

ARCHAEO NAUTICA

17 | 2012

CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche - 75005 Paris

***Pour toute information relative à la diffusion de nos ouvrages,
merci de bien vouloir contacter
notre service lecteurs:***

CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche, F-75005 PARIS

Tél. : 01.53.10.27.00 - Fax: 01.53.10.27.27

Courriel: cnrseditions@cnrseditions.fr

Site Internet: www.cnrseditions.fr

© CNRS ÉDITIONS, Paris, 2012

ISBN: 978-2-271-07171-2

ISSN: 0513-945

SOMMAIRE

HONOR FROST : UNE VIE UNDER THE MEDITERRANEAN	7
<i>Patrice POMEY</i>	
LE DOSSIER DE L'ÉPAVE DU GOLO (MARIANA, HAUTE-CORSE)	11
<i>Patrice POMEY</i>	
NOUVELLES CONSIDÉRATIONS SUR LA CARGAISON DE L'ÉPAVE SANGUINAIRES A (AJACCIO, CORSE DU SUD)	31
<i>Franca CIBECCHINI, Claudio CAPELLI, Souen FONTAINE, Hervé ALFONSI</i>	
L'ÉPAVE LA MADRAGUE DE GIENS (VAR) ET LA PLAINE DE FONDI (LATIUM)	71
<i>Antoinette HESNARD</i>	
L'ÉPAVE RICHES DUNES 5 À MARSEILLAN (HÉRAULT) : UN TRANSPORT D'OBJETS DÉCORATIFS À USAGE DOMESTIQUE AU II^e SIÈCLE APRÈS J.-C.	95
<i>Hélène BERNARD, Marie-Pierre JÉZÉGOU, Philippe BLANC, Benoit MILLE</i>	
L'ÉPAVE DE PAKOŠTANE, CROATIE (FIN IV^e – DÉBUT V^e SIÈCLE APR. J.-C.)	105
<i>Sous la direction de Giulia BOETTO, Irena RADIĆ ROSSI, Sabrina MARLIER, Zdenko BRUSIĆ</i>	
L'EMBARCATION MONOXYLE ASSEMBLÉE DE DOUSSARD / BREDANNAZ (LAC D'ANNECY, HAUTE-SAVOIE, FRANCE)	153
<i>Yves BILLAUD, Eric RIETH, avec la collaboration de Marc GINISTY</i>	
BATEAUX DE GARONNE ET NAVIRES D'ATLANTIQUE	169
<i>Frédéric GERBER</i>	

L'ÉPAVE DE PAKOŠTANE, CROATIE (FIN IV^e – DÉBUT V^e SIÈCLE APR. J.-C.)

RÉSULTATS D'UN PROJET DE RECHERCHE FRANCO-CROATE

Sous la direction de
Giulia BOETTO*
Irena RADIĆ ROSSI**
Sabrina MARLIER***
Zdenko BRUSIĆ****

Résumé

Cet article est consacré à la présentation des résultats du programme de recherche franco-croate qui a porté sur la fouille et l'étude de l'épave de Pakoštane (fin IV^e-début V^e siècles apr. J.-C.) de 2007 à 2008. La ville de Pakoštane est située en Dalmatie septentrionale entre les deux centres urbains de Zadar (au nord) et Šibenik (au sud). Son port fait face à trois petits îlots appelés, du nord au sud, Babuljaš, Veli Školj et Sveta Justina. C'est entre les îles Veli Školj et Sveta Justina, à une profondeur située entre 2,50 m (sud) et 2,75 m (nord), que se situe l'épave.

L'article se compose de sept chapitres, rédigés par quatorze auteurs qui ont, pour la plupart, participé aux missions de terrain. Le premier chapitre (I. Radić Rossi, Z. Brusić, M. Ilkić, M. Parica, M. Meštrov), après un aperçu géographique du territoire de Pakoštane et de son espace nautique, offre un historique synthétique des recherches archéologiques menées le long du littoral avec la découverte de la zone portuaire de Janice (au sud-est de Pakoštane), de l'épave et des structures hypothétiquement attribuées à des marais salants dans le petit port moderne.

Le deuxième chapitre (G. Boetto, S. Marlier et I. Radić Rossi) présente la fouille et l'étude de l'épave. Le gisement se caractérise par un secteur très riche en mobilier qui a été mis en relation avec le foyer de bord et la zone de la cambuse. Le fardage indique également la présence d'une cargaison presque complètement disparue (essentiellement d'origine africaine). Parmi les caractéristiques les plus remarquables de l'épave, le grand nombre de réparations en plomb du bordé ainsi que le remaillage de la membrure qui se reflète également dans la grande hétérogénéité des taxons utilisés pour la construction de la coque.

Les études suivantes portent sur l'analyse typologique (C. Huguet) et archéométrique (Cl. Capelli) du mobilier céramique; la détermination des essences de bois des vestiges de coque conservés et des branchages de calage de la cargaison (F. Guibal, S. Greck et C. Cenzon-Salvayre); l'analyse du contenu pollinique de la poix de protection de la coque (V. Andrieu-Ponel). Une contribution plus technique sur la photogrammétrie numérique mise en œuvre dans le cadre de l'opération 2008 clôture l'article (V. Dumas).

Under the supervision of Giulia BOETTO, Irena RADIĆ ROSSI, Sabrina MARLIER and Zdenko BRUSIĆ, *The late antiquity shipwreck of Pakoštane (Croatia). The results of a Franco-Croatian research project*,

This article presents the results of a Franco-Croatian research programme involving the excavation and study of the Pakoštane shipwreck (end of 4th to beginning of 5th century AD) from 2007 to 2008. The town of Pakoštane is located in northern Dalmatia between the two urban centres of Zadar to the north and Šibenik to the south. Its port faces three small islets named, from north to south, Babuljaš, Veli Školj and Sveta Justina. The wreck is situated between the islets of Veli Školj and Sveta Justina, at a depth of between 2.50m (south) to 2.75m (north).

The article is composed of seven chapters written by 14 authors who have, for the most part, participated in on-site missions. The first chapter (I. Radić Rossi, Z. Brusić, M. Ilkić, M. Parica, M. Meštrov) begins with a geographic look at the territory of Pakoštane and of its navigation space, then presents a historical summary of archaeological research undertaken along the littoral with the discovery of the harbour zone of Janice (south-east of Pakoštane), of the wreck and of the structures hypothetical attributed to the salt pans in the small modern port.

The second chapter (G. Boetto, S. Marlier and I. Radić Rossi) presents the excavation and study of the wreck. The site is characterised by a sector that is very rich in material that has been associated with the galley and storage zone. The dunnage indicates the presence of a cargo now almost entirely missing (essentially African in origin). Among the most remarkable features of the wreck is the large number of repairs in lead applied to the planking, as well as mends to the frames, and this is also reflected in the great differences in the taxa of wood used for the construction of the hull. The following studies are concerned with typological and archeometrical analyses of the ceramic material (C. Huguet and Cl. Capelli respectively); determining the species of wood of the preserved vestiges of the hull and of the cargo load wedges (F. Guibal, S. Greck and C. Cenzon-Salvayre); analysis of the pollen content of the pitch used to protect the hull (V. Andrieu-Ponel). A more technical contribution about digital photogrammetry as used during the operations of 2008 (V. Dumas) completes the article.

Cet article est consacré à la présentation des résultats du programme de recherche franco-croate qui a porté, en 2007 et 2008, sur la fouille et l'étude de l'épave de Pakoštane datée de la fin du IV^e – début du V^e siècle apr. J.-C. Ce site présentait les caractéristiques idéales (faible profondeur, grande visibilité, logistique légère, etc.) pour devenir un chantier école consacré à la formation d'étudiants et de jeunes chercheurs croates et français aux méthodes et aux problématiques scientifiques de l'archéologie navale et, plus largement, maritime.

L'activité de recherche sur l'épave s'est donc inscrite dans le cadre d'un accord annuel de coopération établi, en 2007, entre le Centre Camille Jullian (CCJ, Aix-Marseille Université-CNRS-Ministère de la Culture et de la Communication), le *Hrvatski Restauratorski Zavod* (HRZ, Institut de conservation croate, Zagreb) et l'association *Arkaeos* (Marseille). Cette collaboration franco-croate s'est poursuivie en 2008 avec l'Université de Zadar. Plusieurs institutions ont soutenu ce projet : le Ministère de la Culture de la République de Croatie, l'Université de Zadar, l'Institut de Conservation Croate (2007), la ville de Pakoštane, le Centre Camille Jullian, la région PACA (2008).

La première mission franco-croate s'est déroulée du 16 juin au 7 juillet 2007, tandis que la deuxième a eu lieu du 11 au 31 mai 2008. La fouille, placée sous la direction de I. Radić Rossi, Z. Brusić, G. Boetto et S. Marlier a vu la participation, au total, de dix-huit chercheurs et étudiants croates¹ et français². K. Baïka (Université du Péloponnèse), Ch. Zazzaro (Université de Naples «L'Orientale») et F. Antonioli (ENEA, Rome) ont également participé à ce programme de recherche.

L'article est composé de sept chapitres et d'une bibliographie commune. Les contributions ont été rédigées par quatorze auteurs qui ont, pour la plupart, participé aux missions de terrain. Le premier chapitre (I. Radić Rossi, Z. Brusić, M. Ilkić, M. Parica, M. Meštrov), après un aperçu géographique du territoire de Pakoštane et de son espace nautique, offre un historique synthétique des recherches archéologiques menées le long du littoral. Le deuxième chapitre (G. Boetto, S. Marlier et I. Radić Rossi) présente la fouille et l'étude de l'épave. Suivent les études complémentaires : l'analyse typologique (C. Huguet) et archéométrique (Cl. Capelli) du mobilier céramique ; la détermination des essences de bois des vestiges de coque conservés et des branchages de calage de la cargaison (F. Guibal, S. Greck et C. Cenzon-Salvyre) ; l'analyse du contenu pollinique de la poix de protection de la coque (V. Andrieu-Ponel). Une contribution plus technique sur la photogrammétrie numérique mise en œuvre dans le cadre de l'opération 2008 clôture l'article (V. Dumas). Toutes les images photographiques, sauf mentions diverses, ont été réalisées par Philippe Groscaux³.

Fig. 1 : Localisation de Pakoštane sur le littoral croate (carte V. Dumas, CNRS-CCJ, 2010).

Fig. 2 : Localisation des recherches récentes à Pakoštane (carte V. Dumas, CNRS-CCJ, 2010).

Fig. 3 : La région de Pakoštane (carte V. Dumas, CNRS-CCJ, 2010).

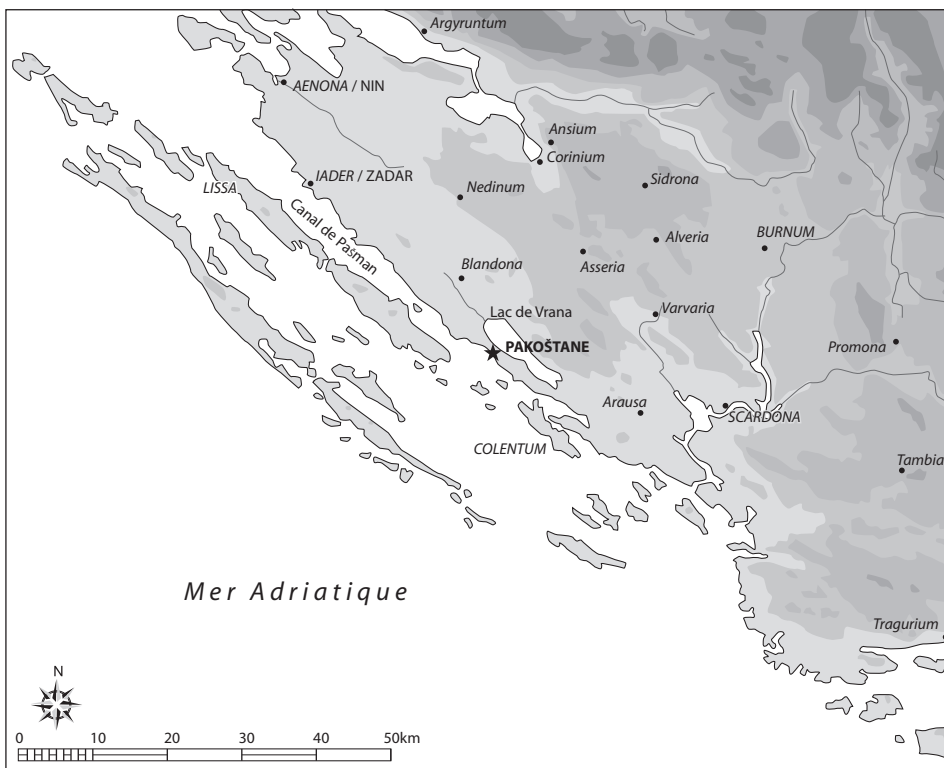
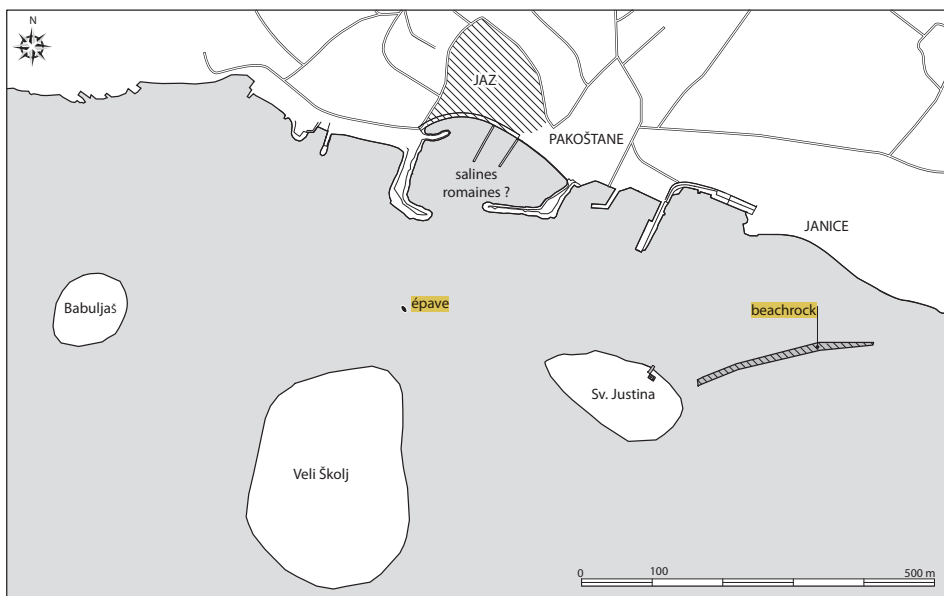




Fig. 4 : La ville de Pakoštane vue depuis le sud-est ; à gauche les trois îlots de Sveta Justina, Veli Školj et Babuljaš ; en arrière-plan l'entrée du canal de Pašman (cliché Office de Tourisme, Pakoštane).



Fig. 5 : Les zones intéressées par les recherches récentes : A. zone portuaire de Janice (2004-2005) ; B. épave (2004 et 2007-2008) ; C. probables salines romaines (2005) (cliché Office de Tourisme, Pakoštane).

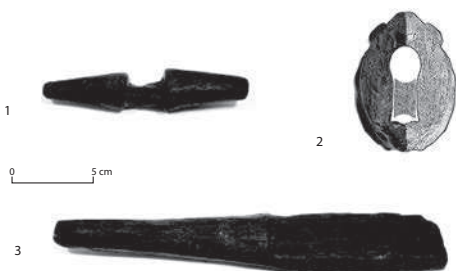


Fig. 6 : Objets en bois découverts à Janice : 1. Cabillot, 2. Poulie, 3. Minahouet (cliché R. Mosković, HRZ).

HISTOIRE DES RECHERCHES À PAKOŠTANE

Zdenko Brusić, Mato Ilkić⁵, Marko Meštrov⁴, Mate Parica⁵, Irena Radić Rossi

La petite ville touristique de Pakoštane est située en Dalmatie septentrionale entre les deux centres urbains de Zadar (au nord) et Šibenik (au sud) (fig. 1). Son port fait face à trois petits îlots appelés, du nord au sud,

Babuljaš, Veli Školj et Sveta Justina (fig. 2). Sur ce dernier îlot fut édifée la petite église de Sainte Justine, *ex-voto* que la tradition rattache à la bataille de Lépante (7 octobre 1571). Veli Školj (île Grande), quant à elle, conserve les vestiges d'une fortification d'époque liburnienne⁶, tandis que le troisième îlot, Babuljaš, ne porte aucune trace d'activité humaine. C'est entre les îles Veli Školj et Sveta Justina, à une profondeur située entre 2,50 m (sud) et 2,75 m (nord), que se situe l'épave, objet des recherches franco-croates (fig. 2)⁷.

D'un point de vue historique et géographique, Pakoštane appartient à la région qui comprend, à l'est, le lac saumâtre de Vrana et, au nord-ouest, le canal de Pašman dont le nom dérive de l'île longue et étroite parallèle à la côte (fig. 3). De nos jours, en raison de la présence d'un grand nombre de hauts-fonds, la navigation et la pêche y sont étroitement réglementées⁸. En effet, ce canal est divisé en deux passages par une série de petites îles situées au centre de sa section sud-orientale : le passage oriental longe la côte dalmate, la passe occidentale longe l'île de Pašman⁹. Des forts courants (l'un orienté nord-ouest et l'autre sud-est) entravent également la navigation¹⁰. Enfin, l'action de ces courants, couplée à celle des vents provenant des secteurs nord-est (*bura*)¹¹ ou sud-est (*jugo*)¹², rend la navigation particulièrement délicate.

À l'époque antique, les navigations dans le canal de Pašman devaient être soigneusement programmées. Les zones de mouillage, pouvant fournir une protection temporaire en attente d'un changement des conditions météorologiques, étaient alors d'une importance fondamentale. Pakoštane, avec son port abrité, représentait le lieu le plus proche et le mieux situé par rapport à l'entrée sud-orientale du canal : ici les marins pouvaient attendre le moment le plus propice avant de continuer la navigation vers le Nord (fig. 4).

Outre son rôle fondamental pour la navigation en tant que mouillage bien protégé et facilement accessible, Pakoštane représentait également le débouché maritime naturel de la riche région environnante entourant le lac de Vrana. Ce lac d'origine karstique, mais actuellement saumâtre, représente la seconde plus grande surface d'eau de Croatie¹³. Il est séparé de la mer par une étroite barrière calcaire qui facilite l'accès depuis la côte, au niveau de Pakoštane. Le climat doux, le sol fertile et la présence de riches sources en eau douce ont permis le développement de l'agriculture de l'époque préhistorique jusqu'à nos jours¹⁴. Les collines péri-lacustres portent en effet les traces d'habitats fortifiés liburniens tout comme la zone littorale : à Kostelj, près de Pakoštane, et sur l'île de Veli Školj, face au port, ainsi que le long du canal de Pašman, avec un rôle de contrôle de la navigation depuis et vers Zadar¹⁵.



Fig. 7 : Vue de la beachrock de Janice (cliché M. Parica, Université de Zadar).



Fig. 8 : Amphorette portant l'inscription SALONA (cliché M. Parica, Université de Zadar).

Déjà, à la fin du XIX^e s., Luka Jelić mettait en relation le port de Pakoštane avec le *municipium* d'Asseria (Podgradje près de Benkovac)¹⁶. Ćiril Iveković, qui considère Pakoštane comme le port de l'arrière-pays dalmate (Dalmatinska Zagora: de Karin à Ivoševci/Burnum), affirmait, en 1930, que « dans la zone où se situe actuellement le village de Pakoštane devait se trouver un grand centre d'époque romaine comme en témoignent le grand nombre de vestiges de murs, mosaïques et d'autres constructions diverses »¹⁷. C'est à Janice, au sud-est de l'actuel port de Pakoštane, que Frane Bulić¹⁸ signala à la fin du XIX^e s. les vestiges d'une villa romaine. Ces vestiges furent partiellement fouillés il y a 40 ans¹⁹ par Mate Suić²⁰ qui

mentionna l'existence d'espaces souterrains très bien conservés, de citernes ainsi qu'une zone résidentielle située près de la mer²¹.

À Janice, Zdenko Brusić découvrit, lors de prospections sous-marines conduites au début des années 1970, un petit môle et de la céramique du I^{er} et II^e s. de notre ère. Il remarqua également des fragments de céramiques préhistoriques et une barrière rectiligne immergée composée, à son avis, de blocs équarris²². L'origine artificielle de cette barrière a été remise en cause par S. Gluščević²³ et, dernièrement, F. Antonioli a confirmé cette opinion. Cette beachrock d'origine naturelle, orientée sud-est/nord-ouest, aurait protégé le petit port romain situé dans l'anse de Janice (fig. 2, 5 et 7)²⁴.

Des nouvelles recherches sur le port de Pakoštane ont débuté en 2004 sous l'impulsion de Marko Meštrov, à l'époque étudiant en archéologie à l'Université de Zadar, qui avait reconnu l'importance de la sédimentation portuaire dans la zone de Janice (fig. 2 et 4)²⁵. Les recherches se sont également poursuivies l'année suivante²⁶.

Les sondages archéologiques (2 × 2 m ; prof. 90 cm), réalisés par 2 m de fond, ont permis de localiser à Janice une riche stratification portuaire composée d'une concentration de blocs de grandes dimensions et de fragments d'amphores puis de pierres plus petites mélangées avec des fragments de vaisselle fine et commune, des fragments de verres et de lampes, ainsi que des pièces de monnaies²⁷. Les sédiments, très riches en faune et coquillages, ont restitué des restes carpologiques et des objets en bois dans un état de conservation remarquable (outils et accastillage de marine, objets divers) (fig. 6)²⁸.

Les céramiques découvertes à Janice confirment la position centrale du port de Pakoštane au sein des routes maritimes de l'Adriatique orientale à l'époque du Haut Empire²⁹ et son ouverture aux importations du nord et du sud de l'Italie, de la Grèce, de l'Asie mineure et de l'Afrique³⁰. La production locale est aussi attestée comme en témoigne une petite amphorette portant l'inscription SALONA (fig. 8)

En 2004, les recherches se sont élargies à la zone comprise entre les îles Veli Školj et Sveta Justina où, quatre ans auparavant, Marko Meštrov avait déclaré l'existence d'une épave antique (fig. 2 et 5). La première opération de fouille sur cette épave a permis d'en dégager une extrémité sur une longueur de 9 m et une largeur d'environ 6,20 m, soit une surface totale de près de 56 m². Étant donné le peu de matériel céramique retrouvé sur le site (des fragments d'amphores et de sigillée africaine), une datation radiocarbone d'un fragment de bois de la coque a été réalisée. Elle a permis d'attribuer l'épave à l'Antiquité tardive³¹. Ce site, particulièrement bien conservé et partiellement étudié, a été choisi pour débiter une mission dans le cadre d'une collaboration franco-croate initiée en 2007³².

En 2005, des fouilles préventives réalisées dans le petit port de Pakoštane par l'Institut de conservation croate ont conduit à la découverte et à l'étude préliminaire, encore tout à fait partielle, d'une structure en bois constituée de pieux qui renaient des planches enfoncées verticalement (fig. 2 et 5)³³. Cette construction, datée par la radiocarbone des I^{er}-II^e siècles de notre ère, couvre tout le bassin et vient former des enclos, ou vasques, qui ont été mises en relation avec une activité d'extraction de sel (fig. 9 et 10)³⁴. La production de sel, une activité qui aurait perduré jusqu'à des



Fig. 9 : Vue de l'est du port touristique de Pakoštane avec, au centre, les vestiges des probables salines romaines (cliché Office de Tourisme, Pakoštane).



Fig. 10 : Vue en plan des structures en bois d'époque romaine attribuées à des salines (Cliché K. Zubčić, HRZ).

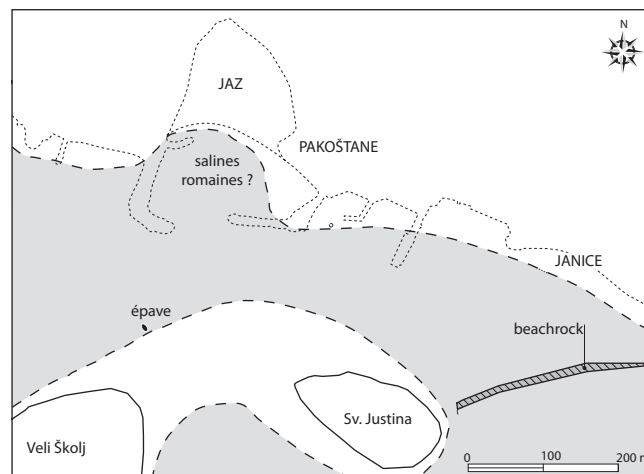


Fig. 11 : Pakoštane, restitution hypothétique du trait de côte à l'époque romaine.

époques plus récentes, permet d'appréhender une autre fonction importante de Pakoštane à côté de son rôle portuaire desservant un riche arrière-pays³⁵.

Enfin, les études géomorphologiques montrent que la zone située au sud de Zadar aurait été intéressée, depuis l'Antiquité, par une remontée relative du niveau moyen de la mer d'environ 1,50 m³⁶ voir de 2 m dans la zone de Pakoštane³⁷. S'il est certain que, à l'époque préhistorique, les îles de Veli Školj et Sveta Justina formaient une péninsule se détachant de la côte, les deux îles n'en formaient plus qu'une à l'époque romaine, l'isthme ayant disparu suite à la remontée de la mer³⁸. C'est sur la côte septentrionale de cette île que l'embarcation a échoué (fig. 11).

L'ÉPAVE : LA FOUILLE ET L'ÉTUDE DE LA COQUE

Giulia Boetto, Sabrina Marlier, Irena Radić Rossi

L'épave de Pakoštane gît par 2,50/2,75 m de fond, 90 m au nord-est de l'île Veli Školj (île Grande) et 280 m au sud-ouest du quai du port touristique (fig. 2). Déclarée en 2000 par Marko Meštrov, elle a fait l'objet d'une courte opération en 2004 qui a permis d'en dégager environ la moitié sud³⁹. Lors de cette première mission, il est apparu que le bateau s'était fracturé en deux parties situées à l'est et à l'ouest d'un axe longitudinal orienté nord-ouest/sud-est.

Le bois repose directement au contact du substrat rocheux et est recouvert par une couche de sable coquillier très mobile car non maintenu en place par un tapis de positionnements ou d'algues. Les structures sont alors

régulièrement exposées lors des phénomènes de grosse mer, les remous des vagues déplaçant facilement le sable sur une colonne d'eau réduite. C'est ce phénomène qui a, par ailleurs, porté à la découverte de l'épave.

Ce site, menacé non seulement par sa localisation et par sa faible profondeur, mais également par l'augmentation de la fréquentation qui fait de Pakoštane un des ports touristiques les plus fréquentés de la côte dalmate septentrionale, nécessitait une étude approfondie avant la mise en place d'un système de protection adéquat. Il a donc été choisi afin de démarrer un projet de collaboration franco-croate dans le domaine de l'archéologie navale et maritime. La visibilité optimale, la faible profondeur et, surtout, l'appui financier et logistique de la Ville de Pakoštane, ont également été des facteurs déterminants dans le choix de ce site sous-marin⁴⁰.

Les conditions de travail ont été favorisées par la proximité du site avec le port de

Pakoštane et par l'emploi d'un équipement de surface peu contraignant et peu coûteux : un zodiac pour le transport des archéologues-plongeurs et un petit bateau en bois pour recevoir la motopompe nécessaire au fonctionnement des aspirateurs à sédiments utilisés sous l'eau. La mer, souvent calme ou peu agitée hormis les quelques jours d'arrêts à cause du vent du sud-est (*jugo*), nous a permis de travailler dans de très bonnes conditions sur toute la durée des deux missions de 2007 et 2008.

Au terme des deux années de fouille, le bilan de l'échange et du transfert technique et scientifique entre les équipes de France et de Croatie a été très positif et a permis la poursuite de la collaboration sur le site de Caska (Novalja, île de Pag) sur une épave de bateau assemblé par ligatures, réutilisé pour la construction d'une jetée portuaire⁴¹.

LES CAMPAGNES 2007 ET 2008

L'objectif de la mission 2007 était d'identifier la zone fouillée en 2004 afin de réaliser des observations architecturales approfondies et de compléter la documentation des vestiges conservés de l'épave. Les premières opérations ont porté sur le désensablement à l'aide d'aspirateurs à sédiments (plus communément appelés «suceuses à eau») et à l'installation d'un carroyage fixe en barres d'aluminium de 2 m de côté (fig. 12). Implantés dans la zone où les vestiges ont été conservés dans leur plus grande largeur, dix carrés ont été matérialisés, correspondant ainsi à une surface totale dégagée d'environ 40 m² (de l'extrémité sud de l'épave jusqu'à la membrure F123W sur le côté ouest et jusqu'à la membrure F118E sur le côté est) (fig. 13). Cependant, cette mission n'a pas permis de dégager complètement le périmètre nord occidental de l'épave (entre les membrures F117W et F123W).

L'épave ayant déjà été fouillée en 2004, aucun fragment de mobilier n'a été découvert à l'exception d'un col d'amphore malheureusement ramassé hors contexte, lors du ré-ensablement de couverture final du site (fig. 16)⁴². En revanche, la fouille a permis de mettre au jour, dans la maille des membrures, un certain nombre de branchages (fig. 15)⁴³ ainsi qu'un petit fragment de cordage appartenant au gréement⁴⁴.

En 2008, il a été décidé de reprendre le travail là où nous l'avions arrêté l'année précédente afin de rechercher les limites conservées de l'épave vers le nord et ainsi compléter l'étude des vestiges de la coque. Compte tenu des moyens et du temps imparti pour cette mission, nous avons choisi de ne pas rouvrir complètement toute la surface de l'épave. Cependant, afin de faciliter l'étude architecturale et les opérations de recoupage des relevés planimétriques, nous avons désensablé la

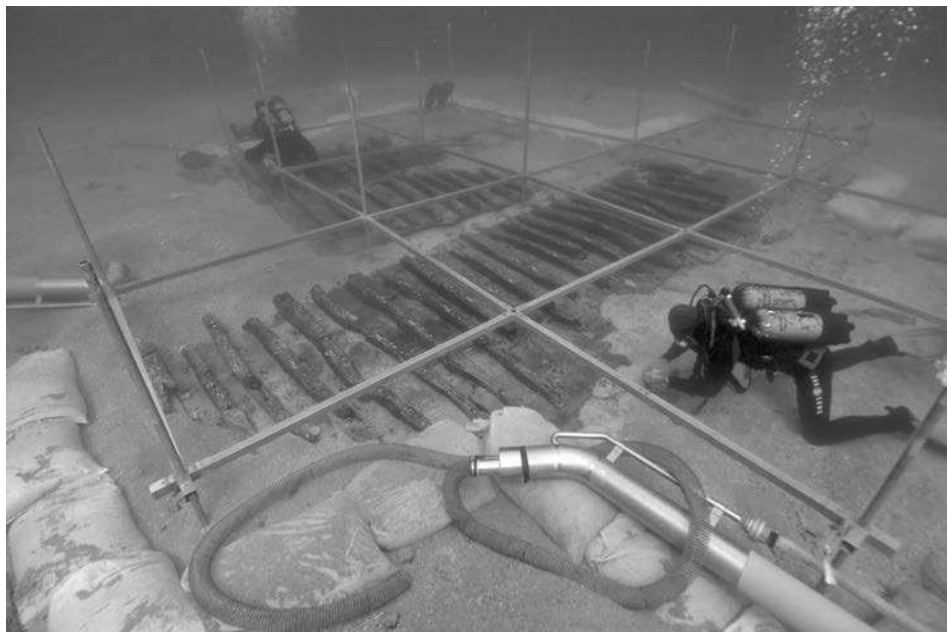


Fig. 12 : L'épave de Pakoštane lors de la mission 2007 (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).

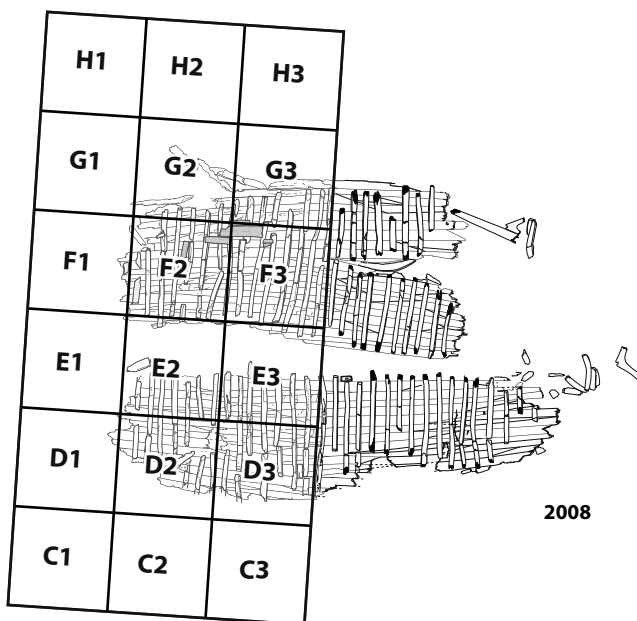
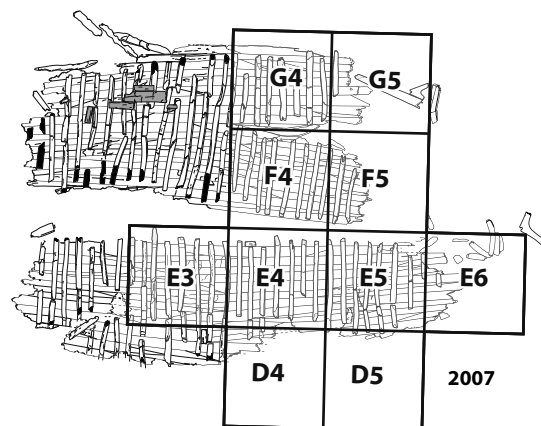


Fig. 13 : Les zones de fouille en 2007 et 2008 (schéma V. Dumas, CNRS-CCJ, 2010).

partie de coque comprise entre les membrures F117W et F123W, déjà dégagée en 2007. De même, à l'est, nous avons dégagé l'épave à partir de la membrure F117E.

La fouille s'est alors déroulée en deux temps. Premièrement, nous avons ouvert un secteur de recoupement de 24 m² (carrés C3-H3: de F117E-F117W jusqu'à F124E-F124W) puis, dans un deuxième temps, nous avons continué vers le nord jusqu'au dégagement complet de l'épave (carrés C2-H2 et C1-H1). La surface totale dégagée en fin de mission a été de 72 m² (fig. 13).

Dans la zone déjà fouillée en 2007, l'ouverture du site a été rapide, consistant à enlever les sacs de sable, disposés tout autour de l'épave, et à rouler ensuite les tissus géotextiles qui recouvraient les structures de bois. La zone non encore fouillée, ensevelie sous une épaisse couche de sable coquillier, a ensuite été dégagée à l'aide de suceuses à eau.

Dans la partie est de l'épave et, en particulier dans les carrés F2 et F3, un secteur vierge de toute fouille antérieure (fig. 13), nous avons découvert une couche très riche en mobilier, malheureusement dans un état très fragmenté (fig. 14). Cette couche était composée d'un grand nombre de tessons de céramiques (vaisselle, amphores et briques)⁴⁵, d'objets divers⁴⁶ et de plusieurs fragments de branchages dont certains avec les pointes brûlées⁴⁷. Aucun doute ne subsiste quant à l'appartenance de ce mobilier à l'épave car il a été retrouvé dans la maille du bateau, en contact direct avec le bois de la coque. Des fragments avaient également glissé sous les fragments de vaigrés en place (C4E).

En ce qui concerne la céramique, bien qu'elle ne fût pas scellée en raison de la couche de sable très mobile qui la recouvrait, elle est très homogène et plusieurs fragments d'un même objet ont pu être associés⁴⁸. En revanche, les découvertes de fragments de faune⁴⁹, de charbons de bois⁵⁰ et de graines⁵¹ sont très restreintes, probablement en raison d'un protocole de fouille non adapté ou bien en raison du type de sédiment limitant la conservation de ce type de vestiges. En tout état de cause, ces découvertes nous ont conduites à changer de stratégie de fouille et à mettre en place un protocole de prélèvement plus adapté afin d'enregistrer la position de chaque objet⁵².

LA CARGAISON, LE MATÉRIEL DE BORD ET LE FOYER

Le mobilier découvert sur l'épave de Pakoštane provient de l'extrémité nord, partie est (carrés F3-F2), fouillée en 2008 (fig. 13 et 14). Il s'agit d'un petit lot de fragments de matériaux de construction en terre cuite auquel il faut ajouter un grand nombre de fragments de béton de tuileau et une discrète quantité

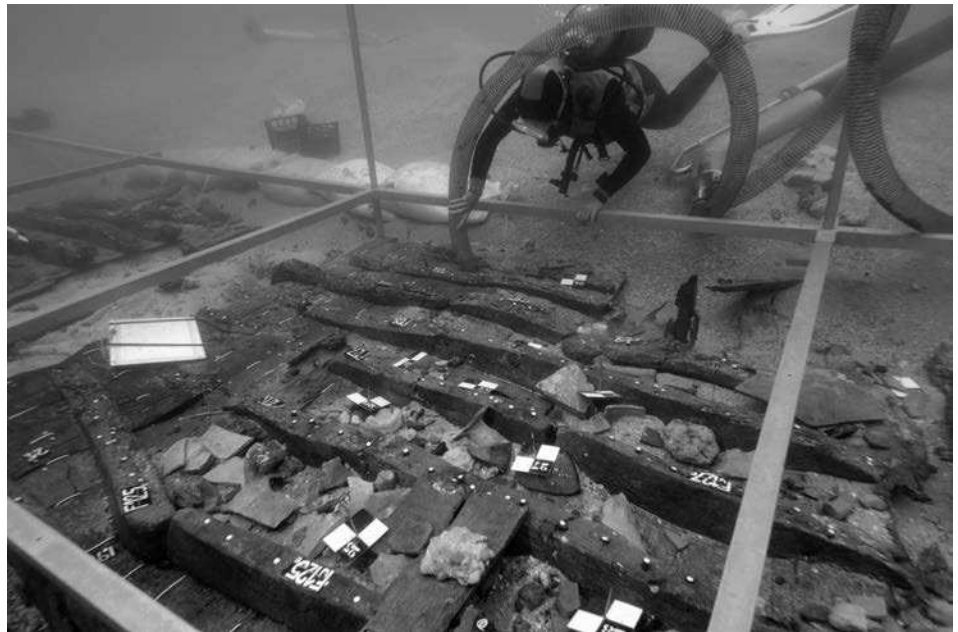


Fig. 14: Vue de la zone de découverte du mobilier céramique (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008).

d'amphores et de céramiques (vaisselle fine, commune et de cuisine), une lampe, un jeton en sigillée et deux pièces de monnaie⁵³.

La cargaison

La faible quantité d'amphores de l'épave de Pakoštane rend très difficile la distinction entre chargement commercial et vases de stockage utilisés par l'équipage⁵⁴. Cependant, certains éléments confirment bien l'existence d'une cargaison sur ce navire: les fragments de branchages, retrouvés dans la maille des membrures, étaient probablement destinés à protéger le fond de carène ainsi qu'à être disposés entre les objets de la cargaison (fardage) (fig. 15)⁵⁵. La présence d'un plancher de cale ne s'oppose pas à cette interprétation.

L'étude de C. Huguët, couplée aux analyses de Cl. Capelli⁵⁶, indique que sur l'épave de Pakoštane les conteneurs d'origine africaine sont majoritaires: une Africaine II, une Tripolitaine II, deux amphores cylindriques de moyennes dimensions. Un lot de fragments n'a pas pu être attribué à une forme connue, mais ils appartiennent assurément à des amphores africaines. Une amphore d'origine sicilienne du type Agora M254 a pu également être individualisée. En revanche, un autre lot de fragments est constitué de cinq amphores indéterminées dont deux, caractérisées par une pâte très micacée, pourraient avoir une provenance égéo-anatolienne, adriatique ou bien tyrrhénienne (région toscane).

Le matériel de bord

La découverte d'amphores de très grandes dimensions (au minimum trois exemplaires), qu'on retrouve normalement en Tunisie conti-

mentale et qui ne sont pas encore attestées sur les épaves de Méditerranée⁵⁷, rend l'hypothèse de l'attribution de ces vases au stockage à bord très probable (fig. 16)⁵⁸.

Aux côtés de ces grands conteneurs, l'étude de la vaisselle de cuisine et l'observation de traces de suie a permis à C. Huguët d'avancer l'hypothèse que certains de ces vases ont été utilisés à bord pour la préparation des aliments. Nous avons ici un assortiment de 6 couvercles (4 en céramique culinaire africaine et 2 de céramique de Pantelleria) (fig. 17), 2 marmites (d'Afrique et de Pantelleria) et 1 plat à feu de Pantelleria.

La vaisselle fine est représentée par 4 individus (3 bols et 1 plat), mais deux autres fragments n'ont pas pu être attribués à des formes connues. En revanche, l'attribution d'un de ces bols au type Hayes 71A et du plat au type Hayes 59A nous permet de dater le naufrage entre le dernier quart du IV^e s. et le premier quart du V^e s. apr. J.-C.⁵⁹

Enfin, la seule lampe à huile d'origine africaine découverte dans cette zone nord de l'épave (carré F2) était probablement destinée à l'illumination à bord (fig. 18)⁶⁰ et le jeton en sigillée est un élément de jeu utilisé comme passe-temps (fig. 19).

Le foyer

Les fragments de matériaux de construction en terre cuite présentent des pâtes très diversifiées et plusieurs traces de feu. C. Huguët a pu compter cinq briques, dont une presque entièrement conservée (fig. 20), six tuiles (dont deux *tegulae* et un *imbrex*) et quatre éléments non identifiés.

Ces briques et les fragments de béton de tuileau peuvent sans doute être mis en relation

avec un foyer de bord solidement construit à l'intérieur du navire, comme cela est attesté sur d'autres épaves antiques⁶¹. Cette hypothèse est renforcée par la découverte dans la même zone de fragments de charbons et de branches portant des traces de feu. Sur l'épave byzantine *Yassa Ada I* (Turquie, VII^e s. apr. J.-C.), le foyer était constitué de briques et ses parois étaient construites en argile armée avec des barres métalliques⁶².

La question est un peu plus compliquée pour les tuiles car, sur la base de la restitution de la cabine de cette même épave *Yassi Ada I*, elles sont traditionnellement attribuées à la couverture de la cabine⁶³, bien que des réserves sur ce type de toiture, peu stable en cas de « coup de vent », aient été avancées⁶⁴. Sur l'épave de Pakoštane, la surface externe d'une *tegula*⁶⁵ portant des traces de feu, celle-ci pourrait avoir été utilisée pour la construction du foyer avec les briques. Malheureusement, les données dont nous disposons sont trop limitées pour résoudre cette question. Rappelons seulement qu'un foyer de *tegulae* et *imbrex* a été restitué pour l'épave *Cala Culip IV* (Espagne, 70-80 apr. J.-C.)⁶⁶.

Cambuse de bord

En conclusion, la plupart du mobilier de type hétérogène située dans la zone nord-est de l'épave de Pakoštane semble indiquer la localisation de la cambuse du navire.

Cependant, il n'est pas possible de préciser si celle-ci était placée à l'avant ou à l'arrière du bateau. Comme on le verra, l'étude des vestiges de la coque ne permet également pas de déterminer la localisation de la proue et de la poupe.

Les données, issues de l'étude d'autres épaves antiques de Méditerranée, ne nous aident guère. En effet, bien qu'il soit attesté que la cabine des navires antiques se trouvait le plus souvent à l'arrière, les exemples de sa localisation à l'avant ne sont pas une exception⁶⁷. Sur l'épave de Kyrenia (Chypre, IV^e s. av. J.-C.) la réserve d'eau pour l'équipage aurait été placée à l'avant tandis que le service de cuisine se trouvait à l'arrière⁶⁸. L'épave *Dramont D* (France, 40-50 apr. J.-C.) présentait une cabine à la poupe et une réserve à l'avant⁶⁹. Sur l'épave *Chrétienne C* (France, 175-150 av. J.-C.) la cuisine était placée à l'avant tandis que la cabine se trouvait à l'arrière⁷⁰. De même, sur l'épave *Cala Culip IV X*, Nieto situe le foyer à l'avant du bateau⁷¹. Enfin, S. Marlier a pu démontrer que sur les navires à *dolia*, la cambuse était située à la proue⁷².



Fig. 15: Les fragments de branchages (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008).



Fig. 17: Couverture à bord en amande (cliché L. Damelet, CNRS-CCJ, 2009).

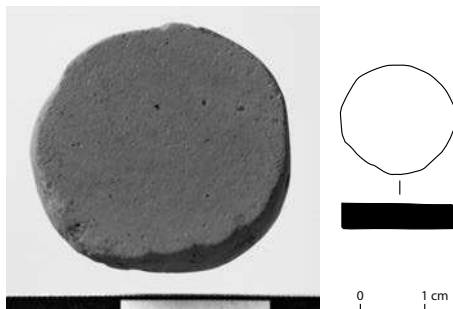


Fig. 19: Jeton en sigillée (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008, dessin G. Boetto, CNRS-CCJ).

LA COQUE

Méthodes d'enregistrement

L'ensemble des pièces constitutives de l'embarcation a été marqué pour permettre l'identification des vestiges de la coque, leur étude et relevé ainsi que pour faciliter les opérations de prélèvement⁷³.

En plus de la documentation réalisée *in situ*, nous avons prélevé, non pas une section de l'épave comme nous souhaitions le faire au départ, mais quelques éléments (la réparation RF117W ainsi que les vaigres en place C4E, C5E et C6E). Toutes les pièces qui n'étaient plus en place et qui menaçaient de disparaître ont également fait l'objet de prélèvements (notamment le fourcat, l'époutille St1, des fragments de vaigres, de bordés et de membrures) de même que les fragments



Fig. 16: Col d'amphore africaine de stockage (cliché L. Damelet, CNRS-CCJ, 2009).



Fig. 18: Fragment de lampe (cliché L. Damelet, CNRS-CCJ, 2009).

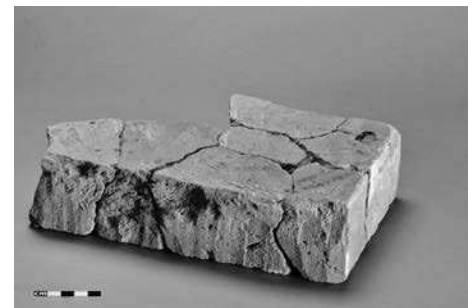


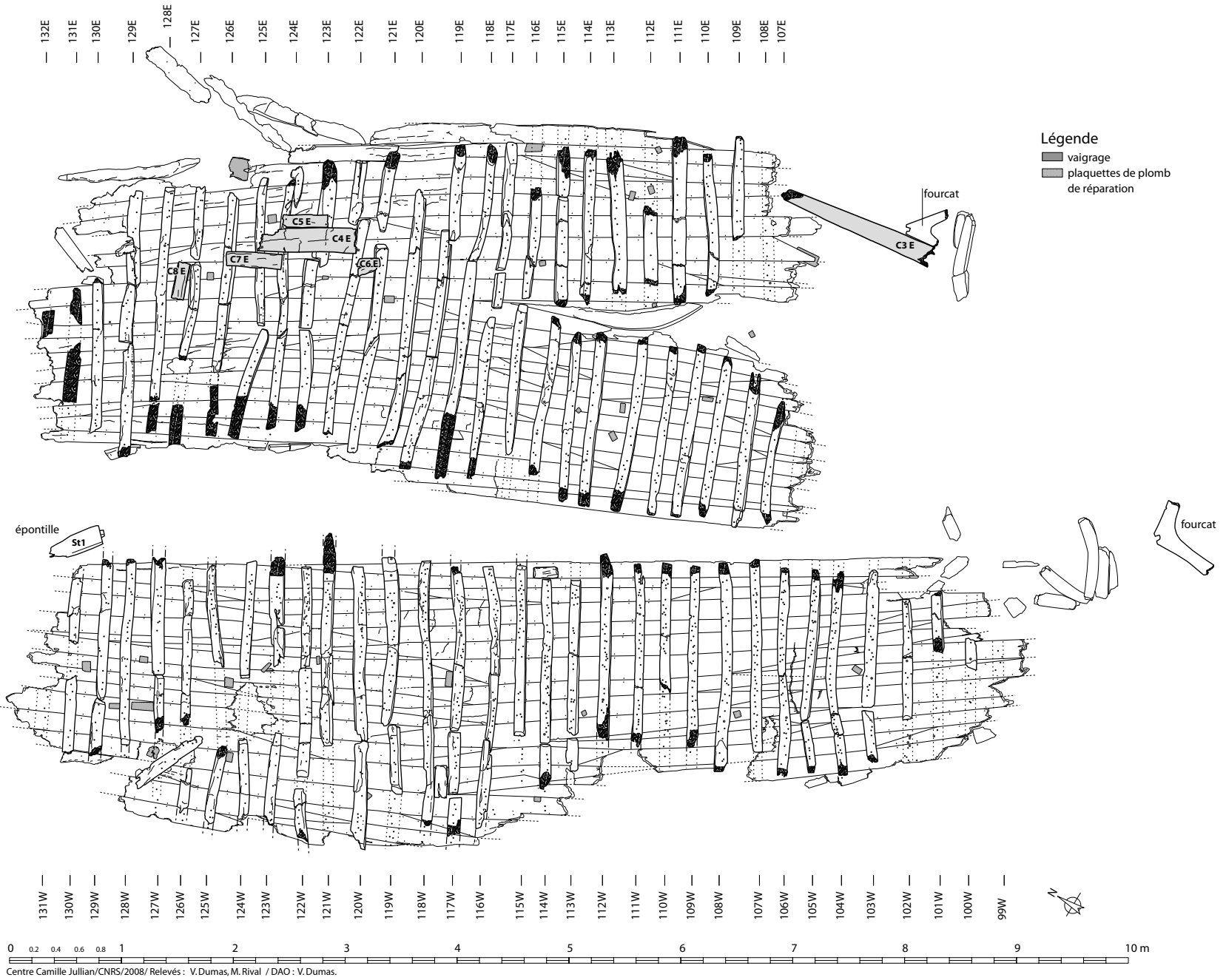
Fig. 20: Brique du foyer de bord (cliché L. Damelet, CNRS-CCJ, 2009).

d'éléments en bois indéterminés⁷⁴. Tous ces éléments ont fait l'objet d'observations minutieuses et, selon leur importance, d'un relevé à l'échelle⁷⁵. Trois petites sections de bordé, situées à l'endroit où se trouvaient les plaquettes de réparation en plomb L24, L25 et L29, ont également été prélevées. À l'issue des deux missions, tous les éléments étudiés à terre ont été, pour la plupart, remis en place sur l'épave à l'intérieur de sacs en plastique, avant la fermeture définitive du site⁷⁶.

En raison de la disparition de la quille, aucune coupe longitudinale n'a été réalisée sur l'épave. En revanche, un grand nombre de sections transversales (24 au total) a été effectué afin d'illustrer le profil des vestiges, les différents types de membrures et leurs assemblages avec le bordé (fig. 26).

En ce qui concerne le relevé planimétrique, nous avons procédé, en 2007, à la réalisation

Fig. 21 : Plan général des vestiges (relevés M. Rival, V. Dumas, DAO V. Dumas, CNRS-CCJ).



Centre Camille Jullian/CNRS/2008/ Relevés : V.Dumas, M. Rival / DAO : V.Dumas.

Ouest

Est

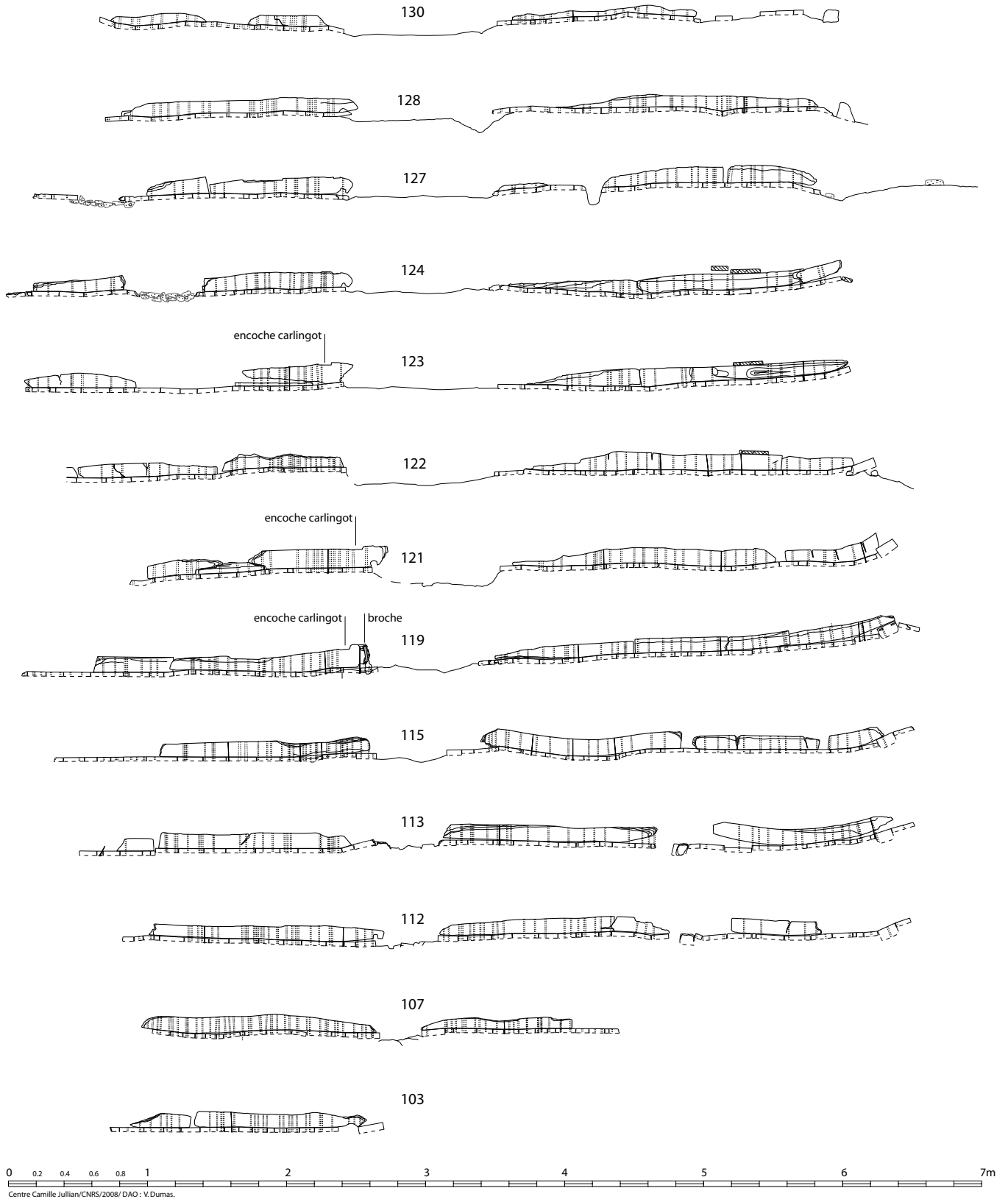


Fig. 22: Sections transversales au niveau des membrures (relevés collectifs, DAO V. Dumas, CNRS-CCJ).



Fig. 23: Vue de la zone sud-est avec le fourcat et le fragment de serre déplacés (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).



Fig. 24: Vue de la zone nord-est: on note les extrémités des membrures dégradées par les tarets (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008).

d'une planimétrie manuelle de la zone de l'épave dégagée utilisant, comme base de travail, le relevé réalisé en 2004 par la mission de l'Université de Zadar⁷⁷. Ce relevé, globalement correct en ce qui concerne, notamment, l'implantation générale des vestiges de l'épave et le rythme de la maille de la membrure, a été mis au net, corrigé et complété (fig. 27 et 28)⁷⁸. En 2008, la planimétrie a été effectuée a posteriori, directement sur ordinateur et à partir de la photogrammétrie digitale de l'épave et du redressement des images zénithales⁷⁹.

Enfin, tous les éléments structuraux identifiés sur l'épave ainsi que les éléments de bois prélevés, en place ou non, ont fait l'objet d'un prélèvement pour la détermination des essences de bois employées dans la construction du bateau⁸⁰.

Forme générale et état de conservation

Dégagée dans son intégralité entre les campagnes de fouille 2007 et 2008, la coque

de l'épave de Pakoštane a été conservée sur une longueur d'environ 11 m et une largeur maximale de 7 m. Elle présente une fracture centrale, orientée nord-ouest/sud-est, large de 30 cm – au sud – à 1 m – au nord – correspondant à l'emplacement de la quille non conservée. La partie de coque située à l'ouest de l'axe de quille mesure 9 m de longueur et 2,7 m de large, tandis que la section située à l'est est longue de 7 m et large de 3,5 m. Cette dernière partie est également fracturée (fig. 21).

L'épave, reposant en contact direct avec le fond rocheux, présente une forme complètement ouverte et aplatie. À l'origine, le navire devait cependant présenter un fond plat sans retour de galbord ou avec un retour de galbord peu prononcé. En revanche, une légère courbure a été repérée au niveau de la préceinte basse (fig. 22).

La partie de coque conservée ne présente donc aucun élément relevant de la charpente axiale (quille, étrave ou étambot), en raison de leur disparition, mais comporte un bordé constitué de 109 bordages, dont 56 bordages dans la partie ouest correspondant à 14 virures et 53 bordages dans la partie est correspondant à 20 virures. La virure 19 correspond à une préceinte basse⁸¹. La charpente transversale est composée de 33 membrures fragmentées en plusieurs éléments séparés (au total 99)⁸². Deux fourcats déplacés avaient été repérés en 2004, posés à plat à quelques mètres au sud des vestiges de l'épave (fig. 21): le plus grand de ces deux fourcats, qui était placé sur l'axe de la quille, n'a pas été retrouvé lors de la mission 2007⁸³ tandis que le deuxième était encore en place (fig. 23). Les fourcats étant par définition des membrures qui ferment les extrémités des navires, la zone sud correspond donc à une des extrémités du bateau.

Quelques éléments de serres et de vaigres encore en place ont par ailleurs été découverts dans la partie est de la coque, tandis que, dans la partie ouest, seules des traces visibles sur le dos des membrures attestent de leur présence. La partie inférieure d'une épontille, non en place, a également été mise au jour entre les deux parties conservées de la coque, dans la zone nord du site (fig. 21).

Concernant finalement l'état de conservation général du bois, les extrémités des membrures sont apparues dans un état de dégradation avancé en raison de l'action des tarets (*Teredo navalis*) (fig. 24). Les bordages sont également abîmés et, pour donner un exemple, l'extrémité nord du bordage P45E est soulevée du fond et pliée selon un angle de 45°. Nous avons également observé plusieurs cassures dans le bordé, notamment du côté ouest, entre les membrures et les allonges au niveau de F123W et F125W (fig. 25), et du côté est, à l'extrémité de F127E.



Fig. 25: Cassure dans le bordé entre les membrures et les allonges au niveau de F123W et F125W (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008).



Fig. 27: Mise en place de l'axe longitudinal gradué le long du galbord ouest P1W (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).

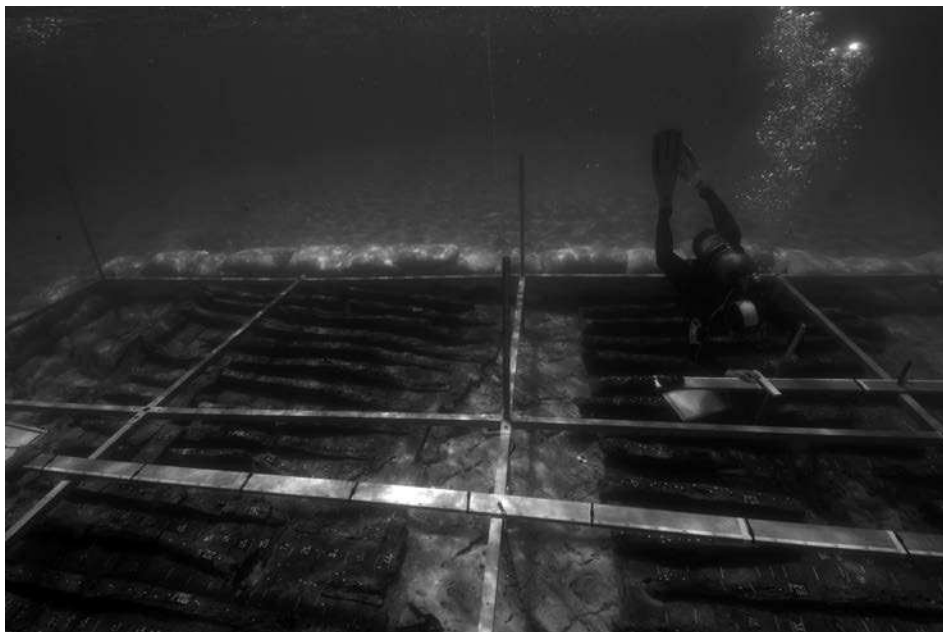


Fig. 26: Dessin des sections des membrures (cliché V. Frka, 2008).

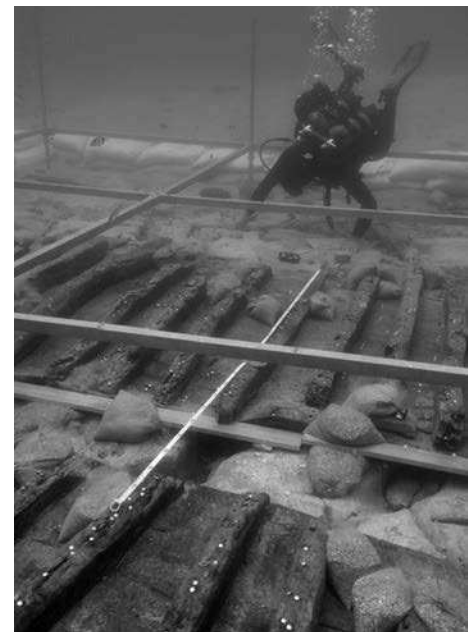


Fig. 28: Réalisation du plan de bordé par cotes cumulées (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).

L'axe longitudinal du navire

Bien que la quille n'ait pas été conservée sur cette épave de Pakoštane, la mesure du pied des fourcats et celle de la distance entre l'axe central du couple d'anguillers sur le fragment de varangue PK07/F2 nous permettent de restituer approximativement la largeur au droit de la face supérieure de cette pièce axiale. Malheureusement, les mesures ayant été réalisées sur des éléments non en place, l'intérêt de cette information reste très limité. Quoi qu'il

en soit, la largeur de la quille à l'extrémité sud était vraisemblablement comprise entre 7,5 et 10 cm, tandis que, vers le centre du bateau, elle atteignait les 13 cm ou plus (fig. 36).

Le bordé et son système d'assemblage

Le bordé est de type simple, assemblé à franc-bord (fig. 29). Les planches sont disposées bord à bord, maintenues entre elles au

moyen de languettes chevillées dans des mortaises ménagées à cet effet et régulièrement entaillées dans le bord de chaque bordage (fig. 30).

Les galbords (P1W et P1E) ont une section simple, de forme quadrangulaire de 3,65 cm d'épaisseur en moyenne (de 3,1 à 4,4 cm), sans biseau (fig. 22). Le galbord ouest (P1W) présente une largeur maximale de 17 cm du côté sud, tandis que l'autre extrémité, au nord, se rétrécit (3 cm) pour se terminer en un joint perdu (fig. 29 et 31). Le galbord est (P1E), en

Fig. 29 : Plan du bordé (relevés M. Rival, V. Dumas, DAO V. Dumas, CNRS-CCJ).

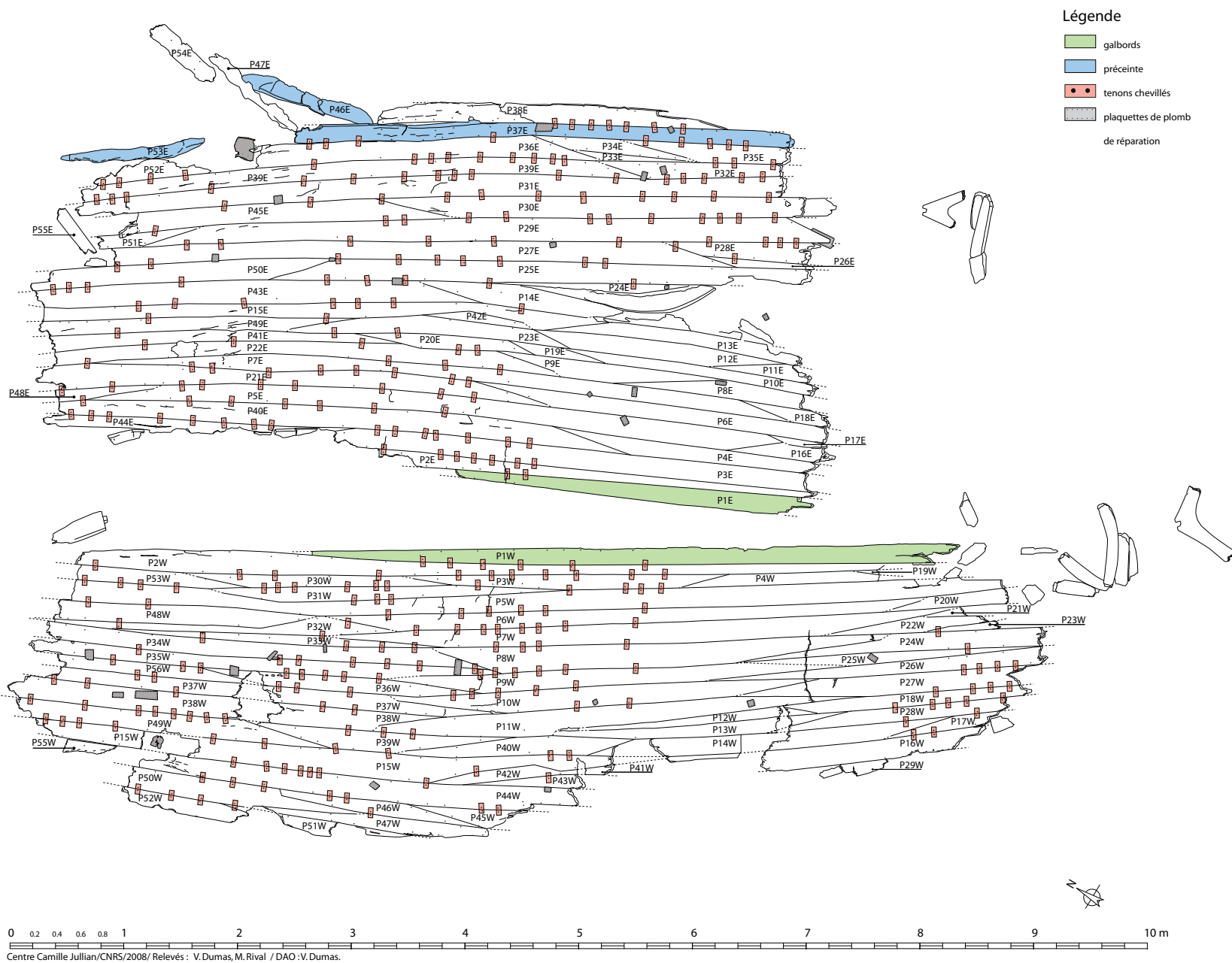




Fig. 30 : Vue des assemblages internes du bordé sur le fragment déplacé PK07/P11 (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).



Fig. 32 : Vue depuis le nord-est de la préceinte P37E et du bordage attendant P38E (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).



Fig. 31 : Vue depuis le sud-est du galbord P1W (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).



Fig. 33 : La plaque de réparation L27 vue depuis le nord-est (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008).

revanche, s'est fracturé le long de la surface de contact avec la quille. La largeur maximale conservée est de 19 cm. Il devait se terminer également en joint perdu en direction du Nord (fig. 29). Les autres bordages présentent une épaisseur moyenne est de 2,8 cm (de 2,1 cm à 3,1 cm) tandis que leurs largeurs maximales vont de 6 cm (P33E) à 22 cm (P8W, P11W et P29E).

Le long du périmètre oriental de la coque, une préceinte basse, pour laquelle nous avons identifié trois fragments contigus P37E, P46E et P53E, a été repérée (fig. 29). L'élément P37E est large de 15 cm et épais de 8,3 cm (fig. 32). L'élément P46E, déplacé et retourné sur sa face externe, est conservé sur 1,28 m de longueur. Ce fragment de préceinte (larg. 13,5 cm ; ép. 10,2 cm) présente, sur sa face externe, des tâches noircies dues à la dégradation d'un placage de réparation en plomb. Ce placage devait être fixé par des clous en cuivre, dont les deux têtes encore visibles sont très espacées (77,5 cm). La plaque en plomb L27, retrouvée au nord du bordage P36E à proximité du fragment de préceinte P46E, devait vraisemblablement appartenir à une réparation en plomb de cette pièce de renfort longitudinal (fig. 33)⁸⁴.

Enfin, en ce qui concerne les traces d'outillage, l'ensemble des planches de bordage portent des traces de scie.

L'ensemble du bordé est uni par des assemblages à «tenons et mortaises». Les tenons sont majoritairement verrouillés par des

chevilles, mais nous avons observé quatre tenons non chevillés sur le bord du galbord P1W (côté quille), au niveau des membrures F118W et F123W. Il s'agit vraisemblablement ici d'un oubli de la part des charpentiers. Les assemblages sont disposés, d'un bord à l'autre des planches, en quinconce selon un agencement destiné à ne pas affaiblir le bois des bordages (fig. 29 et 30).

Concernant les galbords, la largeur moyenne des mortaises – au niveau des bords en contact avec la quille – est de 8,26 cm (de 7 cm à 9,5 cm), leur épaisseur va de 0,5 cm à 0,8 cm et leur profondeur mesure entre 5 cm et 5,5 cm. Ces mortaises sont espacées, en moyenne, de 6,8 cm (fig. 31). Le seul tenon de galbord que nous ayons pu mesurer est large de 4,5 cm et épais de 0,5 cm. Les petites chevilles de blocage sont régulièrement espacées, tous les 15,25 cm en moyenne.

Les dimensions des assemblages provenant des autres bordages ont seulement pu être mesurées sur les quelques fragments déplacés et prélevés (fig. 30). En moyenne, les mortaises mesurent alors 5,9 cm de large (de 4,5 cm à 6,4 cm) tandis que les tenons mesurent 4,7 cm de large pour une épaisseur de 0,4 cm. Les mortaises sont espacées, en moyenne, de 8,7 cm (de 8,1 cm à 10,2 cm) tandis que l'écartement moyen entre les chevilles de blocage, mesuré directement *in situ*, est de 16 cm (entre 10 et 24,5 cm)⁸⁵. L'écart entre assemblages est donc régulier et le réseau homogène.

Si on applique à ces valeurs le rapport entre l'écartement moyen des mortaises et la largeur moyenne de celles-ci, nous obtenons, pour le galbord, un rapport inférieur à 1 (0,823) contre un rapport supérieur à 1 (1,47) pour le reste du bordé⁸⁶. Le réseau de mortaisage, sur le galbord, est donc pratiquement deux fois plus dense que celui observé sur le reste du bordé⁸⁷. Ce dernier est néanmoins relativement serré puisque son rapport est compris entre 1 et 2⁸⁸.

En ce qui concerne les chevilles de blocage des tenons, celles-ci ont une forme tronconique et une section prismatique⁸⁹. La mesure systématique des diamètres interne et externe n'a pas pu être réalisée car nous n'avons pas procédé à des démontages systématiques du bordé⁹⁰. Toutefois, les diamètres internes, là où ils ont pu être relevés, mesurent, en moyenne, 0,92 cm (de 0,7 à 1,2 cm). En observant les chevilles prélevées, nous avons également noté un étranglement dû au frottement contre les tenons⁹¹.

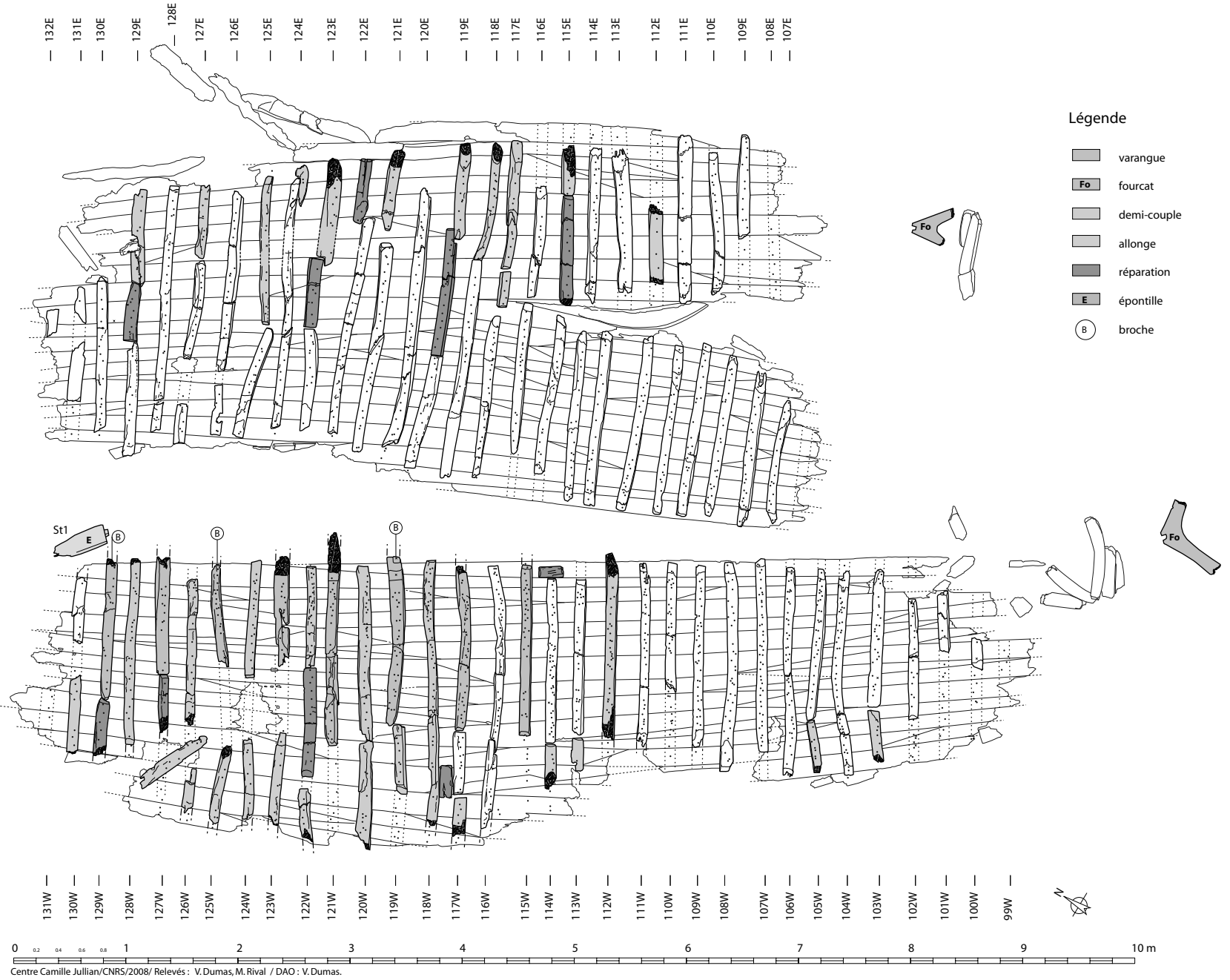
Concernant les écarts longitudinaux, obliques ou «en sifflet», des virures du bordé, aucune observation n'a été effectuée nous permettant de savoir si les tenons étaient placés de façon perpendiculaire ou oblique par rapport à ces joints et si ces languettes étaient majoritairement chevillées.

Enfin, des clous en fer horizontaux servaient à fermer les pointes des virures. Cette caractéristique a été observée sur le bordage P38E où trois clous métalliques horizontaux ont été utilisés pour bloquer l'extrémité en sifflet de cette planche sur le fragment de préceinte P37E (fig. 32). Rien n'empêche de penser que d'autres clous métalliques aient pu être utilisés sur les extrémités des autres virures. Là encore, nous regrettons le manque d'observations plus précises en raison de l'absence de démontages.

La charpente transversale et ses assemblages avec la quille et le bordé

La charpente transversale est composée de 33 membrures (de F99W à F132E)⁹², fractionnées en plusieurs éléments séparés (99), presque tous cassés au niveau des extrémités (fig. 34). Parmi ces pièces, nous avons pu individualiser une alternance de 8 varangues⁹³ et de 7 demi-couples⁹⁴ dans la zone ouest de l'épave. Lors de l'étude *in situ*, nous avons cru également identifier, sur toute la surface conservée de la coque, 24 allonges et 10 réparations. Cependant, ces identifications nous semblent maintenant artificielles car aucun élément objectif ne permet de distinguer les réparations, qui devaient pourtant être nombreuses, des éléments d'origine⁹⁵. Quoiqu'il en soit, les divers éléments composant une membrure sont généralement placés bout à

Fig. 34 : Plan de la membrure (relevés M. Rival, V. Dumas, DAO V. Dumas, CNRS-CCJ).



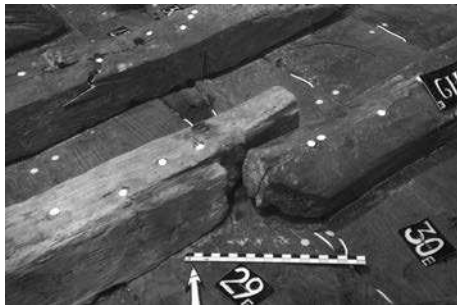


Fig. 35: Vue depuis le nord-ouest du système d'encastrement entre éléments de la membrure F119E (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008).

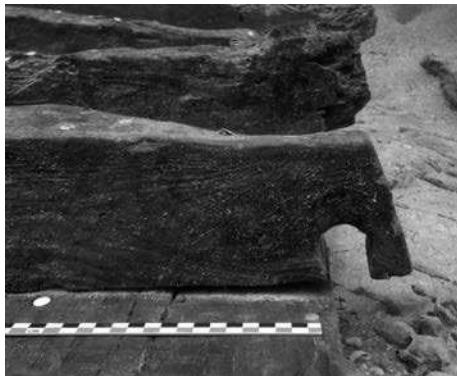


Fig. 37: Vue depuis le sud-est de l'extrémité du demi-couple F112W (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).

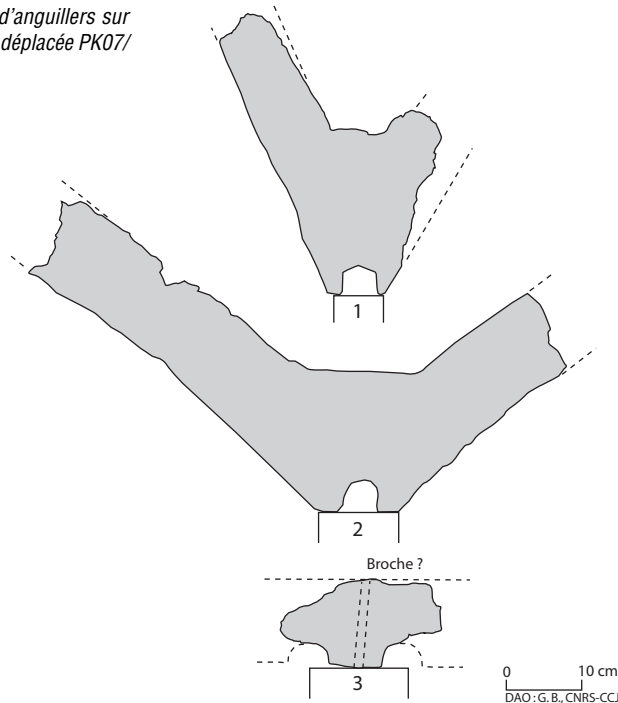
bout à une distance de quelques centimètres (de 1 cm à 5 cm). Parfois l'agencement des membrures peut présenter des particularités: les extrémités des pièces contiguës sont ainsi décalées les unes par rapport aux autres ou bien elles sont entaillées de façon à créer des encastresments (fig. 35). Enfin, rappelons que deux fourcats, non en place, proviennent de la zone sud de l'épave (fig. 23 et 34).

La section des membrures est quadrangulaire avec, parfois, les angles supérieurs arrondis. Leur largeur est en moyenne de 9,4 cm (de 7 cm à 14 cm) et leur hauteur de 9,8 cm (de 5 cm à 14 cm) (fig. 22). Des traces de scie et d'herminette ont été repérées sur les faces latérales de presque tous ces éléments transversaux.

La maille, c'est-à-dire l'espace entre les membrures, mesure en moyenne 17,3 cm (de 10 cm à 23 cm) (fig. 34). Cet écartement est relativement serré car il reste inférieur à la largeur de deux membrures comme le révèle le rapport (1,84) entre la largeur moyenne des membrures (9,4 cm) et leur écartement moyen (17,3 cm).

Sur les membrures et sur les fourcats, des anguillers de forme rectangulaire (membrures: larg. 4/5 cm; haut. 2/3,5 cm; fourcats: larg. 5 cm; haut. 4 cm) permettaient la circulation des eaux de sentine⁹⁶. Dans la partie centrale de la coque, sur les varangues

Fig. 36: Les arrangements des trous d'anguillers sur les fourcats et le fragment de varangue déplacée PK07/F2 (DAO G. Boetto, CNRS-CCJ).



ou sur les demi-couples, les anguillers sont percés de part et d'autre de la quille (fig. 36, 3 et 37). Sur les fourcats, en revanche, l'anguiller est unique et situé sur l'axe de la quille (fig. 36, 1-2).

Certaines varangues⁹⁷ étaient assemblées à la quille au moyen de broches en fer (fig. 34). Ce type d'assemblage a pu être observé en détail sur la varangue F119W. La broche (diam. 1,9 cm), enfoncée depuis la face inférieure de la quille, était bloquée sur la face supérieure de la varangue au moyen d'un écrou, logé dans une encoche quadrangulaire (côté 4,7 cm; prof. 1 cm) (fig. 38 et 39) selon un aménagement attesté, par exemple, sur l'épave de Monaco (fin II^e – milieu III^e s. apr. J.-C.)⁹⁸. Le fragment de varangue déplacée PK07/F2 porte lui aussi, entre les deux anguillers, la trace d'un assemblage (diam. 1,7 cm) avec la quille (fig. 36, 3)⁹⁹.

Enfin, les membrures sont assemblées au bordé au moyen de gournables (diam. moyen interne 1,3 cm; de 0,7 à 1,9 cm) et de clous, en cuivre ou en fer¹⁰⁰, enfoncés à partir de la face externe de la coque. La pointe n'était pas rabattue sur la face supérieure des membrures. Notons que le nombre de gournables est parfois très élevé (jusqu'à une quarantaine pour des membrures longues de plus de 2 m): cette caractéristique est sûrement liée à des actions de réparation (fig. 22).

La charpente longitudinale interne

La charpente longitudinale interne de l'épave se compose de quelques fragments de serres et de vaigres mobiles. Compte tenu de la disparition de la quille, aucune trace d'une carlingue ou d'un massif d'emplanture de mât n'a été retrouvée.

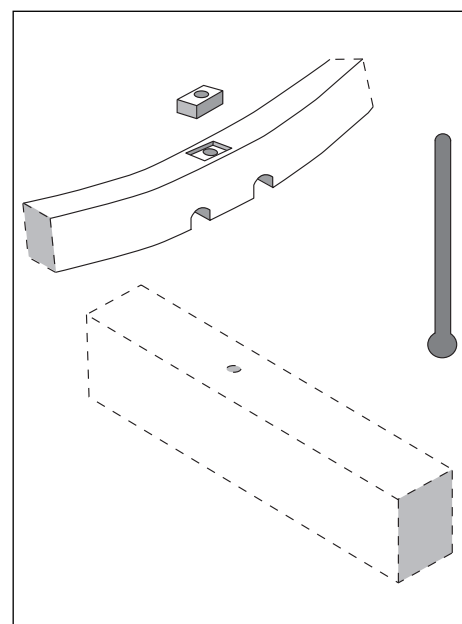


Fig. 38: Schéma du système de brochage entre les varangues et la quille (dessin G. Boetto, CNRS-CCJ).



Fig. 39: Vue de l'extrémité de la varangue F119W avec l'aménagement quadrangulaire servant à loger un écrou plat pour le blocage de la broche (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).

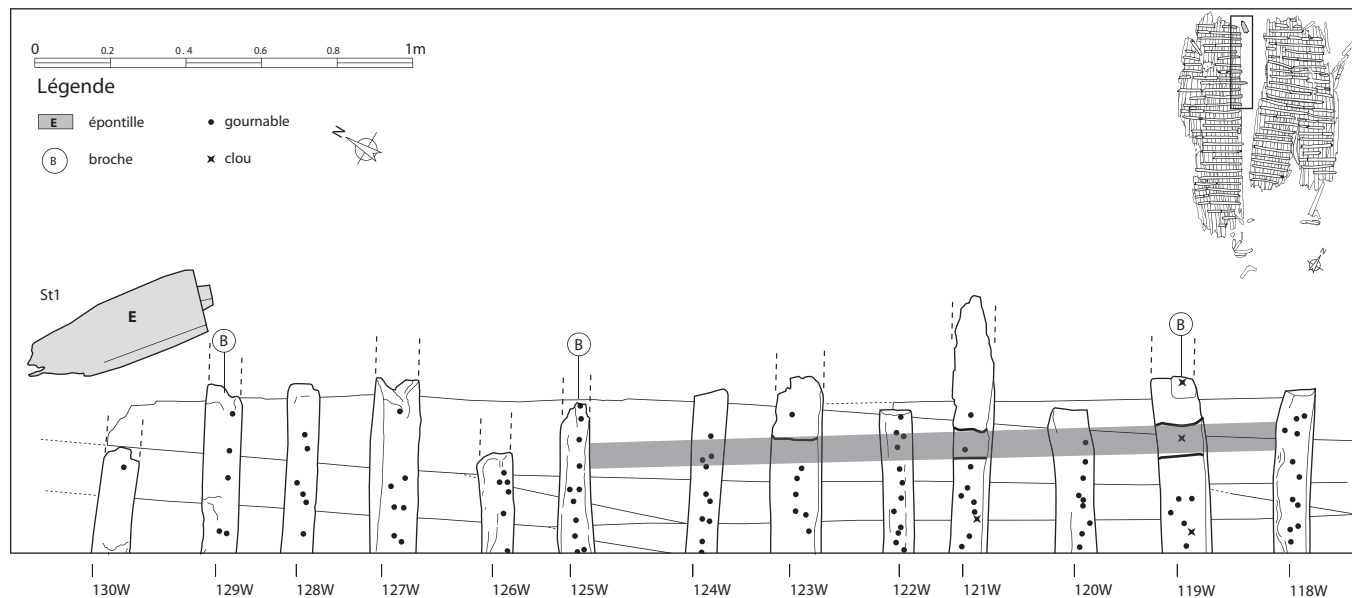


Fig. 40: Les encoches logeant le carlingot ouest non conservé (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007; DAO V. Dumas, CNRS-CCJ).



Cependant, sur certaines membrures de la partie ouest de l'épave¹⁰¹, nous avons pu observer des encoches larges de 7,5 à 8,5 cm et profondes de 1 à 2 cm. Ces entailles sont placées le long du même axe, au niveau de la jonction entre le galbord (P1W) et le ribord (P2W), sur F119W, ou bien davantage déplacées vers le ribord, sur F121W et F123W (fig. 34 et 40). Nous pouvons alors émettre l'hypothèse que ces encoches logeaient un carlingot qui devait avoir son pendant de l'autre côté de la quille. Sur ces carlingots pouvait être encastré un massif d'implanture, comme sur l'épave *Bourse* (Marseille, Bouches-du-Rhône, 190-220)¹⁰² ou *Laurons 2* (Martigues, Bouches-du-Rhône, fin du 11^e s. apr. J.-C.)¹⁰³.

Lors de la fouille, seuls de maigres restes du vaigrage ont pu être mis au jour (fig. 21). Néanmoins, le bateau devait être presque entièrement recouvert par ce vaigrage comme semblent l'attester les nombreuses traces foncées et les encoches observées sur le dos de plusieurs membrures (fig. 41)¹⁰⁴.

Six fragments de serres ont été identifiés, mais seulement deux ont été découverts encore *in situ* (C4E et C5E) sur le dos des membrures F122E et F125E (fig. 42 et tab. 1). Le fragment C3E gisait, posé à plat, entre l'extrémité sud de l'épave et le fourcat (fig. 21 et 23). Deux autres fragments (PK08/C5 et

PK08/C57) proviennent également de la partie est de l'épave (carrés G3 et F3). Un seul fragment de serre (C5W) a été découvert dans la partie ouest, mais sa position exacte n'est pas connue. Ces fragments présentent des largeurs allant de 11 cm (C5E et PK08/C5) à 21 cm (C4E) pour une épaisseur moyenne de 3 cm. Tous ces fragments de serres présentent des trous de clous ou bien des traces de concrétions métalliques, vestiges des assemblages qui les fixaient aux membrures.

Sept éléments ont été identifiés à un plancher mobile (tab. 1): il s'agit de planches de petites dimensions (de 17,6 à 70 cm) positionnées entre les serres, sans connexion avec la membrure (fig. 42). Parfois, les bords sont biseautés afin de mieux aménager ces pièces dans les espaces entre les vaigrages fixes (C4W et PK08/C61). Dans la partie est de l'épave, deux planches conservaient leur position d'origine (C6E et C7E) tandis qu'une troisième (C8E) avait glissée dans la maille entre F127E et F128E (fig. 21). Un autre élément de plancher (PK08/C61) a été récupéré à côté de C6E, mais sa position exacte n'a pas été enregistrée. Trois autres planches non en place ont été découvertes dans la zone ouest (PK07/C1, PK07/C2 et C4W). Ces éléments sont larges de 7,4 cm (C6E) à 13,2 cm (C7E) pour une épaisseur moyenne de 2,3 cm.



Fig. 41: Vue des traces foncées sur le dos d'une membrure (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).

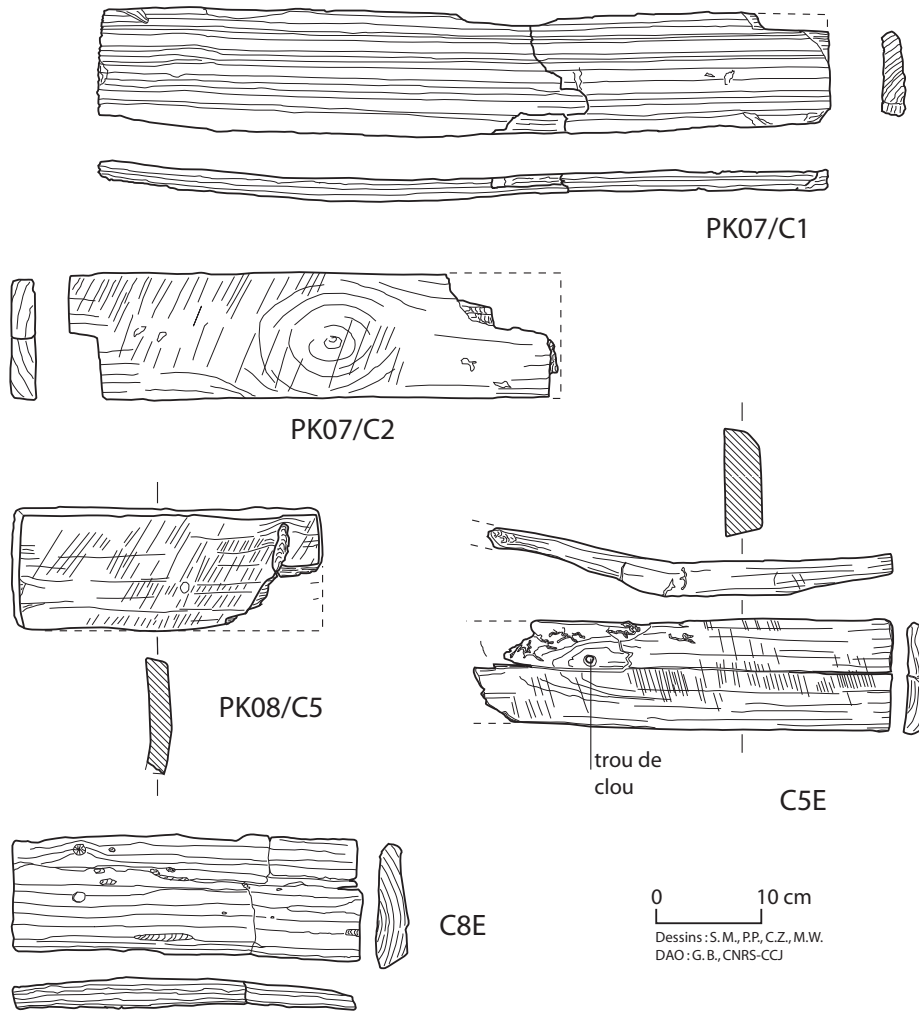


Fig. 42: Les fragments de vaigres mobiles et de serres (DAO G. Boetto, CNRS-CCJ).

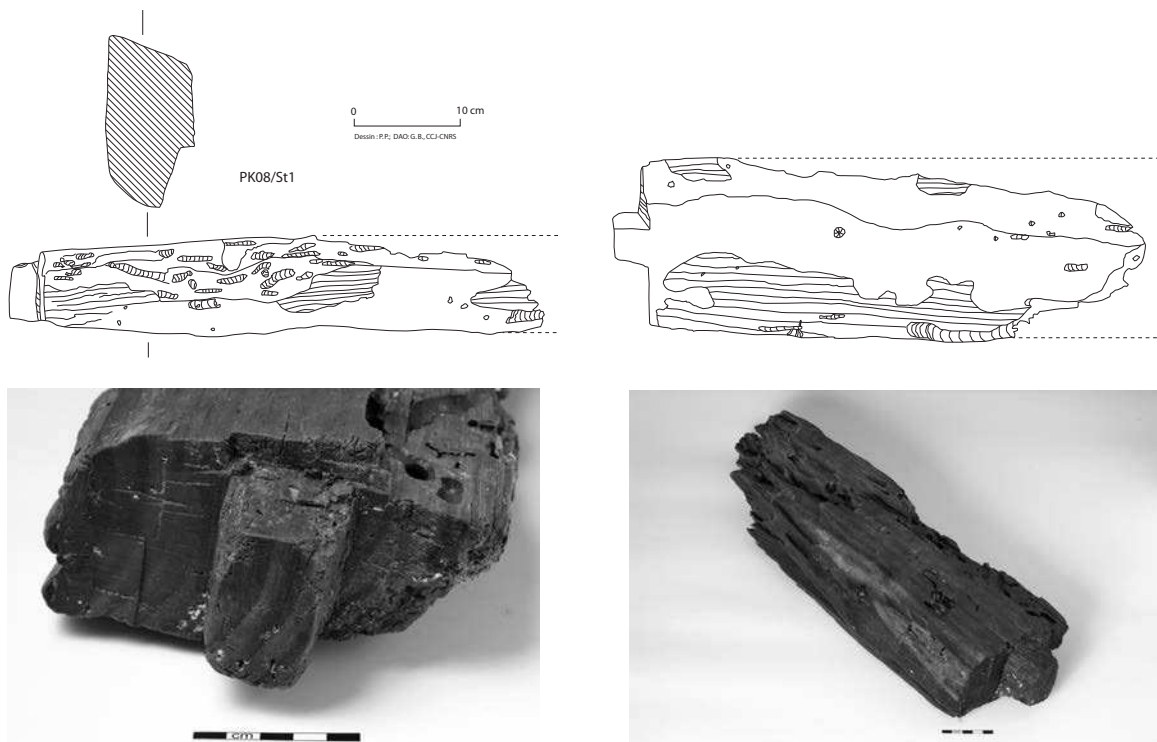


Fig. 43: Le fragment d'épontille St1 (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008; DAO G. Boetto, CNRS-CCJ).

Tableau 1 : Tableau illustrant les mesures (en cm) et les caractéristiques principales des fragments de serres et de plancher mobile.

	n° pièce	année	long. cons.	larg. max	ép.	position	assemblages	observations
SERRES	C3E	2008	140	19	2,9	zone est ; extrémité sud	2 couples de trous de clous	traces de poix int./ext.
	C4E	2008	88,2	21	2,8	zone est	couples de trous de clous	
	C5E	2008	39,5	11	2/3,5	zone est	trou de clou	
	C5W	2007	89	16	2,5	zone ouest ; position inconnue	clous	
	PK08/05	2008	28,4	11	1,8	F3 ; zone est ; entre F120E et F121E	trou de clou	
	PK08/57	2008	19	11,6	4,8	G3	1 clou concrétionné	
PLANCHER MOBILE	PK07/C1	2007	69,5	12	2	zone ouest ; position précise inconnue		
	PK07/C2	2007	46	11,5	2,5	zone ouest ; position précise inconnue	trou de clou	
	C4W	2007	27,3	11	3	zone ouest ; entre F122W et F123W		bords biseautés
	C6E	2008	19,4	7,4	2,8	zone est		en 3 fragments
	C7E	2008	48,6	13,2	2,7	zone est		
	C8E	2008	32,8	10,7	2,5	zone est		en 2 fragments
	PK08/61	2008	17,6	9,5		F3, en proximité de C6E		bords longs biseautés

L'épontille

Située au nord de l'épave, entre les deux parties est et ouest de la coque, une pièce de bois, identifiée comme un fragment de base d'une épontille (St1) a été mise au jour en 2008 (fig. 21). Cette pièce, de section quadrangulaire de 14 cm sur 7 cm, a été conservée sur une longueur de 47 cm. Elle présente, sur une de ses extrémités, un tenon de 3,5 cm de hauteur pour une largeur de 5 cm et une épaisseur de 3 cm. Ce tenon était sans doute destiné à être enfoncé dans une mortaise ménagée dans le dos de la carlingue ou d'une membrure, la fonction des épontilles – pièces de construction verticales – étant de soutenir les barrots de pont (fig. 43).

La protection de la coque

La surface interne de la coque était protégée par une couche de poix. La présence de poix a également été repérée à l'extérieur de la coque, par exemple sur le fragment de préceinte P37E et sur les fragments de bordé déplacés.

Les réparations

L'étude analytique de la coque nous a permis d'identifier un grand nombre de réparations antiques au niveau du bordé. Elles sont effectuées par le biais de tenons de réparation et de plaques et plaquettes de plomb clouées sur la face interne ou externe de la coque.

Plusieurs indices (l'agencement des membrures, le grand nombre de gournables de liaison avec le bordé, l'hétérogénéité des espèces de bois) nous permettent d'affirmer que plusieurs membrures ont été également remplacées. Certaines de ces réparations peuvent présenter des dimensions très réduites, comme l'élément placé longitudinalement à l'extrémité de la membrure F114W, au niveau du galbord P1W (fig. 44) et la pièce insérée dans la maille entre les membrures F117W et F118W (fig. 34).

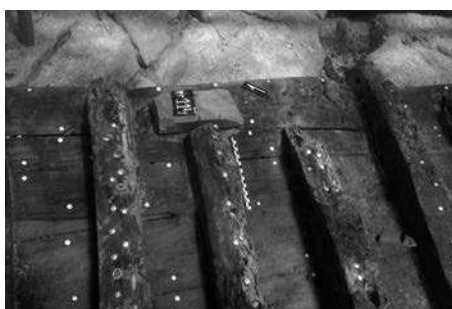


Fig. 44 : Vue depuis le sud-ouest de la réparation RF114W (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007).

Les tenons de réparation

Des tenons de réparations ont été observés sur des fragments de bordages déplacés¹⁰⁵. Les tenons ont été enfoncés depuis la face externe du bateau, ce qui explique par ailleurs que nous n'ayons pas trouvé trace de ce type d'assemblage à l'intérieur de la coque. Les tenons de réparation ont été chassés dans l'épaisseur du bordage réparé, à partir d'une lumière quadrangulaire ouverte sur la face externe du bordage. Conservés sur 6/9 cm de longueur, ces tenons de réparations mesurent, en moyenne, 4,8 cm de largeur et 0,75 cm d'épaisseur (fig. 45).

Les réparations en plomb

Seize plaques et plaquettes en plomb, ou traces de ces plaquettes, ont été repérées sur les faces internes et externes des deux parties de coque conservées (parties est et ouest), pour un total de deux plaques et 28 plaquettes *in situ* (tab. 2).

La plaque L17, de forme rectangulaire (long. 25 cm ; larg. 13 cm), a été découverte dans la zone sud-est de la coque (fig. 21, 23 et 46), sous le bordage P28E. En revanche, la plaque L27 a été découverte dans la zone nord-est de l'épave, à proximité du fragment de préceinte P46E (fig. 21, 33 et 46). Cette dernière présente une forme en U (long. 17 cm ; larg. 15,5 cm ; haut. 6,5 cm) afin de s'adapter à la préceinte¹⁰⁶. Ces deux plaques étaient fixées

au bordé au moyen de petits clous enfoncés le long du périmètre.

Les plaquettes, de dimensions plus limitées par rapport aux plaques de réparation, présentent une forme quadrangulaire ou rectangulaire. Elles sont longues de 5 cm (L7 et L10) à 18,5 cm (L25) et larges de 3 cm (L4, L18) à 11 cm (L2) et sont fixées au bordé au moyen de petits clous (haut. de 1 à 3 cm ; diam. tête 0,5/0,7 cm) (fig. 46). Il faut noter que plusieurs de ces plaquettes¹⁰⁷ sont placées sous un élément de membrure (tab. 2) : cela signifie qu'elles ont été mises en place avant ces pièces de la charpente. Il s'agit donc soit d'une action de renforcement/réparation réalisée avant la mise en place de la membrure durant la construction même du bateau, soit il s'agit de réparations postérieures et il faut alors penser que les couples ont été substitués ultérieurement à la construction.

Trente-trois autres plaquettes déplacées ont été récupérées, entre 2007 et 2008, portant le nombre total des plaquettes identifiées sur cette épave à soixante et un (tab. 3). Trois de ces éléments présentent sur leur surface un motif en croisillon, tracé à la pointe sèche (fig. 47). En particulier, la plaquette munie de croisillons PK07/5 ne portait aucune trace de clous. Nous pouvons ainsi émettre l'hypothèse que cette plaquette n'a jamais été mise en place, mais qu'elle faisait partie de la dotation du charpentier pour être utilisée à bord en cas de nécessité.

Afin de mieux étudier ce type de réparation, les plaquettes L24, L25 et L29 et les bordages attenants ont été prélevés en 2008 et ont ainsi fait l'objet d'un examen minutieux. Ces réparations, assimilables à de petits pansements, ont été apposées sur le bordé afin d'obtenir des voies d'eau dans la coque. Ces voies d'eau sont en revanche liées à des problèmes ou des risques différents selon la localisation de la réparation. Ainsi les plaquettes L24 et L25 ont été apposées sur un nœud du bois, tandis que L29 a été placée pour boucher une fente.

En conclusion, nous avons pu observer, *in situ* sur le bordé, la présence de nœuds qui n'étaient pas recouverts par des plaquettes.

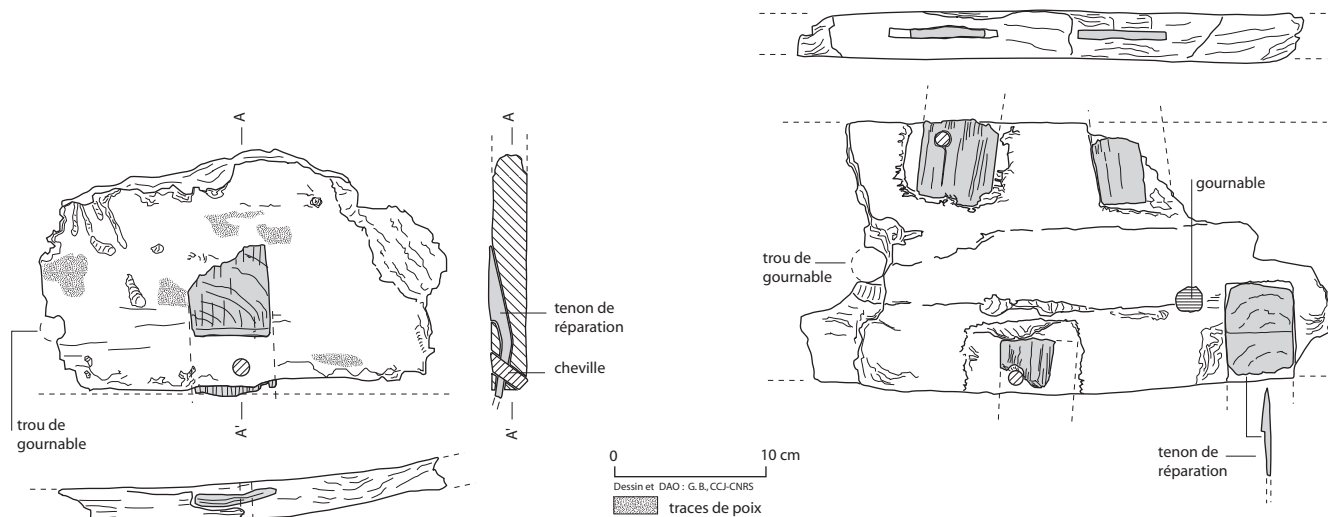


Fig. 45 : Les fragments déplacés de bordages portant des tenons de réparation (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007 ; DAO G. Boetto, CNRS-CCJ).

Tableau 2 : Tableau illustrant les mesures (en cm) et les caractéristiques principales des plaquettes de plomb de réparation découvertes in situ.

	n° pièce	position		dimensions		crous		forme		observations
		bordages	membrures	long.	larg.	nn.	diam.	rect.	quad.	
ZONE OUEST	L1	P25W	F103W/F104W	13	6			X		
	L2	P11W	F107W/F108W	11	11				X	
	L3	P34W/P35W	F117W/F118W	14	5,5			X		
	L4	P33W/P34W	F121W/F122W	7	3 (?)	3		X		
	L8	P10W	F112W/F113W	7	6	9	0,7		X	
	L16	P44W	Fu114W/F11W	7	4			X		sous F114W
	L20	P44W	sous F120W						X	angle N sous F120W
	L21	P34W/P35W	F123W/F124W					X		
	L23	P35W/P56W	F129W/F130W	8	7,4	4			X	
	L24	P15W	F124W/F125W	7,2	6,5	2			X	prélèvement ; apposé sur nœud (Ø 3,2 cm)
	L25	P38W	RF127W/F128W	19	6			X		prélèvement
	L26	P38W	F128W/RF129W	10,6	4,5	2		X		apposé sur nœud (Ø 2,1 cm); poix
L28	P36W/P35W	F124W/F125W	8	7,2				X		
L29	P35W/P34W	F127W/F128W	9,5	5,5	7		X		prélèvement	
ZONE EST	L5	P7E	F112E/F113E	8	5	11		X		
	L6	P5E/P6E	F112E/F113E	9	6	9	0,5	X		
	L7	P24E	sous Fu112E	5	3,5	1			X	trace; sous Fu112E
	L9	P7E/P6E	F113E/F114E			3	0,8		X	trace sur le bordé
	L10	P37E/P38E	F111EE/Fu112E	5	5				X	trace; en partie sous Fu112E
	L11	P32E	sous Fu112E	9	8	6			X	sous Fu112E
	L12	P32E/P31E/P39E	Fu112E/F113E	8	6			X		
	L13	P37E	F116E/F117E	15	8	2		X		trace; sous F116EE
	L14	P27E	RF115E/F116EE						X	
	L15	P8E/P9E	F109E/F110E	11	5			X		trace sur le bordé
	L18	P27E/P25E/P50E	RF123E/F122E	6,5	3,7	2		X		trace sur le bordé
	L19	P25E/P43E	F120E/F121E	7,5	5,5	3		X		très corrodé
	L22	P31E/P45E	F124E/F125E	8	7,6	6			X	
L30	P27E/P50E	F126E/F127E	7,5	6				X	trace sur le bordé	

Tableau 3 : Tableau illustrant les mesures (en cm) et les caractéristiques principales des plaquettes de plomb de réparation déplacées.

n° pièce	position	dimensions			clous/trous		forme		observations
	carré	long.	larg.	ép.	nn.	diam.	rect.	quad.	
L18bis		5	4		4			X	au sud entre les deux fragments de coque de la partie est
PK07/01	D5	8,4	6,5		3	0,7/0,75		X	en 4 fragments.; les clous sont dans les angles; croisillons face ext.
PK07/02		5,1	4,5						
PK07/03	F5	6,5	6,4		6	0,5/0,85		X	près de L18
PK07/04		6,7	4						5 fragments
PK07/05	D4	13,2	4,8				X		croisillons ; aucune trace de clous de fixation
PK07/06		6,1	5,9		1	0,6			fragment avec croisillons face ext.
PK08/11	E3	2,9	2,5	0,1					
PK08/21	E2	14,2	7,1		9		X		
PK08/44	G3	9,8	9,2	0,3				X	
PK08/64	G2	11	7,5						
PK08/70	H3	4,7	4,2	0,2					
PK08/85	F2	12,3	6,5	0,2	7				
PK08/101	F2	4,4	3,2						entre F128E/F129E
PK08/104	G	21,2	9,6		5				
PK08/106 a	F2	2,4	0,8						
PK08/106 b	F2	2,6	2,3						
PK08/116	E2	5,5	5,2		7			X	
PK08/121 a	F2	3,2	0,6						
PK08/121 b	F2	1,9	1,5						
PK08/123	F2	3,2	1,8						
PK08/132	E2	2,1		0,4					
PK08/136	F2	4,3	3,8		1				
PK08/139	G2	4,8	2,1						
PK08/145	G2	3,7		0,3					
PK08/147	F1	9,5	7,2	0,3	7			X	
PK08/152	F1	8	5,3		6			X	
PK08/153	F1	19,3	6,2				X		
PK08/159	F2								
PK08/167	E2	9,3	10,5	0,15	1			X	
PK08/168	F1	10	6,5				X		
PK08/173 a	E1	4,7	3,9	0,1/0,6					
PK08/173 b	E1	4,2	1,5	0,1					

Les nœuds ne représentent donc vraisemblablement un problème que lorsqu'ils sont associés à la présence de mortaises car ces dernières entraînent le glissement voire le saut du nœud. Ainsi, partout où des mortaises ont été creusées au niveau de nœuds, un système de protection/réparation, à base de mastic et de plaquettes de plomb, a été mis en place pour renforcer ces zones de faiblesse. Le même système, employé en parallèle avec de la poix de protection, a été employé au niveau de zones de fissure de la coque¹⁰⁸.

Ce type de réparation de la coque par des plaques ou plaquettes en plomb est attesté sur d'autres épaves méditerranéennes de l'Antiquité tardive. Sur *Port-Vendres I* (France, fin IV^e-début V^e s. apr. J.-C.), une plaque en plomb protégeait un des écarts de la quille¹⁰⁹ tandis que sur l'épave *Yassi Ada II* (Turquie, IV^e s. apr. J.-C.) des plaques en plomb ont été utilisées pour réparer ou renforcer des parties défectueuses du bordé¹¹⁰. Récemment, des réparations en plomb ont été également décelées sur l'épave de *Porticcio* (Corse, III^e s. apr. J.-C.)¹¹¹.

Les plaquettes L24 et L25

L'observation et le démontage de la plaquette L24 (dont seule une trace grisâtre a en réalité été conservée mais dont les dimensions peuvent être restituées à 7,2 cm de longueur pour une largeur de 6,5 cm) montre que le nœud était situé au niveau d'une mortaise creusée dans la planche de bordé P15W (fig. 48 et 49). Le nœud, tendant à ressortir sur la face interne du bordage, a provoqué une fissure sur la planche.

Pour éviter un affaiblissement supplémentaire du bordé et, surtout, prévenir une voie d'eau à cet endroit, le charpentier a ainsi effectué une sorte de « rapiécage ».

Sur la face interne du bordage P15W, une couche de mastic de couleur marron-jaune a été appliquée sur le nœud et sur le bois adjacent. Ce mastic devait sans doute jouer le rôle de matériau d'étanchéité tandis que la plaquette de plomb L24, installée par-dessus, devait venir protéger cette couche tout en bloquant le nœud du bois pour éviter qu'il ne ressorte complètement sur la face interne du bordé. Cette plaquette était tenue en place par huit petits clous dont seule la trace a été conservée. En correspondance de cet aménagement interne,

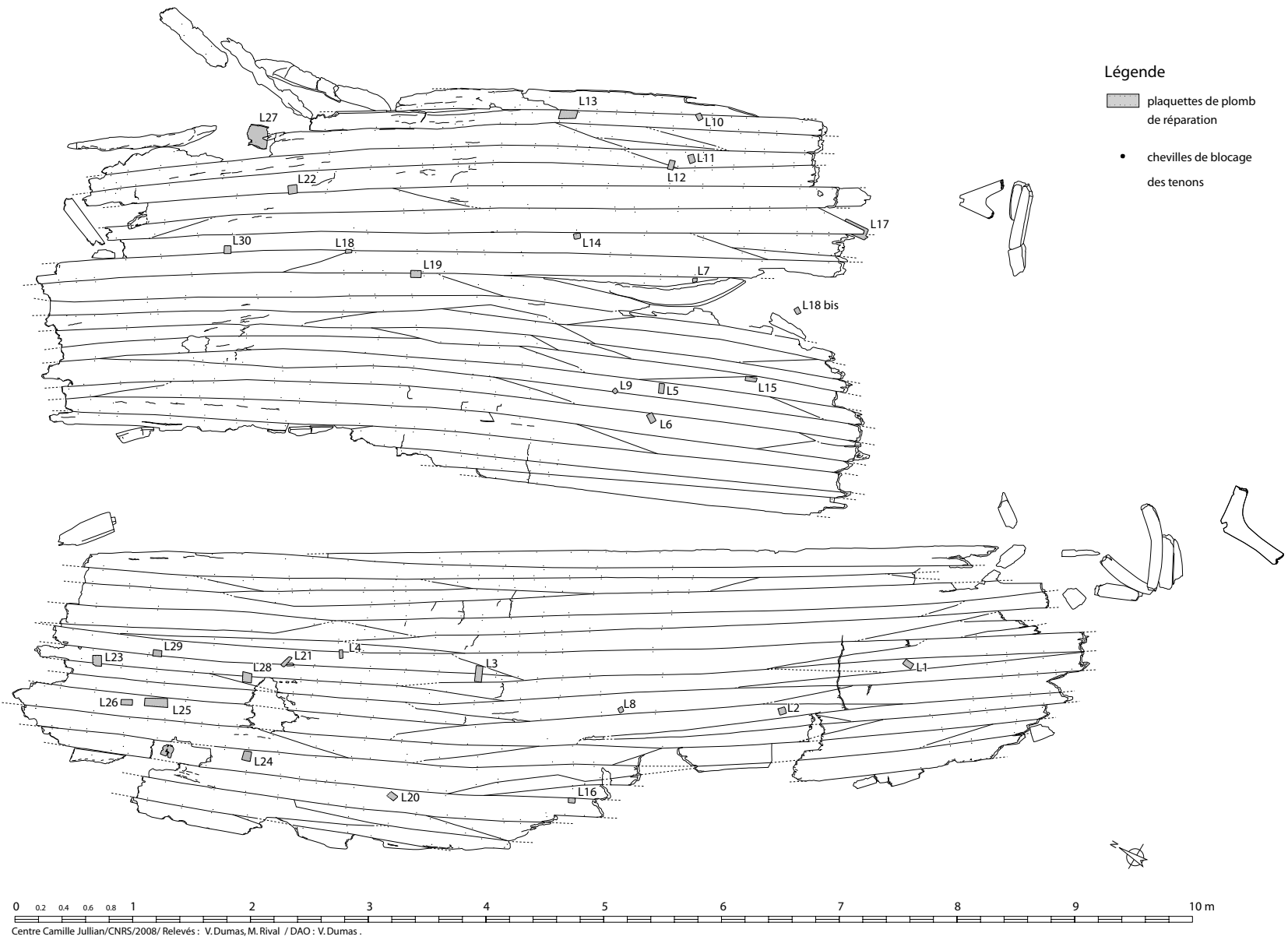
on retrouve également, sur la face externe du bordage, la trace d'une autre plaquette en plomb, pareillement fixée à l'aide de petits clous disposés aux angles et au milieu de chaque côté de la plaquette (fig. 49).

Le principe est le même pour le « racommodage » de la planche P37W qui présente, en correspondance de la plaquette interne L25, également une plaquette externe. Dans ce cas, contrairement à L24, du mastic a été utilisé avant l'apposition de la plaquette de plomb externe. La planche P37W provenait d'un débit tangentiel sur dosse, soit un type de débit qui est généralement jeté en raison de sa mauvaise qualité, riche en nœuds. La plaquette a été apposée au niveau d'une mortaise accidentellement creusée à l'emplacement d'un nœud (fig. 49).

La fixation de la plaquette L26, non récupérée, correspond elle aussi à la présence d'un nœud dans le bois, en relation avec le creusement d'une mortaise.

En conclusion, les bordages P15W et P37W présentaient des conditions de fragilisation extrêmes avec des risques de voie d'eau que le charpentier a tenté de maîtriser avec la mise en place d'une couche de mastic et de plaquettes internes et externes en sandwich.

Fig. 46 : Plan de distribution des plaquettes de plomb de réparation (relevés M. Rival, V. Dumas ; DAO V. Dumas, CNRS-CCJ).



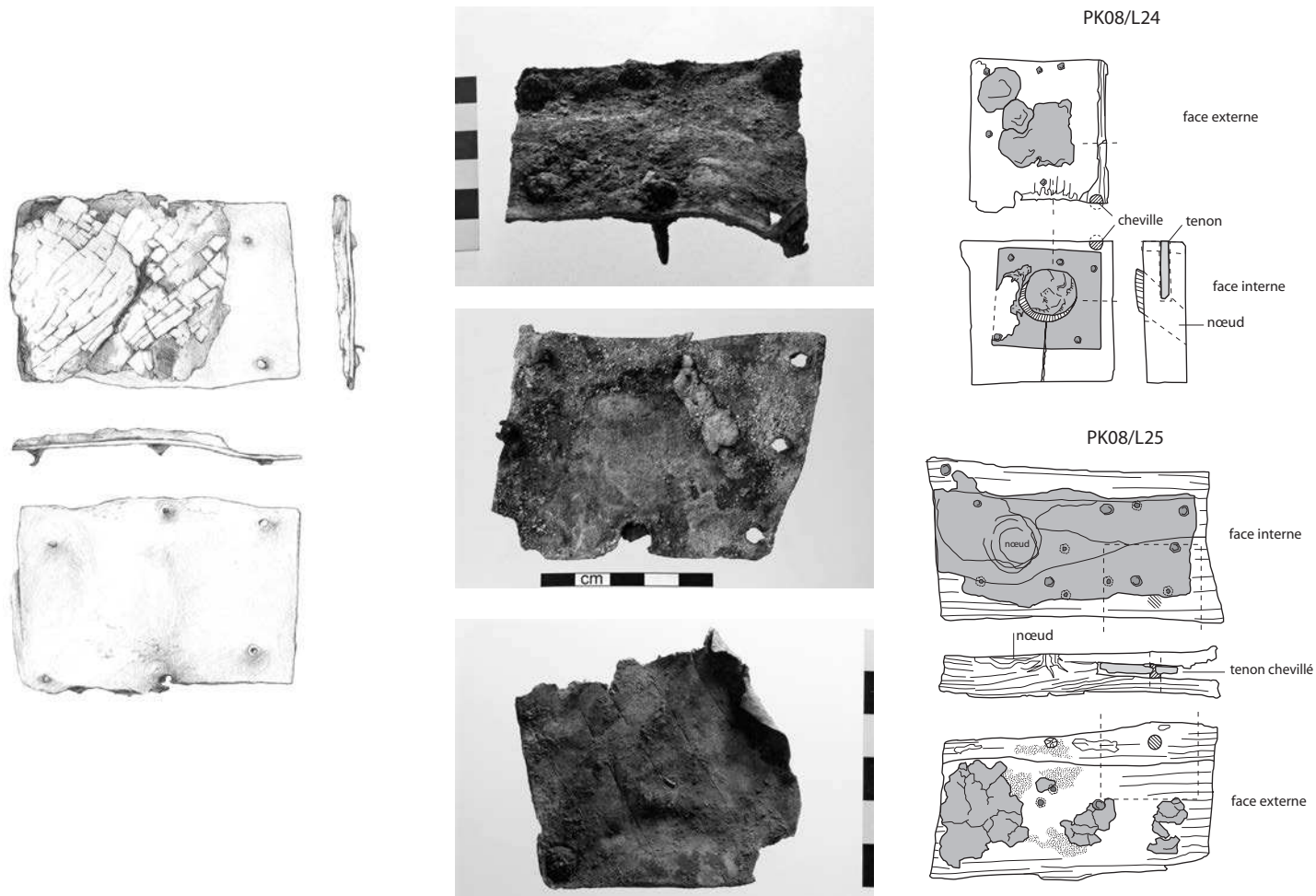


Fig. 47: Plaquettes de plomb de (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2007 et 2008; dessin N. Lete).



Fig. 48: Le prélèvement de la plaquette de plomb de réparation L24 (cliché Ph. Groscaux, CNRS-CCJ, 2008).

La plaquette L29

La troisième plaquette prélevée, L29, ne correspond pas à un rapiécage mis en place pour tenir en place un nœud dans le bois, mais il s'agit du bouchage d'une fente pouvant également provoquer une voie d'eau dans la coque. Cette plaquette (long. 9,5 cm; larg. 5,5 cm) a en effet été apposée sur le joint des virures des bordages P34W et P35W, au niveau d'un tenon d'assemblage.

Le démontage du prélèvement montre une fissure obturée à l'aide d'un calfatage réalisé à base de fibres végétales de couleur jaune clair mis en place à partir de la face interne du bordé. Au-dessus de ces fibres végétales, un ou deux éléments en bois, qui se sont fendus en quatre ou cinq petites pièces, ont été découverts en place. Probablement utilisés pour enfoncer de force le matériau de calfatage entre les deux planches, en même temps qu'ils devaient jouer le rôle de bouchons pour obturer la fente, ils ont été recouverts d'une couche de mastic de couleur marron-jaune, lui-même recouvert par la plaquette en plomb. Cette dernière était, enfin, dissimulée sous une couche de poix (fig. 49).

Sur la face externe, en correspondance avec cette réparation, aucune couche de mastic ni aucune plaquette en plomb n'a été mise en place. Seule une épaisse couche de poix a été répandue sur le bois, en guise de protection. La fissure, que le charpentier a bouchée au niveau de ces deux bordages, s'explique par le débitage d'une des deux planches au niveau d'un nœud.

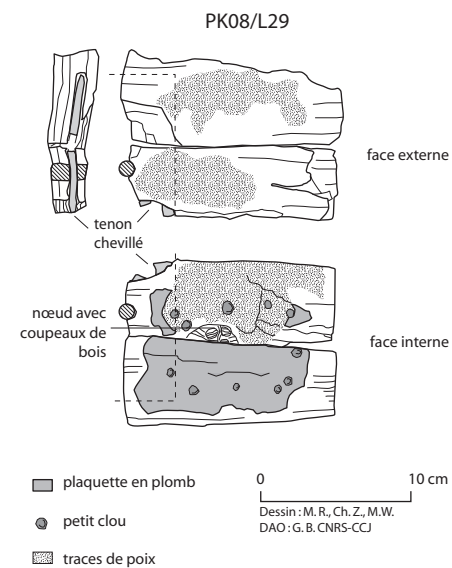


Fig. 49: Les prélèvements des plaquettes de plomb de réparation L24, L25 et L29 (DAO G. Boetto, CNRS-CCJ).

Principes et méthodes de construction

La coque de l'épave de Pakoštane reflète les principes de la construction navale antique qui reposent sur une conception «longitudinale sur bordé» dans laquelle les formes sont déterminées par la mise en place des virures et où la membrure n'a qu'un rôle secondaire du point de vue structural¹¹². Les assemblages à «tenons et mortaises» jouent un rôle de liaison entre les virures du bordé, garantissant la cohésion interne de la structure de l'embarcation qui ne dépend pas de la charpente transversale. La membrure revêt une fonction de renfort de la coque et il n'existe pas de connexions entre les couples et les allonges.

Du point de vue du procédé de construction, et à partir des observations effectuées *in situ*, le bateau de Pakoštane se distingue par l'élévation du bordé à partir de la charpente longitudinale axiale, préalablement érigée, et avant la pose de la membrure ou d'éléments de la membrure selon une construction du type «bordé premier». Néanmoins, en l'absence de démontages sur la coque, nous ne pouvons déterminer les étapes précises de la construction. Il faut cependant souligner que la varangue F199W ainsi que les varangues F125W et F129W étaient brochées à la quille. Ce type d'assemblage des membrures à la quille est habituel pour l'époque. En l'absence de données supplémentaires, nous ne pouvons toutefois émettre aucune hypothèse sur le rôle (actif ou passif) joué par ces varangues dans la construction.

Estimation des dimensions, type architectural et fonctionnel

D'après les données architecturales – et notamment si l'on se fonde sur l'échantillonnage du bordé et de la membrure – la longueur de l'embarcation de Pakoštane peut être estimée dans une fourchette de l'ordre de 15-20 m.

Ce bateau relève assurément du type romano-impérial qui se caractérise, selon la définition donnée par Patrice Pomey¹¹³, par :

- une quille associée à des fonds plats et à des galbords de forme simplifiée ;
- un bordé, assemblé à franc-bord par tenons et mortaises, de type simple et sans revêtement de feuilles en plomb¹¹⁴ ;
- une membrure composite dont les éléments restent indépendants, mais où l'alternance varangues-demi-couples fait intervenir des demi-couples outrepassés et où certaines varangues sont directement brochées à la quille ;
- une charpente longitudinale interne dans laquelle le massif d'implanture vient désormais se fixer par l'intermédiaire de carlingots reposant sur les varangues.

À l'exception de la présence des membrures outrepassées, l'embarcation de Pakoštane présente ainsi l'ensemble de ces caractéristiques, y compris pour l'existence de carlingots non conservés mais vraisemblablement attestés par la présence d'encoches sur le dos des membrures, de part et d'autre de la quille. Ces aménagements révèlent ainsi l'existence d'un massif d'implanture lui aussi disparu.

La fonction de cette embarcation comme voilier utilisé pour un commerce maritime semble pouvoir être envisagée en raison des caractéristiques générales de la coque ainsi que par la présence probable, au moment du naufrage, d'une cargaison.

LA CÉRAMIQUE ET LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION EN TERRE CUITE

*Céline Huguet*¹¹⁵

Le mobilier céramique recueilli lors de la campagne de fouille 2008 a bénéficié d'une étude post-fouille réalisée au sein du laboratoire de céramologie du Centre Camille Jullian¹¹⁶. Composé de vaisselle fine, de céramique commune, d'amphores et de matériaux de construction en terre cuite, ce lot semble constituer une part du matériel de bord du navire.

Malgré un état de conservation dégradé d'une partie des céramiques en raison de leur séjour dans l'eau (couleur des pâtes altérée, tessons émoussés...), cet ensemble révèle la présence de nombreux objets d'origine africaine, dont des vases en céramique sigillée qui ont pu fournir des données chronologiques déterminantes.

MÉTHODES

La première étape de l'étude céramologique a consisté en un tri et un inventaire de l'intégralité des objets mis au jour. Cet inventaire présente le mobilier suivant les catégories et les types de production. Les formes et les références typologiques ont été indiquées lorsqu'elles ont pu être déterminées. Les fragments dispersés dans les différents carrés de fouille, mais appartenant à un même vase, ont été groupés. Ainsi, le nombre de fragments a été établi après recollage des cassures fraîches et l'identification des individus après assemblage des éléments appartenant à une même pièce. Le nombre minimum d'individu (NMI) a été établi sur les éléments spécifiques les plus représentés : bord ou fond ou, à défaut de ces derniers, de parties de vases significatives (anse, col, carène, décor). À l'échelle du site, nous avons procédé à des pondérations dans

le cas où une catégorie n'était représentée que par des fragments informes, ainsi que lorsque la typologie permettait de distinguer des types différents. Les données ont été organisées sous forme de tableau selon les normes établies lors de la publication du mobilier des fouilles de Marseille (tab. 4)¹¹⁷.

Au total le lot étudié réunit 306 tessons de céramique, pour 28 individus, ainsi que 28 fragments de matériaux de construction en terre cuite. Afin de vérifier des hypothèses ou de compléter les données recueillies lors de l'étude céramologique proprement dite, une série de prélèvements de pâte a été réalisée (référéncés PK01 à PK14) et a permis des analyses pétrographiques en lame mince menées par Claudio Capelli (tab. 5)¹¹⁸.

LA CÉRAMIQUE

Les amphores

Le mobilier amphorique (196 fragments pour 13 individus) est largement dominé par les produits africains (163 fragments pour 7 individus). Le reste des fragments d'amphores a pour origine l'Italie (3 fragments pour 1 individu) et peut-être la Sicile ou bien encore la mer Égée (30 fragments pour 5 individus) (tab. 4).

Au sein des amphores africaines, on compte un exemplaire d'amphore africaine II (fig. 50, 1 ; prélèvement PK 01, tab. 5). Ce type de conteneur à corps cylindrique, principalement fabriqué en Byzacène, et probablement en Proconsulaire, a connu sa période de diffusion maximale de la seconde moitié du III^e s. au IV^e s.¹¹⁹. Le profil de l'exemplaire de l'épave de Pakoštane est peu classique et semble se rattacher aux variantes tardives datées du IV^e s.

Deux amphores cylindriques de moyennes dimensions ont pu être identifiées parmi les fragments de panses. Originaires de Byzacène ou de Zeugitane, ces conteneurs (type Keay 25) succèdent aux amphores africaines II à la fin du III^e s. ou au début du IV^e s.¹²⁰. Leur forme évolue jusqu'à la fin de leur production dans la première moitié du V^e s. Ici, l'absence de bords ne permet pas de préciser à quel type elles se rattachent. Les parois internes de ces deux exemplaires portent des traces de poix, confirmant les hypothèses émises à propos de leur contenu : vin ou *salsamenta*¹²¹.

Vingt fragments informes d'une amphore Tripolitaine II ont été recensés. Ce type d'amphore cylindrique est attesté en Tripolitaine de la première moitié du I^{er} s. jusqu'à la fin du IV^e s. La nature des produits qu'elle transportait est encore incertaine¹²².

L'originalité du lot d'amphores africaines de l'épave de Pakoštane se manifeste par la présence d'amphores de très grandes dimensions, probablement destinées au stockage ou

Tableau 4 : Le mobilier céramique.

AMPHORES	Forme / typologie	TT	C	B	F	A	P	NMI	fig.	n° pré.
amphores africaines	Africaine II tardive	49		1			46	1	50,1	PK01
	cyindr. moyenne dim.	11					11	2		
	Tripolitaine II à pâte fine	20					20	1		
	amph. de stockage de très grandes dim.	46		11		2	40	3	50,2	PK14
	indéterminée	37					37			PK02
amphores siciliennes	Agora M254	2					2	1		PK04
productions indéterminées	indéterminée	28		2	1		25	4	50,3-4	PK03 et 05
amphores italiques	indéterminée	3					3	1		
Sous-total		196	0	14	1	2	184	13		
VAISSELLE FINE	Forme / typologie	TT	C	B	F	A	P	NMI	fig.	n° pré.
Sigillée africaine C3	bol Hayes 52 (décor à relief d'applique)	2		1				1	51,5	
	bol Hayes 71A	7	1					1	51,6	PK06
	plat (décor à relief d'applique)	1		1				1		
Sigillée africaine D1	plat Hayes 59A (décor estampé rosacé)	5		1	1		3	1	51,7	PK07
Sig. Afr. Indéterminée	indéterminée	2					2			
Sous-total		17	1	3	1	0	5	4		
C. CULINAIRE & COMMUNE	Forme / typologie	TT	C	B	F	A	P	NMI	fig.	n° pré.
Culinaire africaine C	couvercle Hayes 185 var.	8		1			6	1	51,8	
	couvercle Hayes 196	1		1				1		
	couvercle Sabratha 104 (traces de feu)	19	1					1	51,9	PK08
	couvercle (traces de feu)	11	1					1	51,10	PK09
	marmite	1					1	1		
	indéterminée (pâtes diverses)	7					7			
Culinaire de Pantelleria	couvercle L2.2 (traces de feu)	17	1	1			3	2	51,13-14	
	marmite/urne	1		1				1	51,15	
	plat à feu	3			1			1		
Modelée indéterminée	indéterminée	9					9			
Commune	pot	1		1				1	51,11	
	couvercle	1			1			1	51,12	
	indéterminée (pâtes diverses)	14					14			
Sous-total		93	3	5	2	0	40	11		
TOTAL		306	4	22	4	2	229	28		

Tableau 5 : Caractéristiques compositionnelles et texturales principales des pâtes étudiées en lame mince et hypothèses de provenance basées sur l'intégration entre données archéométriques et archéologiques. Ca : riche en carbonates, Fe : riche en oxydes de fer. Les croix indiquent des valeurs approximatives, de très bas (x) à très hautes (xxxx).

Groupe pétrographique	Sigle échantillon (PK)	Catégorie	Matrice argileuse	% inclusions	Classement inclusions	Arrondissement moyen inclusions (fraction >)	Dimensions moyennes inclusions	Dimensions maximales inclusions (mm)	% métamorphites acides	% volcanites	% calcaires	% fossiles	% roches détritiques	% quartz	% micas	% altérations secondaires	Hypothèses de provenance
E	1	Amphore africaine	Ca ?	xxx	xxxx	xxxxx	xxx	0.7			x	x		xxxx		xxxxx	Tunisie (indéterminée)
E	14	Amphore africaine	Fe	xxxx	xx	xxxx	xx	1.3				x		xxxx		xxx	Tunisie (Byzacène, région de Thyna ?)
E	2	Amphore africaine	Fe	xx	xxx	xxx	xx	0.4			x	xx		xxxx		xxx	Tunisie
E	9	Culinaire africaine C	Fe	xxxxx	xx	xxxxx	xxx	0.5					xx	xxxxx			Tunisie (septentrionale ?)
E	8	Culinaire africaine C	Fe	xxxxx	xxx	xxxx	xx	0.3						xxxxx			Tunisie (Byzacène ?)
E	7	Sigillée africaine D1	Fe	xxxxx	x	xxx	x	0.3				x	xxxxx			xx	Tunisie septentrionale (pas Sidi Khalifa)
E	6	Sigillée africaine C3	Fe	xx	x	xx	x	0.3						xxx	x	x	Tunisie centrale
V	11	Brique	Fe-Ca	xxxxx	xxx	x	x	1.5	x	xxx			x	xxxx	xxx	xx	Latium, Campanie
V	12	Brique	Ca	xxx	xxxx	x	xxx	1.5		xxxx	x	x		x	x	x	Latium, Campanie (Adriatique ?)
M	4	Amphore sicilienne	Fe-Ca	xxx	xxxx	x	xx	0.7	xxx	x	x	xx	x	xxx	xx	xx	Sicile (nord-orientale ?)
M	10	Brique	Ca	xxxx	xxxxx	x	xx	0.4	xx	x	xx			xxx	xx	x	Indet. (Sicile, Egée, Toscane, etc.)
M	13	Brique	Ca-Fe	xxxx	xxxxx	x	xx	0.4	x		xxxx	x	x	xxx	xxx	xxxxx	Indet. (Sicile, Egée, Toscane, etc.)
M	3	Amphore indéterminée	Fe	xxx	x	x	x	0.2	x			xx		xxx	xxxxx	x	Indet. (Egée-Anatolie, Toscane, etc.)
G	5	Amphore indéterminée	Ca-Fe	xxxx	xx	x	x	0.5			x		x	xxx	xxx	xxx	Indéterminée (Egée, Adriatique, etc.)

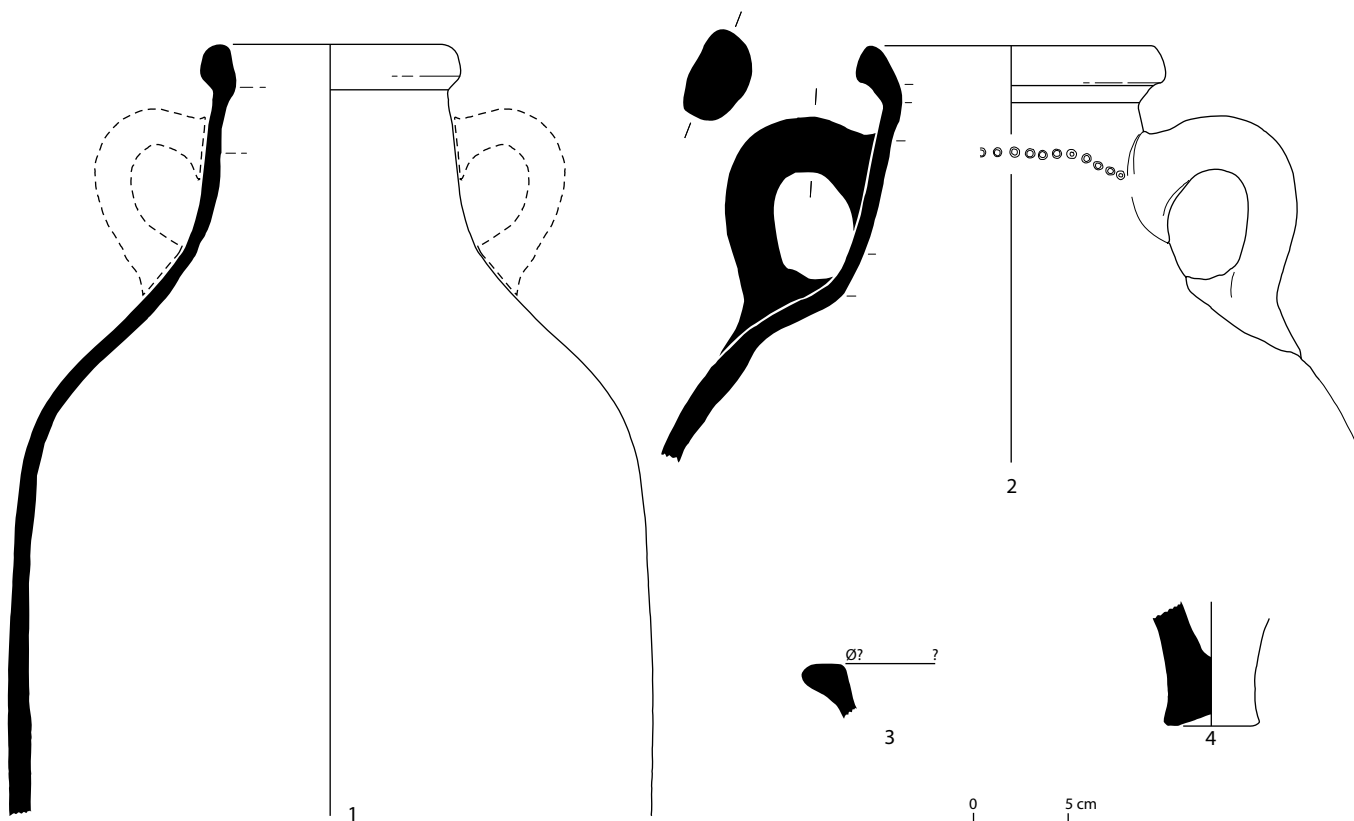


Fig. 50: Amphore africaine II tardive (1); amphore africaine de stockage (2); amphores indéterminées (3-4) (dessin C. Huguet).

au transport en grande quantité (au minimum trois individus). On recense deux anses, un bord, deux cols et quatre groupes de panses qui possèdent tous des pâtes différentes. Plusieurs présentent une surface interne poissée et l'un des exemplaires porte sur le col une série de cercles concentriques imprimés en creux suivant une ligne irrégulière (fig. 16 et 50, 2; prélèvement PK 14, tab. 5).

Ces objets ne correspondent pas encore à un type ou une production bien définis; ils sont à ce jour principalement attestés sur plusieurs sites de Tunisie continentale, comme Haïdra, Dougga, Sbeitla et Le Kef¹²³. L'analyse archéométrique réalisée sur l'exemplaire portant sur le col un décor imprimé permet toutefois de proposer une hypothèse d'origine en Byzacène (fig. 16 et 50, 2; prélèvement PK 14, tab. 5).

Ces amphores à corps cylindrique ont un col large et des profils de bord très variés. Les anses, de section ovale, peuvent être marquées d'une ou plusieurs nervures peu profondes. Un exemplaire conservé au musée de Sbeitla en Tunisie, et récemment publié¹²⁴, mesure environ 1,20 m de haut pour 0,50 m de largeur maximale.

La chronologie de ces amphores n'est pas encore bien cernée. En Tunisie continentale, elles sont attestées dans des contextes datés des v^e-vii^e siècles. Probablement difficilement transportables, elles étaient peut-être destinées à la conservation des réserves alimen-

taires. Leur présence au sein du mobilier de l'épave de Pakoštane est donc tout à fait intéressante: on peut y voir les vases de stockage propres à la vie à bord, bien qu'on ne puisse exclure également leur utilisation pour le transport en grandes quantités.

Parmi les panses d'amphores africaines de type indéterminé (37 fragments), 17 correspondent à un seul objet (prélèvement PK 02, tab. 5).

Les analyses archéométriques (prélèvement PK 04, tab. 5) ont permis d'identifier deux fragments d'amphore sicilienne, à pâte très micacée et surface interne poissée, qui se rattache au groupe des amphores Agora M254.

Parmi les fragments d'amphores d'origine indéterminée, on comptabilise quatre individus: deux bords à la pâte très altérée (fig. 50, 3); un fond (fig. 50, 4, prélèvement PK 03, tab. 5) ainsi qu'un fragment de panse à pâte très micacée (prélèvement PK 05, tab. 5).

Enfin, trois fragments d'amphores italiennes originaires de Campanie, à pâte brun rosé contenant de très nombreuses particules noires, caractéristique des amphores vinaires Dressel 1 et Dressel 2/4, sont ici en position résiduelle.

La vaisselle fine

Le lot de vaisselle fine est uniquement composé de céramique sigillée africaine (17 fragments pour 4 individus). Plusieurs

vases ont pu être identifiés et fournissent des informations chronologiques significatives (tab. 4).

La céramique sigillée africaine C est représentée par un bol de type Hayes 52B à décor d'applique sur le bord (fig. 51, 5)¹²⁵, daté des années 280/300 à la fin du iv^e s., et par un bol de type Hayes 71A (fig. 51, 6; prélèvement PK 06, tab. 5)¹²⁶, daté du dernier quart du iv^e s. aux années 400/420 environ. Ces deux vases correspondent à la catégorie C3 de la sigillée africaine originaire de Tunisie centrale. On compte également dans cette même catégorie un fragment de bord portant un décor à relief d'applique très altéré.

Un grand plat de type Hayes 59A à décor estampé est le seul représentant de la céramique sigillée DI originaire du nord de la Tunisie (fig. 51, 7; prélèvement PK 07, tab. 5)¹²⁷. Le décor simple, constitué d'un motif unique de rosace (proche du motif Hayes n°44B) répété en cercle sur le fond, correspond au style A (ii) de J.W. Hayes¹²⁸, daté de 350 à 420 environ.

On recense enfin un fragment de céramique sigillée taillé sous la forme d'un jeton (fig. 19), utilisé comme passe-temps par les marins, et deux fragments de panse.

La vaisselle commune

La vaisselle commune est largement dominée par la céramique culinaire africaine avec

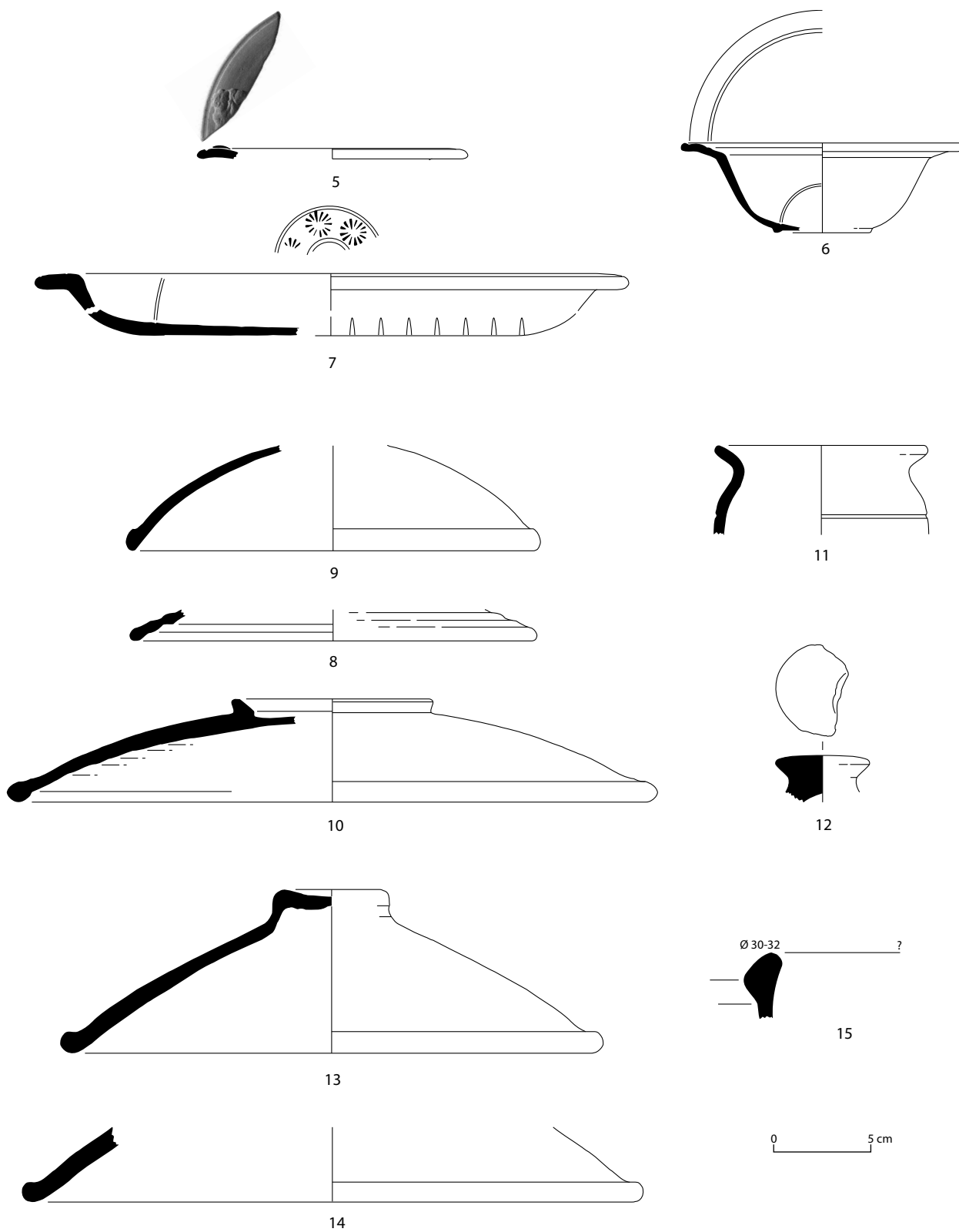


Fig. 51 : Vaisselle fine, vaisselle commune et céramique au tour lent ou non tournée (dessin C. Huguét).

quatre couvercles, un fragment de marmite et sept fragments indéterminés (tab. 4).

On recense un bord de couvercle de type Hayes 196, forme classique du nord de la Tunisie datée de la fin du 1^{er} s. au début du 5^e s.¹²⁹; un bord de couvercle variante du type Hayes 185 peut-être originaire de Byzacène (fig. 51, 8)¹³⁰; un couvercle à bord en amande probablement originaire de Byzacène de forme Sabratha 104 (fig. 17 et 51, 9; prélèvement PK 08, tab. 5)¹³¹; et enfin un couvercle de type indéterminé (fig. 51, 10; prélèvement PK 09, tab. 5). Les surfaces de ces deux derniers vases portent des traces de feu. On recense également huit fragments informes dont l'un correspond à une panse de marmite.

La céramique commune d'origine indéterminée est représentée par un bord de petit pot à pâte micacée brun clair (fig. 51, 11) et par une préhension de couvercle (fig. 51, 12).

La céramique au tour lent ou non tournée

La céramique au tour lent ou non tournée est essentiellement composée de productions de l'île de Pantelleria (tab. 4). On compte deux couvercles de type L2.2 conservant des traces de feu (fig. 51, 13-14), un bord de marmite (fig. 51, 15) et un fond de plat à feu¹³². La pâte de ces productions est caractéristique, grossière et de couleur brun-noir, avec un dégraissant constitué de quartz et d'inclusions noires et brillantes. Produite durant une longue période du 1^{er} s. av. J.-C. à la fin du 6^e s., cette céramique culinaire, probablement montée au tour lent, a connu une diffusion massive en Méditerranée occidentale entre la seconde moitié du 4^e s. et le milieu du 5^e s.¹³³.

Neuf autres fragments de céramique non tournée sont d'origine indéterminée.

LA LAMPE

Seuls 3 fragments d'une lampe à huile ont été découverts (fig. 18). Il s'agit d'une lampe africaine, à anse non forée, dont le bandeau est décoré de deux rangées de globules. Malgré une pâte très altérée, il est possible de distinguer une version tardive de lampe africaine antique de type Deneauve VIII/sous type 4 en céramique commune, datée des 4^e et 5^e s.¹³⁴.

LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION EN TERRE CUITE

Vingt-huit fragments de matériaux de construction en terre cuite ont été recueillis.

Cet ensemble se compose de briques (12 fragments), de tuiles de type *tegula* et *imbrex* (10 fragments), et de fragments ne pouvant pas être rattachés à une forme précise (6 fragments). Ce lot très fragmentaire rassemble une quinzaine de pâtes différentes, dont chacune pourrait représenter un individu.

L'une des briques (fig. 20; prélèvement PK 10, tab. 5), presque intégralement conservée, mesure au moins 27 cm de long, 16 cm de large et 6,5 cm d'épaisseur. Parmi les autres fragments de briques, l'analyse pétrographique a permis d'identifier une pâte riche en inclusions volcaniques originaires de la région Latium-Campanie (prélèvement PK 12, tab. 5)¹³⁵. Cet objet a cependant pu être fabriqué ailleurs puisqu'on ne peut exclure que ces inclusions proviennent d'une pierre broyée et ajoutée à une argile prélevée dans une autre région (côte Adriatique centrale, méridionale?).

On compte également deux bords de *tegulae*, dont l'un provient de la côte tyrrhénienne (prélèvement PK 11, tab. 5). Parmi les quatre autres fragments, l'un correspond à une tuile de type *imbrex*.

Des traces de feu ont été observées sur les surfaces de plusieurs de ces fragments. Notons également la découverte de fragments de béton de tuileau. Ces éléments pourraient donc constituer les vestiges d'un foyer de bord.

CONCLUSION

Les céramiques découvertes lors de la fouille de l'épave de Pakoštane témoignent clairement de liens avec l'Afrique. Les productions africaines sont en effet prédominantes aux côtés de vases originaires d'Italie, de l'île de Pantelleria, ou bien encore peut-être de Méditerranée orientale et des côtes de la mer Adriatique.

La nature de ces objets, vases de stockage et/ou de transport, céramiques culinaires sur lesquelles étaient conservés des dépôts de suie, permet d'émettre l'hypothèse qu'une partie de ce mobilier a été utilisée par l'équipage.

Ce lot très homogène livre des données chronologiques significatives: les céramiques sigillées fournissent un *terminus post quem* dans le dernier quart du 4^e s., les amphores et la lampe se rattachent à des types datés des 4^e et 5^e siècles. La plupart des objets recensés n'étant plus produits au-delà de la première moitié du 5^e s., il est possible de situer la période de circulation du bateau et son naufrage entre le dernier quart du 4^e s. et le milieu du 5^e s., voire dès le premier quart de celui-ci (sigillées Hayes 71A et 59A).

ANALYSES ARCHÉOMETRIQUES EN LAME MINCE DES CÉRAMIQUES

Claudio Capelli¹³⁶

Quatorze échantillons de céramiques de l'épave de Pakoštane¹³⁷ ont été sélectionnés pour l'étude en lame mince au microscope polarisant (tab. 5), afin de vérifier ou améliorer les attributions typologiques et de contribuer à la localisation du lieu de production de ces céramiques. Pour réaliser ce dernier objectif, nous nous sommes servis de comparaisons tant avec la cartographie géologique qu'avec la banque de données de lames minces de céramiques méditerranéennes du DIPTERIS de l'Université de Gênes.

Dans tous les échantillons examinés, des phénomènes d'altération secondaire plus ou moins importants, liés à l'interaction avec le milieu marin¹³⁸, sont évidents. En particulier, on observe le développement de carbonates (fig. 52, 1) et sulfures (fig. 52, 2) et des modifications partielles de la couleur originelle des pâtes céramiques. Toutefois, sauf rares exceptions, ces phénomènes n'ont pas empêché les déterminations en lame mince.

Le premier résultat des analyses est la haute variabilité des pâtes, qui sont presque toutes différentes les unes des autres. Elles peuvent être attribuées à plusieurs centres de production distants les uns des autres, localisables en Tunisie, en Italie méridionale et, peut-être, dans des secteurs de la Méditerranée orientale. Les principales caractéristiques des pâtes sont synthétisées dans le tableau 5.

Selon les composantes pétrographiques principales des inclusions, nous avons divisé les échantillons en quatre groupes principaux, qui peuvent être mis en relation avec des aires de production ayant des caractéristiques géologiques différentes.

GROUPE E (QUARTZ ÉOLIEN)

Sept pâtes (PK1-2, 6-9, 14; fig. 52, 3-8 et 53, 1), à textures plus ou moins diverses, sont caractérisées par des inclusions composées presque entièrement par des grains de quartz, dont les plus grossiers montrent des caractéristiques clairement éoliennes (forme arrondie, surfaces opaques observables à la loupe binoculaire). Cette particularité est typique de la majorité des productions africaines, notamment tunisiennes. Toutefois, une localisation précise de ces centres d'origine est difficile, à cause de la généricité des sédiments et des pâtes africaines, ainsi que de la pauvreté des références disponibles provenant des ateliers de production¹³⁹.

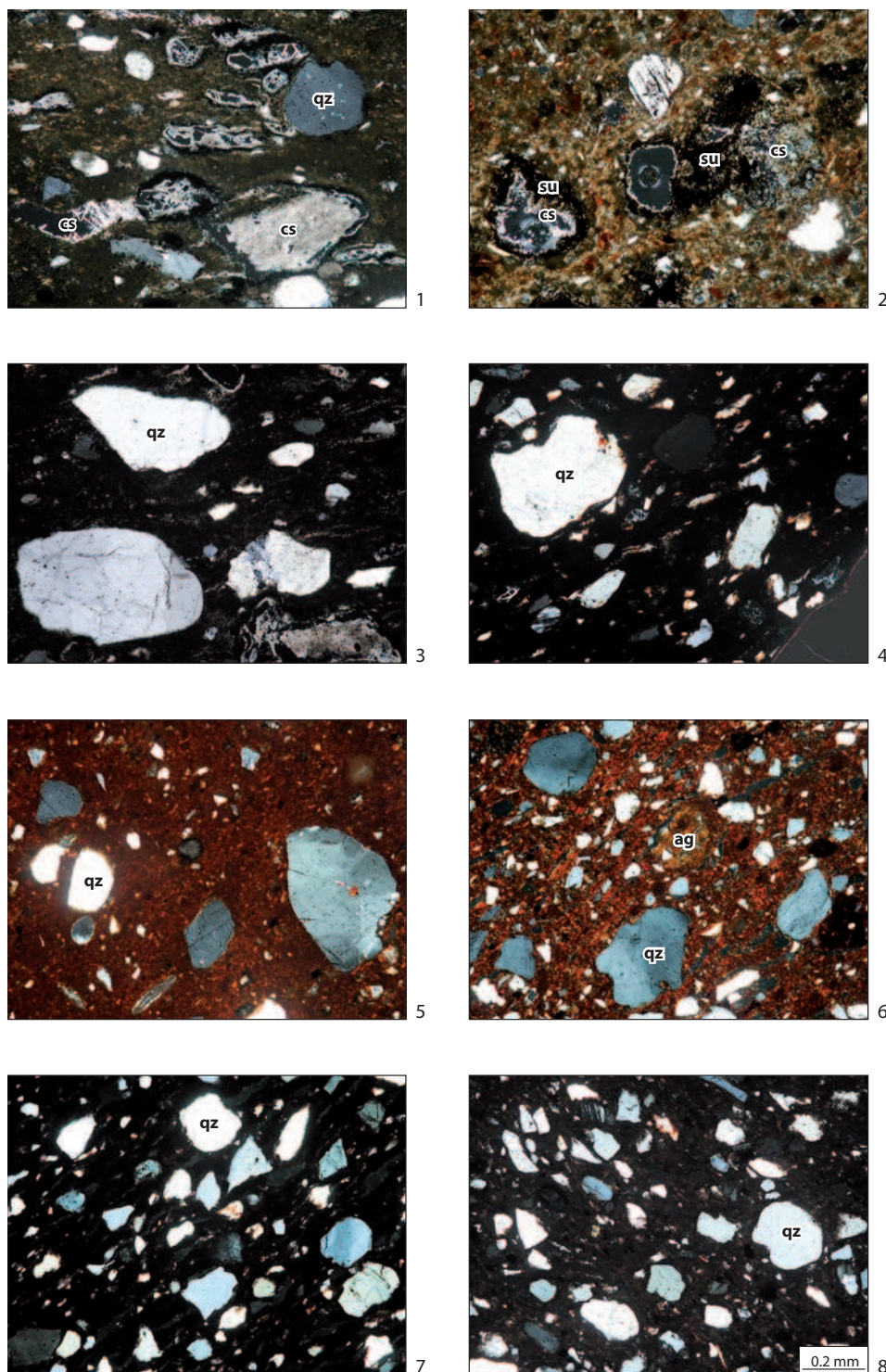


Fig. 52: Vues en détail des lames minces (Nicols croisés) de quelques pâtes étudiées. 1: PK1, 2: PK13, 3: PK1, 4: PK14, 5: PK2, 6: PK9, 7: PK8, 8: PK7; ag: argillite, cs: carbonates (secondaires), qz: quartz éolien, su: sulfures (secondaires) (clichés Cl. Capelli, DIPTERIS).

GRUPE V (VOLCANITES)

Deux briques contiennent une composante d'inclusions attribuable aux volcanites alcalino-potassiques qui affleurent dans le secteur tyrrhénien compris entre la Toscane méridionale et la Campanie. Dans ce secteur, la localisation des ateliers est très difficile¹⁴⁰. Les

deux pâtes sont très différentes entre elles, ce qui indique une provenance de centres distants.

PK11 (fig. 53, 2) est formé par une argile riche en fer (peu mélangée à une argile plus calcaire), de nombreuses inclusions fines (en prévalence quartz et micas) et rares éléments volcaniques divers (fragments de roches tra-

chytiques, basaltiques et verres; individus de clinopyroxène, sanidine, biotite).

PK12 (fig. 53, 3) est caractérisé par une argile calcaire fine et un dégraissant composé presque entièrement de fragments de lave à leucite, dominants sur des individus de clinopyroxène et feldspath. Dans ce cas, la composante volcanique a été probablement ajoutée intentionnellement à l'argile. Pour expliquer la présence de ces inclusions volcaniques, nous ne pouvons pas exclure la possibilité de l'utilisation d'un objet ou d'un bloc de roche lavique broyé dans un lieu qui peut être très éloigné des affleurements tyrrhéniens originaux. Par ailleurs, la composante argileuse, prélevée très probablement près de l'atelier, est dépourvue d'éléments diagnostiques de provenance. Parmi les diverses hypothèses, on peut aussi considérer celle d'une production de l'Adriatique centro-méridionale, une zone riche en matières premières argileuses calcaires.

GRUPE M (MÉTAMORPHITES ACIDES)

Les pâtes de trois échantillons (PK4, PK10, PK13; fig. 53, 4-6) sont caractérisées par un dégraissant bien classé, anguleux, de dimensions moyennes, dominé par des fragments de roches métamorphiques acides ou de minéraux isolés dérivés de celles-ci (quartz, feldspaths, micas). Des différences dans la composition de la matrice et dans les caractéristiques secondaires des inclusions ne font pas exclure des origines de production différents. La présence occasionnelle de fragments de roches basaltiques associées aux métamorphites permet d'envisager une production sicilienne de l'amphore PK4, qui serait donc à attribuer au groupe Mid Roman Amphora 1 / Agora M245¹⁴¹. La provenance des deux briques est plus incertaine.

En revanche, l'échantillon PK3 (fig. 53, 7) se distingue par les dimensions fines des inclusions, parmi lesquelles les micas sont particulièrement abondants.

GRUPE G (GÉNÉRIQUE)

La pâte de l'échantillon PK5 (fig. 53, 8), composée d'éléments d'origine sédimentaire détritique, est dépourvue de composantes discriminantes pour la provenance.

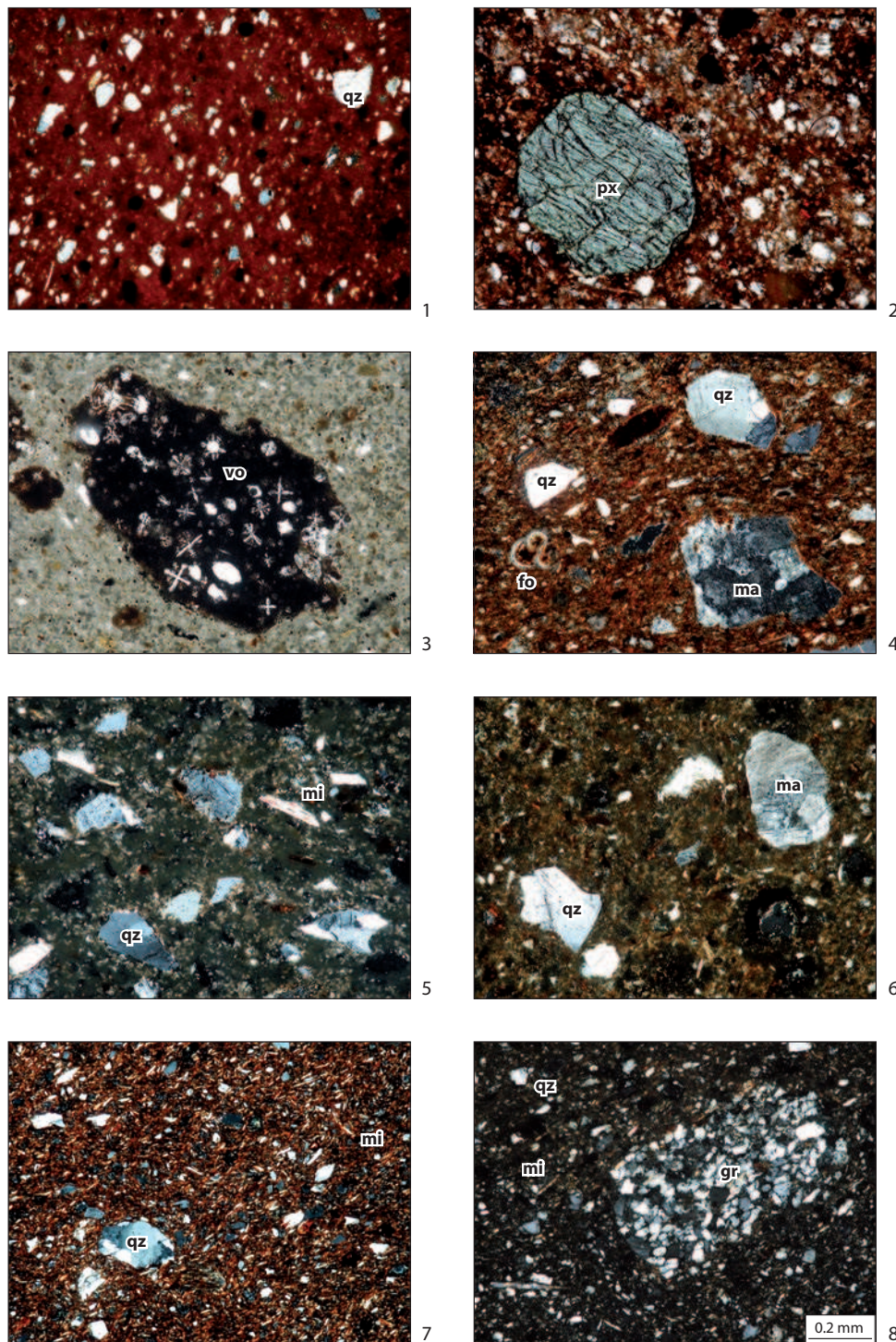


Fig. 53 : Vues en détail des lames minces (Nicols croisés) de quelques pâtes étudiées. 1: PK6, 2: PK11, 3: PK12, 4: PK4, 5: PK10, 6: PK13, 7: PK3, 8: PK5; fo: microfossile, gr: grès, ma: métamorphite acide, mi: mica, px: clinopyroxène, qz: quartz, vo: volcanite à leucite (clichés Cl. Capelli, DIPTERIS).

ANALYSE XYOLOGIQUE DE LA COQUE ET DU FARDAGE

Frédéric Guibal¹⁴², Sandra Greck¹⁴³, Carine Cençon-Salvaye¹⁴⁴

Au cours des campagnes de fouille menées en 2007 et 2008, les vestiges de bois de la coque de l'épave de Pakoštane, les branchages

et les éléments de fardage trouvés sur le site ont fait l'objet de prélèvements destinés à l'analyse xyologique.

Des coupes minces ont été effectuées manuellement à la lame de rasoir selon les plans transversal, longitudinal tangentiel et longitudinal radial puis montées entre lame et lamelle et examinées au microscope à transmission.

L'ÉPAVE

Le bordé

Au total, neuf taxons parmi lesquels huit résineux et un feuillu ont été identifiés (fig. 54 et tab. 6). Cent quinze pièces sont confectionnées dans des essences résineuses, trois seulement étant confectionnées dans une essence feuillue (*Ulmus* sp.).

Le taxon le plus fréquemment identifié est, de loin, le binôme pin d'Alep/pin brutia (*Pinus halepensis* Mill./*Pinus brutia* Ten., 62 ex.), ainsi dénommé en raison de la très forte ressemblance de l'anatomie du bois de ces deux espèces vicariantes. Soulignons toutefois que le pin d'Alep, identifié sans la moindre équivoque à sept reprises, présente ici la probabilité d'occurrence la plus élevée.

Viennent ensuite, parmi les essences les plus souvent identifiées, le pin pignon (*Pinus pinea* L., 17 ex.) et le cyprès (*Cupressus sempervirens* L., 10 ex.). Ces trois espèces, largement distribuées de l'étage de végétation mésoméditerranéen à l'étage supraméditerranéen et sur des substrats très variés, sont en mesure d'avoir alimenté sans difficultés majeures des chantiers de construction navale.

Quatre autres taxons ont été identifiés à des fréquences beaucoup moins importantes : le pin type sylvestre¹⁴⁵ (7 ex.), le mélèze (*Larix decidua* Mill., 5 ex.), le sapin (*Abies alba* Mill., 2 ex.) et le pin de Bosnie (*Pinus heldreichii* Christ, 1 ex.). Ces taxons présentent des caractéristiques biogéographiques différentes des trois précédents : tous se développent à des altitudes plus élevées, dans les étages de végétation montagnarde et subalpine et donc à des distances plus éloignées des chantiers de construction navale que les précédents¹⁴⁶.

Il est à noter l'homogénéité des deux galbords, tous deux confectionnés dans du bois de pin pignon. La préceinte, en revanche, dont trois fragments se sont conservés (P37E, P46E et P53E), est confectionnée en pin d'Alep/pin brutia. Enfin, trois éléments de bordages identifiés avec des réparations sont confectionnés en pin pignon (P17E), pin d'Alep/pin brutia (PK07/P14) et en pin d'Alep (PK07/P10). La disponibilité liée à la distribution géographique de ces taxons, tous proches du littoral, illustre bien leur importance pour alimenter un chantier de réparation navale.

La membrure

Parmi les quatre-vingt-dix pièces analysées, onze taxons dont six feuillus et cinq résineux ont été identifiés (fig. 55 et tab. 7). Les essences résineuses sont de très peu majoritaires (les effectifs totaux sont équivalents) : quarante-deux pièces sont confectionnées dans des essences feuillues, quarante-huit sont confectionnées dans des essences résineuses¹⁴⁷.

Fig. 54: Plan de distribution des taxons utilisés pour le bordé (relevés M. Rival, V. Dumas, DAO V. Dumas, CNRS-CCU).

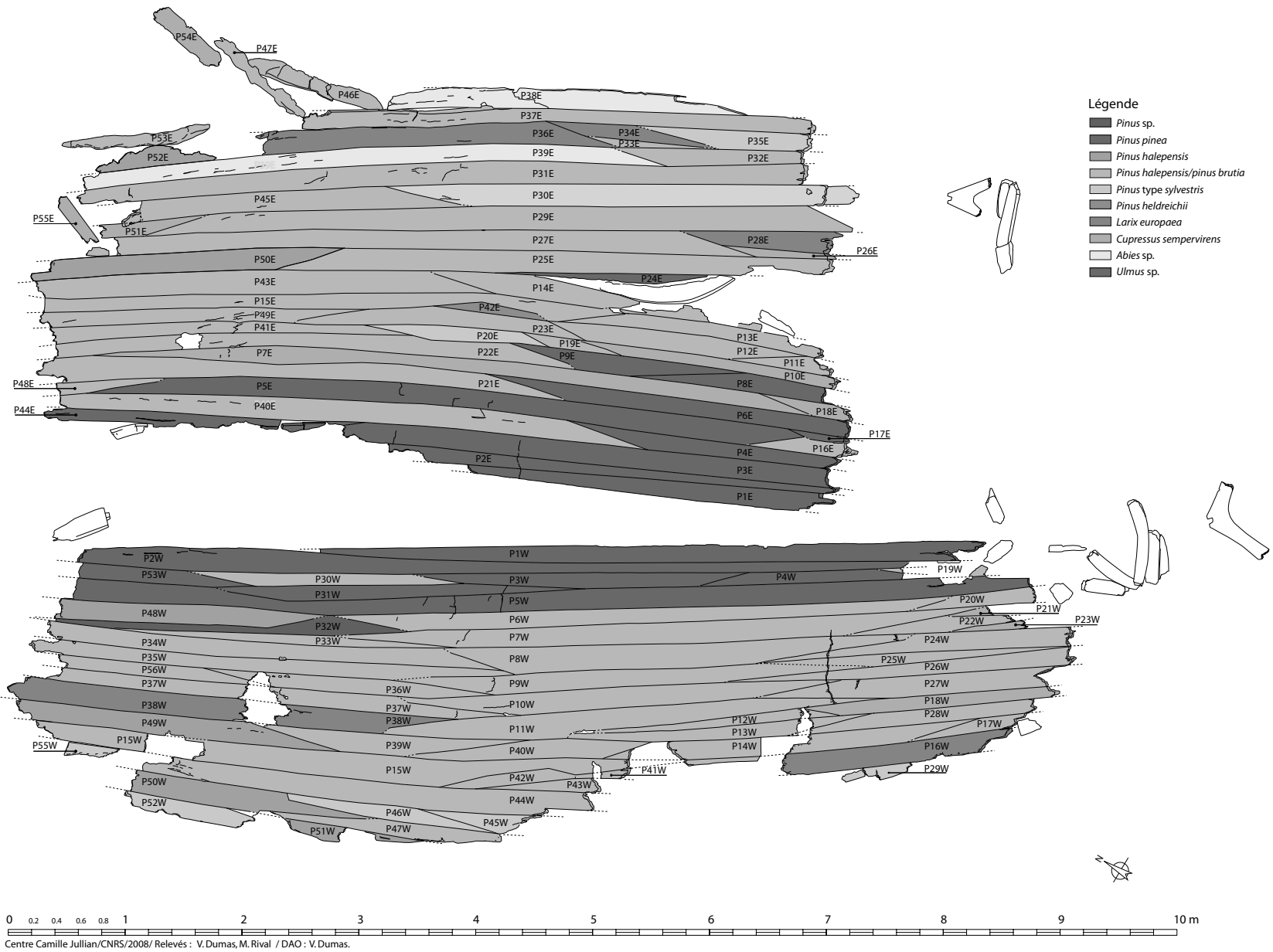


Tableau 6 : Liste des taxons identifiés pour le bordé.

ZONE EST				ZONE OUEST			
n° pièce	identification	latin	français	n° pièce	identification	latin	français
P1E	galbord	<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P1W	galbord	<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
P2E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P2W	réparation?	<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
P3E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P3W		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
P4E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P4W		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
P5E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P5W		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
P6E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P6W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P7E		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès	P7W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P8E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P8W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P9E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P9W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P10E		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès	P10W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P11E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P11W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P12E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P12W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P13E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P13W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P14E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P14W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P15E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P15W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P16E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P16W		<i>Larix europaea</i>	Mélèze
P17E	réparation	<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P17W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P18E		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès	P18W		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès
P19E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P19W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P20E		<i>Pinus type sylvestris</i>	Pin type sylvestre	P20W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P21E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P21W		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès
P22E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P22W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P23E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P23W	réparation?	<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès
P24E		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon	P24W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P25E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P25W	réparation?	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P26E		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès	P26W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P27E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P27W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P28E		<i>Larix europaea</i>	Mélèze	P28W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P29E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P29W		<i>Pinus type sylvestris</i>	Pin type sylvestre
P30E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P30W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P31E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P31W		<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
P32E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P32W	réparation?	<i>Pinus</i> sp.	Pin
P33E	réparation?	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P33W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P34E		<i>Larix europaea</i>	Mélèze	P34W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P35E		<i>Pinus type sylvestris</i>	Pin type sylvestre	P35W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P36E		<i>Larix europaea</i>	Mélèze	P36W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P37E	préceinte	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P37W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P38E		<i>Abies</i> sp.	Sapin	P38W		<i>Larix europaea</i>	Mélèze
P39E		<i>Abies</i> sp.	Sapin	P39W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P40E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P40W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P41E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P41W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P42E		<i>Pinus heldreichii</i>	Pin de Bosnie	P42W	réparation?	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P43E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P43W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P44E		<i>Ulmus</i> sp.	Orme	P44W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P45E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P45W		<i>Pinus type sylvestris</i>	Pin type sylvestre
P46E	préceinte	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P46W		<i>Pinus type sylvestris</i>	Pin type sylvestre
P47E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P47W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
P48E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P48W		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
P49E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P49W		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
P50E		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	P50W		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
P51E		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès	P51W		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
P52E		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	P52W		<i>Pinus type sylvestris</i>	Pin type sylvestre
P53E	préceinte	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	P53W		<i>Ulmus</i> sp.	Orme
P54E		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès	P54W		<i>Ulmus</i> sp.	Orme
P55E		<i>Cupressus sempervirens</i>	Cyprès	P55W		<i>Pinus type sylvestris</i>	Pin type sylvestre
				P56W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia

Comme pour les virures de bordé, le taxon le plus fréquemment identifié est, de loin, le binôme pin d'Alep/pin brutia (24 ex.) suivi par le pin d'Alep (*Pinus halepensis*, 10 ex.)¹⁴⁸ et le pin pignon (*Pinus pinea* L., 10 ex.). Viennent ensuite, parmi les essences les plus employées, le peuplier (*Populus* sp., 12 ex.) et

le frêne (*Fraxinus excelsior*, 9 ex. ; *Fraxinus* sp., 2 ex.), suivis par le binôme peuplier/saule (*Populus* sp./*Salix* sp., 9 ex.) ainsi dénommé en raison du caractère altéré du bois qui rend l'identification du genre trop incertaine.

Ces différents taxons, largement distribués de l'étage de végétation mésomédi-

terrane à l'étage supraméditerranéen et aussi, pour ce qui est des feuillus, en conditions de ripisylves, peuvent avoir facilement approvisionné des chantiers de construction navale.

Six autres taxons ont été identifiés à des fréquences moins importantes : l'orme (*Ulmus*

Fig. 55 : Plan de distribution des taxons utilisés pour la membrane, le vaigrage et l'épontille (relevés M. Rival, V. Dumas, DAO V. Dumas, CNRS-CC).

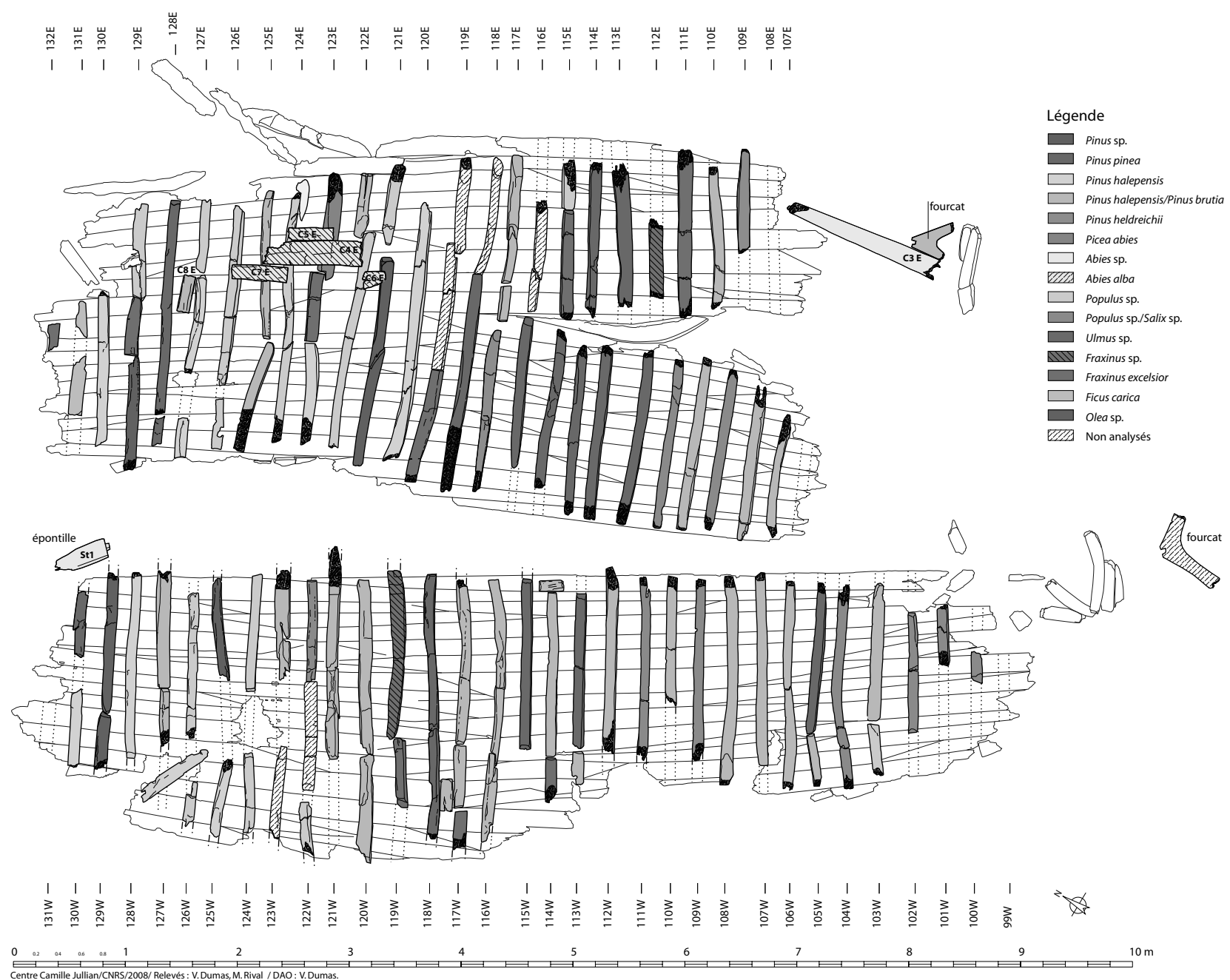


Tableau 7 : Liste des taxons identifiés pour la membrure.

ZONE EST				ZONE OUEST			
n° pièce	identification	latin	français	n° pièce	identification	latin	français
F107E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	F100W		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule
F108E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	F101W		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule
F109E		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule	F102W		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule
F109EE		<i>Pinus heldreichii</i>	Pin de Bosnie	F103W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F110E		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	Fu103W	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier
F110EE		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	F104W		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule
F111E		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule	F105W		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon
F111EE		<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	Fu105W	allonge	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F112E		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon	F106W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
Fu112E	allonge	<i>Fraxinus sp.</i>	Frêne	F107W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F113E		<i>Ulmus sp.</i>	Orme	F108W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F113EE		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon	F109W		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule
F114E		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon	F110W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F114EE		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon	F111W		<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule
F115E		<i>Ulmus sp.</i>	Orme	F112W	demi-couple	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
RF115E	réparation	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	F113W		<i>Ulmus sp.</i>	Orme
Fu115E	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier	Fu113W	allonge	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F116E		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon	F114W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F116EE		Non identifié	Non identifié	RF114W	réparation	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
F117E		<i>Pinus heldreichii</i>	Pin de Bosnie	Fu114W	allonge	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun
Fu117E	allonge ??	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	F115W	varangue	<i>Ulmus sp.</i>	Orme
F118E		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon	F116W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
Fu118E	allonge	Non identifié	Non identifié	F117W	varangue	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
RF118E	réparation	Non identifié	Non identifié	Fu117W	allonge	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun
F119E		<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	RF117W	réparation	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
RF119E	réparation	Non identifié	Non identifié	F118W	demi-couple	<i>Pinus pinea</i>	Pin pignon
Fu119E	allonge	Non identifié	Non identifié	F119W	varangue	<i>Fraxinus sp.</i>	Frêne
F120E		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	Fu119W	allonge	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun
F121E		<i>Pinus sp.</i>	Pin	F120W	demi-couple	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
Fu121E	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier	F121W	varangue	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F122E		<i>Populus sp.</i>	Peuplier	F122W	demi-couple	<i>Populus sp./Salix sp.</i>	Peuplier/Saule
RF122E	réparation	<i>Ficus sp.</i>	Figuier commun	Fu122W	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier
F123E		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	RF122W	réparation	Non identifié	Non identifié
RF123E	réparation	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	F123W	varangue	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
Fu123E	allonge	<i>Picea abies (L.) H. Karst</i>	Epicéa	Fu123W	allonge	Non identifié	Non identifié
F124E		<i>Populus sp.</i>	Peuplier	F124W	demi-couple	<i>Populus sp.</i>	Peuplier
Fu124E	allonge	<i>Populus</i>	Peuplier	Fu124W	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier
F125E		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	F125W	varangue	<i>Pinus sp.</i>	Pin
Fu125E	allonge	<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	Fu125W	allonge	<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
F126E		<i>Populus sp.</i>	Peuplier	F126W	demi-couple	<i>Populus sp.</i>	Peuplier
F127E		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	Fu126W	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier
Fu127E	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier	F127W	varangue	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F128E		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon	RF127W	réparation	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia
F129E		<i>Olea europaea L.</i>	Olivier	Fu127W	allonge	<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
RF129E	réparation	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	F128W	demi-couple	<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
Fu129E	allonge	<i>Populus sp.</i>	Peuplier	F129W	varangue	<i>Olea sp.</i>	Olivier
F130E		<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	RF129W	réparation ?	<i>Olea sp.</i>	Olivier
F131E		<i>Ficus carica</i>	Figuier commun	F130W		<i>Pinus pinea L.</i>	Pin pignon
F132E		<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	Fu130W	allonge	<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
PK07/F1	fourcat	<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia	F131W		<i>Pinus halepensis/P. brutia</i>	Pin d'Alep/P. brutia

sp., 4 ex.), le pin (*Pinus sp.*, 1 ex.), le pin de Bosnie (*Pinus heldreichii* Christ, 2 ex.), le figuier (*Ficus carica* L., 3 ex.), l'olivier (*Olea europaea* L., 3 ex.) et l'épicéa (*Picea abies* (L.) H. Karst, 1 ex.).

L'orme, le pin pignon, le figuier et l'olivier ont des caractéristiques biogéographiques voisines des taxons précédents, mais le pin de Bosnie et l'épicéa, essences montagnardes et subalpines en diffèrent et s'avèrent peu propices à l'alimentation courante des chantiers de construction navale¹⁴⁹. Du fait des incertitudes pour identifier l'espèce de pin, ce résultat ne sera pas commenté.

Le plancher mobile et les vaigres fixes

Les dix éléments identifiés sont confectionnés dans des espèces résineuses: sapin

(*Abies* sp. 2 ex; *Abies alba*, 4 ex.), pin pignon (3 ex.) et pin d'Alep/pin brutia (1 ex.) (fig. 55 et tab. 8).

L'épontille

L'épontille a été confectionnée dans du sapin (*Abies* sp.) (fig. 55 et tab. 8).

Les pièces de liaison

Les gournables et les tenons présentent une homogénéité taxonomique élevée: figuier pour les gournables à l'exception d'un exemplaire confectionné en frêne, chêne vert (*Quercus ilex* L.) ou chêne kermès (*Quercus coccifera* L.) pour les tenons, la probabilité de l'utilisation du chêne vert étant plus éle-

vée dans le domaine de l'architecture navale antique pour lequel cette essence a été très largement attestée (tab. 8)¹⁵⁰.

En revanche, l'emploi du bois de figuier pour les gournables, léger, peu dense et cassant est aussi original que surprenant, tant les propriétés physiques de ce bois se prêtent mal à un tel usage (tab. 8)¹⁵¹. Seuls la présence de figuiers dans le voisinage immédiat des chantiers et le diamètre adapté des rameaux de cet arbre peuvent justifier le recours à cette essence pour cet usage.

Les chevilles présentent une hétérogénéité taxonomique plus forte (tab. 8): le frêne est l'espèce la plus souvent identifiée; le genévrier (*Juniperus* sp.) et pin d'Alep/pin brutia ont aussi été employés.

LES BRANCHAGES ET ÉLÉMENTS DE FARDAGE

Au total, sur vingt et un prélèvements analysés, cinq taxons ont été identifiés : il s'agit du troène (*Ligustrum vulgare* L., 8 ex.), d'olivier (*Olea europaea* L., 4), de filaire (*Phillyrea* sp., 2 ex.), de figuier (1 ex.) et de pin d'Alep (1 ex.). Les cinq espèces partagent la particularité d'être présentes en abondance à basse altitude sur le littoral méditerranéen et, notamment, sur le littoral dalmate et d'offrir ainsi une forte disponibilité¹⁵². En revanche, les propriétés physiques de leurs bois sont très différentes : le troène, l'olivier et le filaire sont dotés de bois durs plus ou moins souples tandis que le bois de figuier est léger, peu dense et peu résistant¹⁵³. La présence du pin d'Alep parmi ces éléments ne semble pas avoir d'autre cause que l'abondance de cette essence à proximité du littoral méditerranéen et, consécutivement, sa disponibilité élevée.

CONCLUSION

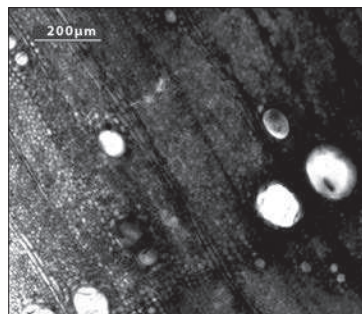
L'hétérogénéité taxonomique est la caractéristique majeure de la coque de l'épave de Pakoštane : au total, pas moins de vingt et un taxons ont été identifiés, davantage si l'on admet que plusieurs espèces parmi les groupes d'essences n'ayant pu être différenciées se trouvent présentes parmi les vestiges (fig. 56).

Les vestiges du navire offrent une large majorité de pièces issues d'essences disponibles dans les étages de végétation méso-méditerranéen et supraméditerranéen, donc aptes à approvisionner assez facilement un chantier de construction navale. Parmi ces essences, la majorité est distribuée dans ces mêmes étages de végétation de basse altitude, le pin d'Alep/pin brutia étant, de loin, le taxon le plus employé. Plusieurs essences dont l'aire de distribution géographique se trouve dans les étages de végétation montagnarde et subalpine sont d'une disponibilité beaucoup plus réduite pour avoir alimenté un chantier de construction navale. Leurs fréquences relatives très faibles parmi les vestiges des virures et pièces de membrure amène à considérer l'hypothèse de pièces provenant de bois réemployés pour justifier leur présence.

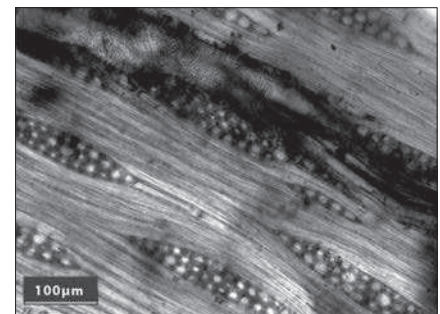
Le bordé, pour lequel huit taxons ont été identifiés, est quasi-intégralement confectionné dans des essences résineuses : leur élasticité élevée, offrant la souplesse nécessaire à la mise en forme des coques selon les procédés de construction « bordé premier » en usage dans l'Antiquité méditerranéenne¹⁵⁴, en est probablement la raison. Une large utilisation du pin d'Alep/pin brutia et un emploi moindre du cyprès et du pin pignon, faciles d'approvisionnement, prévaut (ces 3 taxons représentent 83 % des virures identifiées).

Tableau 8 : Liste des taxons identifiés pour les autres éléments conservés de la coque.

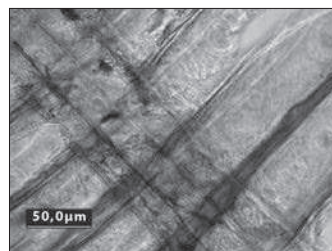
n° fragment	identification	latin	français
C3E	vaigre fixe	<i>Abies</i> sp.	Sapin
C5E	vaigre fixe	<i>Abies alba</i>	Sapin blanc
C4E	vaigre fixe	<i>Abies alba</i>	Sapin blanc
C5W	vaigre fixe	<i>Abies</i> sp.	Sapin
PK07/C1	plancher mobile	<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
PK07/C2	plancher mobile	<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
C4W	plancher mobile	<i>Pinus pinea</i> L.	Pin pignon
C6E	plancher mobile ?	<i>Abies alba</i>	Sapin blanc
C7E	plancher mobile	<i>Abies alba</i>	Sapin blanc
C8E	plancher mobile	<i>Pinus halepensis</i> /P. brutia	Pin d'Alep/P. brutia
St/01	épontille	<i>Abies</i> sp.	Sapin
de P1W	tenon	<i>Quercus ilex</i> /Q. coccifera	Chêne vert/Ch. Kermès
de P1E	tenon	<i>Quercus ilex</i> /Q. coccifera	Chêne vert/Ch. Kermès
de P24W	tenon	<i>Quercus ilex</i> /Q. coccifera	Chêne vert/Ch. Kermès
de P44W	tenon	<i>Quercus ilex</i> /Q. coccifera	Chêne vert/Ch. Kermès
de P39E	tenon	<i>Quercus ilex</i> /Q. coccifera	Chêne vert/Ch. Kermès
de P1W	cheville	<i>Fraxinus</i> sp.	Frêne
de P1E	cheville	<i>Fraxinus</i> sp.	Frêne
de P24W	cheville	<i>Juniperus</i> sp.	Genévrier
de P44W	cheville	<i>Pinus halepensis</i> /P. brutia	Pin d'Alep/P. brutia
de P39E	cheville	<i>Fraxinus</i> sp.	Frêne
de F101W	gournable	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
de F112W	gournable	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
de F108E	gournable	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
de F110W	gournable	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
de F116W	gournable	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
de F117W	gournable	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
de Fu122W	gournable	<i>Ficus carica</i>	Figuier commun
PK07/P10	bordé de réparation	<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep
de PK07/P10	tenon de réparation	<i>Quercus ilex</i>	Chêne vert
PK07/P14	bordé de réparation	<i>Pinus halepensis</i> /P. brutia	Pin d'Alep/P. brutia
de PK07/P9	tenon de réparation	<i>Quercus ilex</i>	Chêne vert
de PK07/P9	tenon	<i>Quercus ilex</i>	Chêne vert
de PK07/P9	tenon	<i>Quercus ilex</i>	Chêne vert



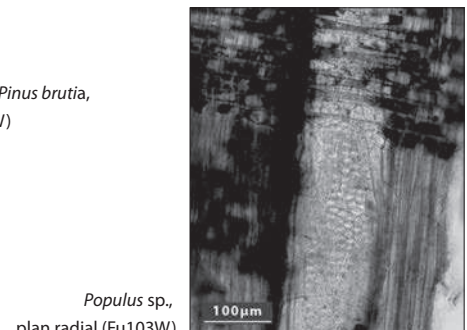
Fraxinus sp., plan transversal (Fu112E)



Fraxinus sp., plan radial (Fu112E)



Pinus halepensis/Pinus brutia, plan radial (P12W)



Populus sp., plan radial (Fu103W)

Fig. 56 : Coupes minces de l'allonge Fu112E (*Fraxinus* sp. - plan transversal, plan radial), de l'allonge Fu103W (*Populus* sp., plan radial) et de la virure P12W (*Pinus halepensis*/Pinus brutia - plan radial) (cliché C. Cenzon-Salvyre, Aix-Marseille Université-LA3M).

Si le pin d'Alep/pin brutia et le peuplier représentent 51 % des pièces identifiées pour la réalisation de la membrure, celle-ci montre une forte diversité taxonomique avec quatorze taxons identifiés, parmi lesquels autant de feuillus que de résineux, faisant intervenir des essences de disponibilité variée et même des essences de qualité médiocre tels le peuplier et le figuier.

Au vu des essences identifiées et de leur fréquence relative en termes de pièces architecturales, si l'on tient compte qu'à l'époque antique l'environnement végétal du littoral continental dalmate était, dans sa physionomie et sa composition floristique, proche de l'environnement actuel, les essences les plus fréquemment identifiées parmi les vestiges du navire étaient d'une disponibilité élevée sur la frange littorale dalmate et amènent à ne pas exclure une origine géographique locale. Il ne s'agit, cependant, que d'une hypothèse car toutes ces essences sont bien présentes sur l'ensemble du littoral méditerranéen.

LE CONTENU POLLINIQUE DE LA POIX DE PROTECTION DE LA COQUE

Valérie Andrieu-Ponel¹⁵⁵

L'analyse pollinique de neuf échantillons de poix (tab. 9) provenant de l'épave de l'Antiquité tardive retrouvée sur la côte méditerranéenne à Pakoštane (Croatie) a été effectuée en 2010. Les poix étudiées étaient étalées en fine couche sur des plaquettes de plomb qui ont servi à réparer le bateau alors qu'il était encore en activité. Les données obtenues ont été comparées aux travaux analogues menés à bien sur la côte dalmate¹⁵⁶, en France¹⁵⁷ et en Israël¹⁵⁸ sur de la poix, du matériel de calfatage ou du sédiment prélevés sur les épaves ou à proximité de ces bateaux échoués d'âge romain ou plus tardif.

Tableau 9 : Correspondance entre le code des échantillons de poix et le libellé des plaquettes de plomb de réparation.

Code	Libellé des échantillons
1	PK08/44
2	PK08/167
3	PK08/116
4	PK08/139
5	PK08/152
6	PK08/153
7	PK08/188
8	PK08/173
9	PK08/147

Tableau 10 : Assemblage pollinique, en fréquences absolues, des échantillons de poix.

Taxons polliniques	Echantillons (code)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Alnus glutinosat.</i>	0	1	0	0	1	1	1	0	0
<i>Arbutus unedo</i>	0	0	0	1	3	1	3	2	3
<i>Betula</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Corylus avellana</i>	0	0	1	0	3	0	0	5	0
<i>Daphne</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Erica arborea</i>	10	22	17	8	18	23	24	13	11
<i>Juglans</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Olea</i>	2	5	6	1	11	9	3	4	5
<i>Phillyrea</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Pinus sylvestris t.</i>	184	219	252	264	290	445	183	155	215
<i>Pinus halepensis t.</i>	164	89	85	84	150	50	144	68	83
<i>Pistacia</i>	0	1	1	0	1	1	0	1	0
<i>Quercus caduc.</i>	7	5	0	1	5	3	52	2	4
<i>Quercus ilex t.</i>	2	1	0	1	0	4	0	3	0
<i>Quercus suber t.</i>	0	2	0	1	3	0	0	0	0
<i>Sambucus</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Ammi</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Apiaceae	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Artemisia</i>	3	7	4	1	4	0	5	4	2
<i>Aster</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Centaurea nigra</i>	1	0	0	1	1	0	0	0	0
Cerealia	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Chenopodiaceae	1	0	0	0	0	2	1	2	1
<i>Circium</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Cistus</i>	8	1	2	1	9	3	3	3	4
Cyperaceae	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Galium</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Geranium</i>	2	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Helianthemum</i>	1	0	0	1	0	0	0	2	0
Lamiaceae	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Odontites</i>	0	0	2	1	0	1	1	2	0
Poaceae	0	2	0	0	4	3	2	1	0
<i>Rosmarinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Rumex</i>	0	0	0	1	0	2	1	0	0
<i>Sedum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Turgenia latifolia</i>	1	0	0	0	0	0	1	1	0
Filicales trilètes	0	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Isoetes</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Scutellaria</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Sparganium-Typha</i>	1	4	7	8	6	10	12	9	7
Type 173A	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Type 204	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Total pollinique	390	366	378	378	511	565	439	280	337
Poids éch. (g.)	1,5	2,3	1,8	0,2	2,3	6,9	2,3	0,5	1

Le principal objectif de cette étude est de délimiter géographiquement, à partir des assemblages polliniques, la région où la résine qui a servi à réparer le bateau de Pakoštane a été fabriquée : sur le littoral croate, ou ailleurs, dans le bassin méditerranéen occidental ? En Méditerranée orientale, ou dans un port fluvial installé en région méditerranéenne ou médio-européenne (à végétation caducifoliée non méditerranéenne, centro- et ouest-européenne) ?

LES TECHNIQUES D'EXTRACTION DU POLLEN

Ces techniques ont été décrites en détail dans une autre contribution¹⁵⁹, rappelons cependant que l'usage de solvant est requis pour éliminer la poix. Le reliquat est ensuite acétolysé (l'acétolyse est une hydrolyse acide), filtré sur deux tamis de 160 microns et de 10 microns, mélangé à de la glycérine puis monté entre lame et lamelle pour être observé à l'aide d'un microscope photonique.

LES DONNÉES POLLINIQUES

Les échantillons polliniques de poix de Pakoštane ont livré 42 taxons de plantes vasculaires, de cryptogames et de champignons microscopiques. Parmi les plantes vasculaires, 16 taxons sont des ligneux et 22 sont des herbes. Les cryptogames de Pakoštane sont des fougères et les éléments microscopiques des champignons rencontrés au cours de l'analyse sont des conidies.

Les assemblages polliniques sont, dans l'ensemble, caractérisés par une forte domination du pollen d'arbres (moyenne de 96,5 % de la Somme Pollinique : S.P.) et parmi eux, ce sont les pins de montagne (*Pinus sylvestris* type, le pin sylvestre : moyenne de 61,2 % de la S.P.) et les pins méditerranéens (*Pinus halepensis* type, le pin d'Alep : moyenne de 26,2 %) qui présentent les fréquences les plus élevées (tab. 10). Le type *P. halepensis* inclut des espèces méditerranéennes comme *P. halepensis* subsp. *brutia*, le pin de Turquie, *P. heldreichii*, le pin de Bosnie, *P. pinea*, le pin pignon, ou *P. pinaster*, le pin maritime, toutes présentes à l'état naturel ou plantées

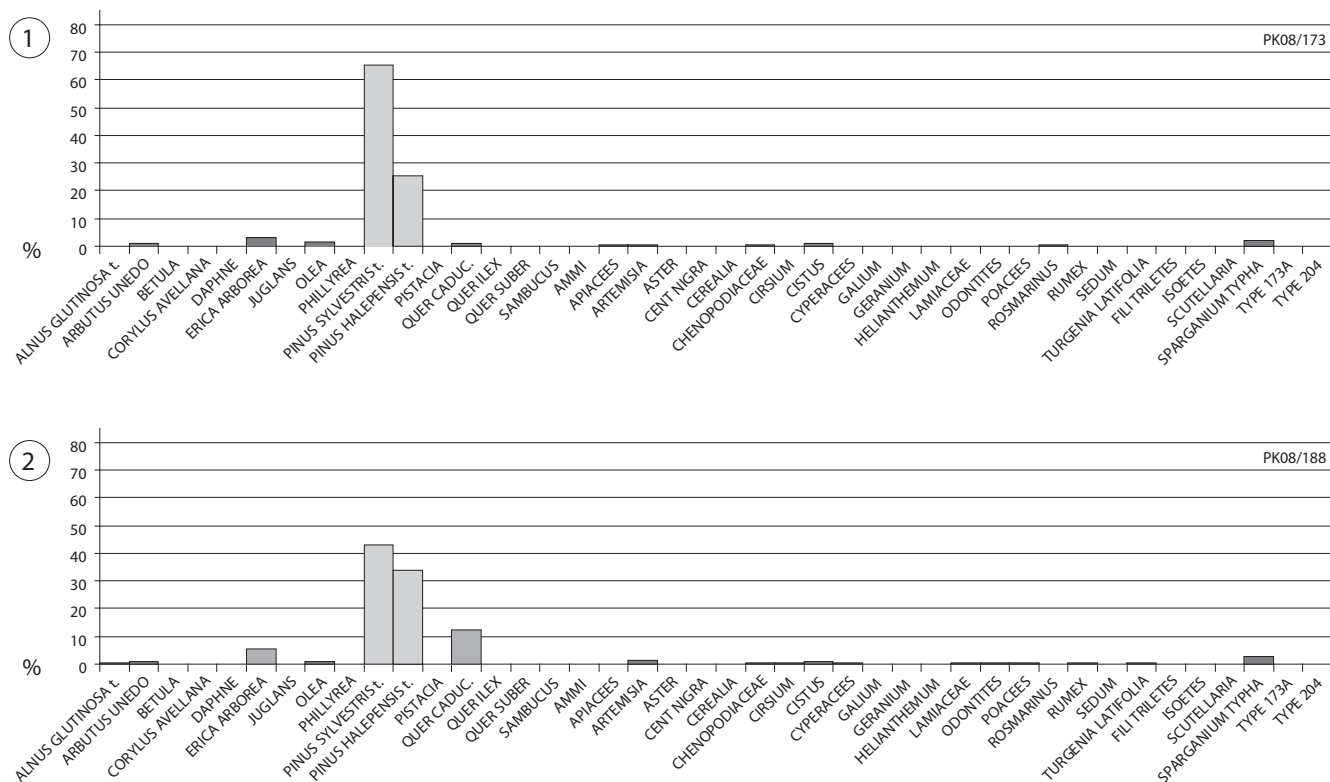


Fig. 57: Contenu pollinique en fréquences relatives des échantillons de poix issus des plaquettes de plomb de réparation PK08/173 (1) et PK08/188 (2).

(*P. pinaster*) en Croatie¹⁶⁰, dans des régions proches de la côte car ces arbres sont sensibles aux gelées hivernales. Le cortège pollinique comprend aussi le pollen de plantes ligneuses typiques du maquis méditerranéen dont *Erica arborea* (la bruyère arborescente) qui est l'élément dominant (4,1 % de la S.P.), ainsi qu'*Arbutus unedo* (l'arbousier), *Daphne* (le daphné), *Rosmarinus* (le romarin) et *Cistus* (le ciste). Le pollen de *Quercus suber* type (le chêne liège) a été observé. Il est présent en faible quantité (< 1% de la S.P.), dans trois échantillons seulement. Ce taxon pollinique est un type morphologique qui rassemble le pollen de chênes méditerranéens, tous de grande taille, comme *Quercus suber* (le chêne liège), *Q. cerris* (le chêne chevelu), *Q. crenata* (le faux chêne liège) et *Q. macrolepis*, le chêne vilapi¹⁶¹. Ces espèces de chênes sont présentes, de nos jours, en Croatie¹⁶² sauf *Q. suber* (le chêne liège) dont l'aire géographique est limitée aux régions de Méditerranée occidentale (Italie, France, Espagne). Les notations irrégulières de *Pistacia* (le pistachier) et de *Phillyrea* (le filaire) associées à celles, plus abondantes, d'*Olea* (l'olivier) témoignent de l'existence d'une brousse ligneuse à Oleaceae qu'à présent on retrouve dans des régions littorales ou de l'intérieur des terres mais peu élevées en raison de la sensibilité de ces plantes aux gelées. Peu de pollen de chêne de la chênaie caducifoliée ou de la chênaie sclérophylle (*Quercus ilex*, le chêne vert) a été dénombré dans les assemblages. C'est aussi le cas des herbacées rudérales (*Artemisia*, l'armoise) et

des plantes cultivées (Cerealia, les céréales) ou messicoles (*Turgenia latifolia*, la turgénie à larges feuilles). Le pollen de plantes de milieux humides comme *Sparganium-Typha* (inclut plusieurs espèces de *Sparganium*, le rubanier et de *Typha*, la massette) est observé dans les assemblages de la plupart des échantillons étudiés. Comme le taux de Poaceae est constamment très faible (inférieur à 1 % de la S.P.), on ne peut pas envisager la présence d'une phragmitaie (formation de hautes herbes dominée par une espèce de Poaceae: *Phragmites australis*, le roseau commun) au sein de laquelle ces héliophytes se rencontrent habituellement, mais plutôt penser que ces plantes devaient pousser isolément, dans des fossés d'eau douce, à proximité du lieu de fabrication de la poix.

INTERPRÉTATION

Le lieu de fabrication de la poix

La simple lecture du tableau 10 montre la très grande homogénéité de l'enregistrement, marqué par la présence et la domination constante du pollen de pins de montagne et de pins méditerranéens (fig. 57, 1). Seul l'échantillon PK08/188 (fig. 57, 2) se distingue des autres par la plus grande fréquence – mais modeste, de l'ordre de 12,2 % de la S.P. – du pollen de chêne caducifolié (*Quercus caduc.*, le chêne à feuillage caduque). Ces éléments s'accordent pour montrer que la poix de tous

les échantillons de l'épave de Pakoštane a une provenance unique, qu'une seule préparation de poix a été utilisée pour réparer le bateau et que la réparation a été faite en une seule fois avec la même poix.

Le cortège des taxons polliniques identifiés indique que la poix a pu être fabriquée sur la côte méditerranéenne, plutôt de Méditerranée occidentale (Adriatique inclus) que de Méditerranée orientale (absence de taxons caractéristiques de ces régions), dans un environnement forestier dominé par une pinède. Il est d'ailleurs possible que la poix utilisée par les artisans soit de la résine de pin étant donné les fréquences particulièrement fortes du pollen de *Pinus*, le pin (moyenne de 87,4 % de la S.P. des 9 échantillons). L'absence ou la grande rareté de plantes de végétations salées comme *Tamarix*, le tamaris (non noté dans nos échantillons) ou des Chénopodiacées (4 notations seulement avec des fréquences < 1 % de la S.P.) semblent indiquer que la pinède d'où provient la résine n'est pas une pinède strictement littorale, de bord de mer. Il est dès lors possible, aussi, que la fruticée d'Oléacées, retrouvée dans les assemblages, ne soit pas représentative d'une brousse rigoureusement littorale comme on peut en observer de nos jours en bordure de la côte méditerranéenne, mais d'une brousse installée en situation plus continentale, à l'intérieur des terres, mais pas trop éloignée de la mer pour bénéficier, en hiver, de températures clémentes.

Les ligneux méditerranéens retrouvés à Pakoštane sont typiques des formations

végétales qui composent de nos jours le maquis. Il s'agit de taxons strictement calcifuges (*Arbutus unedo*, l'arbousier) ou caractéristiques du cortège de la fruticée siliciphile méditerranéenne (*Erica arborea*, la bruyère arborescente, *Daphne*, le daphné, *Cistus*, le ciste, *Rosmarinus*, le romarin). Ces taxons permettent d'identifier le type de substratum rocheux proche du lieu de fabrication de la poix de Pakoštane, qui devait comporter aux côtés des affleurements calcaires des anciennes mers du Mésozoïque, des zones dolomitiques pauvres en carbonate de calcium ou des dépressions remplies d'argiles rouges décalcifiées susceptibles d'accueillir des ligneux incapables de pousser sur des sols calcaires.

La faible représentation des plantes cultivées, adventices des cultures ou messicoles dans les assemblages polliniques montre que les populations humaines locales avaient peu transformé le paysage végétal, toujours dominé par la forêt. Cet état s'oppose à celui des forêts méditerranéennes de la bordure méditerranéenne occidentale française où les données polliniques montrent que lorsque les Romains se sont installés, les paysages forestiers avaient déjà été largement modifiés (déboisés, cultivés) par les populations indigènes¹⁶³. H.J. Beug¹⁶⁴ et R. Sostarić¹⁶⁵, dans leurs études sur la côte dalmate, soulignent le maintien tardif d'un état forestier dense de la végétation dans cette région, qui peut être expliqué par la faible densité démographique de ce secteur, peut-être liée à la faiblesse des ressources disponibles dans un environnement géomorphologique hostile (montagnes abruptes qui surplombent une ligne côtière étroite).

Comparaisons

La littérature dédiée à l'étude du contenu pollinique de matériaux organiques de protection récoltés à bord d'épaves antiques n'est pas très abondante. Les travaux de S. Wicha et M. Girard¹⁶⁶ et ceux de S.D. Muller¹⁶⁷ portant sur l'analyse de la poix de protection d'une série d'épaves romaines retrouvées le long de la côte méditerranéenne française, du Var à la Catalogne, permettent de localiser approximativement les ateliers de fabrication de ces bateaux à partir de taxons polliniques marqueurs, soit dans le bassin oriental de la Méditerranée, soit dans le bassin occidental.

À notre connaissance, les études les plus récentes effectuées sur la côte dalmate sont celles que nous avons menées à bien sur la poix de l'épave romaine de Caska dans l'île de Pag¹⁶⁸. Le cortège pollinique de ces poix montre que celles-ci ont été élaborées au sein d'un paysage forestier subméditerranéen (chênaies) et de montagne (sapinière) largement transformé par les activités agro-

pastorales (céréaliculture, fruiticulture, prairies à plantes nitrophiles) des populations humaines locales. La présence de pollen de hêtre (*Fagus*) et de sapin (*Abies*) dans les assemblages indique que les poix de Caska ont été fabriquées à proximité du lieu d'échouage du bateau. La hêtraie-sapinière est, en effet, une composante floristique des régions de moyenne altitude des Alpes dinariques qui longent la côte Adriatique et, par ailleurs, le pollen du hêtre et du sapin n'est ni produit en grande quantité, ni transporté sur de longues distances¹⁶⁹.

L'analyse pollinique d'échantillons recueillis sur l'épave *Ma'agan Mikhael* (Israël, vers 400 av. J.-C.), montre un autre aspect de l'intérêt de l'analyse pollinique en archéologie navale. Les assemblages sont, en effet, caractérisés par une très forte domination du pollen de céréales et de Poaceae non cultivées qui conduisent les auteurs à penser que les spectres polliniques représentent vraisemblablement la charge en céréales transportée par le bateau peu de temps avant son naufrage¹⁷⁰.

CONCLUSION

L'analyse pollinique des poix utilisées à des fins de protection et/ou calfatage ou pour effectuer des réparations sur la coque des bateaux paraît être un bon outil pour identifier le lieu de fabrication de ces poix et savoir si celles-ci ont été élaborées à proximité ou, au contraire, à distance des zones où les épaves reposent. Les études menées jusqu'à présent montrent que, dans certains cas spécifiques¹⁷¹, les produits de protection (poix¹⁷²) ou de calfatage/lutage (touffes de mousse¹⁷³), sont collectées à proximité des ateliers de construction ou de réparation des bateaux, sans doute parce qu'il s'agit de produits faciles à trouver dans la nature. En revanche, les poix ne peuvent pas être considérées par les naturalistes comme une archive de qualité pour reconstruire les anciennes végétations à des fins paléoécologiques et paléoclimatiques car il s'agit de produits manufacturés, fabriqués par des artisans pour un usage particulier et non un piège naturel où se dépose le pollen présent dans l'atmosphère.

Dans l'avenir, il faudrait pouvoir effectuer conjointement des analyses du pollen, des bio-marqueurs moléculaires et des isotopes du carbone¹⁷⁴ sur des poix fossiles provenant d'épaves. Ces techniques biologiques et chimiques nous permettraient d'identifier avec un plus grand degré de certitude la nature des produits d'étanchéité utilisés en architecture navale. Il nous serait aussi possible de savoir si les poix utilisées sont des produits simples, issus seulement du gemmage des résineux, ou des produits un peu plus complexes mélangés à des éléments d'origine végétale (huile) ou animale (poils, graisses). Cette approche

croisée pourrait, aussi, apporter des informations plus précises sur le type de poix utilisées à différentes époques. Nous pourrions aussi savoir si les pratiques étaient les mêmes en Méditerranée occidentale et orientale, dans les îles où les ressources végétales sont moins diversifiées que sur le continent, et le long des fleuves, à l'intérieur des terres. Il faudrait également compléter les analyses polliniques des poix fossiles par celles de touffes de mousses actuelles prélevées dans différents écosystèmes le long de transects altitudinaux et latitudinaux afin de l'obtenir d'une part, une bonne calibration statistique entre la pluie pollinique actuelle et la végétation¹⁷⁵ et, d'autre part, des indications précises et scientifiquement étayées du lieu de fabrication des poix utilisées en construction navale.

LES PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DE L'ÉPAVE DE PAKOŠTANE

L'étude de l'épave de Pakoštane, dans le cadre d'un projet de recherche biennal franco-croate, a permis non seulement d'établir une collaboration scientifique très enrichissante, mais elle a aussi été l'occasion d'appréhender un grand nombre de données nouvelles pour la connaissance du gisement et du navire, informations enregistrées sur le terrain ou bien obtenues suite à l'élaboration de la documentation et à la réalisation d'analyses complémentaires¹⁷⁶.

Tout d'abord, ce navire transportait une cargaison d'origine principalement africaine et possédait une cuisine avec un foyer construit en poste fixe à une des extrémités. L'étude du mobilier, très peu abondant et brisé en plusieurs fragments, a été déterminante car elle nous a permis non seulement d'identifier un type d'amphore de stockage jamais attesté auparavant sur une épave de Méditerranée, mais elle nous a aussi fourni des éléments de datation très précis qui permettent désormais de situer le naufrage entre le dernier quart du IV^e s. et le premier quart du V^e s. apr. J.-C.¹⁷⁷.

Cette datation tardive est confirmée par les caractéristiques architecturales de l'embarcation. Celle-ci présente également des particularités dignes d'être mises en évidence.

Tout d'abord, le plan de bordé fait apparaître une forte présence de joints obliques et de joints perdus qui déterminent des virures composées de plusieurs bordages arrangés, parfois, de manière très peu ordonnée (fig. 29). Cela peut être sûrement dû à la présence de réparations, comme notre étude le démontre bien, mais également à une disponibilité de bois de moindre qualité pour l'approvisionnement du chantier de construction. La présence de nœuds, observés sur plusieurs bordages et

sur les prélèvements effectués au niveau des plaquettes de réparation, et l'utilisation de débits de mauvaise qualité (sur dosse), plaident en faveur d'un petit chantier aux moyens limités. En outre, le grand nombre de taxons identifiés (10), à côté d'une utilisation préférentielle du pin pignon (premières virures près de la quille) et du pin d'Alep (reste du bordé), pourrait être lié non seulement aux réparations mais également à l'utilisation de chutes de billes de bois disponibles sur le chantier et ayant été utilisées auparavant pour d'autres commandes (fig. 54)¹⁷⁸.

Le plan de la membrure se caractérise également par une extrême fragmentation des pièces et par une grande hétérogénéité des espèces utilisées pour la construction (11). Là encore, on retrouve les mêmes taxons employés pour le bordé (pin pignon, pin d'Alep, pin de Bosnie, sapin, orme) avec, en outre, l'utilisation d'épicéa, frêne, olivier, peuplier/saule et figuier (fig. 53). L'utilisation de ce dernier taxon, assez peu propice pour la construction navale en raison de son bois léger, peu dense et peu résistant¹⁷⁹, est limitée à deux pièces de réparation (RF114W et RF122E)¹⁸⁰.

Quant à l'identification du chantier de construction du navire à partir des analyses xylogiques, F. Guibal reste prudent sans pourtant exclure une origine locale¹⁸¹.

En dernier lieu, une autre originalité de l'épave de Pakoštane consiste en l'utilisation d'un grand nombre de réparations en plomb, notamment des plaquettes de petites dimensions, appliquées sur des nœuds ou bien de fentes du bordé (fig. 46), selon une pratique attestée sur d'autres épaves méditerranéennes de l'Antiquité tardive.

Selon les analyses palynologiques effectuées sur la poix prélevée sur neuf de ces plaquettes, ce produit a une provenance unique. Une seule préparation a donc été utilisée pour réparer le bateau et la réparation a été faite en une seule fois avec le même produit¹⁸². Les diagrammes polliniques indiquent, en outre, que le lieu de production de la poix utilisée pour ces réparations n'était pas situé en bord de mer mais dans un environnement forestier, méditerranéen, dominé par une pinède¹⁸³.

Dynamique du naufrage et de transformation du gisement sous-marin

Le navire de Pakoštane s'est échoué dans 0,50/0,75 cm voire 1/1,25 m d'eau¹⁸⁴ sur un fond de baie face à l'îlot actuel Veli Školj (fig. 11)¹⁸⁵. Le bateau, orienté nord-ouest/sud-est, s'est couché sur son flanc est ce qui explique que tout le mobilier, écrasé, provient de l'extrémité nord-est de l'épave où était située la cuisine de bord.

Concernant la dynamique du naufrage et de transformation du gisement sous-marin, nous pouvons émettre deux hypothèses :

1) Le bateau a heurté violemment un haut-fond entraînant ainsi une voie d'eau importante dans la coque. Il n'aurait néanmoins pas fait naufrage immédiatement et serait venu s'échouer près de l'île¹⁸⁶. Le choc aurait provoqué un affaiblissement des liaisons entre galbords et quille, provoquant la dissociation puis la perte définitive de la quille par la suite¹⁸⁷. C'est cette hypothèse que nous avons privilégiée lors de la publication préliminaire de l'épave de Pakoštane¹⁸⁸ ;

2) Le bateau, très ancien et maintes fois réparé, a été abandonné intentionnellement près du rivage. La quille, au vu de la faible profondeur, aurait pu être prélevée afin de la réutiliser pour la construction d'une autre embarcation¹⁸⁹.

ANNEXE: LA PHOTOGRAMMÉTRIE NUMÉRIQUE APPLIQUÉE À L'ARCHITECTURE NAVALE: LE CAS DE L'ÉPAVE DE PAKOŠTANE Vincent Dumas¹⁹⁰

L'application en milieu immergé de la photogrammétrie numérique multi images à travers des logiciels comme PhotoModeler (Eos Systems inc.) semble être une solution intéressante pour réaliser des relevés archéologiques. Cette solution est peu coûteuse et assez légère à mettre en œuvre. Des expériences conduites récemment s'attachent à construire des réseaux de points de référence fiables et à positionner des éléments archéologiques au cours de la fouille¹⁹¹ ou à modéliser les cargaisons¹⁹². Cependant, le peu de travaux qui ont conduit à l'élaboration d'une documentation exploitable en archéologie navale ont été réalisés lors de la découverte d'épaves dans des anciens bassins portuaires, en milieu terrestre¹⁹³.

Dans le cadre de l'opération de Pakoštane, notre projet n'était pas de proposer un modèle tridimensionnel photoréaliste, mais de mettre au point un mode opératoire valable et aisément reproductible de relevés basé sur l'utilisation de la photogrammétrie numérique afin de dresser une planimétrie fiable et précise de l'épave¹⁹⁴.

Dans un premier temps, plusieurs expérimentations ont été réalisées en laboratoire sur des modèles de restitution et des maquettes de bateaux à différentes échelles. Nous avons ainsi établi un protocole de travail préliminaire et vérifié l'intérêt de l'opération et les limites de la méthode employée. La deuxième

phase d'expérimentation a été conduite sur le terrain lors de la campagne de fouille de l'épave en 2008.

Éloignée de la côte d'environ 280 m (fig. 2), cette épave gît à une profondeur comprise entre 2 et 3 m selon les fluctuations de la hauteur de l'eau due au phénomène du marnage qui, dans cette zone de l'Adriatique, peut atteindre les 50 cm. Ce phénomène, dont l'impact pour le travail sur ce site de basse profondeur n'est pas négligeable, nous a contraints à organiser la couverture photographique en fonction des périodes les plus propices (étale de haute mer).

La proximité de la surface entraîne également des problèmes de stabilité. La houle, même faible, oblige le photographe à se rapprocher de l'épave afin de retrouver une zone plus calme. Le manque de recul par rapport à l'objet à photographier engendre une augmentation du nombre de prises de vues. À cette faible profondeur, la turbidité liée aux conditions climatiques peut ajouter une difficulté supplémentaire.

Nous avons choisi d'utiliser comme base de travail le marquage effectué sur les structures (fig. 25, 35 et 44). Cette opération consiste à matérialiser la position des différents éléments architecturaux par divers repères (punaises pour les chevilles et les gournables, fils de fer plastifiés pour les alignements du bordé)¹⁹⁵. Ces marques ont été utilisées comme autant de points d'appuis à la réalisation de la photogrammétrie. Ces points avaient l'intérêt d'être nombreux et clairement identifiables, d'être répartis régulièrement sur les vestiges de l'épave et, surtout, de correspondre à des caractéristiques architecturales remarquables.

Afin de compléter cet ensemble et d'assurer une bonne cohérence géométrique, un réseau de cibles de calage a été positionné autour de la structure à relever. La question de l'orientation et de la mise à l'échelle a été résolue en utilisant une équerre de maçon placée au centre de l'épave, entre les deux parties conservées de coque (fig. 21 et 58). Cette équerre a été orientée au Nord afin de définir notre axe X, Y. La matérialisation d'un plan horizontal de référence (et par conséquent du Z) s'est effectuée à l'aide de niveaux à bulle. Pour effectuer *a posteriori* une mise à l'échelle du modèle 3D, nous nous sommes également servis de cette équerre comme étalon. Afin de géo-référencer l'épave et la localiser précisément dans son contexte topographique et géomorphologique, des cibles placées le long du périmètre de l'épave ont été mesurées par tachéométrie depuis le rivage¹⁹⁶.

Une fois l'ensemble de la structure marquée, le carroyage métallique déposé et la structure bien nettoyée, les prises de vues ont été réalisées par Philippe Groscaux (photographe au Centre Camille Jullian) avec un appareil Nikon D70s dont la focale de l'objectif avait été préalablement bloquée sur 20 mm

(fig. 58). La calibration du couple optico-numérique a été effectuée en immersion à l'aide de la mire de calibration fournie par l'éditeur du logiciel (PhotoModeler 5).

La structure d'une épave, même écrasée et aplatie comme celle de Pakoštane, est complexe. Dans ce cas spécifique, la maille serrée des membrures a constitué un facteur de difficulté car elle rendait peu visible l'organisation du plan de bordé. Cependant, l'excellente qualité de conservation du bois a été un facteur positif rendant les bords des virures et les arrêtes des membrures bien visibles et identifiables sur les photos. Afin de réduire au maximum le nombre de zones masquées, nous avons décidé de multiplier les prises de vues en privilégiant un recouvrement des clichés de l'ordre de 60 %. Quatre passages (deux longitudinaux et deux transversaux) à 45 degrés ont été réalisés afin de couvrir l'épave sous plusieurs angles. Des passages obliques ont également été effectués afin de combler d'éventuelles zones d'ombre. Quatre autres couvertures zénithales ont été réalisées afin de compléter les premiers passages, mais également avec l'objectif de dresser un ortho-plan. Au total près de 680 clichés ont été réalisés.

La construction du modèle tridimensionnel s'est accomplie en laboratoire par le biais du logiciel PhotoModeler 5. Quarante-deux clichés ont été nécessaires afin d'enregistrer par corrélation près de 4600 points, positionnant les chevilles du bordé, les gournables liant les membrures au bordé et les agrafes métalliques matérialisant les contours des virures. Afin de modéliser le périmètre de l'épave, des points caractéristiques bien visibles ont servi d'accroches. Il est à noter

que les parties de l'épave jouxtant les bermes de limite de fouille présentent des points dont les indices de précisions sont moins satisfaisants car la couverture photographique est ici plus difficile. Il est donc important de prévoir une zone ouverte et bien nettoyée d'environ cinquante centimètres autour de l'objet à modéliser.

Le modèle filaire, une fois mis à l'échelle et orienté, a été ensuite exporté sous le logiciel de C.A.O./D.A.O. AutoCAD (éd. Autodesk) afin de réaliser une mosaïque d'ortho-photographies destinée à produire l'ortho-plan de référence. Cette étape du travail a utilisé une partie des clichés zénithaux (68) qui ont été redressés sur les points d'appuis créés avec PhotoModeler. Pour effectuer cette opération de redressement nous avons utilisé un applicatif d'AutoCAD (RealView, éd. Vector)¹⁹⁷. La faible profondeur, l'utilisation d'une focale entraînant peu de déformations et le traitement de la seule partie centrale des clichés, expliquent qu'une photo ne couvre au final approximativement qu'un mètre carré. En contrepartie, cette limite a permis d'obtenir un niveau de détail extrêmement utile lors de la phase de vectorisation.

Au final, deux plans de redressement ont été définis donnant lieu à l'élaboration de deux ortho-plans distincts : un pour le bordé, le second pour les membrures. Le premier plan destiné au redressement du bordé (fig. 59) a été effectué sur la base de l'ensemble des points matérialisant l'emplacement des chevilles (punaises), des joints du bordé (agrafes), complété par les cibles placées tout autour de l'épave. Le deuxième plan destiné au redressement des membrures a été créé en utilisant les gournables présentes sur la face supérieure de ces dernières. Ces deux mosaïques ont ensuite été exportées sous un logiciel de vectorisation (Illustrator, éd. Adobe) afin d'en effectuer la mise au net. Une fois terminées, les deux planimétries ont été superposées pour obtenir le plan complet des vestiges (fig. 21).

La dernière opération, probablement la plus difficile, a consisté à assembler les planimétries de 2007 et 2008. Le premier plan reprend et intègre le relevé réalisé par l'Université de Zadar en 2004. La seconde planimétrie, comme nous venons de le voir, a été réalisée par photogrammétrie (fig. 13). L'assemblage de ces deux plans d'origine diverse a posé plusieurs problèmes. Chaque relevé présente des différences liées aux diverses méthodes employées, à leur niveau de détail et d'imprécision, mais également au nombre d'intervenants (pour le relevé sous-marin, la mise au net, etc.). Lors de la fouille de 2008, nous avons pris soin de désensabler une partie de la coque déjà fouillée l'année précédente afin d'assurer une zone de jonction commune entre les deux relevés. Malgré nos craintes, les deux plans se sont assez bien superposés. En

revanche, en 2008, nous avons constaté une détérioration du bois des terminaisons des membrures. Leur dessin a donc été repris sur le plan 2007 lorsque cela a été possible. Nous avons également eu quelques problèmes avec les bordages relevés en cotes cumulées en 2007. Afin de rendre le plan final plus homogène nous avons choisi de rectifier certaines virures qui semblaient mal orientées.

Au terme du travail, l'utilisation de la photogrammétrie numérique dans le cadre d'une étude d'architecture navale s'est révélée une méthode prometteuse qui demande à être appliquée sur d'autres cas d'études afin de l'affiner. Le niveau de détail et de précision centimétrique est satisfaisant pour peu que les conditions de visibilité soient favorables. Si la résolution des clichés est un facteur favorisant la précision de la phase de création des points et lignes d'appuis, la qualité de restitution photographique est également importante car elle garantit le niveau de détail nécessaire aux études d'archéologie navale. Le temps de réalisation de la couverture photographique (2 heures environ) n'a rien à voir avec le temps qui aurait été nécessaire pour réaliser une planimétrie manuelle. Cependant, le temps de post-traitement des données brutes pour aboutir à la mise au net finale d'une planimétrie exploitable du point de vue de l'archéologue naval n'est pas négligeable (1 à 2 semaines).

En tout état de cause, l'intérêt de cette méthode repose sur la prise en considération et la modélisation de l'étude archéologique effectuée *in situ*. Les parties les plus remarquables et caractérisant l'architecture du navire sont alors reconnues et matérialisées précisément. Plus la densité de points est importante, plus la précision des mosaïques ortho-photographiques est élevée. Le produit final s'appuie sur une représentation ortho-photographique complétée de couches d'informations vectorielles composées des éléments modélisés durant la phase de relevé photogramétrique (chevilles, gournables, clous, limites des planches du bordé, plaquettes de plomb). Cet ensemble doit être néanmoins vérifié, complété et enrichi par les observations de détails, les mesures, et les croquis qui restent des éléments indispensables à une bonne compréhension du sujet relevé.



Fig. 58: Prises de vue pour la photogrammétrie numérique (cliché V. Frka 2008).

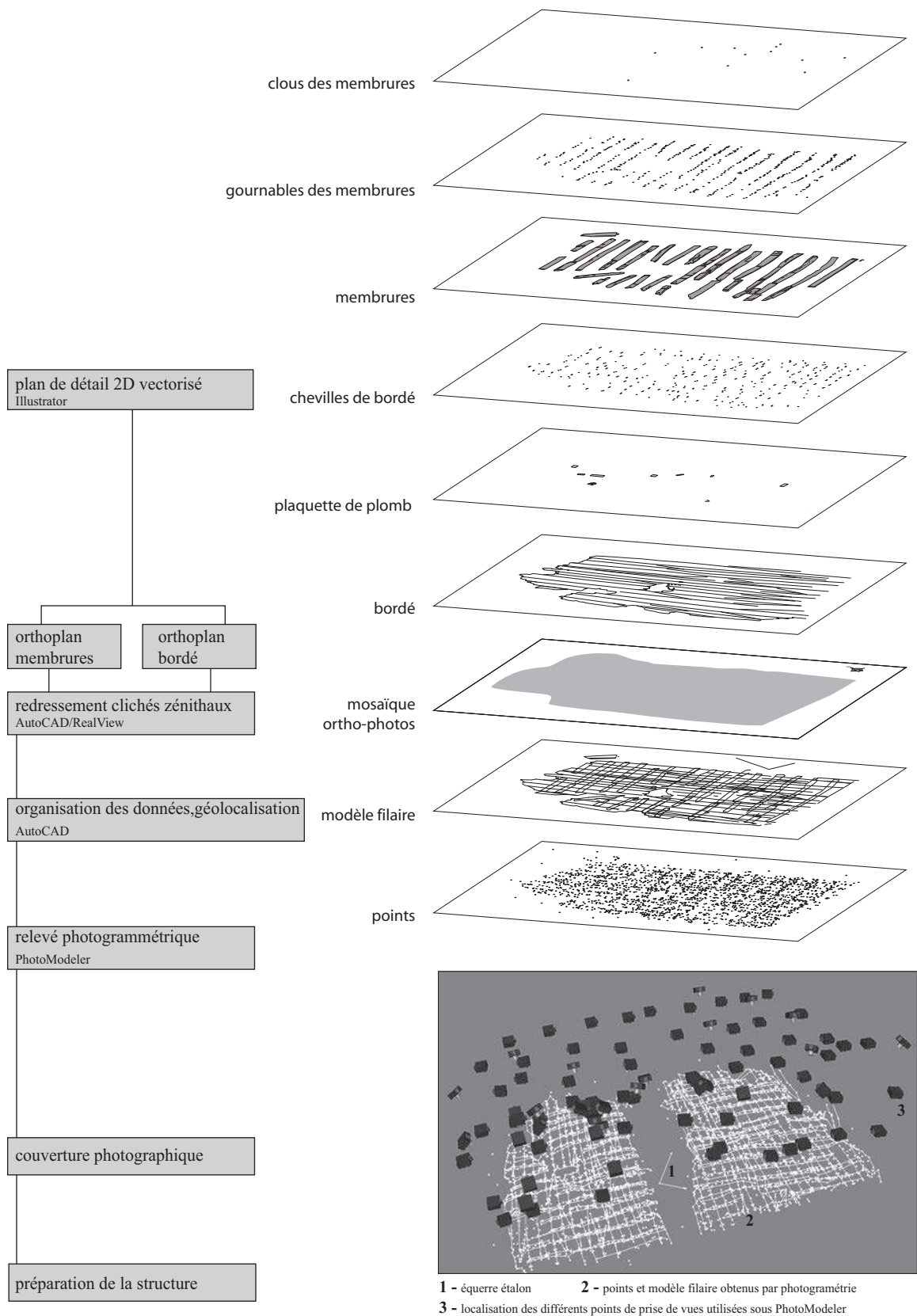


Fig. 59: Chaîne opératoire du relevé planimétrique (schéma V. Dumas, CNRS-CCJ).

NOTES

* Chargée de recherche au CNRS, Centre Camille Jullian, Aix-Marseille Université, CNRS, CCI, UMR 7299, 13094 Aix-en-Provence, France; boetto@mmsh.univ-aix.fr.

** Assistant Lecturer, Université de Zadar, département d'Archéologie, Obala Kralja Petra Krešimira IV 2, Zadar, HR-22000, Croatie; chercheur associé au Centre Camille Jullian; irradic@unizd.hr.

*** Archéologue, Association Arkaeos, Marseille, chercheur associé au Centre Camille Jullian; sabrina.marlier@cg13.fr.

**** Professeur, Université de Zadar, Croatie; zbrusic@unizd.hr

1. M. Brzac, M. Čelhar, V. Frka, M. Ilkić, N. Lete, I. Miholjek, M. Meštrov, R. Mosković, M. Parica, G. Skelac, V. Zmaić.

2. V. Dumas, Ph. Groscaux, P. Poveda, M. Rival et M. Wanegue.

3. Technicien CNRS, Centre Camille Jullian, Aix-Marseille Université, CNRS, CCI, UMR 7299, 13094 Aix-en-Provence, France.

4. Musée municipal, Biograd.

5. Université de Zadar.

6. Batović 1973, p. 82.

7. Cf. *infra* l'article de Boetto *et al.*

8. Barišić *et al.* 2003, p. 43.

9. Barišić *et al.* 2003, p. 117-118.

10. Il faut noter que la direction de ces courants s'inverse avec la renverse de marée.

11. Ce vent est porteur de tempêtes et soulève des vagues de grandes dimensions.

12. Ce vent, en plus des vagues, peut créer des tourbillons très puissants et dangereux.

13. Magaš 1990, p. 56.

14. Dans cette zone, la production vivrière est effectivement possible tout au long de l'année.

15. Voir en dernier lieu Brusić 2007.

16. Jelić 1898, p. 33 et 121; pour *Asseria* voir Fadić 2003 et la revue *Asseria*.

17. Iveković 1932, p. 155.

18. Bulić 1880, p. 82.

19. Brusić 1977, p. 56.

20. Batović 1965, p. 289.

21. Suić 1981, p. 281. Il faut remarquer que ces données proviennent de brefs rapports de fouille, non suivis par une publication exhaustive.

22. Brusić 1976, p. 115 et 1977, p. 56, T. XII-XII. Voir également la description de Dasen Vrasalović tirée d'un rapport inédit réalisé par Z. Brusić (Vrasalović 1974, p. 49; 1979, p. 186). Il faut remarquer que, avant Z. Brusić, le premier à réaliser un croquis du port de Pakoštane fut Boris Ilakovac (cf. Vrasalović 1981, fig. 7).

23. Glušćević 2001, p. 44.

24. Ces recherches, inédites, sont en cours de publication. Voir Radić Rossi, Antonioli 2008.

25. Aux recherches, dirigées par Zdenko Brusić, ont participé Mato Ilkić (Université de Zadar), Marko Meštrov et Mate Parica étudiants en archéologie de cette université, Irena Radić Rossi et Krunoslav Zubčić (Institut de conservation croate, Zagreb).

26. Brusić 2006, p. 306.

27. Ilkić, Meštrov 2007.

28. Brusić 2005a, p. 191.

29. Brusić (2005b, p. 16) considère Pakoštane comme un port principal et pas seulement comme un port secondaire ou un simple lieu d'étape.

30. Parica 2008, p. 83.

31. Cette datation, effectuée en 2005 par l'Institut Ruder Bošković de Zagreb, a fourni deux fourchettes de datation: de 240 à 620 apr. J.-C. (95,4 % de probabilité) et de 340 à 550 apr. J.-C. (68,2 % de probabilité). Cf. également Brusić 2005a, p. 192.

32. Radić Rossi 2008, p. 60 et 2009; Boetto, Marlier,

Radić Rossi 2008, p. 222-234. Voir *infra* l'article de Boetto *et al.*

33. Ces recherches ont été dirigées par Krunoslav Zubčić; Ilkić, Parica, Meštrov 2008.

34. Ilkić, Parica, Meštrov 2008.

35. Au XIX^e siècle, l'extraction du sel n'est pas répertoriée. La pêche et la navigation sont désormais négligées au profit des activités agricoles et d'élevage (Peričić 1990).

36. Fouache *et al.* 2005.

37. Radić Rossi, Antonioli 2008.

38. Voir les restitutions de Radić Rossi, Antonioli 2008.

39. Cf. *supra* l'article de I. Radić Rossi *et al.*

40. Sur les missions à Pakoštane, dans le cadre de l'accord de coopération franco-croate, cf. Radić Rossi 2008, p. 60; Boetto, Marlier, Radić Rossi 2008, p. 222-234 et à paraître.

41. Radić Rossi, Boetto 2010.

42. Cf. *infra* et l'étude de C. Huguet.

43. Cf. *infra* et l'étude de F. Guibal *et al.*

44. Ce fragment de cordage (long de 14 cm; section 3,5 × 1,5 cm) a été découvert dans l'espacement des membrures F117W et F116W.

45. Cf. *infra* l'étude de C. Huguet.

46. Un jeton en sigillée (PK08/119; diam. 1,7; ép. 0,4 cm) et deux monnaies couvertes d'une épaisse couche de concrétion (PK08/65 et PK08/135) dans le carré F2; un fragment de verre de forme non identifiable (PK08/105) dans le carré E2; un fragment de bois rainuré (PK08/2) dans le carré F3. Cf. *infra*.

47. Cf. *infra* l'étude de F. Guibal *et al.*

48. Cf. *infra* l'étude de C. Huguet.

49. Ces restes ont été analysés par Audrey Renaud, doctorante allocataire à l'Université Paul-Valéry, Montpellier (UMR 5140, Lattes), que nous remercions vivement. Une portion diaphysaire de métacarpe d'un individu adulte d'*Ovis* ou *Capra* (mouton ou chèvre) et un fragment de vertèbre cervicale appartenant à un herbivore adulte de « taille petite » (*Ovis*, *Capra*, *Capreolus*) ont été identifiés. En revanche, aucune trace anthropique sur les deux restes n'a été observée.

50. PK08/79, carré G2.

51. PK08/74 et PK08/160.

52. Nous avons choisi de numéroter *in situ* chaque élément remarquable (bord, fond) ou groupe de fragments proches (de 1 à 51). Les fragments isolés ont été remontés avec la seule indication du carré. Lors de l'inventaire, l'ensemble du mobilier a reçu un sigle se déclinant en PK 08 ou 07 selon l'année de la mission, suivi d'un chiffre progressif.

53. La faible profondeur et la nature du sédiment recouvrant l'épave (sable coquillier volatile) nous obligent à prendre en considération la possibilité de contaminations: en effet, trois fragments appartenant probablement à une seule amphore d'origine italienne (Campanie) sont vraisemblablement intrusifs et ils étaient mélangés aux autres fragments de céramiques. Cependant, nous pouvons considérer, et l'étude de C. Huguet le montre bien (cf. *infra*), que la plupart de ce mobilier est homogène, de par sa provenance et sa chronologie.

54. Cf. *infra* l'étude de C. Huguet. Sur la distinction entre cargaison et matériel de bord voir Beltrame 2002, p. 6-8 et 42.

55. Comme sur l'épave *Madrague de Giens* (France, 75-60 av. J.-C.): Tchernia, Pomey, Hesnard 1978, p. 20-21. Pour la détermination des taxons cf. *infra* Guibal *et al.*

56. Cf. *infra* l'étude de Cl. Capelli.

57. Pour les épaves avec cargaison africaine originaire d'Afrique cf. Bonifay, Capelli, Long 2002.

58. Bien que, comme le note C. Huguet dans son étude, un transport en grandes quantités ne puisse pas être exclu.

59. Cf. *infra* l'article de C. Huguet.

60. Le bec de cette lampe, portant des éventuelles traces de feu indiquant une utilisation à bord, n'est cependant pas conservé (Beltrame 2002). Quoi qu'il en soit, l'altération de cet objet, due à son séjour dans l'eau de mer, aurait probablement empêché ce genre d'observation.

61. Beltrame 2002, p. 60.

62. Van Doorninck 1982.

63. Van Doorninck 1982.

64. Gianfrotta, Pomey 1981, p. 293-284; Beltrame 2002.

65. Fragments PK08/33-6; PK08/62-2; PK08/84.

66. Nieto *et al.* 1989, p. 223.

67. Gianfrotta, Pomey 1981, p. 292.

68. Katzev 1972.

69. Joncheray 1974.

70. Joncheray 1975.

71. Nieto *et al.* 1989, p. 223.

72. Sciallano, Marlier 2008, p. 148-149, Marlier 2008.

73. Sur le marquage voir Pomey, Rieth 2005, p. 99-102. À Pakoštane, l'abréviation choisie pour identifier chaque élément de la coque comporte une lettre P (*plank* / bordage), F (*frame* / membrure), Fu (*futtock* / allonge), RF (*repair of frame* / réparations de membrure), C (*ceiling* / vaigrage), St (*stanchion* / épontille). Cette lettre a été suivie d'une numérotation progressive, couplée avec l'indication de la position de chaque élément par rapport aux axes cardinaux: E (*East* / est) et W (*West* / ouest). Les nombreuses plaquettes de réparation en plomb ont reçu un marquage composé de la lettre majuscule L (*lead*) suivie d'une numérotation progressive sans indication de l'orientation. En outre, du fil de fer plastifié et des punaises ont servi pour matérialiser les assemblages et les joints des virures: cf. *infra* la contribution de V. Dumas.

74. Ces derniers n'ont pas reçu d'étiquetage s'inscrivant dans le système de marquage de la coque. Afin de pouvoir être répertoriés, ils ont en revanche reçu un numéro d'inventaire (le sigle PK07 ou PK08, selon l'année de fouille, suivie d'un numéro progressif).

75. Un croquis de chacun de ces éléments a néanmoins été réalisé ainsi qu'un cliché photographique.

76. Le site a été couvert avec du sable du fond et du géotextile, le tout scellé par une autre couche de sable.

77. Cf. *supra* l'article de Radić Rossi *et al.*

78. Un axe longitudinal gradué, composé de deux barres en aluminium, munies de décimètres pour une longueur totale de 7 m, a été placé le long du bord externe du galbord ouest de l'épave (P1W), à l'endroit supposé de la quille non conservée. Le plan de bordé de même que la position des assemblages de la membrure a été réalisé par cotes cumulées à partir de cet axe de référence longitudinale. La planimétrie a été ultérieurement complétée en intégrant les détails visibles sur la photomosaïque de la zone fouillée de l'épave.

79. Cf. *infra* la contribution de V. Dumas.

80. Cf. *infra* l'étude de F. Guibal *et al.*

81. Cette pièce est cassée en trois fragments P37E, P46E et P53E.

82. L'emplacement d'autres membrures a été repéré sur le bordé grâce aux assemblages.

83. Nous possédons cependant un relevé à l'échelle de cette pièce réalisé en 2004 (fig. 36, 2). Ce document est important car il enregistre non seulement la forme de la pièce mais il nous a aussi permis d'obtenir des mesures importantes comme la largeur de la face au droit supérieur de la quille non conservée (cf. *infra*).

84. Pour les réparations en plomb cf. *infra* p. 123-127.

85. L'écartement entre les chevilles de blocage des tenons a été mesuré là où les chevilles n'étaient pas

- cachés par l'épaisse couche de poix de protection ou bien dans les zones qui avaient été nettoyées à la brosse. Ainsi sur le plan de bordé (fig. 29), les assemblages par tenons chevillés ne sont pas indiqués partout : cela en raison d'une carence dans les observations plus que par une absence effective de ces liaisons.
86. Le calcul, pour évaluer le réseau de mortaisage du galbord, est le suivant : 6,8/8,26 et pour évaluer celui du reste du bordé : 8,7/5,9.
87. Les résultats signifient que dans l'espace laissé entre deux mortaises sur le galbord moins d'une mortaise peut loger (exactement 0,829), tandis que dans l'espace laissé entre deux mortaises sur le reste du bordé pratiquement une mortaise et demie peut s'insérer (exactement 1,47).
88. On peut en effet constater qu'un rapport écartement des mortaises/largeur des mortaises inférieur ou égal à 1 est très serré ; un rapport compris entre 1 et 2 est serré et un rapport supérieur ou égal à 2 est moyennement serré.
89. Pour une justification de la forme tronconique des chevilles de verrouillage des tenons, Rival 1991, p. 202.
90. Sur les épaves où les diamètres interne et externe d'une même cheville ont été mesurés de façon extensive et homogène, après le démontage des éléments de la charpente transversale, il est apparu que le chevillage se faisait majoritairement à partir de l'intérieur de la coque y compris sous les membrures, ce qui indique une construction « sur bordé ». L'inversion du sens de chevillage ne peut être interprétée comme un indice de construction « sur membrure » que si celui-ci est opéré au niveau des membrures. Dans le cas de l'épave de la Bourse à Marseille (190-220 apr. J.-C.) un chevillage à partir de la face externe de la coque n'a été observée que de façon limitée sous quelques varangues et dans les parties hautes de la coque (Gassend, Cuomo 1982a; 1982b; 1985). Cette observation avait conduit J.-M. Gassend et J.-P. Cuomo à l'élaboration de la notion de « construction alternée » qui a été remise en question par P. Pomey (1988 et 2004). En dernier lieu voir Pomey, Rieth 2005, p. 169-171.
91. Parmi les comparaisons, voir les chevilles de l'épave *Madrague de Giens* (Rival 1991, p. 195, pl. 54 et 95) et *Dramont E* (Santamaria 1995, p. 145, pl. XVI); pour une explication de cette caractéristique voir Rival 1991, p. 195.
92. F99W n'est pas conservé, mais les gournables d'assemblages avec le bordé permettent d'en restituer la position. De même, les alignements d'assemblages permettent de restituer l'emplacement d'autres éléments de la membrure non conservés.
93. F115W, F117W, F119W, F121W, F123W, F125W, F127W et F129W.
94. F112W, F118W, F120W, F122W, F124W, F126W et F128W.
95. L'analyse des bois a en effet mis en évidence la plus grande hétérogénéité de taxons utilisés dans la construction sans pour autant indiquer une utilisation préférentielle de certaines espèces pour les réparations : cf. *infra* Guibal *et al.*
96. Les anguilliers ont été observés sur un fragment de varangue déplacé (PK07/F2) et sur les membrures de la partie ouest de l'épave (varangues F115W, F117W, F119W, F121W, F123W, F125W, F127W et F129W et demi-couples F112W, F118W, F124W, F126W et F128W).
97. F119W, F125W et F19W.
98. Mouchot 1968-1969.
99. Les deux types de métaux sont identifiables grâce à la couleur du métal oxydé (noir pour le fer et vert/bleu pour le cuivre). Cependant, aucun de ces clous n'a fait, à ce jour, l'objet d'analyses.
100. Un grand nombre de ces clous a été ramassé autour de l'épave (haut. de 8,6 à 11 cm; diam. tête de 1,5 à 2 cm).
101. F119W, F121W, F122W et F123W.
102. Gassend 1982, p. 82-83; pour la datation voir Bonifay, Carre, Rigoir 1998, p. 101.
103. Gassend, Liou, Ximénès 1984, p. 100 et p. 97, fig. 17c.; pour la datation voir Bonifay 2004, p. 105-104. Il faut noter que, par manque de temps, ces encoches et ces tâches foncées n'ont pas pu être relevées de façon systématique.
105. Fragments de planches PK07/P9 et PK07/P10 et tenon de réparation PK08/P80.
106. Cf. *supra* p. 118.
107. L7, L10, L11, L13, L16 et L20.
108. Marko Meštrov nous a rapporté qu'aujourd'hui encore, en Croatie, les vieux marins possédant des bateaux en bois, qu'ils soient de petite ou de grande taille, réparent les fissures du bois en appliquant de la figue confite au soleil. Cet enduit, très sucré, agit alors comme du mastic très collant.
109. Liou 1974, p. 417.
110. Van Doorninck 1976, p. 128-129.
111. Alfonsi 2010.
112. Pomey 1988; 1998; 2004; Pomey, Rieth 2005, p. 30-31.
113. Pomey 1998, p. 68; Pomey, Rieth 2005, p. 166-167.
114. Précisons encore une fois ici que le plomb retrouvé sur l'épave correspond à des réparations de la coque et non à un revêtement de protection extérieur de la coque.
115. Pôle intercommunal du patrimoine culturel (Istres, Bouches-du-Rhône), chercheur associé au Centre Camille Jullian.
116. Nous remercions Michel Bonifay pour ses conseils et ses relectures.
117. Bonifay, Carre, Rigoir 1998, p. 15.
118. Cf. *infra*.
119. Information M. Bonifay.
120. Bonifay 2004, p. 119-122.
121. Bonifay 2007, p. 19-20.
122. Bonifay 2004, p. 92.
123. De Vos 2001, p. 54.
124. Hattler 2009, fig. 247 et notice n. 169 de F. Finke p. 254.
125. Hayes 1972, p. 76-78.
126. Hayes 1972, p. 119-120.
127. Hayes 1972, p. 96-100.
128. Hayes 1972, p. 218.
129. Hayes 1972, p. 208-209; Bonifay 2004, p. 225-227.
130. Hayes 1972, p. 204.
131. Dore 1989, n. 3709.
132. Santoro Bianchi 2005, p. 345.
133. Santoro Bianchi 2005, p. 339.
134. Bonifay 2004, p. 343 et 349.
135. Cf. *infra* l'article de Cl. Capelli.
136. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26, 16132 Gênes, Italie; capelli@dipteri.unige.it, chercheur associé au Centre Camille Jullian.
137. Cf. *supra* l'article de C. Huguet.
138. Cf., à titre d'exemple, Pradell *et al.* 1996.
139. Capelli, Bonifay 2007.
140. D'Amrosio, Mannoni, Sfrecola 1994.
141. Capelli, Bonifay 2007.
142. Chargé de recherche au CNRS, Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléocéologie (UMR 6116, Aix-Marseille Université – CNRS, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, Avenue Louis Philibert, 13545 Aix en Provence, France.
143. Association Arkaeos (Marseille), chercheur associé au Centre Camille Jullian.
144. Doctorante, Laboratoire d'Archéologie Méditerranéenne, Aix-Marseille Université, CNRS, LA3M, UMR 7298, 13094 Aix-en-Provence, France.
145. L'impossibilité de différencier l'anatomie du bois du pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) de celle du bois du pin noir (*Pinus nigra* Arnold) et du pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond.) nous amène à regrouper les deux taxons sous l'appellation pin *type* sylvestre.
146. Quézel, Médail 2003.
147. Il faut noter que six éléments de la membrure n'ont pas fait l'objet d'analyse et, à ce jour, n'ont pas été identifiés.
148. Comme pour le bordé, le pin d'Alep présente ici la probabilité d'occurrence la plus élevée.
149. Quézel, Médail 2003.
150. Guibal, Pomey 2003.
151. Venet 1986.
152. Quézel, Médail 2003.
153. Venet 1986.
154. Pomey 1998.
155. Maître de conférences, Université Paul Cézanne, Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléocéologie (UMR 6116, Université Paul Cézanne).
156. Andrieu-Ponel 2010.
157. Girard 1978; Argant 2010; Andrieu-Ponel 2011; Marlier *et al.* à paraître.
158. Weinstein-Evron, Chaim 2003.
159. Andrieu-Ponel 2010.
160. Tutin *et al.* 1993.
161. Reille 1992; 1995; 1998.
162. Tutin *et al.* 1968.
163. Andrieu-Ponel *et al.* 2000.
164. Beug 1967; 1975.
165. Sostarić 2005.
166. Wicha, Girard 2006.
167. Muller 2004.
168. Andrieu-Ponel 2010. Cette étude comprend également l'analyse pollinique d'une carotte de sédiment prélevée à proximité de l'épave comme cela avait déjà été le cas, par exemple, pour l'épave *La Madrague de Giens* (Var, milieu 1^{er} s. av. J.-C.; Girard 1978).
169. Les données polliniques extraites de la poix de calfatage du chaland gallo-romain *Arles-Rhône 3* semblent indiquer que celle-ci est, aussi, de confection régionale : voir Andrieu-Ponel 2011 et Marlier *et al.* à paraître.
170. Weinstein-Evron, Chaim 2003.
171. Petits bateaux maritimes de navigation régionale (Kaska, Croatie) ou chalands fluviaux (Lyon et Arles).
172. Andrieu-Ponel 2011.
173. Argant 2010.
174. Charrié-Duhaut *et al.* 2009.
175. Heim 1970.
176. Cf. *supra*.
177. Rappelons que l'analyse radiocarbone effectuée en 2005 avait fourni deux fourchettes de datation très larges : entre 240 et 620 apr. J.-C. (avec 95,4 % de probabilité), ou entre 340 et 550 apr. J.-C. (avec 68,2 % de probabilité). Voir *supra* les contributions de Radić Rossi *et al.*, C. Huguet et Cl. Capelli.
178. Cf. *supra* l'article de Guibal *et al.*
179. Venet 1986.
180. L'utilisation de ce taxon est attestée également pour quelques éléments de la membrure de l'épave *Pisa C* (Italie, déb. 1^{er} s. apr. J.-C.) : Giachi *et al.* 2003.
181. Cf. *supra* l'article de F. Guibal *et al.*
182. Nous pouvons nous demander s'il s'agit d'une action de radoub effectuée par le même chantier de réparation ou bien s'il s'agit d'une réparation intervenue au moment même de la construction afin de prévenir les éventuelles voies d'eau.
183. Cf. *supra* l'article de V. Andrieu-Ponel.
184. Selon que l'on admet que la mer a remonté de 2 m (Radić Rossi, Antonioli 2008) ou bien 1,50 m (Fouache *et al.* 2005).
185. Cf. *supra* l'article de Radić Rossi *et al.*
186. Ce type de naufrage est notamment fréquent en Camargue (Bouches-du-Rhône) où les documents d'archive de l'époque moderne relatent que la cassure de la quille sur les barres de l'embouchure du Rhône est un des facteurs de perte des navires qui viennent ensuite s'échouer sur la plage la plus proche (Long 1997, p. 110-111).
187. La disparition de la quille a également été observée sur des épaves qui, sur le plan chronologique, s'inscrivent entre la première moitié du 1^{er} s. av. J.-C.

et la première moitié du 1^{er} s. av. J.-C. et qui sont représentatives de la construction navale gréco-romaine de l'époque hellénistique. P. Pomey (2002) interprète la disparition des quilles sur ces épaves comme une conséquence de la faiblesse structurale des liaisons de l'ensemble quille-galbords sur le type architectural d'époque hellénistique caractérisé par un fond de carène très pincé à retour de galbord prononcé et quille proéminente. Plusieurs indices permettent par ailleurs d'établir que la quille et le galbord bâbord du navire fluvio-maritime *Fiumicino 1*, cassés probablement sur une barre d'embouchure ou sur un haut fond du Tibre, ont été substitués *in antiquo* (Boetto 2008).
188. Boetto, Marlier, Radić Rossi 2008.
189. À titre d'exemple, lors de l'étude de l'épave YK 11 (MRY 5) découverte dans le port antique

d'Istanbul à Yenikapi (VII^e s. apr. J.-C.), l'équipe de l'Université du Texas a pu observer que la carlingue d'extrémité avait été façonnée à partir d'une portion de quille provenant d'un autre bateau (Cemal Pulak comm. pers. déc. 2010).
190. Assistant ingénieur, Centre Camille Jullian, Aix-Marseille Université, CNRS, CCI, UMR 7299, 13094 Aix-en-Provence, France.
191. Par exemple sur l'épave de *navis lapidaria* de Kizilburun (Turquie, 1^{er} s. apr. J.-C.): Carlson 2006 et Higgins 2007.
192. Green 1991, p. 8-13; Green, Matthews, Turanli 2002; Drap, Long 2005.
193. Kocabaş 2008. En revanche, la photogrammétrie stéréoscopique a été appliquée à partir des années 1970 en milieu immergé pour l'étude des vestiges de

coque (par exemple sur les épaves *Planier 3*, Liou 1973, et *Madrague de Giens*, Tchernia, Pomey, Hesnard 1978). Elle a donné lieu également à des applications sur l'épave *Grand-Ribaud D* visant à alléger la technique afin de réduire le temps de travail sous-marin (Blaustein, Hesnard 1988).
194. Pour la méthodologie d'étude architecturale cf. *supra* l'article de G. Boetto *et al.*
195. Cf. *supra* l'article de Boetto *et al.*
196. Cf. *supra* l'article de Boetto *et al.*
197. Ce dernier n'étant plus édité, il est tout à fait possible de réaliser ce travail avec d'autres logiciels du marché (PhoToPlan éd. Kubit; Photoplan éd. Aura Equipements).

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

ALFONSI H.

2010 L'épave de Porticcio, dans *Bilan scientifique du DRASSM 2008*, Paris, Ministère de la Culture et de la Communication, p. 95.

ANDRIEU-PONEL V.

2010 Le contenu pollinique de la poix de protection du bateau et des sédiments, dans G. Boetto (dir.), *Caska. Navires et navigation en Dalmatie romaine: recherches d'archéologie maritime et navale à Caska (île de Pag, Croatie). Rapport des opérations*, Aix-en-Provence, p. 62-67 (rapport non publié).
2011 Le pollen fossile des poix d'étanchéité d'Arles-Rhône 3: un paysage agricole diversifié, cultivé et parcouru par des troupeaux, dans D. Djaoui, S. Greck, S. Marlier (dir.), *Arles Rhône 3. Le naufrage d'un chaland antique dans le Rhône, enquête pluridisciplinaire*, Arles, Éditions Actes Sud, p. 170-171.

ANDRIEU-PONEL V. ET ALII

2000 V. Andrieu-Ponel, P. Ponel, H. Bruneton, P. Leveau, Palaeoenvironments and cultural landscape of the last 2000 years reconstructed from pollen and coleopteran records in the lower Rhône valley, southern France, *The Holocene*, 10, 3, p. 341-355.

ARGANT J.

2010 Apport de l'analyse pollinique à la connaissance du lieu d'approvisionnement en matériaux de calfatage des épaves du Parc Saint-Georges (Lyon), dans É. Rieth (dir.), *Les épaves de Saint-Georges-Lyon (I^{er}-XVIII^e siècles). Analyse architecturale et études complémentaires*, Paris, CNRS Éditions (Archaeonautica, 16), p. 230-235.

BARIŠIĆ I. ET ALII

2003 I. Barišić, M. Ferenčak, B. Horvat, J. Kasum (eds.), *Peljar za male brodove, II. dio*, Split, Hrvatski hidrografski institut.

BATOVIĆ Š.

1965 Rad Arheološkog muzeja u Zadru od 1960 do 1964, *Diadora*, 3, p. 274-297.

1973 Prapovijesni ostatci na Zadarskom otočju, *Diadora*, 6, p. 5-139.

BELTRAME C.

2002 *La vita di bordo in età romana*, Rome, Libreria dello Stato, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

BEUG H.J.

1967 On the forest history of the Dalmatian coast, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2, p. 271-279.
1975 Changes of climate and vegetation belts in the mountains of Mediterranean Europe during the Holocene, *Biuletyn Geologiczny*, 19, p. 101-110.

BLAUSTEIN M., HESNARD A.

1988 Annexe 1 – Photogrammétrie, technique de prise de vue et précision de la restitution, dans A. Hesnard, M.-B. Carre, M. Rival, B. Dangréaux, *L'épave romaine Grand Ribaud D (Hyères, Var)*, Paris, Éditions du CNRS (Archaeonautica, 8), p. 157-164.

BOETTO G.

2008 L'épave de l'Antiquité tardive *Fiumicino 1*: analyse de la structure et étude fonctionnelle, *Archaeonautica*, 15, p. 29-62.

BOETTO G., MARLIER S., RADIĆ ROSSI I.

2008 Late Roman shipwreck at Pakoštane: a preliminary report, dans I. Radić Rossi, A. Gaspari, A. Pydyn (eds.), *Proceedings of the 13th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists, Session: Underwater Archaeology, Zadar, 2007*, Zagreb, Croatian Archaeological Society, p. 222-234.

à paraître

Il relitto romano di Pakoštane: rapporto preliminare, dans G. Volpe, D. Leone, M. Turchiano (dir.), *Atti del III Convegno Nazionale di Archeologia Subacquea, Manfredonia, 2007*, Bari, Edipuglia.

BONIFAY M.

2004 *Études sur la céramique romaine tardive d'Afrique*, Oxford, Archaeopress (British Archeological Reports, International series, 1301).
2007 Que transportaient donc les amphores

africaines?, dans E. Papi (dir.), *Supplying Rome and the Empire*, Portsmouth, Rhode Island, (JRA, suppl. 69), p. 8-31.

BONIFAY M., CAPELLI CL., LONG L.

2002 Recherches sur l'origine des cargaisons africaines de quelques épaves du littoral français, dans L. Rivet, M. Sciallano (dir.), *Vivre, produire et échanger: reflets méditerranéens. Mélanges offerts à Bernard Liou, Montagnac, Éditions Monique Mergoïl*, p. 195-200.

BONIFAY M., CARRE M.-B., RIGOIR Y. (DIR.)

1998 *Fouilles à Marseille. Les mobiliers (I^{er}-VII^e siècles apr. J.-C.)*, Paris, Lattes, Éditions Errance, A.D.A.M. (Collection Études Massaliètes, 5; Travaux du Centre Camille Jullian, 22).

BRUSIĆ Z.

1976 Gradinska utvrdenja u šibenskom kraju, *Materijali; IX kongres arheologa Jugoslavije*, 12, p. 113-123.
1977 Prehistorijski podmorski nalazi na području južne Liburnije, *Radovi Centra Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zadru*, 24, p. 53-60.
2005 a Luka Pakoštane – Jamica i položaj između otočića Sv. Justine i Velog Školja, *Hrvatski arheološki godišnjak*, 1/2004, p. 191-192.
2005 b *Tragovi prošlosti pakoštanskog kraja*, Catalogue d'exposition, Pakoštane, Općina Pakoštane.
2006 Luka Pakoštane – Janice, *Hrvatski arheološki godišnjak*, 2/2005, p. 306-307.
2007 Pakoštanska luka i druga priobalna liburnska naselja u Pašmanskom kanalu u odnosu na gradinska naselja u zaleđu i Aseriju / The port of Pakoštane and other coastal liburnian settlements in the Pašman Channel in relation to hillfort settlements in the hinterland and Asseria, *Asseria*, 5, p. 11-37.
BULIĆ F.
1880 Iscrizioni inedite, *Bullettino di archeologia e storia dalmata*, 3, p. 82.

- CAPELLI CL., BONIFAY M.
2007 Archéométrie et archéologie des céramiques africaines: une approche multidisciplinaire, dans M. Bonifay, J.-C. Treglia (éds.), *LRCW2. Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean: Archaeology and Archaeometry*, II, Oxford, Archaeopress (British Archeological Reports, International Series, 1662), p. 551-568.
- CARLSON D.N.
2006 A monumental Cargo: The Roman Column Werck at Kizilburun, Turkey, *The INA Quarterly*, 33.1, p. 3-9.
- CHARRIÉ-DUHAUT A. *ET ALII*
2009 A. Charrié-Duhaut, J. Connan, M. Darnell, J. Spangenberg, E. Szymczyk, A. Bissada, P. Albrecht, Molecular and isotopic characterization of organic samples from the wreck of the Saint-Etienne merchant ship (XVIIIth century): identification of pitch, fat, hair and sulfur, *Organic Geochemistry*, 40, p. 647-665.
- D'AMBROSIO B., MANNONI T., SFRECOLA S.
1994 La provenienza delle anfore romane di alcuni contesti italiani: possibilità e limiti del metodo mineralogico, dans *Amphores romaines et histoire économique, Actes du colloque de Sienna, 1986*, Rome, École française de Rome (Collection de l'École Française de Rome, 114), p. 269-284.
- DEMESTICHA S.
2011 The 4th-Century BC Mazotos Shipwreck, Cyprus: a preliminary report, *IJNA*, 40, 1, p. 39-59.
- DE VOS M.
2001 *Rus Africum. Terra, acqua, olio nell'Africa settentrionale. Scavo e ricognizione nei dintorni di Dougga (Alto Tell tunisino)*, Trento, Università degli studi di Trento, Institut National du Patrimoine de Tunis (Labirinti, 50).
- DORE J.
1989 The coarse pottery, dans J. Dore, N. Keay (eds.), *Excavations at Sabratha 1948-1951. Vol. II. The finds*. Tripoli, Society for Libyan Studies, p. 87-248.
- DRAP P., LONG L.
2005 Photogrammètrie et archéologie sous-marine profonde. Le cas de l'épave étrusque Grand Ribaud F, *Revue XYZ*, 104, 3, p. 25-34.
- FADIĆ I.
2003 *Asseria, 5 godina istraživanja (1998.-2002.)*, Zadar, Arheološki muzej Zadr, Arheološki muzej u Zagrebu, Filozofski fakultet u Zagrebu.
- FOUACHE E. *ET ALII*
2005 E. Fouache, S. Faivre, S. Gluščević, V. Kovačić, F. Tassaux, J.-J. Dufaure, Evolution of the Croatian shore line between Poreč and Split over the past 2000 years, *Archaeologia Maritima Mediterranea*, 2, p. 115-134.
- GASSEND J.-M. (DIR.)
1982 *Le navire antique du Lacydon*, Marseille, Musée d'Histoire.
- GASSEND J.-M., CUOMO J.-P.
1982 a Construction de type alternée, dans J.-M. Gassend, 1982, p. 113-119.
1982 b La construction alternée des navires antiques et de l'épave de la Bourse à Marseille, *RAN*, XV, p. 263-272.
1985 Un acquis récent des recherches d'architecture navale: la «construction alternée» des navires antiques, dans *VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina, Cartagena, 1982*, Madrid, Ministerio de Cultura. Dirección General de Bella Artes y Archivos, p. 343-350.
- GASSEND J.-M., LIOU B., XIMÉNÈS S.
1984 L'épave 2 de l'anse des Laurons (Martigues, Bouches-du-Rhône), *Archaeonautica*, 4, p. 75-105.
- GIACHI G. *ET ALII*
2003, G. Giachi, S. Lezzeri, M. Mariotti Lippi, N. Pacchioni, S. Paci, The wood of «C» and «F» Roman ships found in the ancient harbour of Pisa (Tuscany, Italy): the utilisation of different timbers and the probable geographical area which supplied them, *Journal of Cultural Heritage*, 4, p. 269-283.
- GIANFROTTA P. A., POMEY P.,
1981 *Archeologia subacquea: storia, tecniche, scoperte e relitti*, Milan, Arnoldo Mondadori.
- GIRARD M.
1978 Résultats préliminaires de l'analyse pollinique, dans A. Tchernia, P. Pomey, A. Hesnard, 1978, p. 112-116.
- GLUŠČEVIĆ S.
2001 Hidroarheološke i arheološke aktivnosti na zadarskom podruju, *Obavijesti Hrvatskog arheološkog društva*, XXXIII/1, p. 43-47.
- GREEN J.
1991 Hull recording methods used at Monbasa, *The INA Quarterly*, 18.2, p. 8-13.
- GREEN J., MATTHEWS S., TURANLI T.,
2002 Underwater archaeological surveying using PhotoModeler VirtualMapper: different applications for different problems, *IJNA*, 31.2, p. 283-292.
- GUIBAL F., POMEY P.
2003 Timber Supply and Ancient Naval Architecture, dans C. Beltrame (éd.), *Boats, Ships and Shipyards, Proceedings of the IXth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Venice, 2000*, Oxford, Oxbow books, p. 35-41.
- HATTLER C. (ÉD.)
2009 *Erben des Imperiums in Nordafrika. Das Königreich der Vandalen*, Catalogue d'exposition, Karlsruhe, Badisches Landesmuseum Karlsruhe.
- HAYES J. W.
1972 *Late Roman Pottery*, Londres, British School at Rome.
- HEIM J.
1970 *Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale*, Thèse de doctorat, Université de Louvain.
- HIGGINS C.R.
2007 Learning How to Map a 70-Ton Ship, *The INA Quarterly*, 34.1, p. 11-12.
- ILKIĆ M., MEŠTROV M.
2007 Nalazi rimskog novca iz Pakoššana, *Vjesnik Arheološkog muzeja u Zagrebu*, 40, p. 339-346.
- ILKIĆ M., PARICA M., MEŠTROV M.
2008 Ancient port complex in Pakoššana near Zadar, dans I. Radić Rossi, A. Gaspari, A. Pydyn (eds.), *Proceedings of the 13th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists, Session: Underwater Archaeology, Zadar, 2007*, Zagreb, Croatian Archaeological Society, p. 212 - 221.
- IVEKOVIĆ Č.
1932 Istraživanje starina u Biogradu na moru i njegovoj okolini, *Ljetopis JAZU*, 44, p. 146-157.
- JELIĆ L.
1898 Povijesno-topografske crtice o biogradskom primorju, *Vjesnik za arheologiju i historiju dalmatinsku*, III, p. 33-126.
- JONCHERAY J.-P.
1974 Étude de l'épave Dramont D, dite «des pelvis», *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, III, p. 21-44.
1975 *L'épave «C» de la Chrétienne*, Fréjus (Cahiers d'Archéologie Subaquatique, suppl. 1).
- KATZEV M.
1972 The Kyrenia Ship, dans G. F. Bass (ed.), *History of Seafaring: Based on Underwater Archaeology*, London, Thames and Hudson.
- KOCABAŞ I. Ö.
2008 Documentation: Reading the timber, dans U. Kocabaş (ed.), The 'old ships' of the 'new gate'. Yenikapı'nin eski Gemileri, Istanbul, Istanbul University Shipwrecks Project (Yenikapı shipwrecks, vol.1), p. 37-72.
- LIOU B.
1973 Informations Archéologiques; Recherches sous-marines, *Gallia*, 31, p. 571-608.
1974 L'épave romaine de l'anse Gerbal à Port-Vendres, *CRAI*, p. 414-433.
- LONG L.
1997 Inventaire des épaves de Camargue, de l'Espiguette au Grand Rhône. Des cargaisons de fer antiques aux gisements du XIX^e s. Leur contribution à l'étude du paléorivage, dans M. Baudat (dir.), *Crau, Alpilles, Camargue. Histoire et*

- archéologie, *Actes du colloque, Arles, 1995*, Arles, Groupe archéologique arlésien, p. 65-68.
- MAGAŠ D.
1990 Osnovna geografska obilježja biogradske mikroregije, *Biogradski zbornik*, 1, p. 39-84.
- MARLIER S.
2008 Architecture et espace de navigation des navires à dolia, *Archaeonautica*, 15, p. 153-173.
- MARLIER S. ET ALII
à paraître S. Marlier, S. Greck, F. Guibal, V. Andrieu-Ponel, Arles-Rhône 3: architectural, dendrological and palynological study of a Gallo-roman barge from the 1st c. in the Rhône river, dans N. Günzenin (ed.), *Between Continents, Proceedings of the XIIth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Istanbul, 2010*.
- MOUCHOT D.
1968-1969 Épave romaine A du port de Monaco, *Bulletin du Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco*, 15, p. 159-200.
- MULLER S.D.
2004 Palynological study of Antique shipwrecks from the western Mediterranean Sea, France, *Journal of Archaeological Science*, 31, p. 343-349.
- NIETO X. ET ALII
1989 X. Nieto, J. Jover, P. Izquierdo, A. M. Puig, A. Alaminos, A. Martin, M. Pujol, H. Palou, S. Colomer, *Excavacions arqueològiques subaquàtiques a Cala Culip, I*, Gérone, Centre d'Investigacions Arqueològiques (Sèrie Monogràfica del Centre d'Investigacions Arqueològiques, 9).
- PARICA M.
2008 Istočnomediterranska keramika iz antičke luke u Pakoštanima, *Prilozi Instituta za arheologiju u Zagrebu*, 25, p. 81-96.
- PERIČIĆ Š.
1990 Prilog poznavanju gospodarstva biogradske kraja u drugoj polovici XIX. stoljeća, *Biogradski zbornik*, 1, 477-488.
- POMEY P.
1988 Principes et méthodes de construction en architecture navale antique, dans *Navires et commerces de la Méditerranée antique: hommage à Jean Rougé*, *Cahiers d'Histoire*, XXXIII, 3-4, p. 397-412.
1998 Conception et réalisation des navires de l'Antiquité méditerranéenne, dans É. Rieth (dir.), *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux*, Ramonville, Éditions Erès (Technologies/Idéologies/Pratiques, Revue d'anthropologie des Connaissances, XIII, 1), p. 49-72.
2002 Remarque sur la faiblesse des quilles des navires antiques à retour de galbord, dans L. Rivet, M. Sciallano (dir.), *Vivre, produire et échanger. Reflets méditerranéens. Mélanges offerts à B. Liou*, Montagnac, Éditions Monique Mergoïl (*Archéologie et Histoire Romaine*, 8), p. 11-19.
- 2004 Principles and Methods of construction in ancient naval architecture, dans F. M. Hocker, C. A. Ward (eds.), *The Philosophy of shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships*, College Station, Texas A & M University Press, p. 25-36.
- POMEY P., RIETH É.
2005 *L'archéologie navale*, Paris, Éditions Errance (Collection «Archéologiques»).
- PRADELL T. ET ALII
1996 T. Pradell, M. Vendrell-Saz, W. Krumbain, M. Picon, Altérations de céramiques en milieu marin: Les amphores de l'épave romaine de la Madrague de Giens (Var), *Revue d'Archéométrie*, 20, p. 47-56.
- QUÉZEL P., MÉDAIL F.
2003 *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*, Paris, Éditions scientifiques et médicales Elsevier (Collection Environnement).
- RADIĆ ROSSI I.
2008 Pakoštane 2007.-2008. istraživnje kasnoantičkog brodoloma i stručno usavršavanje u području nautičke arheologije, *Obavijesti Hrvatskog arheološkog društva*, XL/3, p. 60-71.
2009 Pakoštane – Veli Školj, *Hrvatski arheološki godišnjak*, 5/2008, p. 492-495.
- RADIĆ ROSSI I., ANTONIOLI F.
2008 Preliminary considerations on the ancient port of Pakoštane (Croatia) based on archaeological and geomorphologic research, *Book of abstracts, 14th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists, Valetta, Malta*, p. 98-99
- RADIĆ ROSSI I., BOETTO G.
2010 Arheologija broda i plovidbe - Šivani brod u uvali Caski na Pagu, Istraživačka kampanja 2009, *Histria Antiqua*, 19, p. 299-307 (résumé italien p. 307).
- REILLE M.
1992 *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*, Marseille, Éditions du Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.
1995 *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Supplément 1*, Marseille, Éditions du Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.
1998 *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Supplément 2*, Marseille, Éditions du Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.
- RIVAL M.
1991 *La charpenterie navale romaine. Matériaux, méthodes, moyens*, Paris, Éditions du CNRS (Travaux du Centre Camille Jullian, 4).
- SANTAMARIA CL.
1995 *L'épave Dramont E à Saint-Raphaël (v^e siècle apr. J.-C.)*, Paris, Éditions du CNRS (*Archaeonautica*, 13).
- SANTORO BIANCHI S.
2005 Ceramica di Pantelleria («Pantelleria ware»), dans D. Gandolfi (dir.), *La ceramica e i materiali di età romana. Classi, produzioni, commerci e consumi*. Bordighera, Istituto Internazionale di Studi Liguri (Quaderni della Scuola Interdisciplinare delle Metodologie Archeologiche, 2), p. 339-348.
- SCIALLANO M., MARLIER S.
2008 L'épave à dolia de l'île de la Giraglia (Haute-Corse), *Archaeonautica*, 15, p. 113-151.
- SOSTARIĆ R.
2005 The development of postglacial vegetation in coastal Croatia, *Acta Botanica Croatica*, 64, 2, p. 383-390.
- SUIĆ M.
1981 *Prošlost Zadra I*, Zadar, Filozofski fakultet u Zadru.
- TCHERNIA A., POMEY P., HESNARD A.
1978 *L'épave romaine de la Madrague de Giens (Var), Campagnes 1972-1975*, Paris, Éditions du CNRS (Gallia, suppl. XXXIV).
- TUTIN T.G. ET ALII
1968 T. G. Tutin, V. H. Heywood, N. A. Burges, D. M. Moore, D. H. Valentine, S. M. Walters, D. A. Webb, *Flora Europaea, Volume 2, Rosaceae to Umbelliferae*, Cambridge, Cambridge University Press.
1993 T. G. Tutin, N. A. Burges, A. O. Chater, J. R. Edmondson, V. H. Heywood, D. M. Moore, D. H. Valentine, S. M. Walters, D. A. Webb, *Flora Europaea, Volume 1, Psilotaeeae to Platanaceae*, Cambridge, Cambridge University Press.
- VAN DOORNINCK F.H.
1976 The 4th century wreck at Yassi Ada. An interim report on the hull, *IJNA*, 5.2, p. 115-131.
1982 The Galley, dans G.F. Bass, F.H. Van Doorninck (eds.), *Yassi Ada. Volume I. A Seventh Century Byzantine Shipwreck*, College Station, Texas A&M University Press, p. 87-120.
- VENET J.
1986 *Identification et classement des bois français*, Nancy, E.N.G.R.E.F. (2^e éd. revue par R. Keller).
- VRŠALOVIĆ D.
1974 *Istraživanja i zaštita podmorskih arheoloških spomenika u SR Hrvatskoj*, Zagreb, Republički zavod za zaštitu spomenika kulture.
1979 *Arheološka istraživanja u podmorju istočnog Jadrana; Prilog poznavanju trgovačkih plovnih putova i gospodarstva*

- 1981 *kih prilika na Jadranu u antici, diss.*,
Université de Zagreb, Republički zavod
za zaštitu spomenika kulture.
Neki primjeri gradnje antičkih lučkih
objekata u podmorju istočnog Jadrana,
*Godišnjak zaštite spomenika kulture
Hrvatske*, 6-7, p. 107-118
- WEINSTEIN-EVRON M., CHAIM S.
2003 Palynological investigations, dans
E. Linder et Y. Kahanov, *The Ma'agan
Mikhael ship: The recovery of a
2400-Year-Old Merchantman, final
report, volume 1*, ed. E. Black, Jerusa-
lem, Israël Exploration Society and Uni-
versity of Haifa, p. 221-229.
- WICHA S., GIRARD M.
2006 Archaeobotanical characterisation of three
ancient sewn Mediterranean shipwrecks,
dans L. Blue, F. Hocker, A. Englert (eds.),
*Connected by the Sea, Proceedings of the
10th International Symposium on Boat
and Ship Archaeology, Roskilde, 2003*,
Oxford, Oxbow books, p. 111-116.