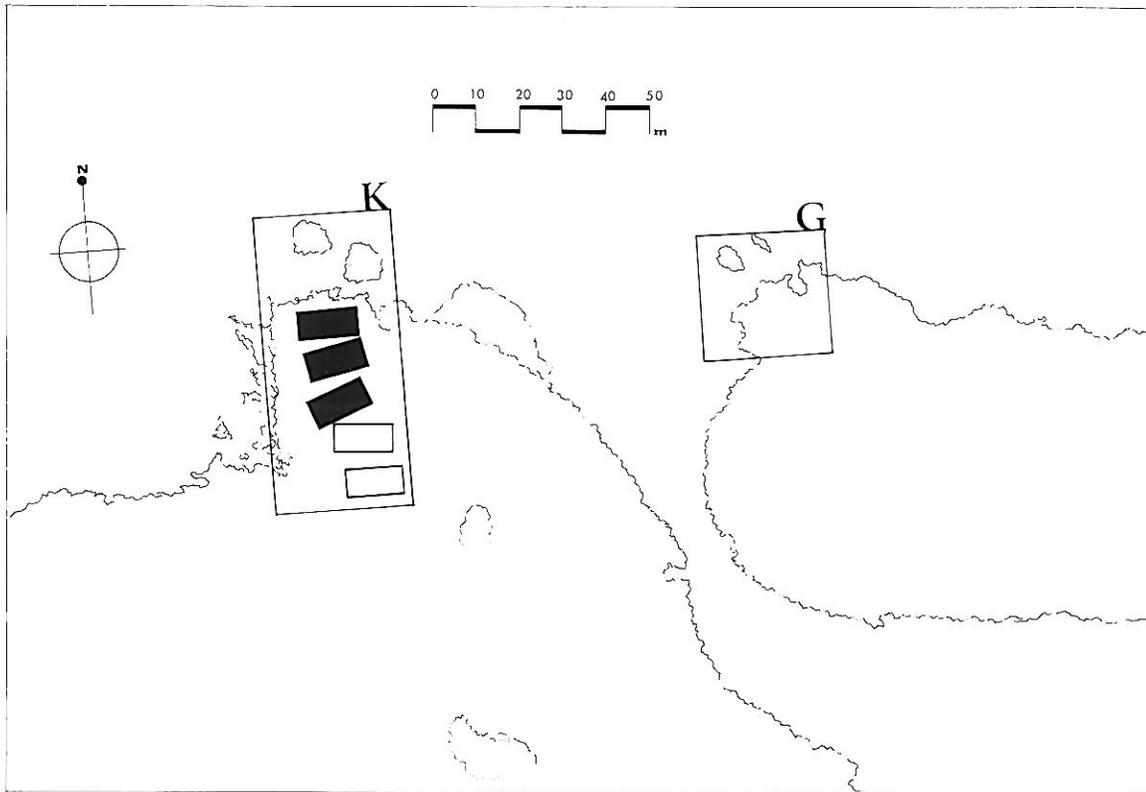


Fig. 2.

Cet article portera plus sur la conception particulière d'un caisson en bois rempli de béton retrouvé dans la zone K à l'extrémité de la digue sud principale. Une preuve de l'existence de ces structures fut d'abord découverte en 1990 et étudiée au cours des saisons suivantes sous la direction du Professeur A. Raban du Centre d'Etudes Maritimes de l'Université de Haïfa. Ceci est un résumé des trouvailles à ce jour plutôt qu'un communiqué définitif car les fouilles et les recherches se poursuivent.

Au début de la saison 1990, une structure à bord droit fut remarquée dans la zone K (fig. 2). Cette structure avait pu être mise à jour du fait du niveau exceptionnellement bas de la couverture de sable cette année là. La zone K, qui se trouve à l'extrémité nord de la digue sud principale, est formée d'un amas chaotique d'énormes blocs de béton éparpillés, d'une taille moyenne de 3,5 x 4,5 x 1,5 m, dont beaucoup avaient conservé l'empreinte du coffrage

En conséquence, des formes en bois sans fond, à double paroi, ont été construites sur terre et ont flotté vers leur destination finale. Dès que les plates-formes avaient été dégagées et mises à niveau par des plongeurs, le ciment était versé dans les sections creuses de la double paroi, jusqu'à ce que la flottabilité soit vaincue et que la forme se pose sur le fond marin préparé. Tandis que la forme inondée était remplie de ciment et d'agrégat, des moellons étaient aussi placés autour de la périphérie pour empêcher la forme de bouger avant le durcissement du béton, ou le sapement du dernier bloc. Bien que les formes à paroi unique de Vitruvius soient préfabriquées, la mise en place de leurs montants sur le sol du port aurait été un procédé difficile et très long. » J.-P. Oleson, 1988, *La technologie des ports romains*, dans *International Journal of Nautical Archaeology*, 17.2, p. 154-155.

en bois dans lequel le béton avait été versé, ainsi que de larges blocs de kurkar (5). Cet amas est éparpillé sur tout le site et s'élève au-dessus du fond marin habituel, qui se situe entre 7-8 m jusqu'à 2 m de la surface. Il a été admis que ceci constituait les restes effondrés du phare ou Drusion décrit par Josephus comme étant la plus haute et la plus belle tour d'une série construite à intervalles le long du mur de pierre qui entourait le port (6). La situation à l'embouchure du port rend probable la thèse du phare (7).

Les fouilles au cours de la saison 1990 et des années suivantes ont révélé les détails d'une série de caissons en bois remplis de béton, d'une dimension approximative de 14 m x 7 m en plan, et de plus de 3,5 m de haut. Les caissons sont installés selon une position « de tête » (fig. 3), mais pas en ligne droite ni à profondeur égale (la profondeur des madriers inférieurs varient de 9 m à 7 m sous le niveau de la mer).

Les techniques de fouilles devaient s'adapter au terrain qui était recouvert de béton massif et de blocs de pierre. Le premier caisson à être découvert, K2, était le plus simple car il n'était pas complètement enseveli sous la masse effondrée de la structure. Toutefois afin de révéler les détails des éléments en bois formant le coffrage original, il fut nécessaire de creuser dans du béton consolidé jusqu'à une profondeur de 1,5 m.

Ceci n'a pas été possible en K3 du fait de la présence d'une importante masse de béton et de maçonnerie éparpillée, épaisse de plus de 4 m. Bien que quelques éléments aient été dans un état quelque peu fragmenté, la végétation marine les avaient rebétonnés ensemble. Par conséquent, afin d'examiner la nature de la structure de K3, d'étudier ses madriers inférieurs, et de pouvoir comparer sa construction avec celle de K2, un puits vertical fut construit contre le bord du caisson (fig. 4) et un tunnel fut creusé en dessous sur une distance de plus de 4m (fig. 5).

Dans les autres zones au sud de K2 et de K3, l'étendue de la structure effondrée limitait sérieusement les sites où des sondes pouvaient être effectuées. Toutefois, la présence d'une couche érodée située juste au-dessus des bois de plancher de K5, a permis, après avoir enlevé quelques gros blocs, de pénétrer dans un labyrinthe de tunnels circulant sous la structure effondrée. Avec seulement un minimum de nouvelles fouilles, il fut possible de découvrir une grande partie de la base du caisson, bien qu'une érosion ait malheureusement effacé toute trace visible de structure verticale.

Le caisson K8 était dans un très mauvais état et des indices montrent que cette détérioration pourrait avoir commencé dès l'antiquité, car des fouilles autour des fragments déplacés de ce caisson ont révélé la présence d'un navire échoué, datant du premier siècle après J.C. (notes non publiées de Raban), et cette épave ne peut être arrivée là qu'en coulant au-dessus de cette zone.

Il n'y a pas de coffrage en bois encore visible en K9, bien que la majeure partie du bloc de béton existe encore, coupée en deux, gisant dans une empreinte de 14m x 7m et ayant une hauteur totale d'environ 4 m.

(5) Le Kurkar, la roche de construction locale, est un grès tendre et poreux de quartz éolien cimenté au carbonate. Voir J.-P. Oleson et G. Brandon 1992, *The technology of king Herod's harbour*, dans *Journal of Roman Archeology Supplementary Series No.5. Caesarea Papers*, p. 58-63.

(6) Les tours à l'entrée ont été décrites par Josephus au premier siècle : « A l'entrée du port, il y avait des statues colossales, trois de chaque côté, installées en colonnes. Une tour massive soutenait les colonnes sur le port et deux blocs de pierre verticaux accouplés, plus haut que la tour de l'autre côté. » H. St Thackeray, 1930, (traduit par J.-P. Oleson). *Josephus, The Jewish Wars against Rome*, Cambridge.

(7) R.L.Vann, 1991, *The Drusion : a candidate for Herod's lighthouse at Caesarea Maritima*, dans *International Journal of Nautical Archaeology*, 20.2, p. 123-139.

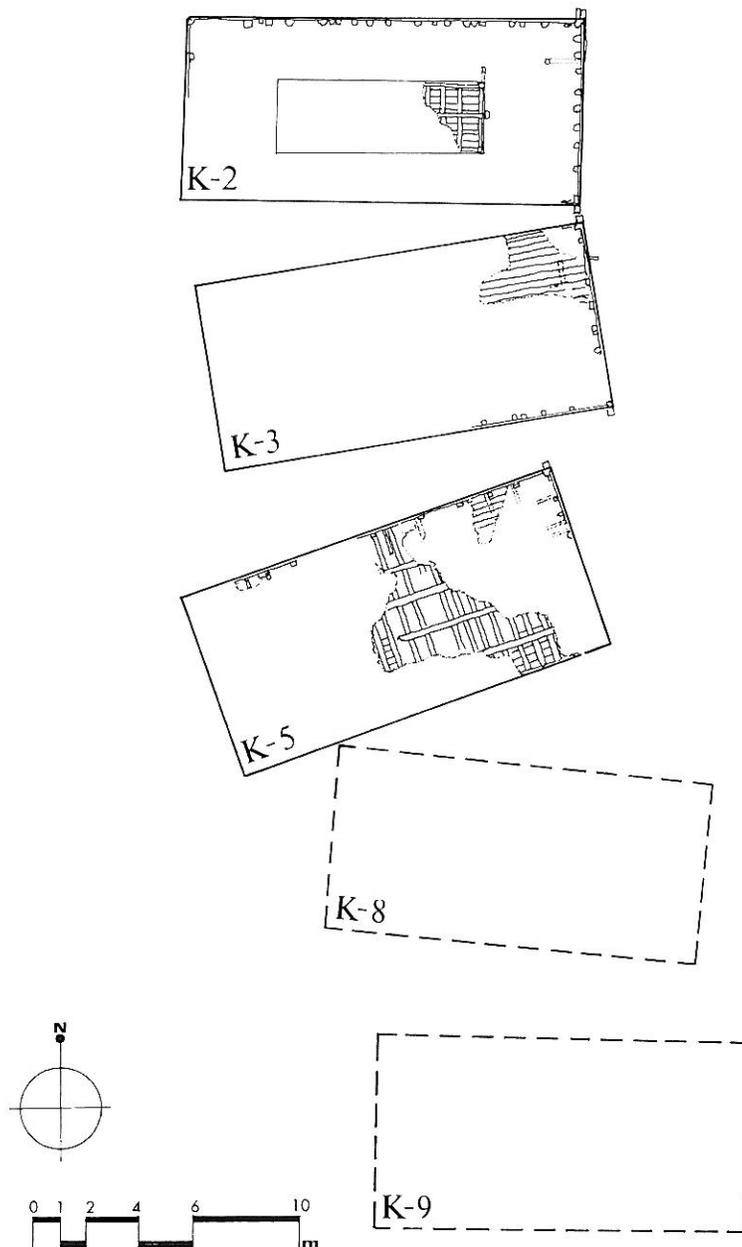


Fig. 3.

Chaque bloc avait une dimension originelle de 14 m x 7 m en plan et environ 4 m de haut. Ces blocs de béton ont été moulés dans une autre sorte de coffrage que celle trouvée dans la zone G. Le coffrage en bois, dont d'importants morceaux demeurent toujours sous le fond de mer actuel, consiste en une seule paroi étanche, construite avec un plancher tout comme sur les bateaux à coque extérieure première. Toutes les planches en bois sont fixées entre elles par des tenons, maintenus par des chevilles en bois dans des mortaises. L'intérieur était alors consolidé avec des supports de plancher, des gouttières, des traverses et des supports élancés. La « barge » rectangulaire » qui en résultait pouvait alors flotter jusqu'au site de la même façon que les caissons retrouvés sur la zone G.

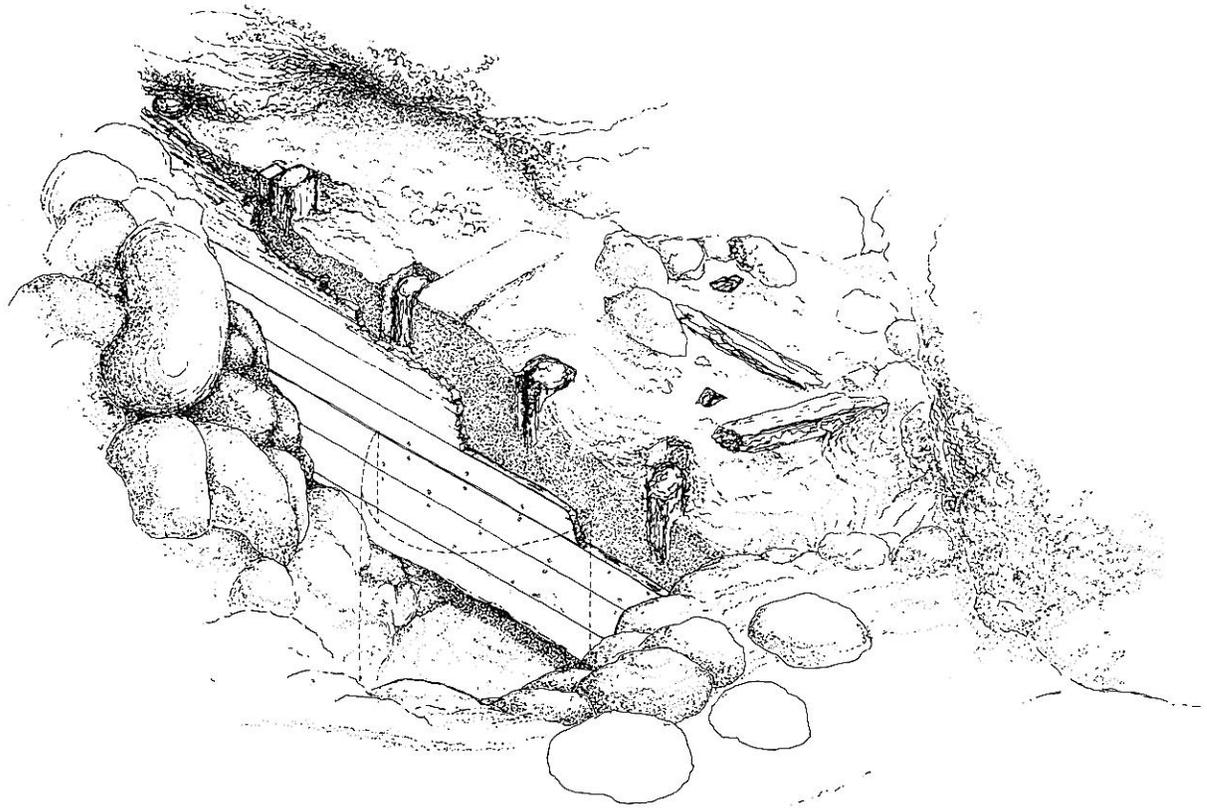


Fig. 4.

Le développement de cette conception alternative a été le résultat direct de problèmes liés au site lui-même et à des problèmes de délais. L'achèvement précoce de la digue sud principale était crucial pour le succès du projet, rendant la digue nord et les appontements intérieurs beaucoup plus faciles à construire à l'abri du vent. Le site au terminus de cette digue principale était bien évidemment un endroit de choix pour établir une base de « construction » dès le début du projet. Toutefois, cela a causé des problèmes particuliers aux concepteurs, à cause du travail aux extrémités de la zone, région sujette à des conditions de mer difficiles avec une forte houle et une importante dérive littorale. Les concepteurs choisirent une barge rectangulaire qui pouvait supporter les conditions de mer et qui leur permettait de transporter sur le site une grande quantité de béton. Etant rectangulaires, elles pouvaient être immergées côte à côte pour former une fondation solide pour une structure à construire par dessus. Les caissons à fond ouvert n'auraient pas pu servir en pleine mer car la section flottante en paroi double aurait été susceptible d'être inondée par la forte houle et les grosses vagues, et se serait plus facilement effondrée ; ces caissons étaient donc réservés aux zones protégées telles que la digue nord.

Il n'existe que peu de différences dans la construction des trois caissons étudiés, différences qui pourraient être dues à des améliorations techniques ou tout simplement au fait qu'ils étaient construits par différents charpentiers de marine. Ces barges étaient rectangulaires, avec un fond plat, d'une longueur de 14 m pour une largeur de 7 m et une hauteur

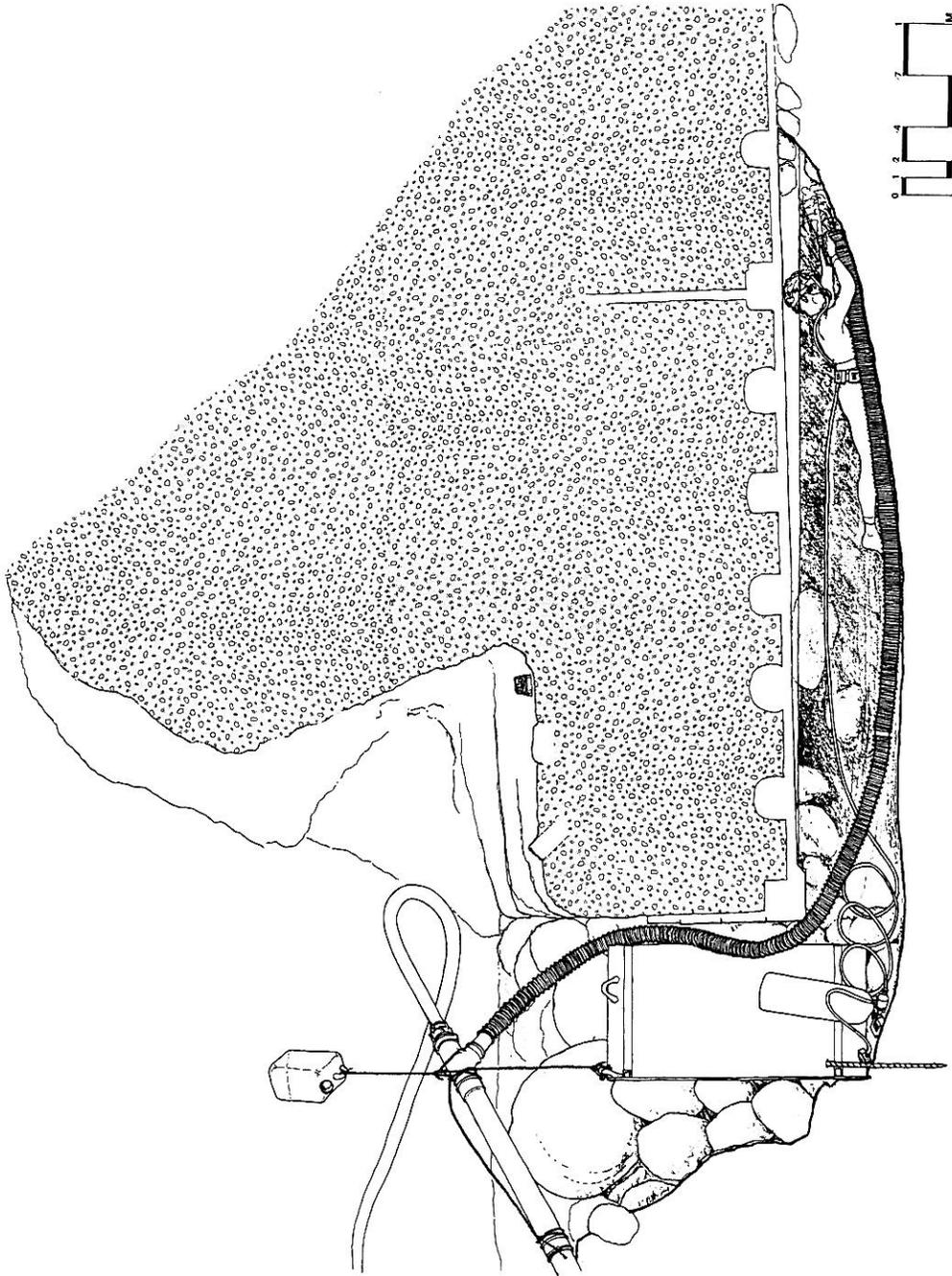


Fig. 5. — Face est, 1992.

d'environ 4m; une d'entre elles au moins, possédait une cabine interne centrale de 2,5 m de large sur 6,5m de long (fig. 6).

Elles étaient construites avec des madriers, assemblées aux extrémités avec des tenons et des mortaises, retenus à l'aide de chevilles en bois de la même façon que les constructions de bateaux à coques extérieures premières. La taille des virures en pin allait de 19 cm à 26 cm en largeur, pour 8 cm d'épaisseur sur les côtés du caisson et de 19 cm à 26 cm pour 5,5 cm au fond et aussi sur le mur du compartiment intérieur. Aucun assemblage d'extrémité des madriers n'a été remarqué, il n'est donc pas possible de dire s'il s'agissait d'un assemblage à enture, comme on pourrait s'y attendre dans ce type de construction. Les tenons, fabriqués en bois dur, avaient une dimension moyenne de 8 x 10 cm et étaient espacés de 20 cm, bien que les planches supérieures de K5 présentent des tenons espacés de 30 cm. Les tenons sont maintenus par des chevilles en bois de 11 mm de diamètre, et sont placés de manière décalée de planche à planche. Les madriers furent construits un à un, et non préfabriqués, et

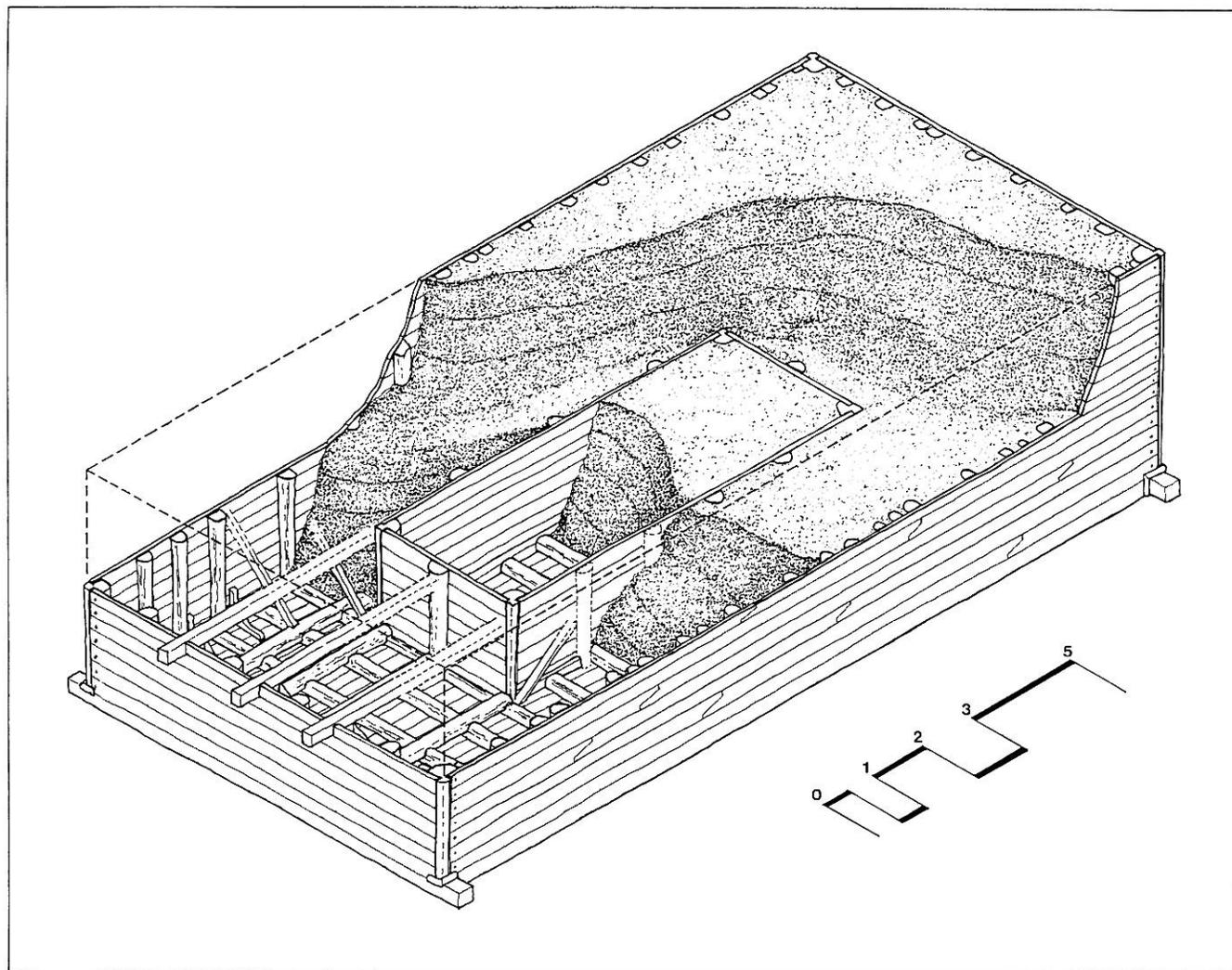


Fig. 6.

ceci est confirmé par la façon dont les extrémités des planches individuelles ont été coupées, là où elles devaient être montées sur les poteaux en coin en séquence. Il n'y a pas de traces de matériel de calfatage entre les planches, mais des restes du liquide chargé de béton à base de chaux qui s'est infiltré hors de la jointure entre la poutre de quille d'angle et le premier madrier et s'est solidifié, bouchant efficacement l'espace.

Une poutre de quille d'angle de 26 cm x 20 cm forme la jonction entre les murs de côté et le plancher (fig. 7). Le bordage des côtés est fixé à la poutre de quille d'angle par des tenons retenus par des chevilles en bois dans des mortaises. Ceci est également valable pour les madriers du plancher parallèle à la quille d'angle. Toutefois les extrémités des planches du fond sont encastrées dans la poutre de quille d'angle à la proue. Cette section est assemblée sur feuillure sur la longueur et, dans le cas de K2, sur des mortaises découpées pour recevoir les tenons coupés dans les extrémités des planches (fig. 8), alors que l'assemblage de K3 a une conception différente, les extrémités des planches ayant été arrondies sur leur section, et placées dans un même assemblage à feuillure, sur le côté de la quille d'angle (fig. 9).

Les carcasses des planchers sont faites de poutres de pins de 20 à 25 cm par 20 cm de section, grossièrement taillées, quelques-unes ayant toujours de l'écorce résiduelle, indiquant qu'il ne s'agissait pas là de bois de seconde main, placées à intervalles irréguliers variant de 30 cm à 70 cm (fig. 10). Les carcasses sont fixées sur les madriers inférieurs par, au moins, une cheville en bois par planche. Les extrémités des carcasses sont encastrées dans la quille d'angle par un tenon en saillie sur la moitié inférieure de la carcasse (fig. 7). Il est donc évident que les carcasses ont été placées avant que la quille d'angle ne soit montée sur les côtés.

Une pièce de bois est appliquée sur la face interne de la quille d'angle de la proue, qui dépasse, vers le bas, sous le niveau du bordage du plancher, afin de la protéger au moment du lancement de la structure (fig. 8 et 9). Ce détail n'apparaît pas sur les bas côtés des poutres des quilles d'angles des côtés, indiquant clairement la direction et la façon dont les caissons

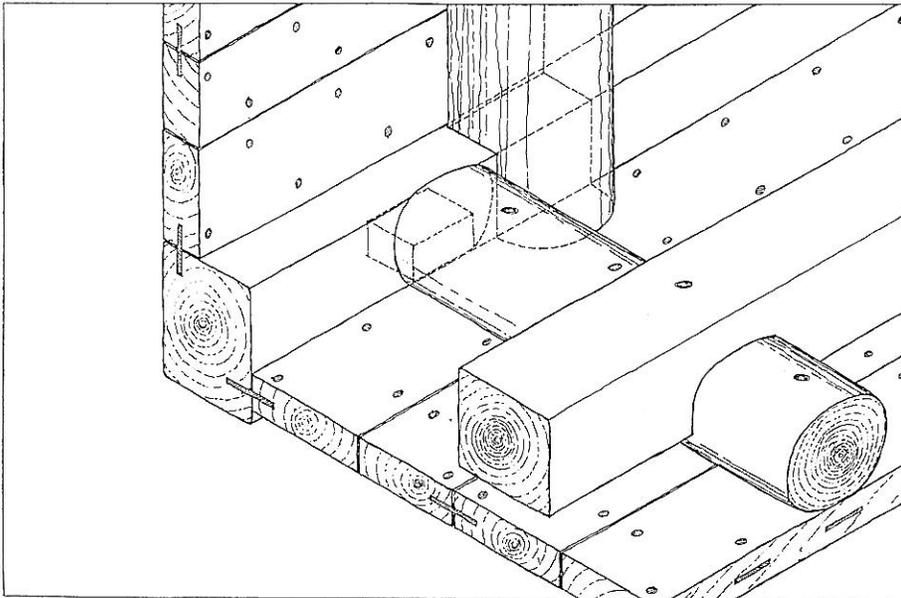


Fig. 7.

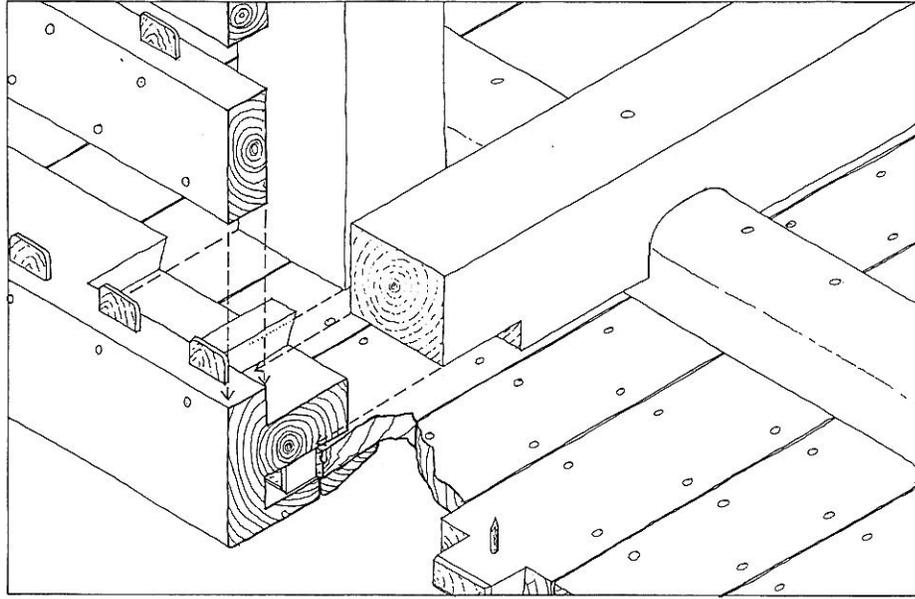


Fig. 8.

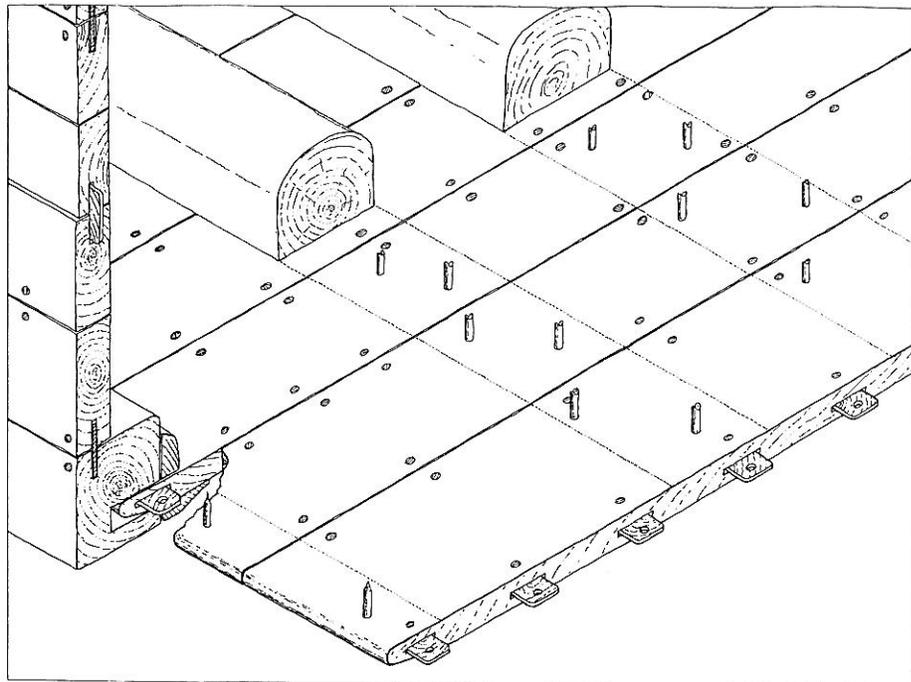


Fig. 9.

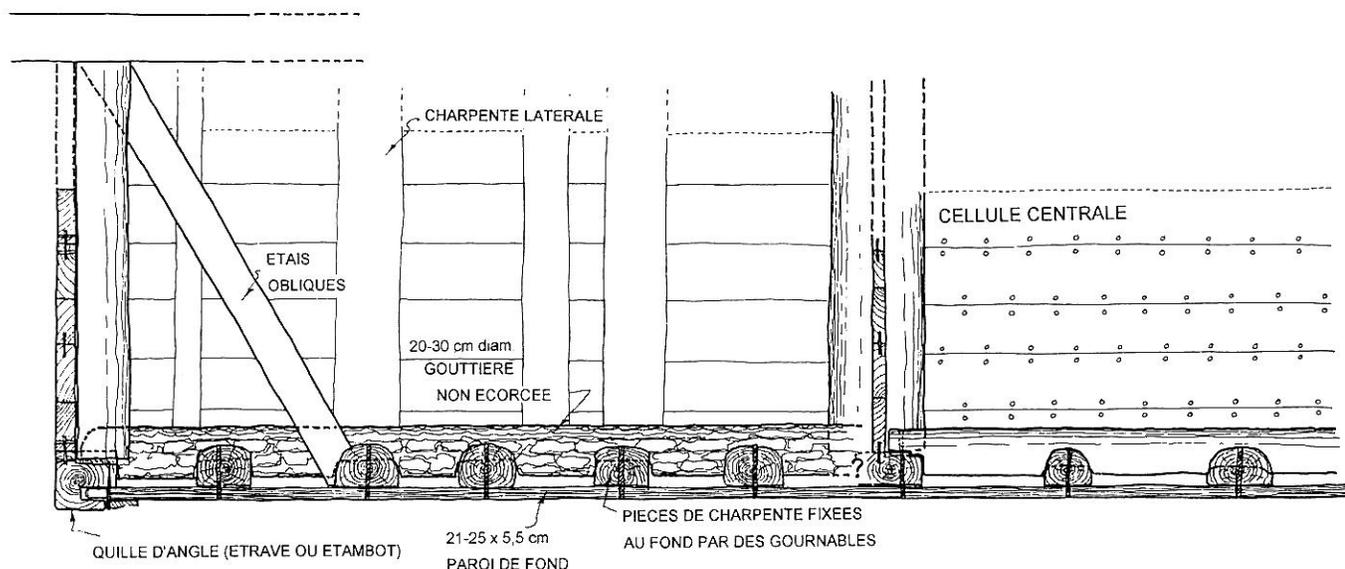


Fig. 10. — Coupe est-ouest

des quilles d'angles des côtés, indiquant clairement la direction et la façon dont les caissons furent lancés.

La quille d'angle de la proue dépasse des côtés du caisson d'environ 20 à 30 cm, et l'assemblage compliqué entre la jonction des poutres de quille d'angle et les madriers des murs latéraux est coiffé d'un morceau de bois quadrangulaire de 4 cm x 5 cm, qui a été taillé en biseau et fixé autour de la poutre de quille d'angle (fig. 11).

Des gouttières d'environ 25 cm de diamètre, ayant toujours un peu d'écorce sur elles, furent encastrées sur les carcasses et fixées à elles par des chevilles en bois.

Des courbes en bois assurent la rigidité à la jonction des madriers latéraux, de la poutre de quille d'angle et des madriers inférieurs et étaient maintenues en place par des chevilles en bois et en métal (fig. 12).

Des renforts latéraux ou des étais élancés assuraient la rigidité entre le compartiment intérieur et les madriers des murs latéraux extérieurs. Ces étais élancés étaient entretoisés à partir des carcasses, des gouttières ou des courbes et maintenus à leur sommet par des poutres ou directement sur les carcasses latérales. Des poutres positionnées entre le compartiment intérieur et les carcasses externes latérales étaient montées à environ 2 m au-dessus des carcasses du plancher traversaient le mur latéral (fig. 10). Ceci se passait au-dessus du niveau d'eau de la « barge » flottant avec un remplissage initial d'environ 0,5 m de hauteur de béton.

La cellule interne, toujours visible à K2 mais pas à K5, est construite directement à partir des madriers de plancher et les carcasses de plancher s'interrompent sur chacun de ses côtés. On ne peut qu'émettre des hypothèses sur le rôle de cette cellule interne, construite dans le même matériau étanche que la partie principale. Elle pourrait bien avoir servi comme chambre centrale de stabilisation afin de permettre de contrôler l'immersion de la barge lors de son chargement. A l'intérieur du compartiment, les carcasses du plancher sont identiques à celles de l'extérieur mais elles sont encastrées dans des poutres en saillie sur les bords,

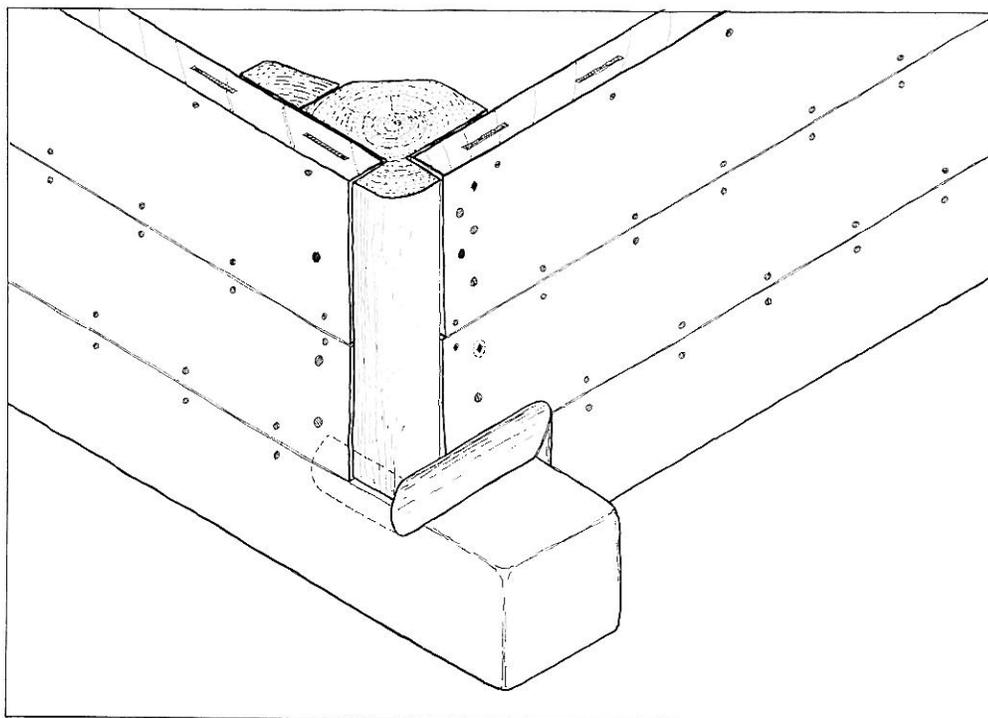


Fig. 11.

poutres sur lesquelles les poteaux des coins et les gouttières sont également fixés. Une gouttière court sur l'axe (approximativement) et est fixée à la carcasse du plancher et à la poutre de côté du compartiment intérieur à l'aide de chevilles en bois. Les poteaux des coins sont faits à partir de troncs de pin dans lesquels des feuillures ont été entaillées pour les madriers latéraux. Ces poteaux sont encastrés sur la poutre du bord avec un tenon coincé en place (fig. 13).

Les poteaux des coins extérieurs sont de même conception que ceux trouvés à l'intérieur de la cellule interne. Les extrémités des planches sont positionnées dans les rainures de chaque côté du « poteau et sont maintenues en place grâce à une combinaison de chevilles métalliques et en bois (fig. 11). Ce poteau ainsi entaillé a en conséquence une résistance faible, et s'est brisé sur la plupart des coins mis à jour. Il est probable que ces dégâts ont eu lieu dans l'antiquité.

La taille des carcasses latérales est d'environ 18 à 20 cm par 18 cm ; celles-ci sont indifféremment de forme rectangulaire, carrée, semi-circulaire ou quadrangulaire, et elles sont fixées aux madriers latéraux avec des chevilles en bois et en métal. Ces carcasses latérales sont crantées dans et au-dessus des poutres de quille d'angle d'où elles dépassent dans le caisson. Il a également été démontré que les carcasses ne s'étendaient pas toutes sur toute la hauteur des côtés et que quelques unes n'atteignaient pas la quille d'angle.

A partir de la structure restante, on peut émettre des propositions de reconstruction hypothétiques (fig. 14). Cela ne fait aucun doute que les madriers inférieurs furent assemblés en premier, et furent probablement montés sur des « tréteaux » afin de pouvoir travailler les chevilles en bois au fur et à mesure que chaque planche était fixée en place. Un site possible

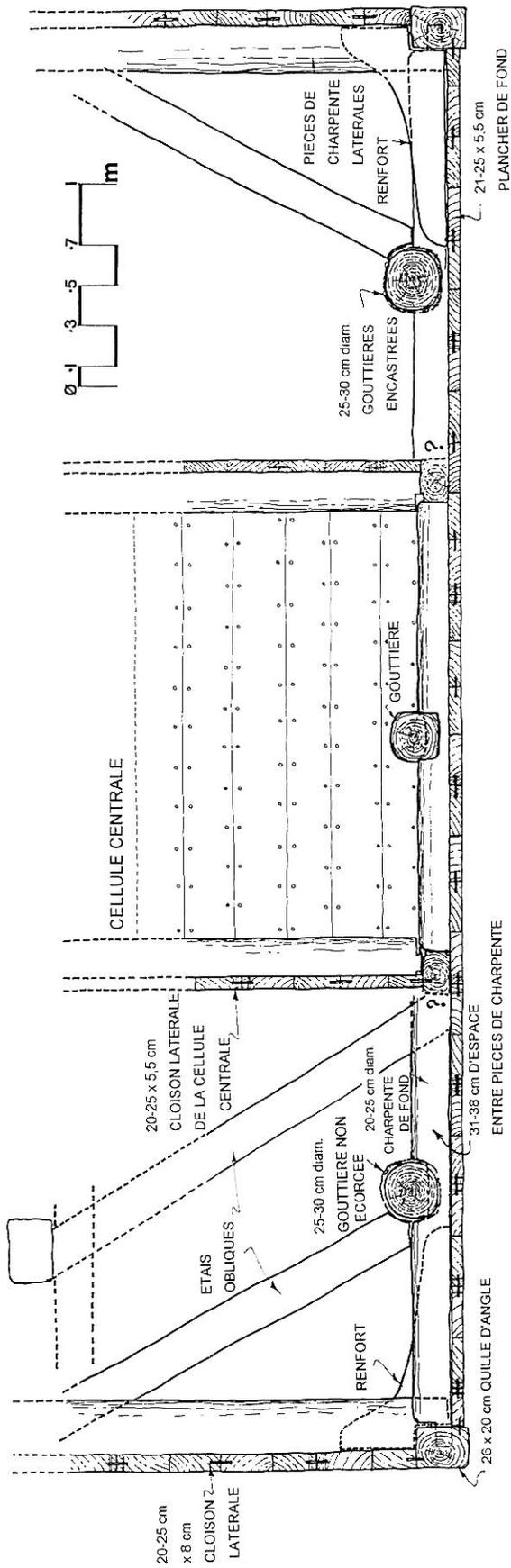


Fig. 12. — Coupe nord-sud

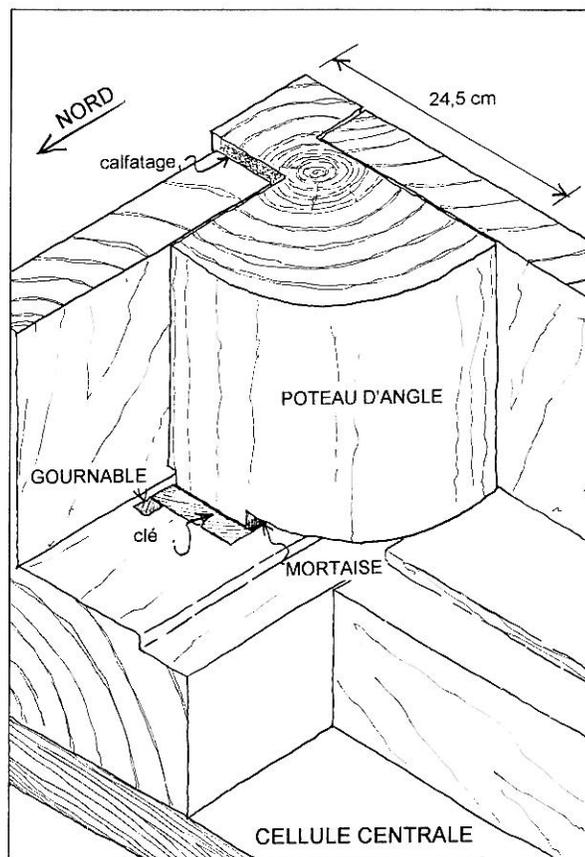


Fig. 13.

pour ce « chantier naval » est la plage voisine de ce qui est aujourd'hui le Kibboutz Sdot Yam, au sud de l'ancien port, où des structures en forme de jetées ont été découvertes (8). Les barges pouvaient être remorquées de là jusqu'à leur destination autour de l'enceinte du port grâce à la forte dérive littorale. Les carcasses des planchers étaient alors posées au dessus des madriers inférieurs et les poutres de quille d'angle montées sur les côtés et ajustées au-dessus des tenons sur les carcasses. Les quilles d'angle de la proue étaient alors montées et les gouttières installées au sommet des carcasses et fixées dans les poutres de quille d'angle de la proue et de la poupe.

Les poteaux des coins externes étaient alors érigés et mis en place, alors que les madriers latéraux étaient montés planche par planche et taillés afin de s'adapter entre les poteaux des coins.

Une fois que les murs latéraux avaient été montés, et que les carcasses latérales, les étais et les poutres transverses avaient été ajoutés, la barge était alors lancée, probablement sur des rouleaux de grumes, proue ou poupe en avant. (Ceci est confirmé par l'existence sur le bas côté de la poutre de quille d'angle d'une pièce de section triangulaire, qui protège le

(8) E. Galili, U. Dahari, et J. Sharvit, 1993, *Underwater surveys and rescue excavations along the Israeli coast*, dans *The International Journal of Nautical Archaeology* 22.1, p. 61-77.

rebord incliné vers le bas de la poutre de la quille d'angle et qui apparaît seulement sur la proue ou la poupe). Le poids estimé de la barge à vide est de 70 tonnes métriques et elle aurait flotté avec un tirant d'eau d'environ 0,5 m.

Les barges étaient alors partiellement remplies avec un béton à base de pouzzolane, jusqu'à une profondeur d'environ 0,5 m, point à partir duquel elles flottaient avec un tirant d'eau d'environ 1,5 m; on laissait le temps au béton de durcir avant de transporter les barges sur site. L'utilisation d'un béton hydraulique dans cette portion basse indique que le caisson n'était pas totalement étanche. Le béton fournissait à la fois le lest et aidait à sceller les joints, surtout autour des coins inférieurs. Une fois que le béton avait durci, la barge était remorquée vers sa destination prédéterminée et amarrée sur place tandis que des allèges y transféraient un mortier de chaux, garni, à la main, par des morceaux de tuf et un agrégat de calcaire. Ce béton en mortier de chaux était chargé jusqu'à ce que le caisson se pose sur le fond de la mer, aménagé au préalable avec une couche de blocage de béton, de tuf et de cailloux. A ce point, le franc-bord était minime et un mélange riche en pouzzolane était utilisé pour compléter le remplissage (9). Avec seulement un nouveau remplissage de 1,0 m de mortier et d'agrégat, la barge coulait au fond. La couche supérieure de matière hydraulique était utilisée pour sceller la couche non-hydraulique et la protéger des vagues qui s'écraseraient sur elle avant qu'une digue de blocage ne soit ajoutée et que la structure supérieure ne soit construite au-dessus d'elle (figs. 15 et 16).

Bien qu'il y ait des exemples d'autres ports romains ayant utilisé des assemblages de tenons et de mortaises maintenus avec des chevilles en bois dans la construction du coffrage, en particulier en Afrique du Nord, ceux-ci ne présentent pas les détails de construction de bateaux prédominants dans les caissons de type « K » (10). Il n'existe pas de preuve de l'utilisation de barges expressément construites de façon comparable dans aucun des textes contemporains ou sur aucun des autres sites mis à jour. Les caissons des Laurons, bien que construits sur commande, ressemblaient plus à de la charpenterie terrestre, utilisant une technologie de menuiserie qu'à la construction de bateaux, et ils étaient remplis de moellons plutôt que de béton (11). Plus tard, les architectes qui ont construit le port de Portus à l'extérieur de Rome, ont utilisé des coques superflues de navires comme confinement permanent dans la digue et aussi pour la fondation du phare, ce qui est la comparaison la plus proche. Il n'y a pas, toutefois, d'exemples de digues en béton qui aient des caractéristiques similaires, avec un bloc fabriqué à partir d'un noyau non-hydraulique.

Il paraît probable que les ingénieurs ont du faire face dès le départ, à des problèmes de livraison de matériel. Cela aurait pris du temps d'expédier toute la pouzzolane nécessaire de

(9) Les résultats préliminaires des analyses des échantillons de béton prélevés en K5 en 1994, testés par Technotrade Ltd Harpenden, indiquent que les couches supérieures et inférieures de béton contiennent une forte proportion de pouzzolane et peu de chaux, tandis que la couche du milieu contient beaucoup de chaux et peu de pouzzolane.

On a noté l'existence de particules de chaux brûlée dans la mixture de chaux non réhydratée des échantillons de la couche médiane.

(10) Yorke et Davidson décrivent des exemples d'assemblages de tenons et de mortaises pour des structures de béton immergées le long de la côte du nord de l'Afrique. Aucune, toutefois ne semble comprendre une structure comme une barge, R.A. Yorke et D.P. Davidson, *Surveys of Building Techniques at the Roman Harbours of Carthage and some other North African Ports*, dans A. Raban 1985 : *Harbour Archaeology : Proceedings of the First International Workshop on Ancient Mediterranean Harbours, Caesarea Maritima. BAR International Series 257*, Oxford, p. 157-164.

(11) S. Ximénès & M. Moerman, *The Roman Harbour of Laurons : Buildings and Structures*, dans A. Raban 1985 : *Harbour Archaeology : Proceedings of the First International Workshop on Ancient Mediterranean Harbours, Caesarea Maritima. BAR International Series 257*, Oxford, p. 229-252. Cette publication contient la description d'un caisson en bois de 22,9m de long par 2,2m de large, rempli de moellons.

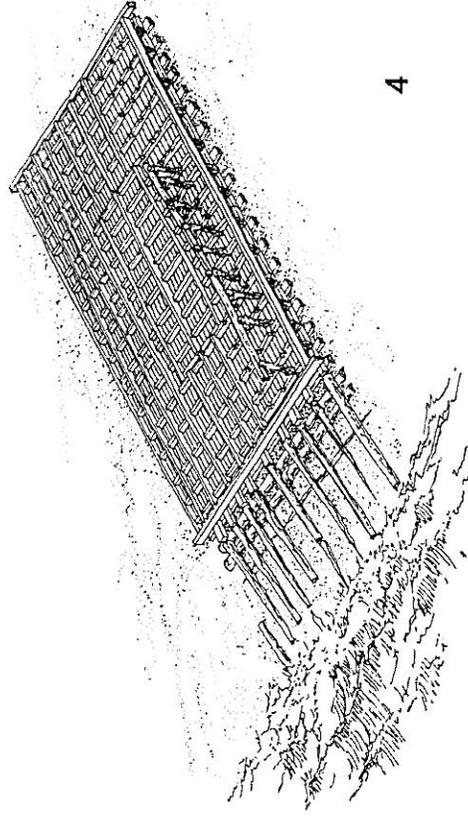
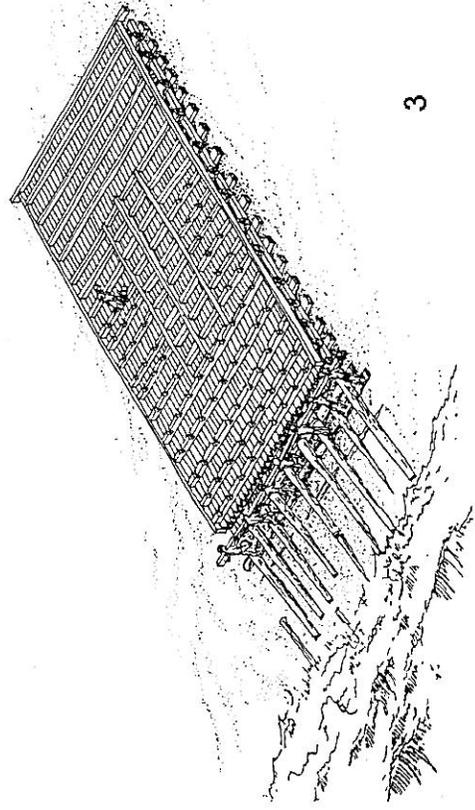
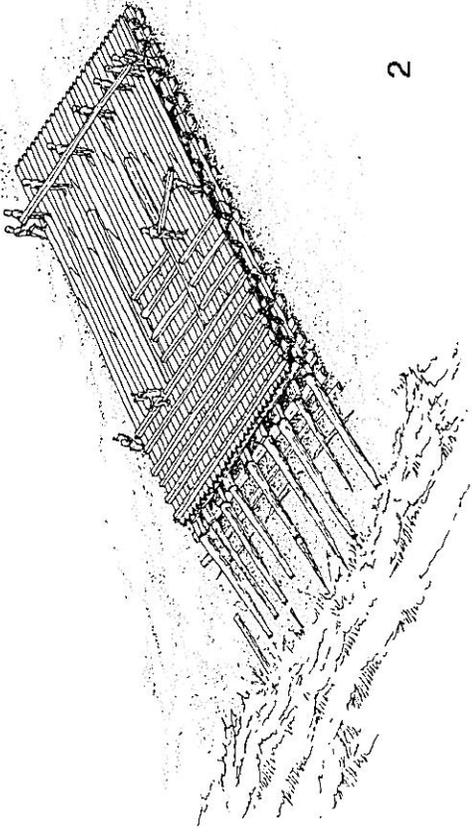
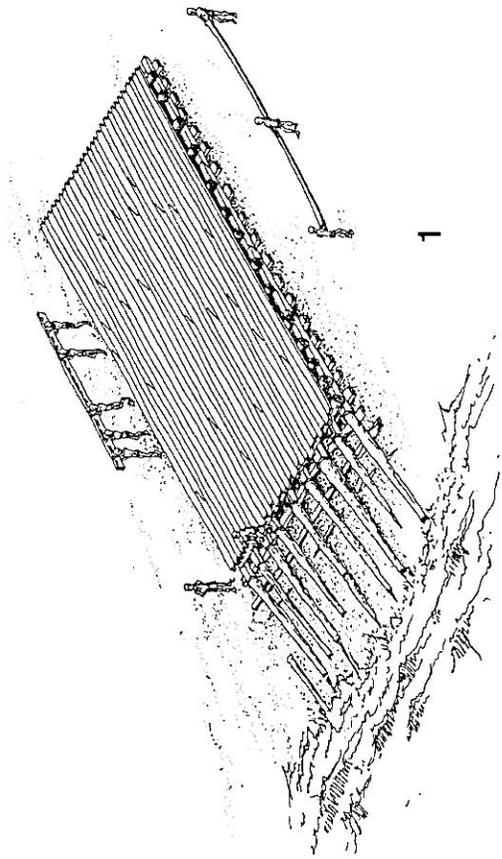
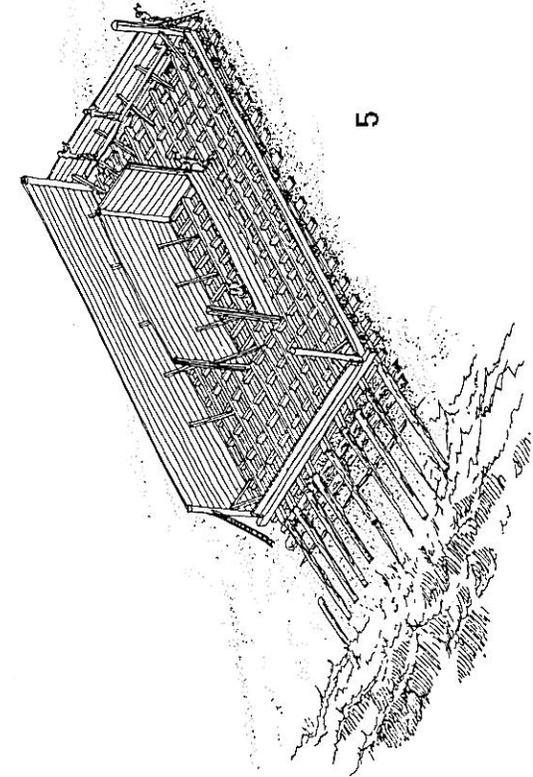
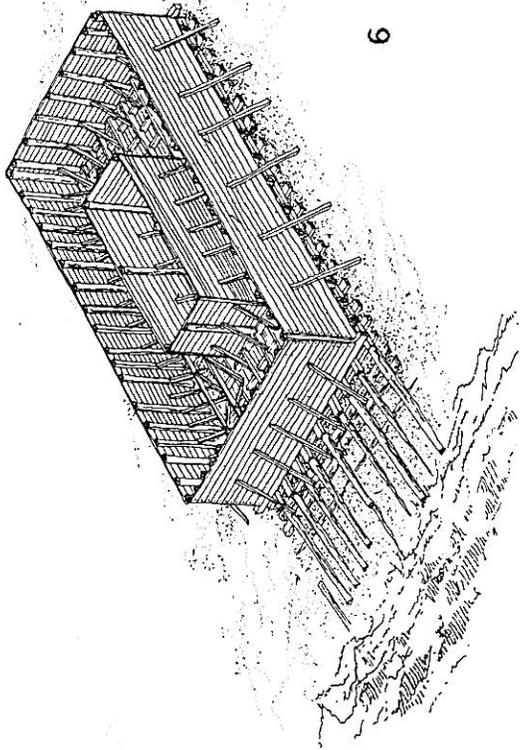


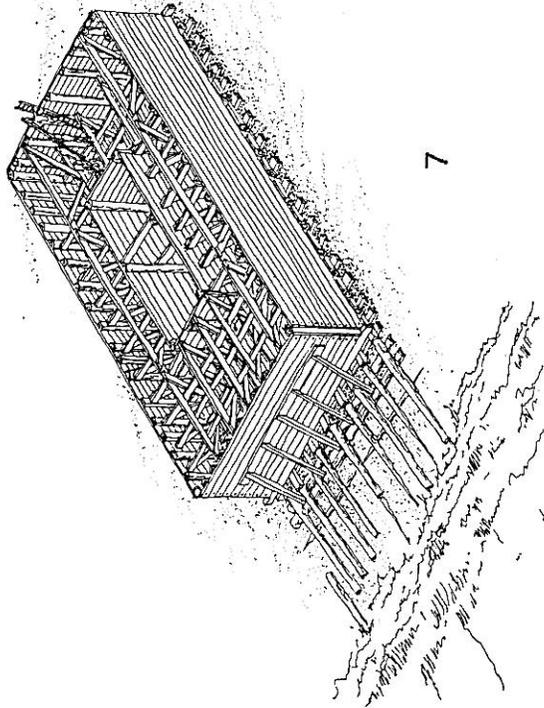
Fig. 14.



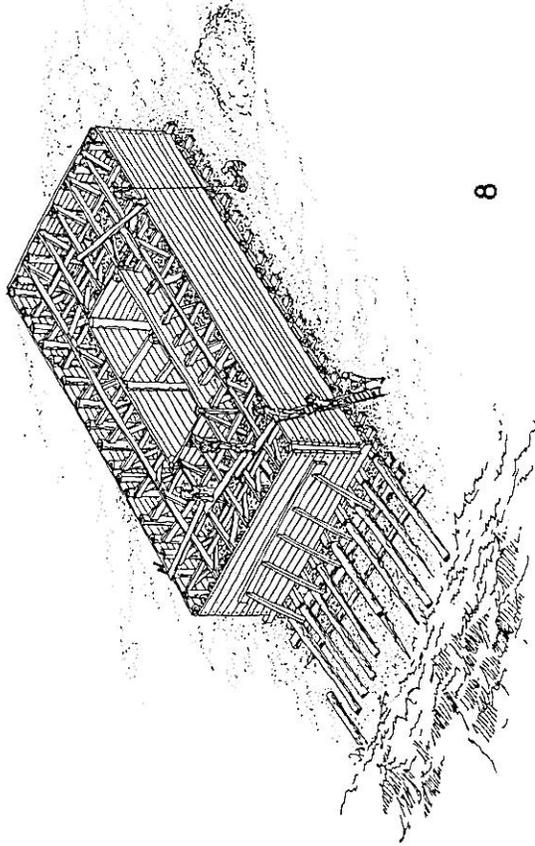
5



6



7



8

Fig. 14 bis.

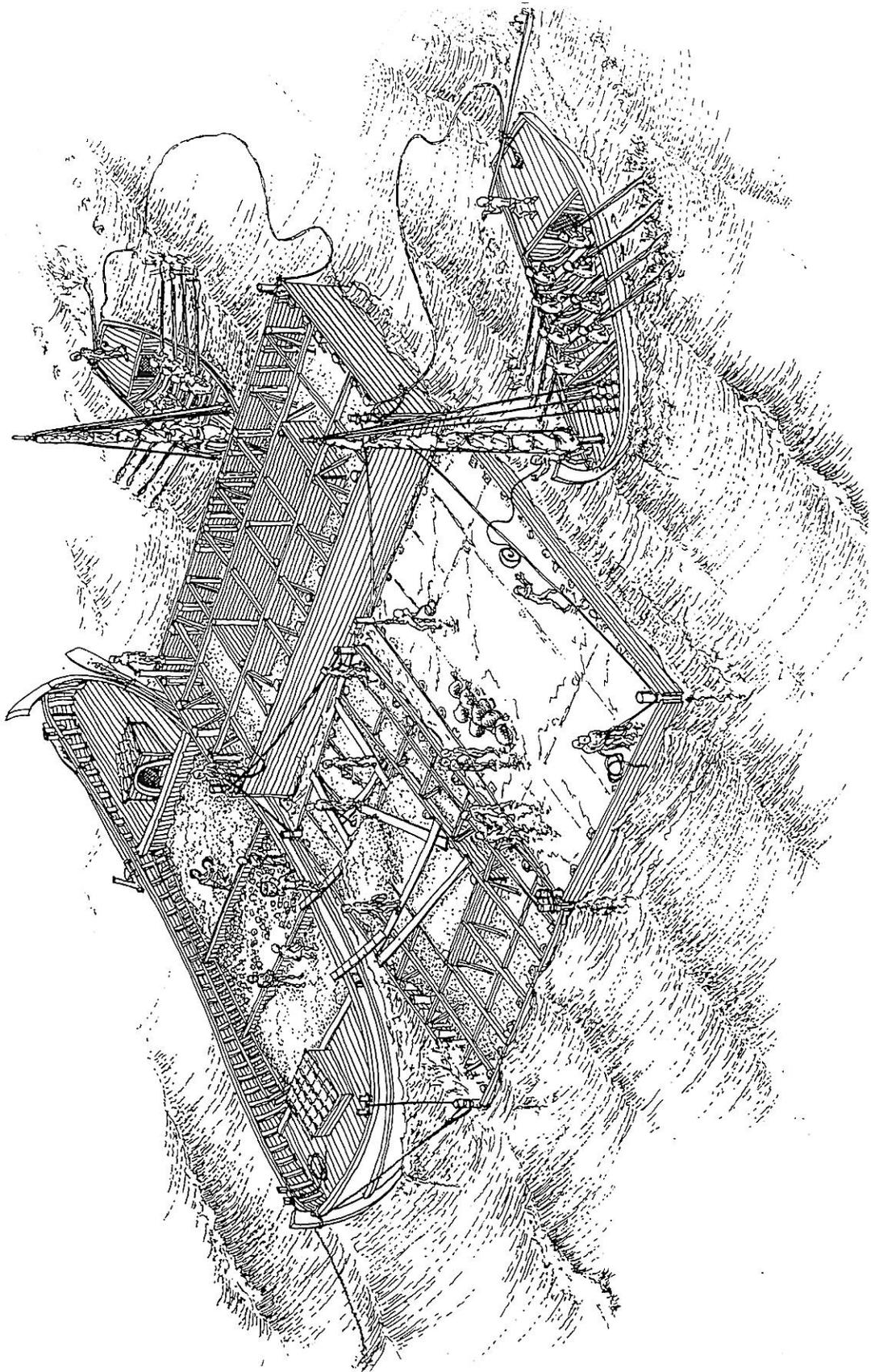


Fig. 15.

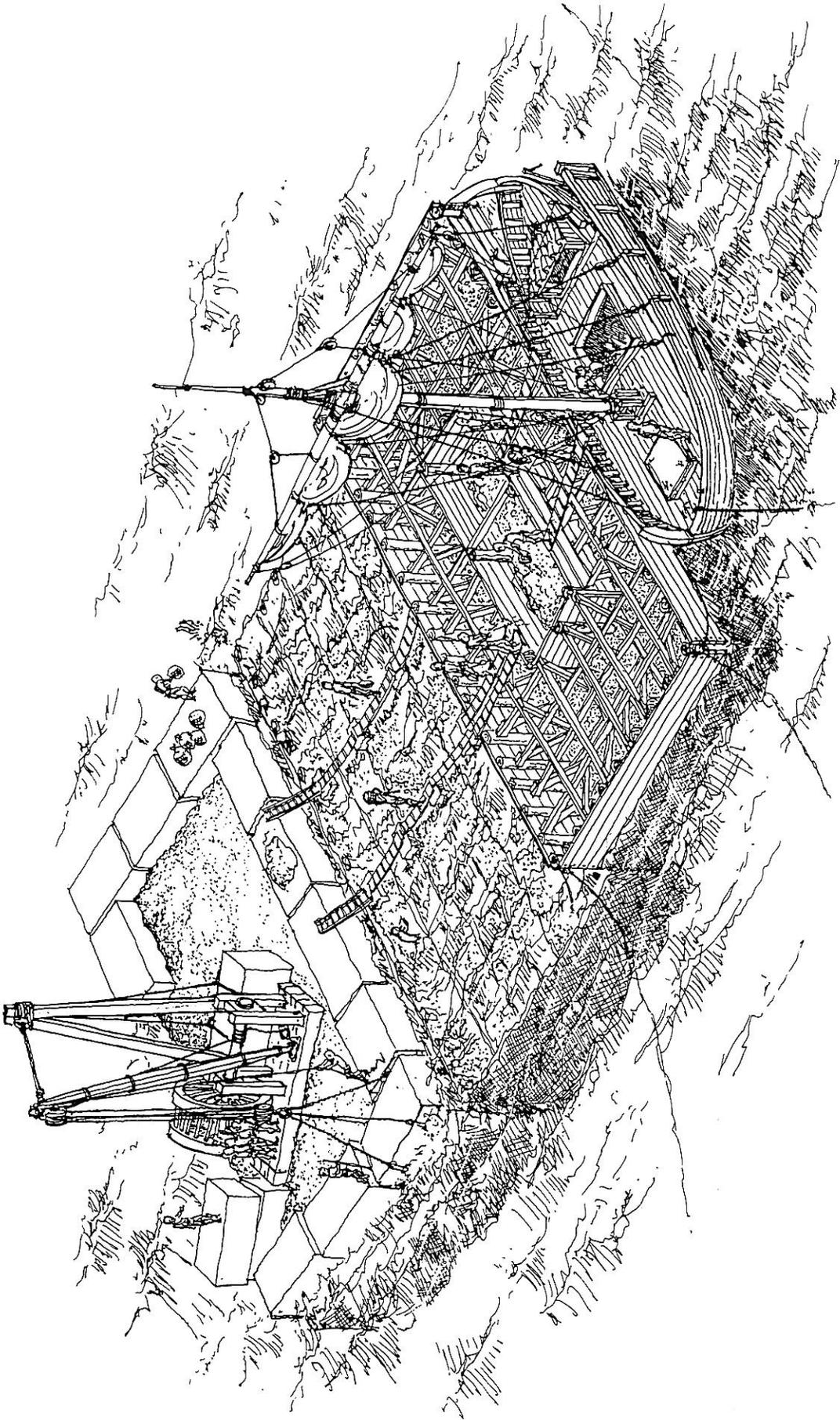


Fig. 16.

la région de la Baie de Naples en Italie vers Césarée, et avec les impératifs du programme des travaux, la décision d'utiliser un mortier de chaux non hydraulique peut bien avoir été prise délibérément comme une façon de réduire la quantité de matériaux importés utilisés dans la construction du port.

Malheureusement, cette technique de construction était fondamentalement défectueuse. La couche peu solide au milieu des blocs s'est retrouvée exposée à cause de mouvements sismiques. Étant en fait une masse de béton avec peu ou pas de renforcement structurel, elle n'avait pas de résistance à la traction, et n'importe quelle action de ramollissage ou de levage l'aurait fait se fissurer, permettant aux courants de la balayer et d'éroder les centres solubles soutenant les couches supérieures. Ceci explique en partie pourquoi le port est si vite tombé en ruines et pourquoi il aurait été très difficile à réparer (12).

Les restes des caissons gisent à présent à des profondeurs variables qui descendent généralement d'une profondeur de 7 m au sud jusqu'à plus de 9m à l'extrémité nord. Il est suggéré que cette variation de profondeur est due à un certain nombre de raisons, les principales étant le mouvement tectonique et des variations de poids sur sa longueur et l'emplacement des lignes de failles.

Maintenant, de plus en plus de mortier riche en chaux de la zone centrale des blocs étant exposé, et le niveau de sable changeant selon les saisons, une nouvelle érosion a lieu, ce qui a pour résultat de fissurer les restes existants et de les emmêler encore plus car ils sont déplacés au cours de grosses tempêtes.

Au fur et à mesure que nous en savons plus sur la conception de ces formes bétonnées et leur but probable dans l'enceinte du port, l'image devient de plus en plus complexe. Cet article ne devrait être considéré que comme un rapport intérimaire sur les trouvailles à ce jour. Il faudra beaucoup plus de travail sur site, d'analyses et de recherches avant qu'on puisse même envisager d'écrire un article détaillé sur ce sujet.

(12) Raban A., 1982, *Sebastos, the Royal Harbour at Caesarea Maritima - a short-lived giant*, dans *International Journal of Nautical Archaeology*, 21.2 p. 111-124.

1. — Entrée du tunnel sous K3.

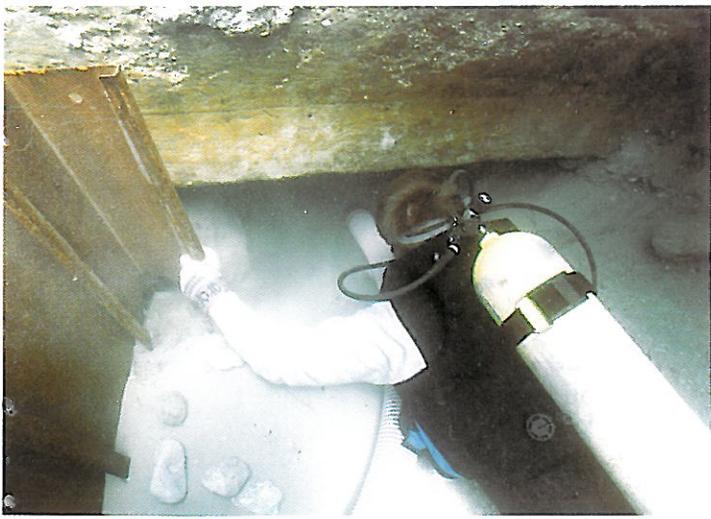
2 — En haut à gauche : angle nord-est de K5
En bas à gauche : bloc de béton détaché de K3
A droite : paroi sud de K3.

3. — Angle nord-est de K5

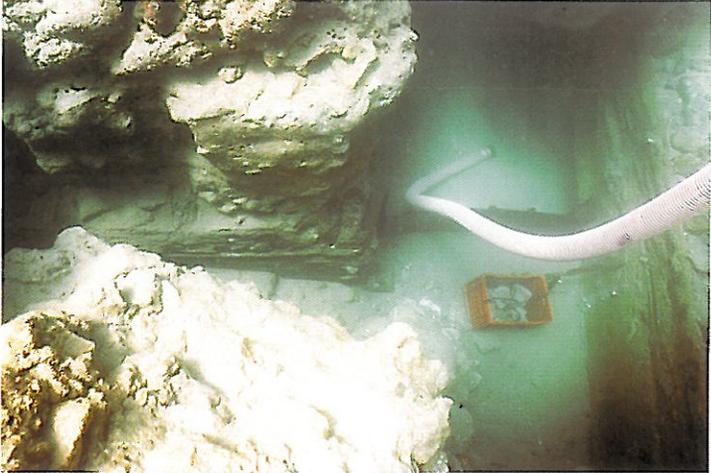
4. — Angle sud-est de K3, avec du sable compact dans la partie inférieure du cliché, et des galets et des coquillages dans la partie supérieure.

5. — Paroi sud de K3. Noter les tenons qui apparaissent à la suite de l'érosion de la surface des planches mortaisées.

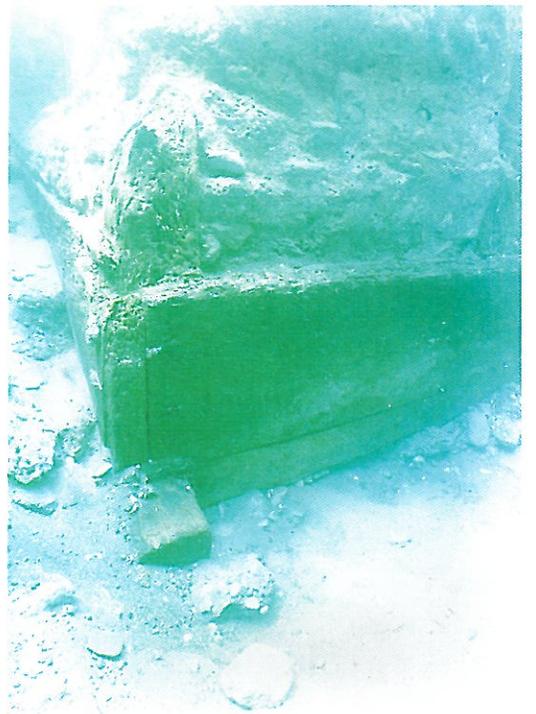
6. — Angle de la cellule centrale. L'orifice carré, sur le plancher, est dû aux travaux de fouilles.



1



2



3

Photographies 1 à 5 : Shuki Ovadiah ;
6 : Danny Syon.



4

5



6

